

A Probabilistic Broadcasting Mechanism based on Cross Layer Model Deliberating Received Signal Strength Ratio in Mobile Ad Hoc Networks

Jae-Soo Kim*

Abstract

Mobile Ad Hoc Networks(MANETs) consists of mobile nodes which communicate with each other without any centralized infrastructure. Message broadcasting by flooding for route discovery in MANET can result in high redundant retransmission, contention and collision of broadcasting packet, known as the broadcast storm problem collectively. The cross-layer design is adopted in this paper, which lets routing layer share the received signal strength information at MAC layer. Also this paper proposes a new probabilistic approach that dynamically adjusts the rebroadcasting probability of a node for routing request packets (RREQs) according to the received signal strength. The simulation results show that the proposed approach demonstrates better performance than blind flooding, fixed probabilistic broadcasting approaches.

▶ Keyword : Mobile Ad-Hoc Network, MANET, Ad Hoc Routing, Probabilistic Broadcasting, Cross Layer Design, rebroadcast probability

I. Introduction

Mobile Ad hoc Network(MANET)는 유선이나 중앙 관리를 하는 네트워크 인프라가 없이 이동 노드들로 무선 링크를 이용하여 데이터를 전송하는 구조를 말한다. 이러한 네트워크 구조는 노드 자신이 호스트의 역할을 하면서 라우터의 역할을 하여야 하기 때문에 다른 노드를 대신하여 패킷을 전송하거나 사용자 응용 프로그램을 실행할 수도 있다. IEEE에서는 무선 LAN 표준인 IEEE 802.11을 개발하면서 이러한 네트워크 구조를 Packet Radio 라는 용어 대신에 애드 혹 네트워크라고 명명하였으며, 이 네트워크는 노드들의 이동으로 인하여 네트워크의 형상이 매우 동적으로 변하게 된다. 무선 링크는 유선 네트워크에 비하여 훨씬 낮은 용량을 가지며, 배터리 전력과 같은 송수신 신호와 관련된 변수들이 네트워크의 성능에 큰 영향을 미치게 된다. MANET에서는 노드들이 수시로 이동하거나 배터리 전력의 고갈로 인하여 중간 노드의 링크가 끊어져 경로를 재설정하여야 하는 일이 자주 발생하게 된다. 이것은 소스

노드에서 목적지 노드 간의 패킷의 전송지연을 초래하며, 네트워크의 전송 효율을 감소시키며, 라우팅 프로토콜의 오버헤드는 증가하게 된다[1,2,5].

MANET에서 소스 노드와 목적지 노드 사이의 경로를 설정하기 위하여 브로드캐스트 패킷을 전송하게 되는데, 이 때 발생하는 브로드캐스트 패킷의 오버헤드를 줄이는 방법은 매우 중요한 문제 중의 하나이다. MANET에서 경로 설정 요구가 발생하였을 때 목적지 노드까지의 경로를 탐색하기 위하여 브로드캐스팅 방법을 이용한다. MANET을 위해 제안된 경로 탐색 프로토콜인 Ad hoc On demand Distance Vector (AODV)에서 소스 노드는 Route Request(RREQ) 패킷을 브로드캐스팅으로 이웃 노드들에게 전파하며, 이 RREQ 패킷을 받은 소스의 이웃 노드들은 다시 RREQ 패킷을 브로드캐스팅으로 네트워크에 전파하게 된다. 각 이동 노드들은 중첩되는 전파범위로 인하여 동일한 RREQ 패킷을 중복으로 수신하게 되며, 재전송되는 RREQ 패킷 수는 기하급수적으로 증가하게 된다. 그 결과 MANET 내부에서는 불필요한 패킷이 난무하

• First Author: Jae-Soo Kim, Corresponding Author: Jae-Soo Kim

*Jae-Soo Kim(kjs@knu.ac.kr), School. of Computer, Kyungpook National University

• Received: 2016. 01. 30, Revised: 2016. 02. 19, Accepted: 2016. 03. 02.

• This research was supported by Kyungpook National University Research Fund, 2012(2013, 2014)

여 패킷 충돌을 유발시키며 네트워크의 성능이 급격하게 저하되는 브로드캐스트 폭풍(Broadcast Storm) 현상이 발생하게 된다. MANET에서 경로 설정을 위한 RREQ 패킷을 브로드캐스팅할 때 중간 노드들이 RREQ 패킷의 재전송 여부는 매우 중요한 문제로 MANET의 전체적인 성능에 커다란 영향을 미치고 있다.[3,4,6]

한편, 기존의 MANET은 계층별 프로토콜 구조를 사용하기 때문에 각 계층이 독립적인 기능을 수행하고 있다. 이렇듯 계층 간의 분리된 기능이 독립적으로 수행되는 기존의 프로토콜은 네트워크 구조가 수시로 변하는 MANET에서는 경로가 자주 재설정 되고 다중 경로를 갖는 환경을 제대로 반영하지 못하여 네트워크의 성능이 나빠지게 된다.[5,7] 특히 MANET 환경에서 라우팅 경로 설정을 위해 RREQ 패킷을 브로드캐스팅하는 경우에는 더욱 낮은 성능을 보이고 있다. 따라서 경로가 수시로 바뀌는 네트워크 환경을 반영할 수 있도록 각 계층들이 상호 정보를 공유하면서 계층 간에 유연한 상호 작용이 가능한 새로운 계층적 접근 방법인 크로스 레이어(Cross Layer) 계층 구조 기법이 대두되고 있다. 프로토콜 계층 간에 데이터 교환이 이루어지는 기존의 MANET 프로토콜과는 달리 크로스 레이어 계층 구조는 어떠한 프로토콜 스택과도 상황 변화에 따른 데이터 송수신이 가능한 특징을 갖고 있다. Ad Hoc 네트워크에서 크로스 레이어 모델을 설계할 때 중요하게 생각하여야 할 사항은 이동 노드의 각 계층이 가지고 있는 정보를 어떻게 획득할 것이냐는 점과 이동 노드들 사이에 이 정보를 어떻게 교환할 것이냐는 점이다. 이러한 특징으로 인하여 크로스 레이어 계층 구조는 전송 경로가 자주 바뀌고, 다중 경로를 설정할 수 있으며 경로 마다 전송률이 다른 MANET에서 좋은 성능을 발휘 할 수 있다. [8,9]

