

이학박사 학위논문

멀티 홉 무선 네트워크를 위한 인터넷 연결성  
및 멀티캐스트 포워딩 기법

(Internet Connectivity and Multicast Forwarding  
Mechanisms for Multi-Hop Wireless Networks)

2007년 2월

서울시립대학교 대학원  
컴퓨터·통계학과 전산전공  
김 영 민

멀티 홉 무선 네트워크를 위한 인터넷 연결성  
및 멀티캐스트 포워딩 기법  
(Internet Connectivity and Multicast Forwarding  
Mechanisms for Multi-Hop Wireless Networks)

지도교수 안 상 현

이 논문을 박사학위 논문으로 제출함

2006년 12월 일

서울시립대학교 대학원  
컴퓨터·통계학과 전산전공  
김 영 민

김영민의 이학 박사학위 논문을 인준함.

심사위원장 이 동 회 인

심 사 위 원 이 병 정 인

심 사 위 원 임 유 진 인

심 사 위 원 이 재 훈 인

심 사 위 원 안 상 현 인

2006년 12월 일

서울시립대학교 대학원

## 국문 초록

이동 애드혹 네트워크(Mobile Ad Hoc Network; MANET)는 유선 인프라 없이 구축된 무선 네트워크이며 멀티 홉 통신을 수행할 수 있다. 인터넷 노드와 통신하고자 하는 MANET 노드에게 인터넷 연결성 지원을 가능하게 하는 방법이 요구되며 인터넷 연결은 인터넷과 MANET을 중계하는 인터넷 게이트웨이(Internet Gateway; IGW)를 통해 지원된다. 네트워크의 대역폭을 증가시키고 폴트 톨러런스를 강화하기 위해 다중 인터넷 게이트웨이들을 MANET에 배치하여 사용할 수 있다. 인터넷 게이트웨이들 간의 부하를 잘 분배한다면 네트워크 성능 향상을 얻을 수 있으므로, MANET 내에 여러 개의 인터넷 게이트웨이들이 존재할 경우 이들 간의 부하 균등화는 중요한 이슈이다. 본 연구에서는 부하 균등화를 위한 기존 기법들을 소개하고 이들에 대한 성능 분석을 수행한다.

또한, 다중 IGW를 갖는 MANET에서 애드혹 노드들의 이동 여부에 따라 애드혹 노드들의 이동이 가능한 경우와 애드혹 노드들이 고정되어 있는 경우에 적합한 부하 균등화 기법들을 제안한다. 기존 연구들에서는 단일 메트릭을 이용한 부하 균등화 알고리즘들을 제안하지만, 본 연구에서는 이들을 상호 보완적으로 이용하여 부하 균등화를 통한 향상된 전송률을 얻었다. 시뮬레이션을 통하여 본 연구에서 제안한 새로운 기법의 성능이 기존 기법에 비하여 향상되었음을 보인다.

또한 본 연구에서는 MANET에서 이용할 수 있는 멀티캐스트 데이터

포워딩 기법을 제안한다. 본 연구에서 제안하고 구현한 IPv6 기반 이동 애드혹 네트워크 환경을 위한 멀티캐스트 데이터 포워딩 기법은 리눅스 환경에서 넷필터와 중복을 방지하기 위한 별도의 테이블을 사용하여 트리 기반 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 의해 결정된 경로를 이용한 효율적인 멀티캐스트 데이터 포워딩을 지원한다.

주요어 : 인터넷 연결성, 게이트웨이 발견, 부하 균등화, 멀티캐스트 데이터 포워딩

# 목 차

제1장 서론 .....	1
제2장 관련 연구 .....	6
2.1 이동 애드혹 네트워크 .....	6
2.2 주소 자동 설정 .....	9
2.3 인터넷 연결 지원을 위한 메커니즘들 .....	14
2.3.1 IGW 발견 및 변경 .....	14
2.3.2 세션 관리 .....	17
2.3.3 DIGW와의 경로 설정 .....	18
2.4 부하 균등화를 고려한 기존 IGW 발견 기법들 .....	19
2.5 MAODV와 ODMRP에서의 멀티캐스트 데이터 포워딩 .....	24
제3장 부하 균등화를 고려한 새로운 IGW 발견 기법 .....	27
3.1 서론 .....	27
3.2 애드혹 노드의 이동이 빈번한 환경에서의 IGW 발견 기법 .....	29
3.2.1 시뮬레이션 환경 .....	29
3.2.2 기존 기법들의 성능 분석 .....	32
3.2.3 향상된 IGW 발견 기법 .....	37
3.2.4 향상된 IGW 발견 기법의 성능 분석 .....	40
3.3 애드혹 노드의 이동이 없는 환경에서의 IGW 발견 기법 .....	45

3.3.1 SMN .....	46
3.3.2 SIGW .....	48
3.3.3 성능 평가 .....	52
제4장 멀티 홉 애드혹 네트워크를 위한 멀티캐스트 포워딩 .....	58
4.1 서론 .....	58
4.2 애드혹 멀티캐스팅에서 발생할 수 있는 중복 문제 .....	59
4.3 이동 애드혹 멀티캐스트 데이터 포워딩 .....	61
4.3.1 이동 애드혹 멀티캐스트 데이터 포워딩 구현 .....	64
4.3.2 패킷 중복 처리 방법 .....	66
4.4 동작 실험 및 성능 분석 .....	72
4.4.1 AMF 동작 실험 .....	72
4.4.2 성능분석 .....	75
제5장 결론 .....	80

## 그림 목차

그림 1. 멀티 홉 액세스 네트워크 .....	2
그림 2. Conflict-detection 기법의 주소 할당 과정 .....	9
그림 3. Conflict-free 기법의 주소 할당 과정 .....	11
그림 4. Prophet 주소 할당 과정의 예 .....	12
그림 5. Reactive 발견 기법에서의 메시지 교환 .....	16
그림 6. SP 기법과 MLI 기법에 의해 형성된 경계 .....	22
그림 7. 시뮬레이션을 위한 네트워크 .....	30
그림 8. MANET 노드들의 노드 이동 빈도별 SP, MLI, RVM 기법의 packet delivery ratio 비교 .....	34
그림 9. MANET 노드들의 노드 이동 빈도별 SP, MLI, RVM 기법의 normalized control packet overhead 비교 .....	36
그림 10. 가중치 $W$ 의 변화에 따른 packet delivery ratio 비교 .....	41
그림 11. MANET 노드들의 노드 이동 빈도별 부하 균등화 기법들의 packet delivery ratio 비교 .....	43
그림 12. IGW별 데이터 수신률 .....	44
그림 13. IGW 광고 메시지의 수정된 프리픽스 정보 옵션 형식 .....	47
그림 14. 수정된 IGW 요청 메시지 형식 .....	49
그림 15. IGW 시그널링 메시지 형식 .....	50
그림 16. 시뮬레이션을 위한 망 구성 .....	53
그림 17. 가중치의 변화에 따른 전송률 .....	54



그림 18. 네 가지 부하 균등화 기법의 성능 비교 .....	55
그림 19. 기존 연구와의 성능 비교 .....	57
그림 20. 역전송에 의한 중복 .....	59
그림 21. 트리를 벗어난 전송에 의한 중복 .....	60
그림 22. 멀티 홉 애드혹 멀티캐스트 데이터 포워딩 순서도 .....	63
그림 23. IPv6 넷필터 구조 .....	65
그림 24. 역전송에 의한 중복 방지 .....	69
그림 25. $k_i$ 값이 1인 경우의 메모리 사용량 .....	78
그림 26. $k_i$ 값이 10인 경우의 메모리 사용량 .....	79

## 표 목차

표 1. 부하 균등화 기법의 종류 .....	46
표 2. 유일한 아이디를 사용하는 방법에서 멀티캐스트 데이터 포워딩을 위해 필요한 자료구조들 .....	67
표 3. AMF에서 멀티캐스트 데이터 포워딩을 위해 필요한 자료구조들 .....	71
표 4. 트리를 벗어난 전송에 의한 중복을 방지하기 위한 테이블 (노드 A) .....	73
표 5. 역전송에 의한 중복을 방지하기 위한 테이블 (노드 A) .....	74
표 6. 수식에 사용되는 표현들 .....	75

## 제1장 서론

이동 애드혹 네트워크(Mobile ad hoc network; MANET)는 기지국과 같은 인프라를 요구하지 않는 멀티 홉 무선 네트워크이다. 이동 노드들 간의 데이터 교환을 위해 MANET을 이용하면 낮은 비용으로 제한된 범위의 네트워크를 구성할 수 있다. 하지만 특정 지역에 국한된 소규모 네트워크는 오늘날과 같은 글로벌 네트워크 시대에 호소력이 부족하다. 일반 네트워크 사용자들에게 MANET을 사용하도록 유도하기 위해서는 MANET과 인터넷의 연동이 불가피하다.

MANET을 인터넷과 연동시키기 위하여 인터넷 게이트웨이(Internet gateway; IGW) 개념이 소개되었으며, 이는 MANET과 유선 인터넷 망을 연결함으로써 MANET 이동 노드들에게 인터넷 연결을 제공한다. <그림 1>은 본 연구에서 인터넷 연결성 지원을 위해 고려하고 있는 멀티 홉 액세스 네트워크의 예를 보인 것이다. 모든 IGW들은 고정되어 있다는 가정 하에 본 연구를 진행할 것이다. MANET 노드들은 연결 가능한 IGW들 중에서 자신에게 가장 적합한 IGW를 인터넷 게이트웨이로 선택할 수 있다.

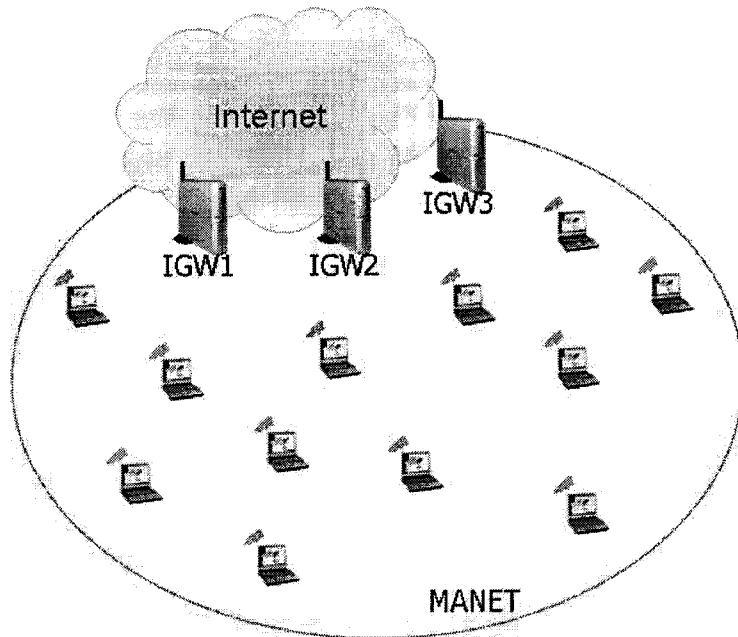


그림 1. 멀티 홉 액세스 네트워크

MANET에서의 인터넷 연결 제공에 관한 이슈는 핸드오버와 적절한 IGW 발견 기법이다. MANET 노드들은 이동성을 가지므로 노드의 데이터 전송 중에 인터넷 연결을 위해 사용 중인 IGW의 범위를 벗어나면 새로운 IGW로의 연결이 요구되며 이때 핸드오버가 수행된다. 기존에 많이 연구되었던 단일 홉 액세스 네트워크에서의 핸드오버와 달리 본 연구에서 고려하는 다중 홉 액세스 네트워크에서의 핸드오버는 보다 복잡한 문제를 지닌다. IGW의 통신 범위 내에 있지 못한 MANET 노드들은 다른 MANET 노드들의 중계를 통하여 IGW에 연결되므로 단일 홉 액세스 네트워크에서 사용하는 신호 세기에 의한 핸드오버 방식은 적합하지 않다. 다중 홉 액세스 네트워크에서의 핸드오버는 통신 당사자 노드나 중계 노드의 이동으로 인하여 통신 경로가 더 이상 유효하지 않은 경우

에 발생한다. 본 연구에서는 IGW 발견 기법에 중점을 두기 때문에 핸드 오버 이슈는 다루지 않는다. 만일 인터넷 연결을 위한 IGW를 변경할 경우 새로운 IGW 선택과 경로 재설정으로 통신을 재개할 수 있다.

MANET 내에 연결 가능한 둘 이상의 IGW들이 존재하면 한 IGW가 동작을 멈추더라도 다른 IGW를 이용하여 인터넷 연결을 할 수 있으며, 여러 IGW들을 고르게 이용하면 인터넷 노드와 통신하는 대역폭도 늘릴 수 있다. 이렇게 다중 IGW들 간의 부하를 잘 분배하는 경우 네트워크 성능 향상을 얻을 수 있으므로, MANET 내에 여러 개의 IGW들이 존재할 경우 이들 간의 부하 균등화는 중요한 이슈이다. 본 연구에서는 기존의 부하 균등화 기법들을 소개하고 시뮬레이션을 통해 이들의 성능을 비교 분석한다. 또한 본 연구에서는 다중 IGW들을 갖는 멀티 홉 애드혹 네트워크 환경에서 애드혹 노드들의 이동이 없는 환경(예, 메쉬 네트워크 [1])과 이동이 빈번한 환경에 최적화할 수 있는 부하 균등화 기법들을 제안한다. 본 연구에서 지향하는 부하 균등화의 목적은 IGW를 통해 인터넷 노드와 통신하는 애드혹 노드들의 전송률의 합을 최대로 하는 것이며 성능 분석에서는 전송률에 주안점을 둘 것이다.

애드혹 노드에서 인터넷 연결을 위한 최적의 IGW를 선택하기 위해서는 적절한 메트릭이 필요하다. 기존 연구들에서는 메트릭으로써 애드혹 노드와 IGW 사이의 홉 수, IGW의 부하 등을 각각 독립적으로 이용하는 반면, 본 연구에서는 이들 메트릭을 혼합하여 상호 보완적으로 이용한다. 시뮬레이션을 통하여 새로운 메트릭을 이용할 때 더 높은 전송률을 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한, 애드혹 노드와 IGW 사이의 경로를

설정할 때 라우팅 제어 메시지의 범위를 제한하여 라우팅 제어 메시지로 인한 오버헤드를 줄이는 기법을 제안한다.

또한, 본 연구에서는 멀티 홉 무선 네트워크 환경에서 멀티캐스트 패킷을 전송하기 위한 포워딩 기법을 제안한다. 이 기법은 애드혹 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 의해 생성된 라우팅 테이블을 이용하여 멀티캐스트 패킷을 포워딩하고자 할 때 사용한다.

유선 환경에서 노드의 네트워크 인터페이스는 다른 노드의 네트워크 인터페이스와 1대1로 연결되고, 네트워크 인터페이스로 들어온 패킷이 다른 노드로 전달되어야 한다면 해당되는 다른 네트워크 인터페이스를 통해 전달된다. 그러나 이동 애드혹 네트워크 환경에서 대부분의 노드는 하나의 네트워크 인터페이스를 가지며 패킷 진입 인터페이스와 진출 인터페이스가 같고 노드의 무선 네트워크 인터페이스는 이웃 노드의 네트워크 인터페이스들과 1대다의 관계를 갖는다. 이동 애드혹 환경에서 멀티캐스트 데이터 포워딩 시에 이러한 특성을 고려하지 않을 경우 패킷 중복 현상과 라우팅 루프 문제 등이 유발될 수 있다. 하지만, 멀티캐스팅의 측면에서는 한 번의 전송으로 여러 노드들이 동시에 수신 가능하므로 부족한 무선 대역폭을 절약할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서 제안하고 구현한 IPv6 기반 이동 애드혹 네트워크 환경을 위한 멀티캐스트 데이터 포워딩 기법은 리눅스 환경에서 넷필터(Netfilter)[2]와 중복을 방지하기 위한 별도의 테이블을 사용하여 트리 기반 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 의해 결정된 경로를 이용한 효율적인 멀티캐스트 데이터 포워딩을 지원한다.

본 연구는 2장에서 관련 연구들을 살펴보고, 3장에서는 인터넷 연결성을 지원하기 위해 부하 균등화를 고려한 새로운 IGW 발견 기법들을 제안하고 그 성능을 분석한다. 4장에서는 멀티 홉 애드혹 네트워크를 위한 멀티캐스트 포워딩 기법을 제안하고 5장에서 결론을 맺는다.

## 제2장 관련 연구

본 논문에서 제안하는 기법들의 이해를 돕기 위해 본 장에서는 MANET의 기본적인 개념을 살펴본 후, MANET 환경에서 이용 가능한 주소 자동 설정 기법들을 소개한다. 또한, MANET 노드들에게 인터넷 연결을 제공하기 위한 기본적인 기법들을 소개하고, 다중 IGW를 이용하는 환경에서의 IGW들 간의 부하 균등화 기법들을 소개한다. 마지막으로 멀티캐스트 데이터 포워딩을 위한 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들을 설명할 것이다.

### 2.1 이동 애드혹 네트워크

이동 애드혹 네트워크(MANET)는 유선 인프라를 구축하지 않고 무선 노드들로만 구성된 네트워크이다. MANET은 무선랜의 액세스 포인트와 같은 장비를 요구하지 않으며 무선 노드들 사이의 자체적인 라우팅 과정을 통하여 멀티 홉 통신이 가능하다. 또한 MANET 노드들은 이동이 가능하므로 현재 네트워크의 상황에 맞는 경로를 새롭게 설정할 수 있어야 한다. MANET과 관련하여 여러 분야에 걸친 연구들이 진행 중이지만, 본 절에서는 MANET 노드를 인터넷 노드와 연결시키기 위해 필요한 MANET에서의 유니캐스트 라우팅 프로토콜을 소개한다.

MANET에서의 유니캐스트 라우팅 프로토콜은 라우팅 제어 메시지의



전달 방법에 따라 reactive 라우팅 프로토콜, proactive 라우팅 프로토콜, hybrid 라우팅 프로토콜로 나눌 수 있다.

- Reactive 라우팅 프로토콜

전달할 데이터가 있을 경우에만 경로를 설정하는 라우팅 기법으로 전달할 데이터를 가진 노드는 해당 목적지와의 경로를 설정하기 위해 경로 설정을 위한 제어 메시지를 브로드캐스트한다. 이를 수신한 목적지 노드는 제어 메시지를 전송한 노드에게 유니캐스트로 응답을 보내어 양방향 경로를 설정한다. 이러한 라우팅 프로토콜로는 DYMO [3], AODV [4], DSR [5] 등이 있다.

- Proactive 라우팅 프로토콜

인터넷에서의 라우팅과 비슷하게 MANET 노드들이 모든 가능한 목적지에 대한 경로를 미리 설정해 놓는 라우팅 기법으로 MANET 노드들은 경로 설정을 위한 제어 메시지를 주기적으로 전송한다. 이러한 주기적인 제어 메시지의 전송은 네트워크 오버헤드를 발생시키며, 현재 이 제어 메시지의 양을 줄이기 위한 연구들이 활발히 연구 중이다. Proactive 라우팅 프로토콜에는 OLSR [6], TBRPF [7], DSDV [8] 등이 있다.

- Hybrid 라우팅 프로토콜

전체 MANET을 여러 개의 그룹으로 나누어 그룹 내에서는 proactive 라우팅 프로토콜을 사용하고 그룹과 그룹간의 통신에는 reactive 라우팅 프로토콜을 사용하는 방법이다. 이러한 라우팅 프로

토콜에는 ZRP [9]가 있다.

## 2.2 주소 자동 설정

MANET에서 사용하도록 제안된 주소 자동 설정 기법은 conflict-detection 기법과 conflict-free 기법으로 분류할 수 있다 [10]. conflict-detection 기법에서는 랜덤한 주소를 발생시킨 후 이 주소를 사용하고 있는 노드가 MANET 내에 존재하는지를 검사한다. 검사를 위해 브로드캐스트 메시지에 설정할 주소를 넣어 전송하며, 메시지 내의 주소와 같은 주소를 사용하고 있는 노드는 응답을 보내 이 주소를 사용하지 못하게 한다 (<그림 2>). 또한 MANET의 병합으로 인한 주소 충돌을 방지하기 위해 라우팅 프로토콜의 제어 메시지를 활용하며, 경로 설정 과정에서 주소 충돌을 감지하여 충돌이 발생하면 주소를 변경하도록 요청한다.

