



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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 2월  
석사학위 논문

모바일 애드혹 네트워크를 위한  
통과 전송 MAC 프로토콜

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

박 지 원

모바일 애드혹 네트워크를 위한  
통과 전송 MAC 프로토콜

**A Pass-Through MAC Protocol for Mobile Ad Hoc  
Networks**

2009년 2월

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

박 지 원

# 모바일 애드혹 네트워크를 위한 통과 전송 MAC 프로토콜

지도교수 모 상 만

이 논문을 컴퓨터공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2009년 2월

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

박 지 원

# 박지원의 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 조선대학교 교수 인

심사위원 조선대학교 교수 인

심사위원 조선대학교 교수 인

2009년 2월

조선대학교 대학원

ABSTRACT ..... vi

제1장. 서 론 ..... 1

제2장. 관련 연구 ..... 5

제1절. IEEE 802.11 MAC 프로토콜 ..... 5

1. PCF 매체 접근 방식 ..... 5

2. DCF 매체 접근 방식 ..... 6

제2절. 멀티홉 전송 ..... 9

제3절. 전송률 제어 프로토콜 ..... 11

제3장. 통과 전송 MAC 프로토콜 ..... 13

제1절. 1개의 중간 노드를 통한 통과 전송 ..... 13

제2절. 2개 이상의 중간 노드를 통한 통과 전송 ..... 15

1. 채널 재사용 거리 ..... 17

제3절. 각 노드에서의 통과 전송 MAC ..... 18

제4절. 종단간 지연시간 분석 ..... 20

제4장. 성능 평가 ..... 23

제1절. NS-2 구현 ..... 23

1. 다중 인터페이스 및 다중 채널 ..... 23

2. PT-MAC ..... 23

제2절. 시뮬레이션 환경 .....	25
제3절. 시뮬레이션 결과 및 분석 .....	26
1. 이동성 변화에 따른 성능 .....	27
2. 세션 수 변화에 따른 성능 .....	30
3. 전송률 변화에 따른 성능 .....	33
제5장. 결 론 .....	37
참고 문헌 .....	38



# 그림 목 차

그림 1. ad-hoc 네트워크 .....	1
그림 2. Infrastructure 네트워크 .....	2
그림 3. DCF 기본 접근 방법 .....	6
그림 4. 경쟁 윈도우의 지수적 증가의 예 .....	7
그림 5. IEEE 802.11 DCF의 RTS/CTS 접근 방법 .....	8
그림 6. 모바일 애드혹 네트워크 구성 .....	10
그림 7. 1개의 중간 노드를 통한 통과 전송 연결 .....	13
그림 8. 1개의 중간 노드를 통한 통과 전송 매체 접근 제어 다이어그램 .....	14
그림 9. 2개 이상의 중간 노드를 통한 통과 전송 연결 .....	16
그림 10. 2개 이상의 중간 노드를 통한 통과 전송 매체 접근 제어 다이어그램 ..	17
그림 11. 다중 통과 전송을 위한 채널 재사용 거리 .....	18
그림 12. 각 노드에서의 통과 전송 매체 접근 제어 흐름 .....	20
그림 13. n홉 패킷 전송 .....	21
그림 14. 패킷 전달 경로 .....	25
그림 15. RTS 프레임 .....	25
그림 16. 이동성 변화에 따른 종단간 지연시간 .....	27
그림 17. 이동성 변화에 따른 유효 패킷 전송률 .....	28
그림 18. 이동성 변화에 따른 패킷 전달률 .....	29
그림 19. 이동성 변화에 따른 정규화된 제어 오버헤드 .....	29
그림 20. 세션 수 변화에 따른 종단간 지연시간 .....	30
그림 21. 세션 수 변화에 따른 유효 패킷 전송률 .....	31
그림 22. 세션 수 변화에 따른 패킷 전달률 .....	32
그림 23. 세션 수 변화에 따른 정규화된 제어 오버헤드 .....	32

그림 24. 전송률 변화에 따른 종단간 지연시간 .....	33
그림 25. 전송률 변화에 따른 유효 패킷 전송률 .....	34
그림 26. 전송률 변화에 따른 패킷 전달률 .....	35
그림 27. 전송률 변화에 따른 정규화된 제어 오버헤드 .....	36

# 표 목 차

표 1. 종단간 지연시간 분석의 설정 표기법 .....	21
표 2. 시뮬레이션 파라미터 .....	26

# A B S T R A C T

## A Pass-Through MAC for Mobile Ad Hoc Networks

Jiwon Park

Advisor : Prof. Sangman Moh, Ph. D.

Department of Computer Science

Graduate School of Chosun University

It is important to use a well-designed MAC (Medium Access Control) protocol that uses limited resources efficiently to improve network performance. In this thesis, a pass-through MAC (PT-MAC) protocol for mobile ad hoc networks, in which nodes have two 3-channel interfaces to improve throughput and latency, is proposed. The proposed protocol minimizes end-to-end packet delay in multi-hop routed transmission by using pass-through technique rather than conventional store-and-forward, resulting in improved network throughput as well as lower latency. Conclusively, it significantly improves overall network performance by boosting up the performance of medium access control. According to the performance evaluation result, the proposed PT-MAC shows 20~44% shorter end-to-end delay and 26~56% better goodput compared to the IEEE 802.11 DCF with two 3-channel interfaces.

# 제1장 서론

IEEE 802.11 WLAN을 이용하여 네트워크를 구성할 때, 표준안에서 제공하는 네트워크 토폴로지는 ad-hoc 네트워크와 infrastructure 네트워크 두 가지이다. 먼저 ad-hoc 네트워크는 그림 1과 같다. 그림 1에서 보인 바와 같이 WLAN을 위해 기본적으로 BSS (Basic Service Set)영역에 속한 모든 노드들은 상호간에 직접적인 데이터 송수신이 가능하다. 또한, 동일한 BSS에 속한 단말들은 다른 노드를 통하지 않고 독립적으로 직접 통신이 가능하며, 이와 같은 형태로 동작하는 망을 ad-hoc 네트워크라고 부른다.

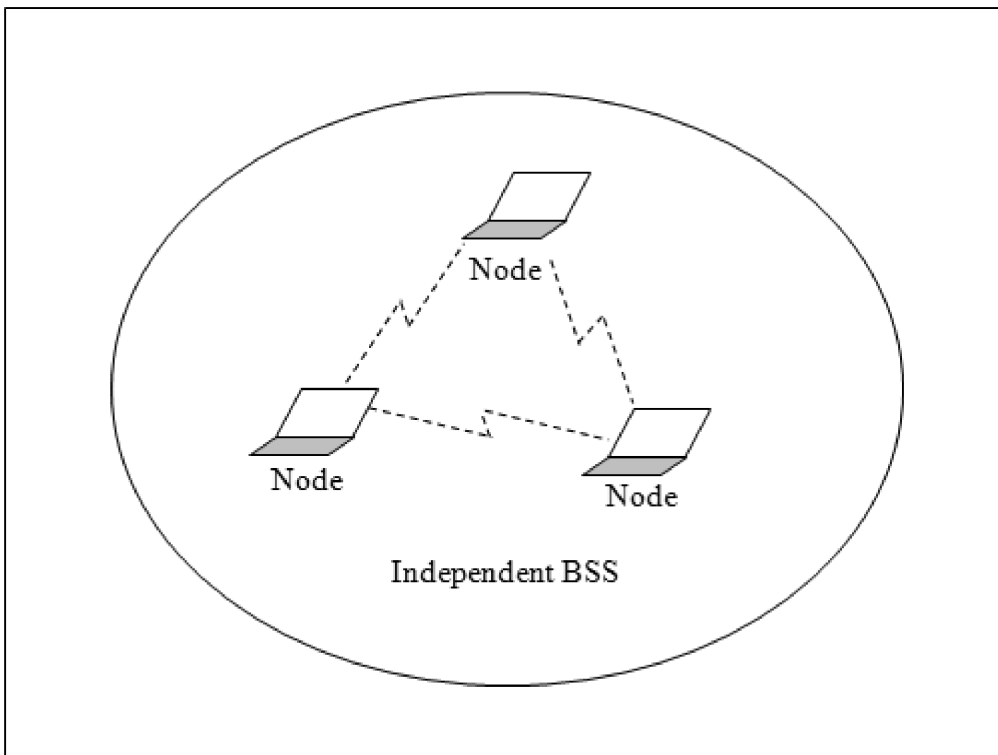


그림 1. Ad-hoc 네트워크

그림 2는 infrastructure 네트워크를 나타내는 것으로서 여기서 BSS는 독립적으로 존재하지 않고 다수의 BSS를 통해 확장된 형태의 망을 구성할 수 있으며, 이때 BSS를 상호 접속하기 위해 사용되는 요소를 DS (Distribution System)라고 부른다. 이 DS는 이동 단말에 대하여 주소에 따른 목적지로의 맵핑과 다수의 BSS를 무결하게 통합하기 위해 논리적인 서비스를 제공한다. 이때 노드의 역할을 하면서 DS로 접속하기 위한 서비스를 제공하는 노드를 AP (Access Point)라고 한다.

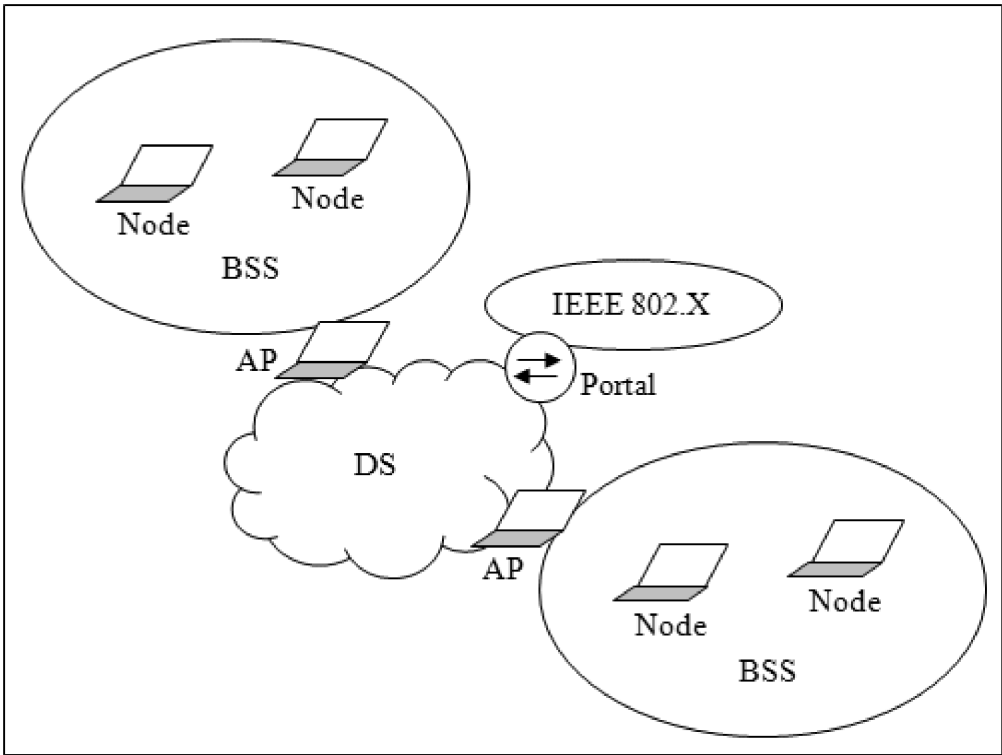


그림 2. Infrastructure 네트워크

IEEE 802.11 표준에 의하면 네트워크에서 여러 개의 노드들은 패킷 전송 시 공동으로 사용하는 채널의 할당을 위해 두 가지 매체 접근 방식을 제공하고 있다[1].

하나는 폴링 기반 방식의 PCF (Point Coordination Function)이고, 다른 하나는 경쟁 기반 방식의 DCF (Distributed Coordination Function)이다. PCF는 지연에 민감한 트래픽에 적합한 방식이고, DCF는 지연에 민감하지 않은 트래픽에 적합하다.

에드혹 네트워크는 낮은 비용과 높은 전송률을 강점으로 많이 사용되어지고 있다. 그러나 무선으로 작동하기 때문에 자원이 제한되어 있고, 네트워크 성능을 향상시키기 위해서는 제한된 자원을 효율적으로 사용하기 위한 잘 설계된 MAC 프로토콜을 사용하는 것이 중요하다[2, 3]. IEEE 802.11 계열의 무선 랜 MAC 표준은 물리 계층에서 채널의 상태에 따라 몇 가지 전송률로 전송할 수 있는 다중 전송률 기능을 제공한다[1]. 예를 들어, SNR (Signal-to-Noise Ratio)이 크다면 높은 전송률로 전송이 가능하고 반대로 낮다면 전송 에러를 줄이기 위해 전송률을 낮춰야 할 것이다. 이와 같은 원리에 따라 802.11a[4]에서는 6, 9, 12, 18, ..., 54 Mbps를 802.11b[5]에서는 1, 2, 5.5, 11 Mbps의 데이터 전송률을 물리 계층에서 지원하고 있다.

