creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

BY: **저작자표시**. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000236469

2008년 8월

석사학위 논문

IEEE 802.11 LAN 시스템에서의 멀티채널 기반 패킷 전송에 관한 연구

조선대학교 대학원

컴 퓨 터 공 학 과

문 진 수

IEEE 802.11 LAN 시스템에서의 멀티채널 기반 패킷 전송에 관한 연구

A Study on the Multi-Channel Packet Transmission Protocols in IEEE 802.11 LAN Systems

2008년 8월 25일

조선대학교 대학원

컴 퓨 터 공 학 과

문 진 수

IEEE 802.11 LAN 시스템에서의 멀티채널 기반 패킷 전송에 관한 연구

지도교수 신 석 주

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함.

2008년 4월

조선대학교 대학원

컴 퓨 터 공 학 과

문 진 수

문진수의 석사학위논문을 인준함

위원장　조선대학교 교수 _____(인)

위　원　조선대학교 교수 _____(인)

위　원　조선대학교 교수 _____(인)

2008년　5월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 …… 1

1.2 연구 목적 …… 3

1.3 논문 구성 …… 3

제 2 장 IEEE 802.11 MAC

2.1 IEEE 802.11 개요 …… 4

2.1.1 애드 혹 네트워크…… 4

2.1.2 인프라구조 네트워크 …… 5

2.2 IEEE 802.11 MAC 구조 …… 5

2.3 싱글채널 기반 802.11 MAC에서의 패킷 전송 방식…… 5

2.3.1 DCF…… 7

2.3.2 CSMA/CA…… 9

2.3.3 PCF…… 11

2.4 싱글채널 기반의 무선 랜에서의 성능 저하 원인 분석… 12

2.4.1 숨겨진 노드 문제…… 12

2.4.2 노출된 노드 문제…… 14

제 3 장 멀티채널 기반의 기존 방식 분석

3.1 멀티채널 환경의 특성 …… 17

3.2 멀티채널 환경에서의 문제점 …… 17

3.2.1 멀티채널에서의 숨겨진 노드 문제…… 18

3.3 Dedicated Control Channel ····· 19
3.3.1 DCA ····· 20
3.3.2 MCMAC ····· 22
3.3.3 AMNP ····· 22
3.4 Common Control Period ····· 24
3.4.1 MMAC····· 25
3.4.2 AMCM····· 26
3.5 Hybrid 멀티채널 MAC ····· 28
3.5.1 Novel ····· 28

제 4 장 멀티채널 기반 새로운 패킷 전송 알고리즘 제안
4.1 기존 경쟁 해소 기법 분석 ····· 33
4.2 QoS를 고려한 경쟁 해소 기법 제안····· 35
4.3 제안 방식의 동작 원리 ····· 37

제 5 장 성능 평가 및 분석
5.1 시뮬레이션 환경 ····· 40
5.2 시뮬레이션 결과 ····· 42

제 6 장 결론 및 향후 연구····· 43

참고문헌 ····· 44

도목차

그림 2.1 애드 혹 네트워크와 인프라구조 네트워크
그림 2.2 MAC 부계층 구조
그림 2.3 RTS/CTS, ACK 프레임 구조
그림 2.4 기본적인 채널 접속 방법
그림 2.5 백오프 작동방법
그림 2.6 숨겨진 노드 문제
그림 2.7 IEEE 802.11 DCF with RTS/CTS
그림 2.8 노출된 노드 문제
그림 2.9 MACA-P 알고리즘
그림 3.1 멀티채널에서의 숨겨진 노드 문제
그림 3.2 수정된 RTS/CTS 프레임
그림 3.3 DCA 동작 원리
그림 3.4 MRTS/MCTS 프레임 구조
그림 3.5 AMCP 동작 원리
그림 3.6 AMNP에서의 MRTS/MCTS 동작
그림 3.7 M-MAC의 동작 원리
그림 3.8 AMCM의 동작 원리
그림 3.9 Novel 멀티채널 동작 원리
그림 4.1 제어채널 동작 원리
그림 4.2 지수적으로 증가하는 경쟁 윈도우
그림 4.3 백오프 절차
그림 4.4 제안하는 예약확률접근 함수
그림 4.5 수정된 멀티채널 기반 모바일 노드 구조
그림 4.6 제어패킷 전송 시나리오
그림 5.1 트래픽채널수별 패킷 크기에 따른 처리율
그림 5.2 플로우에 따른 패킷크기별 처리율

ABSTRACT

A Study on the Multi-Channel Packet Transmission Protocols in IEEE 802.11 LAN Systems

Jinsoo Moon
Advisor: Prof. Seokjoo Shin, Ph. D.
Department of Computer Engineering,
Graduate School of Chosun University

Currently, the mobile communication techniques have been developed in the various field due to the advantage of mobility. The researches are continued to provide for supporting various quality of services in the mobile communication environments. Moreover, the explosive growth of the Internet and the continued dramatic increase in demand for all types of wireless services require more effective ways in connection control in IEEE 802.11 WLANs. So, medium access control is an essential part. However, MAC protocols suffer from the problems such as the hidden node problem and the exposed node problem. The problems shown in legacy WLANs have limited the channel efficiency of such systems. In order to solve the problems occurred in legacy WLANs, we propose a new packet transmission protocol based on multi-channel environment.

The use of multi channel can provide advantages in improving network efficiency and reducing collisions. If there is no interference between channels, the number of nodes can transmit through the different channels

simultaneously. In a multi-channel MAC protocol, the main issue is how to negotiate channels between sender and receiver for packet transmission.

One of the critical problems in the WLANs is collisions which occur frequently in the contention mode. The way to mitigate the performance degradation from collisions is to govern the number of multiple users in a slot by employing time-varying access permission probability function. Therefore, in this thesis, we propose a multi-channel MAC protocol in which additional control channel is assigned to the traffic channels. As access to initiate packet transmission is performed through control channel between nodes, collision only occurs in control channel. In order to reduce the collision probability, we propose the collision resolution algorithm with p-persistent channel access probability function. The proposed algorithm assigns different channel access probability function to different QoS classes according to QoS class priority. The node with the traffic of the highest priority always sends the control packet earlier than others. The proposed algorithm is expected to guarantee diverse QoS requirement.

We evaluate the performance of simple multi-channel WLAN systems by using NS-2. The results show that our proposed multi-channel scheme increases both per-traffic channel and per-node aggregate throughput.

Keywords - IEEE 802.11 MAC; Ad-hoc networks; Multi-channel MAC; QoS

제 *1* 장 서 론

1.1 연구 배경

현 사회에서 정보화가 중요시 되면서 이동 통신 기술은 이동성을 바탕으로 사용하기 편리하다는 장점을 앞세워 특정 분야에 제한되어 있지 않고 다양하게 사용되고 있다. 무선 통신은 유선 통신의 선로 유지 보수, 증설 등과 같은 케이블로 인한 공간 문제를 해결해 줄 수 있다. 무선 통신 기술이 발전함에 따라 사용자들은 언제 어디서나 행동에 제약받지 않고 이동하면서도 더욱더 높은 품질의 서비스를 받기를 원한다. 이러한 이동 통신에 대한 관심과 수요가 증가함에 따라 사용자들의 요구에 합당한 서비스를 제공하기 위한 연구는 계속 되고 있다.

이러한 통신 기술 중 하나인 애드 혹 네트워크(ad-hoc network)는 기지국 기반이 아닌 모든 노드가 이동이 가능한 환경에서 인접한 노드끼리 직접 통신이 가능하도록 한다. 무선 통신 노드들로 구성된 애드 혹 네트워크는 신속하고 통신망을 구성할 수 있다는 장점이 있으나 노드의 이동성으로 인해 사용자들이 요구하는 서비스를 충족시키기 위해서는 여러 가지 문제점들로 인해 어려움이 있다. 먼저 노드들의 이동성 지원과 보다 높은 서비스 품질의 지원 문제, 그리고 보안등은 무선 랜에서 해결해야하는 문제점이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)에서는 무선 랜 국제 표준으로 IEEE 802.11 MAC(Medium Access Control) 프로토콜[1]을 제정하였다. 무선 랜에서의 성능을 높이지 못하는 가장 큰 이유로 다중 접근과 임의 접근시의 데이터간의 충돌 문제를 들 수 있다. 따라서 무선 랜 환경에서의 MAC 프로토콜은 아주 주요한 요소이다. IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 경쟁 방식의 DCF(Distributed Coordination Function)[1,2]와 비경쟁 방식의 PCF(Point Coordination Function)의 두 가지 방법을 정의하였다. PCF는 폴링 기반의 비경쟁 방식으로 음성 트래픽을 지원하는 방법이고, DCF는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)[1]에 기반 한 경쟁 방식으로 일반적인 트래픽을 지원하는 방법이다. 하지만 PCF는 현재 지원되지 않은 실정이다. 여기서 크게 MAC 프로토콜을 싱글채널(single-channel) 기반과 멀티채널(multi-channel)기반으로 구분하도록 한다.

MAC 프로토콜의 시작은 pure ALOHA 프로토콜이다. 이 프로토콜은 임의의 시

간동안 공유된 하나의 채널을 여러 노드 간 사용하기 위함으로 다중 접속 방법의 시초가 되었다. 그 뒤로 ALOHA의 문제점을 개선해 나가면서 slotted -ALOHA, CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 등 많은 알고리즘들이 연구되고 있다.

무선 통신에서의 충돌은 공유된 자원을 사용하기 위해 경쟁하고 있는 자신과 다른 노드들간에서 일어난다. 각각의 노드는 자기 자신을 제외한 다른 노드들이 언제 트래픽 전송을 시작할지 알 수 없는 임의 접근(random access)이기 때문에 트래픽 전송은 노드들 간에 동시에 일어날 수 있다. IEEE 802.11 표준에서는 충돌을 줄이기 위한 방법으로 충돌이 발생하기 전에 이를 방지하는 CSMA/CA 방식을 사용하고 있다. 이는 한 노드가 트래픽 전송 전에 먼저 채널 상황을 체크하고 채널이 비어있는 상태라면 랜덤 백오프 시간만큼 기다린 후에 다시 채널 상황을 체크한 후 트래픽 전송하는 방법이다. 트래픽 충돌은 트래픽의 재전송을 의미하기 때문에 채널의 효율성을 떨어지게 되고, 충돌이 증가 할수록 보내야하는 트래픽의 수도 증가하기 때문에 충돌은 되풀이된다. 그렇기 때문에 802.11에서의 랜덤 백오프 알고리즘과 같은 채널 협상을 효율적으로 처리방안도 중요한 과제중 하나이다. 무선 랜에서 충돌이 생기는 이유로 크게 숨겨진 노드 문제와 노출된 노드 문제[5,6]를 들 수 있다. 숨겨진 노드 문제와 같은 경우는 서로의 정보를 알지 못해서 충돌이 일어나는 문제점이고, 노출된 노드 문제와 같은 경우는 알지 않아도 될 정보까지 알게 돼서 일어나는 문제점이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 RTS(Ready To Send)와 CTS(Clear To Send)[3,4]를 사용한 MACA(Multiple Access with Collision Avoidance)[7] 프로토콜과 같은 서로의 정보를 공유할 수 있는 제어패킷 기반 알고리즘들이 많이 연구되었다. 하지만 이러한 제어패킷도 패킷의 한 종류이기 때문에 충돌의 문제점을 해결하기엔 불충분하다. 따라서 싱글채널 환경에서의 충돌 문제 해결과 동시에 네트워크 성능을 향상시키기 위한 하나의 방법으로 멀티채널을 사용하는 방법이 제시되었다. 이는 채널 간의 간섭이 없다면 서로 다른 채널을 통해 동시적 트래픽 전송이 가능하기 때문에 동시에 공통된 자원 획득을 위해 경쟁을 한다고 해도 하나의 채널을 사용하는 경우보다 충돌확률을 줄일 수 있다. 평균적인 지연시간이 멀티채널의 사용으로 인해 개선되기 때문에 네트워크 성능 향상을 기대할 수 있다. 대표적으로는 제어패킷을 위한 전용 제어채널을 가지는 DCA(Dynamic Channel Assignment)[10]와 제어패킷과 데이터 패킷을 전송하는 구간을 나눈 M-MAC(Multi-channel MAC)[14]을 들 수 있다.

1.2 연구 목적

본 연구는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜에서의 DCF의 RTS/CTS기법을 바탕으로 한 멀티채널 기반의 다양한 접근 방법에 대한 연구들을 살펴보고, 어느 접근 방법이 어떤 면에서 효율적인지 알아보았다. 무선 랜에서의 인접 AP(Access Point) 간에 서로 다른 채널을 할당함으로써 간섭 현상을 최소화하려고 한다. 멀티채널에서의 주요 논점은 가장 효율적으로 여러 개의 채널 중 패킷 전송 할 수 있는 채널을 선택하는 방법과 그 채널을 선택하기 전 발생할 수 있는 충돌을 해소 방법에 있다. 이러한 채널 효율을 높이는 방법 중 하나인 전용 제어채널을 두는 방식은 제어채널의 효율적 이용방식이 필요하다. 제어채널내의 제어패킷은 트래픽 채널을 협상하는데 있어서 중요한 역할을 하기 때문이다. 멀티채널기반 무선 랜에서는 전용 제어채널을 사용하는 방법의 경우, 데이터 패킷간의 충돌은 없으나 제어채널 내의 제어패킷간의 충돌 발생은 여전히 존재함을 볼 수 있다. 본 논문에서는 채널접근확률함수를 사용하여 제어채널의 효율적인 사용과 함께 제어패킷끼리의 충돌 확률을 최소화시키고, 더불어 우선순위 기반 다양한 QoS(Quality of Service)를 보장할 수 있는 알고리즘을 제시하기로 한다.

1.3 논문 구성

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기본적인 무선 랜 국제 표준인 IEEE 802.11 MAC 프로토콜에 대해 소개한다. 임의 접근 다중 접속 시 일어나는 충돌을 최소화 하는 방법에 대해 알아보고, 무선 랜에서 일어날 수 있는 문제점들을 지적하고, 그 문제점을 해결하기 위한 연구에 대해서 알아본다. 3장에서는 해결하기 위한 연구들 중에 한 가지 방법인 멀티채널 기반 무선 랜에서의 다양한 연구들에 대해서 살펴보기로 한다. 4장에서는 멀티채널 기반 기본적인 패킷 전송 알고리즘에서 우선순위 기반 QoS를 보장할 수 있는 방법을 제시한다. 5장에서는 성능 평가 분석 결과를 기술한다. 마지막 6장에서는 본 연구 결과를 정리하고 향후 연구 계획을 다룬다.

제 2 장 IEEE 802.11 MAC

2.1 IEEE 802.11 개요

IEEE 802.11에서 정의한 무선 랜의 구조는 2가지로 구분할 수 있다. 아래 그림과 같이 하나는 애드 혹 네트워크로 AP가 없이 peer-to-peer형태로 통신하는 방법이 있고, 또 다른 하나는 인프라구조(Infrastructure) 네트워크로 AP와 같은 네트워크 기기를 통해 통신하는 방법이다.