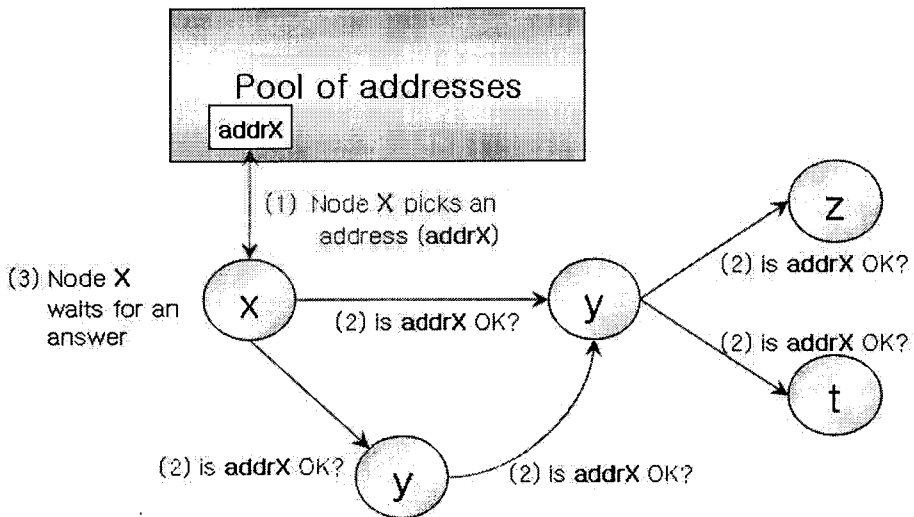


그림 2. Conflict-detection 기법의 주소 할당 과정

Weak DAD[11]와 Passive DAD[12]는 둘 이상의 MANET들이 병합할 때에 발생할 수 있는 주소 중복도 감지하고 해결할 수 있다. Weak DAD 기법에서 이동 노드들은 임의로 선택하거나, 유일한 아이디에 기초하여 생성된 키를 라우팅 제어 메시지에 추가한다. 각 노드들은 주소 자동 설정을 위해 주소와 키의 쌍을 함께 저장하며, 라우팅 제어 메시지를 수신했을 때 자신의 주소와 라우팅 제어 메시지의 발신자 주소는 같지만 키들은 서로 다를 경우에 중복 주소임을 알 수 있다. Passive DAD는 인터페이스 키와 같은 추가적인 정보를 필요로 하지 않고 라우팅 제어 메시지에 기본적으로 포함되어 있는 일련번호를 이용하여 주소 중복을 감지할 수 있다.

conflict-free 주소 할당 방식[13]은 이진 분할 (binary split) 개념 기반의 기법이다. 다음은 이진 분할 기법의 개념을 소개한다. 망의 첫 번째 노드는 스스로 리더 노드가 되어 모든 주소 공간을 관리하며 새로 진입한 노드에게 주소를 할당해 주는 동시에 자신의 주소 공간 절반을 위임한다. 새로운 노드가 망에 진입하여 제어 메시지를 이용하여 주변의 노드에게 자신의 새로운 주소를 요청하면, 이 메시지를 수신한 노드는 요청한 노드에게 자신이 가진 주소 공간 중 현재 사용하지 않는 주소 한 개를 할당하고, 자신이 관리하는 주소 공간의 절반을 위임한다. 이후 새로운 주소 공간을 할당 받은 노드는 리더 노드와 마찬가지로 다른 노드에게 주소 및 주소 공간을 할당할 수 있다 (<그림 3>).

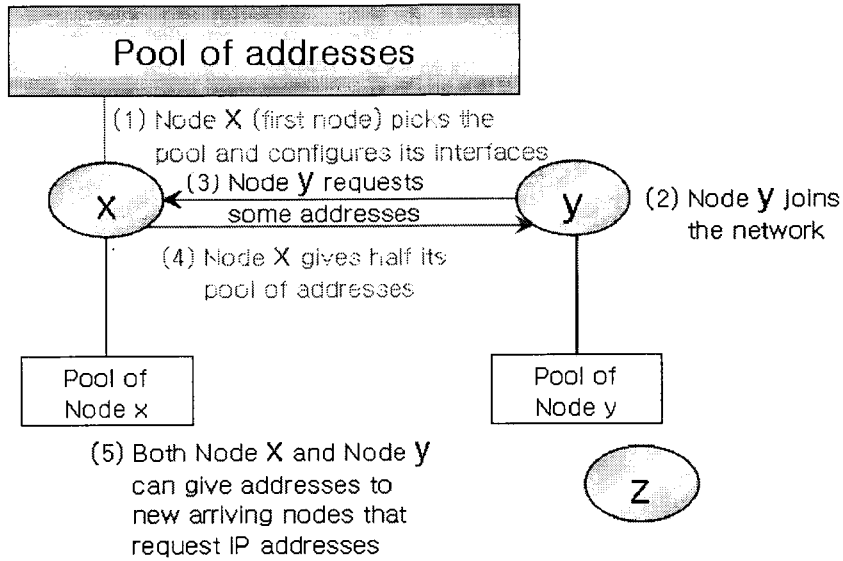


그림 3. Conflict-free 기법의 주소 할당 과정

이 방식에서 망이 분할될 경우 분할된 노드들에게 할당한 주소 공간을 활용할 수 없게 되는 주소 공간 유출 (IP address leak) 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 리더 노드는 자신이 주소를 할당해 준 노드가 현재 망에 존재하는가 여부를 판단하기 위해 주기적인 제어 메시지를 브로드캐스트하여 노드가 망에 존재하지 않는 경우 할당해 준 주소 공간을 회수한다. 또한 이 방식은 망이 병합될 경우 주소 충돌이 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 리더 노드는 주소 공간에 대한 특정 ID를 생성하고, 유지하며 두 개의 망이 병합될 경우 망의 ID를 비교하여 그 중 한 개의 ID만을 채택하여 사용하고 나머지 ID를 갖는 모든 노드는 채택된 ID를 가진 노드에게 새로운 주소를 할당 받는다.

다른 접근 방식을 갖는 주소 할당 기법으로 prophet 주소 할당 기법

[14]이 있다. 이 방식에서 모든 MANET 노드는 동일한 상태 함수  $f(n)$  정보와 자신의 상태 정보를 유지하고, 이 정보를 바탕으로 망에 새로 진입한 노드에게 주소를 할당한다. MANET 내의 첫 번째 노드는 전체 주소 공간에서 무작위 숫자를 생성하여 자신의 주소를 설정하고 무작위 숫자를 자신의 상태 정보로 설정한다. 이후 노드가 망에 진입하여 라우팅 제어 메시지를 통하여 주변의 노드에게 자신의 새로운 주소를 요청한다. 이 메시지를 수신한 노드는 상태 함수  $f(n)$ 에 자신의 주소와 상태 정보를 적용하여 주소를 설정하고, 요청한 노드에게 할당해 준다. 이때 주소를 할당해 준 노드와 요청한 노드는 동일한 상태 정보를 저장하고, 새로운 노드가 진입하여 주소를 요청할 때 위 과정을 반복한다.

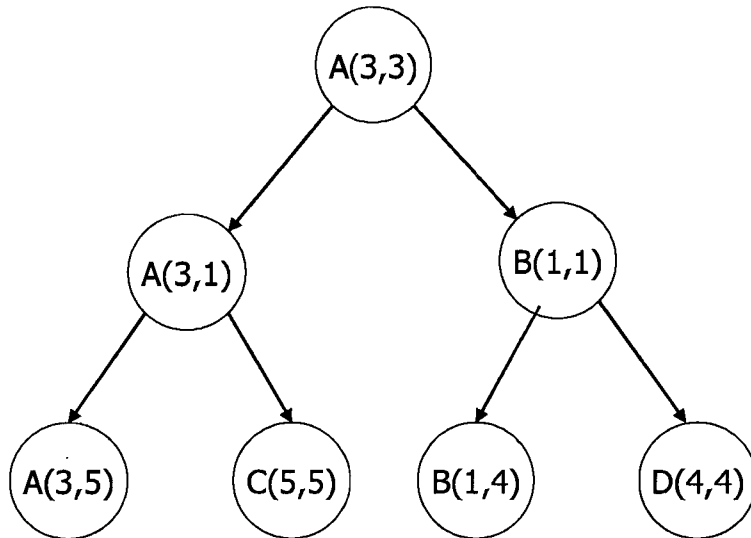


그림 4. Prophet 주소 할당 과정의 예

<그림 4>에서 할당할 수 있는 주소 공간은 6개이며,  $f(n)$ 은 (주소\*상태정보\*11) mod 7이다. 노드 A는 MANET의 첫 번째 노드이며, 무작위 숫자 3을 생성하여 자신의 주소를 3으로 설정하고 자신의 상태 정보를 3으로 설정한다. 이때 노드 B가 망에 진입하여 노드 A에게 새로운 주소를 요청하면, 노드 A는 노드 B에게 주소 1(=  $(3*3*11) \bmod 7$ )을 할당한다. 이후 노드 A, B의 상태 정보는 1이 된다. 그후 노드 C, D가 망에 진입하여 노드 C는 노드 A에게, 노드 D는 노드 B에게 주소를 요청하면, 노드 A는 노드 C에게 주소 5(=  $(3*1*11) \bmod 7$ )를 할당하고, 노드 B는 노드 D에게 주소 4(=  $(1*1*11) \bmod 7$ )를 할당한다. 이후 노드 A, C의 상태 정보는 5, 노드 B, D의 상태 정보는 4로 바뀐다. 이와 같이 3라운드까지 6개의 주소 공간에서 4개의 주소가 충돌 없이 할당되었다. 이 방식에서 가장 중요한 것은 상태 함수  $f(n)$ 을 설계하는 것이며, 비록 낮은 확률이지만 주소 충돌이 발생할 수 있다.

본 연구에서 에드혹 노드들은 DIGW의 IGWADV 메시지에서 프리픽스를 얻고 주소의 나머지 부분은 임의로 설정하며 주소 충돌은 발생하지 않는다고 가정한다.

## 2.3 인터넷 연결 지원을 위한 메커니즘들

MANET을 인터넷과 연동시키기 위해서는 여러 가지 기법들이 복합적으로 사용된다. IGW의 정보를 획득하고 MANET 노드의 글로벌 주소를 설정한 후 MANET 노드에서 IGW 사이의 경로를 설정하는 과정이 필요하다. IGW 정보는 최소한 IGW의 주소와 프리픽스 정보를 기록할 필드들을 포함해야 한다. 다수의 IGW들이 배치되어 있는 환경에서는 네트워크 상황에 맞는 최적의 IGW를 선택하는 기법이 필요하다. 또한 네트워크의 변화에 따라 새로운 IGW를 선택할 수 있는 기법과 기존 세션을 유지할 수 있는 기법이 요구된다. 다음 절들에서는 이러한 기능들을 소개한다.

### 2.3.1 IGW 발견 및 변경

일반적으로 MANET 환경에서는 노드의 이동과 네트워크의 불안정성으로 인해 네트워크의 구조가 변화할 수 있으므로 인터넷에서와 같이 미리 설정된 디폴트 게이트웨이를 이용할 수 없다. 만약 MANET 노드들이 고정된 디폴트 IGW(Default IGW; DIGW)를 이용하여 인터넷 노드와 통신하면, 노드 이동으로 인하여 사용 중인 DIGW에서 멀어지고 다른 IGW와 가까워지더라도 DIGW를 계속 유지하여 비효율적인 통신을 하게 된다. 또한 사용 중인 DIGW와의 연결이 끊어지고 연결 가능한 다른 IGW들이 존재하더라도 이 IGW를 이용한 통신을 할 수 없다. 그러므



로 통신을 하고자 하는 MANET 노드에서는 연결 가능한 IGW들 중에서 가장 적합한 IGW를 선택하여 DIGW로 선택할 수 있는 방법이 요구된다. IGW 발견 기법은 proactive, reactive, hybrid 발견 기법으로 나눌 수 있다:

- Proactive 발견 기법 [15][16]

모든 IGW들은 주기적으로 자신들의 정보를 IGW 광고 (IGW advertisement; IGWADV) 메시지에 담아 MANET에 브로드캐스트한다. MANET 노드들은 수신된 IGW 정보들을 기반으로 자신이 사용할 DIGW를 선택할 수 있다.

- Reactive 발견 기법 [15]

MANET 노드는 IGW 요청 (IGW solicitation; IGWSOL) 메시지를 MANET에 브로드캐스트 함으로써 IGW 정보를 얻을 수 있다. MANET의 요청 메시지를 수신한 IGW는 응답으로 자신의 정보를 해당 노드에게 전달한다.

- Hybrid 발견 기법 [17-20]

IGW들의 주기적인 IGWADV 메시지의 전달 범위를 제한시키고 IGWADV 메시지를 수신하지 못한 MANET 노드들은 reactive 발견 기법을 이용하여 DIGW를 선택할 수 있다.

IGWADV 메시지는 proactive 발견 기법에서는 브로드캐스트 방식으로 전달되며, reactive 발견 기법에서는 유니캐스트 방식으로 전달된다.

<그림 5>는 reactive 발견 기법에서의 IGWSOL과 IGWADV 메시지의 전달과정을 보여준다. IGWSOL 메시지는 전체 MANET으로 브로드캐스트 되며, IGWADV 메시지는 노드 A에게 유니캐스트로 전달되는 것을 볼 수 있다.

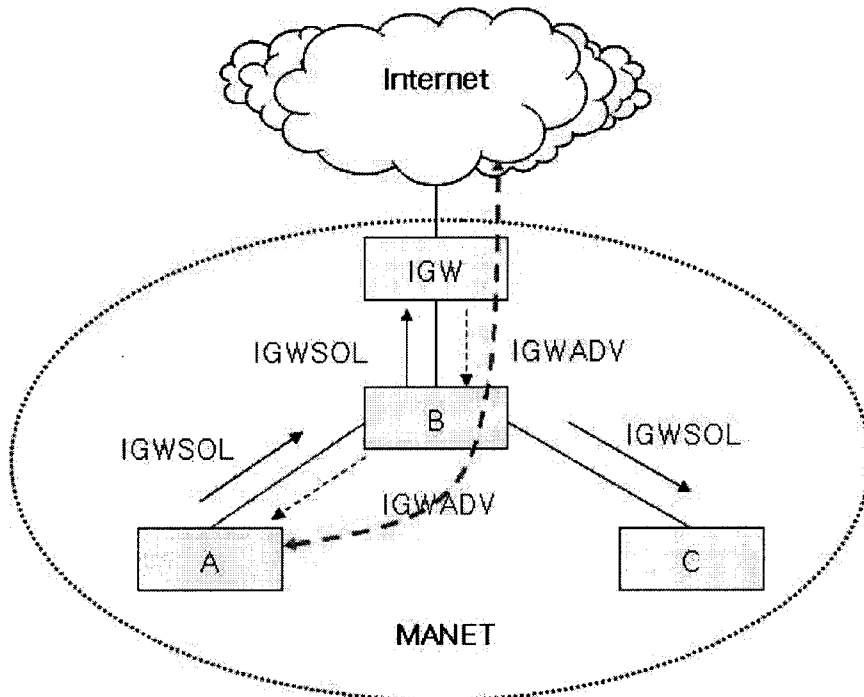


그림 5. Reactive 발견 기법에서의 메시지 교환

[19]와 [20]에서 제공하는 위의 세 가지 기법들에 대한 성능 분석에 따르면, proactive 발견 기법은 주기적인 IGWADV 메시지의 전달로 인하여 제어 트래픽의 양이 제일 많지만 IGW들에 대한 정보를 미리 확보하고 있으므로 경로 설정을 더 빨리하여 데이터 전송률에서는 가장

높은 성능을 보인다. Reactive 발견 기법은 필요할 경우에만 DIGW를 설정하므로 제어 트래픽의 양이 제일 적고 그로 인하여 경로 설정에 더 오랜 시간이 걸리므로 데이터 전송률이 가장 낮다. Hybrid 발견 기법을 이용하면 제어 트래픽의 양과 전송률 모두 proactive와 reactive 발견 기법들의 중간에 위치한다. 그러나 이러한 결과는 노드들의 이동이 빈번한 환경에서 두드러지며, 노드들의 이동이 없는 환경에서는 전송률면에서 비슷한 성능을 보인다. 그러므로 노드들의 이동이 없는 환경에서는 필요할 경우에만 DIGW를 결정하는 reactive 발견 기법을 사용하여 제어 트래픽의 양을 줄일 수 있다.

본 연구에서는 우선 이동성이 높은 환경에서의 부하 균등화를 위해서 proactive 발견 기법을 이용하여 연구를 수행한 후, 메쉬 네트워크와 같이 노드의 이동이 없는 환경에서의 부하 균등화를 위해 reactive 발견 기법을 이용한 연구를 수행할 것이다. 애드혹 노드의 이동이 빈번한 망에서 reactive 발견 기법을 사용한다면 최적의 IGW를 가능한 신속히 발견하기 위해 모든 노드들이 빈번하게 IGW 요청 메시지를 전달해야 한다. 이는 브로드캐스트로 전달되는 대량의 IGW 요청 메시지를 발생시킬 것이다. 그러나 proactive 발견 기법에서는 IGW 발견을 위해 IGW들만이 브로드캐스트 메시지를 전송하기 때문에 애드혹 노드의 이동이 빈번한 망에서는 proactive 발견 기법이 적합하다.

### 2.3.2 세션 관리

DIGW를 통해 인터넷 노드와 통신하는 중에 다른 IGW를 DIGW로 설

정할 수 있도록 하는 경우 이전 DIGW를 이용하는 세션들에게 통신을 지속할 수 있도록 하는 방법이 요구된다. 현재 mobile IP를 응용한 방법들[21][22]이 제안되어 있으나, 본 연구에서는 이에 대한 고려를 하지 않으며, DIGW를 변경할 경우 세션을 새로 맺는 방법을 이용할 것이다.

### 2.3.3 DIGW와의 경로 설정

MANET에서는 proactive 또는 reactive 라우팅 프로토콜을 사용하여 경로를 설정할 수 있다. [23]에서는 MANET 노드와 IGW 사이의 경로 설정을 위해 대표적인 reactive 라우팅 프로토콜인 AODV[4]와 대표적인 proactive 라우팅 프로토콜인 OLSR[6]을 이용하여 시뮬레이션한 결과를 보여준다. AODV는 패킷 전송률 면에서 OLSR보다 더 좋은 성능을 보일 뿐만 아니라 제어 패킷 오버헤드 면에서도 OLSR보다 더 낮게 나타났다. 특히 노드의 이동이 빈번한 망에서는 월등히 더 좋은 성능을 보였다. 따라서 본 연구에서는 라우팅 프로토콜로 AODV를 사용하며, 라우팅 제어 메시지의 전달을 같은 프리픽스를 사용하는 MANET 노드들로 제한시키는 방법을 사용할 경우 성능 향상이 있음을 시뮬레이션을 통해서 보인다.

## 2.4 부하 균등화를 고려한 기존 IGW 발견 기법들

부하 균등화의 궁극적인 목적은 전체 전송률을 높이기 위한 것이기 때문에 부하 균등화 못지않게 제어 메시지의 양을 줄이는 기법이 필요하다. 특히 이동이 빈번한 망에서는 최적의 IGW를 찾기 위해 주기적인 제어 메시지의 전송이 불가피하다. 다중 IGW를 갖는 MANET 환경에서 모든 IGW들이 주기적인 IGWADV 메시지를 전체 MANET으로 전송할 경우 IGW의 수에 따라 IGWADV 메시지의 양이 증가하게 된다. IGW의 수가 증가하더라도 IGWADV 메시지의 수를 일정한 양으로 제한시키기 위해 proactive 게이트웨이 발견 기법을 사용하면서도 IGWADV 메시지의 전달 범위를 제한할 수 있는 방법이 제안되었다 [24]. [24]에서는 DIGW를 설정하고 있는 MANET 노드에서 DIGW와 다른 IGW로부터 IGWADV 메시지를 수신한 노드들은 더 이상 IGWADV 메시지를 전달하지 않는다. 한 IGW로부터만 IGWADV 메시지를 수신한 노드는 이를 DIGW로 설정하고, 둘 이상의 IGW로부터 IGWADV 메시지를 수신한 노드들은 가장 적합한 하나의 IGW를 DIGW로 선택한다. 이러한 방식을 이용할 경우 IGW들은 자신을 DIGW로 선택한 주변 MANET 노드들로 구성된 영역을 형성하며, 이 영역들 사이에 경계를 형성하게 된다 (<그림 6>).