본 논문에서는 MANET에서 브로드캐스트 패킷의 재전송에 관여하는 이동 노드의 수를 줄이면서 전체 노드로 전송되는 패킷의 전송 비율을 수용 가능한 정도로 유지할 수 있는 브로드캐스팅 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 MANET에서 송수신 노드 사이의 이격 거리에 따라 패킷의 재전송 확률 값을 적절적으로 변화시키면서 조절하게 한다. 브로드캐스팅에 참여하는 송수신 노드 사이의 수신 신호 강도를 이용하여 이동 노드 상호 간의 이격 거리를 알 수 있으며, 이를 바탕으로 패킷의 재전송 확률 값을 적절적으로 부여하는 브로드캐스팅 기법을 제안한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MANET의 브로드캐스팅 기법 중에서 확률적 접근 방법을 중심으로 관련된 연구 내용들을 살펴보고, 3장에서는 크로스 레이어 계층 구조 모델과 수신 노드가 받는 수신 전파의 신호 강도(Received Signal Strength, RSS)를 이용하여 재전송 확률 값을 적절적으로 부여하는 브로드캐스팅 기법에 대하여 자세히 서술한다. 4장에서는 제안 기법의 성능 평가를 위하여 수행한 시뮬레이션의 결과에 대해서 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. Related Works

William and Camp는 [1]에서 MANET의 경로 설정을 위하여 소스 노드가 브로드캐스트 패킷을 전파하는 방법을 단순 플러딩(Flooding)에 의한 방법, 확률적 재전송에 의한 방법, 위치 기반에 의한 재전송 방법, 이웃 노드 정보에 의한 재전송 방법 등 네 가지 범주로 구분하였다. 이 밖에도 계층 구조에 기반한 재전송 방법, 클러스터에 기반한 재전송 방법 등이 있다. 이 방법들은 중복 수신한 동일한 패킷을 브로드캐스팅으로 여러 번 재전송하게 되면 중복 패킷의 난무와 충돌로 인하여 MANET의 성능이 급격히 감소하는 사실을 기반으로 제안되었다.[2] 서론에서 살펴 본 바와 같이 단순 플러딩에 의한 재전송 방법은 브로드캐스트 폭풍 문제를 야기하게 되며, 이 문제를 최소화하고 네트워크의 효율성을 증대시키기 위한 다양한 연구가 진행되어져 왔다. 이 절에서는 본 연구와 관련이 깊은 확률적 재전송 기법과 관련된 연구에 대하여 살펴볼 것이다.

확률에 근거한 브로드캐스트 패킷의 재전송 방법은 소스 노드로부터 브로드캐스트 패킷을 처음으로 수신한 이동 노드는 미리 정해진 기준 확률 p 를 기반으로 패킷의 재전송 여부를 결정하는데, $p = 1$ 인 경우는 단순 플러딩에 해당된다. Z. J. Haas 등은 [3]에서 MANET 경로 탐색 방법으로 가십(Gossip)에 근거한 확률적 플러딩 기법을 제안하였다. 소스 노드로부터 경로 탐색을 위한 RREQ 패킷을 수신한 중간 노드는 미리 정해진 확률 값인 p 의 확률로 패킷의 전달 여부를 결정한다. 이 방법은 노드 주위에 이웃 노드들이 적으면 가십을 통해 패킷을 이웃으로 전파시킬 확률이 줄어들어 목적지 노드까지 전달되지 못하는 경우가 자주 발생한다. 이를 해결하기 위하여 초기 h 홉 이내에 있는 노드들은 $p = 1$ 의 확률로 RREQ 패킷을 무조건 전파하며, 이후에는 $p < 1$ 의 확률로 RREQ 패킷을 전파하도록 한다. 그 결과 순수 플러딩에 비하여 35%의 패킷 오버헤드를 줄일 수 있었으며, AODV 라우팅 프로토콜에 적용한 결과 중단 간 전송 지연과 전송율을 크게 개선하였다.

Sze-Yao Ni 등은 [2,4]에서 이동 노드가 중복으로 수신하는 RREQ 패킷의 수에 따라 재전송 확률 값을 조정하는 브로드캐스팅 방법을 제안하고 있다. 이동 노드가 RREQ 패킷을 처음으로 수신할 경우 기준 확률 값인 p 를 기반으로 패킷을 재전송한다. 그리고 임의의 지연시간 동안 중복으로 수신하는 동일 패킷의 수(c)를 계산하여 RREQ 패킷의 재전송 여부를 결정한다. 동일 RREQ 패킷을 미리 정의된 수 만큼 중복으로 수신하지 못하면 자신의 영역 내에 패킷을 수신하지 못한 노드가 있는 것으로 보고 RREQ 패킷을 재전송하며, 그렇지 못할 경우는 RREQ 패킷을 폐기한다.[14]

Yassein과 Papanastasiou는 [5]에서 MANET 전체의 평균 이웃 노드 수(n)를 고려하여 RREQ 패킷의 재전송 확률 값을 조정하는 브로드캐스팅 방법을 제안하고 있다. 이동 노드가 주위의 이동 노드들과 Hello 메시지를 주고받음으로써 주위의 이