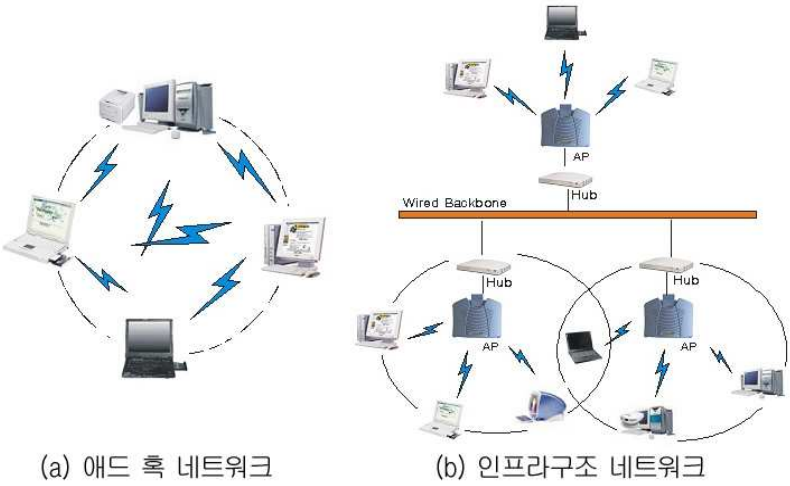

그림 2.1 애드 혹 네트워크와 인프라구조 네트워크

2.1.1 애드 혹 네트워크

애드 혹 모드는 그림 2.1(a)와 같이 노드 간 직접 통신하는 방식으로 인프라구조 모드와 달리 AP가 따로 필요하지 않다. 각 송신 노드는 수신 노드에 데이터를 직접 전송하게 되고, 만약 수신 노드가 통신 영역에 있지 않더라도 멀티홉(multi-hop)으로 통신이 가능하다.

2.1.2 인프라구조 네트워크

기본적으로 인프라구조 모드는 그림 2.1(b)와 같이 AP와 AP의 통신 범위 내에 노드들로 구성된다. 각 노드들은 AP를 통해 통신을 하기 때문에 같은 통신 영역에 있더라도 반드시 AP를 통하여 통신 하여야 한다. 이렇게 구성된 무선 네트워크는 그림 2.1(b)와 같이 외부 유선 랜과 연결될 필요가 있다. 그렇기 때문에 유선 단절, AP의 고장 등으로 인해 통신을 할 수 없는 단점이 있다.

2.2 MAC 구조

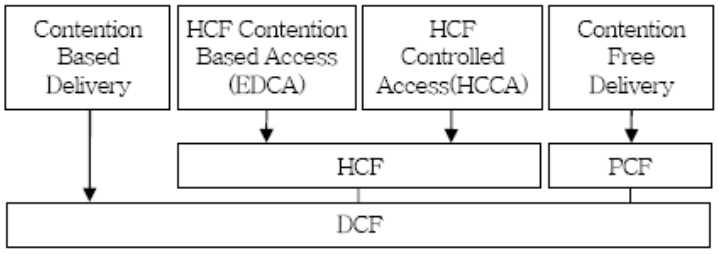

그림 2.2 MAC 부계층 구조

IEEE에서 승인한 무선 랜 국제 표준인 IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 2진 지수 백오프 (binary exponential backoff)를 사용한 경쟁 방식의 CSMA /CA을 이용하는 DCF와 비경쟁 방식의 폴링 기반 PCF를 통해 매체에 접근한다. DCF와 PCF는 노드가 전송해도 되는 시점을 결정하게 된다. 그림 2.2에서는 MAC 구조를 나타낸다. DCF는 애드 혹 모드와 인프라구조 모드에서 사용 가능하지만, PCF의 경우는 AP에서 전송을 직접 제어하기 때문에 인프라구조 모드에서만 사용 가능하다. 그림 2.2에서 보는 바와 같이 PCF는 기본적으로 DCF를 사용한다. 본 연구에서는 애드 혹 네트워크에서의 DCF만을 고려하기로 한다.

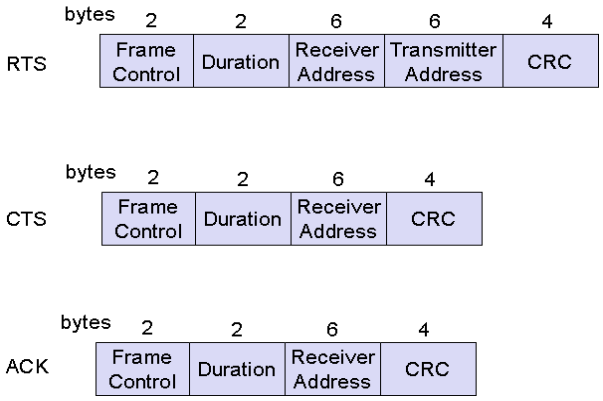

그림 2.3 RTS/CTS, ACK 프레임 구조

- Frame Control : 프레임의 타입(관리, 제어, 데이터), MAC 주소 해석 등 명시
- Duration : 매체가 점유되는(μs로) 시간의 주기, 얼마나 자원을 사용할 것인지에 대한 정보 명시
- Receiver Address : 이 패킷을 받는 노드의 주소
- Transmitter Address : 이 패킷을 보내는 노드의 주소
- CRC(Cyclic Redundancy Check) : 프레임 중복 여부를 판단

IEEE 802.11 프레임의 기본적인 구조는 그림 2.3과 같다. IEEE 802.11 프레임의 Duration 필드를 통해 다른 노드에게 해당 프레임의 전송에 관련된 정보를 알려줌과 동시에 RTS/CTS를 실제 트래픽 전송 전에 보내어, 채널을 예약하는 것이다. 채널의 상태를 체크하기 위해 사용 되는 방법은 물리감지기법과 가상감지기법이 있다. 물리 감지 기법의 경우 파워 세기를 판단하여 이루어진다. 가상 감지 기법은 NAV(Network Allocation Vector)을 사용하여 이루어진다. 실제 트래픽 전송이 이루어 지기 전 RTS/CTS를 보내야 하는데, 그 RTS/CTS 안의 Duration 필드를 참고하여 통신에 참여하지 않은 노드들은 자기 자신의 NAV값을 설정하게 된다. 이러한 NAV가 설정되면 경쟁에 참여할 수 없고 대기 상태가 된다. NAV는 0이 될 때까지 동작하고, 0이 되면 각 노드들은 다시 트래픽을 보낼 경쟁구조에 들어가게 된다. 이웃 노드들이 NAV에 설정되는 동안 송·수신 노드는 ACK(ACKnowledge-ment)를 주고 받게 된다. 송신 노드 측에서 정해진 ACK 타임아웃 동안 받지 못하면, 재전송 절차를 걸친다.

2.3 싱글채널 기반 802.11 MAC에서의 패킷 전송 방식

2.3.1 DCF

DCF는 IEEE 802.11의 표준 MAC 프로토콜로서 기본적인 접근 방법과 RTS/CTS를 이용한 방법으로 정의된다. DCF는 AP와 같은 어떠한 내부 기반 요소들도 필요로 하지 않는 애드 혹 네트워크를 지원하게 되어 있다. DCF에서는 먼저 패킷을 보내고자 하는 송신노드가 채널의 상태를 파악한다. 만약 채널이 사용 중이지 않다면 또 다시 DIFS(DCF Inter-Frame Space)만큼 기다리게 된다. DIFS 후 송신노드는 랜덤 백오프 값을 정하고 그 값을 채널이 비어있는 상태에서만 슬롯 단위대로 감소시켜 먼저 0이 되는 송신노드부터 패킷전송을 시작하게 된다. 이러한 랜덤 백오프 값을 사용하는 이유는 경쟁에 참여하는 다수의 노드들이 채널을 획득하는 과정에서 동시에 접근할 확률을 최소화하기 위함이다. 기본적인 채널 접속 방법은 그림 2.4와 같다.

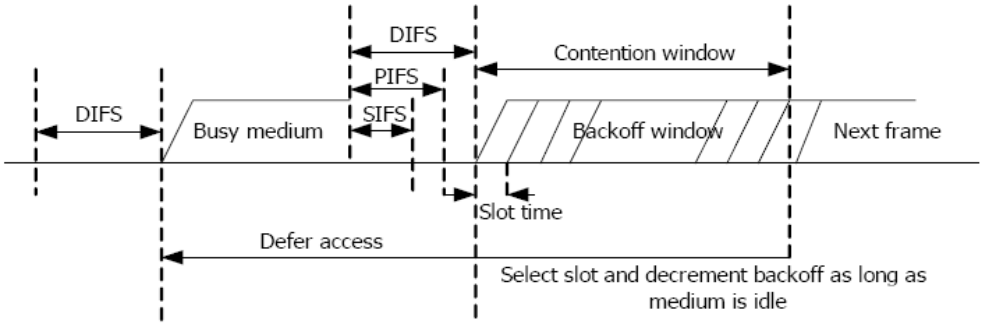

그림 2.4 기본적인 채널 접속 방법

각 전송에 있어 백오프 시간은 [0,CW(Contention Window)-1] 범위 내에서 일정하게 선택된다. 경쟁윈도우(Contention Window)를 사용하여 채널 접속하는 방법은 그림 2.5와 같다. 경쟁 윈도우는 CWmin과 CWmax 사이의 정수 값이다. 경쟁 윈도우는 채널 획득 경쟁에 참여한 노드들을 위함으로, 노드는 패킷 전송 후 충돌이 일어날 경우 윈도우 크기를 두 배로 증가시키고 다시 경쟁에 참여한다. 전송이 성공 시에는 윈도우 크기를 최소 경쟁 윈도우 크기(CWmin)로 설정한다. 만약 수신 노

드가 성공적으로 패킷을 받으면 SIFS(Short Inter-Frame Space) 후 ACK 메시지를 보내게 된다. 이는 수신노드에 패킷이 잘 전달되었다는 것을 의미하게 된다. 타임아웃동안 ACK 메시지를 받지 못하면 재전송을 시도해야하기 때문에 ACK 메시지는 데이터보다 충돌로부터 보호 받아야 한다. 패킷 전송이 시작되면 패킷전송을 한 송신노드를 제외한 다른 노드들은 패킷이 전송되고 있다는 사실을 알게 되고 그 동안 자신의 NAV를 생성, 유지시킴으로서 NAV 값이 0이 되기 전까지 해당 시간동안에는 채널 획득을 위해 경쟁을 하지 않는다. 그 노드들 중에 만약 백오프 중이였다면 감소 중이던 백오프 값을 중지시키게 된다. 채널의 비어있는 상태를 감지함과 동시에 경쟁에 참여할 노드들은 DIFS만큼 기다려야 하지만, ACK를 보낼 수신노드는 SIFS만큼 기다리고 바로 보내기 때문에 그만큼 충돌을 회피할 수 있다.

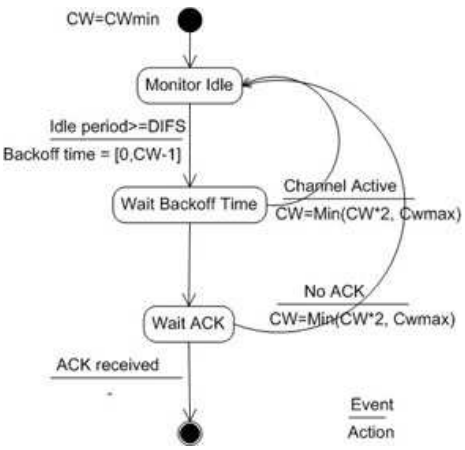

그림 2.5 백오프 작동 방법

- IFS(Inter-Frame Space)

매체 접근에 대한 우선순위를 위해서 IFS을 사용한다. 각 프레임간의 시간간격을 IFS라고 한다. 각 노드는 반송파 감지 방법을 사용하여 표준에서 정의한 각기 다른 IFS동안 채널이 사용 되는지를 판단한다. IEEE 802.11 표준에서는 아래와 같이 4가지 IFS를 정의하고 있고 IFS에 의해 자원을 점유하는 우선권이 결정된다.

ⅰ) SIFS(Short IFS) : CTS, ACK메시지 전송시에 사용, 가장 짧은 IFS로 가장 우선순위가 높다.
ⅱ) PIFS(PCF IFS) : PCF 프레임 전송시 사용.
ⅲ) DIFS(DCF IFS) : RTS/DATA 전송시 사용. 가장 일반적인 프레임 간격이다. 노드들은 NAV가 0으로 설정되면 DIFS 만큼 기다린 후에 통신을 시작할 수 있다.
ⅳ) EIFS(Extended IFS) : 프레임 전송 오류시에만 사용. 이는 DCF상에서 PHY계층이 MAC 계층에 프레임이 정확하게 도착하지 않았다고 알려올 때 사용된다. 이는 전송을 다시 시작하기 전에 다른 스테이션이 이런 상황을 인지할 충분한 시간이 되도록 정의되어있다. 실제 충돌이 발생했을 경우 EIFS 시간만큼 기다린 후에 DCF에 따른 매체 접근 시도를 할 수 있다.

각각의 IFS는 각 물리 매체에 따라 고정되어있다. 각 IFS 관계는 그림 2.4와 같다. CTS/ACK 메시지는 다른 노드들로부터 방해를 받으면 안 된다. 그 때문에 가장 짧은 IFS를 사용하여 우선 순위를 높인다. 지속시간으로 보면 DIFS > PIFS > SIFS 순이다.

2.3.2 CSMA/CA

CSMA/CA는 무선 환경에서 널리 응용되어 사용되고 있다. CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection)은 채널의 상태를 체크하여 사용 중이지 않으면 바로 전송한다. 그때 충돌이 발생 된다면 전송을 중지하고 임의 시간 대기 후 재전송 하게 된다. 하지만 무선 환경에서는 충돌 감지가 불가능하기 때문에 충돌을 발생하기 전에 방지하는 알고리즘인 CSMA/CA을 특히 IEEE 802.11 표준을 지원하는 무선 랜의 DCF에서 이용한다. CSMA/CA는 다음과 같은 동작 원리를 가진다.

1. 보내야 할 트래픽이 있는 노드는 트래픽 전송 전 채널 상태를 체크한다.
2. 채널이 사용 중이지 않다면, 트래픽 전송을 시작한다.
3. 채널이 사용 중이라면, 지수적 백오프 알고리즘에 의해 임의 시간만큼 기다린 후에 다시 채널의 사용 유무를 조사한다.

(ⅰ) 임의 시간동안 노드는 주어진 값을 감소시키고 0이 되면 채널 상태를 체크하여 여전히 비어있다면 트래픽을 전송한다.

