



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2009년 8월
석사학위 논문

이동 Ad hoc 네트워크에서
수신 신호 세기에 기반한
확률적 플러딩 기법

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

나 상 욱

이동 ad hoc 네트워크에서
수신 신호 세기에 기반한
확률적 플러딩 기법

A Probabilistic Flooding Scheme Based on Received
Signal Strength in Mobile Ad hoc Networks

2009년 8월 25일

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

나 상 욱

이동 ad hoc 네트워크에서
수신 신호 세기에 기반한
확률적 플러딩 기법

지도교수 신 석 주

이 논문을 컴퓨터공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2009년 8월

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

나 상 욱

나상욱의 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 조선대학교 교수 _____ 인

심사위원 조선대학교 교수 _____ 인

심사위원 조선대학교 교수 _____ 인

2009년 8월

조선대학교 대학원

A B S T R A C T

A Probabilistic Flooding Scheme Based on Received Signal Strength in Mobile Ad hoc Networks

Sangwook Na

Advisor : Prof. Seokjoo Shin, Ph.D.

Department of Computer Science

Graduate School of Chosun University

Mobile Ad Hoc Network (MANET) is an infrastructure-less network. In such network, data packet delivery from any source to a designated destination requires an efficient distributed routing protocol. Reactive routing protocols are well suited for MANET than proactive protocols since they have less routing overhead.

In reactive routing protocols, route from source to destination is established by exchange of route request (RREQ) and Route Reply packets (RREP). Flooding scheme is popularly used for broadcasting RREQ. However, legacy flooding scheme inherits many redundant retransmissions of RREQ packets and thus increase overall routing overhead. To eliminate certain fraction of such redundant retransmissions of RREQ, in this thesis, a probabilistic flooding scheme is proposed.

The proposed probabilistic flooding scheme utilizes readily available parameter, Received Signal Strength Indicator (RSSI), to determine transmission probability of RREQ packet at each intermediate node in the network. The effectiveness of the proposed scheme is verified by performance analysis carried on ns2. The proposed scheme significantly reduces total RREQ transmissions and average end-to-end delay while increases packet delivery ratio.

ABSTRACT i

제 1 장 서 론 1

제 2 장 Flooding의 선행 연구 분석 4

 제 1 절 Flooding 개요 4

 제 2 절 Flooding 기법의 분류 및 특징 5

 1. Heuristic-Based Flooding 기법 6

 가. Probability-Based 7

 나. Area-Based 8

 (1) Distance-Based 9

 (2) Counter-Based 10

 2. Topology-Based Flooding 기법 11

 가. Neighbor Topology-Based 11

 (1) Self-Pruning과 Neighbor-Coverage 11

 (1) Multihop Relay 12

 나. Source Tree-Based 14

 다. Cluster-Based 15

 제 3 절 Proactive와 Reactive 방식의 분류 17

 1. Proactive 라우팅 방식 17

 2. Reactive 라우팅 방식 18

3. Reactive 라우팅 방식에서의 Flooding	19
제 4 절 기존의 확률 기반 Flooding 기법의 문제점	20
제 3 장 제안하는 MANET에서의 확률기반 flooding	
기법	21
제 1 절 RSSI(Received Signal Strength Indication)	21
제 2 절 제안한 확률기반 Flooding 기법	26
1. 각 노드에서의 Flooding 패킷 재전송 확률 결정	26
2. 플러딩 과정 (Flooding Phase)	28
제 4 장 성능 평가	31
제 1 절 시뮬레이션 환경	31
제 2 절 시뮬레이션 결과 및 분석	32
제 5 장 결론	35
참고 문헌	36

그림 목 차

그림 1. MANET의 형태	1
그림 2. 플러딩 방식의 분류	6
그림 3. 브로드캐스팅 패킷의 중복수신	7
그림 4. 브로드캐스트 패킷의 중복수신에 의한 효과	8
그림 5. 두 노드간의 거리에 따른 전송 영역의 중첩	9
그림 6. 거리기반 플러딩 기법의 문제점	10
그림 7. self-pruning을 이용한 플러딩	12
그림 8. MPR과 MPR Selector Set	13
그림 9. 소스트리에 기반한 플러딩	14
그림 10. 클러스터링 방식에서의 Forwarding 노드 선택	16
그림 11. Reactive 라우팅 방식에서의 플러딩	19
그림 12. 도착률과 중복 수신률의 추상적 모델	20
그림 13. Two-ray ground propagation 모델	23
그림 14. RSSI 값의 로그함수 형태 그래프	24
그림 15. 초기 RREQ packet 플러딩 과정	28
그림 16. N_s 로부터 RREQ 패킷을 수신한 N_1 의 RREQ 재전송	29
그림 17. N_1 으로부터 RREQ를 수신한 N_4 의 RREQ 재전송	30
그림 18. 이동성 변화에 따른 중단간 지연시간	32
그림 19. 이동성 변화에 따른 패킷 전달률	33
그림 20. 이동성 변화에 따른 총 RREQ 전송량	33
그림 21. 이동성 변화에 따른 MAC 충돌현황	34

표 목 차

표 1. Beacon frame format	22
표 2. 수식(2)에서 사용된 변수들	24
표 3. 제안한 플러딩 기법에 사용되는 파라미터	26
표 4. 제안한 플러딩 기법의 Algorithm	27
표 5. 시뮬레이션에 사용된 파라미터	31

제 1 장 서 론

그림 1에서 볼 수 있는 MANET은 고정된 기반 망의 도움 없이 구성된 자율적이고 독립적인 무선 이동 노드들의 집합이며 그들만의 네트워크이다[1]. 기반 네트워크의 도움 없이 통신이 이루어지는 애드 혹 네트워크의 특성상 노드 상호간의 통신은 직접적이거나 중간 노드들의 도움으로 상호간의 통신이 이루어진다. 또한, 네트워크 토폴로지가 동적으로 변하기 때문에 기존 유선 네트워크에서 사용되는 라우팅 기법을 변경 없이 적용하기에는 많은 어려움이 있다.

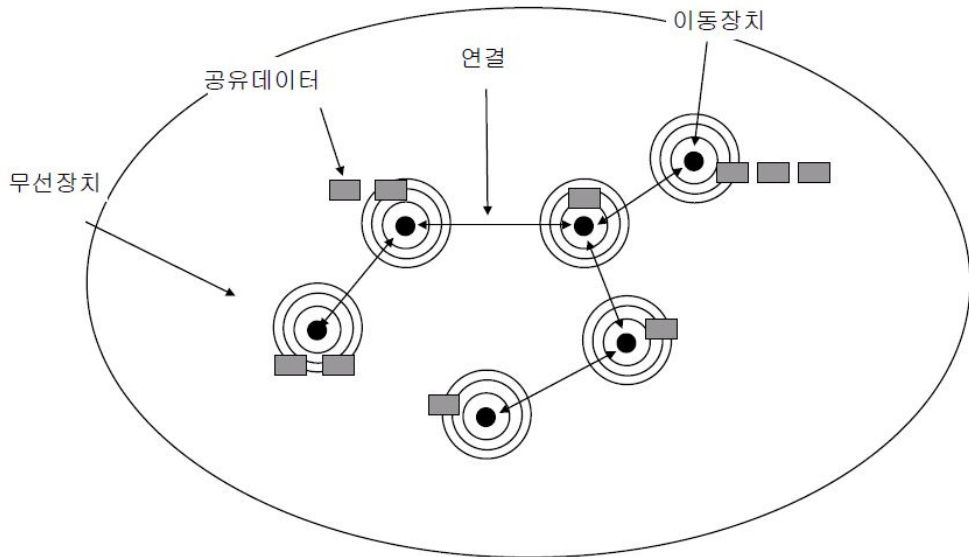


그림 1. MANET의 형태

플러딩은 패킷을 네트워크 전체로 브로드캐스팅 하기위한 패킷 전달방식으로 MANET에서는 라우팅 프로토콜, 서비스 탐색 프로토콜, 주소 자동설정 프로토콜 등에서 필수적으로 사용하는 MANET에서 제공되어야 할 기본적인 서비스이며, 플러딩의 효율적인 사용이 네트워크의 전반적인 성능에 지대한 영향을 미친다. 특히, 애드 혹 네트워크에서 플러딩을 수행하였을 경우 중첩되는 전파범위로 인하여 동

일한 패킷의 중복 수신이 불가피하게 된다. 이러한 중복 패킷을 과도하게 수신하게 되면 불필요한 패킷을 송수신하기 위해 노드 상호간의 무선 매체 점유를 위한 경쟁과 그로 인한 패킷 충돌을 유발시키는 원인이 된다. 결국, 동일한 패킷의 중복 송/수신으로 인하여 네트워크 전반적인 성능 저하를 초래하게 된다. 이러한 현상을 브로드캐스트스톰(Broadcast Storm)이라 한다 [2][3]. 따라서 플러딩을 위해서 중간 노드들이 브로드캐스트를 수행할 때 자신이 브로드캐스트를 수행할 것인가를 결정하는 것은 상당히 중요한 문제이다.

플러딩을 사용하는 MANET의 대표적인 라우팅 프로토콜은 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째로 proactive 방식의 라우팅 프로토콜에서는 모든 이동 노드가 도착 가능한 모든 노드의 라우팅 정보를 항상 유지한다. 이러한 사전 경로 설정 방식은 전송해야 할 패킷이 발생한 경우 지연 없이 최적의 경로를 통해서 패킷을 전송할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 라우팅 오버헤드가 크기 때문에 대규모 네트워크에는 부적합하다. 두 번째로 reactive 방식의 라우팅 프로토콜은 데이터 전송에 대한 요구가 있을 때 경로를 탐색하는 방식이다. 라우팅 오버헤드가 proactive 방식에 비해 매우 작다는 장점이 있지만, 전송 지연을 유발할 수 있다. 셋째로 hybrid 방식은 proactive 방식과 reactive 방식의 장점을 통합한 기법이다. Reactive 라우팅 방식의 프로토콜을 Proactive 라우팅 방식과 비교해보면 라우팅 오버헤드가 적다는 장점을 가진다. 그러나 Reactive 라우팅 방식의 프로토콜도 망의 크기가 커짐에 따라 라우팅 오버헤드도 따라서 증가하는데 이는 Reactive 라우팅 방식의 프로토콜들이 기본적으로 플러딩에 기반한 경로발견 절차를 수행하고 있기 때문이다.

본 논문에서는 MANET에서의 라우팅 프로토콜 중 Reactive 방식에서 수신 신호 세기에 기반한 불필요한 RREQ 패킷의 재전송을 억제하기 위한 확률적 플러딩 기법을 제안한다. MANET에서 모바일 노드들의 이동성으로 인해 경로 손실 현상이 자주 발생하고 또한 전송이 요구되어질 때에 경로 탐색이 이루어지는 Reactive 방식에서 수신 신호 세기를 이용하여 RREQ 패킷을 전송한 노드에 가까이 위치한 노드들은 RREQ 재전송 확률을 낮추고, 멀리 위치한 노드들은 재전송 확률이 높여 종단간 지연 평균을 줄이고, 전체 RREQ 전송을 줄여 네트워크의 성능을 향상시키고자 한다. 그리고 본 연구는 기존의 MANET에서의 Reactive 라우팅 프로토콜인 AODV와 제안한 기법을 ADOV에 적용시킨 AODV-EF(AODV with Enhanced Flooding)을 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이동 Ad hoc Network(MANET)에서의 플러딩에 대한 논의 및 기존에 제안된 플러딩과 그 문제점을 알아본다. 그리고 3장에서 제안한 기법에 대해 설명하고, 4장에서 성능분석을 한 후, 5장에서 본 연구 결과를 기술한다.