동 노드의 수(n)를 계산하고 이를 근거로 하여 RREQ 패킷의 재전송 확률 값 p 를 결정하도록 한다. 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 노드는 저 밀집 지역에 위치하고 있어 높은 재전송 확률 값을 부여하며, n 이 n' 보다 크면 낮은 재전송 확률 값을 부여하는 방법을 제시하고 있다.[14]

Kim 등은 [6,7]에서 추가 확장 영역과 이웃 노드의 확인에 의한 동적인 확률에 근거한 브로드캐스팅 기법을 제안하였다. 이 방법은 영역에 근거한 방법과 확률에 근거한 방법을 결합하여 전파 범위의 가장자리에 있어 추가 확장 영역이 많은 노드들에게 높은 재전송 확률 값 p 를 부여하며 목적 모드까지 전송 여부를 확인하도록 하였다. 추가 확장 영역은 송수신 노드 사이의 거리에 따라 추정하였으며, 플러딩 기법과 비교한 시뮬레이션 결과는 목적 노드에서 높은 도착율을 유지하면서 재전송 패킷의 수를 감소시켜 중복 패킷의 충돌 문제를 크게 감소시켰다.

P. J. Shete와 R. N. Awale는 [8]에서 AODV 라우팅 프로토콜을 적용할 때 종종 발생하는 링크의 단절과 브로드캐스트 폭풍 문제를 해결하기 위하여 가십 AODV를 기반으로 수신 신호의 세기를 적용한 확률적 플러딩 기법을 소개하였다. 이 논문에서는 이동 노드가 움직이는 스피드에 따라 수신 신호가 감쇄되는 환경과 감쇄되지 않는 환경에서의 RREQ 패킷의 전송 비율과 지연 시간, 링크 절단 비율 등을 분석하였다.

S. Sheeja와 R. V. Pujeri는 [9]에서 이동 노드들로 구성된 MANET에서 메시지 패킷의 혼잡으로 인하여 패킷이 손실되는 경우를 해결하기 위하여 크로스 레이어 기반의 패킷의 혼잡 제어 기법을 소개하고 있다. 이 논문에서는 크로스 레이어를 통하여 계층별 정보를 공유하면서 패킷 손실 요소 값에 도달하는 것을 감지하는 혼잡 탐지 기법을 적용시킨다. 패킷의 혼잡이 감지되면 버퍼에 패킷을 임시로 저장하고 혼잡 경로 제어 프로시저를 수행한다. 이를 위하여 확장된 패킷 구조를 제안하고 있다.

[10, 11]에서 제안된 기법들도 모두 브로드캐스트 전송을 위해 불필요한 재전송 패킷의 수를 줄이는 것이 그 목적이다. 이동 노드가 패킷을 수신하게 되면 미리 정해진 확률 값인 p 의 확률로 패킷을 재송하게 되는데, 재전송 확률 값 p 를 너무 작게 설정하면 몇몇 노드들은 모든 패킷을 수신하지 못하는 경우가 발생하여 목적 노드에서 패킷의 전송 비율이 매우 낮아지게 되며, 반면에 p 를 너무 크게 설정하면 각 노드에서 불필요한 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. 본 논문에서는 MANET의 형상에 따라 재전송 확률 값을 다르게 부여함으로써 패킷의 도착율을 유지하면서 브로드캐스트 패킷의 중복을 최소한으로 줄일 수 있는 확률 값에 기반한 브로드캐스팅 기법을 제안한다.

III. Probabilistic Broadcasting Deliberating Cross Layer and Received Signal Strength

1. Cross Layer based Broadcasting

본 논문에서 제안하는 방법은 물리 계층을 통하여 MAC 계층에서 구할 수 있는 송수신 신호의 세기, 이웃 노드 간의 거리와 같은 정보를 네트워크 계층과 공유하여 MANET의 라우팅 경로 설정을 위해 재전송하는 브로드캐스트 패킷의 전송 비율을 낮추도록 한다. 크로스 레이어 기반의 네트워크 계층은 물리 계층과 MAC 계층이 채널 상태에 대한 정보를 피드백으로 주고 받으며, 응용 계층에서 주위의 상태 정보를 바탕으로 브로드캐스트 패킷의 재전송 여부를 적응적으로 결정하도록 한다[12].

본 논문에서 제안하는 IEEE 802.11 기반의 Cross-Layer 모델의 구조는 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서는 네트워크 프로토콜 스택에서 크로스 레이어의 상호 작용 과정을 보여주고 있다.

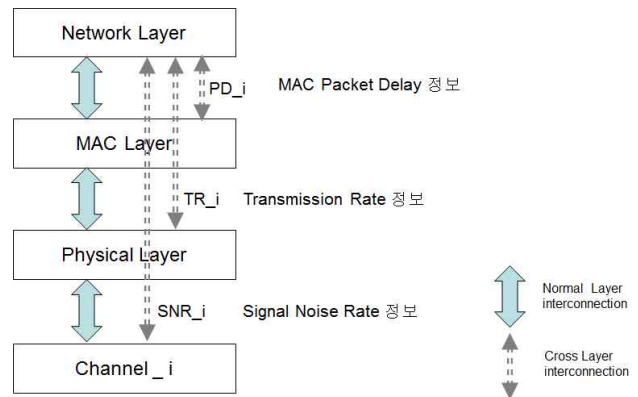


Fig. 1. IEEE 802.11 Cross-Layer Model

Fig. 1에서 물리 계층에서는 채널 확보를 위하여 링크의 신호대 잡음 비율 값(SNR_i)을 구한다. MAC 계층에서는 이 SNR_i 값을 근거로 전송 링크의 용량을 추정할 수 있는데 이를 전송 비율(TR_i)로 설정한다. 이 전송 비율은 전송 링크에서 패킷의 전송 지연(PD_i)을 초래하게 되는데, 네트워크 계층에서 경로 설정(Routing)은 각 링크에서 패킷의 전송 지연에 따라 결정된다. 결국 네트워크 계층에서 경로 설정 과정은 네트워크 부하에 영향을 받게 되고, 각 링크의 PD_i , TR_i , SNR_i 와 같은 파라미터에 영향을 주게 된다. 여러 계층에서 관련 정보를 서로 주고 받으면서 당시 시점에서의 링크 상황을 고려하여 경로 설정이 이루어지게 된다.