(ⅱ) 랜덤 시간만큼 기다린 후 여전히 채널이 사용 중 이라면, 다시 지수적 백오프 알고리즘을 적용하여 대기 상태로 들어간다.

4. 트래픽 전송 완료 후 수신 노드는 ACK 메시지를 보낸다.

(ⅰ) ACK를 받지 못하면 재전송을 시도한다.

(ⅱ) ACK를 받으면 전송 완료.

- 동시에 채널 비어 있는 상태를 감지하면 충돌 발생. 충돌을 감지하게 되면 충돌 알림용 짧은 신호를 모든 노드에게 보내고 트래픽 전송은 중단하게 된다. 그리고 다시 지수적 백오프 알고리즘에 의해 트래픽 전송할 준비를 한다.

▪ ***CSMA* 종류**

(1) non-persistent CSMA

단계1. 채널이 비어있다면 트래픽을 전송한다.

단계2. 채널이 사용 중이라면 정해진 확률 분포에 따라 정해진 시간만큼 기다린 후 다시 채널 상태를 체크한다.

(2) 1-persistent CSMA

단계1. 채널이 비어있다면 트래픽을 전송한다.

단계2. 채널이 사용 중이라면 채널 사용이 끝날 때까지 계속 관찰하고 있다가 전송이 끝남과 동시에 트래픽을 전송한다. 2개 이상의 노드가 동시에 채널의 상태를 체크하고 있다면 반드시 충돌이 일어나게 된다.

(3) p-persistent CSMA

단계1. 채널이 비어있다면 확률 p로 트래픽을 전송 하거나 $(1-p)$확률로 한 단위 시간 지연시킨다. 단위 시간은 보통 최대 전파지연으로 설정된다.

단계2. 채널이 사용 중이라면 채널 사용이 끝날 때까지 계속 관찰하고 있다가 채널이 비어있는 상태가 되면 단계1을 반복한다.

단계3.한 단위시간 동안 전송이 지연되면 단계1을 반복한다.

non-persistent 방식과 p-persistent 방식은 보낼 트래픽이 존재함에도 불구하고 채널이 비어있는 상태로 있을 경우가 생기기 때문에 비효율적이다. 1-persistent 방식은 채널을 계속해서 관찰하고 있어야 하기 때문에 오버헤드가 상대적으로 크다. p-persistent 방식의 경우 노드 수를 고려해 p를 결정해야 하기 때문에 노드의 수가 많이 질수록 비효율적이다. CSMA는 노드 수를 고려해서 p를 정해야 되기 때문에 노드수 * p가 1을 넘어서는 안된다.

만약, 지연에 대한 손해를 최소화하고 공평하게 하기 위한 랜덤 백오프 알고리즘의 효율적인 설정에 대한 연구도 진행 중이다. 더불어 충돌 발생 확률의 최소화 방안도 함께 연구되어지고 있다. IEEE 802.11에서는 숨겨진 노드 문제를 해결하기 위해 CSMA/CA에 RTS/CTS와 함께 NAV라고 하는 논리적 가상 방법을 사용한다. IEEE 802.11 MAC에서 일어나는 문제점과 해결 방법은 2.4 절에서 살펴보기로 하다.

2.3.3 PCF

PCF는 802.11 MAC에서 실시간 서비스를 지원하기 위해 무선 매체에 접근하는 방법으로 이용된다. PCF는 비경쟁기반으로 포인트 조정기(Point Coordinator)가 AP내에 존재하기 때문에 인프라구조 네트워크에서만 이용된다. 우선순위 기반인 PCF는 음성이나 영상처럼 지연에 민감한 서비스를 제공하며 중앙 채널 접근 제어이다. PCF는 제한된 QoS를 제공할 수 있다. 그림 2.2와 같이 PCF는 논리적으로 DCF 상위에 올라가서, 폴링을 수행한다. 채널을 사용할 노드를 결정하여 채널 사용 권한을 주어주고 이런 권한을 받은 노드는 채널 경쟁 없이 트래픽을 전송할 수 있다. 전송이 시작되면 AP를 통해 비콘(beacon) 메시지가 전달되고 다른 노드들의 채널 사용이 금지된다. 그림 2.4에서 보는 것과 같이 PIFS를 사용하는 프레임은 DCF 프레임보다 우선순위가 높다.

2.4 싱글채널 기반의 무선 랜에서의 성능 저하 원인 분석

무선통신에서는 무선이 갖는 고유한 특성 때문에 최적의 성능을 갖기 어렵다. 이러한 이동 통신 네트워크의 성능을 향상시키기 위해서 다양한 연구들이 진행되었다. 무선망에서의 성능을 높이지 못하는 가장 큰 이유로 채널 접근시의 데이터간의 충돌 문제를 들 수 있는데, 이러한 충돌 문제는 언제 어디서 공통된 자원에 접근하는 정보를 알지 못하기 때문에 숨겨진 노드 문제와 노출된 노드 문제가 발생한다. 이러한 문제점들에 대해 알아보고, 문제점을 해결하기 위해 연구된 방법들을 알아보기로 한다.

2.4.1 숨겨진 노드 문제

기본적인 CSMA 트래픽 전송 방법을 사용하여 전송을 할 경우 발생할 수 있는 숨겨진 노드 문제와 같은 경우는 그림 2.6과 같다.

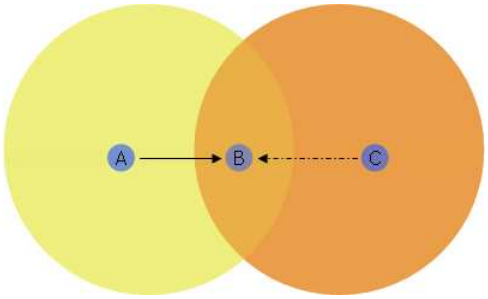

그림 2.6 숨겨진 노드 문제

예를 들어 노드 A와 노드 B는 트래픽 전송중이라고 하자. 이때, 노드 C는 노드 B에게 패킷 전송을 원한다. 전송할 패킷을 가진 노드 C는 자신의 전송 감지 범위 안에서 채널의 사용유무를 체크하게 된다. 노드 A와 노드 C는 서로의 전송 범위 안에 있지 않기 때문에 노드 C는 노드 A와 노드 B의 전송을 알지 못하고, 채널이 비어있다고 판단, 노드 B에게 트래픽 전송 시도를 하게 된다. 이는 매체 감지가 실패한 경우다. 이 때문에 노드 B에선 노드 A와 노드 C로부터 오는 패킷 간 충돌이 발생하게 된다. 하지만 노드 A는 충돌이 발생했는지를 모른 채 계속 전송을 하게

된다. 이는 충돌 감지가 실패한 경우이다.

숨겨진 노드로 인해 패킷 간 충돌이 발생되기 때문에 자원 낭비와 전송 지연이 발생하게 된다. 이것은 경쟁을 시작한 시점에서만 매체 감지가 이루어지게 되고 실제로 충돌이 발생되는 수신 노드의 주변 상황에 대한 정보가 없기 때문에 충돌 감지도 못하여, 계속 패킷을 전송하는 문제점도 발생하게 된다. 충돌과 그로 인한 재전송 때문에 네트워크 성능은 저하된다.

이러한 정보 부족으로 인한 문제점을 해결하기 위해 여러 가지 해결책들이 연구되었다. 가장 먼저 나온 해결책으로는 BT(Busy tone)를 사용하는 BTMA(Busy Tone Multiple Access)[5]이 있다. 이는 채널을 두 개로 나누어 하나는 데이터 전송을 위해, 하나는 전송상태 통지를 위해 사용된다. 두 개의 채널은 각각 데이터채널과 제어채널이다. 기지국에서 이 두 채널을 통제한다. 먼저 기지국에서는 데이터 채널 상태를 체크하여 전송이 시작될 경우 제어채널에 BT을 전송한다. 그럼으로써 다른 노드들이 채널을 사용하지 못하게 한다. 하지만 여기서도 문제가 발생된다. 노드들은 전송할 데이터가 있으면 바로 전송을 시도하는데 전송할 데이터가 있는 노드가 많아질수록 충돌이 발생되기 때문에 성능저하를 야기한다. 그리고 기지국기반으로 구성되어 있기 때문에 애드 혹 네트워크 환경에서는 적용되기 힘들다.

그래서 연구된 대표적인 알고리즘은 RTS/CTS를 사용하는 MACA[7]이다. MACA 알고리즘 이후로 발전된 MACAW[8], MACA-P[9] 알고리즘들이 연구 되었다. MACA 알고리즘은 RTS/CTS 교환을 통해 송신 노드뿐만 아니라 수신 노드의 이웃노드들에게도 현재 수신 노드가 패킷 전송 중에 있음을 알리게 된다.

RTS/CTS를 이용한 방식은 노드가 트래픽 전송 전에 보낼 준비가 되었다는 의미의 트래픽의 길이보다 작은 RTS라는 작은 프레임을 먼저 보내고, 수신노드에선 RTS를 무사히 받았을 시 받을 준비가 되었다는 의미의 CTS를 보낸다. RTS/CTS 메시지에는 전송하려는 트래픽 정보와 함께 채널 사용 시간 정보가 포함되어 있다. 이 채널 사용 시간 정보를 통해 송·수신노드의 이웃 노드들은 이를 통해 전송 중인 노드가 있음을 인지하게 되고, Duration필드에 있는 정보를 이용해 해당 NAV를 갱신하게 된다. NAV가 0이 될 때까지 채널 획득 경쟁에 참여할 수 없기 때문에 RTS/CTS 메시지는 채널 예약적 의미를 갖음과 동시에 CTS/ACK메시지 전송 시에는 SIFS를 사용하여 가장 높은 우선순위를 두어 전송 시도를 하게 되므로 충돌을 감소시키고, 충돌이 나더라도 본래의 트래픽보다 크기가 작은 패킷이기 때문에 충돌로 인한 손해 또한 감소할 수 있다는 장점이 있다.

멀티 홉에서는 숨겨진 노드 문제와 노출된 노드 문제는 MAC 효율성에 큰 영향을 준다. 초기에 RTS/CTS 제어패킷 교환을 사용하는 가상 반송파 감지 기법을 통해 숨겨진 노드로 인한 충돌 기회를 상당히 줄일 수 있다.

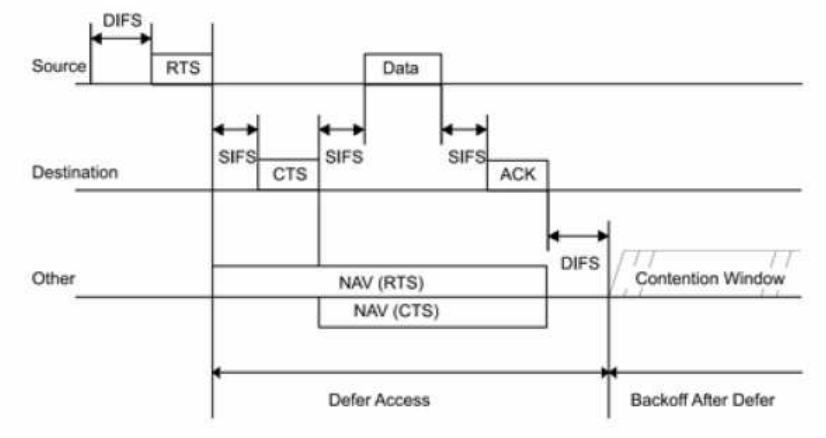

그림 2.7 IEEE 802.11 DCF with RTS/CTS

2.4.2 노출된 노드 문제

무선망의 성능 효율을 떨어뜨리는 문제점 중 하나인 노출된 노드 문제는 숨겨진 노드 문제와 반대되는 상황이다. 숨겨진 노드 문제가 서로에 대한 정보 부족으로 생긴 문제라고 하면, 노출된 노드 문제는 넘치는 서로에 대한 정보로 인해 네트워크 성능을 감소시키는 경우이다.

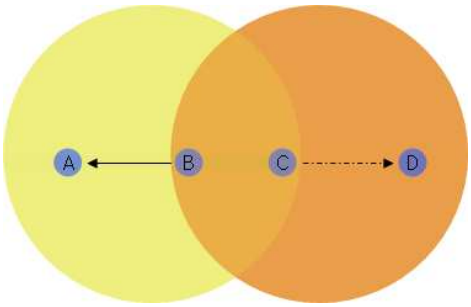

그림 2.8 노출된 노드 문제

그림 2.8을 예로 들어 노드 B가 노드 A에게 패킷 전송 중이라고 하자. 여기서, 노드 C는 노드 D에게 전송할 패킷이 있다. 노드 B가 노드 A로 패킷 전송 중이기 때문에 노드 C는 채널 감지 시 채널은 사용 중으로 나오게 된다. 이 때문에 노드 C는 채널이 빌 때까지 기다리게 된다. 하지만 사실은 패킷을 받게 되는 노드 D와 노드 A는 서로가 전송 감지 범위를 벗어나기 때문에 동시에 전송을 하게 되더라도, 충돌이 일어나지 않기 때문에 노드 C는 전송하기 위해 기다릴 필요가 없다. 하지만 노드 C와 노드 B는 서로의 감지 범위에 있기 때문에 이런 노드 C를 보고 노드 B에 노출 됐다고 한다.

이러한 노출된 노드 문제는 앞서 설명한 숨겨진 노드 문제를 해결했던 RTS/CTS 사용만으로도 해결하지 못한다. 이는 노드A와 노드B 사이의 RTS/CTS를 노드 C가 받아서 자신의 NAV를 설정하기 때문이다. NAV를 설정하게 되면 0이 될 때까지 채널 경쟁에 참여 할 수 없기 때문에 여전히 노드 C는 패킷 전송을 위해 기다려야 한다. 이러한 노출된 노드 문제 해결을 위해서 MACA-P[9] (Medium Access via Collision Avoidance with Enhanced Parallelism) 방법이 연구되었다.

만약 그림 2.9과 같이 노드A-노드B와 노드C-노드D의 구간이 겹치는 경우 RTS/CTS 전송하는 구간과 DATA/ACK 전송 구간을 나누어 동기화를 통해 동시에 데이터 전송을 지원한다. T_{data}구간이 끝나면 데이터를 전송하고, T_{ack}구간이 끝나면 ACK를 동시에 전송하게 한다.