물리 계층의 다중 전송률 기능을 효과적으로 지원하기 위한 여러 가지 프로토콜이 제안되어 왔다. 이 중에서 네트워크 계층에서 채널 상태를 인지하는 프로토콜의 경우, 종단간 전송률은 채널 상태를 기반으로 최적의 경로를 선택함으로써 크게 향상될 수 있다[6, 7]. 그러나 경로의 업데이트가 느려지고 컨트롤 오버헤드가 높아지면, 이 프로토콜은 동적인 채널 조건에 빨리 반응하지 못하고 높은 대역폭도 사용하지 못하는 단점을 가지고 있다. MAC 계층에서 제안되는 프로토콜은 과거의 전송 기록을 참조하거나 수신 노드가 CTS (Clear-To-Send) 패킷에 실어 보낸 채널 상태를 이용함으로써 적합한 전송 속도를 선택한다[8, 9].

본 연구에서는 DCF 기반 MAC 프로토콜의 패킷 전송에서 종단간 전송 지연 시간을 줄이고 전송률을 높이기 위하여, 2개의 3채널 인터페이스를 갖는 노드들로 구성된 모바일 에드혹 네트워크에서의 통과 전송 MAC 프로토콜을 제안한다. 종래의 저장 후 전송 방식이 아닌 통과 전송 기법을 적용함으로써, 여러 홉을 거치는 전송

경로의 중간 노드들에서의 패킷 저장에 따르는 전송 지연을 최소화하고 결과적으로 종단간 전송 지연 시간을 줄이고 종단간 패킷 전송률을 향상시킬 뿐만 아니라 유효 네트워크 처리율을 증대시킨다. 본 논문에서 제안한 프로토콜을 사용함으로써 패킷의 전달이 빠르게 이루어져 종단간 지연 시간이 최대 42% 감소된 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장은 기존의 관련 연구를 체계적으로 정리한 것으로서 IEEE 802.11 MAC 프로토콜, 애드혹 네트워크에서의 멀티홉 전송, IEEE 802.11 기반 전송률 제어 프로토콜을 소개한다. 제 3장에서는 본 논문에서 제안하는 통과 전송 MAC 프로토콜의 원리와 상세 동작을 심도 있게 논한다. 제 4장에서는 NS-2에서 구현 및 반복 실험을 통해 성능을 측정하여 비교 분석한 결과를 기술 하고, 제 5장에서는 본 연구의 결론을 기술한다.



## 제2장 관련 연구

### 제1절 IEEE 802.11 MAC 프로토콜

IEEE 802.11 표준은 두 가지의 무선 네트워크 구성 방식인 ad-hoc 네트워크와 infrastructure 네트워크를 모두 지원하며[3], 네트워크에서 여러 개의 노드들은 패킷 전송 시 공동으로 사용하는 채널의 할당을 위해 IEEE 802.11 표준에 정의된 두 가지 무선 매체 접근 방식을 사용하고 있다. 하나는 폴링 기반 방식의 PCF이고, 다른 하나는 경쟁 기반 방식에 기초하고 있는 DCF이다.

#### 1. PCF 매체 접근 방식

PCF는 IEEE 802.11 MAC의 부가적인 매체 접근 방식으로서, 한 채널의 노드들에서 채널 관리를 위해 한 개 이상의 관리 노드를 사용하는 방법이다. PCF에서 모든 노드들은 관리 노드에 의해 각각의 채널을 할당받아 데이터 전송을 하게 된다. PCF는 접근 우선권 기법에 기반을 둔 가상적인 carrier sensing 방식을 사용한다. 즉, PCF는 단말에 대해 NAV (Network Allocation Vector)를 설정하여 매체접근을 제어하기 위해 Beacon 프레임을 통해 정보를 알린다.

PCF의 장점으로서는 특정 관리 노드에 의해 모든 노드들이 채널을 할당 받기 때문에 채널의 공평한 할당이 가능하고 네트워크의 QoS (Quality of Service)가 보장된다. 그러나 특정한 고정된 관리 노드가 관리 할 수 있는 영역이 한정되어 있기 때문에 대규모의 무선 네트워크에서는 여러 개의 관리 노드들이 요구된다. 그로인하여 네트워크 구축비용이 많이 발생하게 되고 특히 무선 멀티 홉 환경에서는 적합하지 않다.

## 2. DCF 매체 접근 방식

DCF는 데이터 전송을 위해 기본 접근 방법과, RTS/CTS (Ready To Send/Clear To Send) 접근 방법을 정의 하고 있다. 첫 번째는 기본 접근 방법으로 써 그림 3과 같고, 송신 노드(source node)가 전송할 데이터(DATA) 패킷이 발생 하면 송신 노드는 임의의 백오프(back-off) 값을 정해 그 값을 채널이 idle한 동안 감소시켜 가장 먼저 0에 도달하는 송신 노드가 데이터 패킷을 보낸다. 그리고 데이터 패킷을 수신한 수신 노드(destination node)가 응답(ACK) 패킷을 회신하는 방식 이다. 한 송신 노드의 전송 데이터를 송신 노드의 이웃 노드들이 듣게 되면 자신의 NAV를 해당 데이터 패킷의 기간 (duration) 필드에 적혀 있는 시간만큼 설정하여 그 시간동안 전송을 하지 않는다.

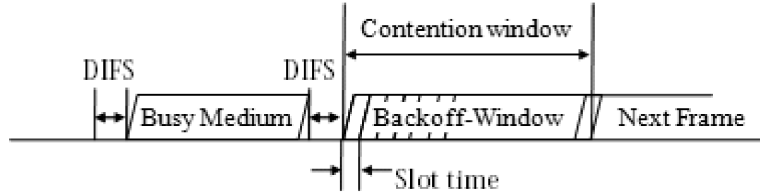


그림 3. DCF 기본 접근 방법

임의의 백오프는 마지막 프레임의 전송이 끝난 직후, 매체에 접근하려는 노드들의 충돌 가능성을 줄이기 위한 것이다. 만약 마지막 프레임의 전송이 끝난 뒤 DIFS 동안 매체가 유힬 상태가 되면, 노드들은 바로 매체에 접근하는 것이 아니라 임의의 백오프 시간을 생성하여 그 시간동안 매체 대한 접근을 연기하게 된다.

‘백오프 시간 =  $\text{random}() \times \text{slot time}$ ’ 식에 의해 임의의 백오프 시간을 생성한다. 여기서  $\text{random}()$ 은 0부터 CW (Contention Window) 구간에서 균일한 분포를

가지고 선택한 정수 값이다. CW는 그림 4와 같이 초기값으로  $CW_{min}$ 을 설정하고 매체 접근 시에 노드간에 충돌이 발생하면 지수적으로 증가하게 된다. 그리고  $CW_{max}$ 에 도달하면 그 증가를 멈추게 된다.

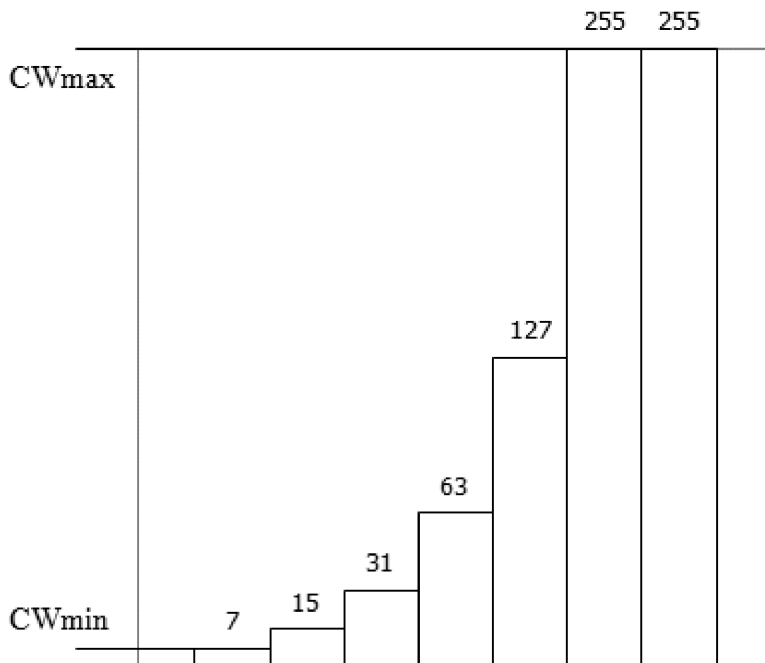


그림 4. 경쟁 윈도우의 지수적 증가의 예

두 번째는 RTS/CTS 접근 방법으로써, CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) 방식을 사용한다. 전송할 데이터가 있는 송신 노드가 RTS 패킷을 수신 노드에게 보내면 수신 노드가 수신 가능 여부를 CTS 패킷으로 송신 노드에게 회신한다. 이어서 송신 노드가 데이터(DATA) 패킷을 수신 노드에게 보내면 수신 노드가 응답(ACK) 패킷을 송신 노드에게 회신하는 4-way 방식이다.

송신 노드에서 보내고자 하는 DATA가 있다면, 우선 송신 노드에서 미디어가 사용 중인지 검사하여 만일 사용 중이라면 백오프 알고리즘으로 전송을 연기한다. 만약 미디어가 DIFS보다 긴 시간동안 사용되지 않았다면 전송은 즉시 일어날 수 있다. 모든 프레임이 에러 없이 전송이 완료되어 NAV가 0이 되면 매체는 반드시 DIFS만큼 비워져야하기 때문이다. DIFS 이후 바로 RTS를 전송하지 않고 백오프를 하는 이유는 다른 노드들이 같은 시간에 채널을 접근하여 곧바로 전송하는 것을 방지하기 위함이다.

그림 5에서 송신 노드가 DIFS와 백오프 시간 후에 전송 권한을 얻으면 RTS 프레임을 전송한다. 이를 수신한 수신 노드는 SIFS 후에 CTS를 송신하고, RTS를 수신한 주변 노드는 RTS의 기간(duration) 필드를 참조하여 채널 점유 시간만큼의 NAV를 설정한다. CTS를 수신한 송신 노드는 SIFS 후에 DATA 프레임을 송신하고, 수신 노드의 주변 노드는 CTS의 기간 필드를 참조하여 채널 점유 시간만큼의 NAV를 설정한다. 그리고 DATA 프레임 전송이 끝나면 수신 노드는 SIFS 후에 ACK를 전송하게 된다. 전송이 끝나고 DIFS동안 어떠한 전송도 발생하지 않으면 전송을 원하는 노드들은 서로 경쟁을 하기 시작한다.

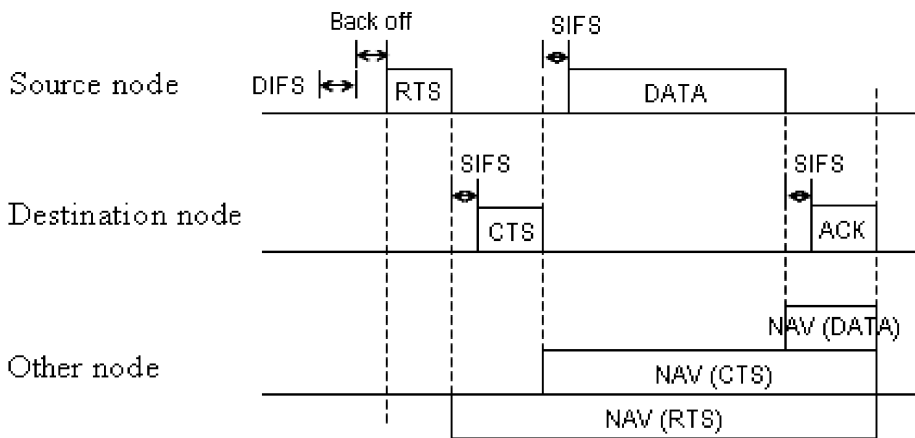


그림 5. IEEE 802.11 DCF의 RTS/CTS 접근 방법

CSMA/CA 프로토콜은 여러 노드가 미디어에 접속할 때 발생하는 충돌 확률을 줄이기 위하여 고안되었고, 문제 해결을 위해 랜덤 백오프 알고리즘을 사용한다.

이 방법을 이용하면 일반적으로 데이터 패킷에 비해 컨트롤 패킷이 작은 크기이기 때문에 컨트롤 패킷에서 충돌이 일어나 전송이 실패하더라도 데이터 패킷의 충돌로 발생한 손해 보다는 적다. 그리고 RTS/CTS 접근 방법은 첫 번째 방법의 문제점 중 하나인 숨은 노드 문제(hidden terminal problem)를 해결해 주는 장점이 있다.

앞에서 언급한 매체 접근 방법에서 프레임 간의 시간 간격을 IFS (InterFrame Space)라 한다. 그리고 노드는 이 간격을 기준으로 미디어를 참조하여 프레임을 사용한다. IFS의 종류는 SIFS (Short InterFrame Space), PIFS (PCF InterFrame Space), DIFS (DCF InterFrame Space), EIFS (Extended InterFrame Space)로 4가지의 프레임 간격이 있고, 무선 미디어에 우선권 레벨을 제공하기 위해 사용된다.