[24]에서는 경계를 형성하는 DIGW 선택 기법으로 Shortest Path (SP) 기법과 Minimum Load Index (MLI) 기법을 제안한다. 이 두 기

법들은 IGW의 주기적인 광고 메시지 전달을 전제로 한다. SP 기법은 IGW에서 MANET 노드까지의 홉 수가 가장 작은 IGW를 DIGW로 선택한다. MANET 노드에서 IGW와 MANET 노드 사이의 홉 수를 측정할 수 있도록 하기 위해서 IGWADV 메시지에 홉 수를 저장할 수 있는 필드가 있어야 한다. MLI 기법에서는 IGWADV 메시지에 IGW의 부하 정보를 포함하며 부하가 가장 작은 IGW를 DIGW로 선택한다. MLI의 동작 방식은 다음과 같다:

i) DIGW가 설정되어 있지 않은 MANET 노드에서 새로운 IGWADV 메시지를 수신하였을 경우 해당 IGW를 DIGW로 설정하고 IGWADV 메시지를 다음 홉으로 재전송한다.

ii) DIGW를 설정하고 있는 MANET 노드에서 DIGW로부터의 IGWADV 메시지를 수신하였을 경우 부하 정보를 갱신하고 IGWADV 메시지를 다음 홉으로 재전송한다.

iii) MANET 노드가 DIGW로 선택한 IGW를  $g$ 라 하고 MANET 노드의 DIGW 외의 다른 IGW를  $g'$ 라고 할 때, DIGW( $g$ )를 설정하고 있는 MANET 노드에서 DIGW와 다른 IGW( $g'$ )로부터 IGWADV 메시지를 수신하는 경우 다음 두 조건을 만족하면  $g'$ 의 IGWADV 메시지를 이용하여 DIGW를 변경한다. DIGW의 변경 여부와 관계없이 IGWADV 메시지를 재전송하지 않는다.

-  $g$ 를 DIGW로 결정하고 사용한 시간이 일정 시간( $t$ ) 이상인가?

$$- L_g + \frac{T_n}{C_g} + \Delta \leq L_g - \frac{T_n}{C_g}$$

$L_g$ 는 IGW  $g$ 의 부하이며,  $C_g$ 는 IGW  $g$ 의 대역폭이고,  $T_n$ 은 MANET 노드  $n$ 과 통신하는 인터넷 노드 사이의 트래픽 양을 의미한다. 이 두 조건들에 의해 DIGW를 선택한 후 일정 시간 ( $t$ ) 동안 DIGW를 변경하지 않고,  $\Delta$ 를 이용하여 부하 정보의 미세한 차이에 의해서도 DIGW를 변경하지 않도록 한다. 또한 IGWADV 메시지를 재전송하지 않으므로 해서 많은 수의 MANET 노드들이 한꺼번에 DIGW를 변경하지 않도록 한다.

<그림 6>에서는 SP 기법과 MLI 기법에 의해 MANET 노드들이 어떻게 IGW를 선택하는지를 보여준다. SP 기법에서는 거리에 의해 경계를 형성하며, 모든 MANET 노드들이 같은 양의 트래픽을 전송한다고 가정했을 때 MLI 기법에서는 각 IGW들을 선택하는 MANET 노드들의 수가 비슷해진다.

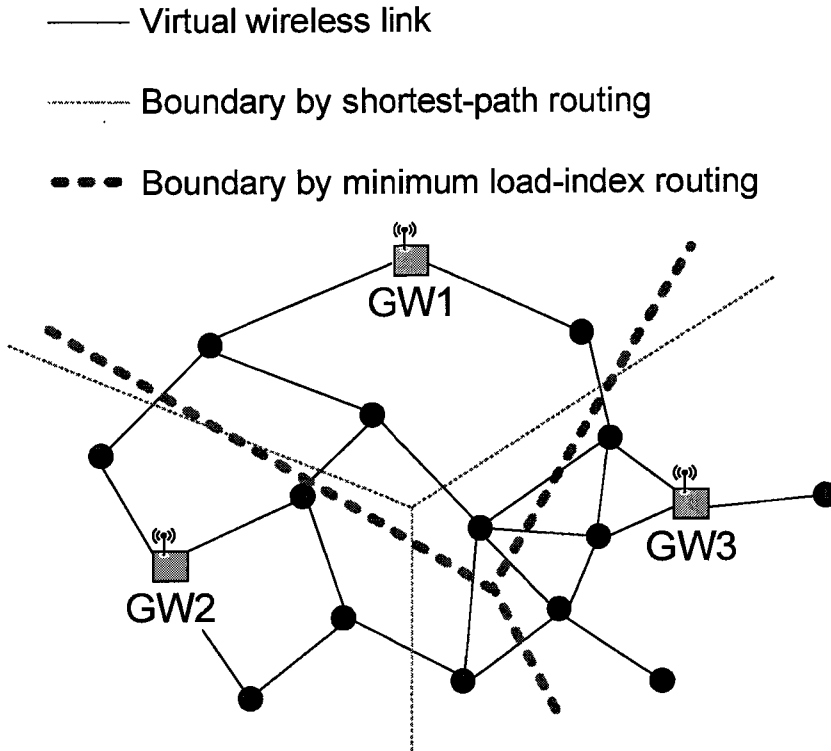


그림 6. SP 기법과 MLI 기법에 의해 형성된 경계

[25]에서는 DIGW를 선택하는 메트릭으로 IGW에서 주기적으로 전송하는 IGWADV 메시지들이 MANET 노드에 도착하는 간격의 차이를 이용하는 Running Variance Metric (RVM) 기법을 제안하고 있다. RVM 기법에서는 IGWADV 메시지를 주기적으로 전송하지만 전달 범위를 제한하지 않고 전체 MANET으로 전송한다. MANET 노드에서는 IGWADV 메시지 수신 간격의 분산( $V_n$ )이 가장 작은 IGW를 DIGW로 결정한다. RVM 기법의 메트릭( $V_n$ )은 다음과 같이 정의 된다:



$$\bar{t}_n = \alpha \cdot t_n + (1 - \alpha) \cdot \bar{t}_{n-1}, \text{ where } 0 < \alpha \leq 1 \quad (1)$$

$$V_n = \alpha \cdot (t_n - \bar{t}_n)^2 + (1 - \alpha) \cdot V_{n-1}, \text{ where } 0 < \alpha \leq 1 \quad (2)$$

$t_n$ 은 n번째 IGWADV 메시지와 n-1번째 IGWADV 메시지의 도착 시간 차이이며,  $\bar{t}_n$ 은 n번째 IGWADV 메시지를 수신했을 때의 평균 IGWADV 메시지 전송 간격이다. 각 노드들은 IGWADV 메시지를 수신할 때마다 (IGW, upstream neighbor, RVM) 값을 저장하며, 같은 IGW에 의해서 전송된 IGWADV 메시지들이 다른 경로를 통해 전송되었을 경우 RVM 값이 가장 작은 IGWADV 메시지만을 전달한다.

## 2.5 MAODV와 ODMRP에서의 멀티캐스트 데이터 포워딩

멀티 홉 애드혹 환경에서 사용할 수 있는 멀티캐스트 라우팅 프로토콜을 포워딩의 관점에서 크게 두 가지 방식으로 나누면 트리 기반 방식과 메쉬 기반 방식으로 분류할 수 있다. 트리 기반 방식은 유선 환경에서의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에서 사용하던 방식을 무선에 적용시켜 멀티캐스트 트리를 구성한 후 해당 트리를 따라 패킷을 전달한다. 대표적인 프로토콜로는 MAODV (Multicast Ad hoc On-Demand Distance Vector) [26], AMRIS (Ad Hoc Multicast Routing Protocol Utilizing Increasing id-numberS) [27] 등이 있다. 메쉬 기반 방식은 무선 환경의 이동성을 고려하여 다중 전송 경로를 허용하도록 수정한 방식으로 ODMRP (On-Demand Multicast Routing Protocol) [28], CAMP (The Core-Assisted Mesh Protocol) [29], FGMP (Forwarding Group Multicast Protocol) [30] 등의 프로토콜이 존재한다.

본 절에서는 기존의 멀티캐스트 데이터 포워딩 방식의 특징을 보이기 위해 MAODV와 ODMRP에 대해 간단히 소개한다. 트리 기반의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜인 MAODV는 멀티캐스트 트리를 구성하기 위해 AODV[4][31]에서 사용하는 RREQ (Route Request)와 RREP (Route Reply) 메시지를 사용한다. 최초로 멀티캐스트 그룹에 조인한 노드가 그룹 리더가 되어 라우팅 정보를 정확하고 최신의 것으로 유지하기 위해

그룹 헬로우 메시지를 주기적으로 브로드캐스트 한다. 새롭게 그룹에 조인하고자 하는 노드는 RREQ 메시지를 브로드캐스트 하고 이를 수신한 멀티캐스트 트리 멤버들은 RREP를 조인하고자 하는 노드에게 전송한다. 여러 노드들로부터 RREP를 받은 노드는 최단 경로를 선택하여 MACT (Multicast Activation) 메시지를 전송함으로써 멀티캐스트 트리에 조인하게 된다. MAODV는 멀티캐스트 트리의 생성과 유지에 중점을 두며 멀티캐스트 데이터 포워딩에 대해서는 “노드에게 패킷을 전송한 노드를 제외한 멀티캐스트 트리의 이웃 노드에게만 전달한다.”라고 간단히 언급하며, 구체적인 방법을 명시하지 않는다.

메쉬 기반 멀티캐스트 라우팅 프로토콜인 ODMRP는 라우팅 제어 메시지를 이용하여 포워딩 그룹을 결정한 후, 멀티캐스트 그룹에 대해 포워딩 노드로 결정된 노드들은 해당 멀티캐스트 패킷에 대하여 포워딩하고 그렇지 않은 노드들은 패킷을 무시한다. ODMRP에서 멀티캐스트 패킷 전송 경로가 결정되는 과정은 다음과 같다. 먼저 멀티캐스트 그룹에 조인하고자 하는 노드는 소스의 주소와 순서번호 등을 담은 조인 질의(query) 메시지를 브로드캐스트 한다. 조인 질의 메시지를 수신한 노드들은 이전 노드로의 경로를 라우팅 테이블에 기록하고 중복 수신을 방지하기 위해 조인 질의를 최초로 발생시킨 노드의 주소와 조인 질의에 기록된 순서번호를 저장한다. 멀티캐스트 멤버가 조인 질의를 받으면 조인 응답 메시지에 조인 질의의 생성 노드와 이전에 조인 질의를 전달한 노드의 주소들을 담아 브로드캐스트 하며, 이 메시지를 받은 노드에서는 조인 응답 메시지의 "조인 질의를 전달한 노드의 주소"를 보고 자신의 주소이면 해당 멀티캐스트 메시지를 포워딩하도록 설정한다. 같은 방식

으로 조인 질의를 최초로 생성한 노드까지 조인 응답 메시지가 전송되며 적절한 포워딩 노드들이 메쉬를 구성한다. 멀티캐스트 데이터 포워딩에 대해서 ODMRP는 멀티캐스트 패킷 수신시 마다 메시지 캐쉬에 멀티캐스트 패킷의 L3 소스 주소와 유일한 아이디(unique identifier)를 저장하여 중복 수신을 방지하도록 한다.

ODMRP는 라우팅 프로토콜에서 포워딩 그룹을 이용하여 무선 멀티캐스트 환경에 적합한 데이터 포워딩을 위한 정보들을 구성해 주며, 단순히 중복된 패킷만을 수신하지 않도록 하는 것으로 멀티캐스트 데이터의 포워딩을 수행할 수 있다. 그러나 MAODV와 같은 트리 기반의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들은 멀티캐스트 데이터의 포워딩을 운영체제에게 처리하도록 하며 패킷의 중복 수신을 방지할 수 있는 방법을 요구한다. 또한 MAODV에서 ODMRP와 같이 유일한 아이디를 이용하여 중복을 방지하더라도 트리를 벗어난 전송을 막을 수 없다. 본 연구에서 구현한 IPv6 기반 애드혹 멀티캐스트 데이터 포워딩(AMF: Ad-hoc Multicast data Forwarding) 기법은 자체적인 멀티캐스트 데이터 포워딩 기법을 제공하지 않는 트리 기반의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜과 함께 사용할 수 있으며, 트리를 벗어난 전송도 방지할 수 있다.

## 제3장 부하 균등화를 고려한 새로운 IGW 발견 기법

### 3.1 서론

에드혹 노드에게 인터넷 노드와 통신할 수 있도록 하기 위해서 적합한 IGW를 선택할 수 있는 방법에는 여러 가지가 있다. 본 장에서는 에드혹 노드들의 이동이 빈번한 일반적인 MANET 환경에서의 IGW 발견 기법들을 제안한 후, 메쉬 네트워크에서와 같이 노드들의 이동이 제한되는 특수 환경에서 이용할 수 있는 IGW 발견 기법들을 제안한다. 본 연구에서는 MANET 내에 연결 가능한 다중 IGW들이 존재하며, 모든 IGW들은 고정되어 있는 것으로 가정한다. 다중 IGW들을 갖는 MANET에서 인터넷 연결 지원을 위해서는 부하 균등화와 전송률을 향상시킬 수 있는 최적의 DIGW를 발견할 수 있어야 한다.

노드들의 이동이 가능한 멀티 홉 에드혹 네트워크에서는 노드의 이동에 따라 최적의 IGW를 빠르게 발견할 수 있기 위해 IGW들이 IGWADV 메시지를 주기적으로 전송한다. 또한, 기존에 IGW 발견을 위해 사용해진 단일 메트릭들을 상호 보완적으로 이용하여 네트워크의 전송률을 향상시킨다. 노드들이 고정되어 있는 멀티 홉 에드혹 네트워크에서는 IGW에서 주기적으로 IGWADV 메시지를 전송하기 보다는 에드혹 노드의 필요에 의해 IGWSOL 메시지를 전송하며 IGW는 이에 대한 응답으로 IGWADV 메시지를 유니캐스트로 전송한다. 또한, IGW 발견을 위한 제

어 메시지의 풀러딩 방법과 IGW를 선택하는 주체에 따라 4가지의 IGW 발견 기법을 제안하며, 시뮬레이션을 통하여 각 기법들의 성능을 분석한다.

## 3.2 애드혹 노드의 이동이 빈번한 환경에서의 IGW 발견 기 법

### 3.2.1 시뮬레이션 환경

다중 IGW를 갖는 MANET에서 인터넷 노드와 통신할 때 특정 IGW에 게 트래픽이 집중되지 않도록 부하를 균등하게 하는 방법들의 성능을 분석하기 위해 ns-2.28[32]을 이용한다. 노드들이 MANET에 균일하게 분포되어 있고 랜덤 확률로 통신하는 경우 특정 IGW로 트래픽이 집중되는 현상이 발생하지 않으며 부하 균등화 기능이 필요하지 않게 된다. 따라서 본 논문에서는 부하 균등화로 인한 이득을 얻을 수 있도록 특정 IGW 가까이에 트래픽을 발생시키는 노드들을 더 많이 배치시키는 형태로 시뮬레이션 망을 구성한다.

시뮬레이션에 사용하는 무선 인터페이스는 IEEE 802.11이며 150m의 전파 범위와 2 Mbps의 대역폭을 갖도록 설정한다. 총 96개의 이동 노드들을 1300 x 700 m<sup>2</sup> 인 사각형에 임의로 배치하며, 이 사각형을 세로로 나누어 두 개의 IGW를 왼쪽과 오른쪽 사각형의 중앙에 둔다 (<그림 7> 참조). 시뮬레이션에서 각 IGW들은 1초마다 한 번씩 IGWADV 메시지를 전송한다. 총 트래픽 부하를 다르게 하기 위해 인터넷 노드와 통신하는 노드의 수는 총 15, 21개로 두 종류를 실험하며, IGW 부하들 간의 불균형을 만들기 위해 그림 7의 Area A와 Area B에 그 수를 다

르게 배치한다. 15개의 전송 노드를 사용하는 망에서는 Area A에 10개, Area B에 5개를 배치하며, 21개의 전송 노드를 사용하는 망에서는 Area A에 14개를 Area B에는 7개를 배치한다. 트래픽을 전송하는 MANET 노드들은 15 kbps의 CBR 트래픽을 인터넷 노드에게 전송하며, 각 패킷의 크기는 210 bytes이다. 본 시뮬레이션에서 모든 노드들은 IGW를 통하여 인터넷 노드와 통신하며 MANET 노드들 간의 통신은 고려하지 않는다.

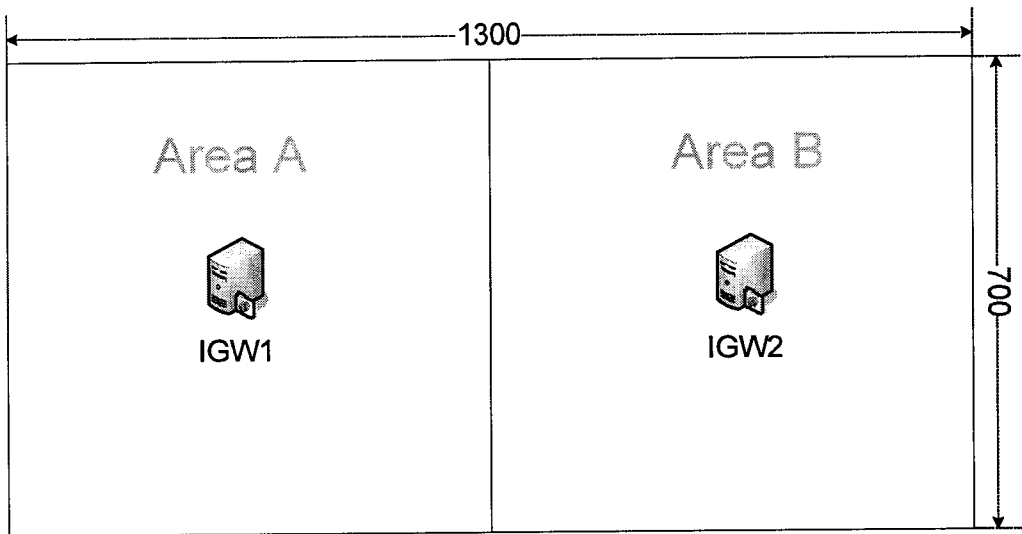


그림 7. 시뮬레이션을 위한 네트워크

노드들의 이동 모델로는 random waypoint model을 이용한다. 이 모델에서 MANET 노드는 임의의 목적지를 선택하고 pause time을 기다린 후, 정해진 속도로 이동한다. 목적지에 도착한 MANET 노드는 앞의 과정을 반복하여 수행한다. 시뮬레이션에서 사용하는 노드 이동 속도는



20 ~ 40 m/s 사이의 임의의 값을 선택하며 pause time은 0, 20, 60, 120, 200, 300, 500초를 이용하여 각각 실험하였다. 총 시뮬레이션 시간은 500초이며, 500초의 pause time은 모든 애드혹 노드들이 이동하지 않는 환경에 대한 시뮬레이션이며, 0초의 pause time은 모든 노드들이 항상 이동하는 환경에 대한 시뮬레이션이다. 총 5 종류의 이동 시나리오를 생성하여 각 시뮬레이션 결과들의 평균을 최종 결과물로 제시한다.

부하 균등화를 위한 각 기법들의 성능을 비교하기 위해 packet delivery ratio, normalized control packet overhead, IGW별 데이터 수신률을 이용한다:

- Packet delivery ratio (PDR) : 모든 인터넷 노드들이 MANET 노드들에게서 수신한 데이터 패킷의 총량을 모든 MANET 노드들이 인터넷 노드에게 보낸 데이터 패킷의 총량으로 나눈 값이다.
- Normalized control packet overhead (NCPO) : 인터넷 노드에서 패킷 하나를 수신하기 위해 부가적으로 전송된 트래픽의 양을 측정하기 위한 값으로, 제어 메시지와 데이터 패킷을 모두 포함하여 MANET 노드들이 전송하거나 포워딩한 패킷 수와 IGW들이 전송한 광고 메시지의 합을 인터넷 노드들이 수신한 데이터 패킷의 총량으로 나눈 값이다.
- IGW별 데이터 수신률 : IGW별로 수신된 데이터 패킷의 수신률을

측정한 값으로 IGW별로 부하가 얼마나 잘 분배되었는지를 확인할 수 있는 값이다.