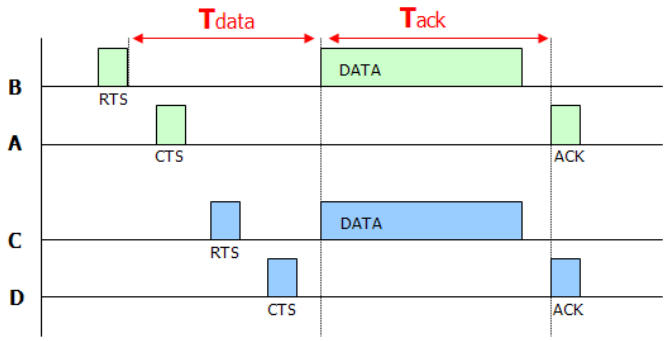

그림 2.9 MACA-P 알고리즘

$T_{data,}$ T_{ack}의 시간 정보는 수정된 RTS/CTS에 포함되어있다. MACA-P 알고리즘 외에도 노출된 노드 문제를 해결하고, 무선 네트워크 성능을 향상시키기 위해 멀티채널을 이용하는 여러 방법들이 제시되었다. 이는 채널을 여러 개로 나누어 사용한다. 예를 들면, 제어패킷 전송용 채널과 데이터 전송용 채널을 각각 두어 각 노드는 제어채널을 통해 데이터 채널을 예약한 후 선택한 데이터 채널을 통해 데이터를 전송하는 방법이다. 상대적으로 제어패킷 크기가 작기 때문에 채널 대역폭을 데이터채널보다 작게 설정한다. 채널을 분리 했을 뿐, 기존의 RTS/CTS를 이용한 알고리즘과 비슷하다. 이는 이동성 있는 노드들의 채널 협상에도 크게 성능 향상을 기여한다. 멀티채널을 이용한 다양한 방법들은 다음 장에서 살펴보기로 하자.

서로에 대한 정보 부족과 과다로 인해 생긴 숨겨진 노드와 노출된 노드 문제점들 때문에 패킷 간 충돌이나 불필요한 기다림 때문에 자원 낭비와 전송 지연이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 RTS/CTS를 이용한 MACA 알고리즘과 노출된 노드 문제 해결을 위해 시간 동기화를 통한 MACA-P 알고리즘과 같은 싱글채널 기반 MAC 프로토콜들이 연구되었다. MACA 기반 알고리즘은 기존의 CSMA 기반 알고리즘에 비해 숨겨진 노드가 많을수록 성능이 좋지만, 트래픽 부하가 높을수록 제어패킷간의 충돌 가능성도 커지게 된다. 이는 재전송을 일으킨다.

하지만 여전히 충돌 가능성은 가지고 있기 때문에 네트워크 성능을 높이기 위해 멀티채널기반 MAC 프로토콜을 사용하여 인접한 노드들에게 서로 다른 채널을 할당함으로써 간섭 현상을 줄여 충돌 가능성을 최소화하기로 한다.

제 3 장 멀티채널 기반의 기존 방식 분석

본 장에서는 멀티채널 기반으로 네트워크 성능을 향상시키기 위해 연구된 다양한 방법[18][19][20]들을 논하고자 한다. 멀티채널을 사용 하는데 있어 가장 중요한 문제는 여러 개의 채널 중에 트래픽 전송을 위한 채널을 선택하는 것이다. 이러한 트래픽 전송용 채널을 협상하는 방법들 중 크게 대표적인 멀티채널 기반 알고리즘으로는 제어채널을 따로 두어 그 채널 내에서 트래픽 채널을 선택하는 Dedicated Control Channel 방식과 시간을 나누어 트래픽 전송할 채널을 협상하는 Common Control Period 방식이 있다. 또한 이러한 두 방식의 장점만을 적용한 방법들도 연구되어지고 있다.

3.1 멀티채널 환경의 특성

네트워크 성능을 향상시키기 위한 하나의 방법으로 멀티채널을 사용하는 방법이 제시 되었다. 인프라구조 네트워크에선 기본적으로 노드간의 통신을 위해 싱글 채널을 사용하지만, 애드 혹 네트워크에서는 멀티채널 사용을 지원하고 있다. 이것은 무선 랜에서 인접 노드 간에 서로 다른 채널을 할당함으로써 간섭 현상을 최소화하여 효율을 높인다. 멀티채널의 사용으로 인해 채널 간의 간섭이 없다면 서로 다른 채널을 통해 동시적 트래픽 전송이 가능하기 때문에 평균적인 지연 시간이 감소하고, 처리율은 증가하여 네트워크 성능 향상을 기대할 수 있다.

3.2 멀티채널 환경에서의 문제점

IEEE 802.11 DCF방식을 멀티채널에 적용하여 사용 될 경우, 싱글 채널 기반으로 설계된 MAC 프로토콜이기 때문에 문제점이 발생된다. 그러한 문제점 중에 하나인 멀티채널에서의 숨겨진 노드 문제에 대해 살펴보자.

3.2.1 멀티채널에서의 숨겨진 노드 문제

멀티채널을 사용함으로써 그 채널에 속해 있는 노드들은 서로간의 정보를 공유하게 되어 싱글채널 기반에서 일어났던 숨겨진 노드 문제나 노출된 노드 문제는 해결할 수 있었다. 싱글 채널에서 사용하는 패킷 전송 알고리즘을 멀티채널 MAC에서 사용할 경우에도 숨겨진 노드 문제가 발생된다. 이 문제는 어떠한 상황에 일어날 수 있는 지를 알아보기로 한다.

이는 하나의 인터페이스로 멀티채널을 사용한다고 가정한다. 멀티채널을 사용하기 위해 각 노드는 트래픽 전송 시 사용할 채널을 변경 할 수 있다. 그리고 멀티채널 중 하나의 채널은 RTS/CTS 교환을 위한 고정된 제어채널이라고 하자. 전송중이지 않는 노드들의 경우엔 고정된 제어채널을 듣고 있고, 전송중인 노드들 경우엔 각자 선택한 채널로 채널 변경하여 트래픽을 주고받는다. 전송할 트래픽을 가지고 있는 노드는 RTS을 보낼 시엔 고정된 제어채널을 통해 전송하게 된다.

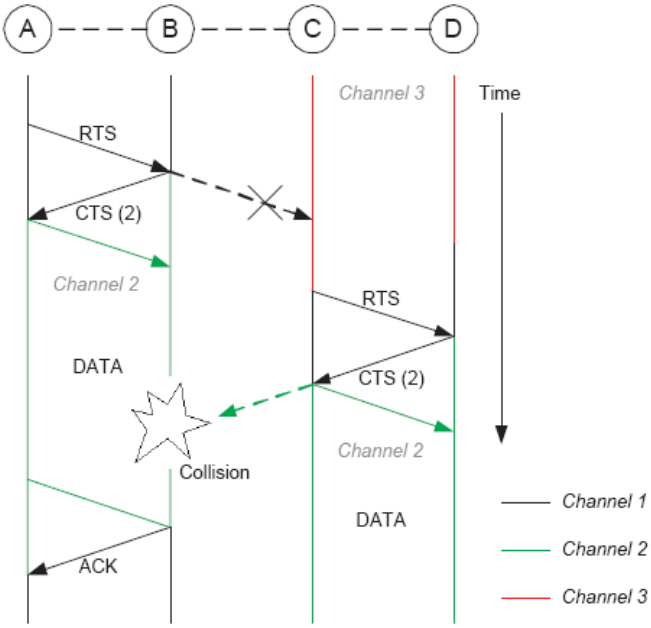

그림 3.1 멀티채널에서의 숨겨진 노드 문제

위의 그림 3.1과 상황을 가정해 보자. 노드는 총 4개가 있다. 이미 노드 C와 노드 D는 채널 3을 통해 데이터 전송 중에 있고, 그 때 노드 A가 노드 B에게 전송할 데이터가 있다면, 노드 A는 채널 1 (여기서 채널1은 제어채널이다)을 통해 RTS를 보낸다. RTS의 수신노드 주소에 속하는 노드 B 또한 채널 1을 듣고 있었기 때문에 트래픽 전송 채널로 채널2를 선택 한 후, CTS로 응답한다. RTS/CTS 교환을 통해 노드 A와 B는 선택한 채널 2로 채널 변경 후에 데이터를 주고받는다. 그러나 노드 C는 그때 채널3을 사용하고 있기 때문에 채널2를 통해 노드 A와 B가 통신 중 에 있다는 사실을 모르고 있다. 또한 그때 노드 D와의 데이터 전송이 끝난다. 데이터 전송이 끝나면, 다시 노드 C와 노드 D는 채널 1로 채널 변경을 한다. 다시 노드 C는 노드 D에게 전송할 데이터가 있어서, 채널 1을 통해 노드 A와 노드 B가 트래픽을 전송하는 동안에 노드 D에게 RTS를 보낸다. 현재 전송에 참여하지 않은 노드 D 또한 채널 1을 통해 데이터를 전송할 채널로 채널 2을 선택하여 CTS에 포함하여 보낸다. 채널1을 통해 RTS/CTS를 교환한 노드 C와 노드 D 또한 채널2로 채널 변경하여 데이터 전송을 하게 된다. 이때 먼저 데이터 전송 중이던 노드 A-노드 B의 데이터와 충돌이 발생된다. 이러한 문제가 바로 멀티채널에서의 숨겨진 노드로 인해 생긴 것이다. 이는 이웃 노드가 서로 다른 채널을 사용할 수 있기 때문에 상대 노드의 채널 사용의 정보를 모르는 데 있어 생기는 문제이다. 이러한 문제는 2개의 인터페이스를 사용하여 하나의 인터페이스로는 트래픽 전송 정보를 서로 공유할 수 있게 공통된 제어채널을 모든 노드가 듣고 있고, 다른 하나의 인터페이스로 데이터 채널을 변경해 가면서 데이터를 보내는 방법과, 서로 채널 협상하는 시간을 동기화 시켜 서로간의 트래픽 전송 정보를 공유함으로써 해결할 수 있다.

3.3 Dedicated Control Channel

Dedicated Control Channel 같은 경우는 여러 개의 채널 중 제어패킷을 주고받을 수 있는 제어채널을 따로 두는 것이다. 그 제어채널을 통해 데이터 전송 시 사용될 채널을 선택한다. 이 방식의 경우 시간을 동기화 시킬 필요가 없고, 데이터끼리의 충돌은 발생하지 않는다. 하지만 제어채널에서 제어패킷을 통해 선택할 수 있는 트래픽 채널의 수가 적으면 채널의 사용률이 낮아지게 되고, 많으면 제어채널 포화

상태를 초래하게 된다. 그리고 여전히 제어채널 내에서의 제어패킷끼리의 충돌은 발생할 가능성은 있다. 그렇기 때문에 그러한 충돌을 최소화 하는 방안을 연구하는 것이 중요하다. 대표적으로 DCA, MCMAC (Multi-Control Channels Medium Access Control)[11], DUCHA(Dual Channel MAC protocol)[12], AMNP (Ad-hoc Multichannel Negotiation Protocol)[13], MAP(Multichannel Access Protocol)[16] 등이 있다.

3.3.1 DCA

DCA는 2개의 인터페이스 사용하여 멀티채널에서 일어날 수 있는 문제점을 해결하고자 한다. 먼저 고정된 제어채널을 위한 인터페이스로, 트래픽 채널을 결정하기 위함이다. 모든 노드들은 이 인터페이스를 통해 제어채널을 듣고 있어 서로간의 전송 정보를 공유하게 된다. 다른 하나의 인터페이스는 제어채널을 통해 선택한 트래픽 채널로 변경하여 트래픽 전송을 하기 위함이다.

DCA에서 각 노드들은 CUL(Channel Usage List)와 FCL(Free Channel List)를 가지고 있다.

· CUL : 각 채널(CUL[i].*ch*)을 어느 노드(CUL[i].*host*)가 얼마나 사용하는가(CUL[i].*rel_time*)에 대한 정보를 담고 있다.
· FCL : CUL을 바탕으로 사용 가능한 트래픽채널 정보.

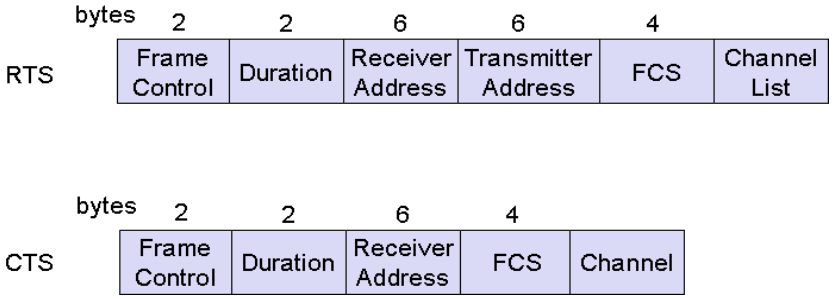

그림 3.2 수정된 RTS/CTS

- RTS(FCL, L_d) : L_d는 데이터의 길이.
- CTS(D_j, NAV_{CTS}): D_j는 선택된 데이터채널.
- RES(D_j, NAV_{RES}): 브로드캐스트. 송신노드는 이 메시지를 통해 자신의 이웃노드의 CUL 정보를 업데이트 하게 한다.

DCA의 동작 방법은 그림 3.3과 같이 동작한다. DCA에서 수정된 RTS/CTS의 프레임 구조는 그림 3.2와 같다. 먼저 패킷을 보낼 송신 노드는 자신의 FCL 정보를 RTS에 담아 전송한다. 송신노드의 FCL은 송신노드에서 사용 가능한 트래픽 채널 목록이다. 이러한 RTS를 받은 수신노드는 자신이 가지고 있는 CUL과 RTS 속의 FCL을 비교한다. 비교 후 사용 가능한 트래픽 채널이 여러개 있다면 수신노드에서 임의 선택하여 그 트래픽 채널 정보를 CTS에 담아 보낸다. CTS를 받은 송신노드는 CTS에 포함된 채널정보를 통하여 트래픽채널을 결정한다. 송신노드는 결정된 트래픽 채널 정보를 포함한 RES(Reservation) 메시지를 보내, 송신노드의 전송범위에 있는 모든 이웃노드가 이 메시지를 통하여 자신의 CUL을 업데이트하도록 한다. 이는 수신노드의 전송 범위에 속하지 않은 송신 노드의 이웃노드가 같은 채널을 사용하여 충돌 발생 되는 것을 방지하기 위함이다. 수신노드의 이웃노들도 마찬가지로 CTS 메시지로 인해 자신들의 CUL정보를 업데이트를 하여 충돌 발생을 줄인다. RES를 무사히 보낸 송신 노드는 SIFS 시간 후에 데이터를 전송하게 된다.

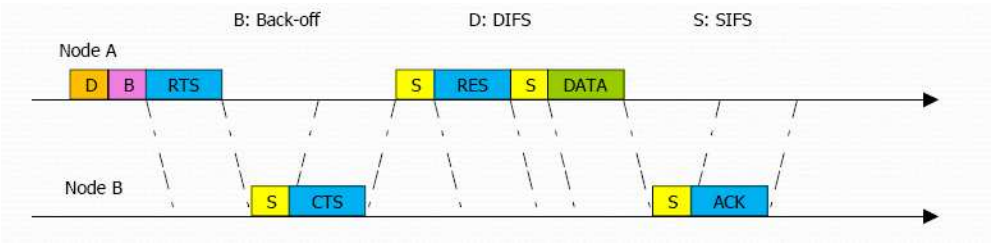

그림 3.3 DCA 동작 원리

이처럼 DCA에서는 고정된 제어채널을 두어 송·수신노드의 모든 이웃 노드들이 그 채널을 통해서 받은 CTS/RES로 인해 전송 정보를 받을 수 있게 하여 앞서 설

명한 멀티채널환경에서 발생되는 숨겨진 노드 문제를 해결 한다.