SIFS는 ACK 프레임, CTS 프레임, 폴링 응답 같은 최고 우선권을 가진 프레임 전송에 사용된다. SIFS는 프레임 간격이 가장 짧아 우선순위가 높다.

PIFS는 경쟁구간에서 매체 접속의 우선권을 획득하기 위해서 사용되며 이는 반드시 PCF를 이용하는 노드에서 사용된다. PCF를 사용하는 노드는 경쟁이 없는(contention free) 상태의 트래픽을 전송하는 것이 가능하다.

DIFS는 DCF 방식을 사용하는 노드에 의해 데이터 프레임이나 관리프레임을 전송할 때 사용되고, 우선순위가 가장 낮다. 노드의 프레임 전송이 끝나서 NAV가 0으로 설정되면 반드시 DIFS만큼 기다린다.

EIFS는 DCF상에서 물리계층이 MAC 계층에 MAC 프레임이 정확하게 도착하지 않았다고 알려올 때 사용된다.

## 제2절 멀티홉 전송

애드혹 네트워크는 무선 통신이 가능한 두 개 이상의 노드로 구성된 네트워크를 지칭하고, 특징으로는 기존의 네트워크에서 필요한 기반시설 없이 네트워크 구성이 가능하기에 네트워크 변화에 적응성이 좋다는 것이다. 각각의 노드는 멀리 떨어진 노드와 통신을 위하여 중간 노드를 사용한 멀티홉 전송을 하게 된다.

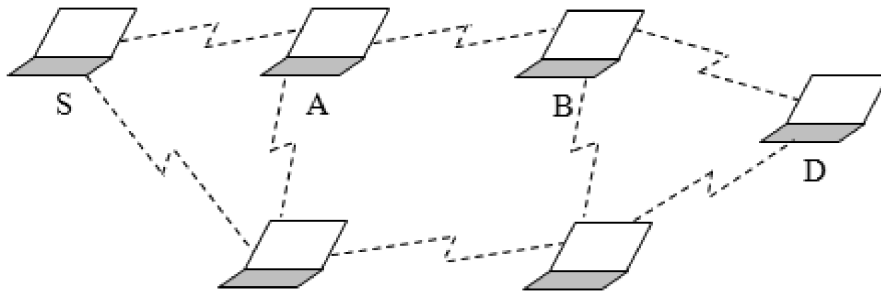


그림 6. 모바일 애드혹 네트워크 구성

그림 6은 여러 개의 노드가 무선 링크(wireless link)를 통하여 상호 연결되어 있는 무선 애드혹 네트워크 시스템의 한 예를 보여준다. 각 노드는 노트북 컴퓨터(notebook computer), 핸드헬드 컴퓨터(handheld computer), PDA, 센서 장치(sensor device), 임베디드 장치(embedded device) 등 무선 네트워크 접속 기능을 갖춘 장치들이다. 무선 링크는 일정한 전송 범위(transmission range)의 무방향성(omni-directional) 안테나에 의하여 비동시(非同時) 양방향(half duplex) 송수신이 가능한 논리적인 노드간 연결(logical inter-node connection)을 나타낸다. 그림 6에서 송신 노드 S가 수신 노드 D에게 패킷을 전송하는 경우에 두 노드 사이에 직접 연결 링크가 없으므로 중간에 위치한 두 개의 중간 노드(intermediate node) A 및 B를 통하여 3개의 링크(홉)로 연결된다. 중간 노드 A는 최초의 송신 노드 S로부터 패킷을 수신하고 이를 다시 중간 노드 B로 전송한다. 중간 노드 B는 중간 노드 A로부터 패킷을 수신하고 이를 다시 최종 수신 노드 D로 전송한다. 마지막으로 최종 수신 노드 D가 패킷을 수신함으로써 일련의 멀티홉 전송 과정이 완료된다.

### 제3절 전송률 제어 프로토콜

IEEE 802.11 표준에는 물리 계층에서 전송률을 “어떻게” 결정할 것인지에 대해서는 명시되어 있지 않다. 다만 전송률을 지정할 수 있고 전송률 제어를 지원할 수 있다. 전송률 제어 방법으로는 ARF (Auto Rate Fallback)[8], RBAR (Receiver-Based Auto Rate)[9], OAR (Opportunistic Auto Rate)[10], 등 여러 방법들이 연구되어 오고 있다. 이 중에서 ARF가 가장 기본적인 방법이며 처음으로 상용화 된 방법이다.

ARF 프로토콜은 송신 노드의 전송이 연속하여 정해진 횟수 이상 성공하면 전송률을 증가시키고, 반대로 전송 실패가 1 또는 2회 발생하면 전송률을 감소시킨다. RBAR 프로토콜은 수신 노드(RTS를 수신한 노드)가 전송률을 결정하는 방법이다. RTS의 채널 품질(SINR: Signal-to-Interference plus Noise Ratio)을 기반으로 수신 노드에서 전송률을 결정하여 그 전송률로 CTS를 전송한다. CTS를 수신한 송신 노드는 CTS의 전송률과 같은 전송률로 DATA 패킷을 전송한다. RTS의 전송률과 CTS(and DATA)의 전송률이 다를 수 있으므로, 송신 노드의 이웃 노드들은 NAV 설정을 DATA 패킷의 헤더를 참조하여 다시 설정 한다. RBAR은 전송률 결정이 ARF보다 빈번하게 발생하기 때문에 채널 상태를 신속하게 적용할 수 있다. OAR 프로토콜은 패킷을 보낼 때마다 전송률을 다시 결정하는 RBAR과 달리, 채널 품질이 좋으면 여러 개의 데이터 패킷을 연속하여 전송하는 프로토콜이다. 3가지 프로토콜은 모두 채널 품질을 고려하고 있기 때문에, 채널 품질이 낮을 경우에는 성능이 크게 감소한다. 그러나 몇몇 라우팅 프로토콜의 경우 채널 품질을 고려하여 종단간 처리량이나 에너지 효율을 향상 시켰었다[2, 6, 7, 11].

전송률 제어에 있어서, MAC 계층은 네트워크 계층보다 채널 상태를 빠르게 인지하고 반응 할 수 있다. MAC 계층에서 중간 노드를 사용하여 전송률을 향상시킨

rDCF (relay-enabled DCF) 프로토콜이 있는데[12], rDCF 프로토콜은 무선 애드혹 네트워크에서 저 전송률 링크의 유효 전송률 향상을 위한 패킷 릴레이 메커니즘을 제안하였다. 이 방법에서는 단일 무선 인터페이스를 갖는 노드들로 구성된 무선 애드혹 네트워크에서 전송률이 낮은 링크의 송수신 노드 사이에 존재하는 릴레이 노드가 저장 후 전송 방식을 이용하기 때문에 본 논문에서 제안하는 통과 전송 기법에 비하여 전송 지연 시간이 길고 유효 전송률이 낮은 문제점을 갖는다.



### 제3장 통과 전송 MAC 프로토콜

본 장에서는 종단간 전송 지연시간을 줄이기 위하여 2개의 3채널 인터페이스를 갖는 노드들로 구성된 무선 애드혹 네트워크에서의 통과 전송(path-through) MAC (PT-MAC) 프로토콜을 제안한다.

#### 제1절 1개의 중간 노드를 통한 통과 전송

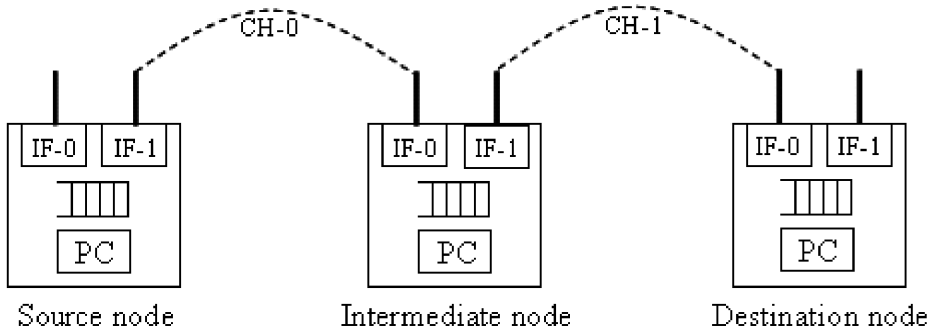


그림 7. 1개의 중간 노드를 통한 통과 전송 연결

그림 7은 송신 노드에서 수신 노드에 이르는 경로 상에 1개의 중간 노드가 존재하는 경우에 통과 전송을 위한 연결 모습을 나타낸다. 송신 노드는 3개의 채널 중 0번 채널을 사용하여 2개의 무선 인터페이스 중 하나를 통해 중간 노드에게 송신한다. 중간 노드는 2개의 무선 인터페이스 중 하나를 통해 패킷을 수신하고, 이를 1번 채널을 사용하여 남아 있는 무선 인터페이스를 통해 수신 노드로 전송한다. 중간 노드에서 수신 노드로 패킷을 바로 전송할 수 없을 경우에는 수신한 패킷을 노드 내부의 패킷 버퍼에 임시 저장한 후 전송이 가능해지는 즉시 수신 노드로 전송한다. 최종적으로 수신 노드는 2개의 무선 인터페이스 중 하나를 통하여 패킷을 수

신한다. 각 노드 내부의 통과 전송 제어기(pass-through controller: PC)는 일련의 통과 전송 동작을 제어하는 역할을 수행한다.

그림 8은 그림 7에 나타낸 연결 구성에서의 매체 접근 제어 과정을 도식적으로 나타낸 다이어그램이다. 즉, 1개의 중간 노드를 통한 통과 전송 매체 접근 제어 다이어그램을 나타낸다. 송신 노드가 전송 요구를 나타내는 RTS 프레임을 보내면 이를 수신한 중간 노드는 IFS 시간이 경과한 후에 CTS 프레임을 송신 노드에게 회신한다. CTS 회신과 동시에 중간 노드는 통과 전송을 위한 동작을 시작하며, PD (Pass-through Delay) 후에 수신 노드에게 RTS 프레임을 전송한다. 여기서, PD는 통과 전송을 위해 지체되는 시간으로서, IEEE 802.11 표준에서 규정한 백오프 과정을 포함한다. 한편, CTS를 수신한 송신 노드는 IFS 후에 DATA 프레임을 보낸다. 수신 노드는 통과 전송 방식으로 보내어진 RTS를 수신하면 IFS 후에 CTS 프레임을 회신하고, 이를 받은 중간 노드는 IFS 후에 통과 전송 방식으로 DATA 프레임을 수신 노드에게 보낸다. 한편, 송신 노드가 보낸 DATA를 받은 후 중간 노드는 IFS 후에 송신 노드에게 ACK 프레임을 회신한다. 수신 노드는 중간 노드로부터 DATA를 받은 후 IFS 후에 ACK 프레임을 회신함으로써 일련의 통과 전송 과정이 완료된다.

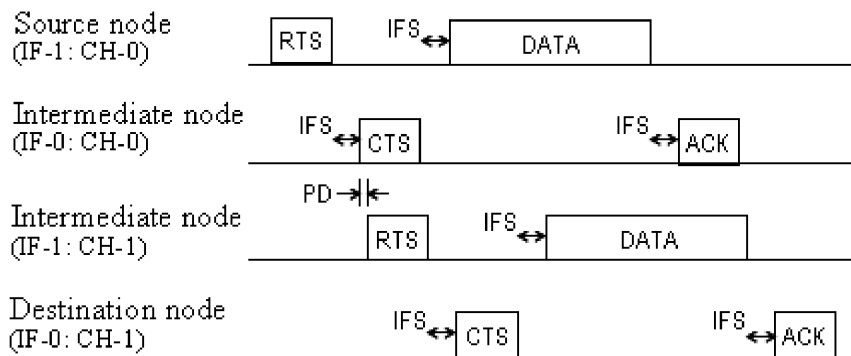


그림 8. 1개의 중간 노드를 통한 통과 전송 매체 접근 제어 다이어그램

그림 8의 DATA 프레임을 전송할 때는 물리 계층에서 심벌(symbol) 단위로 나누어 전송한다. 심벌 단위는 변조 방식에 따라서 결정된다. 예를 들어, IEEE 802.11b에서는 1 Mbit/s의 경우 DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) 변조, 2 Mbit/s의 경우 DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) 변조 그리고 5.5 Mbit/s와 11 Mbit/s의 경우는 CCK (Complementary Code Keying) 변조 방식을 사용한다. 그리고 1 Mbit/s, 2 Mbit/s, 5.5 Mbit/s, 11 Mbit/s 각각의 변조 방식에서 심벌 단위는 1 bit, 2 bits, 4 bits, 8bits로 전송되어진다[5].

오류 검사의 경우 기존의 IEEE 802.11에서는 홉마다 체크를 한다. 그런데 중간 노드에서 통과 전송이 이루어질 때는 송신 노드로부터 전송 받은 심벌을 바로 다음 노드에게 전송을 하기 때문에 홉 단위의 오류 검사를 하지 않고 최종 목적지 노드에 도착하였을 때만 오류 검사를 한다. 즉, 중간 노드에서의 오류 검사 없이 종단간 오류 검사를 하게 된다.