제 2 장 Flooding 기반의 선행 연구 분석

제 1 절. Flooding 기법

MANET에서 노드들은 하나의 공유된 채널을 통해서 통신하고 있다. 예를 들어, IEEE 802.11에서 제공하는 Ad Hoc 모드 통신의 경우 Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) 방식에 의해 다수의 노드가 하나의 무선 채널을 공유하기 때문에 노드 간에 무선 채널에 대한 경쟁이 발생하게 된다. 특히, 브로드캐스트 패킷의 경우는 유니캐스트 패킷과 달리 Hidden Terminal 문제 해결을 위한 RTS/CTS 메커니즘을 적용하고 있지 않기 때문에 패킷 충돌 현상이 빈번히 될 수밖에 없다. 그리고 밀접한 노드들 사이에는 전송 영역이 서로 중첩되기 때문에 중복된 패킷의 수신이 가능하다[3][10].

MANET에서는 노드의 이동으로 인하여 네트워크 토폴로지가 빈번하게 변화하는 특성을 가지고 있기 때문에 노드의 주소는 단지 노드를 유일하게 식별하는 용도로만 사용되며 위치 정보를 포함하고 있지는 않다. 이와 같은 환경에서 플러딩은 어떤 특정 노드로의 위치를 탐색할 경우에 유용하게 사용될 수 있다[5]. 테이블 기반(table-driven) 라우팅 프로토콜에서 네트워크 토폴로지 정보 전달을 위한 제어 메시지를 네트워크 전체로 브로드캐스팅 할 때, 요구 기반(on-demand) 라우팅 프로토콜에서 루트 탐색을 위한 루트 요청(route request, RREQ) 메시지를 네트워크 전체로 브로드캐스팅 할 때, 멀티캐스트 프로토콜에서 제어 메시지를 네트워크 전체로 브로드캐스팅 할 때, 주소 자동 설정(address auto-configuration) 프로토콜에서 중복된 주소 검출(duplicated address detection)을 위한 제어 메시지를 네트워크 전체로 브로드캐스팅 할 때, 서비스 탐색(service discovery) 프로토콜에서 서비스 요청 메시지를 네트워크 전체로 브로드캐스팅 할 때, 멀티캐스트 또는 브로드캐스트 데이터 패킷을 전달해야 할 때 플러딩이 사용된다.

플러딩의 가장 기본적인 형태인 블라인드 플러딩(blind flooding)은 브로드캐스트 패킷을 수신한 노드가 이를 다시 이웃 노드에게 플러딩하는 방식이다. 네트워크 상에 N개의 노드가 존재할 경우 블라인드 플러딩을 사용하면 N번의 플러딩이 발생한다. 따라서 각각의 노드가 브로드캐스트 패킷을 중복 수신할 가능성이 크며 이웃 노드간의 자원 경쟁 및 패킷 충돌 현상을 발생시킴으로써 네트워크 성능에 심각한 영향을 주게 되는 브로드캐스트 스톰(broadcast storm)이 발생하게 된다. 또한 이

동 Ad Hoc 네트워크를 위한 효율적인 플러딩 방식의 설계는 에너지 또는 전송대역과 같은 제한된 자원을 절약하고 브로드캐스트 스톰과 같은 문제를 해결하고자 하는 데에 목적이 있다[4]. 브로드캐스트 패킷을 실제로 플러딩하는 데 참여한 노드의 비율이 플러딩 방식의 효율성을 판단하는 기준으로 사용될 수 있으며, 브로드캐스트 패킷이 네트워크 노드 전체에 수신되기까지 소요되는 시간 및 브로드캐스트 패킷이 전달되지 않은 노드의 비율 등이 성능 평가 요소로 함께 사용될 수 있다.

제 2 절. Flooding 기법의 분류 및 특징

에드 혹 네트워크에서의 플러딩 기법은 가장 기본적인 방식의 블라인드 플러딩(blind flooding)을 비롯하여 패킷 전송 결정에 노드의 위치 정보를 이용하거나 각 노드에 대한 전송 확률을 이용하는 등의 여러 가지 기법이 있다. 블라인드 플러딩은 패킷을 수신한 노드가 자신의 모든 이웃 노드에게 패킷을 전송하는 기법으로 플러딩 기법 중에서 가장 기본적이고 구현이 간단한 방식이다. 블라인드 플러딩은 패킷에 간단한 식별자를 포함하고 있으며 같은 식별자를 가진 동일한 패킷의 중복된 전송을 억제한다. 하지만 블라인드 플러딩에서 노드는 한번도 전송하지 않은 패킷을 적어도 한 번은 전송하게 되어있어 노드 자신 주위에 패킷 수신이 필요한 노드가 존재하지 않더라도 패킷을 전송하게 된다. 이로 인해 블라인드 플러딩은 네트워크에 과도한 트래픽이 발생할 가능성이 있다. 따라서 패킷 송수신 양을 최소화할 수 있도록 노드의 위치 정보를 이용하거나 밀집도에 따라 패킷 전송을 결정하는 등 여러 가지 플러딩 기법의 연구가 진행되고 있다.

이 장에서는 브로드캐스트 스톰 문제(broadcast storm problem)을 해결하기 위해 제안된 기존의 flooding 기법들에 대해서 알아보고 그 문제점에 대해서 논의한다. 기본적으로 제안된 flooding 기법들은 simple flooding 와는 달리 전체 네트워크 노드 중 flooding 기법에서 제안하고 있는 특정 기준을 만족시키는 일부 노드들을 선택하여 해당 노드들만이 수신한 브로드캐스트 패킷을 재전송 하게 된다.

그림 2에서와 같이 플러딩 기법은 휴리스틱 기반(Heuristic-based) 방식과 토폴로지 기반(topology-based)으로 크게 나눌 수 있는데, 휴리스틱 기반 방식은 중복적으로 수신된 브로드캐스트 패킷의 정보를 이용하고, 토폴로지 방식은 토폴로지

정보를 이용한다. 휴리스틱 기반 방식은 확률 기반(probability-based) 방식과 영역 기반(area-based) 방식으로 나눌 수 있으며, 토폴로지 기반 방식은 이웃 토폴로지 기반(neighbor topology-based) 방식과 소스트리 기반(source tree-based) 방식 및 클러스터 기반(cluster-based) 방식으로 나눌 수 있다[7][8].

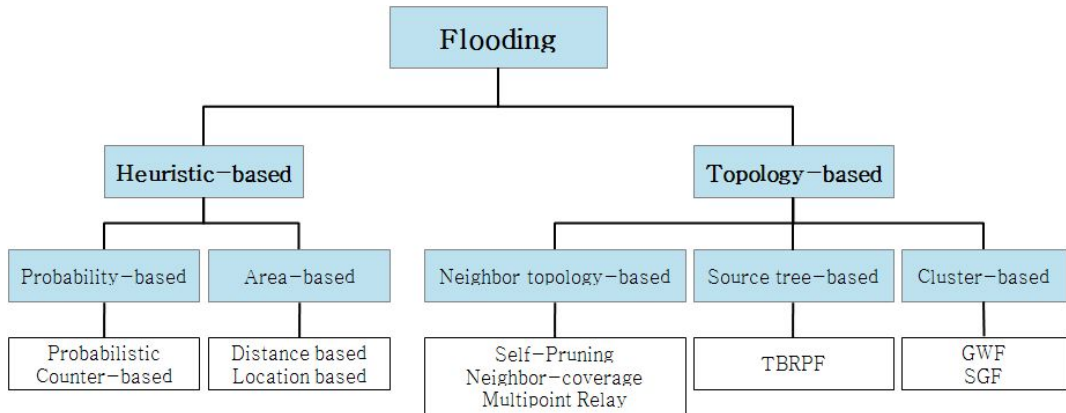


그림 2. 플러딩 방식의 분류

1. 휴리스틱 기반(heuristic-based) Flooding 기법

휴리스틱 기반 방식의 플러딩 방식은 중복적으로 수신된 브로드캐스트 패킷의 정보를 이용하여 재전송 해야하는 브로드캐스트 패킷들의 수를 줄이게 된다. 노드 A가 이웃 노드 B_i 로부터 수신한 브로드캐스트 패킷을 자신의 다른 이웃 노드에게 플러딩 하기 위해서는 해당 패킷을 MAC 계층으로 전달하여야 하며, MAC 계층에서는 공유된 무선 채널이 가용할 경우 물리 계층에게 전달하여 실제 전송이 이루어지게 한다. 따라서, 그림 3에서와 같이 노드 A가 브로드캐스트 패킷을 최초로 수신한 시각과 해당 브로드캐스트 패킷을 물리 계층에서 실제로 송신하기까지는 다소의 시간이 소요되며, 이 시간 동안에 다수의 중복된 브로드캐스트 패킷이 수신될 수 있다. 따라서, 이 기간 동안 중복 수신된 브로드캐스트 패킷의 정보를 이용하여 플러딩 여부를 다시 결정 한다 [1],[2].

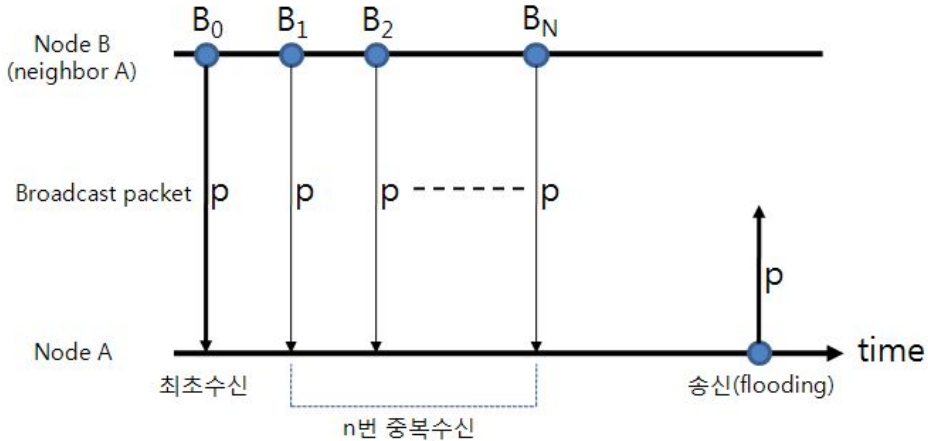


그림 3. 브로드캐스팅 패킷 중복 수신

가. 확률 기반(probability-based) 방식

노드 A와 노드 B가 서로 이웃 노드일 경우 두 노드의 무선 전송영역은 서로 겹치게 된다. 그림 4(a)는 노드 A가 브로드캐스트 패킷을 노드 B로부터 최초로 수신한 후 이를 다시 플러딩 할 경우를 나타낸다. 노드 A에 의해 새로 커버되는 영역은 노드 A의 무선 전송영역에서 노드 B의 무선 전송영역을 제외한 부분으로 계산되며, 이 영역의 면적은 노드 A의 전체 전송영역 대비 최대 61%, 평균 41%로 계산된다[1],[2]. 즉, 노드 A의 이웃 노드 중에서 노드 B가 플러딩 할 때 브로드캐스트 패킷을 수신한 노드의 비율은 평균 59%이고 최소 39%이다. 그림 4(b)는 노드 A가 노드 B와 노드 C로부터 동일한 브로드캐스트 패킷을 수신한 후 이를 다시 플러딩할 경우를 나타낸다. 노드 A의 플러딩에 의해 새로 커버될 수 있는 영역은 최대 19%로 계산된다[1],[2]. 확률 기반 플러딩 방식은 이와 같이 동일한 브로드캐스트 패킷을 중복 수신한 횟수가 커질수록 해당 브로드캐스트 패킷을 다시 플러딩하여 얻을 수 있는 효과는 급격히 감소한다는 사실에 기반하고 있다. 확률 기반 플러딩 방식에는 확률적(probabilistic) 방식과 계수 기반(counter based) 방식이 있다 [1],[2].

