



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](#)

Master's Thesis

Novel Retransmission Methods based on
Collision Types for Wireless LANs

Junghwi Jeon (전 중 휘)

Division of Electrical and Computer Engineering

Pohang University of Science and Technology

2012



무선랜에서 충돌 유형에 기반한 새로운 재전송 기술에 관한 연구

Novel Retransmission Methods based on
Collision Types for Wireless LANs



Novel Retransmission Methods based on Collision Types for Wireless LANs

by

Junghwi Jeon

Division of Electrical and Computer Engineering
Pohang University of Science and Technology

A thesis submitted to the faculty of the Pohang University of Science and Technology in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Science in the Division of Electrical and Computer Engineering.

Pohang, Korea

November 28, 2011

Approved by

Cheeha Kim (_____)

Academic Advisor



Novel Retransmission Methods based on Collision Types for Wireless LANs

Junghwi Jeon

The undersigned have examined this thesis and hereby
certify that it is worthy of acceptance for a master's
degree from POSTECH.

11/28/2011

Committee Chair	Cheeha Kim	(Seal)
-----------------	------------	--------

Member	Young-Joo Suh	(Seal)
--------	---------------	--------

Member	Hwangjun Song	(Seal)
--------	---------------	--------



Dedicated to God Almighty and My Family



MECE 전중휘. Junghwi Jeon. Novel Retransmission
20100835 Methods based on Collision Types for Wireless
LANs 무선랜에서 충돌 유형에 기반한 새로운 재전송
기술에 관한 연구, Division of Electrical and
Computer Engineering. 2012, 47P, Advisor: Chee-ha
Kim, Text in Korean.

Abstract

Wireless local area networks (WLANs) based on the IEEE 802.11 standard have been used widely because of its easy accessibility of the WLANs and high data rate with low cost. To avoid collisions, the IEEE 802.11 medium access control (MAC) with distributed coordination function (DCF) uses predetermined inter-frame spaces and the random back-off process. As the physical data rate increases, the channel utilization of MAC becomes low. This is because most of the time is wasted in the back-off state. Moreover, the number of wireless devices sharply increases and the size of data continues to grow. In this environment, the networks become saturated. In saturated networks, collisions and retransmissions frequently occur, aggravating the network throughput.

In this paper, we classify collisions into two types based on their causes: selecting an identical back-off count and hidden station problem. For each cause, we propose novel retransmission methods respectively, to increase network



performance. In the first proposed retransmission method, a station that experienced collision transmits additional data after a successful retransmission. The second proposed method detects collisions caused by hidden stations and then allows collision-free retransmission. The analysis and simulations results show that the proposed methods provide greater normalized throughput than DCF. Moreover, proposed methods maintain the fairness and provide a shorter average waiting time than existing schemes.



목차

I. 서론	1
II. 관련 연구.....	6
2.1 무선랜에서의 충돌 원인.....	6
2.2 기존 충돌 처리 방법.....	7
3.1 백오프 충돌에 관한 재전송 방법.....	12
3.1.1 백오프 충돌에 대한 보상	12
3.1.2 Bianch의 모델을 이용한 경향적 분석	15
3.2 숨은 충돌에 관한 재전송 방법	21
3.2.1 숨은 충돌 감지.....	23
3.2.2 빠른 재전송 메커니즘	26
3.2.3 이론적인 성능 분석	31
IV. 성능 평가.....	35
4.1 모의실험 환경	35
4.2 모의실험 결과 및 토의	36
V. 결론 및 향후 연구	44
References	46



그림 목차

[그림 1.1] IEEE 802.11 MAC 계층에서의 재전송 방법.....	1
[그림 1.2] IEEE 802.11 MAC 계층에서 채널 이용률 [2].....	2
[그림 1.3] 무선랜에서 단말들 사이의 충돌 원인.....	3
[그림 2.1] RTS Collision Avoidance (RCA)방법의 예 [10].....	9
[그림 2.2] Zigzag decoding 방법 [11].....	10
[그림 3.1] 제안하는 방법에서의 네트워크 환경.....	11
[그림 3.2] IEEE 802.11 MAC 계층의 프레임 구조.....	13
[그림 3.3] 백오프 충돌 처리 방법.....	14
[그림 3.4] Bianch Markov 체인 모델 [13].....	16
[그림 3.5] Bianch 모델을 이용한 정규화된 처리량.....	21
[그림 3.6] 무선 네트워크에서 단말들의 hidden 관계.....	22
[그림 3.7] Preamble correlation을 이용한 숨은 충돌 감지 [11].....	24
[그림 3.8] GNU Radio 단말 수신 시스템.....	25



[그림 3.9] IEEE 802.11에서 각 IFS 시간.....	28
[그림 3.10] 복수의 숨겨진 단말에 의한 충돌.....	29
[그림 3.11] 빠른 재전송 절차.....	31
[그림 3.12] 하나의 데이터 전송에 소요되는 시간.....	33
[그림 4.1] 백오프 충돌과 DCF에서의 정규화된 네트워크 처리량 변화..	37
[그림 4.2] 데이터 생성 속도에 따른 정규화된 네트워크 처리량 변화....	39
[그림 4.3] 단말의 평균 부하에 따른 정규화된 네트워크 처리량 변화....	39
[그림 4.4] Jain의 공정성 지수.....	40
[그림 4.5] DCF, RTS/CTS, 그리고 빠른 재전송 방법의 정규화된 처리량 변화.....	41
[그림 4.6] 빠른 재전송 방법과 RTS/CTS의 평균 대기 시간.....	42



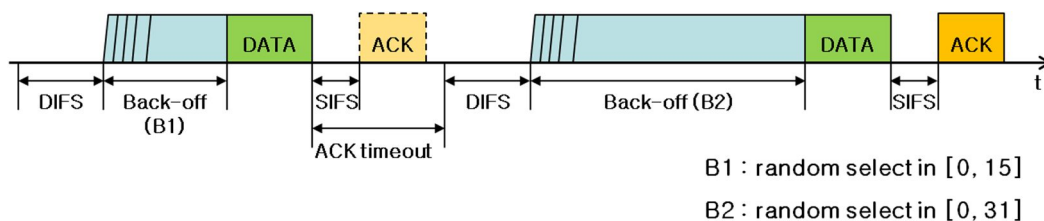
표 목차

[표 1] 시뮬레이션 환경 파라미터.....	20
[표 2] IEEE 802.11 프레임 종류 및 type과 subtype 값.....	27
[표 3] 부호 및 용어 정리.....	32



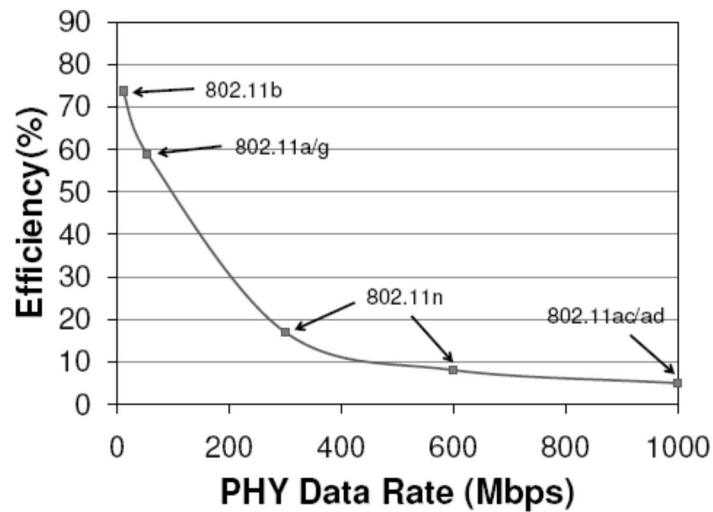
I. 서론

IEEE 802.11 을 표준 기술로 동작하는 무선랜은 접근의 용이성과 높은 데이터 전송 속도로 인하여 널리 사용되는 무선 네트워크이다 [1]. 무선랜에서 medium access control(MAC) 계층은 충돌을 피하기 위하여 carrier sense multiple access with collision avoidance(CSMA/CA) 기반의 distributed coordination function(DCF) 방식으로 동작한다. DCF 에서 데이터 전송을 원하는 단말은 distributed inter-frame space(DIFS)만큼 기다리고 추가적으로 백오프 시간(back-off time)만큼 더 기다린 후에 전송함으로써 다른 단말들과 충돌을 피할 수 있다. 만약 송신 단말이 정해진 시간 안에 acknowledgment(ACK)을 수신하지 못한다면 타임아웃 이벤트가 발생하여 재전송을 시도한다. 연속적인 충돌을 피하기 위하여 이전 contention window(CW)보다 두 배 큰 CW 에서 백오프 시간을 선택한다. 이러한 무선랜 MAC 계층의 재전송 방법은 많은 시간을 소모하기 때문에 매우 비효율적이다 [그림 1.1].