## 제2절 2개 이상의 중간 노드를 통한 통과 전송

그림 9는 그림 7의 구성을 확장한 것으로서, 송신 노드에서 수신 노드에 이르는 경로 상에 2개 이상의 중간 노드가 존재하는 경우에 통과 전송을 위한 연결 모습을 나타낸다. 송신 노드는 3개의 채널 중 0번 채널을 사용하여 2개의 무선 인터페이스 중 하나를 통해 중간 노드 I에게 송신한다. 중간 노드 I는 2개의 무선 인터페이스 중 하나를 통해 패킷을 수신하고, 이를 1번 채널을 사용하여 남아 있는 무선 인터페이스를 통해 중간 노드 J로 전송한다. 중간 노드 J는 2개의 무선 인터페이스 중 하나를 통해 패킷을 수신하고, 이를 2번 채널을 사용하여 남아 있는 무선 인터페이스를 통해 수신 노드로 전송한다. 경로 상의 채널 할당은 라운드 로빈 방식을 따르며, 전단 노드(upstream node)와의 통신 채널이  $k$ 일 경우 후단 노드(downstream node)와의 통신 채널은  $(k + 1) \bmod 3$ 을 사용한다. 여기서, 채널 번

호  $k$ 는  $0 \sim 2$  사이의 숫자이며  $\text{mod}$  연산자는 나머지(modulo) 연산자를 나타낸다. 그림 8에서 중간 노드 I와 중간 노드 J 사이에는 다수의 중간 노드가 존재할 수도 있음을 주목해야 한다. 각 중간 노드에서 경로 상의 다음 노드로 패킷을 바로 전송할 수 없을 경우에는 수신한 패킷을 노드 내부의 패킷 버퍼에 임시 저장한 후 전송이 가능해지는 즉시 전송한다. 최종적으로 수신 노드는 2개의 무선 인터페이스 중 하나를 통하여 패킷을 수신한다.

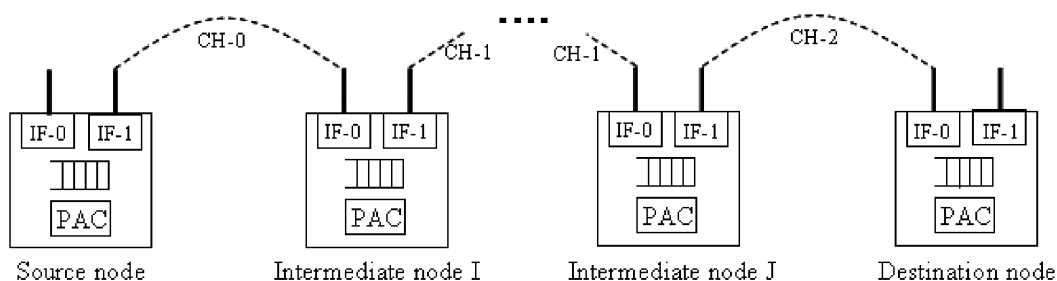


그림 9. 2개 이상의 중간 노드를 통한 통과 전송 연결

그림 10은 그림 9에 나타낸 연결 구성에서의 매체 접근 제어 과정을 도식적으로 나타낸 다이어그램이다. 즉, 2개 이상의 중간 노드를 통한 통과 전송 매체 접근 제어 다이어그램을 나타낸다. 송신 노드가 전송 요구를 나타내는 RTS 프레임을 보내면 이를 수신한 중간 노드 I는 IFS 시간이 경과한 후에 CTS 프레임을 송신 노드에게 회신한다. CTS 회신과 동시에 중간 노드 I는 통과 전송을 위한 동작을 시작하며, PD 후에 경로 상의 다음 중간 노드에게 RTS 프레임을 전송한다. 여기서, PD는 앞에 설명한 바와 같이 통과 전송을 위해 지체되는 시간으로서, IEEE 802.11 표준에서 규정한 백오프 과정을 포함한다. 한편, CTS를 수신한 송신 노드는 IFS 후에 DATA 프레임을 보낸다. 중간 노드 I는 다음 중간 노드로부터 CTS를 받으면 IFS 후에 통과 전송 방식으로 DATA 프레임을 다음 중간 노드에게 보낸다. 또한, 중간 노드 I는 송신 노드가 보낸 DATA를 받은 후 IFS 후에 송신 노드에게 ACK

프레임을 회신한다. 그림 9에서 송신 노드 바로 다음에 위치한 중간 노드 I와 수신 노드 바로 앞에 위치한 중간 노드 J 사이에는 다수의 중간 노드가 존재할 수도 있음을 주목해야 한다. 그림 9에서 수신 노드 바로 앞에 위치한 중간 노드 J는 앞의 중간 노드로부터 RTS를 받은 후 IFS 후에 CTS 프레임을 회신한다. CTS 회신과 동시에 중간 노드 J는 통과 전송을 위한 동작을 시작하며, PD 후에 수신 노드에게 RTS 프레임을 전송한다. 수신 노드는 통과 전송 방식으로 보내어진 RTS를 수신하면 IFS 후에 CTS프레임을 회신하고, 이를 받은 중간 노드 J는 IFS 후에 통과 전송 방식으로 DATA 프레임을 수신 노드에게 보낸다. 한편, 앞의 중간 노드가 보낸 DATA를 받은 후 중간 노드 J는 IFS 후에 송신 노드에게 ACK 프레임을 회신한다. 수신 노드는 중간 노드 J로부터 DATA를 받은 후 IFS 후에 ACK 프레임을 회신함으로써 일련의 통과 전송 과정이 완료된다.

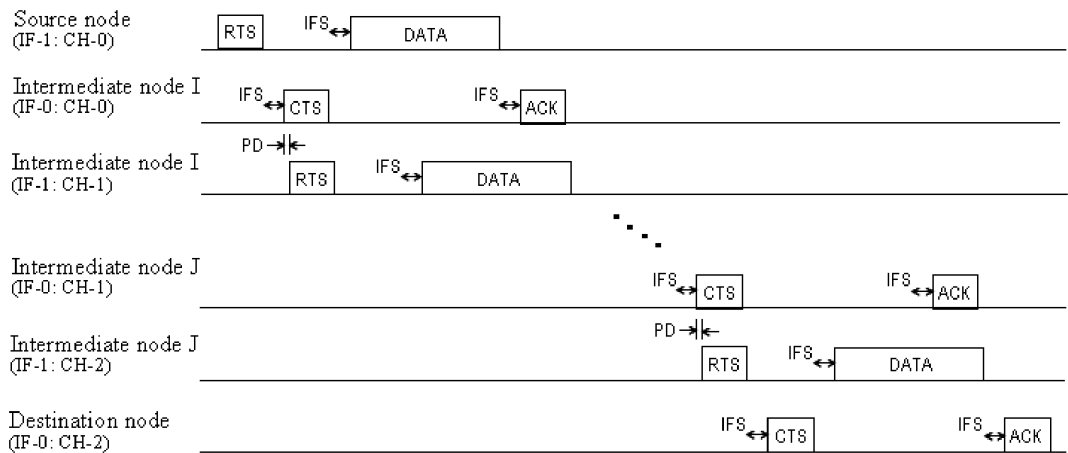


그림 10. 2개 이상의 중간 노드를 통한 통과 전송 매체 접근 제어 다이어그램

## 1. 채널 제사용 거리

그림 11은 송신 노드로부터 여러 개의 중간 노드를 거쳐 수신 노드에 이르는 다

중 통과 전송에서의 채널 재사용 거리를 나타낸다. 그림 9에 나타낸 바와 같이 신호 간섭을 최소화하면서 안전하게 패킷을 전송할 수 있는 채널 재사용 거리는 3이다.

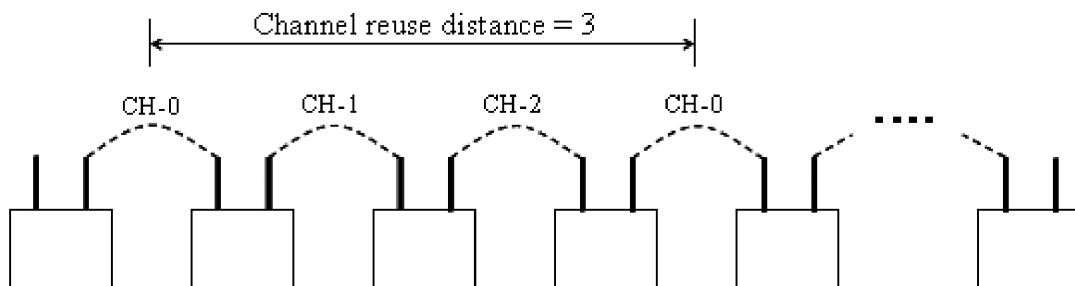


그림 11. 다중 통과 전송을 위한 채널 재사용 거리

### 제3절 각 노드에서의 통과 전송 MAC

그림 12는 각 노드에서의 통과 전송을 위한 매체 접근 제어 방법을 나타낸 흐름도이다. 처음에 통과 전송 매체 접근 제어 장치가 리셋(reset)되는 초기화 상태(initialization)가 된다. 초기화 상태가 되면, 패킷 버퍼는 비어 있는 상태가 되고 2개의 무선 인터페이스는 수신 대기 상태가 되며 통과 전송 제어기는 초기 상태를 유지한다. 초기화 과정이 완료된 후 RTS가 수신되면 RTS의 수신처가 자신인지 검사한다. 이때, RTS의 수신처가 자신이 아니면 RTS 수신 단계로 복귀하고, 자신이면 RTS를 보낸 경로 상의 이전 노드(upstream node)에게 CTS를 회신한다. 그리고 나서 경로 상의 다음 노드(downstream node)가 있는지 검사한다. 경로 상의 다음 노드가 존재하지 않으면 자신이 수신 노드이므로, 이전 노드로부터 DATA를 수신하고 이전 노드에게 ACK를 회신한 후 RTS 수신 검사 단계로 복귀한다. 반면에 경로 상의 다음 노드가 존재하면, 다음 노드에게 RTS를 전송하고 이전 노드로

부터 DATA를 수신한다. 이후에 경로 상의 다음 노드로부터 정해진 시간 내에 CTS가 정상적으로 수신되는지 검사한다. CTS가 정상적으로 수신되지 않으면 RTS 수신 검사 단계로 복귀한다. 그리고 이전 노드로부터 수신한 DATA를 다음 노드로 다시 송신해야 하므로, RTS 수신 검사 단계 및 데이터 전송을 위한 미디어 검사 단계를 거쳐서 재전송을 시도하게 된다. 반면 CTS가 정상적으로 수신되면 경로 상의 다음 노드에게 통과 전송 방식으로 DATA를 전송하고 경로 상의 이전 노드에게 ACK를 회신한다. 이후에 경로 상의 다음 노드로부터 정해진 시간 내에 ACK가 정상적으로 수신되는지 검사한다. ACK가 정상적으로 수신되지 않으면 RTS 수신 검사 단계로 복귀한다. 그리고 이전 노드로부터 수신한 DATA를 다음 노드로 다시 송신해야 하므로, RTS 수신 검사 단계 및 데이터 전송을 위한 미디어 검사 단계를 거쳐서 재전송을 시도하게 된다. 반면 ACK가 정상적으로 수신되면 전송한 데이터를 버퍼에서 지우고 다시 RTS 수신 검사 단계로 복귀한다. RTS 수신 검사 단계에서 수신되는 RTS가 존재하지 않으면 송신할 데이터가 있고 매체가 사용 중인지 검사한다. 송신할 데이터가 없거나 매체가 사용 중이면, RTS 수신 검사 단계로 복귀한다. 송신할 데이터가 있고 매체가 사용 중이지 않으면, 자신이 송신 노드이며 경로 상의 다음 노드에게 RTS를 전송한다. 그리고 나서 경로 상의 다음 노드로부터 정해진 시간 내에 CTS가 정상적으로 수신되는지 검사한다. CTS가 정상적으로 수신되지 않으면 RTS 수신 검사 단계로 복귀한다. 그리고 이전 노드로부터 수신한 DATA를 다음 노드로 다시 송신해야 하므로, RTS 수신 검사 단계 및 데이터 전송을 위한 미디어 검사 단계를 거쳐서 재전송을 시도하게 된다. 반면 CTS가 정상적으로 수신되면 경로 상의 다음 노드에게 DATA를 전송한다. 이후에 경로 상의 다음 노드로부터 정해진 시간 내에 ACK가 정상적으로 수신되는지 검사한다. ACK가 정상적으로 수신되지 않으면 RTS 수신 검사 단계로 복귀한다. 그리고 이전 노드로부터 수신한 DATA를 다음 노드로 다시 송신해야 하므로, RTS 수신 검사 단계 및 데이터 전송을 위한 미디어 검사 단계를 거쳐서 재전송을 시도하

게 된다. 반면 ACK가 정상적으로 수신되면 전송한 데이터를 버퍼에서 지우고 다시 RTS 수신 검사 단계로 복귀한다.