확률적 방식에서는 노드가 브로드캐스트 패킷을 처음으로 수신할 경우 기준 확률 P 에 기반하여 플러딩 여부를 결정한다. $P = 1$ 인 경우는 블라인드 플러딩에 해당된다. 계수 기반 방식에서는 확률이 아닌 브로드캐스트 패킷의 중복 수신 횟수를

사용하여 플러딩 여부를 결정한다. 즉, 노드 A가 브로드캐스트 패킷을 수신하고 이를 다시 플러딩 하기 전에 다른 이웃 노드로부터 중복적으로 수신된 브로드캐스트 패킷의 숫자가 일정 임계값(threshold) 보다 크면 플러딩을 취소한다. 확률기반 방식은 가장 간단하게 구현할 수 있으나 기준 확률 값과 임계값을 어떻게 결정 하느냐가 성능에 중요한 요소로 작용한다[1].

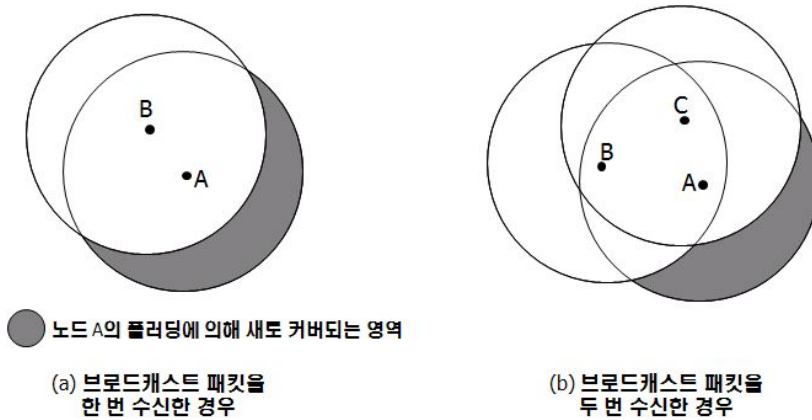


그림 4. 브로드캐스트 패킷의 중복 수신에 의한 효과

나. 영역 기반(area-based) 방식.

두 노드의 위치가 가까울수록 이들이 커버하는 무선 전송 영역의 중첩 부분은 더 커지게 된다. 그림 5(a)는 노드 A와 노드 B가 이웃 노드로서 가장 멀리 떨어진 경우를 나타내며 그림 5(b)는 그렇지 않을 경우를 나타낸다. 노드 A와 노드 B의 위치가 동일하다면 두 노드의 무선 중첩영역은 서로 겹치게 된다. 따라서, 중첩된 영역의 크기가 작아질수록 플러딩의 효과는 미비해진다. 영역 기반 플러딩은 이와 같은 노드의 전송 영역에 기반하고 있으며 거리 기반(distance based) 플러딩과 위치 기반(location based) 플러딩이 있다[1],[2]. 거리 기반방식에서는 노드 A가 이웃 노드로부터 중복적으로 브로드캐스트 패킷을 수신한 경우, 해당 브로드캐스트 패킷을 플러딩한 이웃 노드 중 노드 A와 가장 가까이 위치한 노드와의 거리가 임계값 이 하이면 플러딩을 취소하는 방식이다. 노드간의 거리는 수신된 신호의 세기로 계산할 수 있다. 각 노드의 위치를 GPS 등을 사용하여 파악이 가능하다면 동일 브로드캐스트 패킷을 중복 수신한 상태에서 노드 A가 플러딩을 수행했을 경우 새로

커버될 수 있는 영역의 크기를 수학적으로 계산할 수 있다. 위치 기반 방식에서는 이 크기가 일정 임계치 이하이면 플러딩을 취소하는 방식을 사용하고 있다

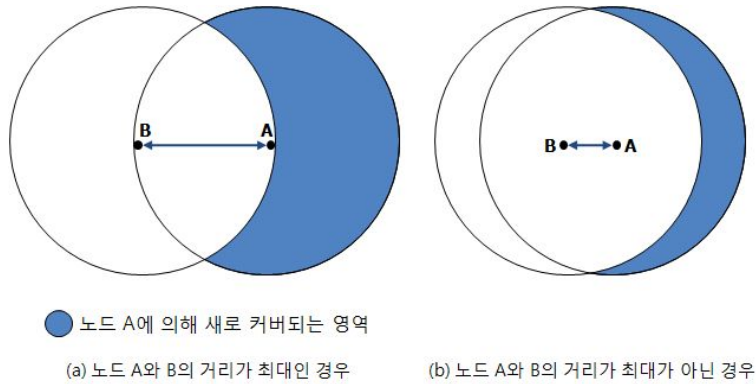


그림 5. 두 노드간의 거리에 따른 전송 영역의 중첩

(1) 거리 기반(distance-based) 방식

EFS-C (Efficient Flooding Scheme with Cross-layer)에서는 전송노드와의 거리에 의해 노드 스스로가 수신 패킷의 재전송 여부를 결정한다. 이와 같은 거리정보를 기반으로 하는 flooding 기법은 네트워크 노드의 전파 반경을 기반으로 하는 flooding 기법은 area based flooding scheme 중 하나로써 전송 노드는 자신과 자신의 전파 반경 내에 있는 모든 노드들과의 거리를 계산한다. 전송 노드와의 거리에 의해서 수신 노드가 패킷을 재전송 했을 때, 패킷이 전송되는 영역의 크기가 미리 결정된 특정 값보다 크다고 판단되면 재전송 동작을 수행한다. 그러나 이러한 동작방식의 문제점은 단순히 새로 전달되는 전송 영역의 크기만을 고려했을 뿐, 실제 그 영역에 동일한 패킷을 수신하지 못한 다수의 이웃노드들이 존재한다는 것을 보장하지 못한다는 것이며, 그림 6에서 이러한 상황을 보여주고 있다. 그림 6에서 A가 미리 결정된 전송 영역의 크기 기준에 만족되어 노드 S로부터 재전송 노드가 되면, 짧은 전파 영역으로 패킷을 전송할 수 있으나, 노드 B가 재전송 노드가 되는 것보다 더 작은 수의 노드들에게만 패킷이 전달된다.

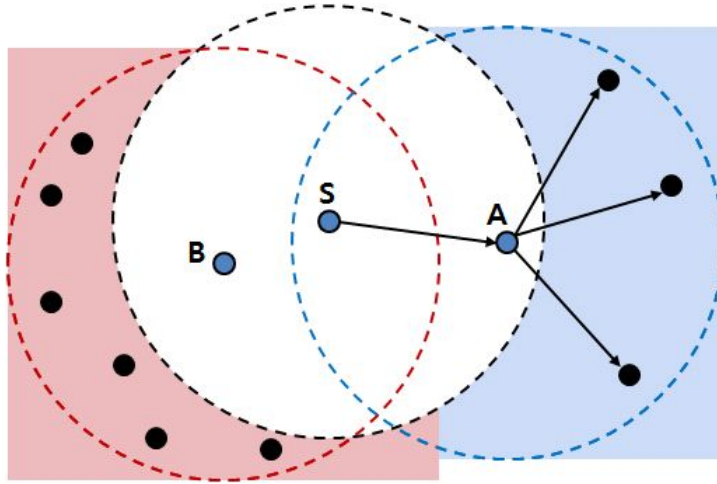


그림 6. 거리기반 플러딩 기법의 문제점

(2) 중복패킷 수 기반(counter-based) 방식

중복 패킷의 수를 기반으로 하는 플러딩 기법을 사용하는 노드는 처음 패킷을 수신했을 때, 미리 결정된 시간 동안 대기하며 중복 패킷의 수신을 기대한다. 특정 시간 동안 미리 결정된 n 개의 중복 패킷을 수신하지 못하면, 해당 노드는 자신의 패킷 전송 영역 내에 있는 이웃노드들 중 패킷을 수신하지 못한 노드가 있는 것으로 간주하고 패킷을 재전송한다. 그러나 이 방법은 모든 노드에게 패킷이 전달된다는 것을 보장하지 못한다는 단점이 있으며, n 을 증가시켜 전체 네트워크 노드에 대한 패킷의 수신비율을 높일 수는 있으나 그로인해 불필요한 중복 패킷과 패킷 충돌이 증가하게 된다. 또한 다수의 중복패킷 수신 후의 재전송은 해당 노드의 이웃 노드들이 이미 다른 노드들에 의해 동일한 패킷을 수신했을 확률이 높기 때문에 무의미한 동작이 될 수 있다.

2. 토폴로지 기반 (topology-based) Flooding 기법

토폴로지 기반 방식에서는 네트워크 토폴로지 정보를 이용하여 브로드캐스트 패킷의 플러딩 횟수를 최소화하고자 하며, 대부분이 MCDS를 근사적으로 계산하기 위한 다양한 기법들을 제안하고 있다

가. 이웃 토폴로지 기반(Neighbor topology-based) 방식

1-홉 또는 2-홉 거리에 위치한 이웃 노드의 정보를 이용하여 브로드캐스트 패킷의 플러딩 횟수를 최소화하고자 한다. 대부분의 방식이 2-홉 이웃 노드 정보를 이용하여 MCDS에 근사한 CDS를 계산하고, CDS에 포함된 노드(포워드 노드)들을 통해서 브로드캐스트 패킷을 플러딩 하고자 한다. CDS(Connected Dominating Set) 기법은 재전송 노드 수를 줄이기 위한 방법으로써 2-hop 정보를 이용한다. 위치 기반 플러딩 기법인 Edge Forwarding은 1-hop 정보를 이용하여 재전송 여부를 결정한다. 또 다른 효율적인 플러딩 기법인 1HI은 이웃 노드들의 전과 경계선을 이용한 플러딩 기법으로써 가장 바깥쪽 경계선에 기여하는 노드들만 재전송 노드로 선택한다. 이와 같은 기법들은 노드의 분포가 일정한 환경에서 비교적 좋은 성능을 보이긴 하지만 실제 환경과 같이 노드의 분포가 일정하지 않은 환경에 적합하지 못하다. 기존의 기법들은 재전송 노드 전과 반경이 겹치는 지역에 대한 고려를 하지 않기 때문에 불필요한 재전송이 많다.

(1) Self-Pruning과 neighbor-coverage

Self-Pruning 방식[5]에서는 1-홉 이웃 노드의 토폴로지 정보를 이용하여 플러딩을 수행한다. Self-Pruning 방식의 경우, 모든 노드는 계층-2의 BEACON 신호 또는 계층-3의 HELLO 메시지의 주기적인 브로드캐스트를 통해 자신과 1-홉 거리에 있는 이웃 노드에 대한 리스트를 관리한다. 노드가 브로드캐스트 패킷을 플러딩할 경우 자신의 이웃 노드 리스트를 패킷에 포함시킨다. 그림 7에서와 같이 노드 A가 노드 B로부터 브로드캐스트 패킷을 수신할 경우 이 패킷에 포함된 노드 B의 이웃 노드 리스트인 $N(B)$ 를 현재 자신의 이웃 노드 리스트 $N(A)$ 와 비교하여, $N(A) - N(B) - \{B\} \neq \emptyset$ 인 경우에 해당 브로드캐스트 패킷을 다시 플러딩 한다. 이 때 자신의 이웃 노드 리스트인 $N(A)$ 를 브로드캐스트 패킷에 포함시킨다. 이 방법은 브로드캐스트 패킷에 이웃 노드 리스트를 포함시키기 때문에 패킷의 크기가 커지는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로, 노드가 브로드캐스트 패킷을 수

신할 경우 패킷에 포함된 인접 노드 리스트를 저장하고, 브로드캐스트 패킷을 플러딩 할 경우 이전에 브로드캐스트 패킷을 플러딩한 이후 이웃 노드 리스트에 변경이 없으면 이웃 노드 리스트를 브로드캐스트 패킷에 포함시키지 않는 방법을 사용할 수 있다. 이웃 노드 리스트가 포함되지 않은 브로드캐스트 패킷을 수신한 노드는 이전에 저장된 이웃 노드 리스트를 그대로 사용한다.