[그림 1.1] IEEE 802.11 MAC 계층에서의 재전송 방법





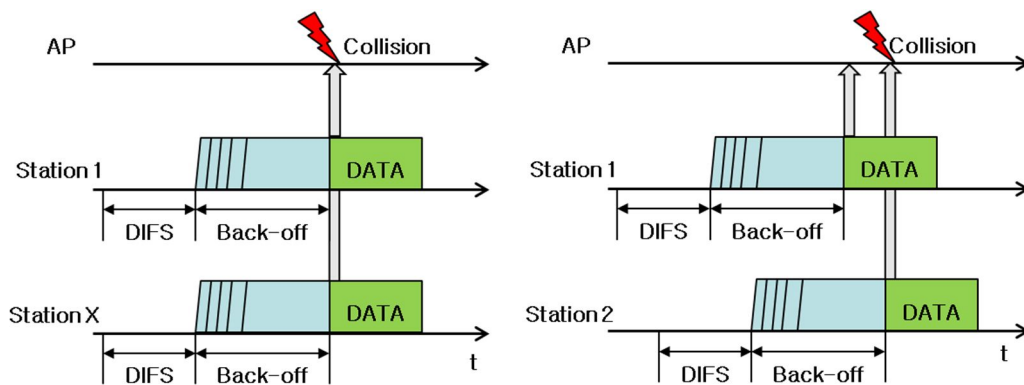
[그림 1.2] IEEE 802.11 MAC 계층에서 채널 이용률 [2]

1997 년 초기 버전의 무선랜 표준화가 완성된 이후, 하드웨어와 전송 기술의 발달로 물리 계층의 데이터 전송 속도는 크게 향상 되었지만, MAC 계층의 채널 이용률은 오히려 현저하게 떨어지게 되었다 [2]. 물리 계층에서 최고 600Mbps 의 데이터 전송 속도를 제공하는 802.11n 에서 1500byte 을 전송할 경우, 채널 이용률은 10% 미만이다. 60Ghz 대역을 이용하여 무선 환경에서도 초고속 데이터 전송 속도(1Gbps)을 제공하는 IEEE 802.11 ac/ad 역시 채널 이용률은 매우 낮다 [그림 1.2].

게다가 최근 다양한 무선 통신 장비들(노트북, 스마트 폰, 태블릿 PC)의 보급으로 무선랜을 이용하는 단말의 수가 크게 증가하고, 데이터가 거대해지고 멀티미디어화 되면서 네트워크는 쉽게 포화상태에 이르게 된다. 포화상태



인 무선랜에서 단말들의 충돌과 재전송은 빈번하게 발생하여 낮은 채널 이용 문제를 더욱 악화시키며 결국엔 네트워크의 처리량이 급격하게 줄어든다. 따라서 포화상태인 무선랜에서 단말들의 충돌 유형에 따른 효율적인 재전송 기술에 관한 연구가 필요하다.



[그림 1.3] 무선랜에서 단말들 사이의 충돌 원인

(좌-동일한 백오프 시간, 우-숨겨진 단말 문제)

본 논문은 무선랜에서 단말들 사이의 충돌 유형에 기반한 새로운 재전송 방법들을 제안한다. 그리고 무선랜에서 발생하는 충돌을 두 가지로 분류하고, 각 충돌에 대한 다른 재전송 방법을 제시한다. 첫 번째로 동일한 백오프 시간을 갖는 단말이 둘 이상인 경우에 충돌이 발생한다 [그림 1.3]. 이러한 충돌을 경험한 단말들은 각 데이터에 대한 충돌 횟수를 저장하고, 재전송에 성공한

경우 충돌 횟수만큼의 전송 기회를 보장받는 간단하지만 효율적인 재전송 방법으로 네트워크의 처리량을 향상시킬 수 있다. 두 번째 충돌은 무선 네트워크에서 잘 알려진 숨겨진 단말 문제(hidden node problem)이다 [그림 1.3]. 본 논문에서 제안하는 두 번째 재전송 방법을 간단하게 말하면 다음과 같다. 수신 단말이 충돌을 preamble correlation 기법을 이용하여 인지하고, 새롭게 정의한 컨트롤 프레임(negative-ACK, N-ACK)을 전송함으로써 희생 단말에게 충돌을 알린다. N-ACK 을 수신한 희생 단말은 경쟁 없이 빠르게 재전송을 할 수 있고, 충돌을 유발한 단말도 N-ACK 을 엿들음으로써 첫 단말 데이터 전송 이후에 연속적으로 재전송을 시도한다.

본 논문에서 제안하는 첫 번째 충돌에 관한 재전송 방법은 지금까지 제안된 충돌 처리 방법들과는 달리 추가적인 하드웨어 비용이 없고, 비교적 간단한 방법으로 충돌을 경험한 단말들에게 혜택을 줄 수 있다. 그리고 혜택을 받은 단말들과 다른 단말들 사이의 전송 기회에 대해서도 공정성을 유지할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 두 번째 재전송 방법에서도 충돌을 경험한 단말들에게 재전송 시 추가적인 충돌이 발생하지 않음을 N-ACK 프레임의 network allocation vector(NAV)을 이용하여 보장받고, 충돌을 유발한 단말의 연이은 재전송에서도 백오프 시간을 0 으로 하여 빠르게 재전송함으로써 시간의 효율을 높인다.

네트워크의 경향성을 확인하기 위하여 Bianchi 의 모델을 이용하였고, 모의 실험을 통하여 제안하는 방법들이 처리량과 평균 대기 시간에서 기존의 방법



보다 뛰어난 성능을 보임을 알 수 있었다. 그리고 공정성에 관한 모의실험 결과에서도 제안하는 방법들이 공정성을 유지함을 확인하였다.

본 논문의 구성은 서론에 이어, 2 장에서는 무선랜에서 발생하는 충돌 원인에 대하여 자세하게 알아보고 충돌 처리에 관한 기존에 제안된 방법들을 살펴본다. 3 장에서는 제안하고자 하는 재전송 방법에 대하여 상세히 설명하고, 4 장에서는 제안된 재전송 방법과 DCF 을 성능평가를 통하여 비교 분석한다. 그리고 마지막으로 5 장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구 과제에 대해서 살펴본다.



II. 관련 연구

이번 장에서는 무선랜에서 발생하는 충돌의 원인에 대하여 자세하게 알아본 후, 기존에 제안되었던 충돌 처리 방법과 이전 연구의 한계점에 따른 문제를 제기한다.

2.1 무선랜에서의 충돌 원인

앞서 설명한 것처럼 무선랜에서의 데이터 충돌은 둘 이상의 단말에서 동일한 백오프 시간 선택과 숨겨진 단말 문제에 의하여 발생한다. 무선랜에서 단말은 충돌을 피하기 위하여 임의의 백오프 시간을 선택하는데 단말들 사이의 통신이 불가능하기 때문에 서로의 백오프 시간을 알 수 없다. 또한 CW의 범위 충돌을 경험할수록 증가하지만 최대 범위가 $[0, 1023]$ 으로 제한되어 있기 때문에 경쟁하는 단말이 많을수록 충돌은 더욱 빈번하게 발생한다. 하지만 이러한 충돌은 DCF의 내제된 충돌로 예방하기 어렵다.

또 다른 충돌 원인인 숨겨진 단말 문제에 의한 충돌은 서로 다른 전송 파워를 가지는 서로 다른 종류의 무선 장비들이 통신할 때 주로 발생한다. 데이터 전송 범위 밖에 존재하여 채널이 사용중인 것을 인지하지 못한 채 채널을 이용하여 데이터 전송을 시도하면 수신 단말에서는 두 가지의 전자기파 신호가 섞이게 되고, 그 결과 올바르게 해석을 할 수 없게 된다. 이러한 충돌을



해결하기 위하여 크게 충돌 예방과 충돌 복구로 나뉘어 제안되어왔다. DCF에서는 이와 같이 발생하는 충돌에 대하여 어떠한 정의 없이 단순히 수신 단말이 ACK 을 전송하지 않음으로써 송신 단말이 수신 단말 측에서 충돌이 발생한 것을 인지하게 한다. 이렇듯 시간과 채널 이용률에 있어서 매우 비 효율적인 DCF의 성능향상을 위하여 많은 방법들이 제안되어 왔다.

2.2 기존 충돌 처리 방법

동일한 백오프 시간에 관련된 충돌 처리 방법은 주로 CW 을 수정하여 백오프 시간을 조절함으로써 충돌을 해결하는데 많은 연구가 진행되고 있다. Fast Collision Resolution(FCR) 은 DCF 보다 적은 CW 을 사용하고, 오랜 시간 빈 채널이 감지되면 백오프 시간을 지수적으로 줄임으로써 충돌을 빠르게 해결할 수 있었다 [3]. Gentle Distributed Coordination Function(GDCF)에서는 연속적으로 전송에 성공하는 횟수를 저장하고, 저장된 횟수가 일정 값 이상이 되면 백오프 시간을 이전 전송의 값보다 1 적은 값을 선택하여 DCF 보다 충돌 발생 가능성을 줄였다 [4]. GDCF 을 개선한 Enhanced GDCF(EGDCF)에서는 일정 값을 선택된 백오프 시간마다 다르게 할당함으로써 기존 GDCF 가 가지고 있던 적은 부하에서의 고정된 백오프 시간을 동적으로 선택되게 할 수 있었다 [5]. DCF 가 원천적으로 내제하고 있는 동일한 백오프 시간을 선택하는 문제는 CW 와 백오프 시간을 조절하는 방법으로 해결 가능하지만 특정 단말에게만



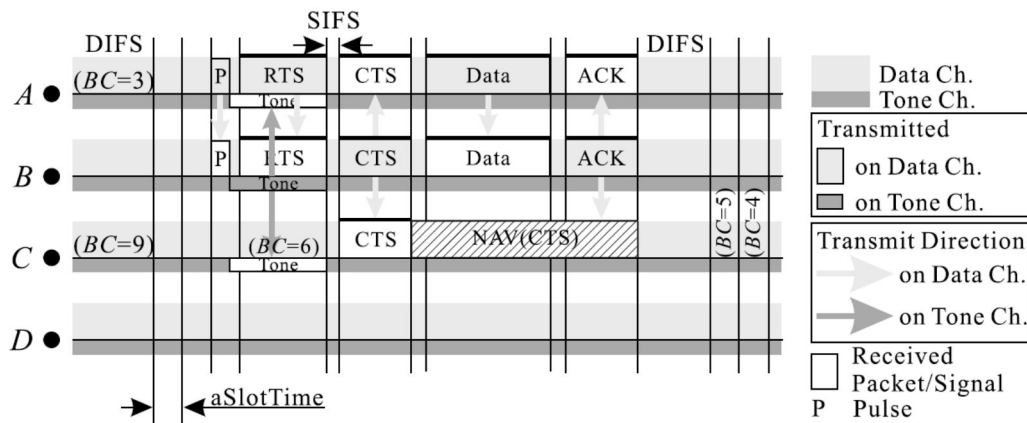
유리하게 작동하여 네트워크의 공정성을 저하시킨다. 본 논문에서 제안하는 방법은 CW 나 백오프 시간을 기존 DCF 와 동일하게 적용함으로써 호환성을 유지하면서 DCF 가 가지고 있는 공정성 역시 유지할 수 있다.