3.3.2 MCMAC

MCMAC 알고리즘은 최적화된 DCA알고리즘이라고 볼 수 있다. MCMAC은 DCA에서 일어 날 수 있는 제어채널의 포화 상태 문제를 해결하고자 한다. 여기서 2개의 제어채널과 다수의 데이터 채널이 있다고 가정하자. 2가지 제어채널은 아래와 같다.

· 2가지 제어채널
- DeCCh : 기본적인 제어채널
- ACCh : 기본적인 제어채널와 교대할 채널

처음에, 모든 노드들은 같은 DeCCh을 사용해야만 한다. 전송할 데이터가 있는 수신 노드는 제일 먼저 사용 가능한 데이터 채널이 적어도 하나 있는지를 체크한다. 만약 사용 가능한 트래픽 채널이 있다면 DeCCh 채널의 상태를 체크한다. 만약 DeCCh 채널이 사용 가능하고, NAV 모드가 아니라면 DIFS 후 기본적인 데이터 전송 알고리즘을 사용하여 데이터를 보낸다. 만약, NAV 모드이거나 Decch 채널 사용이 가능하지 않다면 ACCh채널로 제어채널 변경을 하여 전송하기로 한다.

3.3.3 AMNP

AMNP알고리즘에서는 멀티채널용 RTS/CTS인 MRTS/MCTS를 사용한다. 이것은 그림 2.3의 기본적인 RTS/CTS에 멀티채널 구현을 위해 CUI(Channel Usage Indication)과 SC(Selected Channel)이 추가되었다. MRTS/MCTS 프레임 구조는 그림 3.4와 같다. CUI를 통해 사용 가능한 트래픽채널을 알 수 있다.

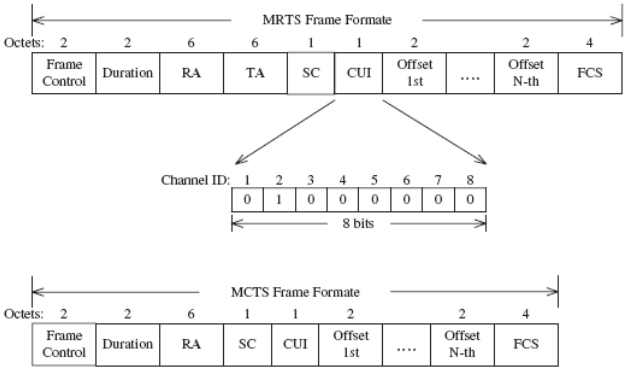

그림 3.4 MRTS/MCTS 프레임 구조

하나의 인터페이스만을 사용 하기 때문에 데이터 전송 직전에 MRTS/MCTS 교환을 통해 선택된 채널로의 변경을 위해 CST(Channel Switching/settling time)이 필요하다. 동작 원리는 그림 3.5와 같다.

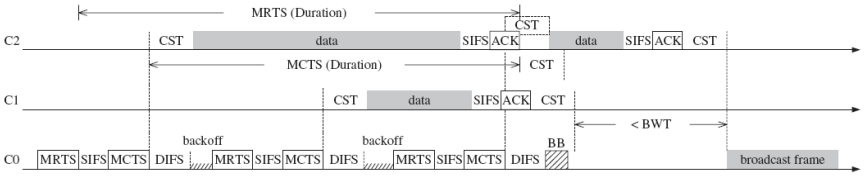

그림 3.5 AMNP 동작 원리

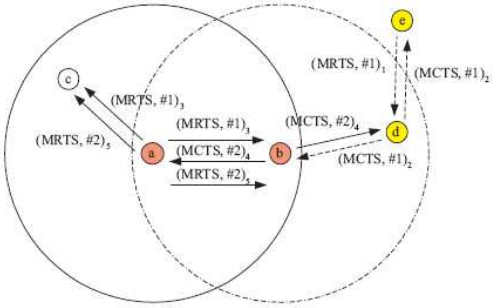

그림 3.6 AMNP에서의 MRTS/MCTS 동작

애드 혹 환경에서 제안된 AMNP 알고리즘에서의 MRTS/MCTS 동작은 그림 3.6과 같다. 노드는 5개 있다고 가정한다. 여기서 노드 C와 D는 노드 A와 B에 의해 노출된 노드들이고, 노드 E는 노드 B에게 있어 숨겨진 노드라고 가정한다. 먼저 노드 E는 노드 D에게 (MRTS, #1)를 보낸다. 이때 #1의 의미는 전송에 사용 될 채널 번호이다. 이 메시지를 무사히 받은 노드 D는 채널 1이 사용 가능하다는 것을 알고 (MCTS, #1)를 보낸다. 노드 D의 이웃노드인 노드 B 또한 이 메시지를 받음으로 채널 1번이 사용중에 있음을 알게 된다. 이로써 노드 D와 노드 E는 트래픽 채널 1번 협상을 무사히 마친다. 노드 D와 노드 E가 데이터를 주고받는 사이에 노드 A는 노드 B에게 (MRTS, #1)를 보낸다. 이때 노드 A의 이웃 노드는 노드 C 또한 이 메시지를 동시에 받는다. 하지만 이미 채널 1은 노드 D와 E에 의해 사용되고 있기 때문에 이 MRTS는 받아들이지 못한다. 채널 1이 사용 중임을 알고 있는 노드 B는 (MCTS, #2)를 보낸다. 노드 A에서도 채널 2이 사용 가능하다면 (MRTS, #2)를 보낸다.

3.4 Common Control Period

멀티채널환경에서 발생되는 문제를 해결하기 위한 방법으로는 서로의 전송 정보를 어떻게 공유하느냐에 있다. Common Control Period 같은 경우는 시간을 나누어 동기화 시킨 후 두 개의 구간을 통해 서로의 전송 정보를 공유하는 방법이다. 첫 번째 구간에서는 공통 채널을 통하여 각 노드들이 어떤 트래픽 채널을 통해 데이터를 전송할 것인지를 결정하게 되고 두 번째 구간에서는 결정된 채널을 통해서 채널 협상에 성공한 노드들이 RTS/CTS/DATA/ACK를 주고받기로 한다. 대표적으로 M-MAC[14]과 AMCM(Adaptive Multi-Channel MAC Protocol)[15] 프로토콜을 들 수 있다. 따로 전용 채널을 두지 않고 모든 채널이 트래픽 전송을 위해 선택 가능하기 때문에 채널 이용률은 높아진다. 또한 채널협상구간에서만 노드들이 협상에 참여하기 때문에 시간 관리로 인한 전력 소비가 절약 된다. 하지만 시간 동기화를 맞추는데 비용이 많이 들고, 협상 구간에서만 채널 협상이 이루어진다는 단점이 있다.

3.4.1 M-MAC

멀티채널 환경에서 일어날 수 있는 멀티채널환경에서 발생되는 숨겨진 노드 문제를 해결하고 기존의 멀티채널 프로토콜보다 나은 성능을 위해 제시 되었다. M-MAC은 하나의 인터페이스로 멀티채널을 사용한다. 앞서 이야기한 멀티채널에서의 숨겨진 노드 문제를 해결하기 위해 공통의 채널을 사용하여 채널 협상에 참여할 노드들은 시간 동기화를 한다. 위에서 설명한 DCA나 MCMAC처럼 제어패킷을 위한 전용 제어채널을 따로 두지 않는다. 간단히 말하면 아래 그림 3.7와 같이 동작한다.

ⅰ) 시간을 비콘 구간으로 일정한 간격으로 나눈다.
ⅱ) beacon 메시지를 통해 노드간의 시간을 동기화 시킨다. 각 구간시작에는 ATIM(Ad-hoc Traffic Indication Messages) window가 있다. 이 윈도우에서 트래픽을 전송할 송신노드는 자신의 PCL(Preferable Channel List) 정보를 포함한 ATIM과 ATIM-ACK을 수신노드와 교환하여 채널을 선택한다.
ⅲ) 메시지를 받은 수신 노드는 송신 노드의 PCL과 자신의 PCL을 기초로 하여 채널을 선택하게 된다. 만약, tie break 라면 수신 노드의 PCL 우선순위가 더 높게 된다.
ⅳ) 수신 노드는 ATIM-ACK에 선택한 채널을 포함하여 송신 노드에게 보낸다. 수신노드의 이웃노드들은 ATIM-ACK로부터 선택된 채널 정보를 확인하여 자신들의 PCL 정보를 업데이트한다. 이는 다음 트래픽 전송 시 더 나은 채널을 선택하기 위함이다.
ⅴ) 송신 노드는 트래픽 전송 시 이러한 정보를 바탕으로 ATIM-ACK에 명시된 채널로 변경하고, ATIM-RES를 주변 노드에게 보냄으로서 송신 노드는 그의 이웃노드가 PCL 정보를 업데이트하도록 하고 선택된 채널을 알리게 된다.
ⅵ) ATIM window 기간이 끝나면, ATIM, ATIM-ACK를 교환한 노드들은 ATIM 윈도우 동안 선택한 채널로 변경하고 트래픽 전송을 시작한다.

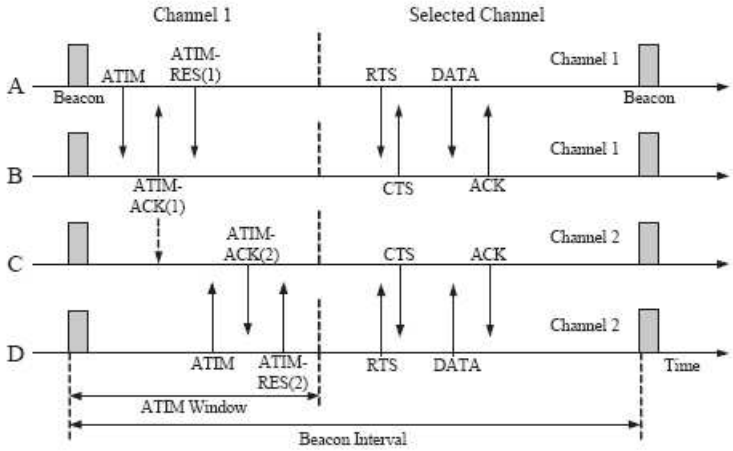

그림 3.7 M-MAC의 동작 원리

트래픽 전송은 DCF와 같은 방식으로 이루어진다. 랜덤 백오프 후 RTS/CTS를 교환 후 선택한 채널을 통해 트래픽 전송을 한다. 이는 동일한 채널을 선택한 노드끼리 경쟁에 의해 채널 사용 권한을 획득하도록 하여 공평한 매체 접근을 위함이다. 하나의 비콘 구간이 끝나면 모든 노드들은 자신의 PCL 정보를 초기화 한다.

M-MAC을 통해 멀티채널환경에서 발생되는 숨겨진 문제를 해결하고 채널 선택 시 시간을 동기화 시키고 같은 채널을 사용하게 함으로써 서로간의 정보 공유를 가능하게 했다.

3.4.2 AMCM

AMCM은 M-MAC에서 발전 시켜 보다 적응적이고 비용면에서도 효율적인 알고리즘이다. AMCM의 동작원리는 그림 3.8과 같다.

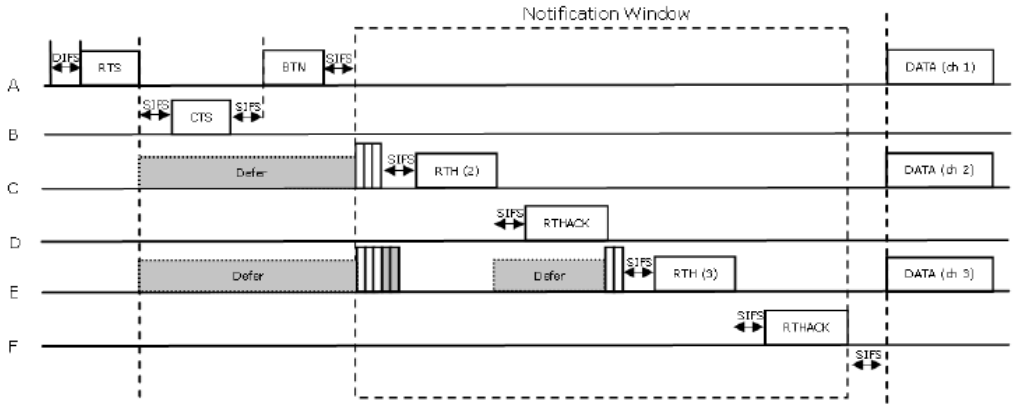

그림 3.8 AMCM의 동작 원리

N개의 채널이 있고 그 중 하나의 primary 채널을 선택한다. 이 채널 선택 정보는 네트워크 안의 모든 노드가 알고 있어야 한다. 그리고 나머지 채널(N-1)들을 secondary 채널이라고 하자. 그림 3.5와 같이 총 3개의 flow (A↔B, C↔D, E↔F)가 있다. 사이클이 시작되면 경쟁에서 승리하게 된 송신노드 A는 primary채널을 통해 수신노드 B와 RTS/CTS를 주고받는다. 이때 노드 C~F는 primary채널이 더 이상 이용 가능하지 않다는 것을 알게 된다. 그렇기 때문에 이 노드들은 secondary 채널 중에서 하나를 선택하여 통신하게 된다. 이러한 결정 동작은 송신 노드 A가 CTS를 받은 후 BTN(Begin to Notify) 메시지를 보내고 난 후부터 시작한 NW (Notification Window)동안 이루어진다. NW의 지속기간은 RTS/CTS/BTN 메시지를 통해서 알려지게 된다. 이러한 NW기간 동안 secondary 채널 정보를 담고 있는 Notification 프레임을 교환하게 되고 이를 통해 하나의 채널을 선택하게 된다. 채널 선택에 성공한 노드들은 각각의 선택한 secondary 채널로 변경하여 데이터 전송을 동시에 시작하게 된다. 데이터 전송이 성공적으로 끝나면 이들 노드들은 다시 primary 채널로 변경한다. 이는 primary 채널을 사용하기 위한 경쟁에 참여하기 위함이다. 이러한 사이클은 계속해서 반복되어진다. AMCM의 특징은 동적인 채널 선택과 더불어 동시에 트래픽 전송을 할 수 있다는 점이다.

3.5 Hybrid 멀티채널 *MAC*

Dedicated Control Channel 방식과 Common Control Period 방식의 장점만을 적용한 방법이다. Dedicated Control Channel 방식의 장점은 채널 협상이 언제든지 가능하다는 것이고, Common Control Period 방식의 장점은 채널 이용률이 증가에 있다. 이런 hybrid 멀티채널 MAC의 대표적인 알고리즘으로는 Novel[17]이 있다.