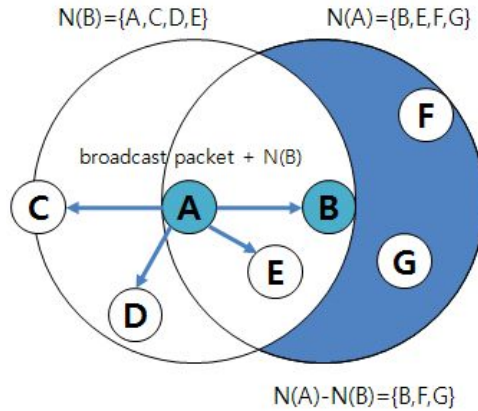


그림 7. self-pruning을 이용한 플러딩

(2) 다중 홉 중계(multihop relay)

Optimized Link State Routing(OLSR) 라우팅 프로토콜에서는 Multipoint Relay(MPR)에 기반한 플러딩 방식을 제안하고 있다[5]. MPR은 2-hop까지의 이웃 노드 정보를 모두 수집하여 1-hop의 이웃노드들 중 2-jop의 노드들을 이웃 노드로 포함하는 노드를 재전송 노드로 선택하는 flooding 기법이다. 모든 2-홉 이웃 노드를 커버할 수 있는 1-홉 이웃 노드의 집합을 MPR Set이라고 하며, MPR Set에 속하는 노드를 MPR이라고 한다. 최소 수의 노드로 구성된 MPR Set을 계산함으로써 플러딩 오버헤드를 최소화하고자 한다. 그림 8에서와 같이 노드 A가 노드 B로부터 브로드캐스트 패킷을 수신한 경우 노드 A가 노드 B의 MPR에 해당될 경우에만 해당 브로드캐스트 패킷을 다시 플러딩한다. 주기적으로 전달되는 HELLO 메시지를 이용하여 자신의 1-홉 이웃 노드 정보와 자신의 MPR Set을 이웃 노드에게 전

달한다. 따라서, 이를 수신한 노드는 1-홉 이웃 노드의 1-홉 이웃 노드, 즉 자신의 2-홉 이웃 노드에 대한 정보를 얻을 수 있으며 이를 통해 자신의 MPR Set을 계산할 수 있다. 노드 A가 노드 B의 MPR일 때 노드 B는 노드 A의 MPR Selector Set(MS)에 속한다. 노드 A가 노드 B로부터 HELLO 메시지를 수신하였을 때, 이 메시지에 포함된 MPR Set에 노드 A의 주소가 존재하면 노드 A는 노드 B의 주소를 자신의 MS에 포함시킨다. MS에 속한 노드로부터 브로드캐스트 패킷이 수신될 경우에만 이를 다시 플러딩한다. $N(x)$ 를 노드 x의 1-홉 이웃 노드 집합, $N2(x)$ 를 노드 x의 2-홉 이웃 노드 집합이라고 할 때 노드 x에서 다음과 같은 휴리스틱한 방법을 사용하여 MPR 집합을 계산한다. MPR의 단점은 2-hop에 속하는 모든 이웃노드 정보를 수집하고 저장해야 하며, 에너지 사용 효율을 위한 노드의 sleep/wakeup 주기 중에 재전송 노드로 선택되더라도 sleep 상태에서는 패킷을 전송할 수 없다는 단점이 있다.

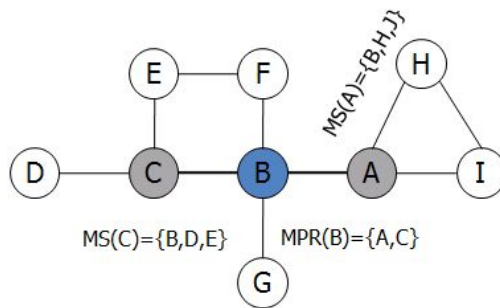


그림 8. MPR과 MPR Selector Set

나. Source Tree-based

TBRPF(Topology Broadcast Based on Reverse-Path Forwarding) 라우팅 프로토콜에서는 소스-트리에 기반한 플러딩 방식을 사용하여 네트워크 토폴로지 정보를 브로드캐스팅 한다[12]. 각 노드는 네트워크 내의 다른 모든 노드로의 최소-홉 수 경로로 구성되는 소스 트리를 유지한다. 그림 9에서 노드 A는 이웃 노드 B를 경유하여 목적(destination) 노드 S로 가는 최소-홉 수의 경로를 가진다. 이 때 노드 B는 노드 S에 대해 노드 A의 parent 노드가 되며, 반대로 노드 A는 노드 B의 children 노드가 된다. 노드 S에 대한 모든 parent 노드는 노드 S에 대한 최소-홉 spanning 트리(소스트리)를 구성한다.

브로드캐스트 패킷의 플러딩은 소스 트리에서 non-leaf 노드를 통해서만 이루어진다. 그림 9에서와 같이, 노드 S가 생성한 브로드캐스트 패킷을 노드 A가 자신의 이웃 노드인 B로부터 수신한 경우, 노드 S에 대해 노드 B가 노드 A의 parent 노드인 경우에만 해당 브로드캐스트 패킷을 다시 플러딩한다. TBRPF에서는 HELLO 메시지를 사용하여 자신의 1-홉 이웃 노드에 대한 정보를 획득하고, 이웃노드로부터 수신된 토폴로지 정보를 이용하여 자신의 소스 트리를 구성한다. 자신의 소스 트리 상에 변경된 토폴로지 정보를 자신의 소스 트리를 이용하여 네트워크 전체로 플러딩한다.

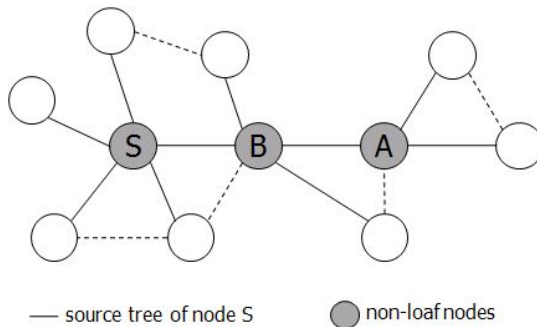


그림 9. 소스트리에 기반한 플러딩

다. Cluster-based

클러스터는 클러스터 헤드라는 하나의 노드와 이노드로부터 직접 통신 거리, 즉 1-홉 무선 거리에 존재하는 모든 노드의 집합으로서 정의된다. 이동 Ad Hoc 네트워크를 위한 다양한 클러스터링 기법들이 연구되고 있으며 경우에 따라 클러스터가 서로 중첩되거나, 그 어떤 클러스터에도 속하지 않는 노드(non-cluster node)가 존재할 수도 있다. 클러스터 노드 중 게이트웨이는 다른 클러스터의 헤더와 1-홉 거리에 있는 노드, 즉 둘 이상의 클러스터에 속하는 노드로 정의된다. (그림 12)와 같이 클러스터가 서로 중첩되지 않게 구성될 경우, 게이트웨이는 인접 클러스터의 일반 클러스터 노드와 직접 통신하는 노드로 정의된다. 클러스터를 이용한 플러딩을 위해서는 먼저 클러스터를 구성하는 클러스터링이 수행되어야 한다. 클러스터링 방식의 예로 Linked-Cluster Algorithm(LCA)과 Highest-Connectivity Algorithm(HCA)을 들 수 있다. 노드 ID 간에 순서(order)가 있다고 할 때 LCA에서는 특정 노드가 자신의 모든 이웃 노드보다 작은 값의 ID를 가지고 있을 경우 클러스터 헤드가 된다. HCA에서는 특정 노드가 자신의 모든 이웃한 노드보다 큰 값의 degree(이웃 노드의 개수)를 가질 때 클러스터 헤드가 된다. 인접한 두 노드가 동일한 degree를 가질 경우 노드 ID 값에 의해 클러스터 헤드를 결정한다.

클러스터링에 의해 클러스터가 구성되었을 경우 Gateway Forwarding(GWF) 방식에서는 그림 10와 같이 클러스터 헤드, 게이트웨이 및 클러스터에 속하지 않는 노드만이 포워딩 노드가 되어 브로드캐스트 패킷을 플러딩한다. 그러나, 게이트웨이 노드들 간의 플러딩은 서로 중복될 가능성이 있기 때문에 클러스터 헤드에 의해 선택된 일부 게이트웨이만이 플러딩을 수행할 수 있는 Selected Gateway Forwarding(SGF) 방식을 사용함으로써 플러딩 성능을 향상시킬 수 있다. 즉, 그림 10에서와 같이 클러스터 헤드는 2-홉 또는 3-홉에 위치한 이웃 클러스터 헤드 또는 클러스터에 속하지 않는 노드와의 연결성을 가진 최소의 게이트웨이 노드 집합을 구하고 여기에 속하는 게이트웨이를 대표(representative) 게이트웨이로 설정한다. 게이트웨이 중에서 대표 게이트웨이만이 포워딩 노드가 된다[13].

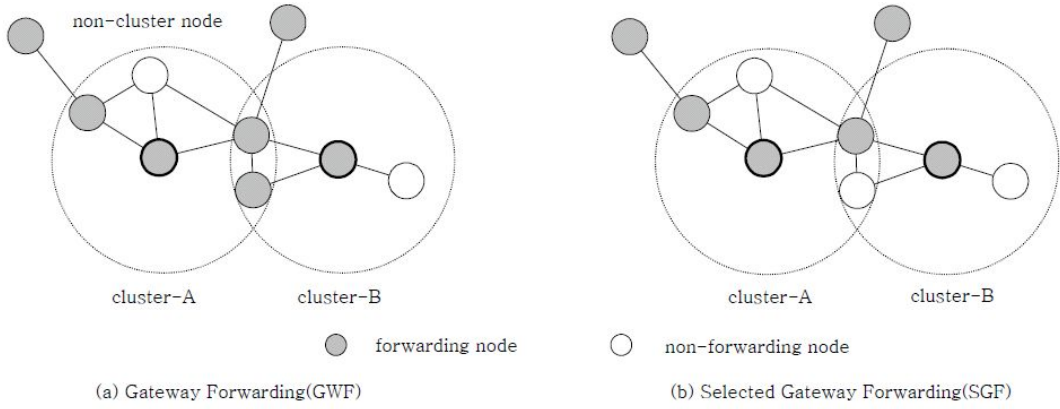


그림 10. 클러스터링 방식에서의 forwarding 노드 선택

제 3 절 Proactive 분류와 Reactive 방식의 분류

무선 Ad Hoc 통신망 기술은 1979년대부터 1980년대까지 DARPA의 PRNET과 SURAN(Survivable Adaptive Networks) 프로그램이 이끌었다. 그 후 IEFT MANET 워킹 그룹에서 무선 Ad hoc 망을 위한 많은 라우팅 프로토콜들이 연구되었다.