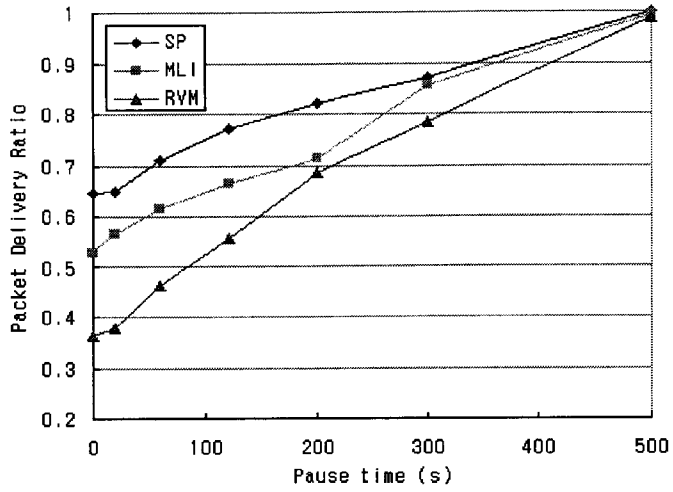
### 3.2.2 기존 기법들의 성능 분석

본 절에서는 3.2.1절에서 제시한 시뮬레이션 환경을 기반으로 2.4절에서 설명한 SP, MLI, RVM 기법을 비교한다. MLI 기법에서의 IGW  $g$ 의 부하( $L_g$ ) 측정을 위해 IGW들은 일정 시간동안 송수신한 트래픽의 양을 측정하고, 이를 이용하여 다음과 같이  $L_g$ 값을 계산한다:

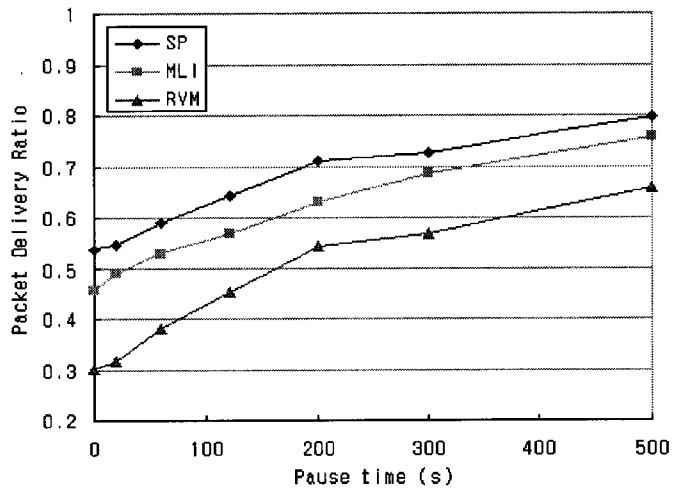
$$L_g = \alpha \cdot \frac{T_{new}}{\lambda \cdot C_g} + (1 - \alpha) \cdot L'_g, \text{ where } 0 < \alpha \leq 1 \quad (3)$$

$C_g$ 는 IGW  $g$ 의 대역폭이며,  $T_{new}$ 는 최근  $\lambda$ 초 동안 송수신한 트래픽의 양이고  $L'_g$ 는 현재까지 사용하고 있던 IGW  $g$ 의 부하를 나타낸다. 실험에서  $\alpha$ 는 0.8을 이용하였다. Pause time을 변경하면서 세 기법들의 PDR을 측정한 <그림 8>에서 SP 기법의 PDR이 모든 이동 빈도에 대해 MLI나 RVM 기법보다 높은 결과를 얻었다. 15개의 소스들을 이용한 <그림 8 (a)>에서는 MANET 노드들이 고정된 환경에서 100%에 가까운 PDR을 보이므로 망의 트래픽 부하가 심하지 않은 것을 알 수 있으며 이러한 상황에서는 SP와 MLI 간의 격차가 크지 않았다. 21개의 소스들을 이용한 <그림 8 (b)>에서는 MANET 노드들이 고정된 환경에서도 최대 80% 정도만 목적지까지 패킷을 전송하는 혼잡 상황을 나타낸

다. 트래픽을 원활히 전송할 수 있는 상황에서는 IGW 부하들 간의 균형을 맞추기 위해 더 멀리 있는 IGW를 DIGW로 선택하는 MLI 기법을 이용하더라도 트래픽을 잘 전송할 수 있다. 그러나 네트워크의 혼잡 상황에서 부하 균등화를 위해 우회 경로를 이용하는 MLI 기법은 SP 기법보다 더 낮은 PDR을 보인다. 시뮬레이션에서 MLI 기법의  $\Delta$  값은 1/30을 사용한다.



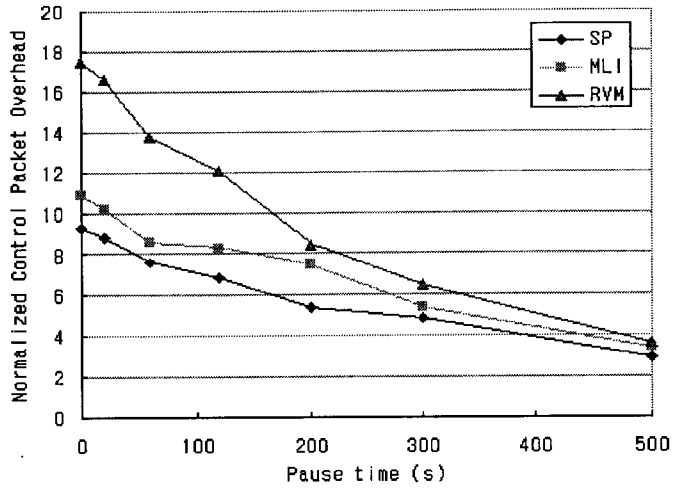
(a) 15 sources



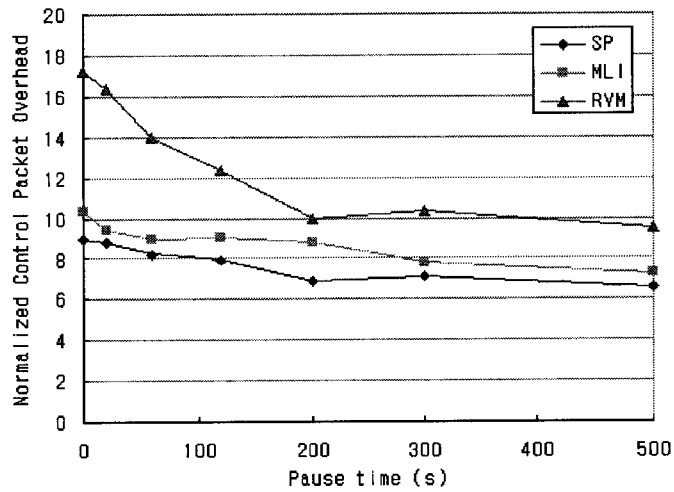
(b) 21 sources

그림 8. MANET 노드들의 노드 이동 빈도별 SP, MLI, RVM 기법의 packet delivery ratio 비교

RVM 기법은 IGWADV 메시지를 전체 MANET으로 전송하므로 <그림 9>와 같이 다른 기법들에 비해 높은 NCPO를 보인다. 특히 SP와 MLI 기법은 이동이 빈번한 상황이나 큰 트래픽 부하로 인해 경로 설정을 빈번하게 수행하는 환경에서도 비교적 정확한 메트릭 값을 얻을 수 있으므로 빠른 시간 내에 최적의 DIGW를 선택할 수 있다. RVM 기법은 트래픽 부하가 낮은 상황에서 IGWADV 메시지를 많이 받을수록 정확한 RVM 값을 얻을 수 있지만, 경로 설정을 빈번하게 수행하는 환경에서는 정확한 RVM 값을 얻을 수 없다. 그러므로 RVM 기법은 이러한 상황에서 최적의 DIGW를 선택할 수 없으며, 부하를 균등하게 분배하지 못한다. 시뮬레이션에서 RVM 기법의  $\alpha$ 값은 RVM 값의 급격한 변화를 방지하기 위해 0.3을 이용하였다.



(a) 15 sources



(b) 21 sources

그림 9. MANET 노드들의 노드 이동 빈도별 SP, MLI, RVM 기법의 normalized control packet overhead 비교

### 3.2.3 향상된 IGW 발견 기법

본 절에서는 2.4절에서 소개한 기법들을 개선하여 기존 방법과의 성능을 비교한다. 본 논문에서 지향하는 부하 균등화의 목적은 IGW를 통해 인터넷 노드와 통신하는 MANET 노드들의 총 전송률을 최대로 하는 것이다. MANET의 전송률은 거리에 비례해서 줄어들기 때문에 가장 가까운 거리에 있는 IGW를 선택해야만 전송률을 높일 수 있다. 그러나 한 IGW로 트래픽이 집중될 경우 서로 간의 간섭으로 인해 전송률이 떨어지므로 MANET 노드와 IGW 사이의 홉 수와, IGW의 부하를 상호 보완적으로 이용하는 방법이 필요하다. 그러므로 본 절에서는 MANET 노드에서 DIGW를 결정하기 위해 부하 정보와 함께 MANET 노드와 IGW 사이의 홉 수를 고려하는 SMN-HL (Selection of DIGW by a MANET Node considering both Hop count and IGW's traffic Load) 기법을 제안한다. 또한 MANET 노드와 IGW 사이의 부하를 측정하기 위해 RVM을 메트릭으로 사용하는 기법에 추가적으로 MANET 노드와 IGW 사이의 홉 수를 고려하는 HRVM (Hop Count and Running Variance Metric) 기법을 제안한다.

SMN-HL 기법에서는 MANET 노드들이 각 IGW별로 다음과 같은 메트릭( $M_g$ )을 유지하며,  $M_g$  값이 가장 작은 IGW  $g$ 를 DIGW로 선택한다:

$$M_g = W \cdot H_g + L_g \quad (4)$$

$W$ 는  $H_g$ 의 가중치이며,  $H_g$ 는 IGW  $g$ 로부터 MANET 노드까지의 홉 수이고,  $L_g$ 는 IGW  $g$ 의 트래픽 부하이다.  $L_g$ 값은 MLI 기법에서와 같은 방식(식 (3) 참조)으로 계산되며  $C_g$ 값과 측정된  $L_g$ 값은 IGWADV 메시지에 포함되어 MANET 노드들에게 전달되어 MANET 노드들의 DIGW를 결정하기 위해 사용된다.

SMN-HL 기법에서 IGWADV 메시지 전달 여부와 DIGW 결정 방법은 2.4절에서 언급한 MLI 기법의 i), ii) 과정과 같다. 그러나 MLI 기법의 iii) 과정인 DIGW( $g$ )를 설정하고 있는 MANET 노드에서 DIGW와 다른 IGW( $g'$ )로부터 IGWADV 메시지를 수신하였을 경우에는 다음 조건을 만족하는지 검사하여 참이면 DIGW를 변경한다:

$$- M_{g'} + \frac{T_n}{C_{g'}} + \Delta \leq M_g - \frac{T_n}{C_g}$$

$M_g$ 는 IGW  $g$ 의 메트릭 값을 나타내고  $C_g$ 는 IGW  $g$ 의 대역폭이며  $T_n$ 은 MANET 노드  $n$ 에서 IGW를 통해 인터넷 노드와 송수신하는 모든 세션들의 트래픽 요구량을 나타낸다.

RVM 기법은 IGWADV 메시지를 전체 MANET으로 전송하므로 경계를 형성하는 IGW 발견 기법들에 비해 IGWADV 메시지의 양이 더 많다. 또한, RVM 기법은 안정된 망에서 IGWADV 메시지를 많이 받을수



특 정확한 RVM 값을 얻을 수 있지만, 이동이 빈번한 상황에서는 정확한 RVM 값을 얻을 수 없다. 그러므로 본 연구에서는 RVM 기법을 개선하기 위해 DIGW를 설정하고 있는 MANET 노드에서 DIGW와 다른 IGW로부터 IGWADV 메시지를 수신한 노드들로 하여금 더 이상 IGWADV 메시지를 전달하지 않도록 수정한다. 또한, 노드의 이동이 빈번한 상황에서도 좀 더 정확한 메트릭을 얻을 수 있도록 MANET 노드와 IGW 사이의 홉 수( $H$ )와 MANET 노드에서 수신되는 IGWADV 메시지 간격들의 분산( $V_n$ )과의 곱을 메트릭(HRVM)으로 사용한다:

$$M_g = H \cdot V_n \quad (5)$$

새로 제안된 HRVM 기법은 노드의 빈번한 이동으로 인해 변화 폭이 클 수 있는 RVM 메트릭에 비교적 변화 폭이 작은  $H$ 를 가중치로 사용하므로 빈번한 IGW 변경을 방지하고 MANET 노드에서 가까운 IGW를 선택할 확률을 높일 수 있다.

MANET 노드와 인터넷 노드 사이의 통신을 위해서는 MANET 노드와 DIGW 사이의 경로 설정이 이루어져야 한다. 기존 인터넷 연결 기법들에서는 라우팅 제어 메시지를 전체 MANET으로 전송하여 경로를 설정하지만, <그림 6>과 같이 IGW들마다 MANET 노드들로 구성된 자신의 영역을 갖는 망에서는 각 영역 내의 MANET 노드들이 같은 프리픽스를 갖기 때문에 라우팅 제어 메시지의 전달을 같은 프리픽스를 갖는 영역으로 제한할 수 있다. 즉 인터넷 연결을 위한 경로 설정을 위해서

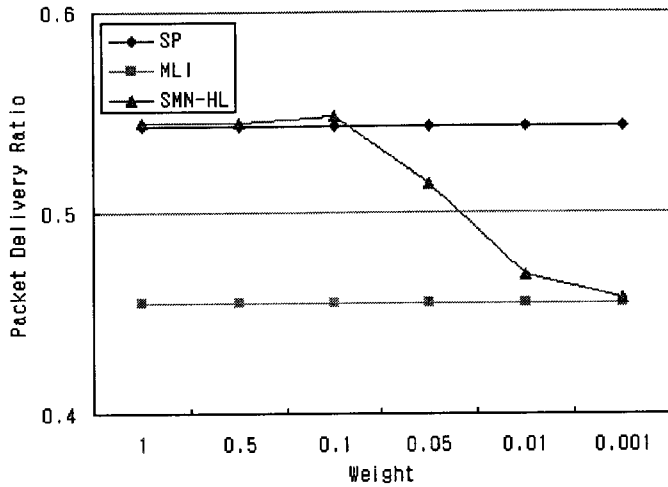
라우팅 제어 메시지의 발신자와 같은 프리픽스를 갖는 MANET 노드들만이 라우팅 제어 메시지를 전달하는 기법(Limited Forwarding; LF)을 제안한다. 이 기법은 IGWADV 메시지의 전달 영역을 제한하는 모든 IGW 발견 기법들과 함께 사용할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 이 기법의 성능 향상 효과를 보인다.

### 3.2.4 향상된 IGW 발견 기법의 성능 분석

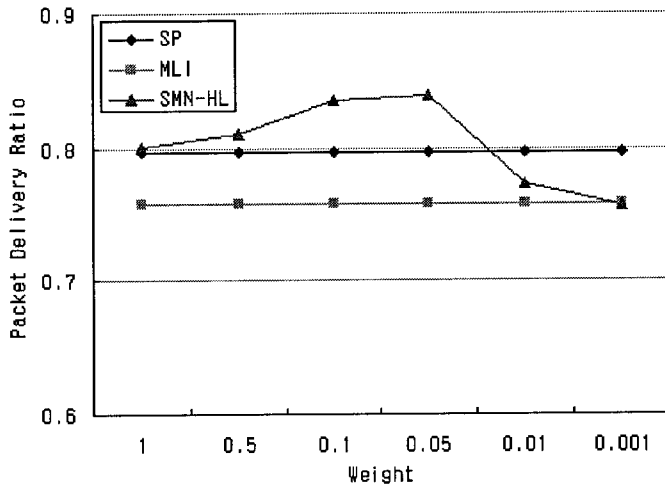
SMN-HL 기법에서 IGW의 부하를 측정하기 위한  $\lambda$ 는 1초를 이용하고,  $\alpha$ 로는 0.8을 사용한다. 또한  $H_g$ 의 가중치인  $W$ 를 결정하기 위해 21개의 전송 노드를 갖는 실험 네트워크에서  $W$ 에 변화를 주면서 PDR을 측정하였다 (<그림 10>). IGW의 부하인  $L_g$ 값은 0에서 1사이의 값을 가지므로  $W$ 를 1로 설정하면 두 IGW들에서 같은 거리에 있는 MANET 노드들만이  $L_g$ 값을 비교하여 DIGW를 결정하고 거리가 다를 경우 메트릭에서 1 이상의 차이가 나므로 부하는 의미가 없어진다. SMN-HL 기법은  $W$ 를 1로 설정한 상황에서도 두 IGW들과 홉 수가 같은 MANET 노드들에서 부하를 분배하여 SP 기법보다 좋은 성능을 얻었다. 특히 MANET 노드들이 고정되어 있는 환경에서는 정확한 부하 값을 얻을 수 있으므로 이동 환경보다 더 좋은 성능을 얻었다.

노드의 이동 패턴, 노드의 밀도, 트래픽 패턴 등에 따라 최적의 가중치는 달라질 수 있다. <그림 10>에서는 5 가지의 이동 시나리오에 대한 PDR의 평균값을 측정한 그래프로 적절한 가중치 값을 짐작할 수 있

도록 한다. 실험에서는 0.1의 가중치를 사용할 때 전반적으로 좋은 PDR을 얻었으므로, 앞으로의 실험에서는  $W$ 값으로 0.1을 이용한다.



(a) 21 sources, pause time = 0

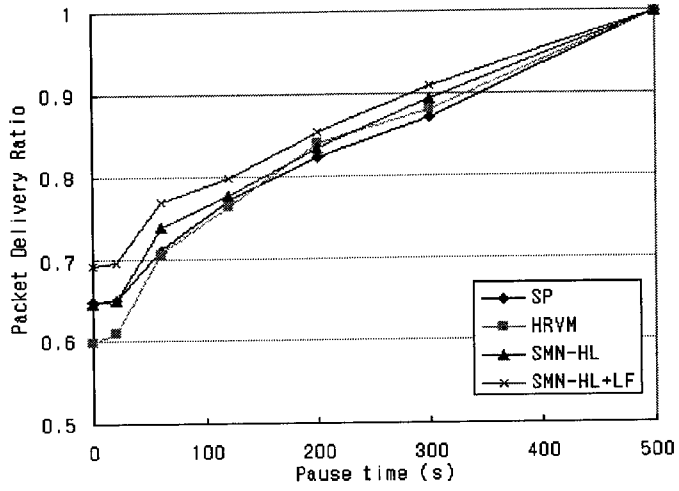


(b) 21 sources, pause time = 500

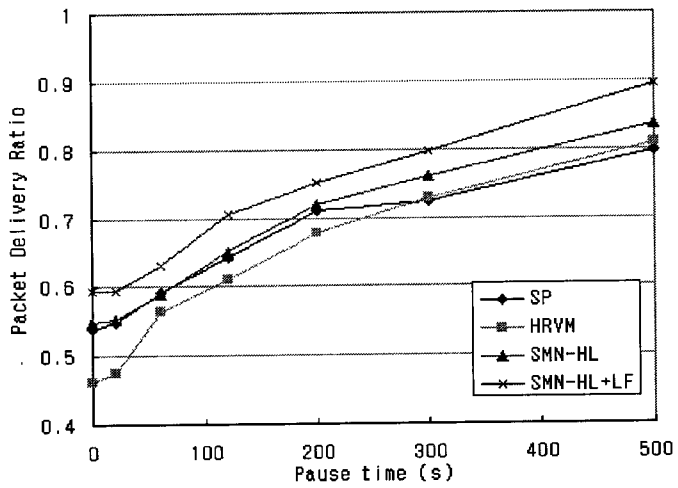
그림 10. 가중치  $W$ 의 변화에 따른 packet delivery ratio 비교

<그림 11 (a)>에서는 트래픽 부하가 심하지 않으므로 모든 기법들이 비슷한 PDR을 보인다. <그림 11 (b)>에서 이동이 빈번한 상황에서 SMN-HL 기법과 SP 기법은 비슷한 성능을 보이지만 이동성이 감소할수록 PDR의 차이가 커진다. LF 기법을 적용하지 않은 SMN-HL 기법과 적용한 SMN-HL 기법을 비교하면, 트래픽 부하가 낮은 <그림 11 (a)>에서는 경로 재설정 이 거의 이루어지지 않으므로 라우팅 제어 메시지의 전달을 같은 프리픽스를 갖는 MANET 노드로 제한하더라도 PDR에 큰 차이가 없지만 트래픽 전송 실패율이 높은 <그림 11 (b)>에서는 LF를 적용한 SMN-HL 기법에서 큰 성능 향상이 있었다. 또한, <그림 8 (b)>와 <그림 11 (b)>를 비교하면 HRVM 기법은 RVM 기법보다 더 좋은 PDR을 갖는다. HRVM 기법과 SP 기법을 비교하면 노드들의 이동이 거의 없는 상황에서만 HRVM 기법이 더 우수한 성능을 보인다.