한편으로는 본 논문에서 제안한 첫 번째 재전송 방법은 재전송에서 성공할 경우 연속적인 전송 기회를 제공하는 방법론적인 측면에서 dynamic transmission opportunity(TXOP) 방법 중 하나이다. IEEE 802.11e 에서 TXOP 는 quality of service(QoS)와 네트워크의 채널 이용률을 높이기 위하여 제안되었다 [6]. 이후 TXOP 의 장점으로 인하여 여러 곳에서 고정된 TXOP 값을 사용하는 것이 아닌 동적 TXOP 을 이용하여 무선랜에서 상/하양 전송 불균형 문제와 단말들 사이의 불균형 문제들을 해결해왔다 [7][8]. 이러한 방법들에서 TXOP 는 중앙 컨트롤러가 네트워크의 상황을 판단 후 결정하여 단말들에게 알리는 중앙집권방식이다. 하지만 제안하는 방법은 각 단말이 충돌 횟수에 의하여 스스로 TXOP 를 결정하는 분산처리방식으로 네트워크의 부하를 줄이고, 변화에 능동적으로 대처할 수 있다. 그리고 TXOP 사용 목적에서도 충돌을 해결하기 위하여 사용하는 것으로 기존의 dynamic TXOP 와 차이점을 알 수 있다.

또 다른 충돌 원인인 숨겨진 단말 문제 해결을 위하여 제안된 충돌 예방 방법은 주로 채널을 미리 예약하는 방식을 이용하였다. Floor Acquisition multiple Access(FAMA)는 request-to-send(RTS)와 clear-to-send(CTS)을 이용하여 데이터 전송 전에 채널을 예약할 수 있었다 [9]. 무선 네트워크에서 RTS/CTS 사용은 완벽하게 충돌을 예방할 수 없기에 FAMA 는 동적으로 채널을 감지함



으로써 이를 해결하였다. RTS Collision Avoidance(RCA) 역시 충돌 예방 방법 중 하나로 데이터를 전송할 단말이 주변 단말의 주변 단말에게 앞으로의 전송을 알림으로써 충돌을 해결하였다 [10].

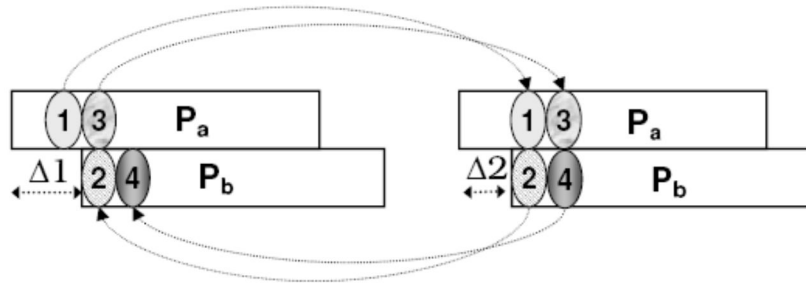


[그림 2.1] RTS Collision Avoidance (RCA)방법의 예 [10]

이러한 데이터 전송 전에 앞으로 채널을 사용할 시간을 주변 단말들에게 알려줌으로써 충돌을 해결하는 방법들은 충돌을 크게 줄일 수 있지만 컨트롤 채널 이용과 컨트롤 프레임 전송 시간의 낭비로 추가적인 비용이 많음을 알 수 있다.

충돌 회복에는 충돌을 허용하고, 충돌이 발생하면 빠르게 대처함으로써 충돌에 대한 보상을 단말에게 해주는 방법이다. Zigzag decoding은 충돌을 경험한 데이터 프레임을 반복적으로 해석하는 작업을 통하여 심지어 여러 개의 데

이터가 충돌하는 경우에도 데이터 프레임들의 복구가 가능하다 [11]. 하지만 올바른 해석을 위하여 모든 데이터 프레임의 크기가 동일해야 한다는 조건이 존재한다.



[그림 2.2] Zigzag decoding 방법 [11]

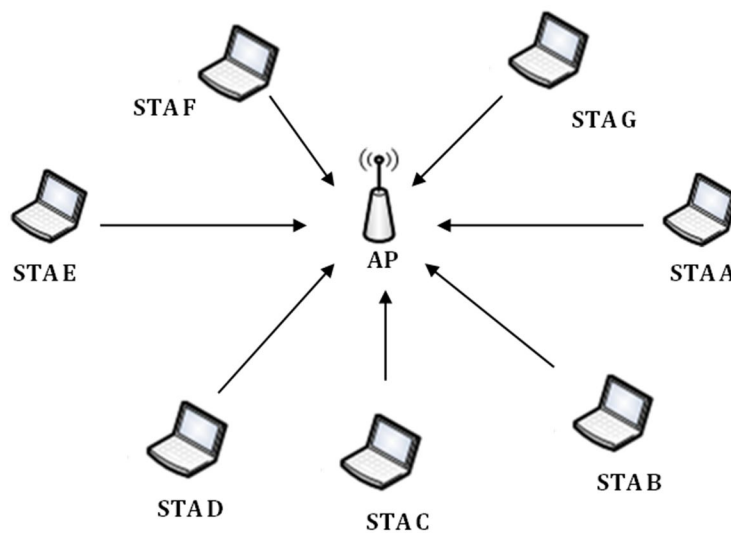
Carrier Sense Multiple Access with Collision Notification(CSMA/CN)은 송/수신이 가능한 안테나와 수신만이 가능한 안테나를 사용하여 수신 단말이 Zigzag decoding 과 동일한 방법으로 충돌을 인지하고 송신 단말에게 알려줌으로써 빠르게 전송을 멈추고 재전송을 시도한다 [12]. 충돌에 대한 빠른 대처가 가능하지만 실제 전자기파를 이용한 전송 환경에서는 송신 단말 안테나에서 전송 중인 신호에 의하여 또 다른 수신 안테나로 들어오는 충돌 메시지가 상쇄되어 버리는 문제가 존재한다.

본 논문에서 제안하는 빠른 재전송 방법 역시 충돌 복구에 관한 방법으로 전송 단말들이 차례대로 빠르게 재전송 함으로써 해결할 수 있다. 제안하는 방법은 간단하지만 RTS/CTS 와 같은 프레임 교환 없이 재전송에 필요한 지연 시간을 줄일 수 있다



III. 충돌 유형에 기반한 재전송 방법

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 충돌 유형에 기반한 재전송 방법에 관하여 설명한다. 새로운 재전송 방법에 대한 설명에 앞서 동일한 백오프 시간을 선택한 단말이 둘 이상일 경우 발생하는 충돌을 백오프 충돌, 숨겨진 단말 문제에 의하여 발생하는 충돌을 숨은 충돌로 명한다. 그리고 본 논문에서 제안하는 재전송 방법에 있어서 [그림 3.1]과 같은 상황을 가정한다. 하나의 access point(AP)와 association 된 다수의 단말이 존재하는 무선랜에서 상향 전송만이 존재한 환경에서 AP 만이 수신 단말이 되고, association 된 단말들이 송신 단말이 되기 때문에 충돌은 AP 에서만 발생한다. 이번 장 이후 백오프 충돌과 숨은 충돌에 대한 재전송 방법을 나누어 설명한다.



[그림 3.1] 제안하는 방법에서의 네트워크 환경



3.1 백오프 충돌에 관한 재전송 방법

DCF 에서 백오프 충돌은 내제된 충돌로 단말의 수가 많아 경쟁이 심한 포화상태의 네트워크에서 충돌에 의하여 네트워크의 처리량의 급격한 저하뿐 아니라 데이터 전송 지연에 의하여 큰 문제를 발생시킨다. 이번 장에서 제한하는 백오프 충돌에 관한 재전송 방법은 기존의 백오프 충돌을 다루는 방법과는 달리 모든 단말들에게 동일한 공정성을 유지하면서도 포화상태인 네트워크의 처리량 향상을 가져오는 효율적인 방법이다.