3.5.1 Novel

Dedicated Control Channel 방식과 Common Control Period 방식의 장점만을 모은 Novel 멀티채널 알고리즘은 다음과 같다. 각 노드들은 ATIM Window가 시작하는 시점에 경쟁모드로 들어간다. 각 채널엔 채널에 할당된 송·수신기가 있다. 노드가 다른 노드들과 이 송·수신기를 이용하여 동시에 채널 협상을 할 수 있게 된다. 현재의 ATIM Window의 끝나는 시점부터 데이터는 전송된다. 데이터 전송을 위해 제어채널이 선택되었다면 제어 송·수신기를 사용하고, 데이터 채널이 선택되었다면 데이터 송·수신기를 사용하면 된다. 필요에 따라서 두 개의 송수신기는 동시에 사용 될 수 있다. 데이터 전송 중 에러가 발생하게 된다면 노드는 같은 채널에서 다시 재전송을 시도한다. 노드는 경쟁을 시작한 새로운 노드를 위해 non-ATIM 기간 동안 제어채널에서 채널 협상을 초기화 하도록 한다. 이는 전용 제어채널 방식의 채널 협상이 언제나 가능하다는 장점을 적용한 것이다.

그림 3.9를 보면 ATIM 기간 동안 제어채널을 통해 노드A → 노드B 와 데이터 채널을 통해 노드A → 노드C 간의 채널 협상을 예약한다. 서로 다른 송·수신기를 사용하기 때문에 노드A는 ATIM 메시지를 동시에 보낼 수도 있다. ATIM Window가 끝나면 ATIM Window 동안 예약되었던 노드A → 노드B 와 노드A → 노드C 간의 RTS/CTS/DATA/ACK 과정이 시작된다. 이때 사용 되는 채널은 데이터 채널뿐이다. 데이터채널을 통해 앞서 ATIM window 동안 채널 사용 예약된 노드들 순서대로 (노드A → 노드B, 노드A → 노드C) 통신은 시작된다. 이렇게 통신이 시작되는 non-ATIM 기간 동안 제어채널은 새롭게 경쟁에 끼어든 노드들의 RTS/CTS를 위해 사용된다. 예약된 노드들 간에 통신이 이루어 질 때 그림 3.9에서와 같이 새롭게 경쟁에 끼어든 노드 B가 있다면 제어채널을 통해 RTS/CTS를

주고받는다. 이 또한 상황은 노드B는 제어 송·수신기를 사용하고, 현재 데이터를 전송중인 노드 A는 데이터 송·수신기를 사용하기 때문에 가능하다. 이렇게 노드B는 채널 예약을 통해 데이터 채널을 사용하려 하지만 우선 예약된 노드A가 있기 때문에 NAV가 끝날 때, 데이터 채널을 통해 RTS/CTS/DATA/ACK 과정을 시작한다.

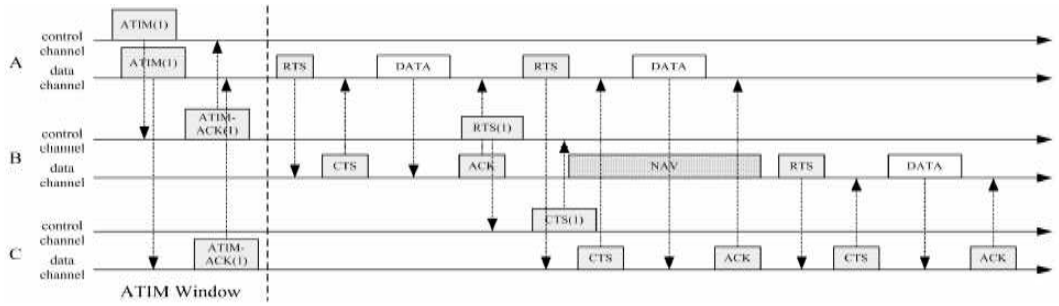

그림 3.9 Novel 멀티채널 동작 원리

DCA와 다른 점은 DCA의 경우 재전송시 채널협상을 다시 시작하는 반면, Novel 알고리즘의 경우 같은 채널에서 재전송이 가능하다는 점이다. 그리고 M-MAC과 다른 점은 M-MAC은 한번 채널 협상이 끝나면 다시 ATIM Window가 시작될 때까진 협상을 할 수 없지만, Novel 알고리즘의 경우 ATIM Window가 끝나더라도 제어채널을 통해 채널 협상이 가능하다는데 있다.

멀티채널환경에서의 트래픽채널 협상 방법은 크게 두 가지로 나뉜다. 전용 제어채널을 두어 그 채널을 통해서 제어패킷끼리 경쟁을 하여 데이터 채널을 선택하는 방법과 두 번째로는 채널 획득하는 기간과 데이터 전송하는 구간을 나누어 그 시작시간을 동기화 시킨 후 채널 획득 경쟁을 동시에 시작 할 수 있게 하는 방법이 있다. 이 두 가지 방법 모두 송·수신 노드의 이웃노드들이 전송 정보를 공유하게 하여 정보 부족으로 인해 충돌이나 전송 요구에 응답하지 못하는 상황을 방지하는데 있다.

전용 제어채널 방식의 장점으로는 제어채널을 브로드캐스트처럼 사용하여 모든 노드들이 패킷 전송에 관한 정보를 알 수 있게 하였고, 또한 채널 협상은 언제든지 이루어 질 수 있다. 대신 제어채널은 제어패킷만을 위한 채널이기 때문에 데이터

채널 획득 경쟁에 참여하는 노드들의 수가 적고, 한 제어채널에 속해 있는 데이터 채널수가 적을수록 제어채널 이용률이 상대적으로 낮아지게 된다. 또한 패킷 전송을 할 수 있는 수용력 또한 제어채널의 대역폭에 의해 이루어진다는 점이 있다.

경쟁구간 시간 동기화 방법의 장점으로는 동시에 모든 채널을 통해 전송이 이루어지므로 채널 이용률을 상대적으로 증가하고 보다 공평한 전송 지원을 할 수 있으나 이것은 각 노드간의 시간 동기화가 필요하기 때문에 상대적으로 비용이 높아진다. 그리고 채널 협상은 서로 간에 전송 정보를 주고받기 위해 정해진 구간 내에서만 같은 채널에서 이루어지기 때문에 언제든지 이루어 수 없다. 이것은 상대적으로 긴 지연시간을 야기할 수 있다.

이러한 전용 제어채널 방식과 경쟁구간 시간 동기화 방법의 장점들만 모은 hybrid 멀티채널 MAC의 경우 전용 제어채널을 사용하여 ATIM Window가 끝난 시점에서도 채널 협상이 가능하도록 하였다.

제 4 장 멀티채널 기반 새로운 패킷 전송 알고리즘 제안

본 논문은 IEEE 802.11 MAC 프로토콜에서의 DCF의 RTS/CTS기법을 바탕으로 하나의 제어채널과 다수의 트래픽 채널을 사용한 멀티채널 MAC 내 제어채널의 효과적인 제어방법에 대한 방법을 제안한다. 이는 싱글채널에서의 숨겨진 노드 문제와 노출된 노드 문제로 인해 트래픽과 제어패킷 간의 충돌 발생문제를 해결과 동시에 멀티채널에서의 숨겨진 노드 문제도 해결하기 위함이다.

멀티채널에서의 주요 논쟁은 서로간의 전송 정보 공유에 있다. 정보 공유가 제대로 이루어지지 않아서 충돌이 발생하거나 전송 지연이 길어지면 이는 네트워크 성능 저하의 원인이 된다. 정보 공유를 위해 앞장에서는 공통된 제어채널을 통해 공유하는 방법과, 채널 협상 시간 동기를 통해 공유하는 방법들을 서술하였다. 본 연구에서는 첫 번째 방법인 공통된 제어채널을 통해 전송 정보 공유를 하기로 한다. 하나의 공통된 제어채널 사용으로 발생되는 문제로는 제어채널 포화 상태와 더불어 제어채널 내에서의 제어패킷간의 충돌이 있다. 트래픽 전송을 하기 위한 노드들과 하나의 제어채널에 속한 트래픽채널이 많이 질수록 병목 현상 문제는 점점 심각해진다. 이는 병목 현상 문제뿐만 아니라 충돌도 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로는 제어채널의 효율적인 사용과도 연관이 있다.

하나의 트래픽을 전송하기 위해 RTS/CTS 절차를 거치고 난 후, 하나의 노드가 트래픽을 전송하는 동안에는 다른 노드들은 NAV를 설정해 그 전송이 끝날 때까지 채널 사용 권한을 획득하기 위해 경쟁하는 것을 기다려야 한다는 문제점이 있다. 또한 숨겨진 노드 문제도 생겨 전송 트래픽을 갖고 있는 하나의 노드가 다른 트래픽 전송을 알아채지 못해 RTS를 보내게 되면 이는 또한 충돌로 이어지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 멀티채널환경으로 넘어가 보기로 한다. 멀티채널은 하나의 제어채널과 1개 이상의 트래픽 채널을 사용할 수 있어 이는 제어패킷과 트래픽간의 충돌을 막을 수 있다. 만약 충돌이 일어날 경우 트래픽보다 크기가 작은 제어패킷들끼리만 일어나기 때문에 재전송을 하더라도 트래픽을 재전송을 하는 것보다 효율적이다. 또한 하나의 제어채널과 여러 개의 트래픽 채널이 사용 가능 하다면 하나의 트래픽 채널에서 트래픽이 전송되는 시간 동안에 다른 노드들은 또 다른 트래픽 채널 획득을 위해 제어채널에서 RTS/CTS메시지 교환을 할 수 있게 된다. 또한 RTS/CTS 절차를 거치지 않은 노드는 트래픽 전송을 할 수 없기 때문

에 패킷 간의 충돌이 일어나더라도 오직 제어채널에서만 일어난다.

채널 협상 시간은 평균 관점에서 볼 때, 제어채널이 비어있는 상태라면 언제든지 시작 할 수 있기 때문에 협상 시작 시간은 싱글 채널보다 앞당겨지게 된다. 채널 협상 시간이 앞당겨짐에 따라 트래픽 전송을 할 수 있는 시작 시간 또한 앞당겨 진다. 이는 트래픽 채널 사용율과도 연관이 있다. 하나의 제어채널에 속할 수 있는 트래픽 채널이 많아지고, 경쟁에 참여하는 노드들이 많아질수록 제어채널의 낭비는 줄어들 수 있다. 하지만 너무 많아지게 되면 제어채널 포화 문제가 발생하기 때문에 제어채널을 어떻게 효율적으로 사용 하느냐는 시스템의 기능 향상에도 기여한다. 따라서 멀티채널의 사용은 전송 시간적 단축과 더불어 전송 지연 시간, 충돌 가능성, 채널 사용률 측면에서 봤을 때 큰 장점이라 볼 수 있다.

본 논문에선 제어채널의 효율적인 사용과 더불어 우선순위기반 QoS를 제공할 수 있도록 새로운 채널 접근 확률 함수 알고리즘을 제안하고자 한다. 이는 CSMA 방법 중 p-persistent에 기반한 것으로 일정 확률 p 값을 주게 되고, 이러한 확률 p는 우선순위기반 QoS를 제공하기 위해 우선순위별 각각 다른 값을 주도록 한다. 이는 보다 높은 우선 순위를 가진 노드와 낮은 우선순위를 가진 노드간의 제어패킷들끼리의 충돌가능성을 최소화 하고, 우선 순위가 높은 트래픽을 먼저 전송하기 위함이다.

만약 타임아웃 동안 송신 노드가 ACK 메시지를 받지 못할 경우 송신노드는 트래픽을 재전송 해야 하는 상황이 생길 수 있다. 사실은 ACK 메시지는 필요하지 않을 수도 있다. 데이터는 오로지 데이터 채널을 통해서만 보내지기 때문이다. 하지만 충돌로 인한 문제가 아닌 다른 주변적인 문제로 인해 에러가 발생할 수 있다는 점을 생각해 보자. 제어패킷을 보내야 하는 하나의 공통된 제어채널을 사용하는 이웃 노드들이 많아지다 보면 이런 상황이 발생 할 수 있다. 트래픽 하나를 보내는데 있어 필요한 제어패킷의 수는 RTS, CTS, ACK로 총 3개이다. 따라서 트래픽 전송 하나당 제어패킷의 전송 시도 횟수는 3개가 된다. 이는 이웃노드가 많으면 많아질수록 동시에 제어패킷을 보낼 수 있는 확률이 늘어나게 됨을 알 수 있다.

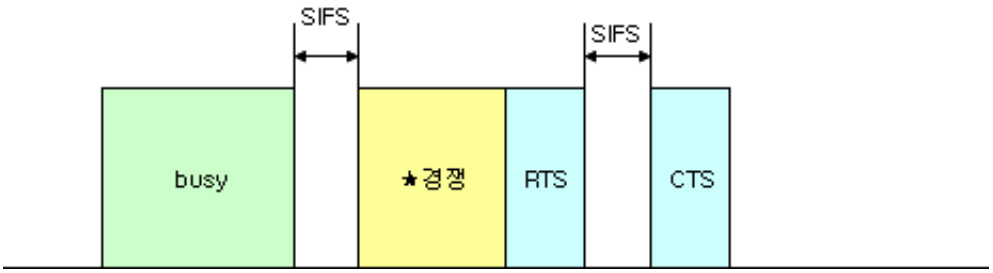

그림 4.1 제어채널 동작원리

애드 혹에서의 멀티채널 MAC 프로토콜에서의 제어채널의 동작 원리는 그림 4.1과 같다. 여기에서 본 논문에서 고려해야할 사항은 "★경쟁" 부분을 어떤 방법을 적용하여, 제어패킷간의 충돌을 최소화 시키고 거기에 우선 순위 기반 QoS를 제공할 수 있게 할 것인지에 대한 것이다. 먼저, 기존의 경쟁 해소 기법에 대해서 알아보자.

4.1 기존 경쟁 해소 기법분석

▪ 경쟁윈도우 방식을 이용한 랜덤 백오프 알고리즘

DCF를 이용하는 노드는 전송할 트래픽이 있다면 그림 2.4에서 설명한 것과 같이 DIFS만큼 채널이 사용 중인지 체크한다. 만약 그 DIFS 동안 채널 사용이 감지된다면 다시 DIFS만큼 기다리고 거기에 랜덤 백오프 값을 정하고 그 값을 채널이 비어 있는 상태에서만 슬롯 단위대로 감소시켜 먼저 0이 되는 송신노드부터 패킷 전송을 시작하게 된다. 이는 여러 개의 노드들이 채널이 사용 중이지 않음을 알고 동시에 채널에 접근 할 때 충돌을 막기 위함이다. 또한 먼저 0이 되어 전송을 시작한 노드가 있다면 백오프 값을 감소시키던 다른 노드들은 그 작업을 멈춘고 전송이 끝날 때까지 기다린다. 백오프 절차는 그림 4.3과 같다. CW의 초기값은 $CW_{\min}$이다. 이 값은 재시도 횟수가 증가할 때마다 증가 된다. CW가 $CW_{\max}$값이 되면 CW는 리셋 될 때까지 $CW_{\max}$값을 유지한다. 이러한 랜덤 백오프 시간의 식은 아래와 같다.