본 절에서는 지금까지 연구된 프로토콜들을 분류하고 각각의 특징과 장/단점을 비교한다. 무선 Ad hoc 망 라우팅 프로토콜은 크게 기존의 유선환경에서 사용되는 Bellman-Ford 알고리즘을 사용하는 Proactive 라우팅 방식, 모든 단말이 이동하는 무선 Ad hoc 환경을 고려한 Reactive 라우팅 방식, 이 두 가지를 혼합한 Hybrid 라우팅 방식과 그 외의 라우팅 방식으로 분류 할 수 있다.

1. Proactive 라우팅 방식

Proactive 라우팅 방식은 유선환경의 인터넷에서 사용한 Bellman-Ford 방식을 무선 Ad hoc 망에 적용하였다. 기본적으로 무선 Ad hoc 망 내의 각 노드는 자신을 중심으로 하여 도착 가능한 모든 노드들의 라우팅 정보를 테이블에 항상 유지하기 때문에 Table-drive 라우팅 방식이라고도 한다.

모든 노드는 주기적으로 라우팅 정보를 다른 노드들에게 전달하고, 라우팅 경로 변경시는 자신의 라우팅 정보를 방송하여 다른 노드들의 라우팅 테이블 갱신을 유도한다. Proactive 라우팅 방식은 다른 노드들에 대한 주기적인 라우팅 정보를 유지함으로써 전송 필요시 별도의 경로획득 절차 없이 라우팅 테이블의 정보를 이용해서 전송함으로써 경로 획득 지연시간이 짧은 장점이 있다.

그러나 열약한 환경의 무선 대역에서 주기적인 라우팅 정보 방송은 사용할 수 있는 무선대역 낭비를 더욱 가증시킨다. 또한 노드들이 빈번하게 위치 이동하는 무선 Ad hoc 망에서 다른 노드들의 라우팅 테이블 갱신을 위한 라우팅 정보 역시 방송해야하므로 라우팅 패킷 오버헤드는 노드의 숫자 제공이 비례하여 증가한다.

따라서 Proactive 방식은 노드의 숫자가 적은 소규모 무선 Ad hoc 망에 적합한, 중/대형 망에서는 많은 단점을 가지고 있다. 이를 구현한 라우팅 프로토콜로는 전형적인 Bellman-Ford 알고리즘을 구현한 DSDV(Destination-Sequence Distance

Vector), 라우팅 정보를 이웃한 이웃노드에게만 전파하여 오버헤드를 감소시킨 WRP(Wireless Routing Protocol)과 DSDV 라우팅 프로토콜에서 라우팅 정보를 감소시키기 위하여 이동 노드들을 계층적으로 분류한 CGSR(Clusterhead Gateway Switch Routing)이 있다. 그러나 Proactive 라우팅 방식은 앞서 설명한 무선 Ad hoc 환경에 적용하기에는 많은 문제점이 존재하여 자체로는 주목받지 못하였고 이를 개선한 알고리즘으로 발전하게 되었다.

2. Reactive 라우팅 방식

Reactive 라우팅 방식은 Bellman-Ford 알고리즘을 사용한 Proactive 라우팅 방식의 단점을 해결하기 위하여 모든 노드가 빈번하게 이동하는 무선 Ad Hoc 환경에 적합하도록 제안된 라우팅 방식으로 네트워크 내의 모든 이동하는 노드들에 대한 전체경로를 항상 유지하는 것이 아니라 데이터 전송 필요시에만 경로 획득절차를 수행하기 때문에 On-demand 라우팅 방식이라고도 한다.

Reactive 라우팅 방식은 필요시에만 경로 획득절차를 수행하고, 주기적인 라우팅 정보 방송과 이동시 변경된 라우팅 정보를 방송할 필요가 없으므로 라우팅 패킷 오버헤드를 줄이는 장점이 있다. 그러나 데이터 전송 시 경로 획득 절차 수행 후 획득된 경로로 데이터를 전송하기 때문에 경로 획득 시간이 길어져(route discovery 수행에 대부분의 시간을 소비) 실시간 통신에 부적합한 문제점을 가지고 있으니 현재로서는 이동노드가 빈번하게 이동하는 무선 Ad Hoc network에서는 가장 적합하다고 할 수 있다.

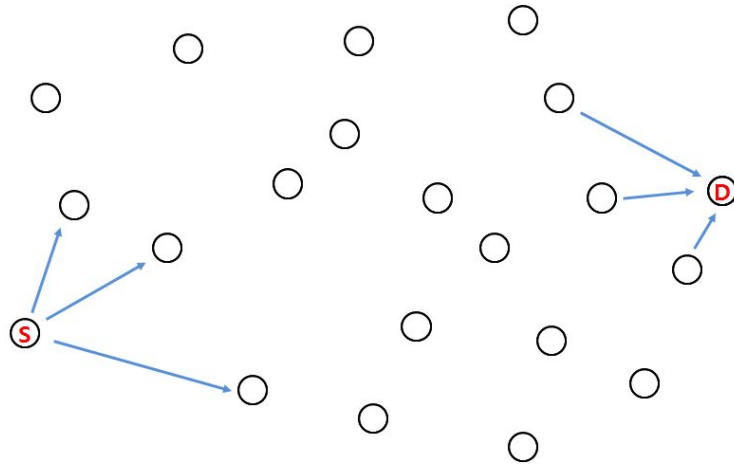


그림 11. Reactive 라우팅 방식에서의 플러딩

그림 11에서와 같이 송신 노드 S에서 수신 노드 D로 데이터를 전송하고자 할 경우 우선 경로 발견 절차를 수행하게 되는데 이때 송신 노드 S는 브로드캐스트 방법으로 이웃하는 노드에게 RREQ 패킷을 플러딩 시킨다. 이를 수신한 이웃노드 역시 이웃에게 RREQ 패킷을 플러딩 시키게 된다. 이와 같은 과정은 RREQ 패킷이 수신 노드 D에 도달할 때 까지 반복되며 RREQ 패킷이 수신 노드 D에 도착하면 RREQ 패킷이 지금까지 전달된 반대의 경로를 통해 RREQ 패킷을 송신노드 S에 보냄으로써 경로발견 절차를 마치게 된다.

위와 같이 Reactive 라우팅 방식에서의 플러딩은 경로발견을 위한 쿼리 패킷을 네트워크 전체에 보냄으로써 망의 노드수가 증가할수록 라우팅 오버헤드를 증가시켜 데이터 전송을 지연시킴과 동시에 각 노드의 부하에 적지 않은 영향을 미치게 된다.

3. Reactive 라우팅 방식에서의 Flooding

Reactive 라우팅 방식의 프로토콜이 Proactive 방식에 비해 갖는 장점은 라우팅 오버헤드가 적다는 것이다. 그러나 Reactive 라우팅 방식의 프로토콜들도 네트워크의 크기가 커짐에 따라 라우팅 오버헤드도 따라서 증가하는데 이는 Reactive 라우팅 방식의 프로토콜들이 기본적으로 플러딩에 기반한 경로 발견 절차를 수행하고 있기 때문이다.

제 4 절 기존의 확률 기반 Flooding 기법의 문제점

확률기반 flooding 기법도 일찍이 제안되었던 브로드캐스트 기법 중 하나지만, MANET 환경에서는 꾸준히 연구가 되어오지는 않았다. [1],[2]에서 제안된 확률적 flooding 기법에서는 아주 낮은 브로드캐스트 패킷의 도착률을 나타낸다. 브로드캐스트 패킷의 도착률이란 목적지 노드의 브로드캐스트 패킷 수신률이라 할 수 있다.

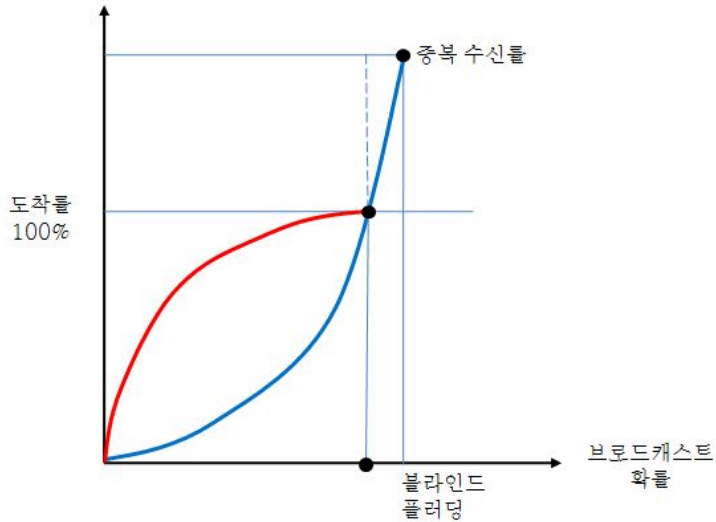


그림 12. 도착률과 중복 수신률의 추상적 모델

그림 12는 최적의 브로드캐스트 확률을 선택할 수 있는 추상적인 모델[1][15]을 보여주고 있다. 모든 노드들이 확률 $1(p=1)$ 로 브로드캐스트를 수행할 경우, 도착률 100%를 충분히 만족시키지만 이에 따른 네트워크의 오버헤드는 지수적 형태로 증가할 것이다. 각 노드들이 랜덤한 방식으로 배치되기 때문에 네트워크 전체적으로 동일한 방송 확률 값을 적용 시키는 것은 브로드캐스트 패킷이 목적지에 도착하지 못할 가능성을 내포하고 있다.

[1][2]에서 제안된 확률기반 플러딩 기법에서는 모든 노드들이 동등한 확률을 가지고 수신한 브로드캐스트 패킷을 재전송하게 된다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 확률 $1(p=1)$ 로 모든 노드들이 수신한 브로드캐스트 패킷을 재전송하면, 도착률을 100% 만족시킬 수 있지만 이로 인한 오버헤드가 지수적으로 증가하는 문제를 가지고 있다.

제 3 장 제안한 MANET에서의 확률기반 Flooding 기법.

제안한 플러딩 기법의 성능을 증명하기 위해 MANET에서의 Reactive 방식 라우팅 프로토콜 중 하나인 AODV를 이용하였다. AODV는 경로설정을 하기 위해서 송신 노드에서 수신 노드까지 경로를 설정해야한다. 먼저 송신 노드에서 RREQ(Route Request) 패킷을 주변의 노드들에게 플러딩 방식으로 전송을 한다. 플러딩 방식으로 전송된 RREQ 패킷은 다양한 경로를 거쳐 최종 목적 수신 노드에 전달이 되고 RREQ를 수신한 최종 목적 수신 노드는 송신 노드에서 최종 수신 노드까지의 중간 노드들을 포함한 RREP(Route Reply) 패킷을 송신 노드에게 전송한다. RREP를 수신한 송신 노드는 이 RREP에 기록된 정보를 이용해 데이터를 전송하게 된다.

MANET에서 Reactive 방식의 특성상 링크의 단절이 빈번히 발생하게 되어 Route discovery에 대부분의 시간을 소비하게 된다. 이러한 환경에서의 AODV 프로토콜에서는 RREQ의 잦은 전송으로 인해 노드와 무선 링크 자원을 낭비하게 된다. 이러한 단점을 본 논문에서는 수신 신호 세기에 기반하여 확률적으로 RREQ 패킷을 재전송하게 하여 불필요한 전송을 피해 네트워크의 트래픽을 감소시키고자 하는 플러딩 기법을 제안한다.