3.1.1 백오프 충돌에 대한 보상

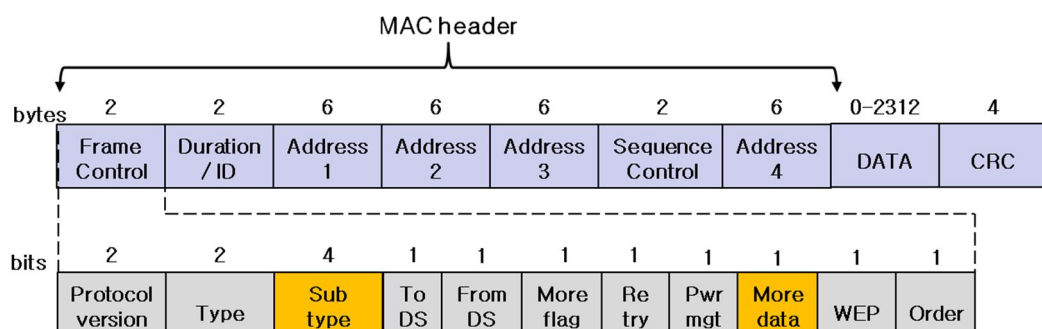
일반적인 무선 통신 장비에서 데이터 전송은 순차적으로 다음과 같이 동작한다. 상위 계층에서 데이터가 MAC 계층으로 전달되고, 전달된 데이터는 MAC 계층의 큐에 저장된다. 데이터가 큐에 저장된 순간부터 단말은 DCF 방식으로 채널에 접근을 시도한다. 만약 충돌을 경험한다면 충돌 횟수를 기억하고, 충돌이 발생한 빈도에 따라서 CW 의 범위를 다르게 하여 연속적으로 발생할 수 있는 충돌을 없애기 위하여 노력한다. 무선랜에서 표준으로 사용하는 IEEE 802.11 그룹에서 현재 사용중인 802.11g 와 802.11n 은 CW 의 최대값이 15 에서 1023 까지 7 개가 존재한다.

새로운 재전송 방법은 CW 의 최대값 선택을 위하여 큐에 저장된 데이터



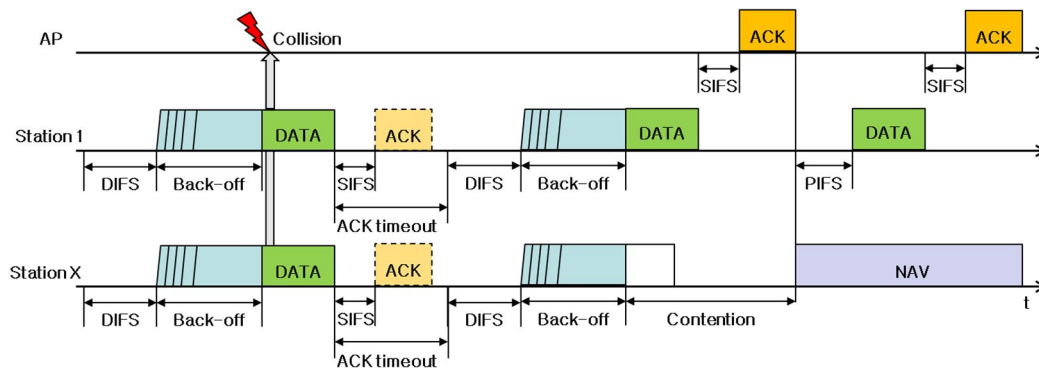
가 경험한 충돌 횟수를 저장하는 것을 이용한다. 즉, 충돌을 경험한 단말의 큐에는 더 많은 전송할 데이터가 존재할 것이고, 재전송에 성공하였을 경우 추가적인 전송 기회를 보장함으로써 단말의 전송된 데이터의 수를 늘릴 수 있고, 공정성이 보장된다면 결국 네트워크 전체의 처리량 증가라는 결과를 가져올 수 있다.

추가적인 전송기회는 재전송에 성공한 데이터가 경험한 충돌 횟수와 같게 할 수 있다. 충돌 횟수는 각 단말에서 저장하는 변수이기 때문에 전송기회 보장 횟수를 위하여 또 다른 저장공간을 만들 필요가 없다. CW 의 최대값을 위하여 저장되는 충돌 횟수는 최대 7 까지 임으로 이번 장에서 제안하는 백오프 충돌 처리 방법에서 최대 보장하는 추가적인 전송기회 역시 7 번이다. 그리고 무선랜에서 MAC 계층의 헤더 부분의 “More data” 필드를 이용하여 추가적인 전송기회가 주어졌는지를 AP 가 알 수 있다 [그림 3.2]. AP 는 “More data” 필드



[그림 3.2] IEEE 802.11 MAC 계층의 프레임 구조





[그림 3.3] 백오프 충돌 처리 방법

값이 “1” 이라면 현재 전송 단말의 추가적인 전송기회를 보장해야 하기에 “Duration/ID” 필드에 NAV 값을 넣어 ACK 를 보낸다. 전송 단말에게 올바르게 재전송이 성공했다는 의미의 ACK 는 다른 단말들 역시 들을 수 있기에 추가적인 전송을 보장받을 수 있다. 또한 추가적인 전송은 DIFS 가 아닌 PCF IFS(PIFS)만큼 대기한 후 전송을 시도함으로써 다른 단말들보다 채널 접근에 있어서 우선권을 보장받는다.

백오프 충돌에 기반한 재전송 방법에 관한 자세한 예시는 [그림 3.3]와 같다. 두 단말 1 과 X 가 DCF 방식에 의하여 DIFS 만큼 기다린 후에 추가적으로 백오프 시간만큼 기다리고 AP 에게 데이터를 전송한다. 두 단말 1 과 X 에서 선택된 랜덤 백오프 시간이 동일하여 백오프 충돌이 AP 에서 발생되어 ACK 을 전송하지 않는다. 두 단말들은 모두 ACK 타임아웃이 발생되어 재 전송을 시도하고, 단말 1 이 우선적으로 백오프 시간이 0 이 되어 데이터를 전송한다. 이때 MAC 헤더의 “More data”의 값을 “1”로 하여 전송함으로써 AP 는 단말 1



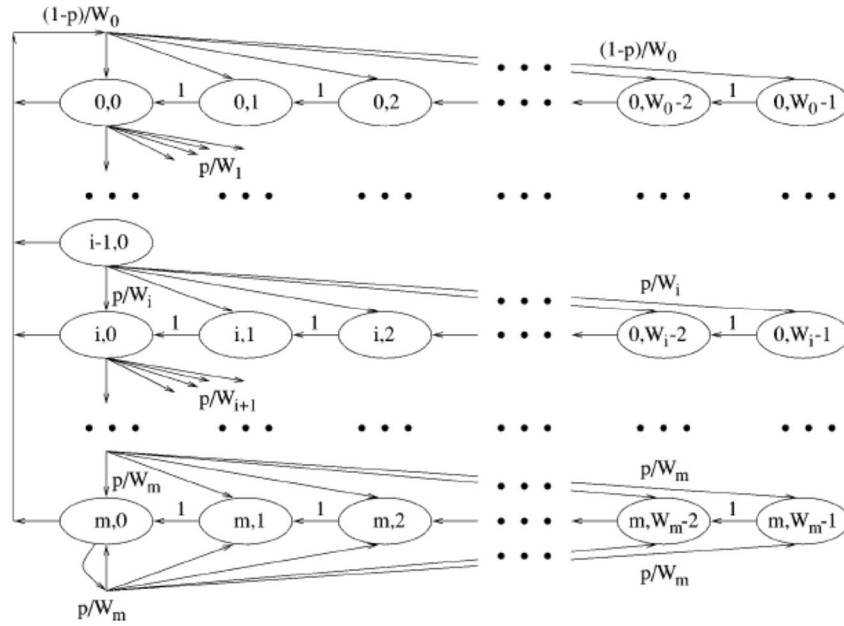
이 충돌을 경험하여 추가적인 전송기회를 보장받기를 원한다는 것을 알 수 있다. 그렇기에 ACK 에 NAV 값을 넣어 전송하고, 다른 단말 X 는 이 NAV 에 의하여 채널 접근 시도를 하지 않는다.

3.1.2 Bianch 의 모델을 이용한 경향적 분석

무선랜의 성능을 경향적으로 분석함에 있어서 2000 년에 G. Bianchi 가 제안한 모델을 이용하였다 [13]. Bianch 는 2 차원 Markov 체인을 이용하여 네트워크에 참여한 단말의 충돌확률과 전송기회를 얻을 확률을 계산하였다. 이 두 값들을 이용하여 네트워크의 성능을 추정하였고, 이를 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 본 논문에서는 Bianch 의 모델을 이용하여 백오프 충돌에 의한 재전송 방법에 대한 경향적인 분석을 한다. Bianch 의 모델을 간단히 설명하면 다음과 같다.