<그림 12>는 21개의 MANET 노드들이 CBR 트래픽을 발생하는 환경에서 IGW별 데이터 수신률을 보인다. MLI 기법은 IGW들 간의 부하를 잘 분배하지만 전송률은 높지 않다. SMN-HL 기법은 부하 분배와 전송률면에서 다른 기법들보다 좋은 성능을 갖는다.

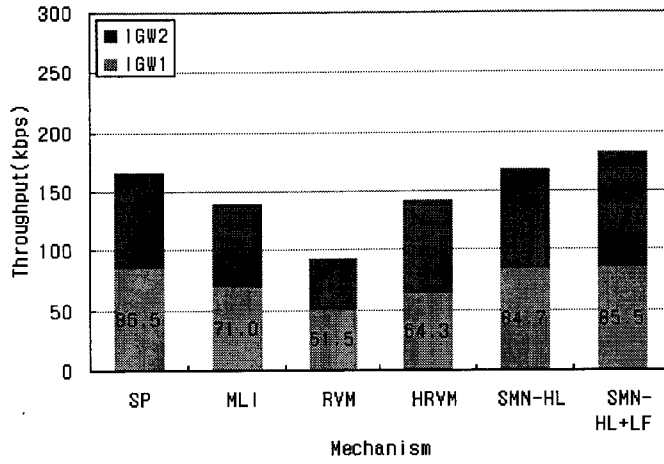


(a) 15 sources

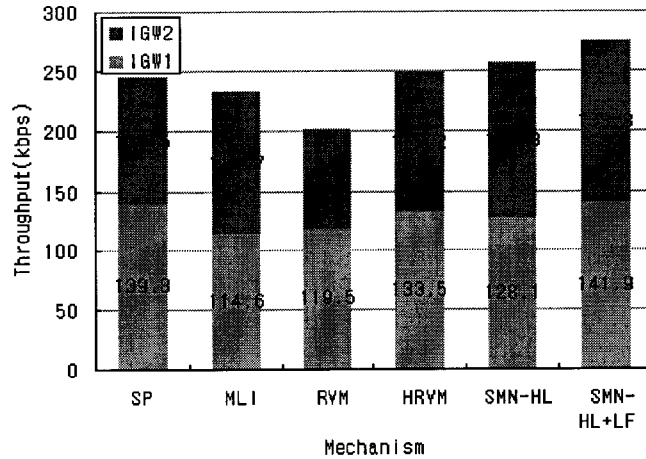


(b) 21 sources

그림 11. MANET 노드들의 노드 이동 빈도별 부하 균등화 기법들의 packet delivery ratio 비교



(a) 21 sources, pause time = 0



(b) 21 sources, pause time = 500

그림 12. IGW별 데이터 수신률

### 3.3 애드혹 노드의 이동이 없는 환경에서의 IGW 발견 기법

본 절에서는 IGW들이 고정되어 있고, 애드혹 노드들은 고정 또는 특정 지역 주변을 배회하는 수준의 이동성을 가진 멀티 홉 무선 네트워크를 전체로 한다. 인터넷 연결을 원하는 애드혹 노드들은 다중 IGW들 중에서 어떤 IGW를 선택할지를 결정하여 전체 애드혹 노드들의 인터넷 통신 전송률을 높이는 것을 목표로 한다. 인터넷 연결을 위한 애드혹 노드와 IGW들의 동작 방식은 기본적으로 [15]를 따른다. 또한 노드들의 이동을 고려하지 않으므로 reactive IGW 발견 기법을 이용한다.

제안한 부하 균등화 기법을 설명하기에 앞서, <표 1>과 같이 부하 균등화를 위한 IGW 발견 기법들을 4가지로 나눈다. 애드혹 노드의 인터넷 연결을 위한 IGW 선택 주체에 의해 분류하면, 애드혹 노드(MN)에 의한 IGW 선택 방법과 IGW들에 의한 IGW 선택 방법으로 나눌 수 있다. 또한, 라우팅 제어 메시지의 플러딩에 제한이 있는가에 따라, 범위 확장 검색(Expanding Ring Search; ERS)과 최대 TTL 플러딩(Maximum TTL Flooding; MTF)으로 나눌 수 있다. ERS 방식을 이용할 경우 일정 범위 내의 IGW들 중에서 가장 좋은 IGW를 선택할 수 있으며, MTF 방식에서는 멀티 홉 무선 네트워크 내의 모든 IGW들 중에서 가장 좋은 IGW를 선택할 수 있다.

표 1. 부하 균등화 기법의 종류

Selection of an IGW Flooding scheme	Selected by a MN (SMN)	Selected by a IGW (SIGW)
Expanding Ring Search (ERS)	SMN-ERS	SIGW-ERS
Maximum TTL Flooding (MTF)	SMN-MTF	SIGW-MTF

### 3.3.1 SMN

에드혹 노드에서 인터넷 연결을 위한 IGW를 결정할 수 있도록 하기 위해 IGW들의 광고 메시지에 부하 균등화를 위한 추가적인 정보를 포함해야 한다. 광고 메시지는 에드혹 노드의 요청 메시지를 수신한 후 전송한다.

에드혹 노드에서는 여러 IGW들로부터 하나 이상의 광고 메시지를 수신할 수 있으므로 첫 번째 광고 메시지를 수신하면 타이머(TIMER\_MN)를 작동시켜 일정 시간 내에 수신되는 광고 메시지들 중에서 식 (6)의  $IGW_i^C$  값이 가장 작은 IGW를 선택한다. 둘 이상의 IGW들이 같은 값을 갖는 경우 먼저 수신된 광고 메시지를 선택한다. 멀티 홉 무선 네트워크 내의 임의의 IGW인  $i$ 에 대한 메트릭 값인  $IGW_i^C$ 는 다음과 같이 정의된다.



$$IGW_i^C = k \cdot H + L, \quad i \in G \quad (6)$$

$H$ 는 애드혹 노드에서 IGW까지의 홉 수를 의미하고  $k$ 는  $H$ 에 대한 가중치로 사용되며,  $L$ 은 IGW의 부하를 나타낸다. IGW의 부하는 이 IGW를 통하여 인터넷 노드와 통신하고 있는 애드혹 노드들의 수이다. IGW들의 부하가 낮은 상황에서는  $L$  값이 작을 것이므로  $IGW_i^C$ 에 대한 홉 수( $H$ )의 영향력이 크지만, IGW들 간의 부하에 불균형이 발생하기 시작하면 점차  $L$  값의 영향력이 커진다. 따라서 인터넷에 새로 접속하고자 하는 노드는 낮은 부하를 가진 IGW를 선택하게 되며, IGW들 간의 트래픽 부하가 분산되게 된다.

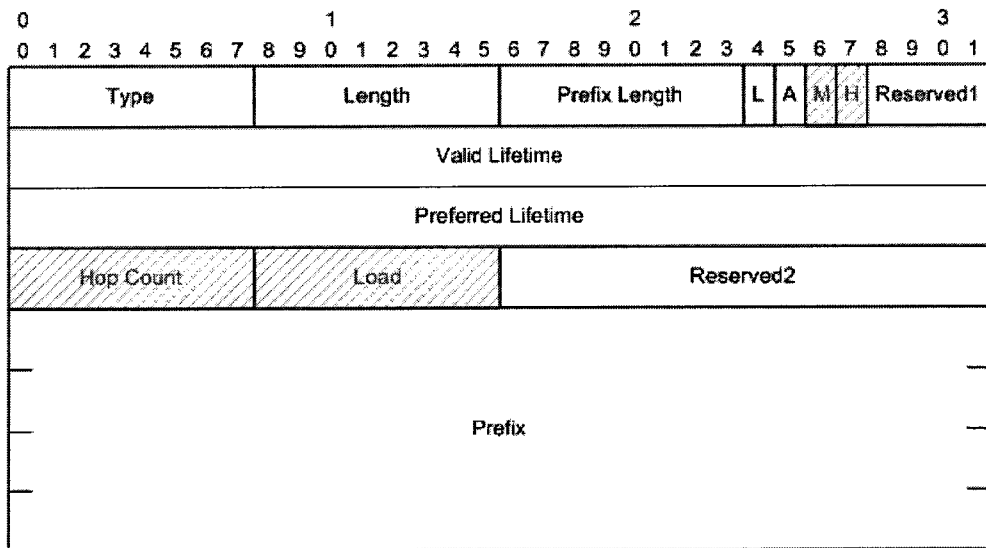


그림 13. IGW 광고 메시지의 수정된 프리픽스 정보 옵션 형식

$H$ 와  $L$  정보를 IGW 광고 메시지에 포함시키기 위하여 IGW에 대한 정보를 담고 있는 IGW 광고 메시지의 프리픽스 정보 옵션[15][33]을 <그림 13>과 같이 수정한다. M 플래그를 설정하여 홉 수(Hop Count)와 IGW의 부하(Load) 값을 유효화한다. IGW 요청 메시지에 의해 IGW 광고 메시지를 전송하는 경우, 이미 IGW 요청 메시지에서 홉 수 정보를 얻을 수 있으므로 IGW 광고 메시지에 해당 홉 수를 기록하고 변경되지 않도록 하기 위해 H 플래그를 0으로 설정한다. 주기적인 IGW 광고 메시지 전송 시에는 IGW에서 애드혹 노드 사이의 홉 수를 알지 못하므로 H 플래그를 1로 설정하여 IGW에서 애드혹 노드까지 전달되는 과정에서 매 홉마다 홉 수를 증가시킬 수 있다.

### 3.3.2 SIGW

이 방법에서 멀티 홉 무선 네트워크 내의 모든 IGW들은  $IGW_i^C$  값을 공유하며, 가장 작은 값을 가진 IGW만이 IGW 광고 메시지를 전송한다.  $IGW_i^C$ 을 계산하기 위해 IGW들이 기본적으로 가지고 있는  $L$  정보에 추가적으로  $H$  정보를 획득해야 한다. 이를 위해 <그림 14>와 같이 라우터 요청(modified router solicitation) 메시지[15]를 수정하였으며, 애드혹 노드에서 IGW까지의 홉 수를 기록하기 위한 필드를 추가한 메시지를 애드혹 노드의 IGW 요청 메시지로 사용한다. 애드혹 노드에서는 H 플래그를 설정하여 IGW 요청 메시지를 전송하는 과정에서 홉 수를 매 홉마다 1씩 증가시킬 수 있다.

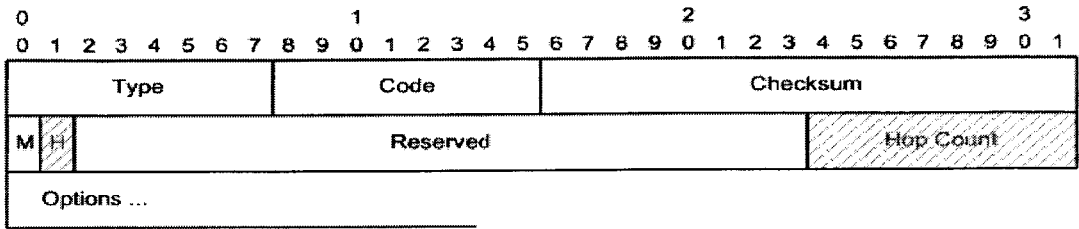


그림 14. 수정된 IGW 요청 메시지 형식

이 IGW 요청 메시지를 수신한 IGW들은 IGW 요청 메시지의 홉 수와 자신의 부하를 이용하여  $IGW_i^C$ 를 계산하고 IGW들 간에 공유하여 부하 균등화를 위한 IGW를 결정할 수 있다. IGW들 간의 정보 교환에는 유선망을 사용하여 무선 네트워크의 부담을 덜어 준다. 메트릭 정보를 교환하기 위하여 IGW들은 ALL\_MANET\_GW\_MULTICAST[15]나 다른 임의의 멀티캐스트 주소를 이용하여 멀티캐스트 하거나, 멀티 홉 무선 네트워크 내의 각 IGW들에게 유니캐스트로 전송할 수 있다. 유선 인터넷에서 IGW 정보를 공유하는 방법에 대해서는 이 논문에서 다루지 않는다.

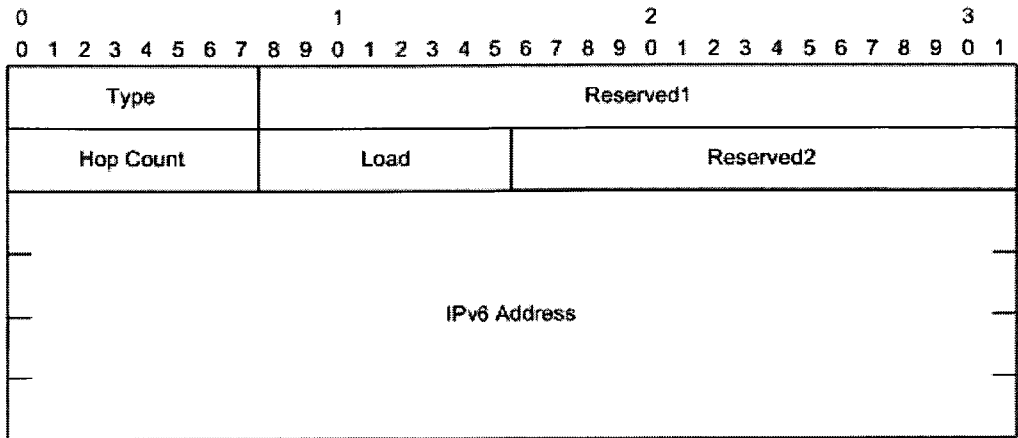


그림 15. IGW 시그널링 메시지 형식

IGW들 간의 데이터 전송에는 <그림 15>와 같은 메시지 형식을 이용한다. 타입이 1(type-1)이면 IGW의 존재를 다른 IGW들에게 알리기 위한 것이며, 패킷의 소스 주소는 IGW의 무선 네트워크 인터페이스에 할당된 IPv6 주소이고, 목적지 주소는 ALL\_MANET\_GW\_MULTICAST이다. <그림 15>에서의 "IPv6 Address"에는 IGW의 유선 망 인터페이스에 할당된 IPv6 주소를 설정하여 각 IGW들의 유무선 네트워크 인터페이스 주소를 파악할 수 있다. 이 메시지의 교환을 통해 각 IGW들은 멀티 홉 무선 네트워크 내에 존재하는 다른 IGW들의 유무선 인터페이스 주소를 알 수 있다.

에드혹 노드의 IGW 요청 메시지를 수신한 후, IGW에서는 홉 수, IGW의 부하, 에드혹 노드의 주소를 <그림 15>의 "Hop Count", "Load", "IPv6 Address" 필드에 설정하여 다른 IGW들에게 유선 망으로 전송하기 위해서 타입에 2(type-2)를 할당한다. IGW 요청 메시지

수신 후 IGW는 타이머(TIMER\_IGW)를 설정하여 다른 IGW들에서 IGW 시그널링 메시지를 보낼 때까지 일정 시간을 기다린다. 일정 시간이 지난 후 그 때까지 수집된  $IGW_i^C$  값 중에서 자신의  $IGW_i^C$  값이 가장 작은 IGW만이 해당 애드혹 노드에게 IGW 광고 메시지를 보내며, 그렇지 않은 경우는 IGW 요청 메시지를 무시한다. 만일 일정 시간 동안 어떠한 IGW 시그널링 메시지도 수신하지 않으면 자신의 정보를 IGW 광고 메시지에 담아 MANET 노드에게 전달한다.

IGW에서 애드혹 노드에게 IGW 광고 메시지를 보낼과 동시에, 다른 IGW들에게도 자신이 IGW 광고 메시지를 보냈음을 알리기 위해 IGW 시그널링 메시지의 타입에 3(type-3)을, "IPv6 Address"에 애드혹 노드의 주소를 설정하여 멀티 홉 무선 네트워크 내의 다른 IGW들에게 유선망을 통해 전송한다. 따라서 다른 IGW들은 이미 해당 애드혹 노드에 대한 IGW 광고 메시지가 전송된 것을 알게 되어 해당 애드혹 노드의 IGW 요청 메시지를 무시한다. 애드혹 노드에서 하나 이상의 IGW 광고 메시지를 수신하는 경우 가장 먼저 도착한 것을 선택한다.

Type-2, type-3 IGW 시그널링 메시지의 "IPv6 Address" 필드에는 IGW 요청 메시지를 발생시킨 애드혹 노드의 IPv6 주소를 할당하여, IGW 시그널링 메시지를 수신한 IGW에게 이 메시지가 어떤 애드혹 노드에 대한 것인지를 알 수 있도록 한다. Type-2, type-3 IGW 시그널링 메시지는 유선 네트워크를 통하여 같은 멀티 홉 무선 네트워크에 속한 모든 IGW들에게 전송되며, 유선 인터넷에서의 통신 방법에 대해서는

이 논문에서 다루지 않는다.

### 3.3.3 성능 평가

본 절에서는 ns-2[32]를 이용하여 제안한 4가지 부하 균등화 기법의 성능을 분석한다. 시뮬레이션을 위한 망으로 75개의 노드들로 구성된 <그림 16>의 망을 이용하였다. 각 노드들은 일정한 간격( $x=100\text{m}$  or  $150\text{m}$ )으로 배치되며 인터넷 연결을 위한 IGW 두 개를 가장자리에 두었다. 색이 칠해진 트래픽을 전송하는 노드들을 IGW2 근처에 집중되도록 설정하였으며, 모든 트래픽은 IGW를 거쳐 인터넷 노드에게 전달되도록 하였다. 애드혹 노드들은 210 bytes의 패킷을 32 Kbps로 전송하며, 1초부터 10초까지 임의의 순서로 트래픽을 발생시키고 IGW 선택 후 AODV 경로 설정을 통하여 50초까지 인터넷 노드와 CBR 통신을 지속한다.

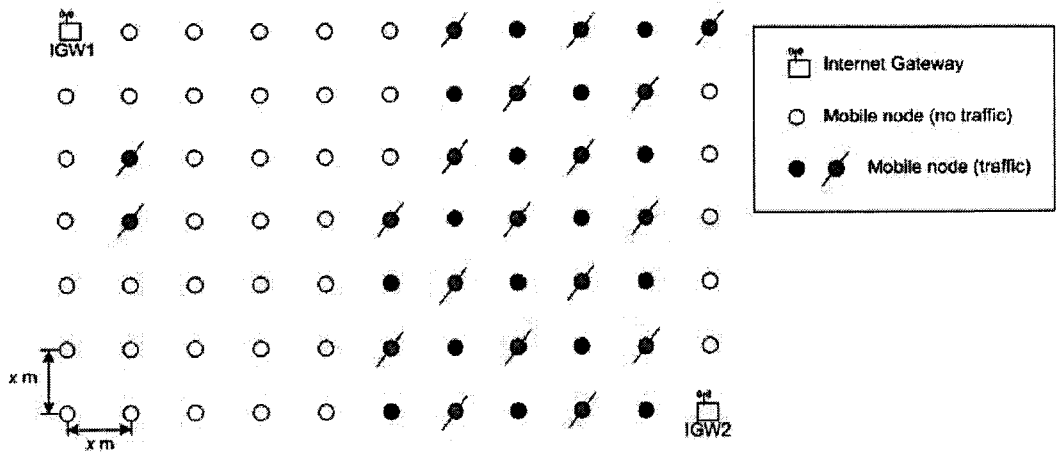


그림 16. 시뮬레이션을 위한 망 구성

### 3.3.3.1 가중치 $k$ 의 결정

식 (6)에서 사용된 가중치  $k$ 를 결정하기 위하여 망의 크기와 트래픽 전송 노드 수를 변경하면서 IGW1과 IGW2에서 처리하는 트래픽의 총량을 측정하였다. 부하 균등화 기법으로는 SIGW-ERS 기법을 이용하였으며, 망의 크기를 조정하기 위하여  $x$  값으로 100m와 150m를 설정하였다. 전송 노드의 수는 35개의 모든 트래픽 전송 노드들이 전송하는 경우와 19개의 선이 그어진 노드들이 트래픽을 전송하는 경우로 나누어 실험하였다.