제 1 절 RSSI (Received Signal Strength Indication)

RSSI(Received Signal Strength Indication)는 무선 환경에서 사용하는 RF 신호의 상대적인 크기를 나타내는 값이다. 상대적인 신호의 크기는 dBm단위로 측정할 수 있으며, 이 값을 이용해 특정 노드 사이의 거리도 계산해 낼 수 있다. 802.11에서의 무선랜 환경은 크게 2가지 모드로 동작한다[12]. 첫 번째는 Infrastructure 모드이고, 두 번째는 Ad-hoc 모드이다. Infrastructure 모드에서 AP(Access Point) 역할을 하는 노드가 주기적으로 자기 자신의 정보를 포함한 Beacon 패킷을 전송한다. 실제 Ad-hoc 모드에서도 AP역할을 하는 노드가 존재하며 이 노드가 Beacon 패킷을 전송한다. 표 1에서 beacon frame body중 일부를 보여준다. 이 Beacon 패킷을 전송해야만 각각의 노드에서 RSSI를 측정할 수 있다.

표 1. Beacon frame format 중 일부

beacon interval (2Bytes)	Time Stamp (8Bytes)	SSID (32Bytes)	Information Element (256Bytes)	BSSID (6Bytes)
-----------------------------	------------------------	-------------------	-----------------------------------	-------------------

본 논문에서 RSSI는 신호를 수신하는 측에서 신호의 세기를 통계적인 방법에 근거하여 확률분포와 대조하여 RREQ를 재전송하는 기법을 제안한다. 이 방식을 이용하기 위해선 우선적으로 미리 정의된 다양한 지점에서의 신호 세기들의 RSSI 표본 수집을 통해 측정 하여야 한다. 이러한 과정을 거친 후 노드들이 송신신호를 수신할 때 발생하는 신호의 감쇠 정도를 계산한 후 이를 통해 수집된 표본과 매핑하여 확률적으로 RREQ를 재전송하게 된다.

수신 신호 세기인 RSSI는 이론적으로 수식(1)과 같이 희망신호의 세기(C), 간섭신호의 총합(I), 노이즈(N)의 합으로 나타낼 수 있다[11].

$$RSSI = C + I + N \quad (1)$$

RSSI 값의 측정은 propagation model에 의해 측정할 수 있다. 본 연구에서 RSSI 값인 Pr은 수신된 패킷과 관련이 있으며 아래에 나타낸 ns-2에서의 Two-ray ground propagation model(그림 13)을 따른다.

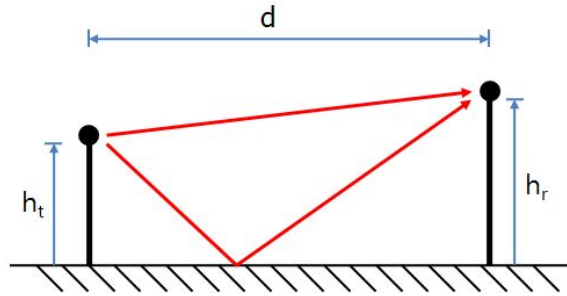


그림 13. Two-ray ground propagation 모델

이 모델은 수식 2를 이용하여 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리에 따라 수신 노드에서 전파 세기를 계산할 수 있다. 측정된 RSSI 값은 대체적으로 거리에 대하여 반비례의 관계를 보인다. 그 특성이 그림 11에서 보는 바와 같이 선형적이거나 완전한 지수함수의 형태를 보이지 못한다.

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

우선적으로 미리 정의된 다양한 지점에서의 신호 세기들의 RSSI 표본 수집을 통해 측정하기 위해 표 2에 나타난 것과 같이 파라미터들을 정의하고 ns-2 상에서 실제 거리 d 에 따른 실제 RSSI 값 변화를 측정하였다.

표 2. variables used in the equation (2)

Parameters	Descriptions	Default Value
G_t	Transmitter antenna gain	1.0
G_r	Receiver antenna gain	1.0
h_t	Transmitter antenna height	0.3
h_r	Receiver antenna height	0.3
L	System loss factor	1.0 (no loss)

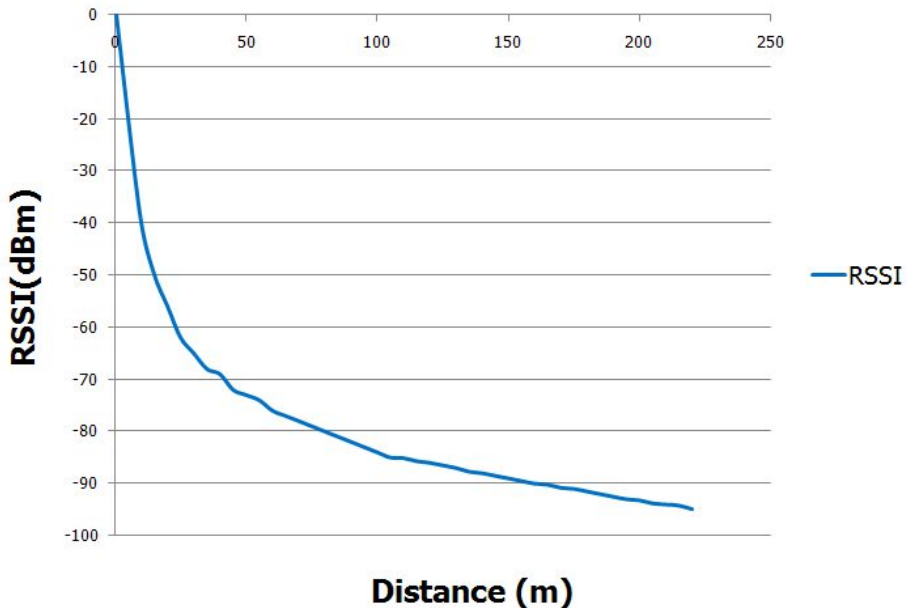


그림 14. RSSI 값의 로그함수 형태

그림 14은 2개의 노드로 측정 한 수신 노드 측에서의 RSSI 값을 로그 함수적으로 표현한 그래프인데 모든 노드가 동일한 송신 파워를 사용하여 패킷을 전송한다고 가정을 하고, 수신된 신호 세기 정보인 RSSI 값은 거리 함수인 d 에 따라 변화함을 관찰했다.

$$RSSI = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n RSSI_i \quad (3)$$

RSSI 값의 표본을 구하기 위하여 수식(3)으로 이용하며 단위시간동안 수신된 전체 RSSI값의 합을 수신된 RSSI값의 개수만큼 나누어 평균값을 도출했다. 모든 노드에서 거리에따른 RSSI 값이 정확하게 일치하지 않는데 그 요인으로는 아래와 같다.

- RSSI 값 변화 요인

(1) Transmitter variability

- 각각의 Transmitter들의 구성 및 하드웨어능력은 정확하게 일치하지 않음
- 전송 장치의 파워가 거의 일치 하기는 하나 완벽하게 동일하지는 않음

(2) Receiver variability

- 수신 장치들의 서로 다른 라디오 칩에 의해 수신 민감도가 동일하지 않음
- RSSI값의 기록은 서로 다른 수신기에 의해서 서로 다른 값을 얻을 수 있음

(3) Antenna orientation

- 각각의 안테나는 서로 다른 특성을 가지고 있음
- 수신 장치와 전송 장치의 안테나방향에 의해서도 수신 신호세기가 변할 수 있음

(4) Multi-pass Fading and shadowing in the RF channel

- 실내의 경우에는 벽이나 가구에 의해 신호가 반사됨
- 반사된 신호와 직접적으로 들어오는 신호를 구별하기 힘들어 정확한 신호 측정이 어려움

제 2 절. 제안한 확률 기반 Flooding 기법

데이터를 전달하기 위해서는 이웃 노드 간 통신이 가능한지를 확인하기 위해 제어 메시지가 전달된다. MANET에서의 Reactive 방식에서는 전달할 데이터가 있을 시에 Link를 형성하기에 이웃 노드들에게 RREQ 패킷을 전송하게 된다. 그러므로 데이터를 전송 가능하게 하기 위해서는 각 노드에서 목적지 노드까지의 경로가 확보되어야 하는데, 반대로 이를 확인하기 위해서는 최초 송신 노드부터 시작된 최소 플러딩 신호를 받을 수 있어야 한다. 즉 이 과정에서 플러딩 신호를 받지 못한 노드는 이웃하는 노드들과 연결을 할 수 없는 고립된 노드로 판단 할 수 있다.

1. 각 노드에서의 Flooding 패킷 재전송 확률 결정 기법

표 3. 제안한 플러딩 기법에 사용되는 파라미터

Input Parameters	
$pkt(i)$	Flooding packet을 전송한 Node의 Address (ith node)
$bc(i)$	Flooding 패킷의 Broadcast ID
$Rx(i)$	ith 노드에서 수신한 $pkt(i)$ 의 RSSI 값
\overline{Rx}	미리 결정된 임의의 Rx 값
$RN(i)$	노드 i 에서 생성된 Random Number
$P(i)$	Rebroadcast 확률 P
Output Parameters	
$Droppkt(i)$	ith 노드에 의해 drop된 Flooding 패킷
$Rbdpkt(i)$	$P(i)$ 의 확률로 재전송 된 ith 노드의 Flooding 패킷

표 3은 제안한 플러딩 기법에 사용되는 파라미터이다. 일련의 과정을 나타낸 알고리즘은 표 4에서 확인할 수 있다.

표 4. 제안한 플러딩 기법의 Algorithm

Algorithm

```

On hearing a Flooding packet m at node i
if  $Rx(i) < \overline{Rx}$  then
    node i has a low degree
    set low rebroadcast probability  $P = P_1$ 
else
    node i has a high degree
    set high rebroadcast probability  $P = P_2$ 
end if
generate a random number  $RN(i)$  over  $[0, 1]$ 
if  $RN(i) < P$  then
    rebroadcast Flooding packet
else
    drop Flooding packet
end if
    
```

표 4에 나타난 algorithm은 각 노드에서 Flooding 패킷을 수신했을 시에 수행하게 된다. 우선 확률을 결정하기 위해 2가지의 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째로 노드 i 에서 Flooding 패킷을 수신했을 때 그 패킷에서 수신 신호세기를 계산($Rx(i)$)한 후 미리 정해놓은 임의의 \overline{Rx} 값과 비교를 하여, $Rx(i)$ 의 값이 \overline{Rx} 보다 작으면 이 노드 i 를 낮은 정도로 판단하여 RREQ 재전송 확률을 P_1 로 결정한다. 이와 반대로 $Rx(i)$ 의 값이 \overline{Rx} 보다 크면 노드 i 를 높은 정도로 판단하여 Flooding 패킷 재전송 확률을 P_2 로 결정한다. 이 후에 각각의 노드에서 Random Number ($RN(i)$)를 생성시켜 위에서 결정된 P (P_1 과 P_2)와 비교를 하여 노드 i 에서 수신 신호 세기가 작으면 높은 확률로 Flooding 패킷을 재전송하게 하고, 수신 신호 세기가 크면 낮은 확률로 flooding 패킷을 재전송하게 한다.

수신 신호 세기($Rx(i)$)는 그림 14에서 나타난 결과에 역수를 취한 후 이용하였으며, \overline{Rx} 의 값은 100dBm, P_1 과 P_2 는 각각 0.3과 0.8을 대입하였다.

2. 플러딩 과정 (Flooding Phase)

다음은 본 연구에서 제안된 플러딩 기법의 과정으로 플러딩으로 사용하는 AODV[14][15]의 라우트 형성 과정 중 RREQ 전송을 토대로 제안한 기법이 적용된 ADOV-EF의 RREQ 전송 과정을 나타낸다. 전송노드의 전송범위 경계에 있는 노드가 수신한 패킷을 폐기하는 것을 허용하고 수신 노드가 전송 노드의 전송 범위의 밖으로 이동할 수 있다.