무선 네트워크에 참여하여 데이터 전송을 원하는 단말들의 충돌 확률과 전송 기회를 얻을 확률을 계산하여야 한다. 우선적으로 IEEE 802.11 을 표준 기술로 하는 무선랜에서의 단말들은 모두 DCF 방식으로 채널에 접근한다. DCF 에서는 DIFS 대기는 모든 단말이 동일하고, 다만 각 단말의 백오프 시간만이 다르다. 각 단말의 백오프 시간 선택에 있어서 중요한 CW 값을 2 차원의 Markov 체인을 이용하여 나타내면 [그림 3.4]과 같다. [그림 3.4]에서 p 는





[그림 3.3] Bianchi Markov 체인 모델 [10]

conditional collision probability 이고, 단말이 채널을 이용하여 데이터를 전송하였을 때 충돌을 경험하는 확률을 의미한다. W 는 각 IEEE 802.11 의 표준에서 정의한 CW 의 최소값이고 $W_i = 2^i W$ 이며, 여기서 i 는 백오프 스테이지로 충돌을 경험한 횟수로 범위는 $i \in (0, m)$ 이다. m 은 최대 백오프 스테이지로 최대한으로 CW 가 커질 때 i 와 같다. [그림 3.4]에서 각 스테이트($b_{i,k}$)는 선택된 백오프 시간과 대기함에 변해가는 백오프 시간을 나타낸다. 모든 스테이트의 합은 Markov 체인의 정의에 의하여 1 이다. 이를 이용하여 각 계층에서 첫 번째 스테이트에 단말이 존재할 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.



$$b_{i,k} = \frac{w_i - k}{w_i} \cdot \begin{cases} (1-p) \sum_{j=0}^m b_{j,0} & i = 0 \\ p \cdot b_{i-1,0} & 0 < i < m \\ p \cdot (b_{m-1,0} + b_{m,0}) & i = m \end{cases}$$

$$\begin{aligned} 1 &= \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{w_i-1} b_{i,k} = \\ &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} \sum_{k=0}^{w_i-1} \frac{w_i - k}{w_i} = \\ &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} \frac{w_i + 1}{2} = \frac{b_{0,0}}{2} \left[W \left(\sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i + \frac{(2p)^m}{1-p} \right) + \frac{1}{1-p} \right] \end{aligned}$$

위 두 식을 이용하여 간단히 하면, $b_{0,0}$ 의 확률을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$b_{0,0} = \frac{2(1-2p)(1-p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)}$$

각 단말이 전송기회를 얻을 확률을 τ 라 표기하고, [그림 3.3]에서 확인 할 수 있듯이 모든 계층의 첫 번째 스테이지($b_{i,0}$)에서 전송기회를 얻기 때문에 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다:

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p} = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)}$$



또한, 각 단말의 전송이 충돌이 경험할 확률은 전송기회를 얻은 단말이 하나 이상인 경우이기에 다음과 같다:

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1}$$

한편, 본 논문에서 정규화 된 처리량(normalized throughput)은 단말이 네트워크에서 데이터를 전송하는데 소비하는 시간비율을 말하며 채널 이용률 또는 채널 효율로도 불린다. 각 단말의 전송기회 확률(τ)과 전송한 데이터가 충돌을 경험할 확률(P)을 이용하여 포화상태에서의 IEEE 802.11 DCF 네트워크 모델에 대한 성능을 알 수 있다. IEEE 802.11 의 정규화된 시스템 처리량(S)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S = \frac{E[\text{payload information transmitted in a slot time}]}{E[\text{length of a slot time}]}$$

S 을 수식으로 표현하기 위하여 $E[P]$ 가 평균 데이터 전송 시간, P_s 가 전송된 데이터가 성공적으로 전송될 확률, 그리고 P_{tr} 가 네트워크에 적어도 하나의 단말이 데이터를 전송할 확률로 정의 할 수 있다. 따라서 $P_s P_{tr} E[P]$ 은 데이터를 전송하는 단말이 충돌을 경험하지 않고 하나의 데이터를 성공적으로 전송할 확률의 기대 값이라 할 수 있다. 또한 하나의 데이터를 성공적으로 전송하기 위하여 단말이 소비하는 시간은 다음과 같다: 단위 시간 동안 아무런 단말도



전송을 시도하지 않는 시간 $[(1 - P_{tr})\sigma]$, 데이터를 성공적으로 전송한 시간 $(P_{tr}P_sT_s)$, 그리고 데이터 전송이 충돌을 경험한 시간 $[P_{tr}(1 - P_s)T_c]$ 의 합으로 표현 할 수 있다. 이를 종합하여 정규화된 시스템 처리량, S 을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$S = \frac{P_s P_{tr} E[P]}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr} P_s T_s + P_{tr}(1 - P_s)T_c}$$

$$T_s = PHY_{hdr} + MAC_{hdr} + E[P] + SIFS + \delta + ACK + DIFS + \delta$$

$$T_c = PHY_{hdr} + MAC_{hdr} + E[P] + DIFS + \delta$$

위 두 식에서 PHY_{hdr} 와 MAC_{hdr} 은 물리와 MAC 계층 헤더의 전송 시간, SIFS(short inter-frame space)은 IEEE 802.11 에서 미리 정의된 컨트롤 프레임과 매니지먼트 프레임 전송을 위한 시간이고, δ 는 전자기 신호가 공기 중에 전파되는 시간이고, 그리고 마지막으로 ACK은 ACK 의 전송 시간이다.

이번 장에서 제안하는 재전송 방법은 충돌을 경험한 횟수만큼 추가적인 전송 기회를 보장해 주는 것으로 백오프 충돌을 해결하였다. 이를 위해서는 하나의 단말이 경험하는 충돌의 기대 값을 계산하여야 한다. 하나의 단말이 충돌을 경험할 확률이 p 와 같기에 p 에 각 소모되는 시간을 곱함으로써 백오프 충돌 처리 방법에 대한 정규화된 시스템 처리량(S_C)을 구할 수 있다. 즉,



$$S_c = \frac{P_s P_{tr} E[P](1 + p)}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr} P_s (T_s + p T_p) + P_{tr} (1 - P_s) T_c}$$

$$T_p = PHY_{hdr} + MAC_{hdr} + E[P] + SIFS + \delta + ACK + PIFS + \delta$$

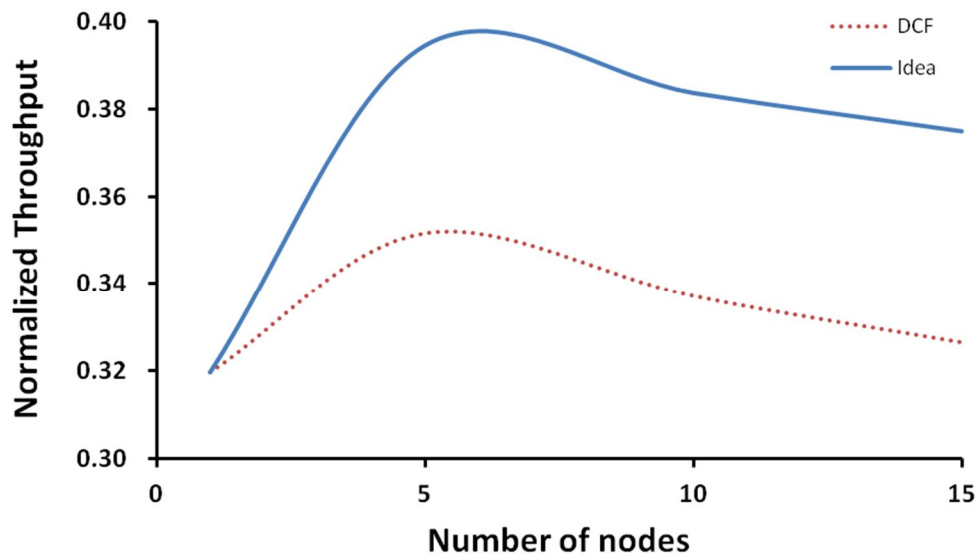
T_p 는 재전송에 성공한 단말이 추가적으로 보상받아 연속적으로 데이터가 전송되는 시간으로 기존의 T_s 와 비교하면 DIFS가 PIFS로 바뀌었다.

재전송 방법에 관한 경향성을 나타내기 위하여 mathematica 프로그램을 이용하여 성능평가를 수행하였다. 다양한 무선랜 표준에서 현재 가장 많이 사용되고 있는 IEEE 802.11g을 기준으로 분석을 하였다 [표 1] [11].

Parameter	Value
Max Bit Rate	54 Mbps
Payload	512 byte
Short IFS (SIFS)	16 μ s
PCF IFS (PIFS)	25 μ s
Distributed IFS (DIFS)	34 μ s
A Slot Time	9 μ s
Propagation Delay	1 μ s
Contention Window Min/Max	15 / 1023

[표 1] 시뮬레이션 환경 파라미터





[그림 3.5] Bianch 모델을 이용한 정규화된 처리량

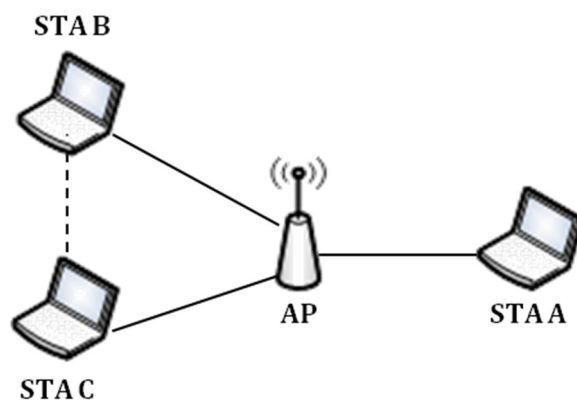
[그림 3.5]는 Bianch 모델을 이용한 정규화된 처리량을 분석한 결과이다. 이론적인 분석 결과 네트워크에 참여하는 단말의 수가 많을수록 DCF 는 충돌이 자주 발생하여 전체적인 네트워크 처리량 감소를 확인할 수 있었다. 하지만 백오프 충돌 처리 방법([그림 3.5]에서 “Idea”)은 네트워크에 참여하는 단말이 많아지더라도 비교적 적은 감소를 보였다.