물리 계층에서의 변수인 SNR_i 값은 MAC 계층과 네트워크 계층의 파라미터에 영향을 미치게 되며, 네트워크 계층에서의 경로 설정은 아래 계층의 파라미터인 PD_i , TR_i , SNR_i 에 의해 결정되게 된다. 본 논문에서는 물리 계층에서

인식되는 수신 신호의 강도를 이용하여 MAC 계층에서 이웃 노드 사이의 거리를 알 수 있으며, MAC 계층에서 취득한 정보를 상위 계층인 라우팅 계층에 제공하여 브로드캐스트 패킷의 재전송 여부에 활용한다.

2. Broadcasting based on Received Signal Strength

AODV 프로토콜에서 경로 설정의 기본 동작은 RREQ 패킷과 RREP 패킷을 사용한다. RREQ 패킷은 소스 노드가 목적지 노드를 찾을 때 경로 탐색을 요청하기 위해 사용하는 패킷이다. RREQ를 수신한 노드는 자신이 목적지 노드이거나 목적지까지의 라우팅 경로를 알고 있다면 RREP 패킷으로 응답하게 된다. RREQ 패킷은 목적지를 찾을 때까지 플러딩되며, RREP 패킷은 유니캐스트(Unicast)로 소스에게 전달된다. RREQ와 RREP 패킷의 전송 과정에서 무한 홉(Hop)을 가지는 패킷은 일정 시간이 지난 후에 삭제된다.

본 절에서는 크로스 레이어 기반의 MANET에서 소스 노드에서 목적지 노드까지 RREQ 패킷을 전파하면서 전송 경로를 탐색하는 과정에서 이동 노드가 수신하는 전파의 신호 강도에 따라 RREQ 패킷의 재전송 여부를 확률적으로 결정하는 브로드캐스팅 기법에 대하여 설명한다. Fig. 2는 MANET에서 송신 노드와 수신 노드의 수신 신호 강도 계산 모델을 보여주고 있다.

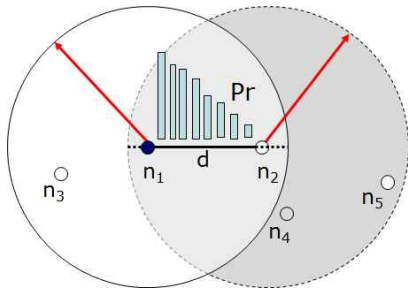


Fig. 2. Received Signal Strength Calculation Model of Transmitter and Receiver

Fig. 2에서 송신 노드 n_1 과 수신 노드 n_2 사이의 거리가 d 인 MANET에서 지표면의 반사나 회절이 존재하는 상황에서 수신 전력 P_r 은 수식 (1)과 같이 구할 수 있다. 수식 (1)에서 P_t 는 전송 전력의 세기이며, G_t 와 G_r 은 각각 송신 안테나 이득과 수신 안테나 이득이다. 그리고 h_t 와 h_r 은 각각 송신 안테나 와 수신 안테나의 길이를 나타내며, L 은 시스템 손실 요소로서 대개 1의 값을 가진다. 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리 d 는 다음 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L} \quad (1)$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{P_t G_t G_r (h_t h_r)^2}{P_r}} \quad (2)$$

이동 노드가 수신하는 전파의 신호 강도(P)를 수신 신호 강도(RSS)로 정의하며, 송신 노드로부터 거리가 멀어지면 RSS 값은 작아지게 된다. Fig. 2에서 송신 노드 n_1 의 전파 신호 거리 r 내에 있는 노드 중에서 노드 n_1 으로부터 멀리 떨어진 노드들이 n_1 의 주변 노드들 보다 높은 재전송 확률 값을 가지고 RREQ 패킷을 재전송하도록 함으로써 목적지 노드까지 전송 영역을 빠르게 확장해 나가게 된다. 즉, 송수신 노드사이의 이격 거리가 커서 RSS 값이 작은 노드는 높은 우선 순위로 RREQ 패킷을 재전송하는 방법이다.

3. Probabilistic Broadcasting Deliberating Cross Layer and Received Signal Strength

이동 노드의 패킷을 전달할 확률 값을 설정하는 것은 매우 중요한 문제이다. 높은 확률 값을 전달 패킷을 많이 발생시켜 목적 노드까지 패킷의 전달을 보장하지만, 낮은 확률 값을 전달 패킷을 많이 폐기시키게 되어 패킷의 전달을 일찍 소멸시키게 된다. 본 절에서는 송수신 노드 사이의 수신 신호 강도를 고려한 크로스 레이어 기반의 확률적 브로드캐스팅 기법을 제안한다.