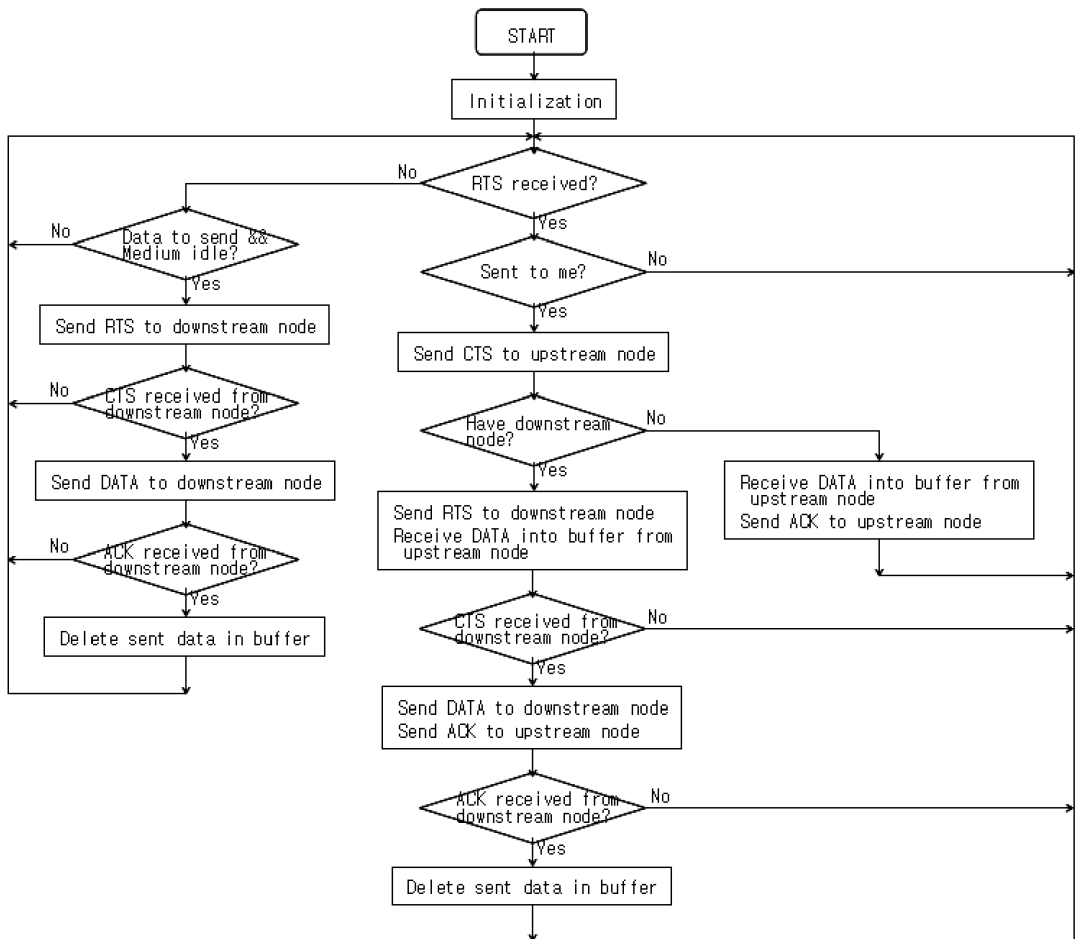


그림 12. 각 노드에서의 통과 전송 매체 접근 제어 흐름

#### 제4절 종단간 지연시간 분석

멀티홉 전송을 할 때 그림 13과 같이 송신 노드에서 수신 노드까지  $n$ 개의 홉에 걸쳐 패킷을 전송한다고 가정한다. <표 1>은 종단간 지연시간 분석을 위한 식에



사용되는 표기법이다. 그리고 <표 1>에서  $T_s$ 는  $T_B$ 에 비하여 상당히 큰 값이다( $T_B \ll T_s$ ).

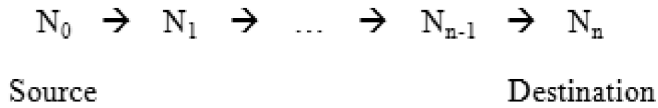


그림 13. n홉 패킷 전송

표 1. 종단간 지연시간 분석의 기호 표기법

$n$	Number of hops from source to destination
$T_{PT}$	Average per-hop pass-through delay
$T_B$	Buffer delay in a node
$T_{BO}$	Back-off delay
$T_h$	Average per-hop delay
$T_s$	Average store-and-forward delay in a node

통과 전송에 걸리는 지연시간( $T_{PT-MAC}$ )은 그림 8과 그림 10의 매체 접근 제어 다이어그램을 기반으로 하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $T_{PT}$ 는 송신 노드에서 수신 노드까지 n홉 패킷 전송에서 홉간 걸리는 통과 전송 지연시간으로 식 (2)에서 보는바와 같이 버퍼 딜레이, 백오프 시간, 다음 노드로 통과전송을 시작하기 위한 RTS 송신 시간 그리고 SIFS 시간을 포함한다. 송신 노드에서 수신 노드까지 n홉 패킷 전송에서 식 (2)의  $T_{PT}$ 가 n-1회 수행되고, 식 (2)를 식(1)에 대입하여 풀어 쓰면 식 (3)과 같이 통과 전송에 걸리는 지연시간을 계산할 수 있다.

$$T_{PT-MAC} = T_{DIFS} + T_{BO} + T_{RTS} + T_{SIFS} + (n-1)T_{PT} + T_{CTS} + T_{SIFS} + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{ACK} \quad (1)$$

$$T_{PT} = T_B + T_{BO} + T_{RTS} + T_{SIFS} \quad (2)$$

$$T_{PT-MAC} = T_{DIFS} + (n-1)T_B + nT_{BO} + nT_{RTS} + (n+2)T_{SIFS} + T_{CTS} + T_{DATA} + T_{ACK} \quad (3)$$

한편 IEEE 802.11 DCF를 이용한 지연 시간( $T_{DCF}$ )은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $T_h$ 는 홉간 걸리는 평균 지연시간으로서 기본 DCF의 RTS, CTS, DATA, ACK의 과정을 포함한다. 그리고  $T_s$ 는 저장 후 전송 과정에서 발생하는 평균 지연시간이다. 송신 노드에서 수신 노드까지  $n$ 홉 패킷 전송에서  $T_h$ 는  $n$ 회 발생하고  $T_s$ 는  $n-1$ 회 발생한다. 식 (5)를 식 (4)에 대입하여 풀어 쓰면 식 (6)과 같이 기본 DCF에 걸리는 지연시간을 계산할 수 있다.

$$T_{DCF} = nT_h + (n-1)T_s \quad (4)$$

$$T_h = T_{DIFS} + T_{BO} + T_{RTS} + T_{SIFS} + T_{CTS} + T_{SIFS} + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{ACK} \quad (5)$$

$$T_{DCF} = nT_{DIFS} + nT_{BO} + nT_{RTS} + 3nT_{SIFS} + nT_{CTS} + nT_{DATA} + nT_{ACK} + (n-1)T_s \quad (6)$$

단축된 지연 시간 계산을 위해  $T_{DCF}$ 와  $T_{PT-MAC}$ 의 차이를 구하면 식 (7)에 나타낸 만큼의 시간이 단축된다. 특히  $T_{DATA}$  및  $T_s$ 는 상당히 큰 값이다.

$$T_{DCF} - T_{PT-MAC} = (n-1)T_{DIFS} + 2(n-1)T_{SIFS} + (n-1)T_{CTS} + (n-1)T_{DATA} + (n-1)T_{ACK} + (n-1)(T_s - T_B) \quad (7)$$

## 제4장 성능 평가

본 장에서는 제안한 통과 전송 MAC 프로토콜을 NS-2[14]로 구현한 것과, 성능 측정을 위한 시뮬레이션 환경, 그리고 실험 결과를 분석하여 제안한 통과 전송 MAC 프로토콜의 성능 개선 효과를 기술한다.

### 제1절 NS-2 구현

성능 비교는 단일 채널로 구현한 MAC 프로토콜(DCF<sub>s</sub>), 다중 채널로 구현한 MAC 프로토콜(DCF<sub>m</sub>) 그리고 본 연구에서 제안한 PT-MAC 프로토콜을 서로 비교하고, 다중 채널로 구현한 DCF<sub>m</sub>과 PT-MAC의 각 노드는 2개의 3채널 인터페이스를 이용하여 동작하도록 한다.

#### 1. 다중 인터페이스 및 다중 채널

다중 인터페이스 및 다중 채널의 구현을 위하여 홍릉과학출판사에서 발행한 ‘NS-2 네트워크 시뮬레이터의 활용’에 작성된 ‘멀티 인터페이스 및 멀티 채널의 ns-2 구현의 방법’을 이용하였다[15]. 이를 기반으로 2개의 3채널 인터페이스를 가지고 IEEE 802.11 DCF로 동작하는 다중 채널 MAC 프로토콜(DCF<sub>m</sub>)을 구현하였다. 그리고 다중 채널 MAC 프로토콜을 기반으로 본 연구에서 제안하는 기법인 PT-MAC 프로토콜을 구현하였다.

#### 2. PT-MAC

그림 14는 본 연구에서 제안한 통과 전송을 사용하였을 때 패킷의 전달 경로를 나타낸다. 먼저 송신 노드에서 전송하고자 하는 DATA가 있다면, DATA 패킷은

송신 노드의 AGT와 RTR 계층을 거쳐 MAC 계층으로 내려오게 된다. 그리고 ①로 표기된 MAC 계층에서는 통과 전송에 필요한 최종 목적지 노드의 정보를 얻기 위하여 DATA 패킷의 IP 헤더를 참조한다. MAC 계층에서 IP 헤더를 참조하는 이유는 네트워크 계층 상호간 제어 정보를 교환하고 상호 교차 참조하는 최근의 크로스 레이어 설계(계층간 통합 설계) 추세를 반영하여, 성능향상을 위한 방안의 일환으로 구현한 것이다. 이렇게 함으로써, MAC 계층에서 MAC 헤더 해독과 더불어 IP 헤더의 일부 내용을 참조하여 패킷 전달을 신속히 수행하게 된다. MAC 계층에서 참조한 목적지 정보(DA : Destination Address)를 RTS 패킷에 포함하여 PHY 계층을 통하여 다음 노드인 중간 노드에게 전송한다.

송신 노드의 ①번 MAC에서 전송한 RTS 패킷의 구조는 그림 15와 같이 IEEE 802.11 DCF의 RTS 프레임에 DA 필드를 추가한 형태이다. RTS 프레임에서 frame control 필드는 프로토콜의 버전, 패킷의 타입 등이고, duration은 NAV를 설정하기 위한 채널 점유 시간이다. 그리고 RA (Receiver Address), TA (Transmitter Address)는 노드의 MAC 주소이고, DA는 노드의 IP 주소이다. 마지막으로 FCS (Frame Check Sequence)는 CRC 코드이다.

한편, 송신 노드로부터 패킷을 수신한 중간 노드는 PHY 계층을 거쳐서 ②번 MAC 계층에 도착한다. 이후, ②번 MAC 계층은 송신 노드에게 CTS를 전송하고 수신한 RTS의 DA 필드의 최종 목적지 IP 정보를 가지고 라우팅 테이블에서 최종 목적지로 가는 다음 노드 정보를 참조한다. 그리고 라우팅 테이블에서 경로 만료 시간을 갱신하고, 다음 노드 정보로 RTS를 전송하여 통과 전송을 시작하게 된다.

PT-MAC 프로토콜은 MAC 계층이기 때문에 최종 목적지 정보를 알 수 없다. 그래서 최종 목적지 정보의 획득과 AODV 라우팅 테이블의 만료 시간을 초기화하기 위하여 MAC 계층과 라우팅 계층간에 크로스 레이어(cross-layer) 설계를 적용하였다.

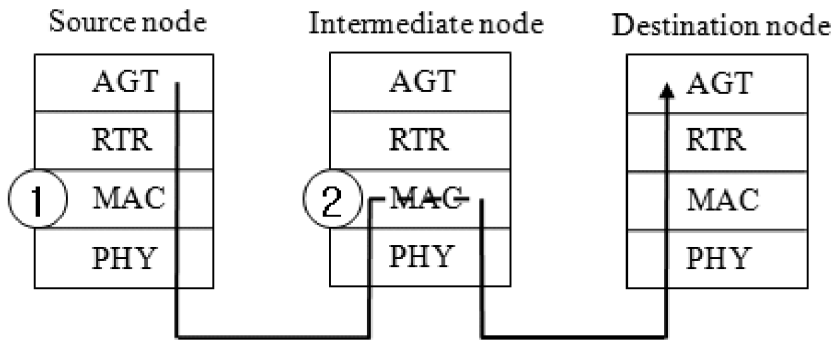


그림 14. 패킷 전달 경로

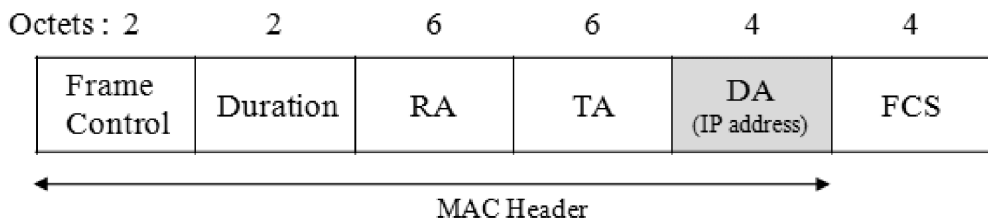


그림 15, RTS 프레임

## 제2절 시뮬레이션 환경

본 연구에서 제안한 통과 전송 MAC 프로토콜의 성능을 측정하기 위해 NS-2 시뮬레이터(버전 2.30) 상에서 프로토콜을 구현하였다. 그리고 시뮬레이션 파라미터는 <표 2>와 같고 실험에 변화를 주었던 시뮬레이션 파라미터는 이동성(pause time), 세션 수(number of sessions), 전송률(transmission rate)이다. 실험 진행은 하나의 파라미터를 변경하며 시뮬레이션을 할 경우, 나머지 두 개의 변동 가능 파라미터는 기본 값(default)으로 고정을 하는 방식이다. 그리고 각각의 실험에서 측정된 데이터는 종단간 딜레이와 데이터 처리량, 패킷 전달률, 그리고 컨트롤 오버헤드이다.