3.2 숨은 충돌에 관한 재전송 방법

이 장에서는 무선 네트워크에서 잘 알려져 있는 숨겨진 단말 문제 때문에 발생하는 숨은 충돌에 대한 재전송 방법을 제시한다. 본 논문에서는 숨겨진



단말 문제에 대하여 만약 단말 A가 단말 B와 단말 C와 서로 숨겨진 관계라면, 단말 B와 단말 C는 절대로 서로 숨겨진 관계가 될 수 없는 가정을 한다 [그림 3.6]. 이는 다양한 무선 장비들의 하드웨어가 발달하고 강력한 전송기술이 개발되면서 전송범위가 넓어지고 있는 환경이기 때문에 충분히 타당하다. 또한 본 논문에서는 데이터 전송 시에 발생하는 충돌에 대한 해결책 제시에 중점을 두었기에, association, authentication, synchronization 등 기타 MAC 계층의 이슈에 대해서는 완벽하게 이뤄지고 있다고 가정한다.



[그림 3.6] 무선 네트워크에서 단말들의 hidden 관계

이번 장에서는 AP가 숨은 충돌을 인지하는 알고리즘과 AP가 인지한 이후 희생 단말들에게 알려줌으로 빠르게 재전송을 가능하게 하는 재전송 방법에 대하여 자세하게 설명한다.

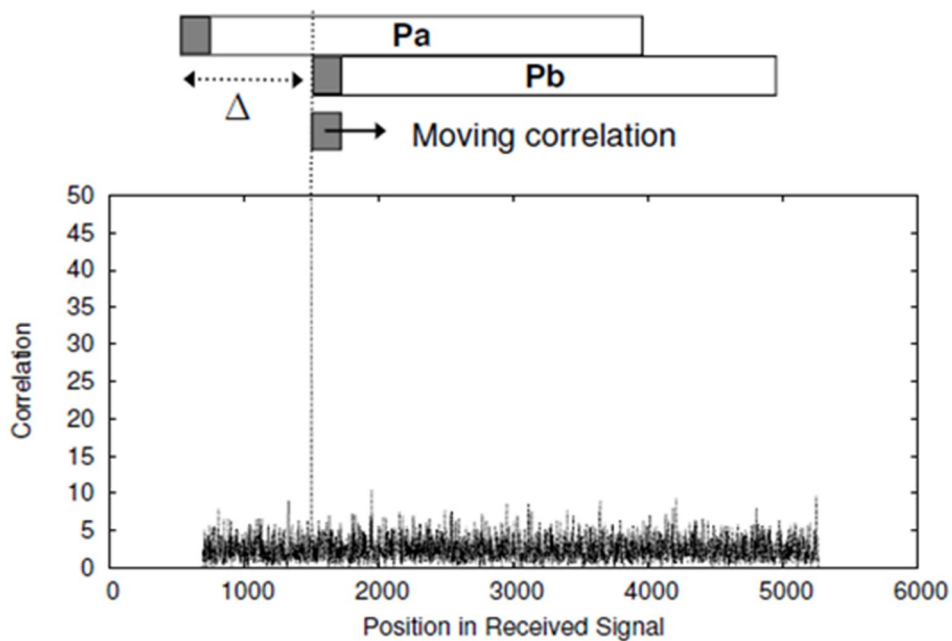
3.2.1 숨은 충돌 감지

일반적으로 무선 네트워크에서 단말은 송신과 수신을 동시에 할 수 없다. 왜냐하면 자신이 전송하는 전자기파의 신호가 다른 단말이 전송하는 그 어떤 전자기파 신호보다 세기 때문이다. 이러한 이유에 의하여 전송 단말은 데이터 충돌을 감지할 수 없고, 수신 단말에서만 충돌을 감지할 수 있다. 수신 단말인 AP에서는 채널 간섭과 백오프 충돌, 그리고 숨은 충돌 등으로 인하여 cyclic redundancy checking(CRC) 값을 비교함으로써 데이터가 충돌을 경험하였는지 알 수 있다. 데이터 전송 중에 앞에서 언급했던 여러 가지 이유로 CRC 값이 다르게 나오는데 그에 따른 해결 방법이 다르기 때문에 CRC가 실패한 이유를 아는 것은 매우 중요하다. 하지만 지금까지의 연구에서는 AP는 CRC 값이 변한 이유를 모르고, 단순히 ACK을 전송하지 않음으로써 전송 단말에서 ACK 타임아웃으로 재전송을 시도하게 만들었을 뿐이다.

빠른 재전송 방법에서는 정확하게 AP에서 숨은 충돌을 감지할 수 있도록 물리 계층의 PLCP preamble을 이용한다. 무선 통신에서 PLCP preamble은 pseudo random noise (PRN)의 특성을 지닌다. PRN은 미리 잘 정의된 일련의 펄스 신호로 Gaussian White Noise(GWN)와 매우 비슷하다 [12]. 이론적으로 GWN은 다른 전자기파 신호와 독립적인 특성을 지니기 때문에 다른 신호와 중복되어 수신되더라도 쉽게 감지할 수 있다. AP는 임의의 신호를 수신할 경우, 우선적으로 preamble correlation을 수행하여 수신되는 신호가 데이터인지를 확인



한다 [8, 9]. [그림 3.7]에서 확인할 수 있듯이 AP가 preamble correlation을 수행하는 도중에 preamble의 신호를 수신하게 되면 correlation 값이 갑자기 치솟는다. 무선 네트워크에서 널리 사용하는 GNU Radio 수신 장치는 [그림 3.8]과 같다 [13]. 안테나로 수신된 전자기파 신호들은 우선적으로 low pass filtering 모듈을 통과하고 preamble correlation을 수행 당한다. 만약 correlation 값이 일정 한 계치를 넘으면 AP는 이후의 신호는 의미가 있는 데이터로 간주하고 flag bit를 “1”로 바꾸고, 이후의 심볼들은 demodulator로 전송되어 해석 작업을 거쳐



[그림 3.7] Preamble correlation을 이용한 숨은 충돌 감지 [8]

25

얻을 수 있고, 이후 설명하는 숨은 충돌 처리 방법에 있어서 희생 단말들에게 빠른 재전송을 제공할 수 있도록 사용된다.

3.2.2 빠른 재전송 메커니즘

빠른 재전송 방법에서는 N-ACK 이라 불리는 컨트롤 프레임을 새롭게 정의한다. AP 에서 숨은 충돌이 발생하면 단말들은 N-ACK 을 엿들을 수 있고, 빠른 재전송 방법의 요구사항들을 알 수 있다. [그림 3.2]과 같이 IEEE 802.11 MAC 계층의 프레임에서 6 비트를 이용하여 프레임의 타입을 정의한다. 일반적으로 무선랜에서 프레임의 종류는 데이터 프레임(data frame), 컨트롤 프레임(control frame), 관리 프레임(management frame)으로 나뉘며 각 프레임들은 “10”, “01”, 그리고 “00”의 값을 type 으로 정의하였다.

무선랜에서 각 단말의 동작을 제어하기 위하여 사용되는 컨트롤 프레임에는 ACK, RTS, CTS 등이 존재한다. 이번 장에서 제안하는 빠른 재전송 방법에서 새롭게 정의된 N-ACK 역시 컨트롤 프레임 중 하나로 볼 수 있기에 type 필드에 “01”의 값을 취한다. 현재 IEEE 802.11 에서 정의한 컨트롤 프레임의 종류는 총 6 개이고, 컨트롤 프레임을 구별하기 위해서 사용되는 비트는 4 비트이다. 4 비트의 정보를 이용하여 감별할 수 있는 수는, $2^4 = 16$ 개로 10 개가 사용되지 않고 있다. 이를 이용하여 “1001”을 새롭게 정의한 N-ACK 을 위해 사용함으로써 추가적인 비트에 대한 비용을 없앨 수 있다 [표 2].



Type	Type Description	Subtype	Subtype Description
00	Management	-	-
01	Control	0000-1000	Reserved
		1001	N-ACK
		1010	PS-Poll
		1011	RTS
		1100	CTS
		1101	ACK
		1110	CF End
		1111	CF End + CF ACK
10	Data	-	-
11	Reserved	-	-

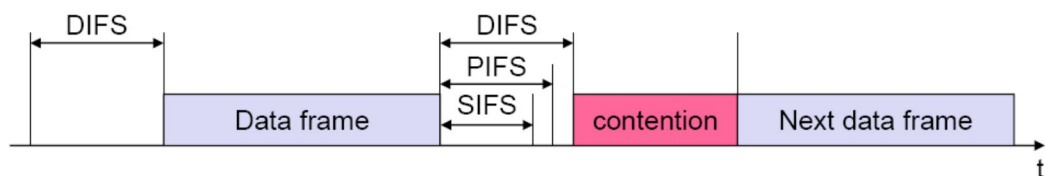
[표 2] IEEE 802.11 프레임 종류 및 type과 subtype 값

AP 가 숨은 충돌을 단말들에게 알리기 위하여 사용되는 N-ACK 의 subtype 을 제외한 나머지 프레임 구조는 ACK 과 동일하다. 그래서 AP 가 N-ACK 의 duration 필드를 이용할 수 있고, 그렇기 때문에 N-ACK 을 해석한 숨은 충돌과 관계 없는 단말들은 채널에 접근하기 위한 시도를 빠른 재전송 시간 동안 하지 않는다.