하나의 이동 노드는 주위의 여러 이동 노드들로부터 신호를 수신하게 되는데, 앞서 여러 노드로부터 수신되는 신호의 강도(RSS)는 수식 (1)에서 구한 P_r 을 사용하기로 정의하였다. 여러 노드로부터 감지되는 수신 신호의 강도 중에서 최고값과 최저값을 각각 RSS_{max} , RSS_{min} 이라고 정의하면, 한 이동 노드가 감지하는 수신 신호 강도의 범위(RSS_{range})는 수식 (3)의 범위 내에 존재하게 된다.

$$RSS_{range} = RSS_{max} - RSS_{min} \quad (3)$$

RREQ 패킷을 수신한 이동 노드가 패킷의 재전송 여부를 판단하기 위하여 세 개의 경계치(Threshold) 값을 정의한다. 이동 노드 n_i 로부터 전파를 수신할 수 있는 거리, 즉 1-홉 거리에 있는 이동 노드의 수를 n 이라고 하고 노드 n_i 가 수신하는 모든 이웃 노드의 수신 신호 강도를 RSS_i 라고 정의하면, 이동 노드가 이웃 노드로부터 받게 되는 평균 수신 신호 강도 RSS_{avg} 는 수식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$RSS_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RSS_i \quad (4)$$

이렇게 RSS_{avg} 가 구해지면 이동 노드들은 수신 신호 강도가 RSS_{avg} 보다 크거나 작은 두 개의 그룹으로 나누어지게 된다. 이동 노드들의 수신 신호 강도가 RSS_{avg} 보다 큰 그룹

(Maximun 그룹)의 평균 수신 신호 강도를 RSS_{max_avg} 라 하고 이동 노드들의 수신 신호 강도가 RSS_{avg} 보다 작은 그룹 (Minimun 그룹)의 평균 수신 신호 강도를 RSS_{min_avg} 라 하면 이 두 개의 그룹에 대한 평균수신 신호 강도는 각각 수식(5)와 수식(6)으로 구할 수 있다.

$$RSS_{max_avg} = \frac{\sum_{i=1}^{Max\ group\ No.} RSS_i}{Max\ Group\ No.}, \quad RSS_i < RSS_{avg} \quad (5)$$

$$RSS_{min_avg} = \frac{\sum_{i=1}^{Min\ Group\ No.} RSS_i}{Min\ Group\ No.}, \quad RSS_i > RSS_{avg} \quad (6)$$

브로드캐스팅 기법은 AODV 프로토콜에서 소스 노드에서 목적지 노드까지의 경로를 찾기 위해 사용된다. 소스 노드는 보통의 경우 목적지 노드가 어느 위치에 있는지 알지 못하므로 RREQ 패킷을 브로드캐스팅하게 된다. RREQ 패킷을 받은 인접 노드들 역시 목적지 노드의 위치를 모를 경우 인접 노드들도 자신의 인접 노드에게 RREQ 패킷을 다시 브로드캐스팅한다. 이러한 식의 연속적인 브로드캐스팅은 브로드캐스팅 폭풍 문제가 발생하여 무선 채널을 엄청나게 낭비하는 결과를 초래하게 된다. 이동 노드가 RREQ 패킷을 받았을 때 재전송할 확률이 1로 무조건 브로드캐스팅을 하는 대신 p의 확률로 브로드캐스팅을 하고 $1-p$ 의 확률로 RREQ 패킷을 폐기하여 브로드캐스트 폭풍 문제를 줄이는 것이 본 논문의 핵심이다.

본 논문에서는 RREQ 패킷을 수신한 이동 노드에서 전파의 신호 강도에 따라 재전송 확률 값을 결정하는 방법을 제안한다. 이동 노드 j 가 이동 노드 i 로부터 RREQ 패킷을 수신하는 신호 강도를 RSS_{ij} 라고 할 때, j 노드의 RREQ 패킷의 재전송 확률 값 P_{ij} 는 수식 (7)과 같이 구한다.

$$P_{ij} = RANDOM(0, e^{-\left(\frac{RSS_{max_avg} - RSS_{min_avg}}{RSS_{range}}\right)}) \quad (7)$$

RREQ 패킷을 수신한 j 노드는 수식 (7)을 이용하여 0과 e 지수함수 결과 값 사이의 난수를 구하여 재전송 확률 값을 구한다. j 노드가 i 노드로부터 멀리 있는 경우는 e 지수함수의 결과 값은 1에 가까워지며, (0, 1) 사이의 난수를 구하여 RREQ 패킷의 재전송 확률 값으로 설정한다. 즉, 이동 노드가 RREQ 패킷을 수신하게 되면 수신 신호의 강도(RSS)에 따라 패킷의 재전송 확률을 동적으로 계산하며 이 확률 값에 따라 패킷의 재전송 여부를 결정하게 된다.

IV. Simulation and Evaluation

MANET에서 본 논문에서 제안하는 방법의 성능을 평가하기 위하여 소스 노드에서 멀리 떨어진 목적지 노드까지의 경로 설정을 위하여 RREQ 패킷을 전체 노드들에게 브로드캐스팅으로 전파할 경우 패킷 재전송에 참여하는 노드 수와 패킷의 도착율에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다. 단순 플러딩 기법과 고정 값 확률적 브로드캐스팅 기법, 그리고 크로스 레이어 기반의 이격 거리에 기반한 확률적 브로드캐스팅 기법의 성능을 시뮬레이션을 통해 서로 비교하였다.

1. Simulation

프로토콜의 성능 평가를 위한 시뮬레이션은 애드 혹 네트워크 시뮬레이터인 Glomosim[15]을 사용하였으며, 모든 이동 노드는 임의의 방향과 속도로 움직인다고 가정한다. 네트워크 영역의 크기는 1km X 1km로 설정하였다. 시뮬레이션에서 고정된 확률 값 접근 방법에서는 재전송 확률 값을 0.7로 설정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 그 이유는 Bani-Yassein이 [5]의 논문에서 실험을 통하여 고정된 확률 값 접근 방법에서는 재전송 확률 값을 0.7로 설정하였을 때 가장 좋은 성능을 나타내었다. 시뮬레이션에 사용된 MANET 환경 설정을 위한 입력 변수 값은 Table. 1과 같다.