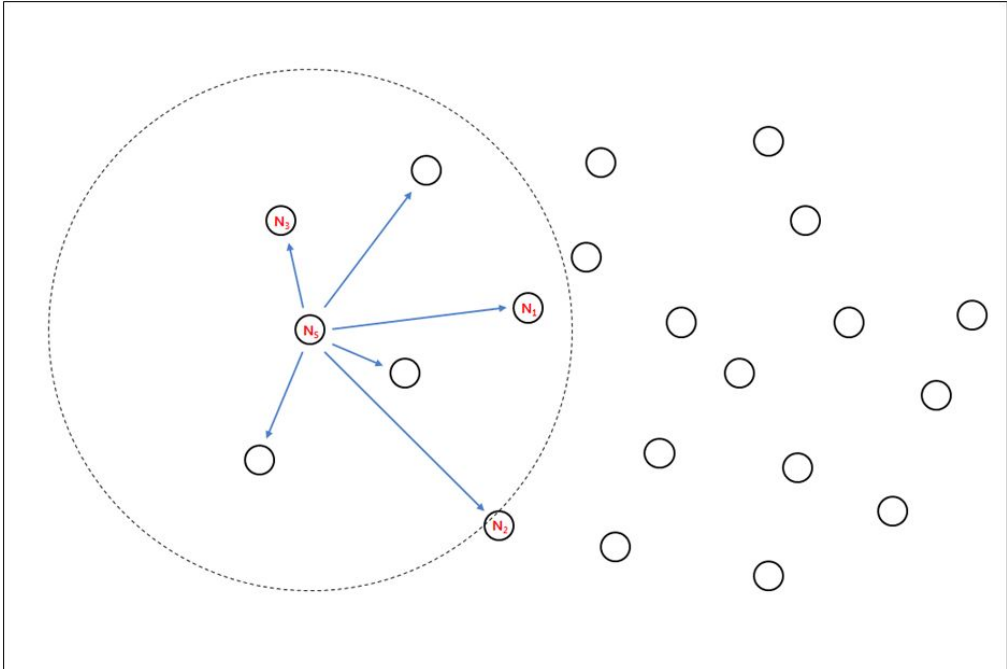


그림 15. 초기 RREQ packet 플러딩 과정

그림 15에서 N_s 는 최초 RREQ 패킷을 N_s 전송범위 안에 있는 모든 노드들에게 broadcast 하게 된다. RREQ를 수신한 노드들은 수신 된 패킷에서 RSSI를 계산하게 된다.

$$P_{min} < P_{RSSI} < P_{max}$$

수신 신호의 세기인 P_{RSSI} 는 그림에서 볼 수 있듯이 거리에 따라 P_{min} 과 P_{max} 사이의 값을 가지게 된다. 이 P_{RSSI} 를 가지고 동적인 확률 값으로 RREQ 패킷 재전송을 결정짓게 되는데 이 확률은 랜덤 넘버를 가지고 결정하게 된다. 수신한 패

킷의 RSSI 값을 이용하여 수신된 P_{RSSI} 의 값이 P_{max} 에 가까우면 확률 값을 작게 적용시켜 RREQ 패킷 재전송 확률을 낮추고, 수신된 P_{RSSI} 의 값이 P_{min} 에 가까우면 확률 값을 크게 적용시켜 RREQ 패킷 재전송 확률을 높지게 된다. RREQ 패킷을 수신받은 N_5 에 가까이 위치한 N_3 를 포함한 노드들은 확률 P 가 상대적으로 작게 되어 RREQ 패킷을 재전송하지 않게 된다. 반면에 N_1 는 작은 RSSI 값에 의해 높은 확률로 RREQ를 재전송한다. N_2 의 경우는 아주 작은 수신신호세기로 RREQ를 수신하지만, physical layer에 의해 수신한 RREQ packet이 폐기될 수도 있다.

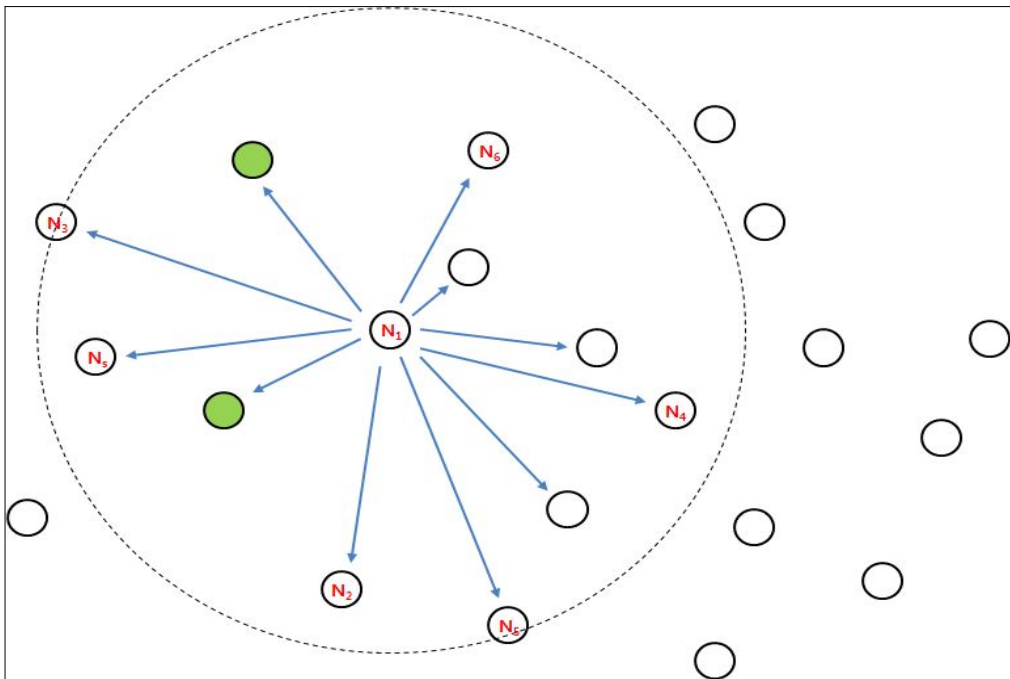


그림 16. N_5 로부터 RREQ 패킷을 수신한 N_1 의 RREQ 재전송

그림 16에서 N_5 는 RREQ를 전송받은 N_1 는 RREQ 재전송 확률이 높음으로, 수신한 RREQ를 주위 노드들에게 재전송하게 된다.

● 는 에서 수신한 RREQ와 같은 RREQ를 중복수신 하게 되는 노드를 표현한 것이다. 각각의 노드는 RREQ를 전송한 노드의 노드 ID와 이 RREQ의 broadcast ID를 list로 유지하게 되며, RREQ를 수신했을 시 이 list 와 비교를 하여 RREQ

를 중복수신하게 되는 경우엔 두 번째부터 받은 RREQ를 폐기시키고 재전송 하지 않는다. 여기에선 높은 재전송 확률 P 를 갖게 되는 N_2 와 N_4 가 재전송을 하게 된다.

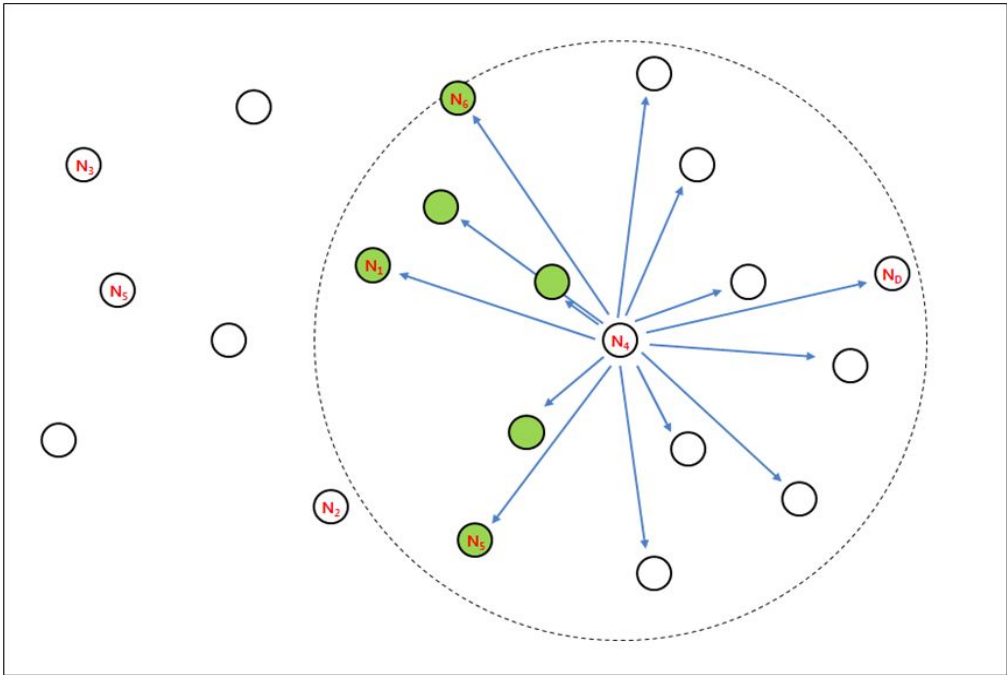


그림 17. N_1 으로부터 RREQ를 수신한 N_4 의 RREQ의 재전송

그림 17에서 N_4 는 앞에 나타난 절차를 토대로 RREQ를 재전송 하게 되는데 이런 방법으로 N_D 에 N_S 에서 전송한 RREQ 패키지가 전송된다.

제 4 장 성능 평가

본 장에서는 제안한 수신 신호 세기 기반 확률적 플러딩 기법을 NS-2로의 구현과 성능 측정을 위한 시뮬레이션 환경, 그리고 실험 결과를 분석하여 제안한 기법의 성능 개선 효과를 기술한다.

제 1 절 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안한 수신신호세기 기반 확률적 플러딩 기법의 성능을 측정하기 위해서 NS-2 시뮬레이터(버전 2.29.3) 상에서 구현하였다. 그리고 시뮬레이터 파라미터는 표 5와 같고 실험에 변화를 주었던 시뮬레이션 파라미터는 이동성(pause time)이다. 성능 개선 효과를 확인하기 위하여 기존의 MANET에서의 AODV와 제안한 수신 신호 세기 기반 확률적 플러딩 기법을 적용한 AODV-EF(AODV with Enhanced flooding)를 서로 비교한다.

표 5. 시뮬레이션에 사용된 파라미터

Parameter	value
Transmitter range	250m
Bandwidth	2 Mbit
Interface queue length	50 messages
Simulation time	900 s
Mobility Model	Random waypoint model - Pause time : 0, 20, 50, 100, 300, 600, 900s (default : 100 sec) - Speed : 0 ~ 5m/sec
Topology size	300x1500m ²
Number of node	100

제 2 절 시뮬레이션 결과 및 분석

라우팅 성능 평가와 브로드캐스트 트래픽 감소를 확인하기 위하여 4가지 부분에서 기존의 AODV와 제안한 기법으로 개선한 AODV-EF를 비교 분석하였다.