이번 장에서 제안하는 빠른 재전송 방법은 다음과 같다. 숨은 충돌이 첫



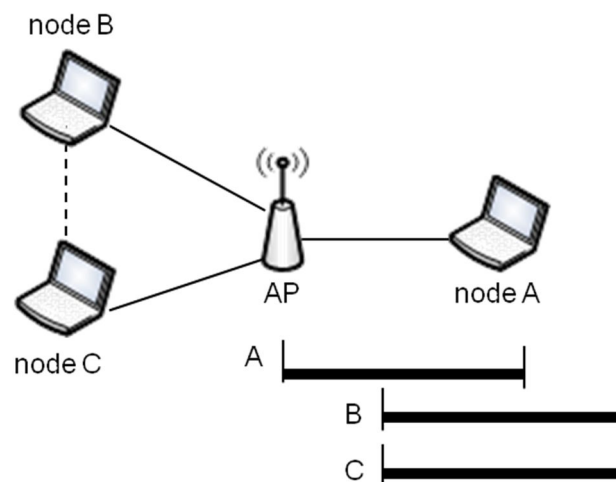
번째 데이터의 MAC 헤더까지 정상적으로 전송된 후에 발생한다면 AP는 숨은 충돌을 감지하고, 빠른 재전송을 위하여 첫 번째 데이터의 MAC 헤더로부터 첫 번째 단말의 정보를 추출한다. 그런 다음, AP는 첫 번째 단말에게 N-ACK을 전송함으로써 데이터가 충돌을 경험하였음을 알린다. AP는 하나의 단말에게 N-ACK을 전송하지만 전자기파 신호를 공기에 뿌리는 무선 네트워크의 환경 때문에 다른 단말들은 엿들을 수가 있다. 그렇기 때문에 숨은 충돌을 발생시킨 두 번째 단말 역시 예상된 ACK가 아닌 N-ACK을 수신하여 자신의 데이터 전송이 AP에서 충돌하였음을 인지한다. N-ACK을 수신한 이후, 첫 번째 단말은 PIFS 만큼 기다린 후에 재전송을 시도한다. 숨은 충돌로 인하여 이미 ACK 타임아웃 이벤트가 발생하여 이미 기존의 IEEE 802.11 재전송 알고리즘을 진행하고 있더라도 N-ACK을 수신한다면 빠른 재전송 방법을 따른다. 채널 접근에 있어서 우선권을 보장하기 위하여 다른 단말들과 다른 PIFS를 첫 번째 단말에게 준 이유는 다음과 같다. 일반적으로 IEEE 802.11MAC의 DCF에서는 총 4개의 미리 정의된 IFS가 존재한다 [그림 3.9].



[그림 3.9] IEEE 802.11에서 각 IFS 시간



일반적인 단말은 DIFS 만큼 기다린 후 전송을 시도하기에 SIFS 나 PIFS 는 충돌 없이 채널을 접근할 수 있음을 보장받는다. 첫 번째 재전송의 ACK 으로 첫 번째 단말의 재전송이 끝났음을 다른 단말들은 알 수 있다. 이후 숨은 충돌을 일으킨 단말은 DIFS 만큼 대기한 후 재전송을 함으로써 빠르게 순차적으로 재전송을 할 수 있다. 백오프 시간이 없는 이유는 두 번째 재전송도 충돌을 없애기 위함이다. 하지만 때때로 두 번째 재전송이 동일한 백오프 시간을 선택한 다른 단말의 전송에 충돌을 경험할 수 있다 [그림 3.10]. 이러한 경우 반드시 두 번째 단말의 빠른 재전송은 백오프 충돌을 경험한다. 그러나 일반적으로 사용하는 무선랜에서는 이러한 상황이 발생할 확률은 매우 낮다. 더구나 [그림 3.10]와 같이 두 번째 단말이 복수라도 첫 번째 단말의 빠른 재전송은 성공한다.



[그림 3.10] 복수의 숨겨진 단말에 의한 충돌

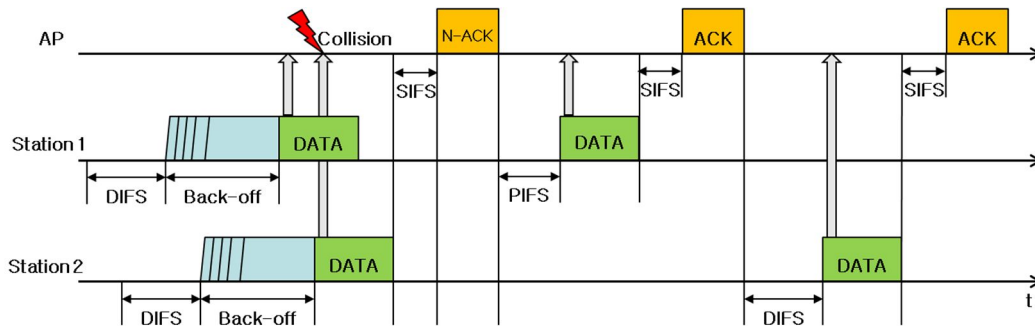
이번 장에서 제안하는 빠른 재전송 방법은 간단하지만 재전송에 소비되는 시간을 줄일 수 있다. 다음은 숨은 충돌을 해결하기 위한 빠른 재전송 알고리즘의 pseudo-code이다:

Algorithm: Transmitter
<ol style="list-style-type: none"> 1. Transmission data frame 2. Wait ACK frame 3. if (timer) a ACK time out then 4. Start retransmission () 5. if (N-ACK) receive N-ACK then 6. Start fast retransmission () 7. else if (N-ACK) receive N-ACK then 8. Start fast retransmission () 9. else wait
Algorithm: Receiver
<ol style="list-style-type: none"> 1. Receive the signal 2. if (preamble correlation) preamble then 3. if (control flag) on then 4. Hidden collision happen 5. Prepare N-ACK 6. else all symbol send to MAC 7. else if (control flag) on then 8. All symbol send to MAC 9. else ignore

이번 장에서 제안하는 숨은 충돌 처리를 위한 빠른 재전송 방법에 대한 예시는 [그림 3.11]과 같다. 두 개의 전송 단말 N1 과 N2 가 서로 숨겨진 단말로 존재하고, 동일한 AP 와 관계를 맺고 있다고 가정한다. N1 과 N2 는 서로의 데이터 전송을 감지하지 못한 채 AP 에서 숨은 충돌이 발생한다. AP 는 숨은 충돌을 인식하고 N-ACK 을 N1 에게 전송한다. N1 은 다른 단말과의 경쟁 없이



채널에 접근하여 데이터를 전송하고, N1의 재전송이 성공하면 N2가 재전송을 시도하고, 성공한다.



[그림 3.11] 빠른 재전송 절차

3.2.3 이론적인 성능 분석

이번 장에서는 빠른 재전송을 DCF와 RTS/CTS 함께 이론적으로 분석하고 그 결과를 토의한다. 무선랜에 하나의 AP와 서로 숨겨진 관계에 존재하는 두 단말이 존재한다고 가정한다. 그리고 두 단말은 AP에게 보낼 데이터가 존재하고, 채널 사용을 위해 경쟁한다. 이러한 경우 두 단말이 모두 성공적으로 데이터 전송에 성공할 때까지의 요구된 시간을 분석함으로써 이론적인 성능을 검증한다.

앞서 가정한 사항에 맞춰, DCF, RTS/CTS, 그리고 제안하는 빠른 재전송 방



법에서 사용하는 모든 시간은 다음과 같은 식에서 쉽게 구할 수 있다. 각 식에 존재하는 용어는 [표 3]에 정리하였다.

Symbol	Description	Symbol	Description
T_S	SIFS Time	T_{RTS}	Tx time of RTS
T_P	PIFS Time	T_{CTS}	Tx time of CTS
T_D	DIFS Time	T_{ACK}	Tx time of ACK
P_{CW}	Prob. Of CW	T_{NACK}	Tx time of N-ACK
δ	A slot time	T_{DATA}	Tx time of DATA
T_C	Time interval between hidden collision		

[표 3] 부호 및 용어 정리

$$T_{DCF} = T_C + T_{ReTx}, T_{ReTx} = 2(T_S + T_D + P_{CW} + T_{DATA} + T_{ACK}) + T_{timeout}$$

$$T_{RTS/CTS} = 2(T_{Control} + T_{Tx}) + P_{CW} \cdot \delta, T_{Control} = 2T_S + T_{RTS} + T_{CTS},$$

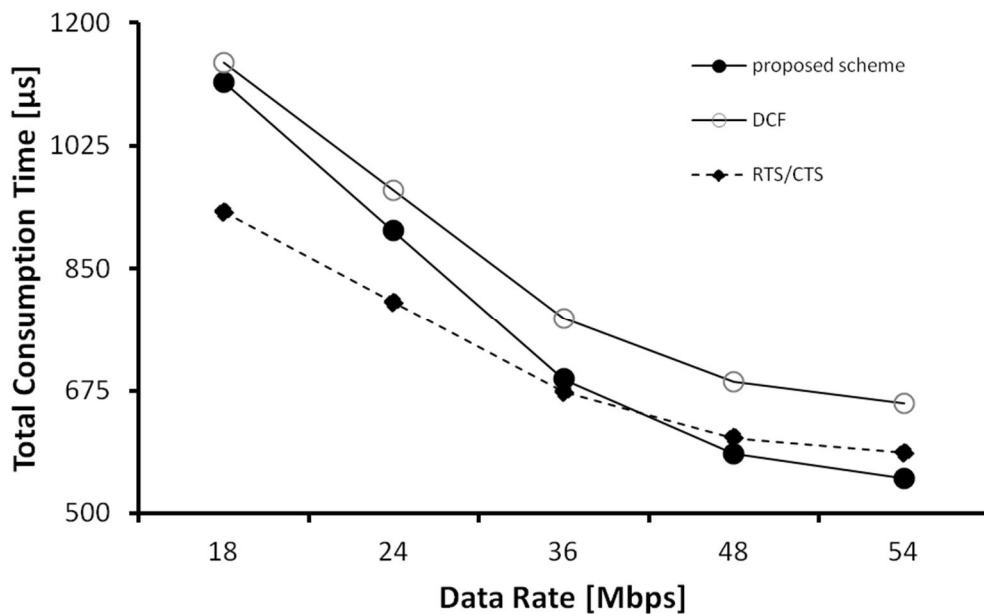
$$T_{Tx} = T_{DATA} + T_S + T_{ACK}$$

$$T_{FR} = T_C + T_{FastReTx}, T_{FastReTx} = 3T_S + 2(T_{DATA} + T_{ACK}) + T_P + T_D + T_{NACK}$$