성능 개선 효과를 확인하기 위하여 단일 채널 단일 인터페이스로 구현한 DCF<sub>s</sub>와 2개의 3채널 인터페이스를 이용하여 다중 채널로 구현한 DCF<sub>m</sub> 프로토콜 그리고

본 연구에서 제안한 PT-MAC 프로토콜을 서로 비교한다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Number of nodes	50
Topology dimension (network size)	300 x 1500 m <sup>2</sup>
Propagation channel model	Two-ray ground reflection
Traffic source	Constant bit rate (CBR)
Number of sessions	2, 6, 10, 14, 18 (default: 6)
Transmission rate	1, 2, 4, 8, 16 (default: 4 packets/sec)
Mobility model	Random waypoint model - Pause time: 0, 20, 50, 100, 300, 600, 900 sec (default: 100 sec) - Speed: 0 ~ 5 m/sec
Simulation time	900 sec (15 minutes)
Routing protocol	AODV

### 제3절 시뮬레이션 결과 및 분석

패킷의 종단간 전송 지연시간은 본 연구에서 개선하고자 하였던 목표로서 통과 전송 기법을 적용하여 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

시뮬레이션 결과에 의하면 성능의 개선 효과가 크게 나타났는데, 그 이유는 기존에 발표된 네트워크 성능 향상 기법을 적용한 여러 가지 MAC 프로토콜들이 PT-MAC 프로토콜과 기법의 차이가 크기 때문에 비교대상으로 하기에 어려움이 따라서 2개의 3채널 인터페이스를 이용하는 기존 IEEE 802.11 DCF 프로토콜 (DCF<sub>s</sub>, DCF<sub>m</sub>)과 통과 전송으로 구현한 PT-MAC 프로토콜을 비교하였기 때문이다.

## 1. 이동성 변화에 따른 성능

그림 16에서 단일 채널 단일 인터페이스를 갖는 DCF<sub>s</sub>에 비하여 2개의 3채널 인터페이스를 갖는 DCF<sub>m</sub>의 종단간 지연시간이 10~24% 감소한 것을 알 수 있다. 그리고 패킷을 중계할 때 중간 노드에서 PT-MAC 프로토콜을 이용함으로써 패킷의 종단간 전송 지연시간이 DCF<sub>m</sub>에 비하여 27~38% 감소된 결과를 보여준다.

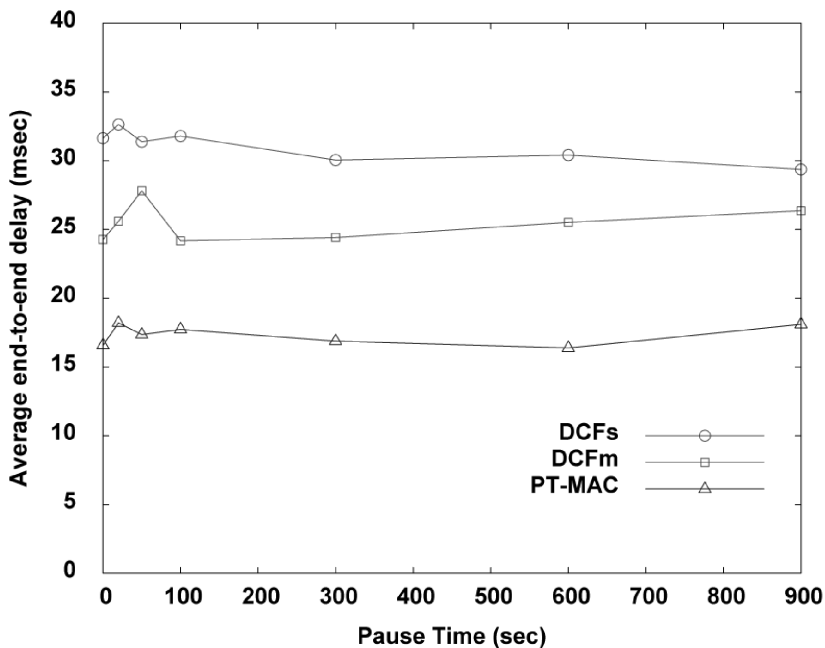


그림 16. 이동성 변화에 따른 종단간 지연시간

그림 17의 goodput은 어플리케이션 단계의 throughput이다. 그리고 goodput은 종단간 패킷 전송에서 유효 패킷 전송률로서 컨트롤 패킷과 재전송 데이터 패킷을 포함하지 않는다. 그림 16과 같이 종단간 지연시간이 짧아 졌기 때문에 그림 17에서 PT-MAC의 유효 패킷 전송률이 DCF<sub>m</sub>에 비하여 40~56% 증가한 결과를 보여준다. 그리고 전체적인 그래프의 형태가 평평하게 나타남으로 노드의 이동성 변화

가 MAC 성능에 미치는 영향이 적음을 알 수 있다.

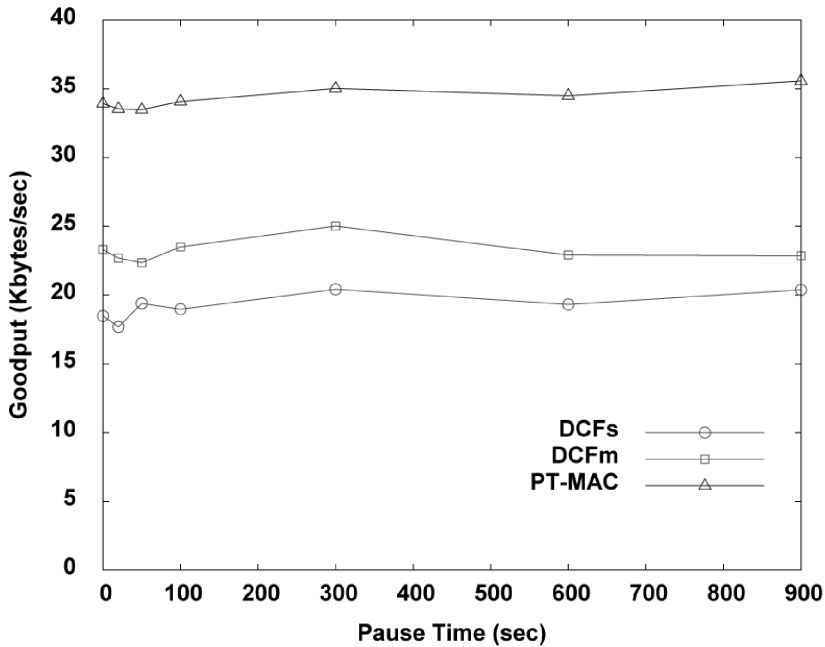


그림 17. 이동성 변화에 따른 유효 패킷 전송률

그림 18은 패킷 전달률을 나타낸 것으로서 전송 지연시간 감소에도 불구하고 패킷 전달률이 저하되지 않음을 확인할 수 있다. 그림 19는 정규화된 제어 오버헤드로서 전체 제어 패킷 전송 수를 전체 데이터 패킷 전송 수로 나눈 값으로서, 각각의 홉간 전송(hop-wise transmission)을 하나의 전송으로 계산한 것이다. 제어 패킷은 데이터 패킷 이외에 라우팅 과정에 전송되는 패킷을 나타내며 RREQ, RREP, RERR 등이 포함된다. 그림 19의 특이사항으로 DCF<sub>s</sub>의 제어 오버헤드가 낮게 나타나는데, 그 이유는 단일 인터페이스이기 때문에 제어 패킷의 충돌이 적게 일어나기 때문이다. 한편, DCF<sub>m</sub>과 PT-MAC을 비교하면 제어 오버헤드 역시 증가하지 않음을 확인할 수 있다. 즉, 제안한 PT-MAC 프로토콜은 패킷 전달률을 감소시키거나 제어 오버헤드를 증가시키는 부작용 없이 종단간 전송 지연시간을 크게 단축시키는 우수한 성능을 보여준다.



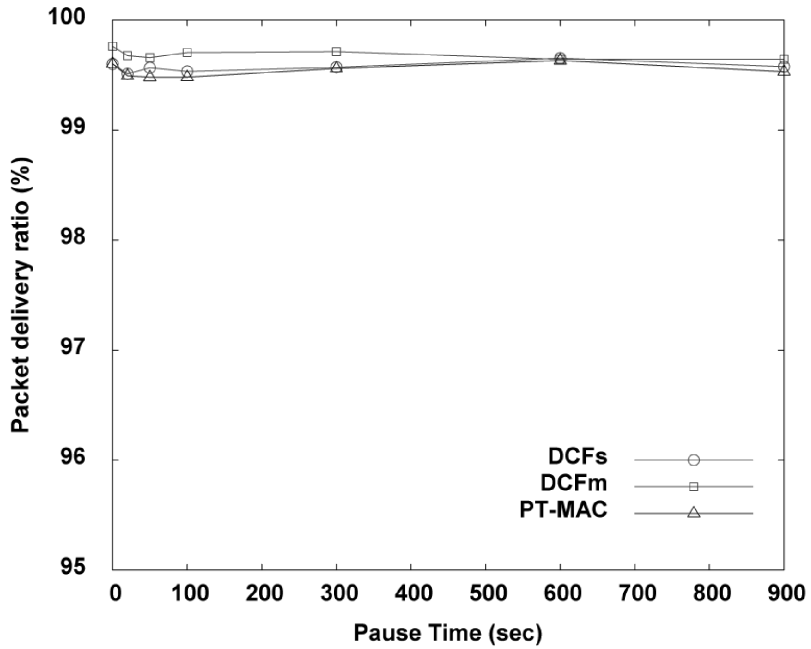


그림 18. 이동성 변화에 따른 패킷 전달률

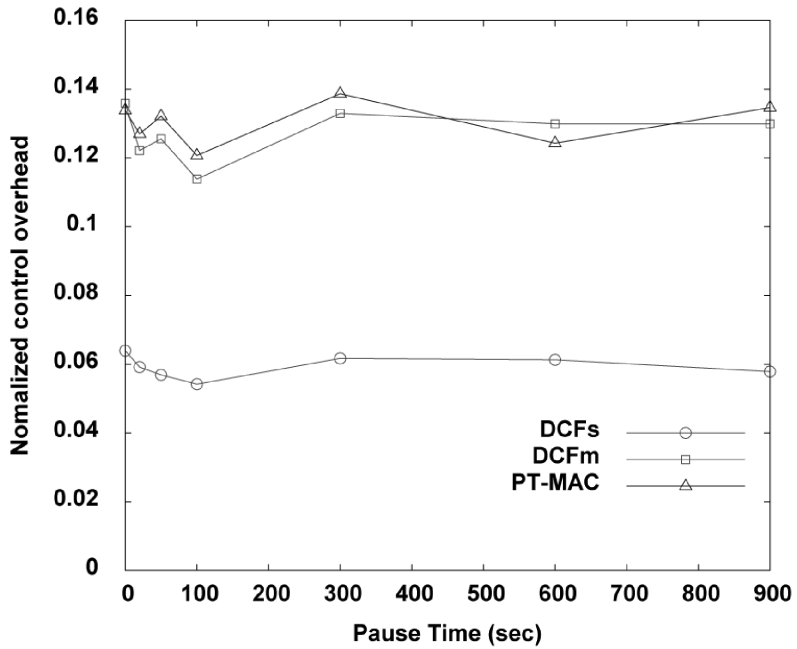


그림 19. 이동성 변화에 따른 정규화된 제어 오버헤드

## 2. 세션 수 변화에 따른 성능

그림 20에서  $DCF_s$ 는 세션 수가 14일 때 322ms, 18일 때 727ms의 종단간 지연시간을 나타내어 세션이 증가함에 따라서 급격히 증가하는 형태로 나타났고, 상대적으로 세션이 증가할수록  $DCF_m$ 의 성능 향상 폭은 크게 나타났다. 한편, PT-MAC의 종단간 지연시간은  $DCF_m$ 에 비하여 20~41% 감소된 결과를 보여준다. 그리고 3개의 그래프 방향이 증가하는 형태로서, 세션이 증가됨에 따라서 네트워크 트래픽이 증가하기 때문에 전송지연이 점차 증가하는 결과를 확인할 수 있다.