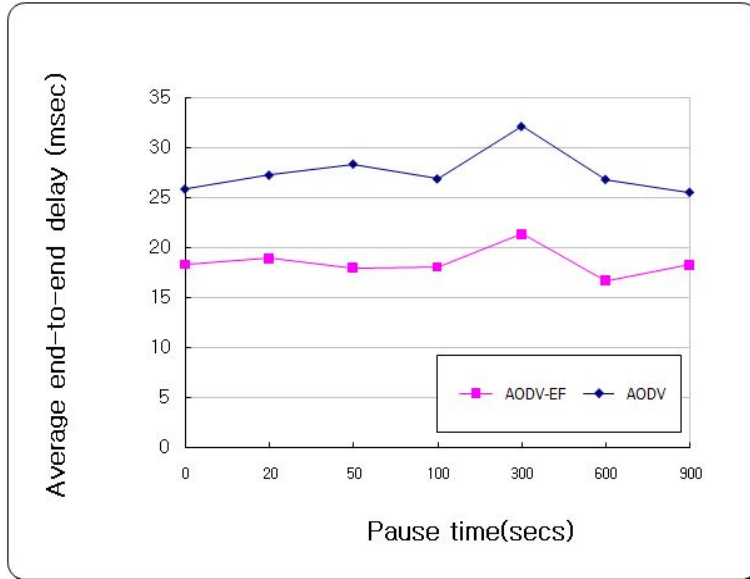


그림 18. 이동성 변화에 따른 종단간 지연시간

그림 18에서 보면 이동성 변화에 따른 종단간 지연시간을 볼 수 있는데, 이 종단간 지연 시간에는 인터페이스 큐잉 지연, 라우트 형성 지연, 전송 지연 등이 포함된다. 이러한 종단간 평균 패킷 전송 지연은 패킷을 최초로 전송한 시점에서부터 마지막 노드가 패킷을 수신한 시점까지의 평균적인 지연을 의미하는 것으로 모의 실험 상에서 모든 네트워크 노드가 동일한 패킷을 수신하는데 필요한 평균적인 시간이다. Reactive 라우팅 프로토콜의 경우 라우팅 루트 형성을 위해 빈번하게 RREQ를 전송하게 되므로 제안한 기법인 AODV-EF는 RREQ 전송을 감소시키기 때문에 패킷의 종단간 전송 지연 시간이 기존의 AODV보다 11 ~ 12%정도 줄어들었음을 확인할 수 있다.

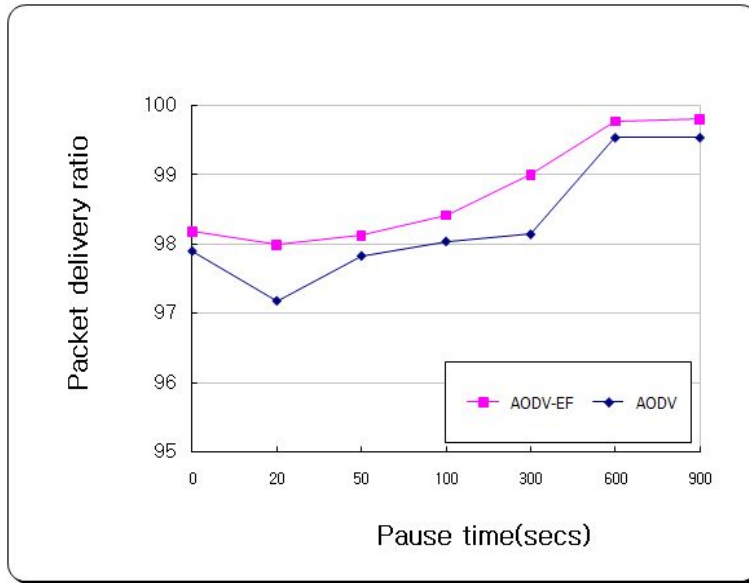


그림 19. 이동성 변화에 따른 패킷 전달률

그림 19은 이동성 변화에 따른 패킷 전달률의 결과를 보여준다. 기존의 AODV보다 AODV-EF의 패킷 전달률이 향상 됐음을 확인 할 수 있다. 위에서 살펴볼 수 있는 중단간 평균 지연시간과 패킷 전달률의 향상은 네트워크 혼잡을 줄여 전체 네트워크 성능을 향상 시킬 수 있다.

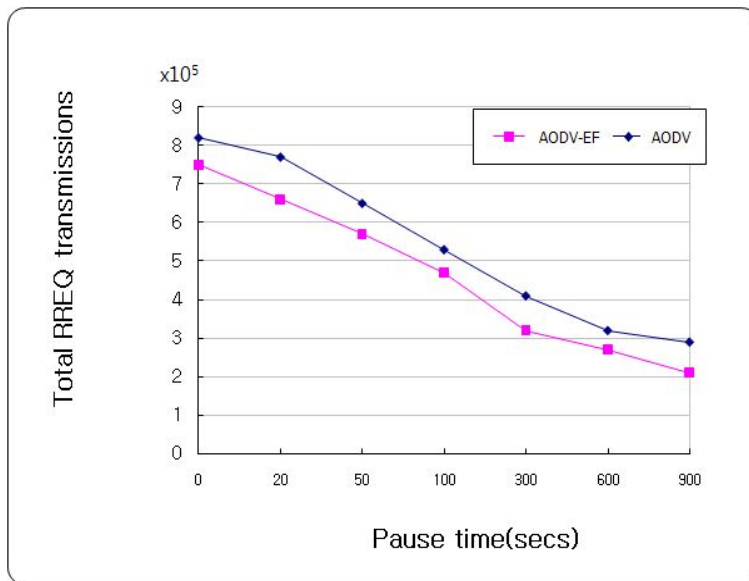


그림 20. 이동성 변화에 따른 총 RREQ 전송량

그림 20은 시뮬레이션을 수행하는 동안의 RREQ 총 전송량을 나타내는데, 기존의 AODV보다 개선한 AODV-EF의 총 RREQ 전송량이 9%정도 감소됨을 확인 할 수 있다. 그림 21은 MAC 레이어에서의 충돌 수를 나타낸 것인데 기존의 AODV 프로토콜보다 11% 정도 감소되었다. 이러한 결과를 토대로 제안한 기법인 AODV-EF는 기존의 AODV보다 네트워크 혼잡을 줄이고 또한 각 노드의 에너지 소비를 감소시킬 수 있음이 확인되었다.

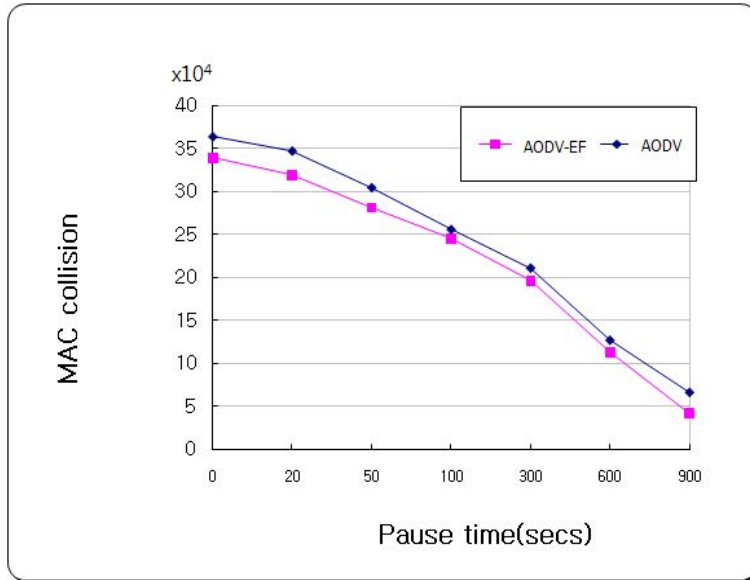


그림 21. 이동성 변화에 따른 MAC 충돌현황

제 5 장 결 론

본 논문에서는 액세스 포인트와 같은 기반 구조가 없는 MANET에서 broadcast storm problem과 같은 기존의 flooding 기법들의 문제점을 해결하기 위해 불필요한 전송을 피하기 위한 확률기반 flooding 기법을 제안했다. 네트워크의 각각의 노드들은 수신한 브로드캐스트 패킷을 재전송함에 있어서 수신 신호 세기인 RSSI 값을 이용하여 확률적으로 재전송하도록 하여 패킷의 전송 비율, 중복패킷과 오버헤드를 낮추고, 패킷의 수신 비율을 높일 수 있도록 하였다. 성능평가를 위해 AODV 프로토콜을 선정하여 동일 MANET 환경에서 종단간 평균 지연시간, 패킷 전달률, 총 RREQ 패킷 전송량, 패킷 전송에서 오는 MAC충돌을 정의하였다. 제안한 수신 신호 세기 기반 확률적 플러딩 기법으로 개선한 AODV-EF는 기존의 AODV 프로토콜보다 종단간 전송 지연 시간을 11~12% 감소시키고 유효 패킷 전송률을 증가시킴에도 패킷 전달률 증가와 같은 부작용이 나타나지 않는 것으로 확인되었고 결과적으로 플러딩 완료 시간을 줄이고 전체 플러딩 트래픽을 감소시킬 수 있었다.

본 연구의 향후 과제로서 MANET에서 Proactive 라우팅 프로토콜에서도 사용할 수 있는 수신 신호 세기 기반 확률적 플러딩 기법을 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] S. Corson and J. Macker, Mobile ad hoc networking (MANET): Routing protocol performance issues and evaluation considerations (Internet-draft), in: Mobile Ad-hoc Network (MANET) Working Group, IETF(1998).
- [2] Y-C Tseng, S-Y Ni, Y-S Chen, and J-P Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," ACM/Kluwer Wireless Networks, No. 8, 2002, pp. 153-167.
- [3] Y-C Tseng, S-Y Ni, and E-Y Shih, "Adaptive Approaches to Relieving Broadcast Storms in a Wireless Multihop Mobile Ad Hoc Network," IEEE Transactions on Computer, Vol. 52, No. 5, May 2003, pp. 545-557.
- [4] R. Gandhi, S. Parthasarathy and A. Mishra, "Minimizing Broadcast Latency and Redundancy in Ad Hoc Networks," MOBIHOC'03, June 1 - 3, 2003.
- [5] A. Qayyum, L. Viennot, and A. Laouiti, "Multipoint relaying for flooding broadcast messages in mobile wireless networks," HICSS'02, Jan 2002
- [6] H. Lim and C. Kim, "Flooding in Wireless Ad Hoc Networks," Computer Communications Journal, Vol. 24, No. 3, Feb. 2001, pp. 353-363.
- [7] J. Wu; Fei Dai, "Broadcasting in ad hoc networks based on self-pruning," INFOCOM, vol. 3, pp. 2240 -2250, 30 March - 3 April 2003
- [8] B. Williams, and T. Camp, "Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks," MOBIHOC, ACM Press, pp. 194-205, 2002.
- [9] Y.J. Yi, M. Gerla, and T.J. Kwon, "efficient Flooding in Ad hoc Networks: a Comparative Performance Study," Proc, of IEEE ICC, Vol. 2, No. 11-15, May 2003, pp. 1059-1063.
- [10] A. Qayyum, L. Viennot, and A. Laouiti, "Multipoint Relaying for Flooding Broadcast Message in Mobile Wireless Networks," Proc. of the 35th Hawaii International Conference on System Sciences, Jan. 2002.
- [11] H. T. Friis. A note on a simple transmission formula. Proc. IRE, 34, 1946.
- [12] LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, IEEE

standard 802.11TM-2007, Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications (June 2007).

- [12] B. Bellur and R.G. Ogier, "A Reliable, Efficient Topology Broadcast Protocol for Dynamic Networks," Proc. of IEEE INFOCOM 'y99, Vol. 1, Mar. 1999, pp. 178-186.
- [13] K. Mase, Y. Wada, N. Mori, K. Nakano, and M. Sengoku, "'Flooding Schemes for Clustered Ad Hoc Networks,'" IEICE Trans. on Communications, Vol. E85-B, No. 3, Mar. 2002, pp. 605-613.
- [14] C. E. Perkins and E. M. Royer. Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing. In Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA), pages 90 - -100, 1999.
- [15] C. E. Perkins, E. M. Royer, and S. R. Das. Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing.
<http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-07.txt>, Nov 2000.
IETF Internet Draft (work in progress).