Table. 1. Simulation Parameter for MANET

Parameter	Values
Topological areas	1000m X 1000 m
Number of nodes	150 nodes
Channel Frequency	2.4 GHz
Maximum Propagation Range	150 m
Receiver sensitivity (RSSmin)	-90dBm
Nodes' speed	5 m/sec
Traffic load	10, 20, 30, 40, 50 connections
Pause time	0.5 ms
Geometrical model	Random Distribution
Packet Rate	Constant Bit Rate (4 pkts/s)
Mobility model	Random Way Point
Number of trials	30 trials

MANET에서 송신 노드가 수신 노드 간의 경로를 설정하거나 특정 노드를 호출하는 경우에 브로드캐스팅 방법을 많이 이용하게 되는데 송수신 노드 사이의 브로드캐스트 패킷의 전달 비율은 매우 중요한 사항이다. 본 논문에서는 제안 기법의

성능 평가를 위하여 전송을 시작한 브로드캐스트 패킷에 대하여 도착 비율(Reachability of Broadcasts, ROB)과 전송 지연 시간(Delay of Broadcasts, DOB), 중복도(Redundancy) 등 세 가지의 항목에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다.

브로드캐스팅은 MANET에서 모든 노드에게 메시지를 전파하는 것이 목적이기 때문에 패킷이 소스 노드에서 출발하여 여러 중간 노드를 거쳐 최종 목적지 노드까지 도착하여야 한다. 패킷의 도착 비율은 네트워크의 전체 노드 수에 대하여 브로드캐스트 패킷을 받은 노드 수의 비율로 정의한다. 네트워크에서 브로드캐스팅 연결을 시도하는 연결(Connection)의 수를 c , 전체 이동 노드의 수를 N , 브로드캐스트 패킷을 받은 노드의 수를 n 라고 할 때, 패킷의 도착 비율, ROB는 수식 (8)와 같이 표현할 수 있다. 수식 (8)에서 $n(k)$ 는 k 번째 브로드캐스팅 연결 시에 패킷을 받은 이동 노드의 수이다.

$$ROB = \frac{1}{c} \sum_{k=1}^c \frac{n(k)}{N} \quad (8)$$

중단 간 전송 지연은 송신 노드에서 출발한 데이터 패킷이 목적 노드에 성공적으로 도착할 때까지의 시간 차이로 정의한다. 일반적으로 브로드캐스팅 기법은 재난 지역에서 응급 상황에 대처하기 위하여 긴급한 메시지를 전달하는 경우가 많기 때문에 낮은 지연 시간을 가지는 것이 좋다. MANET에서 RREQ 패킷을 받은 이동 노드의 집합을 R 이라고 할 때, 집합 R 에 포함된 이동 노드의 수를 $|R|$ 로 표시할 수 있다. RREQ 패킷의 소스 노드로부터 중간 노드를 포함하는 전체 이동 노드 j 에 전달되는 패킷의 전송 지연시간을 l_j 라고 하면, 패킷의 전송 지연 시간(DOB)은 소스 노드로부터 출발한 RREQ 패킷이 각각의 이동 노드에 전달되는 시간의 합에 대한 평균으로 정의하며 수식 (9)과 같이 표현할 수 있다.

$$DOB = \frac{\sum_{j \in R} l_j}{|R|} \quad (9)$$

단순 플러딩에서는 패킷의 중복이 기하급수적으로 증가하게 된다. 브로드캐스팅에서 이상적인 경우는 각 노드들이 브로드캐스트 패킷을 한 번만 받는 것이지만, 이는 불가능한 일이며 패킷의 중복이 가능한 낮게 유지하여야 한다. 본 논문에서는 패킷의 중복도 평가를 위하여 $1-p$ 의 확률로 폐기되는 브로드캐스트 패킷의 비율, 즉 재전송 절약도(Saved ReBroadcasts, SRB)를 사용한다. MANET에서 메시지를 전달하는 노드의 수를 n_s , 브로드캐스트 패킷을 받은 노드의 수를 n_b 라고 하면 재전송 절약도, SRB는 수식 (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$SRB = \frac{(n_b - n_s)}{n_b} \quad (10)$$

2. Performance Evaluation

시뮬레이션을 송신 노드에서 브로드캐스팅 연결 요청 수를 30으로 설정하고 실행하였다. Fig. 3은 네트워크의 전체 노드 수에 대하여 RREQ 브로드캐스트 패킷을 받은 노드 수의 비율, 즉 패킷 도착 비율(ROB)에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 플러딩이 95% 이상의 패킷 전달 비율을 나타내어 세 방법 중에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 본 논문에서 제안한 방법은 이동 노드 수가 150 이상인 경우는 92% 이상의 패킷 전달 비율을 보여주고 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 기법은 MANET 환경에서 플러딩 기법의 패킷 전달 비율에 근접하는 성능을 가지면서 고정 확률 값 방법보다 15% 이상 성능 향상을 나타내는 것을 알 수 있다.