· Backoff time = Random() * aSlotTime

Random()은 [0,CW]간 일정하게 분포하는 수도랜덤(Pseudorandom)이다. CW (Contention Window)는 $CW_{\min} \le CW \le CW_{\max}$ 의 값을 가진다. aSlotTime은 기본 시간 단위이다. 그림 4.2는 지수적으로 증가하는 CW를 보여준다. CW값을 생성하는 함수는 아래와 같다.

· CW값 생성함수 : $2^{n}-1(n \ge 0)$, 여기서 n은 충돌이 일어날 때마다 1씩 증가.

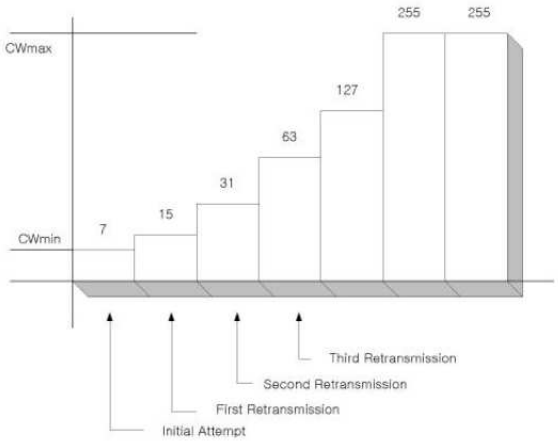

그림 4.2 지수적으로 증가하는 경쟁 윈도우

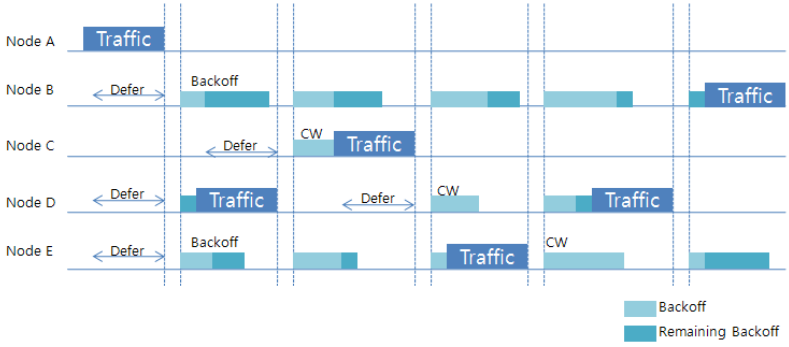

그림 4.3 백오프 절차

▪ P (p-persistent) 채널접근확률 함수

앞 장에서 설명 한 것처럼 P 채널 접근 확률 함수는 채널이 비어있는 상태라면 확률 p로 트래픽을 전송하거나 (1-p) 확률로 지연을 시킨다. 채널이 사용 중이라면 채널이 비어있는 상태가 될 때까지 계속 관찰하고 있다가 채널이 비어있는 상태가 되면 다시 P 채널 접근 함수를 적용하게 된다. 제어채널 내에서는 P 채널 접근 확률 함수를 사용하여 확률 p로 RTS를 받거나, 무시할 수 있다.

4.2 QoS를 고려한 경쟁 해소 기법 제안

본 논문에서 제안하는 경쟁 해소 기법은 기존의 P-채널 접근 확률 함수 알고리즘을 QoS를 고려하여 변형하기로 한다. 만약 노드가 QoS_0을 가진 경우에는 이는 긴급하게 트래픽을 전송해야한다는 의미이다. 이러한 우선 순위 특성을 고려하여 QoS_0을 가진 노드들은 먼저 매체에 접근할 수 있게 특정한 $P_0 = \alpha$을 주도록 한다. 이는 QoS_0보다 우선순위가 낮은 애들보다 항상 먼저 접근하게 하고, QoS_0를 가진 노드들끼리 경쟁에 참여하도록 하기 위함이다. QoS_0를 제외한 $QoS_1 \sim QoS_i$는 QoS를 고려한 P_i 채널 접근 확률 함수를 사용하도록 한다. P_i 채널 접근 확률 함수의 경우 우선 순위 낮은 트래픽을 갖는 노드는 자신 보다 높은 우선순위를 갖는 트래픽보다 먼저 전송될 수 없다.

· P_i : $0 \le i \le QoS_{\max} - 1$, i는 QoS Class수, $QoS_{\max}$는 최대 QoS 클래스 수

· $(P_i)^{\alpha}$: 여기서 α값은 n또는 β^n, β는 임의 정수로 QoS별로 다른 값을 취한다.

- 각 패킷 클래스 별 접속 시도 확률

- a_0 : *access priority of High*
- a_1 : *access priority of Middle*
- a_2 : *access priority of Low*

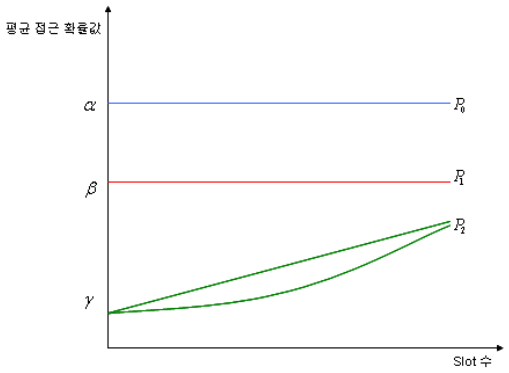

그림 4.4 제안하는 예약확률접근 함수

함수 그래프는 그림 4.4와 같다. 상대적으로 낮은 우선순위를 갖게 되는 트래픽의 경우, 경쟁에 참여 할수록 보낼 수 있는 확률 값이 작기 때문에 계속해서 높은 우선순위를 갖는 트래픽이 전송 되는 경우 매번 지연될 수 있다. 이런 경우에는 기아현상이 일어날 수 있다. 이 현상을 방지하기 위하여 경쟁이 거듭 될수록 보낼 수 있는 확률 값을 높이고자 한다. 하지만 높일 수 있는 최대 확률 값은 그 전의 (우선순위가 더 높은) 확률 값보다 높을 순 없다. 서로 다른 확률 함수로 인해 같은 우선순위를 갖는 트래픽끼리만 경쟁할 수 있도록 한다.

- 최적화 된 경쟁 해소 기법

· $N_0P_0 + N_1P_1 + \cdots + N_iP_i \leq 1$이 되어야 한다.

· 만약, $N_0, N_1, N_2, \cdots, N_i$를 알고 있다면 $P_0 \sim P_i$는 i개의 방정식을 갖는다.

· N_i : QoS = i 값을 갖는 사용자 수, i값이 작을수록 높은 우선순위를 갖음.

· P_i : QoS =i 값을 갖는 패킷의 평균 접근 확률

예를 들어 $P_0 = \alpha$라고 하고, i값이 1 증가 시 ($\frac{1}{2}$)배씩 증가한다고 하면,

· $P_1 = \frac{1}{2^1} P_0 = \frac{1}{2^1} \alpha$

· $P_2 = \frac{1}{2^2} P_0 = \frac{1}{2^2} \alpha$

· $P_i = \frac{1}{2^i} P_0 = \frac{1}{2^i} \alpha$

· $N_0 \alpha + N_1 \frac{1}{2^1} \alpha + N_2 \frac{1}{2^2} \alpha + \cdots + N_i \frac{1}{2^i} \alpha = 1$

따라서, $\alpha(N_0 + \frac{N_1}{2^1} + \frac{N_2}{2^2} + \cdots + \frac{N_i}{2^i}) = 1$이 되면 최적화된다.

4.3 제안 방식의 동작 원리

QoS_0을 가진 경우, 긴급하게 트래픽을 전송해야한다. 이러한 특성을 고려하여 QoS_0을 가진 노드들은 항상 먼저 매체에 접근할 수 있게 특정한 $P_0 = \alpha$을 주도록 한다. 이는 QoS_0를 가진 노드들끼리 경쟁에 참여하도록 하기 위함이다.

QoS_0를 제외한 $QoS_1 \sim QoS_i$는 앞에서 말한 QoS를 고려한 P_i 채널접근확률 함수을 사용하도록 한다.

다음과 같이 가정한다. 하나의 제어채널과 n-1개의 트래픽 채널이 있다고 하자. 여기에서는 5개의 트래픽 채널이 존재한다고 가정한다. 트래픽 채널에서 트래픽을 전송할 수 있는 노드는 채널 협상에 성공한 것이다. 또한 제어채널을 통해 RTS를 보내는 송신 노드는 채널 획득 경쟁에 성공한 것이다. 제어패킷 전송시도는 제안된 예약접근확률함수로 인해 우선순위 기반으로 이루어지게 된다. RTS/CTS를 주고받은 노드들만이 트래픽 전송을 할 수 있기 때문에 이러한 제어패킷은 채널 예약적 의미가 있다. 따라서 RTS를 보내는 시간을 조절하게 되면 우선순위 기반 트래픽 전송을 할 수 있게 된다.

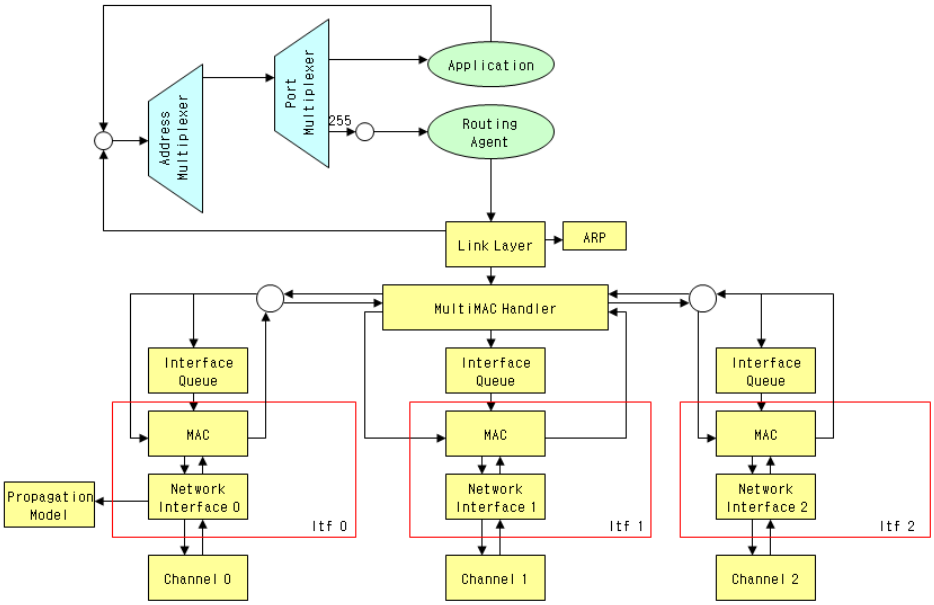

그림 4.5 수정된 멀티 채널기반 모바일 노드 구조

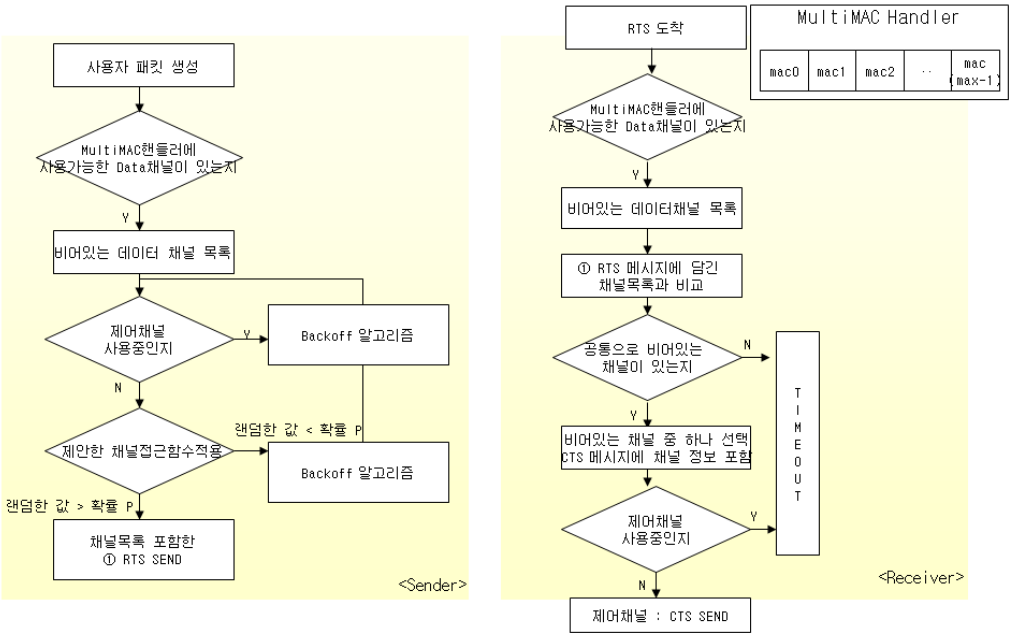

그림 4.6 제어패킷 전송 시나리오

그림 4.6은 제어패킷 전송 시나리오이다. 여기서는 오직 제어채널내의 전송만 고려한다. 오직 RTS/CTS를 교환한 노드만이 선택한 트래픽 채널을 통해 트래픽을 전송할 수 있기 때문이다.

만약 트래픽을 전송하고자 한다면 먼저 송신 노드는 트래픽 채널 정보를 통해 사용 가능한 채널을 체크 후 그 중 하나를 선택한다. 그림 4.5에서는 수정된 멀티채널 및 멀티 인터페이스 기반 모바일 노드 구조를 보여준다. 여기서 MultiMAC Handler라는 곳에서 사용 가능한 트래픽 채널 리스트를 가지고 있다. 이러한 사용 가능한 채널 리스트는 송신노드는 물론 수신노드도 가지고 있어야 한다. 이를 통해 사용 가능한 트래픽 채널을 체크하고, 수신 노드를 통해 트래픽 채널이 선택 된다면 그 채널로 송신 노드와 수신노드는 변경해야한다. RTS/CTS를 주고받을 때 CTS 정보에 선택된 채널 정보와 함께 자신이 가지고 있는 사용 가능한 채널 리스트와 비교 할 수 있다. 비교하여 만약 사용할 수 있는 채널이 같은 것이 있다면 그 중 하나를 골라서 그 채널에 대한 정보를 CTS에 담아 보내게 되고, 없다면 타임아웃 알고리즘을 사용하여 송신 노드가 다시 채널 획득 경쟁에 참여할 수 있게 한다.