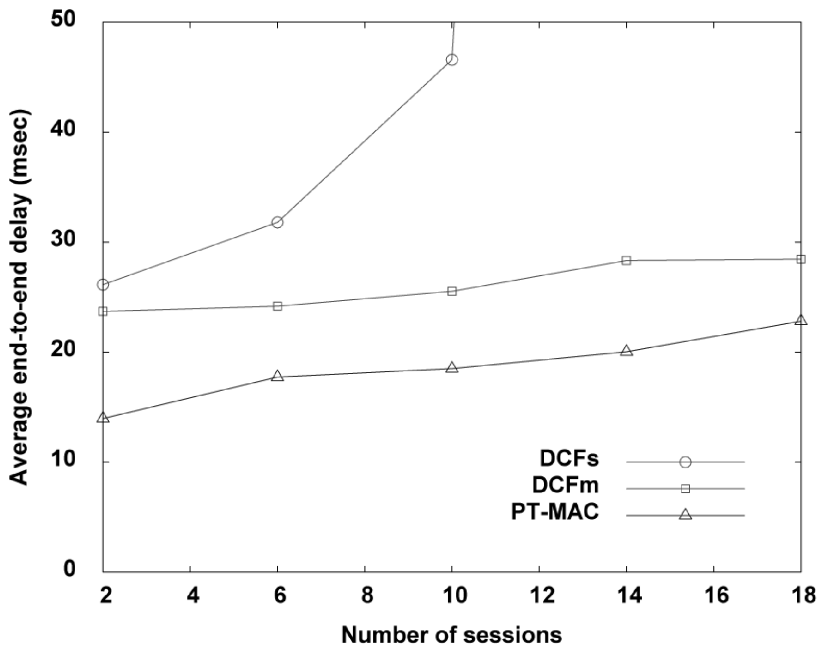


그림 20. 세션 수 변화에 따른 종단간 지연시간

그림 21에서는 PT-MAC이  $DCF_m$ 에 비하여 종단간 전송 지연시간이 감소했기 때문에 유효 패킷 전송률이 26~48% 증가된 결과를 보여준다. 유효 패킷 전송률도 종단간 전송 지연시간과 같은 현상으로 세션 수가 증가됨에 따라서 네트워크 트래픽 증가하기 때문에 그에 따라 감소되는 결과를 확인할 수 있다.

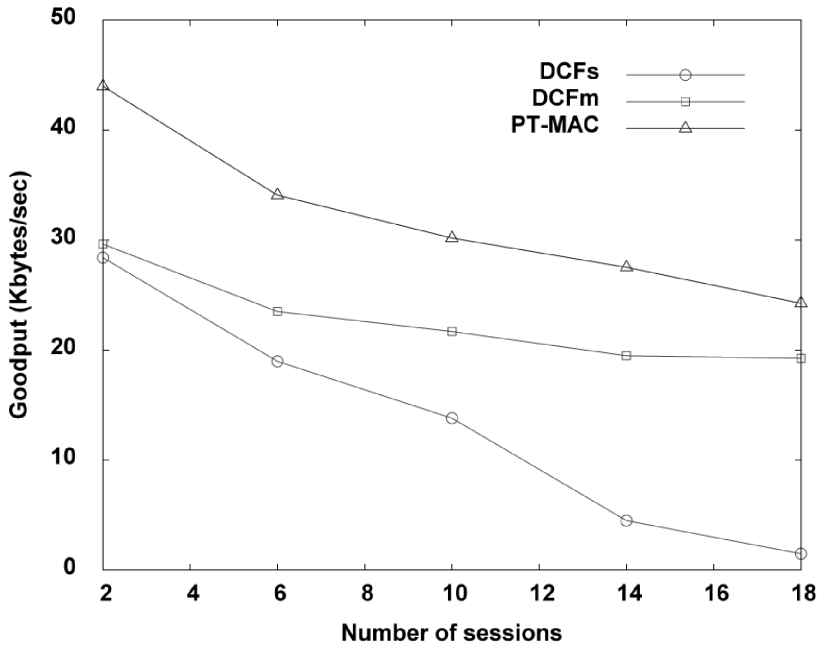


그림 21. 세션 수 변화에 따른 유효 패킷 전송률

그림 22의 DCF<sub>s</sub>는 세션 수가 14일 때 88%, 18일 때 78%로 급격히 감소하는 형태로 나타났다. 한편, 그림 22는 패킷 전달률을 나타낸 것으로서 전송 지연시간 감소에도 불구하고 PT-MAC의 패킷 전달률이 DCF<sub>m</sub>에 비하여 저하되지 않음을 확인할 수 있다.

그림 23의 DCF<sub>s</sub>의 제어 오버헤드는 세션 수 10을 기준으로 2와 6에서는 낮게 나타나다가 14일 때 0.68, 18일 때 1.04로 급격히 증가하였다. 한편, 그림 23의 PT-MAC과 DCF<sub>m</sub>을 비교하였을 때 제어 오버헤드 역시 증가하지 않음을 확인할 수 있고, 오히려 세션 수가 14이상인 경우에 PT-MAC의 제어 오버헤드가 DCF<sub>m</sub>보다 낮음을 알 수 있다. 즉, 세션 수의 증가에 의해서도 제안한 PT-MAC 프로토콜은 부작용 없이 종단간 전송 지연시간을 크게 단축시키는 우수한 성능을 보여준다.

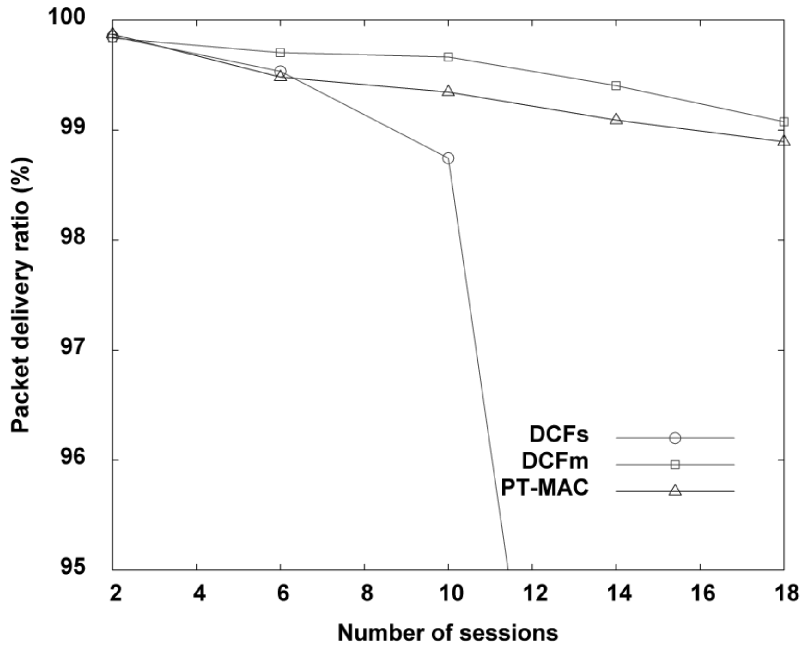


그림 22. 세션 수 변화에 따른 패킷 전달률

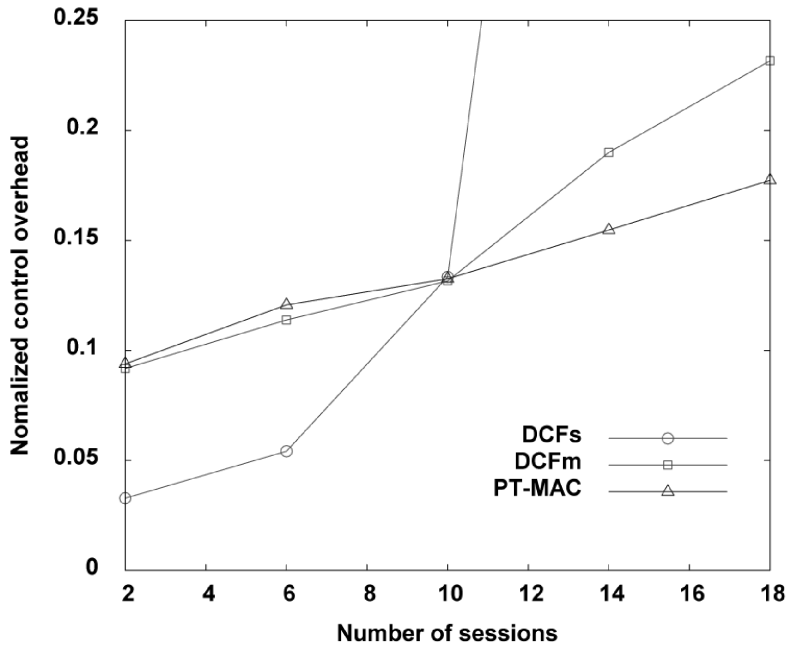


그림 23. 세션 수 변화에 따른 정규화된 제어 오버헤드

### 3. 전송률 변화에 따른 성능

그림 24에서  $DCF_s$ 는 전송률이 8일 때 121ms, 16일 때 808ms의 종단간 지연시간을 나타내어 전송률이 증가함에 따라서 급격히 증가하는 형태로 나타났고, 상대적으로 전송률이 증가할수록  $DCF_m$ 의 성능 향상 폭은 크게 나타났다.

한편, PT-MAC의 종단간 지연시간은  $DCF_m$ 에 비하여 26~44% 감소된 결과를 보여준다. 그림 24에서 전송률 4를 기준으로 4이하인 구간에서는 약간 감소하는 현상을 보이는데, 이는 네트워크의 트래픽이 너무 적어서 라우팅 테이블의 업데이트 발생 빈도가 낮고 그로 인한 라우팅 테이블 만료가 많기 때문이다. 그러나 전송률이 4이상의 구간에서는 네트워크의 트래픽 증가로 인하여 종단간 지연시간도 증가됨을 알 수 있다.

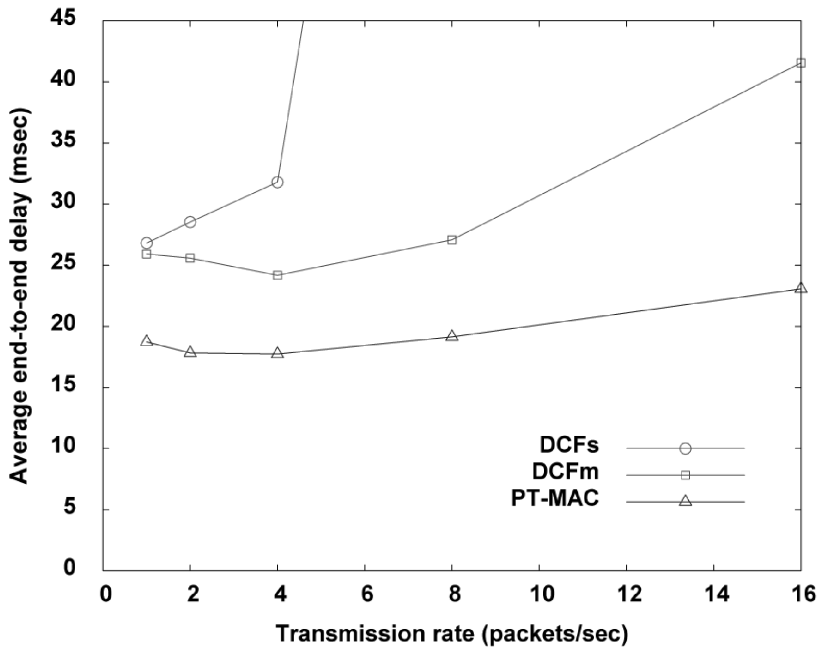


그림 24. 전송률 변화에 따른 종단간 지연시간

그림 25에서는 PT-MAC이  $DCF_m$ 에 비하여 종단간 전송 지연시간이 감소됐기

때문에 유효 패킷 전송률이 41~46% 증가된 결과를 보여준다. 유효 패킷 전송률도 종단간 전송 지연시간과 같은 현상으로 전송률 4를 기준으로 4이하인 구간에서는 약간 증가하고 4이상의 구간에서는 감소되는 현상을 보여준다.