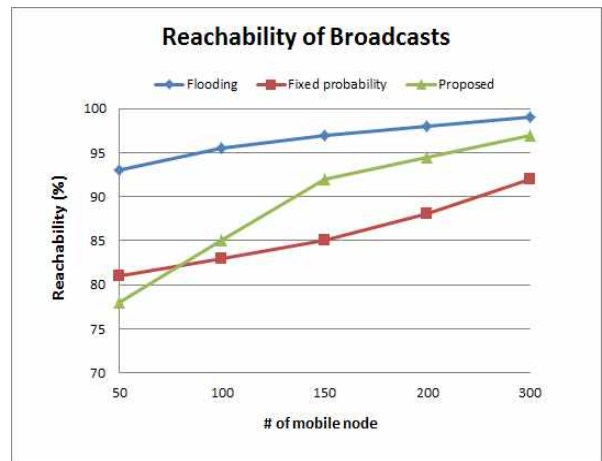


Fig. 3. Reachability of Broadcast Packets

Fig. 4는 브로드캐스트 패킷의 재전송 절약도(SRB)에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 전체 이동 노드의 수가 N 이라면, 송신 노드에서 목적 노드까지 경로 설정을 위하여 $N-1$ 개 노드에서 재전송이 이루어지며, 네트워크 전체로는 $\sum(N-1)$ 번의 재전송이 발생한다. 확률적 브로드캐스팅 기법은 $1-p$ 의 확률로 패킷의 재전송에 참여하지 않기 때문에 재전송 비율을 절약할 수 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이 본 논문에서 이동 노드의 수가 100일 경우에는 제안 기법은 플러딩과 고정확률 확률적 기법에 비하여 각각 50% 와 30% 정도로 재전송 비율을 줄일 수 있었다. 이는 RREQ 패킷을 무조건 재전송하는 플러딩 방법과 0.7의 고정 확률 값으로 재전송하는 방법보다 수신 신호의 강도에 따라 재전송 확률 값을 다르게 부여함으로써 RREQ 패킷의 재전송 비율을 감소시킨 것으로 분석된다. 더욱이 이동 노드의 수가 많아지면 본 논문의 제안 기법이 재전송에서 발생하는 절약 비율이 더 크게 나타났다.

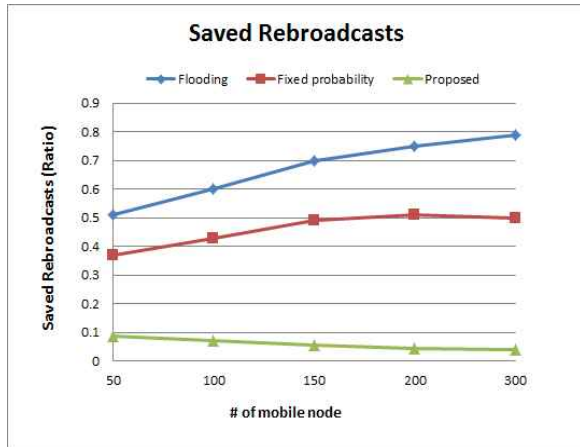


Fig. 4. Saved ReBroadcast Packets

Fig. 5는 이동 노드 수에 따라 브로드캐스트 패킷의 평균 전송 지연 시간(DOB)에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 이동 노드 수가 적은 경우보다 이동 노드 수가 많아지게 되면 브로드캐스팅 연결에 대한 평균 전송 지연 시간은 감소하였다. 이는 노드 수가 증가하게 되면 재전송하는 노드를 빨리 발견할 수 있어 연결 설정을 위한 RREQ 패킷의 전송 지연 시간의 평균을 줄일 수 있었다. 아울러 플러딩 기법에서는 패킷의 수신 즉시 재전송하는 특징으로 인해 가장 우수한 전송 지연 시간을 나타내었는데, 제안 기법은 노드 수가 150 이하에서는 플러딩에 가까운 성능을, 노드 수가 300 이상에서는 고정 확률 값 기법에 가까운 성능을 보여 주었다. 이는 이동 노드 수가 증가할 시는 MAC 계층에서 발생하는 수신 신호 강도 산정에 따른 오버헤드 증가가 원인인 것으로 분석된다. 제안 기법은 이러한 오버헤드로 인하여 고정 확률 값 기법에 비하여 노드 수 150개 이하에서는 평균 10% 이상 전송 지연 시간을 줄일 수 있었지만 노드 수 300개 이상에서는 성능 개선이 크지 않았다. 더욱이 이동 노드의 수가 300개 이상으로 많아지면 기하급수적으로 증가하는 충돌(Collision) 문제를 적극적으로 고려하지 않은 문제가 반영되어 나타나는 결과로 사료되며 이는 추후 연구를 통하여 분석하여야 할 부분이다.

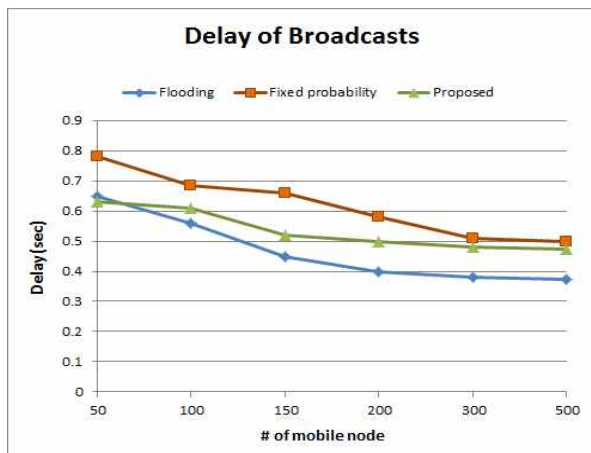


Fig. 5. Average Delay of Broadcast Packets

V. Conclusions

MANET 환경에서 각 계층별로 독립된 기능을 수행하는 기존의 프로토콜은 각 계층이 자신만의 기능을 수행하기 때문에 노드의 이동 상황에 따라 변하는 MANET의 환경을 잘 반영하지 못하고 있다. 본 논문에서는 물리 계층과 MAC 계층, 네트워크 계층 간의 상호 작용을 통하여 MANET의 주위 환경을 반영하여 더 나은 성능을 얻을 수 있는 IEEE 802.11 Cross Layer 모델에서 이격 거리 기반의 적응적 브로드캐스팅 기법을 제안하였다. 물리 계층이나 MAC 계층에서는 송수신 노드 사이의 수신 신호 강도를 조사하여 두 노드 사이의 거리를 알 수 있으며 네트워크 계층에서는 하위 계층과 무선 링크의 채널 상태 정보를 교환하면서 패킷의 재전송 여부를 판별할 수 있다. 이동 노드는 RSS 신호를 이용하여 송신 노드와의 이격 거리를 계산하며 라우팅 계층에서 RREQ 브로드캐스트 패킷의 재전송 확률 값을 부여한다.