제 5 장 성능 평가 및 분석

본 장에서는 시뮬레이션을 통하여 먼저 기본적인 멀티 채널기반 프로토콜의 성능을 평가하였다. 멀티채널 사용으로 인한 성능 향상 확인을 위해 패킷 크기와 트래픽 채널수에 따른 전체 처리율을 비교하였다. 전체 처리율의 경우 현재 트래픽 전송의 처리양의 합이다. 전체 처리율이 높아지면 같은 시간 동안 더 많은 패킷이 전송 될 수 있다.

5.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 툴인 NS-2(Network Simulator 2)를 사용하여 기본적인 멀티 채널기반 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 먼저 패킷크기와 트래픽채널수에 따른 처리율을 비교하였다. 각 채널당 전송률은 2Mbps이고, 각 시뮬레이션 시간은 80초로 설정하여 수행시켰다. 데이터 패킷 크기는 총 100, 512, 1000Bytes이고, 라우팅 프로토콜은 애드 혹 네트워크에서 사용 되는 요청 기반의 AODV 프로토콜이다. 제어채널은 하나로 고정하고, 트래픽채널의 수를 1~5개로 변화 시키면서 전체 처리율은 측정하였다.

Parameter	Value	
시뮬레이션시간	80초	
시뮬레이션지역	500 * 500	
라우팅프로토콜	AODV	
데이터 패킷크기	100, 512, 1000Bytes	
데이터 전송률	2Mpbs	
채널수	제어채널	1
	트래픽채널	1~5
노드수	30	

표 5.1 시뮬레이션 파라미터

5.2 시뮬레이션 결과

멀티채널기반으로 기본적인 RTS/CTS 알고리즘을 이용하였다. 하나의 공통된 제어채널과 여러 개의 트래픽 채널을 사용하였다. 먼저 패킷 전송은 제어채널을 통해 RTS/CTS를 주고받도록 한다. 그 후, 트래픽 채널을 통해 트래픽 전송시 사용 가능한 트래픽 채널 중 임의 선택하기로 한다. 각 송신 노드들은 일정한 시간 간격동안 패킷을 생성한다.

그림 5.1은 하나의 제어채널에 트래픽 채널수를 증가시키며 그에 따른 처리율을 패킷 크기에 따라 평가했다. 그림 5.2는 트래픽 채널을 5개로 고정시키고, 각 플로우에 따른 패킷 크기별 전체 처리율을 평가하였다.

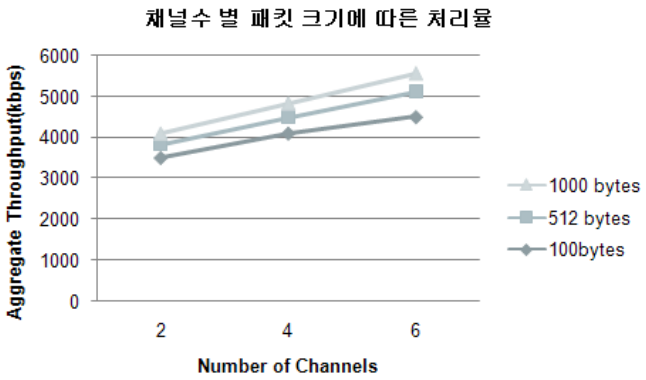

그림 5.1 트래픽채널수별 패킷 크기에 따른 처리율

그림 5.1에서 하나의 제어 채널에 포함된 트래픽 채널이 많을수록 전체 처리율이 높아짐을 볼 수 있었다. 이는 포함된 트래픽 채널이 많을수록 제어 채널 내에서 사용 가능한 트래픽 채널을 획득하려는 제어 패킷의 전송도 많아지게 된다. 이는 채널 이용률과도 연관이 있다.

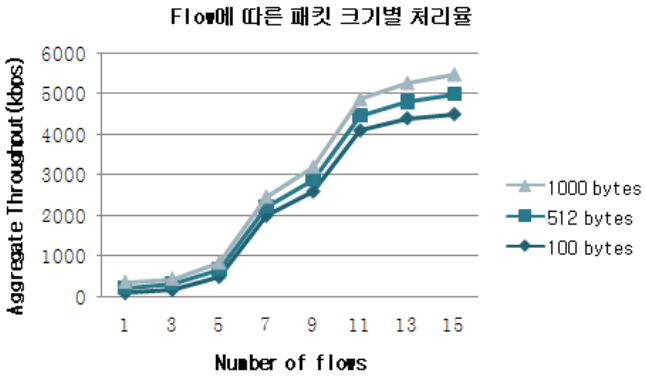

그림 5.2 플로우에 따른 패킷크기별 처리율

플로우 증가는 트래픽 전송에 참여하는 노드가 많아진다는 의미이다. 전송에 참여하는 노드가 많아지면 상대적으로 사용되는 트래픽 채널수도 많아지게 된다. 따라서 그림 5.2를 살펴보면 플로우가 증가함에 따라 전체 처리율도 점점 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 그림 5.1과 그림 5.2를 통해 패킷 크기가 작을수록 채널 점유율이 짧은 반면, 사용 가능한 채널 획득에 관한 경쟁이 심해지기 때문에 처리율이 상대적으로 낮음을 볼 수 있었다.

제 6 장 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 무선망의 성능을 최적으로 높일 수 있는 방법들을 서술하였다. 기존의 싱글 채널 기반 802.11 MAC 에서의 서로 간 전송 정보 부족으로 생긴 문제점인 숨겨진 노드와 노출된 노드 문제점을 해결하기 위한 알고리즘을 기술하고 그 해결책 중에 하나인 멀티채널 기반의 다양한 알고리즘들을 비교·분석하였다. 멀티채널에서의 주요 논점은 여러 개의 채널 중 전송에 참여할 채널 선택 문제에 있다. 채널 선택 시 그 선택 정보를 모든 노드가 알아야 한다. 이렇게 정보를 주고받는 채널 협상 방법을 크게 두 가지로 놔두고 봤을 때의 그 방법들의 장·단점을 파악하고, 그 두 가지 방법들의 장점만을 이용한 알고리즘도 다뤘다.

이러한 비교·분석을 토대로 전용 제어채널을 이용한 기본적인 멀티채널 기반 알고리즘에서 제어패킷끼리의 충돌을 최소화 시키고 다양한 QoS를 보장하기 위한 우선순위 기반 트래픽 전송을 위해 기존의 P-채널접근확률함수를 이용한 멀티채널 기반 MAC 프로토콜을 제시하였다. 이는 각 우선 순위 별로 서로 다른 확률 함수를 적용하여 QoS 서비스를 보장하기 위함이다.

본 논문에서는 기본적인 멀티채널 기반 패킷 전송 알고리즘을 구현, 멀티채널이 싱글채널에 비해 전체 처리율이 높다는 것을 성능평가 하였다.

앞으로, 기본적인 멀티채널 MAC을 바탕으로 본 논문에서 제안한 채널접근확률함수를 사용하여 기존의 알고리즘과 비교하여 패킷 손실률과 채널 전체 이용률을 성능을 평가하고자 한다. 만약 성능 평가 시 패킷 손실률이 더 적다면, 본 논문에서 제안한 제어패킷 충돌 최소화 방안에 만족하게 된다. 이에 따라 전체 채널 이용률도 증가한다면, 우선순위에 따른 서로 다른 채널 확률 함수 값을 주어 다양한 QoS를 보장하는지와 우선순위가 높은 트래픽의 경우 항상 먼저 서비스 되는지를 본 논문에서 제안한 알고리즘을 통해 성능 평가를 하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] IEEE standard for *Part Ⅱ : Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications* : IEEE Standard 802.11, 1999.

[2] G. Bianchi,"Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," *IEEE JSAC*, vol. 18, no. 3, pp.535-547, 2000.

[3] S. Ray, J.B. Carruthers, and D. Starobinski,"RTS/CTS induced congestion in ad hoc wireless LANs," in *Proc. WCNC*, vol. 3, pp. 1516-1521, 2003.

[4] J.L. Sobrinho, R. de Haan, and J. M. Brazio, "Why RTS-CTS is not your ideal wireless LAN multiple access protocol," *in Proc. WCNC*, vol. 1, pp. 81-87, 2005.

[5] F.A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet switching in radio channels: Part Ⅱ - the hidden terminal problem in carrier sense multiple access and the Busy-Tone Solution," *IEEE Trans. Comm*, vol. 23, no. 12, PP. 1417-1433, 1975.

[6] T.-J. Tsai and J.-W. Chen, "IEEE 802.11 MAC protocol over Wireless Mesh Networks: Problems and Perspectives," *in AINA*, vol. 2, pp. 80-83, 2005.

[7] P. Jarn, "MACA - A new channel access method for packet radio," *in ARRL/CRRL*, pp. 134-140, 1990.

[8] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, "MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LAN's," *in SIGCOMM*, pp. 214-225, 1994.

[9] A. Acharya, A. Misra, and S. Bansal, "MACA-P : A MAC for Concurrent Transmissions in Multi-hop Wireless Networks," *in PerCom*. pp. 505-508, 2003.

[10] S.-L. Wu, C.-Y. Lin, Y.-C. Tseng, and J.-P. Sheu, "A New Multi-Channel MAC Protocol with On-Demand Channel Assignment for Multi-Hop Mobile Ad Hoc Networks," *in I-SPAN*, pp. 232-237, 2000.

[11] H. Koubaa, "Fairness-Enhanced Multiple Control Channels MAC for Ad Hoc Networks," *in VTC*, vol. 3, pp. 1504-1508, 2005.

[12] H. Zhai, J. Wang, and Y. Fang, "DUCHA: A New Dual-Channel MAC Protocol for Multihop Ad Hoc Networks," *in IEEE Trans. Comm*, vol. 5, no. 11, pp. 3224-3233, 2006.

[13] J.H. Chen and Y.D. Chen, "AMNP: Ad Hoc Multichannel Negotiation Protocol for Multihop Mobile Wireless Networks," *in IEEE ICC*, vol. 6, pp. 3607-3612, 2004.

[14] J. So and N. H. Vaidya, "Multi-Channel MAC for ad hoc Networks : Handling Multi-Channel Hidden Terminals using a single Transceiver," *in Mobihoc*, pp. 222-233, 2004.

[15] P. Tan and M. C. Chan,"AMCM: Adaptive Multi-Channel MAC Protocol for IEEE 802.11 Wireless Networks," *in BROADNETS*, pp.1-10, 2006.

[16] J. Chen, S.T. Sheu, and C.A. Yang, "A new multi-channel access protocol for IEEE 802.11 ad hoc wireless LANs," in *IEEE PIMRC*, vol. 3, pp. 2291-2296, 2003.

[17] S.-C. Lo and C.-W. Tseng, "A Novel Multi-Channel MAC Protocol for Wireless Ad Hoc Networks," *in VTC*, pp. 46-50, 2007.

[18] J. Mo, H.S.W. So, and J. Warland, “Comparison of Multi-Channel MAC Protocols,” *in MSWiM*, pp. 209-218, 2005.

[19] N. Jain and S. Das, “A Multichannel CSMA MAC Protocol with Receiver-Based Channel Selection for Multihop Wireless Networks,” *in IC3N*, PP.432-439, 2001.

[20] A. Nasipuri, J. Zhuang, and S. R. Das, “A multichannel CSMA MAC protocol for multihop wireless networks,” *in WCNC*, vol.3, pp.1402-1406, 1999.

Publications

[1] Seokjoo Shin, ***Jinsoo Moon***, Kanghee Kim, and Seungjae Bahng "Uplink Packet Scheduling Schemes for Video Traffic in Wireless Communication Systems," *in ICCE'06*, pp. 90-95, 2006.

[2] **문진수**, 신석주, "OFDMA 시스템에서 RA 기반의 상향링크 패킷 전송 기법 연구", 한국통신학회, vol. 36, 2007 추계학술대회

[3] 오상규, **문진수**, 신석주, "OFDMA 시스템에서의 동기 RA 방식 기반의 상향링크 패킷 전송", 한국 인터넷 정보 학회, 9권 2호, 2008. 04.

[4] **문진수**, 신석주, 배용근, "무선 랜 시스템에서의 멀티채널 기반 패킷 전송에 관한 연구," 한국통신학회, 2008 춘계학술대회.

감사의 글

지나왔던 시간을 뒤돌아보면서, 과거에 꿈꿔왔던 시간들은 이미 저를 넘어 제 앞에 있음을 깨닫게 됩니다. 학부 시절에 통신 관련 수업을 들으며 흥미를 느꼈던 시간이 언제였는지 까마득하지만 그 생각만큼은 그대로인걸 보면 시간이 지나도 변하지 않는 것이 있다는 것도 알게 되었습니다.

언제나 부족한 저를 지금까지 이끌어주시느라 고생하셨을 신석주 교수님, 항상 너그러운 미소로 꼼꼼히 지도해주신 모상만 교수님, 현재 이곳엔 없지만 대학 1학년 때부터 변함없는 모습으로 보살펴주신 심재홍 교수님, 수업을 들어보지 못해 아쉬운 정현숙 교수님과 강문수 교수님 모두모두 감사드립니다. 또한 부족한 제 논문을 심사해주신 이성주 교수님 외 컴퓨터 공학과 교수님들께 정말 감사하다는 말씀을 드립니다.

대학원 생활동안 함께 지내면서 이런저런 일들 같이 겪은 Whynet 연구실 식구들. 이미 사회생활을 시작한 사람들과 앞으로 연구실을 이끌어 갈 모두 10년 뒤엔 다들 반짝반짝 빛나는 삶을 살고 있길 빕니다.

항상 힘들어할 때 너는 잘 할 수 있을 거라며 나를 위로해 준 친구들. 앞으로도 소중한 추억 많이 쌓길 바라면서 누군가에게 기대는 기쁨을 알려준 그대들에게 사랑의 마음을 전합니다.

마지막으로 세상에서 제가 가장 존경하고 사랑하는 우리 부모님, 동생들 그리고 가족들. 제가 선택한 것에 대해 늘 같이 고민해주시고 혼자선 결코 보이지 않았던 제 미래에 응원해주셔서 감사합니다. 앞으로도 항상 아끼는 마음으로 서로에게 힘이 되는 가족이 되기를...

저작물 이용 허락서

학과	컴퓨터공학과	학번	20067488	과정	석사
성명	한글 : 문진수	한문 : 文眞秀		영문: Jinsoo Moon	
주소	광주광역시 서구 상무2동 902-37 상무주택 18호				
연락처	E-mail : rainmoon23@gmail.com				
논문 제목	[한글] IEEE 802.11 LAN 시스템에서의 멀티채널 기반 패킷 전송에 관한 연구				
	[영문] A Study on the Multi-Channel Packet Transmission Protocols in IEEE 802.11 LAN Systems				

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(○) 반대( )

2008년 8월 25일

저작자: 문 진 수 (인)

조선대학교 총장 귀하