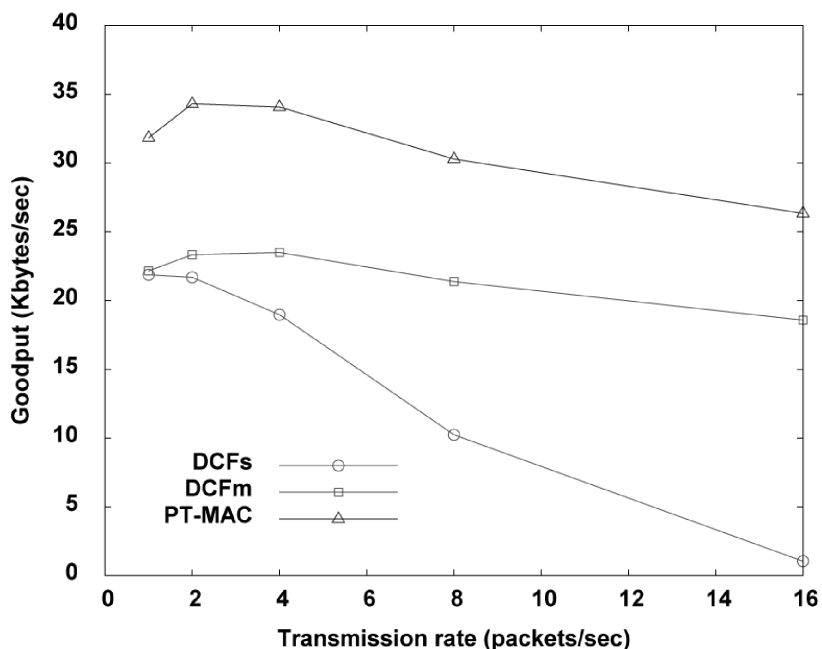


그림 25. 전송률 변화에 따른 유효 패킷 전송률

그림 26은 패킷 전달률을 나타낸 것으로서 전송 지연시간 감소에도 불구하고 PT-MAC의 패킷 전달률이 DCF<sub>m</sub>에 비하여 크게 저하되지 않음을 확인할 수 있다. 그림 26의 DCF<sub>s</sub>는 전송률이 8일 때 94%, 16일 때 67%로 급격히 감소하는 형태로 나타났다. PT-MAC과 DCF<sub>m</sub>의 그래프의 형태는 전송률 4를 기준으로 4이하인 구간에서는 약간 증가하고 4이상의 경우 약간 감소하는 현상을 보여준다.

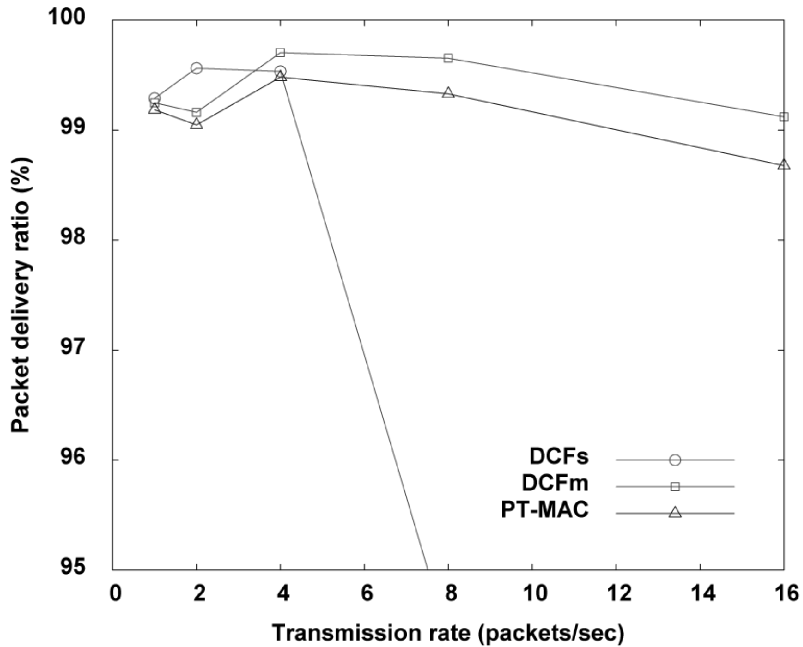


그림 26. 전송률 변화에 따른 패킷 전달률

그림 27의 PT-MAC과 DCF<sub>m</sub>을 비교할 때 제어 오버헤드 역시 증가하지 않음을 확인할 수 있다. PT-MAC과 DCF<sub>m</sub>의 경우, 전송률 8까지 제어 오버헤드가 감소하는 이유는 트래픽이 적을수록 라우팅 테이블의 라우팅 업데이트가 횟수가 감소하고, 이에 따라 라우팅 만료시간이 자주 발생하여 경로 단절이 증가하기 때문이다. DCF<sub>s</sub>는 PT-MAC과 DCF<sub>m</sub>와는 달리 전송률 4까지 감소하고 이후 급격히 증가한다. 그 이유는 DCF<sub>s</sub>가 단일 채널 단일 인터페이스여서 네트워크 수용력이 PT-MAC과 DCF<sub>m</sub>보다 떨어지기 때문이다.

그림 26과 그림 27에서 제안한 PT-MAC 프로토콜은 전송률 증가에 따른 부작용 없이 중단간 전송 지연시간을 크게 단축시키는 우수한 성능을 보여준다.

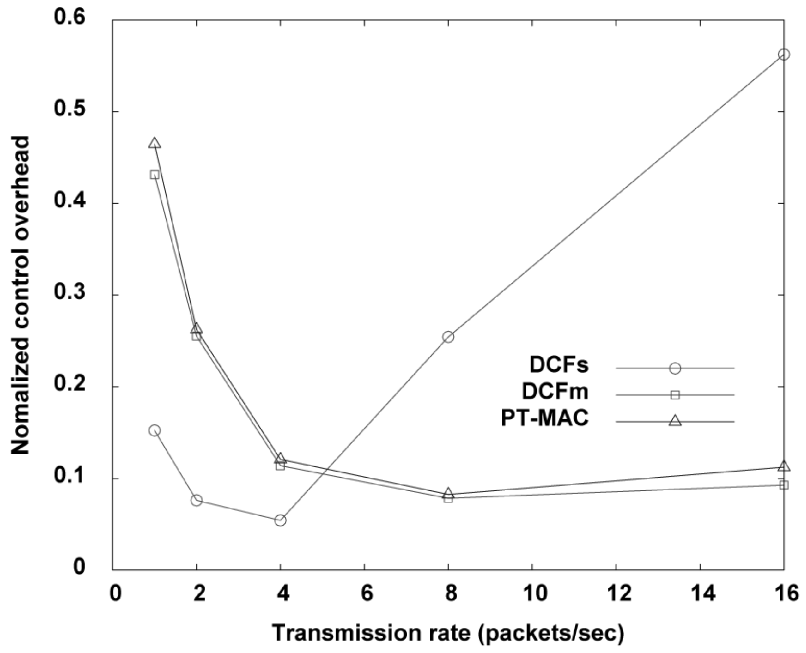


그림 27. 전송률 변화에 따른 정규화된 제어 오버헤드



## 제5장 결 론

본 논문에서는 액세스 포인트와 같은 기반 구조가 없는 무선 애드혹 네트워크에서 멀티홉 전송을 하여 전체 네트워크의 전반적인 성능을 향상하는 데 그 목적이 있다. 2개의 3채널 인터페이스를 갖는 노드들로 구성된 무선 애드혹 네트워크에서의 통과 전송 MAC 프로토콜을 제안하였다.

제안한 프로토콜은 종래의 저장 후 전송 방식이 아닌 통과 전송 기법을 적용함으로써, 여러 홉을 거치는 전송 경로의 중간 노드들에서의 패킷 저장에 따르는 전송 지연을 최소화하고 결과적으로 종단간 전송 지연 시간을 크게 줄이는 효과를 보였다. 본 논문에서 제안한 프로토콜의 검증과 성능 평가를 위하여, NS-2를 사용하여 통과 전송 MAC 프로토콜의 구현 및 성능 평가를 한 결과 제안한 PT-MAC 프로토콜은 동일 채널 동일 인터페이스 조건에서 DCF에 비하여 종단간 전송 지연 시간을 20%~44% 감소시키고 유효 패킷 전송률을 26~56% 증가시키는 개선 효과를 보임에도 불구하고 패킷 전달률 저하나 제어 오버헤드 증가 등의 부작용을 유발하지 않는 것으로 나타났다.

본 연구의 향후 과제로서 비대칭 링크를 고려한 통과 전송 MAC 프로토콜 및 방향성 안테나를 사용하는 네트워크에서의 통과 전송 MAC 프로토콜을 연구할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] IEEE, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Spec," IEEE 802.11 Standard, 1999.
- [2] Y. Seok, J. Park, and Y. Choi, "Multirate Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Proc. of IEEE Vehicular Technology Conf., pp. 22-25, Apr. 2003.
- [3] H. Zhu and G. Cao, "On Improving the Performance of IEEE 802.11 with Relay-Enabled PCF," ACM/Kluwer Mobile Networking and Applications (MONET), Vol. 9, pp. 423-434, 2004.
- [4] IEEE WG, "IEEE Std 802.11a-1999, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specification, Amendment 1: High-speed physical Layer in the 5 GHz band," 1999.
- [5] IEEE WG, "IEEE Std 802.11b-1999, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specification, Higher-speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz band," 1999.
- [6] B. Awerbuch, D. Holmer, and H. Rubens, "High Throughput Route Selection in Multi-Rate Ad Hoc Wireless Networks, Wireless On-Demand Network Systems," ACM/Kluwer Mobile Networking and Applications (MONET), Jan. 2004.
- [7] D. S. J. DeCouto, D. Aguayo, J. Bicket, and R. Morris, "A High-Throughput Path Metric for Multihop Wireless Routing," Proc. of ACM Mobicom, pp. 134-146, Sep. 2003.
- [8] A. Kamerman and L. Monteban, "WLAN-II: A High-Performance Wireless

- LAN for the Unlicensed Band,” Bell Labs Technical J., Summer 1997.
- [9] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, “A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multihop Wireless Networks,” Proc. of ACM Mobicom, pp. 236-251, July 2001.
- [10] B. Sadeghi, V. Kanodia, A. Sabharwal, and E. Knightly, “Opportunistic Media Access for Multirate Ad Hoc Networks,” Proc. of ACM Mobicom. pp. 24-35, Sep. 2002.
- [11] J. Gomez, A. T. Campbell, M. Naghshineh, and C. Bisdikian, “Conserving Transmission Power in Wireless Ad Hoc Networks,” Proc. of IEEE Int. Conf. on Network Protocols (ICNP), Nov. 2001.
- [12] H. Zhu, G. Cao, “rDCF: A Relay-Enabled Medium Access Control Protocol for Wireless Ad Hoc Networks,” IEEE Trans. on Mobile Computing, pp. 1201-1214, Sep. 2006.
- [13] 박지원, 모상만, “무선 애드혹 네트워크에서의 통과 전송 매체 접근 제어,” 한국통신학회 하계 종합학술발표회 논문집, 제37권, pp. 7C-72.1~4, 제주, 2008. 7.
- [14] The Network Simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>, 2008.
- [15] 장영민 외, ns-2 네트워크 시뮬레이터의 활용, 홍릉과학출판사, 2008.

## 감사의 글

짧은 네트워크 지식을 가지고 새로운 마음으로 대학원 생활을 시작한 것이 엇그제 같은데 벌써 졸업을 앞두고 있다는 것이 믿어지지 않습니다.

2년의 시간동안 교수님 지도아래 열심히 달려와 주변을 돌아볼 여유가 별로 없어서 잃은 것도 있지만 제 인생에 큰 발돋움의 시기였습니다. 여러모로 부족했던 제게 많은 도움을 주셨던 주위 모든 분들에게 감사의 말씀을 드립니다.

먼저 지속적인 가르침과 많은 조언을 해주신 모상만 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 와중에도 논문 심사를 해주신 정일용 교수님, 신석주 교수님께도 감사를 드립니다.

대학원 석사 생활의 대부분이었던 모바일 컴퓨팅 연구실. 연구실 1기 대학원생으로서 연구실 생활의 책임자로서 소임을 다 할 수 있게 잘 따라준 태우, 늘 웃음을 주었던 상우, 항상 밝은 모습인 재원이, 실험에 많은 도움을 준 승환이, 티격태격할 때도 있었지만 착한 지숙이, 많은 대화를 나누지는 않았지만 언제나 친숙한 느낌이 들었던 Raj 그리고 얼마 전에 연구실에 들어와 조용히 연구에 매진하는 Bipula에게 고맙다고 전하고 싶습니다.

그리고 대학원 생활에서 많은 부분을 같이 공유한 충용이형, 상규형, 상기와 어려운 일이 있을 때 여러 조언을 해준 상욱이형, 유선누나, 동민이형에게도 고마움을 전합니다.

마지막으로 저를 믿고 옆에서 지켜봐준 아버지, 늘 가족에게 헌신적이었던 어머니와 항상 바쁘게 생활하면서도 누구보다 가족을 챙기는 동생 예원에게 고맙고 이 작은 결실의 기쁨을 함께 하고자 합니다.

2008 년 12월  
박 지 원 올림

# 저작물 이용 허락서

학과	컴퓨터공학과	학번	20077478	과 정	석사
성명	한글 박 지원		한문 박 지 원	영문 Jiwon Park	
주소	광주광역시 북구 중흥3동 801-40				
연락처	E-mail : kuruzer@naver.com				
논문 제목	한글 모바일 애드혹 네트워크를 위한 통과 전송 MAC 프로토콜				
	영문 A Pass-Through MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의( 0 )    반대(    )

2009년 2월

저작자:    박 지원    (인)

**조선대학교 총장 귀하**