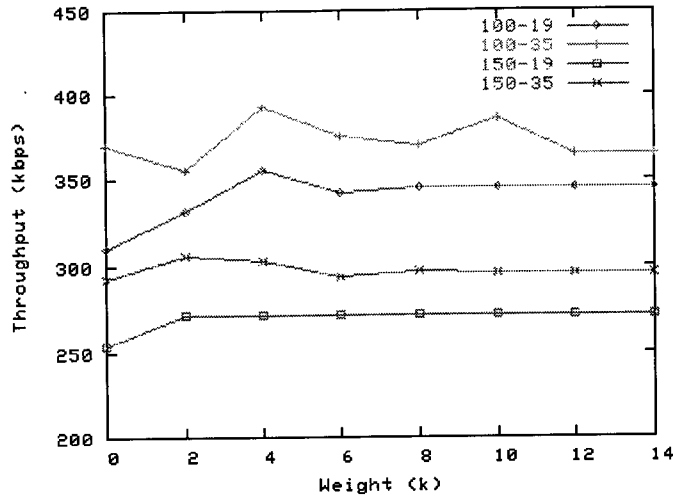


그림 17. 가중치의 변화에 따른 전송률

<그림 17>은 가중치  $k$ 가 전송률에 미치는 영향을 보인다. 전송률은 IGW1과 IGW2의 무선 인터페이스로 수신된 트래픽의 전송률을 나타내며, "100-19"는  $x$ 를 100m로, 트래픽 전송 노드를 19개로 한 망을 의미한다. 노드들의 간격이 100m인 망에서는 트래픽을 전송하는 노드 수에 관계없이  $k$  값이 4인 경우 총 전송률 값이 가장 크며, 노드들의 간격이 150m인 망에서는  $k$  값이 2인 경우가 가장 높은 전송률을 보이지만 4인 경우와 큰 차이를 보이지 않는다.  $x$ 를 150m로 한 망은 100m로 한 망보다 IGW까지의 평균 홉 수가 증가하여 더 작은 가중치로 부하 균등화 효과를 얻을 수 있다.  $k$  값이 6보다 큰 경우에는  $k$  값이 전체 메트릭에 미치는 영향이 충분히 커져서  $k$  값이 증가하더라도 더 이상의 성능 향상을 얻을 수 없었다. 멀티 홉 애드혹 네트워크의 크기나 밀도가 변함에 따라 최적의 가중치  $k$  값은 변할 수도 있다. 앞으로의 성능 분석에서는 4가지 부하 균등화 기법의 비교를 위한  $k$  값으로 4를 이용한다.



### 3.3.3.2 네 가지 부하 균등화 기법의 성능 비교

식 (6)에서의  $IGW_i^C$ 를 이용하는 네 가지 부하 균등화 기법의 성능을 분석하기 위해 타이머 값의 변화에 따른 전송률을 측정했다. 실험망은  $x$ 를 150m로 하고, 35개의 색이 칠해진 노드들이 모두 트래픽을 발생하도록 했다. 타이머 값이 크면 더 많은 IGW들을 인터넷 연결 지원의 고려 대상으로 사용할 수 있으나 IGW 정보들을 수집하기 위해 더 많은 시간을 소모하게 된다. 타이머 값을 작게 하면 기다리는 시간은 줄지만, 일정 범위 내의 IGW들만을 대상으로 하여 인터넷 연결을 위한 IGW를 선택하므로 부하 균등화를 위한 최적의 IGW를 선택하지 못할 수도 있다.

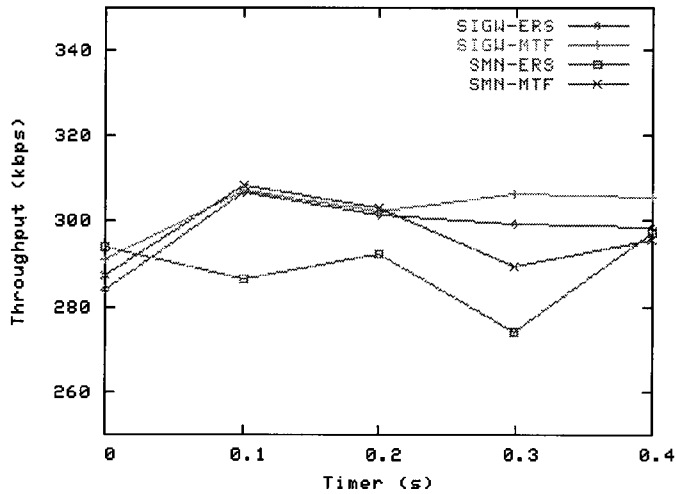


그림 18. 네 가지 부하 균등화 기법의 성능 비교

<그림 18>에서 SMN-ERS가 가장 낮은 성능을 보이며, 그 이유는 전체 멀티 홉 애드혹 네트워크 내에서  $IGW_i^C$  값이 가장 작은 IGW보다는 홉 수가 가장 작은 IGW를 선택하는 확률이 다른 방법들보다 높기 때문이다. SIGW-MTF는 타이머 값의 변화에 관계없이 일정한 전송률을 유지하며, 전반적인 성능에 있어서 가장 좋다. 그 이유는 IGW 광고 메시지가 모든 IGW들에게 전송되며 유선망을 통하여 빠른 시간 내에 가장 좋은 IGW를 선택할 수 있기 때문이다. 시뮬레이션 결과, SMN-ERS를 제외한 나머지 모든 방법에서 0.1초의 타이머를 사용하는 경우에 가장 좋은 전송률을 얻었다.

### 3.3.3.3 기존 연구와의 성능 비교

<그림 19>에서는 인터넷 연결을 위한 IGW 선택 기법으로 [24]에서 제안된 기법들의 메트릭을 채용한 SP 기법과 MLI 기법을 SIGW-MTF 방법과 비교하였다. 본 논문에서 제안한 기법들과 SP, MLI 기법들은 모두 reactive 게이트웨이 발견 기법을 사용한다. SP 기법은 부하 균등화를 고려하지 않으며 가장 가까운 거리에 있는 IGW를 선택한다. MLI 기법은 가장 부하가 적은 IGW를 선택하므로 먼 거리에 있는 IGW를 선택할 수 있어 결과적으로 전체적인 전송률에서는 더 낮은 성능을 보이며, SIGW-MTF 방법에서는 홉 수와 IGW의 부하를 모두 고려하여 SP나 MLI 기법보다 높은 전송률을 보인다.

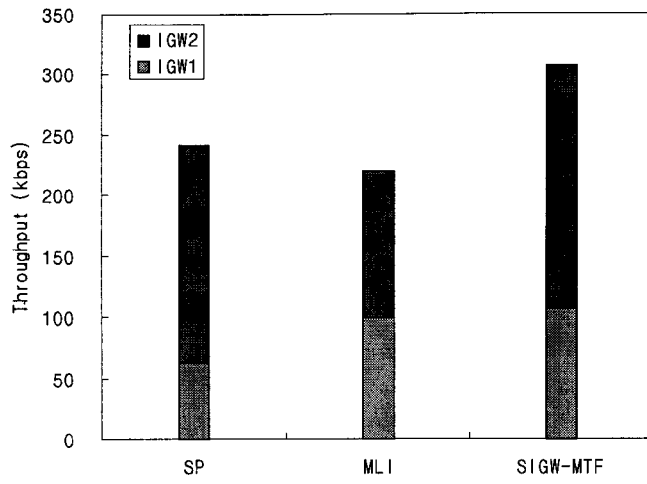


그림 19. 기존 연구와의 성능 비교

## 제4장 멀티 홉 애드혹 네트워크를 위한 멀티캐스트 포워딩

### 4.1 서론

본 연구는 IPv6 기반 멀티 홉 애드혹 환경에서 멀티캐스트 패킷을 전송하기 위한 포워딩에 관한 것으로, 애드혹 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 의해 생성된 라우팅 테이블을 이용하여 멀티캐스트 패킷을 포워딩하고자 할 때 사용한다. 멀티캐스트 패킷 포워딩시에 유선 환경에서는 멀티캐스트 트리상의 자식 노드들에게만 패킷을 전송하지만, 무선 환경에서는 각 노드들이 일대일 인터페이스로 연결되어 있지 않으므로 이웃한 모든 멀티캐스트 트리 멤버와 그룹 멤버에게 전송되어 중복 전송을 방지할 수 있는 멀티캐스트 데이터 포워딩 방식이 필요하다. 무선 환경에서의 멀티캐스팅은 전파가 일정한 범위 내의 영역으로 전달되어 정당한 수신자가 아닌 모든 이웃한 노드들에게 패킷이 전달되며, 이 과정에서 자신에게 패킷을 보내준 노드에게도 전송하는 중복 현상이 발생하여 라우팅 루프를 생성할 수 있는 단점이 존재한다. 이러한 중복 현상을 효과적으로 차단할 수 있다면, 한 번의 전송으로 여러 노드들이 동시에 수신 가능하므로 부족한 무선 대역폭 자원을 절약하면서 멀티캐스팅을 할 수 있는 장점이 있다.

## 4.2 애드혹 멀티캐스팅에서 발생할 수 있는 중복 문제

이동 애드혹 네트워크 환경에서 트리 기반으로 멀티캐스트 데이터를 전달할 때 발생할 수 있는 중복 현상을 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 <그림 20>과 같이 노드 A가 노드 B를 거쳐 노드 C에게 패킷을 전달하는 과정을 나타내는 망에서 노드 B가 노드 C에게 패킷을 전달할 때, 노드 A도 이 패킷을 수신하게 된다. 이러한 중복 전송을 "역전송에 의한 중복"으로 표기한다. 유선 네트워크에서의 멀티캐스팅은 패킷 진입 인터페이스와 진출 인터페이스가 다르기 때문에 역전송에 의한 중복이 발생하지 않는다. 그러나, 무선 애드혹 네트워크에서의 멀티캐스트 통신은 진입 인터페이스와 진출 인터페이스가 같으며, 목적지 주소가 특정 노드의 주소가 아닌 멀티캐스트 그룹 주소이므로 역전송에 의한 중복이 발생하며 패킷의 TTL값이 소진될 때까지 라우팅 루프를 형성한다.

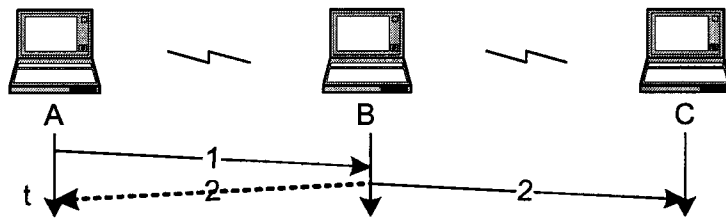


그림 20. 역전송에 의한 중복

SMCRoute(Static Multicast Route)[34] 프로그램을 이용하여 <그림 20>의 망을 구성한 후 SDR (Session Directory Tool) / NTE

(Network Text Edito) [35]를 이용하여 모든 세 노드가 NTE 응용 그룹에 조인하도록 한 후, A 노드에서 멀티캐스트 패킷을 전송할 때 역전송에 의한 중복이 발생하는 것을 관찰하였다. 그러므로, 이동 애드혹 네트워크상의 멀티캐스트 데이터 포워딩에서 역전송에 의한 중복을 방지하기 위한 처리를 요구하며, 추가적으로 트리상의 노드에게서만 패킷을 받도록 하는 기법이 요구된다.

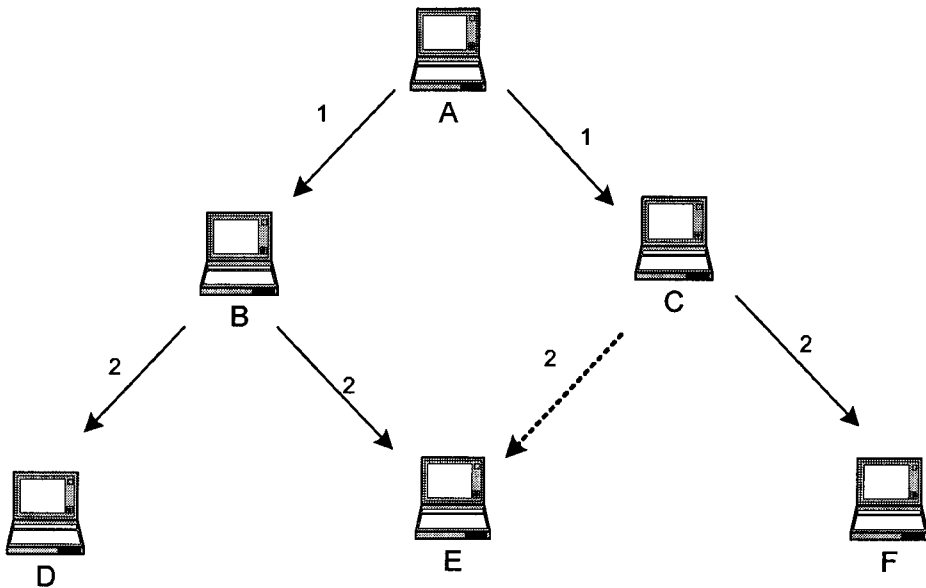


그림 21. 트리를 벗어난 전송에 의한 중복

<그림 21>과 같은 트리 기반의 애드혹 멀티캐스팅에서 실선은 멀티캐스트 트리를 나타내며, 노드 A가 멀티캐스트 그룹의 소스이고 노드 D, E, F가 그룹의 멤버라고 할 때, A가 보낸 패킷을 B, C가 수신하여 B는 트리상의 다음 노드인 D, E에게 전송하고 C는 F에게 포워딩 해야 하지

만, C의 전파범위에 E도 포함된다면 E는 B와 C로부터 패킷을 중복해서 받게 된다. 그림에서 점선으로 표시된 부분은 트리에 속하지 않으므로 E 노드에서는 B로부터 전송된 패킷만을 수신하도록 하는 방법을 제공해야 한다. 이러한 중복 현상은 앞으로 "트리를 벗어난 전송에 의한 중복"으로 표기한다. 본 논문은 IPv6 기반 이동 애드혹 네트워크 환경에서 멀티캐스트 데이터 포워딩시에 역전송에 의한 중복과 트리를 벗어난 전송에 의한 중복을 방지하는 효율적인 기법을 제안한다.

### 4.3 이동 애드혹 멀티캐스트 데이터 포워딩

유선 환경에서의 멀티캐스트 데이터 포워딩에서는 전송 노드의 역할이 중요하다. 라우팅 테이블에서 목적지의 주소에 대한 다음 홉을 찾아서 해당 네트워크 인터페이스로 전송하면 수신 노드에서는 단순히 받기만하면 된다. 무선 환경에서는 전송 노드에서 특정한 수신 노드에게만 패킷을 전송할 수 없고 이웃한 모든 노드들에게 전송한다. 전송노드에서 패킷을 전송할 때 패킷의 수신자가 누구인지를 명시하는 부분이 없으므로, 자식 노드가 누구인지를 판단하기 보다는 트리상의 자식 노드가 있는지만을 식별하여, 있으면 포워딩 한다.

수신 노드 측면에서는 유선 환경보다 복잡하여 패킷 수신시에 트리를 벗어난 전송에 의한 중복과 역전송에 의한 중복을 방지해야 한다. 트리를 벗어난 전송에 의한 중복을 방지하는 과정에서 그룹 G에 대한 이웃으로부터 전송된 패킷인지를 검사할 뿐만 아니라 트리상의 노드들만 패

킷을 수신하도록 하여 패킷을 라우팅 경로에 따라 이동시키는 효과를 갖는다.

<그림 22>에서는 멀티 홉 애드혹 환경에서 멀티캐스트 데이터 포워딩을 수행하는 송수신 노드의 기능을 순서도로 나타냈다. 트리를 벗어난 전송을 방지하여 포워딩 테이블의 역할을 추가로 얻으며, 역전송에 의한 중복을 방지하여 라우팅 루프를 방지한다. 내부에서 생성된 패킷은 트리스상의 이웃 노드가 1개 이상 있으면 전송하지만 외부에서 들어온 패킷을 다음 노드로 포워딩할 때는 이웃 노드의 수가 2 이상일 때만 포워딩한다.



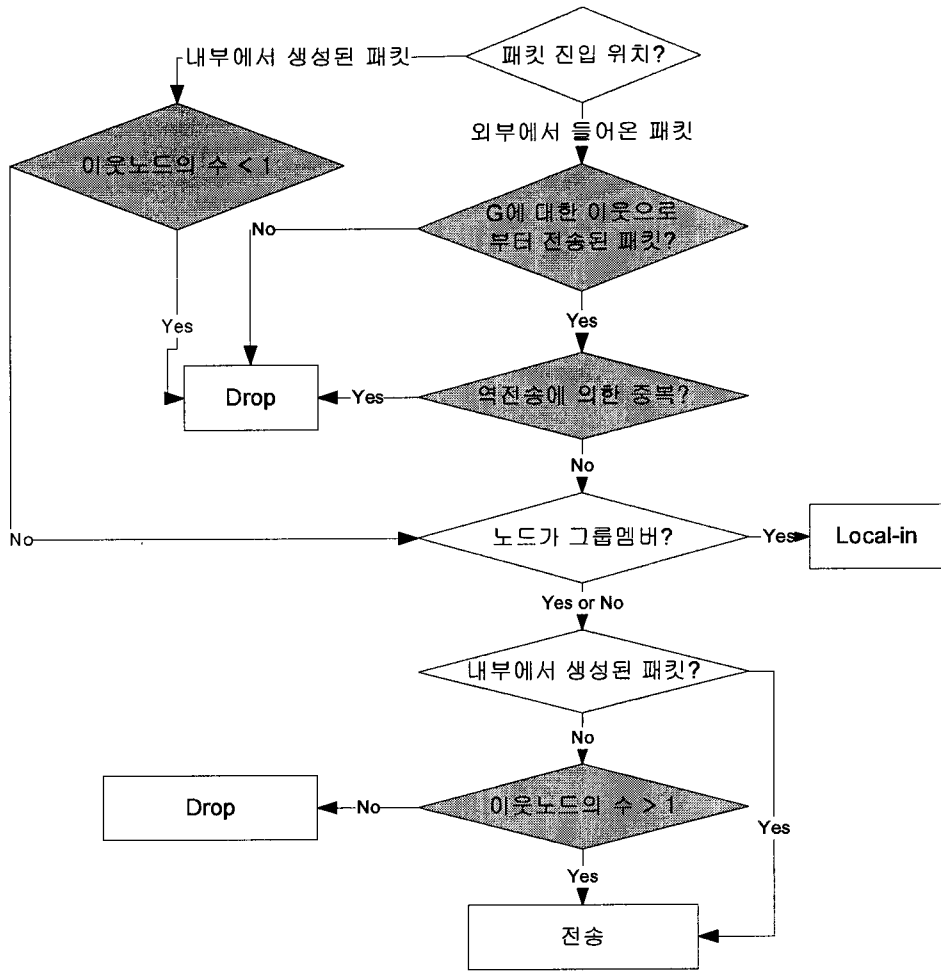


그림 22. 멀티 홉 애드혹 멀티캐스트 데이터 포워딩 순서도

### 4.3.1 이동 애드혹 멀티캐스트 데이터 포워딩 구현

IPv6 기반 이동 애드혹 멀티캐스트 데이터 포워딩은 리눅스 커널[36] 2.4 기반의 운영체제에서 NIST의 AODV 구현[37]에 IPv6 지원과 MAODV 멀티캐스트 라우팅 프로토콜을 추가한 환경을 기반으로 SDR/NTE를 사용하여 실험했으며, <그림 22>의 동작방식을 바탕으로 IPv6 기반 이동 애드혹 환경에서의 멀티캐스트 데이터 포워딩을 구현한다. 다른 운영체제와 IPv4 기반의 네트워크에 대한 구현도 본 연구의 내용을 기반으로 수정하는데 무리가 없으며, 멀티캐스트 라우팅 프로토콜도 MAODV가 아닌 트리 기반의 다른 프로토콜을 사용할 수 있다.