성능 평가 결과 플러딩 기법은 재전송 패킷 폭주 현상을 초래하지만 모든 노드에게 브로드캐스트 패킷 전달율을 보여 주었다. 확률적 접근 방법은 확률에 따라 패킷을 폐기함으로써 패킷 폭주 현상은 줄어들지만 플러딩에 비해 낮은 패킷 전달 비율을 보여 주었다. 시뮬레이션의 결과를 통해 알 수 있듯이 브로드캐스팅을 위해 수신 신호 강도(RSS)를 이용하여 알 수 있는 이격 거리에 따라 적응적으로 패킷의 재전송 확률 값을 조절함으로써 패킷의 재전송에 참여하게 되는 노드의 수를 줄일 수 있었다. 본 논문에서 제안한 방법은 망 전체 영역에 대한 패킷의 전달 성능을 감소시키지 않으면서도 불필요한 패킷 전송에 따른 오버헤드를 감소시키는 효과가 있으며 플러딩에 비하여 최대 50% 이상의 성능 향상이 나타나며 고정값 확률적 기법과 비교하여서는 10% 이상의 성능 향상 결과를 보여 주었다. 향후 연구 내용으로는 이동 노드가 다양한 속도로 이동하는 경우에 어떠한 성능을 보이는지 살펴볼 필요가 있으며 아울러 다양한 환경에서 보다 정확한 재전송 확률 값을 산출할 수 있는 수학적 모델 개발이 필요할 것이다.

REFERENCES

- [1] B. Williams and T. Camp, "Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks," Proc. of the 3rd ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing, pp. 194-205, Jun. 2002.
- [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] Zygmunt J. Haas, Joseph Y. Halpern, Li Li “Gossip-based ad hoc routing, *Journal of IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*” Vol. 14 No. 3, pp. 479–491, Jun. 2006.
- [4] Jamal-Deen Abdulai, Mohamed Ould-Khaoua, and Lewis M. Mackenzie, “Adjusted Probabilistic Route Discovery in Mobile Ad Hoc Networks”, *Journal of Computers and Electrical Engineering*, Vol. 35, No. 1, pp. 168–182, Jan. 2009.
- [5] 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* Vol. 13, No. 2, pp. 127–140, Apr. 2006.
- [6] Jae-Soo Kim, and Jeong-Hong, “Probabilistic Broadcasting Based on Selfishness and Additional Coverage in MANETs”, *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, Vol. 10, No.4, pp. 329–336, 2012.
- [7] J. S. Kim, Q. Zhang, and D. P. Agrawal, “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.
- [8] P. J. Shete and R. N. Awale, "Performance Investigation of Signal Strength based Gossip AODV," *International Journal of Computer Applications* Volume 115, No. 13, pp. 6–10, Apr, 2015
- [9] S.Sheeja and Ramachandra V.Pujeri, “Cross Layer based Congestion Control Scheme for Mobile Ad hoc Networks”, *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)* Vol. 67, No. 9, pp. 60–67, April 2013
- [10] D. G. Reinaa, S. L. Torala, P. Johnsonb, F. Barrero, "A Survey on Probabilistic Broadcast Schemes for Wireless Ad Hoc Networks," *Ad Hoc Networks*, Vol. 25, Part A, pp. 263–292, Feb. 2015.
- [11] J. W. Shin, et al., “Flooding Technology in Mobile Ad Hoc Network, *Trend Analysis of Electronic Communication*, Vol. 18, No. 6, Dec. 2003.
- [12] A. Sarfaraz Ahmeda, et al, "Cross-Layer Design Approach for Power Control in Mobile Ad Hoc Networks," *Egyptian Informatics Journal*, Vol. 16, Issue 1, pp. 1–7, Mar. 2015.
- [13] J. S. Kim and J, H, Kim, “Distance Ratio based Probabilistic Broadcasting Mechanism in Mobile Ad Hoc Network”, *Journal of Korea Society of Computer and Information* Vol. 15 No. 12, pp. 75–84, Dec. 2010.
- [14] Jae-Soo Kim, “Dynamically Adjusted Probabilistic Broadcasting Mechanism based on Distance Ratio and Node Density for MANETs”, *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 16, No. 9, pp. 1077–1088, Sep. 2013.
- [15] Jorge Nuevo, “A Comprehensible GloMoSim Tutorial”, *INRS Université du Québec*, Mar, 2004.

Authors



Jae-Soo Kim received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from Kyungpook National University, Joongang and Kyungnam Korea, in 1986, 1987 and 1999,

respectively. He worked for the Korea Electric Research Institute (KERI), Changwon, Korea, as a senior member of computer center and he was a professor at the Sangju National University from Mar. 1996 to Feb. 2008. He is currently working as a professor at the school of Computer, Kyungpook National University. from 2008, he was a visiting professor at the Cincinnati University, Cincinnati, Ohio, USA. His current research interests are the area of computer network, mobile computing, and wireless sensor network