유선 환경에서의 포워딩은 라우팅 테이블 검색에 의해 수행되며, 네트워크 인터페이스에 의해 직접 연결된 망을 통해 통신하므로 중복이나 보내지 말아야 할 곳에도 전송하는 문제가 발생하지 않는다. 그러나, 무선 환경에서의 포워딩은 포워딩 노드에서 패킷을 송수신하거나 소스 노드에서 패킷을 보낼 때와 목적지 노드에서 패킷을 받을 때, 통신하는 두 노드들이 협업으로 수행한다. 송수신 노드에서는 패킷을 필터링하여 포워딩을 수행하며 중복 처리에도 필터링을 이용한다.

리눅스 커널 2.4에는 패킷 필터링을 위해 사용할 수 있는 넷필터(Netfilter)가 존재하여, 넷필터 훅(hook)과 연결된 콜백(Callback) 함수를 이용해 대부분의 구현이 이루어진다. <그림 23>는 IPv6에서 사용하는 넷필터의 구조로, 외부에서 들어온 패킷은 "NF\_IP6\_PRE\_ROUTING"

혹에서 콜백 함수에 의해 트리를 벗어난 전송에 의한 중복과 역전송에 의한 중복을 검사하여 적합하지 않은 패킷은 폐기한다. "Routing" 루틴에서는 IGMP 조인 테이블을 참조하여 그룹에 조인되어 있으면 자신이 수신하고, 단순한 트리 멤버면 포워딩만 하기 위해 "NF\_IP6\_POST\_ROUTING" 쪽으로 보내지며 해당 콜백 함수에서 이웃 노드의 수가 2 이상이면 포워딩한다.

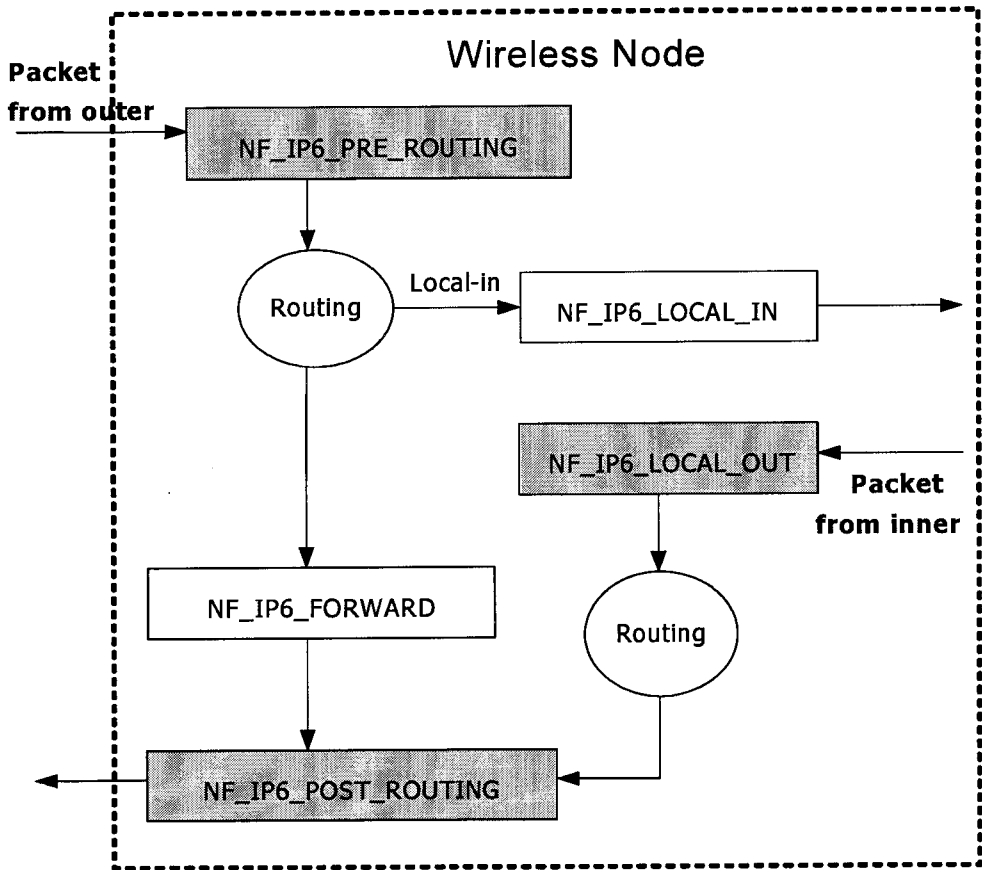


그림 23. IPv6 넷필터 구조

본 연구에서 사용하는 "Routing" 루틴은 커널의 멀티캐스트 라우팅 테이블을 이용하지 않으며 그룹 멤버면 수신하고 포워딩 할 자식 노드가 존재하면 포워딩 하는 단순한 역할만을 담당하므로 커널을 이에 맞게 수정했다. "NF\_IP6\_LOCAL\_OUT" 혹에서는 내부에서 생성된 패킷의 목적지 그룹에 대한 이웃 노드의 수가 하나 이상이면 "Routing" 루틴으로 넘겨지고 "NF\_IP6\_PRE\_ROUTING" 혹 다음의 "Routing" 루틴과 같은 역할을 한다.

#### 4.3.2 패킷 중복 처리 방법

이동 애드혹 네트워크에서의 멀티캐스팅은 역전송에 의한 중복과 트리를 벗어난 전송에 의한 중복을 방지하는 방법을 요구한다. ODMRP를 비롯한 기존의 애드혹 멀티캐스트 데이터 포워딩에서는 L3 소스 주소와 소스에서 각 패킷에 부여한 유일한 아이디를 쌍으로 하는 엔트리들을 유지하는 테이블을 이용하여 두 가지 중복을 방지한다. MAODV는 트리 기반 멀티캐스트 라우팅 프로토콜이므로 이러한 방법을 이용하여 역전송에 의한 중복을 방지할 수 있으나, 트리를 벗어난 전송은 방지할 수 없다. <그림 21>의 망에서 노드 A로부터 수신한 패킷을 노드 B보다 노드 C가 먼저 전송한다면 노드 E에서는 노드 C가 보낸 패킷을 수신하고 노드 B가 보낸 패킷은 유일한 아이디가 같으므로 폐기할 것이다. <표 2>는 MAODV에서 멀티캐스트 데이터 포워딩을 위해 필요한 포워딩 테이블과 무선 애드혹 멀티캐스트 환경에서 발생할 수 있는 중복을 방지하기 위해 소스 주소와 유일한 아이디를 사용하는 방법에서 필요한 자료구조들이다. <표 2>의 자료구조들은 테이블 관리와 통계 목적의 필드

는 모두 제외하고 포워딩에 반드시 필요한 요소들만을 표시하며 <표 2.(a)>는 SMCRoute에서 멀티캐스트 경로를 생성할 때 사용되는 필수 옵션을 근거로 하였다.

표 2. 유일한 아이디를 사용하는 방법에서 멀티캐스트 데이터 포워딩을 위해 필요한 자료구조들

(a) 멀티캐스트 데이터 포워딩 테이블의 엔트리

Field Name	Data Type
Originator Address	L3 (IPv4 or IPv6) Address
Multicast Group Address	L3 (IPv4 or IPv6) Address
Incoming Interface	Integer
Outgoing Interface	Integer

(b) 중복 방지 테이블의 엔트리

Field Name	Data Type
Originator Address	L3 (IPv4 or IPv6) Address
Unique Identifier 1	Integer
Unique Identifier 2	Integer
...	...
Unique Identifier n	Integer

그러나 이 방법은 소스에서 매번 L3 헤더에 유일한 아이디를 부여해야 하고 포워딩 노드들에서는 매 패킷마다 L3 소스 주소와 유일한 아이디 쌍을 유지해야 하므로, 적절한 시간에 불필요한 엔트리를 삭제하는

방법이 없을 경우 메모리 면에서도 낭비를 초래한다. 또한 IPv6 헤더에는 유일한 아이디를 저장하기 위한 필드가 없으므로 확장 헤더를 사용해야 하는 부담이 있으며, 이동 애드혹 네트워크에서의 통신은 패킷 진입 인터페이스와 진출 인터페이스가 같으므로 두 개의 필드를 사용하는 것은 낭비이다.

본 연구에서는 역전송에 의한 중복을 방지하기 위해 패킷의 L3 소스와 목적지 그룹에 대한 부모 노드의 L2 소스 주소를 엔트리로 사용한다. <그림 24>를 예로 설명하면 노드 D는 그룹 G에 조인한 노드이고 S에서 D로 멀티캐스트 패킷 전송 중 F1에서 F2로 포워딩 되는 패킷을 보여준다. F2에서는 이 패킷을 수신하여 L3 헤더의 (S, G)를 보고 (S, G)에 대한 엔트리가 없으면 F1의 L2 주소 (S, G, F1<sub>L2</sub>)를 저장하고 노드 D에게 전송한다. 엔트리 저장 후에 L3 헤더에 (S, G)를 갖는 패킷을 받으면 엔트리에 있는 L2 주소(F1<sub>L2</sub>)와 현재 수신한 패킷의 L2 소스 주소를 비교하여 같으면 수신하고 다르면 폐기한다. 소스 노드에서는 부모 노드가 없기 때문에 L2 소스 주소의 위치에 널(Null) 값을 넣어 중복을 방지하며, 엔트리 비교시 부모 노드의 L2 소스 주소 위치에 널 값이 있으면 소스 노드이므로 L3 헤더에 (S, G)를 갖는 패킷을 폐기한다.

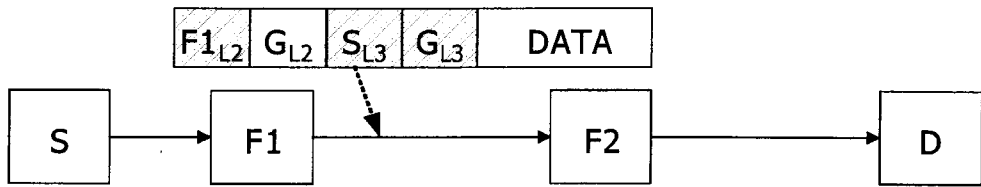


그림 24. 역전송에 의한 중복 방지

L3 주소는 패킷의 소스와 최종 목적지를 명시하기 위해 사용하고 L2 주소는 소스에서 최종 목적지로 가는 중간 단계에서 한 홉마다의 소스와 목적지를 나타내기 위해 사용한다. 패킷을 수신한 노드 입장에서 한 홉 앞의 부모 노드를 식별하기 위해서는 위에서 설명한 L2 소스 주소를 이용하는 방법과 각 노드마다 L3 확장헤더에 자신의 L3 주소를 넣어 전송하는 방법을 고려할 수 있다. 부모 노드의 L2 주소를 엔트리에 유지하는 방법은 경로를 설정하는 라우팅 프로토콜에서 L2 주소를 사용하여 네트워크의 계층 개념을 깬다는 단점이 있지만, 부모 노드의 L3 주소를 삽입하기 위한 IPv6의 확장 헤더를 사용하지 않으므로 무선 환경에서 부족한 네트워크 자원을 절약할 수 있다는 측면에서 선택된 방법이다.

유일한 아이디를 사용하는 방법은 수신하는 각 패킷마다 엔트리를 새로 작성하고 일정 시간이 지난 엔트리는 지우는 작업을 빈번하게 수행해야 한다. 하지만 새로 제안한 방법은 멀티캐스트 트리 구조에 기반한 테이블을 유지하므로 멀티캐스트 트리가 변하지 않는다면 엔트리 값도 그대로 유지된다.

트리를 벗어난 전송에 의한 중복을 처리하기 위해서는 테이블에 L3 목적지 그룹에 대한 트리상의 이웃 노드 L2 주소들을 엔트리로 등록하며, 멀티캐스트 라우팅 테이블을 이용하여 MAODV에서 이 등록을 담당한다. 패킷 수신시에 트리를 벗어난 전송에 의한 중복을 방지하기 위한 테이블( $G_{L3}$ ,  $LIST_{L2neighbor}$ )을 참조하여 패킷의 L3 목적지인 G에 대해 부모 노드의 L2 소스 주소가 이웃 노드 L2 주소의 리스트에 존재하는지를 검사하여 있으면 수신하고 없으면 폐기한다.

이상의 내용을 바탕으로 <표 3>은 본 논문에서 제안한 방법인 AMF (Ad-hoc Multicast data Forwarding)에서 멀티캐스트 데이터 포워딩을 위해 필요한 자료구조들을 나타낸다.



표 3. AMF에서 멀티캐스트 데이터 포워딩을 위해 필요한 자료구조들

(a) 멀티캐스트 데이터 포워딩 테이블의 엔트리  
(트리를 벗어난 전송에 의한 중복 방지)

Field Name	Data Type
Multicast Group Address	L3 (IPv4 or IPv6) Address
Neighbor L2 Address 1	L2 (MAC) Address
Neighbor L2 Address 2	L2 (MAC) Address
...	...
Neighbor L2 Address n	L2 (MAC) Address

(b) 역전송에 의한 중복 방지 테이블의 엔트리

Field Name	Data Type
Originator Address	L3 (IPv4 or IPv6) Address
Multicast Group Address	L3 (IPv4 or IPv6) Address
Parent Node of Multicast Flow	L2 (MAC) Address

## 4.4 동작 실험 및 성능 분석

### 4.4.1 AMF 동작 실험

이 절에서는 IPv6를 지원하는 리눅스 커널에 NIST의 kernel AODV를 수정한 MAODV를 탑재한 후, 멀티캐스트 통신이 진행되는 도중에 노드에서 관리하는 정보들을 보인다. 멀티캐스트 통신을 위해 SDR을 이용하여 멀티캐스트 세션을 생성하고 세션에 대한 정보를 다른 노드들에게 전송할 수 있도록 하며, NTE를 이용하여 멀티캐스트 그룹에 조인하고, 임의의 멀티캐스트 전송자가 보낸 메시지를 그룹의 모든 수신자들이 수신할 수 있게 했다. 구현 결과를 실험하기 위한 환경은 <그림 20>의 땅에 IEEE 802.11b 무선랜 카드를 장착한 노트북 3대를 멀티 홉으로 구성했다.

<표 4>와 <표 5>는 노드 A에서 멀티캐스트 통신 중에 트리를 벗어난 전송에 의한 중복을 방지하기 위한 테이블 정보와 역전송에 의한 중복을 방지하기 위한 테이블 정보를 보여 준다. 멀티캐스트 그룹은 세션 관리를 위한 그룹과 멀티캐스트 데이터 통신을 위한 그룹 2개가 사용되며, <표 4>는 각 그룹에 대한 이웃 노드의 주소를 보여주는 테이블이고 MAODV에서 멀티캐스트 경로를 찾은 후 설정하는 값이다. <표 5>는 실질적인 멀티캐스트 트래픽이 경로를 따라 이동할 때 생성되는 값이며, 첫 세 줄은 세션 관리를 위해 사용되는 멀티캐스트 그룹에 대한 정보이고, 나머지 아홉 줄은 노드

A, B, C에서 각각 멀티캐스트 전송자로서 전송하는 패킷이 있음을 의미한다. AMF를 이용한 동작실험 결과 라우팅 루프를 생성하지 않고 안정적으로 멀티캐스트 데이터를 포워딩하는 상황을 확인했다.

표 4. 트리를 벗어난 전송에 의한 중복을 방지하기 위한 테이블 (노드 A)

FF0E:0000:0000:0000:0000:0000:0002:7FFE (세션 정보 전달을 위한 그룹)
00:03:47:15:21:7F (노드 B의 L2 주소)
FF0E:0000:0000:0000:0000:0000:0002:CEE5 (NTE 통신을 위한 그룹)
00:03:47:15:21:7F (노드 B의 L2 주소)

표 5. 역전송에 의한 중복을 방지하기 위한 테이블 (노드 A)

3FFE:FFFF:0100:F102:0000:0000:0000:0011

(노드 B의 L3 주소: 그룹 리더)

FF0E:0000:0000:0000:0000:0000:0002:7FFE

(세션 정보 전달을 위한 그룹)

00:03:47:15:21:7F

(노드 B의 L2 주소)

3FFE:FFFF:0100:F102:0000:0000:0000:0013

(노드 A의 L3 주소)

FF0E:0000:0000:0000:0000:0000:0002:CEE5

(NTE 통신을 위한 그룹)

00:00:00:00:00:00

(자신이 패킷을 보낼 경우 Null)

3FFE:FFFF:0100:F102:0000:0000:0000:0012

(노드 C의 L3 주소)

FF0E:0000:0000:0000:0000:0000:0002:CEE5

(NTE 통신을 위한 그룹)

00:03:47:15:21:7F

(노드 B의 L2 주소)

3FFE:FFFF:0100:F102:0000:0000:0000:0011

(노드 B의 L3 주소)

FF0E:0000:0000:0000:0000:0000:0002:CEE5

(NTE 통신을 위한 그룹)

00:03:47:15:21:7F

(노드 B의 L2 주소)

#### 4.4.2 성능분석

AMF는 휴대가 가능한 이동 애드혹 노드에서 중요한 자원인 메모리의 사용을 줄이고 멀티캐스트 데이터 처리를 단순화하면서 무선 환경에 적합한 방법으로 멀티캐스트 데이터 포워딩을 수행한다. 이 절에서는 멀티캐스트 그룹들에 참여하고 있는 한 노드에서 사용하는 메모리 사용량을, 유일한 아이디를 사용하는 방법과 AMF 각각의 방법에 대해 비교하기 위하여 수식을 이용해 분석한다. <표 6>에 다음 수식들에 사용될 표현들을 정리 하였다. 식 (7)과 (8)의 합은 유일한 아이디를 사용하는 방법에서 한 노드가 이용하는 총 메모리 양이며, 식 (7)은 <표 2. (a)>에 근거하여 멀티캐스트 포워딩 테이블의 크기를 나타내며, 식 (8)은 <표 2. (b)>에 근거하여 중복 방지 테이블의 크기를 계산한다.

표 6. 수식에 사용되는 표현들

$G$ : 노드가 참여하고 있는 멀티캐스트 그룹의 수

$S = \{s_1, s_2, \dots, s_G\}$ : 각 멀티캐스트 그룹의 멀티캐스트 소스 수

$P$ : 노드가 참여하고 있는 모든 멀티캐스트 그룹의 멀티캐스트 소스 총 수

$K = \{k_1, k_2, \dots, k_P\}$ : 각 멀티캐스트 소스에 대해 노드에서 유지해야할 유일한 아이디 의 개수

$N = \{n_1, n_2, \dots, n_G\}$ : 각 멀티캐스트 그룹에 대한 이웃 노드의 개수

$$T1a = \sum_{i=1}^G s_i \times 2 \times (\text{sizeof}(L3Address) + \text{sizeof}(Integer)), s_i \in S \quad (7)$$

$$T1b = P \times \text{sizeof}(L3Address) + \sum_{i=1}^P k_i \times \text{sizeof}(Integer), k_i \in K \quad (8)$$

식 (9)와 (10)의 합은 AMF 방법에서 한 노드가 이용하는 총 메모리 양이며, 식 (9)는 <표 3. (a)>에 근거하여 멀티캐스트 포워딩 테이블의 크기를 나타내며, 식 (10)은 <표 3. (b)>에 근거하여 역전송에 의한 중복 방지 테이블의 크기를 계산한다.

$$T2a = G \times \text{sizeof}(L3Address) + \sum_{i=1}^G n_i \times \text{sizeof}(L2Address), n_i \in N \quad (9)$$

$$T2b = \sum_{i=1}^G s_i \times (2 \times \text{sizeof}(L3Address) + \text{sizeof}(L2Address)), s_i \in S \quad (10)$$

메모리 사용량을 비교하기 위하여 모든 MANET 노드들은 고정된 것으로 가정하며, 모든 멀티캐스트 소스들은 CBR로 패킷을 전송하는 것으로 가정한다. 실제로 다중 사용자 게임과 같은 여러 응용들에서 모든 소스들이 빈

변하게 패킷을 전송한다. 노드가 참여하고 있는 그룹 수인  $G$  값은 1에서 10까지 1씩 증가시키며 실험하였고, 각 멀티캐스트 그룹에 대한 소스 수인  $s_i$ 와 각 멀티캐스트 트리에 대한 이웃 노드의 수인  $n_i$ 는 1에서 5사이의 정수를 임의로 발생시켜 값을 대입하였으며, 멀티캐스트 그룹들의 총 소스 수인  $P$  값은 각 멀티캐스트 그룹의 소스들이 전혀 중복되지 않는 최대값과 소스를 가장 많이 가지고 있는 그룹의 소스와 다른 그룹의 모든 소스들이 겹치는 최소값을 이용하였다. UID를 이용하는 방법에서 노드가 유지하고 있어야 하는 UID의 개수인  $k_i$  값에 대해서는 정교한 알고리즘이 요구되지만 실험을 위해 모두 동일하게 1, 10의 값을 이용하여 실험하였으며, 유일한 아이디를 이용하는 방법에서 정수의 크기는 2 바이트로 하였다.

<그림 25>과 <그림 26>에서 UID1은 유일한 아이디를 이용하는 방법에서  $P$ 의 최대값을 사용한 메모리 사용량이며, UID2는 최소값을 이용한 메모리 사용량이다.  $P$ 의 최소값을 이용한 경우 AMF와 유사한 메모리 사용량을 보이지만  $P$ 의 최대값을 이용할 경우 참여하는 그룹 수가 많아져 멀티캐스트 소스의 수가 많아질수록 AMF가 더 좋은 성능을 보인다.  $k_i$  값을 1로 작게 하더라도 UID1의 경우와 비교해 AMF는 여전히 더 좋은 성능을 보인다.

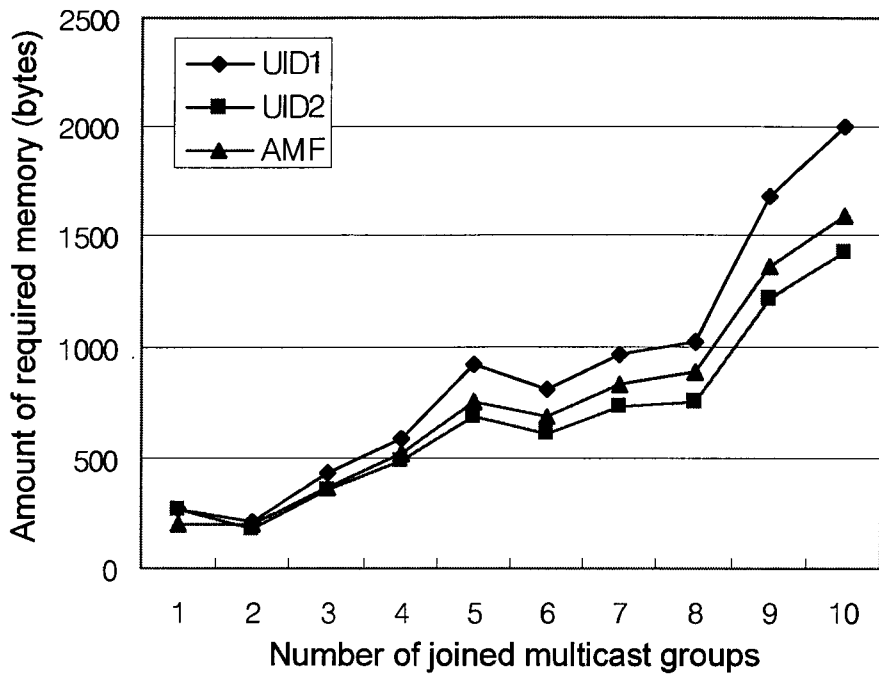


그림 25.  $k_j$  값이 1인 경우의 메모리 사용량



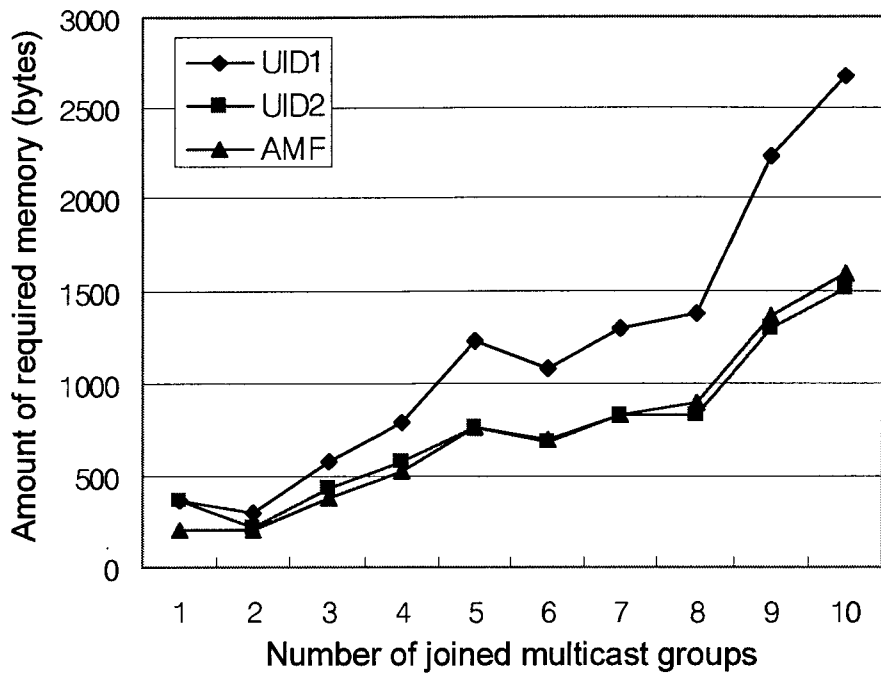


그림 26.  $k$ 값이 10인 경우의 메모리 사용량

## 제5장 결론

MANET과 인터넷을 연결하는 IGW를 이용하여 MANET 내의 이동 노드들은 인터넷 노드와 통신할 수 있다. 여러 개의 IGW를 통하여 인터넷과 연결된 MANET에서 대부분의 통신은 인터넷상의 노드들과 이루어 질 것이므로, IGW들 간의 부하를 잘 분배하여 망을 효율적으로 운영해야 한다. 다중 IGW들을 갖는 MANET에서 부하가 집중된 IGW의 부담을 덜어 주면서 전체 망의 전송률을 높이기 위한 기존 DIGW 발견 기법들로 SP, MLI, RVM 기법을 소개하였다. 이들 기법은 메트릭으로 각각 IGW에서 MANET 노드까지의 홉 수, IGW의 부하, IGWADV 메시지의 전송 간격의 분산을 이용한다. 시뮬레이션에서 SP 기법이 단순하면서도 가장 좋은 전송률을 나타냄을 보였다.

본 논문에서는 다중 IGW들을 갖는 멀티 홉 애드혹 네트워크 내에서 애드혹 노드의 이동이 없는 망과 빈번한 망에 적합한 IGW 발견 기법을 제안하였다. 노드의 이동이 없는 네트워크에서는 IGW를 선택하는 주체에 따라 SMN과 SIGW기법으로 나누어 효율적인 부하 균등화 기법을 연구하였다. 노드의 이동이 빈번한 망에서는 둘 이상의 메트릭을 상호 보완적으로 이용하고 라우팅 제어 메시지의 전달 범위를 제한하여 MANET 노드들의 전송률을 향상시키는 기법들을 연구하였다.

또한 본 연구에서는 무선 환경에서의 멀티캐스트 데이터 포워딩을 지원

하기 위하여 리눅스 커널을 수정 하였으며, MAODV 구현물을 이용하여 이동 애드혹 환경에서 멀티캐스트 트래픽이 안정적으로 포워딩 되는지를 확인하였다. 트리 기반의 멀티캐스트 라우팅에서는 지속적으로 트리에 대한 정보를 유지, 관리하는 오버헤드가 있으나 이동이 적은 애드혹 환경에서는 트래픽을 덜 발생시키는 트리 기반의 멀티캐스트 라우팅 방식이 이점으로 작용한다. 본 연구에서 제안한 멀티캐스트 데이터 포워딩 방식을 이용하면 노드의 이동에 의해 멀티캐스트 트리가 변경되는 경우에도 라우팅 루프를 생성하지 않으며 멀티캐스트 라우팅 트리가 다시 설정되면 통신을 재개한다.

## 참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, X. Wang and W. Wang, "Wireless Mesh Networks: a Suvey", ELSEVIER Computer Networks, 2005.
- [2] Netfilter, <http://www.netfilter.org/>.
- [3] I. Chakeres and C. Perkins, "Dynamic MANET On-demand (DYMO) Routing", IETF Internet-draft, draft-ietf-manet-dymo-06.txt, Oct. 2006.
- [4] C. Perkins, E. Royer, and S. Das, "Ad hoc on demand Distance Vector (AODV) routing", RFC 3561, July 2003.
- [5] D. B. Johnson, D. A. Maltz and Y. C. Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)", IETF Internet-draft, draft-ietf-manet-dsr-10.txt, July 2004.
- [6] T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)", RFC 3626, Oct. 2003.
- [7] R. Ogier, F. Templin and M. Lewis, "Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)", RFC 3684, Feb. 2004.
- [8] C. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing ({DSDV}) for Mobile Computers", ACM SIGCOMM, 1994.
- [9] Z. J. Haas, M. R. Pearlman and P Samar, "The Zone Routing

- Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks", IETF Internet-draft, draft-ietf-manet-zone-zrp-04.txt, July 2004.
- [10] C. Bernardos and M. Calderon, "Survey of IP address autoconfiguration mechanisms for MANETs", IETF Internet-draft, draft-bernardos-manet-autoconf-survey-00.txt, July 2005.
- [11] N. Vaidya, "Weak Duplicate Address Detection in Mobile Ad Hoc Networks", MobiHoc, June 2002.
- [12] K. Weniger, "Passive Duplicate Address Detection in Mobile Ad Hoc Networks", IEEE WCNC, March 2003.
- [13] M. Mohsin and R. Prakash, "IP Address Assignment in a Mobile Ad Hoc Network", MILCOM, 2002.
- [14] Z. Hongbo, Ni. Lionel M, and W. Mutka Matt, "Prophet Address Allocation for Large Scale MANETs", IEEE INFOCOM, Nov. 2003.
- [15] R. Wakikawa, J. T. Malinen, C. E. Perkins, A. Nilsson and A. J. Tuominen, "Global Connectivity for IPv6 Mobile Ad Hoc Networks", IETF Internet-draft, draft-wakikawa-manet-globalv6-05.txt, March 2006.
- [16] C. Jelger, T. Noel and A. Frey, "Gateway and Address Autoconfiguration for IPv6 Ad Hoc Networks", IETF Internet-draft, draft-jelger-manet-gateway-autoconf-v6-02.txt, April 2004.
- [17] P. Ratanchandani and R. Kravets, "A Hybrid Approach to

- Internet Connectivity for Mobile Ad Hoc Networks", IEEE WCNC, March 2003.
- [18] J. Lee et al., "Hybrid Gateway Advertisement Scheme for Connecting Mobile Ad Hoc Networks to The Internet", IEEE VTC, April 2003.
- [19] M. Ghassemian et al., "Performance Analysis of Internet Gateway Discovery Protocols in Ad Hoc Networks", IEEE WCNC, March 2004.
- [20] P. M. Ruiz and A. Gomez-Skarmeta, "Adaptive Gateway Discovery Mechanisms to Enhance Internet Connectivity for Mobile Ad Hoc Networks", Ad Hoc and Sensor Wireless Networks, March 2005.
- [21] U. Jonsson, F. Alriksson, T. Larsson, P. Johansson and G. Q. Maguire. Jr., "MIPMANET - Mobile IP for MOBILE Ad Hoc Networks", MobiHoc, Aug. 2000.
- [22] C. Åhlund, R. Brännström and A. Zaslavsky, "M-MIP: extended Mobile IP to maintain multiple connections to overlapping wireless access networks", International Conference on Networking, April 2005.
- [23] P. M. Ruiz, F. J. Jos and A. Gomez-Skarmeta, "Internet Connectivity for Mobile Ad Hoc Networks: Solutions and Challenges", IEEE Communications Magazine, Oct. 2005.
- [24] C. Huang, H. Lee and Y. Tseng, "A Two-Tier Heterogeneous Mobile Ad Hoc Network Architecture and its Load-Balance

- Routing Problem", IEEE VTC, Oct. 2003.
- [25] R. Brännström, C. Åhlund and A. Zaslavsky, "Maintaining Gateway Connectivity in Multi-hop Ad hoc Networks", IEEE WLN, Nov. 2005.
- [26] E. Royer, C. Perkins, "Multicast Ad hoc On-Demand Distance Vector (MAODV) Routing," IETF Internet-draft, draft-ietf-manet-maodv-00.txt, July 2000.
- [27] C. W. Wu, Y.C. Tay, and C.-K. Toh, "Ad Hoc Multicast Routing Protocol Utilizing Increasing id-numberS (AMRIS) Functional Specification," IETF Internet-draft, Nov. 1998.
- [28] M. Gerla, S.-J. Lee, and W. Su. "On-Demand Multicast Routing Protocol (ODMRP) for Ad Hoc Networks," IETF Internet-draft, draft-ietf-manet-odmrp-04.txt, 2002.
- [29] J. J. Garcia-Luna-Aceves and E.L. Madruga, "The Core-Assisted Mesh Protocol," *IEEE JSAC*, Aug. 1999, pp. 1380-94.
- [30] C.-C. Chiang, M. Gerla, and L. Zhang, "Forwarding Group Multicast Protocol (FGMP) for Multihop, Mobile Wireless Networks," *AJ. Cluster Comp, Special Issue on Mobile Computing*, 1998.
- [31] C. Perkins, E. Royer, and S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing for IP version 6," IETF Internet-draft, draft-ietf-manet-aodv6-01.txt, Nov. 2000.
- [32] The Network Simulator, NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

- [33] T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC 2461, Dec. 1998.
- [34] SMCRoute, <http://www.cschill.de/smcroute/>.
- [35] UCL Network and Multimedia Research Group, <http://www-mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/>.
- [36] Linux kernel, <http://www.kernel.org/>.
- [37] Kernel AODV, [http://w3.antd.nist.gov/wctg/aodv\\_kernel/](http://w3.antd.nist.gov/wctg/aodv_kernel/).



## Abstract

The mobile ad hoc network (MANET) is a multi-hop wireless network which can be constructed without any help of a wired infrastructure. A MANET node that wants to communicate with an Internet node needs the capability of Internet connectivity. It can be supported by an Internet gateway (IGW) which connects the Internet to a MANET. Multiple Internet gateways can be deployed in the MANET to increase the bandwidth and the fault tolerance of communications. Because the load balancing among the Internet gateways is able to improve the network performance, the load balancing is an important issue when multiple internet gateways exist in a MANET. In this paper we introduce existing load balancing schemes and evaluate the performance of them.

Furthermore, we propose revised load balancing schemes that adapt to the network where ad hoc nodes can move and another revised load balancing schemes that adapt to the network where ad hoc nodes are fixed. Existing research proposes load-balancing schemes using a single metric. In this paper, however, we propose the enhanced mechanisms using the metrics complementary and verify the performance of our enhanced

mechanisms by using the NS-2 simulator.

Besides, in this paper we propose and implement a multicast data forwarding scheme for the IPv6-based mobile ad hoc network. The scheme makes use of the table for preventing packet duplication and the netfilter of the linux so that it can perform an efficient multicast data forwarding by the tree-based multicast routing path.

Keyword: Internet connectivity, Gateway discovery, Load balancing, Multicast data forwarding.

## 감사의 글

세상에 쉬운 일이 어디 있으라마는 박사과정은 정말 쉬운 일이 아니었습니다. 박사학위를 가진 사람에게 꼭 아무개 박사라고 호칭해 주는 이유는 이러한 어려운 과정을 통과한 사람에 대한 대접이라는 생각이 듭니다. 여기에 다 열거하지 못했더라도 박사과정을 밟는 동안 저를 도와주신 모든 분들께 심심한 감사를 표합니다.

먼저 학위를 받을 수 있도록 열심히 가르쳐 주신 지도교수 안상현 교수님께 감사드립니다. 석사와 박사과정 동안 교수님의 첫 번째 학생으로 부족한 점이 많았을 텐데도 친절한 지도를 해주셔서 정말 감사합니다. 또한, 5년이라는 짧지 않은 시간동안 제가 경제적인 문제에 신경 쓰지 않고 공부할 수 있도록 도와 준 제 아내에게 감사를 드리고 싶습니다 (사실 친구들이 제일 부러워하는 부분입니다). 정신적으로 많은 도움을 주신 부모님과 장인, 장모님께도 감사드립니다. 지금은 졸업한 연구실 후배들인 경춘, 립봉, 수자누나, 영호, 수길, 경신, 형기, 영미와 재학 중인 현, 영주는 제가 박사 과정을 밟는 동안 같은 연구실에 생활한 소중한 사람들이었습니다. 특히 현이는 학위 논문의 시뮬레이션 때문에 고생을 많이 했습니다. 그리고 선배 박사로서 많은 도움을 준 조정우 박사에게도 감사의 말을 전합니다.

또한, 부족한 논문을 지도해 주신 심사위원 이재훈 교수님, 이동희 교수님, 이병정 교수님, 임유진 교수님께도 감사드립니다. 그리고 논문 발표 과정에서 도움을 준 정현식 조교, 이부경 조교님, 상미와 투메에게도 고마움을 표합니다.

## 이 력 서

성 명 : 김 영 민 (金 榮 敏)

주 소 : 서울시 송파구 문정동 문정시영아파트 10동 102호

학 력 :

- 1999. 2. 서울시립대학교 전산통계학과 졸업 (학사)
- 2001. 2. 서울시립대학교 전산통계학과 졸업 (석사)
- 2007. 2. 서울시립대학교 컴퓨터통계학과 졸업예정 (박사)

관심분야 : 멀티 홉 애드혹 네트워크에서의 라우팅, 멀티 홉 애드혹 네트워크와 인터넷 연결.

발표논문 :

- 국제 저널
- Youngmin Kim, Sanghyun Ahn, Hyun Yu, Jaehwoon Lee and Yujin Lim, "Proactive Internet Gateway Discovery Mechanisms for Load-Balanced Internet Connectivity in MANET", LNCS, 2007년 1월 게재 예정.
- Youngmin Kim, Sanghyun Ahn, Yujin Lim, Hyun Yu, Jaehwoon Lee and Jongwon Choe, "Load Balancing Mechanisms in the MANET with Multiple Internet Gateways", LNCS 3961, 2006.
- Youngmin Kim, Sanghyun Ahn and Jaehwoon Lee, "An Efficient Multicast Data Forwarding Scheme for Mobile Ad Hoc

Networks" LNCS 3391, 2005.

○ 국제 학술대회

- Youngmin Kim, Sanghyn Ahn, Youngju Lee, Jaehoon Jeong and Jaehwoon Lee, "Design and Implementation of IPV6 Address Autoconfiguration for AODV in Mobile Ad Hoc Networks", UKC, Aug. 2005.

○ 국내 저널

- 김영민, 안상현, 임유진, 유현, 이재훈, "다중 인터넷 게이트웨이를 갖는 MANET의 부하 균등화 기법", 정보처리학회논문지, 2006년 10월.
- 김영민, 안상현, 이재훈, "IPv6 기반 이동 Ad Hoc 망 환경에서 멀티캐스트 데이터 포워딩의 설계 및 구현", SK Telecom Telecommunications Review, 2004년 10월.
- 안상현, 김영민, 권영호, "신뢰적 멀티캐스트를 위한 타이머 기반 버퍼 관리" 한국정보과학회 논문지, 2003년 8월.

○ 국내 학술대회

- 김영민, 안상현, 유현, 이재훈, "MANET에서의 부하 균등화를 위한 Proactive 인터넷 게이트웨이 발견 기법들", 한국정보과학회 추계학술대회, 2006년 10월.
- 허은호, 유현, 이재훈, 안상현, 김영민, 허지영, 김봉찬, 김선기, 문강영, "IPv6-IPv4 통합망 환경에서 종단간 QoS 제공을 위한 RSVP 연동 메커니즘", JCCI, 2006년 4월.

- 김영민, 유현, 안상현, 임유진, “다중 인터넷 게이트웨이를 갖는 이동 애드혹 네트워크에서 부하균등화 기법”, 한국정보과학회 추계학술대회, 2005년 11월.
- 김영민, 안상현, 이영주, 정재훈, “이동 애드혹 네트워크 환경에서 IPv6 주소 자동 설정의 설계 및 구현”, 대한전자공학회 하계학술대회, 2005년 6월.
- 주남, 나미선, 김영민, 이재훈, 안상현, “FMIPv6 설계 및 구현”, 대한전자공학회 하계학술대회, 2005년 6월.
- 김영민, 안상현, “트리 기반 애드혹 멀티캐스트 라우팅 프로토콜을 위한 멀티캐스트 데이터 포워딩의 구현”, 한국정보과학회 추계학술대회, 2004년 10월.