위 식에서 T_{ReTx} 은 기존의 무선랜에서의 재전송에 소요되는 시간이고, $T_{timeout}$ 은 ACK 타임아웃 이벤트를 위해 미리 정의된 시간이다. 그리고 $T_{Control}$ 은 컨트롤 프레임(RTS 와 CTS)을 교환하는데 소요되는 시간이고, T_{Tx} 는 하나의 데이터가 전송되는 시간이다. 마지막으로 $T_{FastReTx}$ 는 숨은 충돌 처리를 위해 제안하는 빠른 재전송 방법에서 소요되는 시간이다.



앞서 가정한 환경에서는 충돌 확률(P_{CW})의 기대값은 $E[P_{CW}] \cong 8$ 이 되고, 두 번째 전송에 의하여 충돌이 발생할 때까지 성공적으로 소요된 시간은 평균적으로 $T_C = T_{DATA}/2$ 가 된다. 즉, 평균적으로 서로 숨겨진 관계에 존재하면 데이터 전송의 충돌은 첫 번째 데이터 전송의 절반에서 발생한다는 것이다. 그리고 $T_{timeout} = T_S + T_{ACK}$ 로 ACK 타임아웃 이벤트는 ACK가 전송되는 시간에 SIFS 만큼 더해진 시간으로 한다. 백오프 충돌 처리 방법에 대한 이론적인 분석과 마찬가지로 높은 데이터 전송 속도를 제공하는 802.11g을 기준으로 소요되는 시간을 분석하였다.



[그림 3.12] 하나의 데이터 전송에 소요되는 시간



[그림 3.12]은 이론적인 분석의 결과를 보여준다. 빠른 재전송 방법은 데이터 전송 속도가 증가할수록 소요 시간이 급격히 줄어들고, 48 Mbps 이상의 데이터 전송 속도에서는 RTS/CTS 보다 더 적은 시간을 소요한다. RTS/CTS 경우 데이터 전송 속도가 증가할수록 데이터 전송 전에 보내는 컨트롤 프레임의 부담이 커지기 때문에 최근 추세인 높은 데이터 전송 속도를 제공하는 무선랜에 바로 적용하기에는 문제가 있다. 이론적인 분석의 결과, 하나의 데이터 전송에 소요되는 시간은 DCF 와 RTS/CTS 보다 제안하는 빠른 재전송 방법이 적다는 것을 확인할 수 있다.



IV. 성능 평가

이번 장에서는 3 장에서 제안한 무선랜에서 새로운 재전송 방법에 대한 시뮬레이션을 통한 성능평가를 한다.

4.1 모의실험 환경

본 논문에서 가정한 환경과 마찬가지로 모의실험에서 환경도 고속의 데이터 전송 속도를 지원하는 무선랜으로 하나의 A 와 다수의 단말이 존재하는 infrastructure 환경이다.

데이터 충돌 원인에 따라서, 백오프 충돌 재전송 방법에 관한 모의실험은 많은 단말들이 존재하여 무선 네트워크가 쉽게 포화상태에 이른다. 네트워크가 포화상태라 하는 것은 네트워크에 참여한 단말들이 모두 보낼 데이터가 항상 MAC 계층의 큐에 존재한다는 것을 의미한다. 숨은 충돌 처리 방법인 빠른 재전송에 관한 시뮬레이션은 숨겨진 단말이 존재하여 숨은 충돌이 발생하는 환경이다. 이러한 환경은 언제나 네트워크가 포화상태로 가정한다. 두 시뮬레이션 환경 모두 앞선 이론적인 분석과 마찬가지로 IEEE 802.11g 에 명시된 시간 및 전송 속도를 기반으로 동작한다. 성능평가를 위한 모의실험 환경 파라미터는 [표 1]와 같다.

무선랜에서 충돌 유형에 기반한 재전송 방법 시뮬레이션에서 측정한 항



목은 다음과 같다.

- 정규화 된 처리량(normalized throughput): 전체 시뮬레이션 시간에 실제 데이터가 전송된 시간의 비율, 다른 말로 채널 이용률이라고도 한다.
- 평균 대기 시간(average waiting time): 단말이 데이터를 전송하기 위하여 평균적으로 대기하는 시간, 충돌을 경험하여 재전송을 시도하고, 성공한 경우에는 이전 충돌을 경험한 데이터 전송 시간이 포함된다.
- 공정성 지수(fairness factor): 네트워크에 참여하는 모든 단말들의 성공 횟수에 대한 일관성 지수

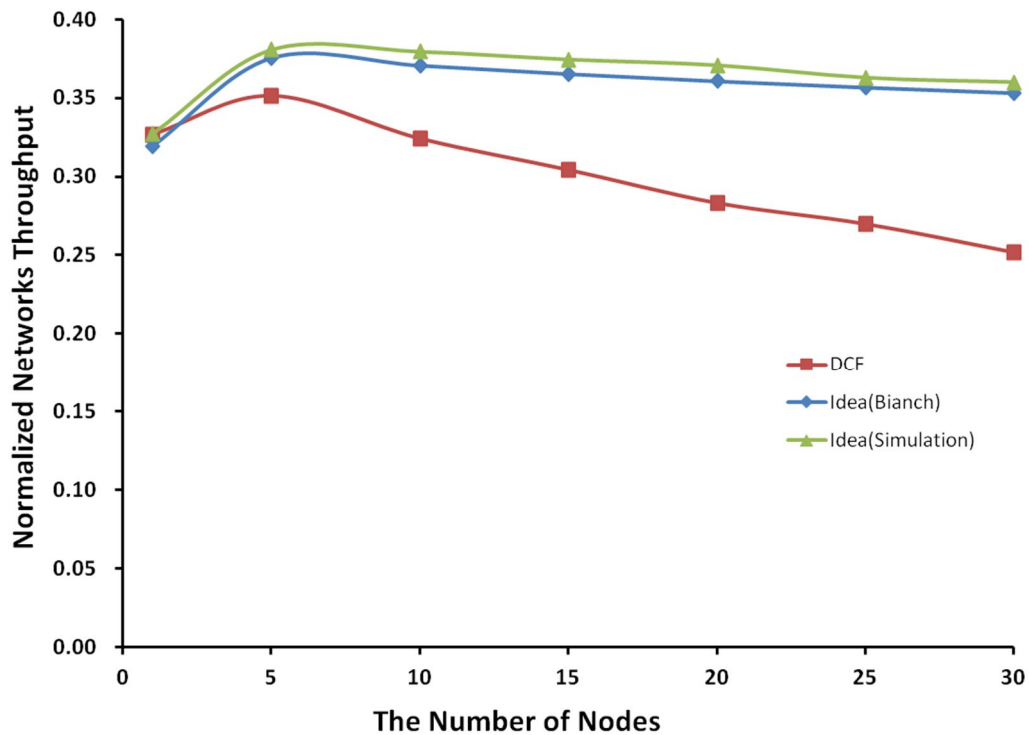
그리고 좀 더 세밀하고 정확한 성능평가를 위하여 백오프 충돌 재전송 방법에서는 사용하는 응용 프로그램에서 데이터 생성 속도를 조절하면서 모의실험을 수행하였다.

4.2 모의실험 결과 및 토의

본 모의실험에서는 기존의 DCF 와 비교하였다. 특히 빠른 재전송방법은 DCF 와 함께 오랫동안 숨겨진 단말 문제에 대한 해결책으로 제시된 RTS/CTS 와도 비교 모의실험 하였다.

첫 번째 모의실험은 백오프 충돌에 기반한 재전송 방법을 네트워크에 참여하는 단말의 수를 최대 30 개까지 증가하면서 정규화된 처리량 변화를 측정하였다. 모의실험 결과는 [그림 4.1]과 같다.





[그림 4.1] 백오프 충돌과 DCF에서의 정규화된 네트워크 처리량 변화

[그림 4.1]에서 확인 할 수 있듯이 DCF 는 네트워크에 참여하는 단말의 수가 증가할수록 처리량이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이러한 경향을 나타내는 이유는 단말의 수가 증가할수록 충돌이 발생할 확률이 높기 때문이다. 이에 반하여 본 논문에서 제안하는 백오프 충돌 처리 방법은 단말의 수가 증가하더라도 처리량이 크게 감소하지 않는다. 이러한 경향을 나타내는 이유는 충돌을 경험한 단말에게 추가적인 전송 기회를 보장해주는 혜택을 제공하여 충돌에 대한 보답을 해 주었기 때문이다. [그림 4.1]과 같이 네트워크에 참여한 단말의

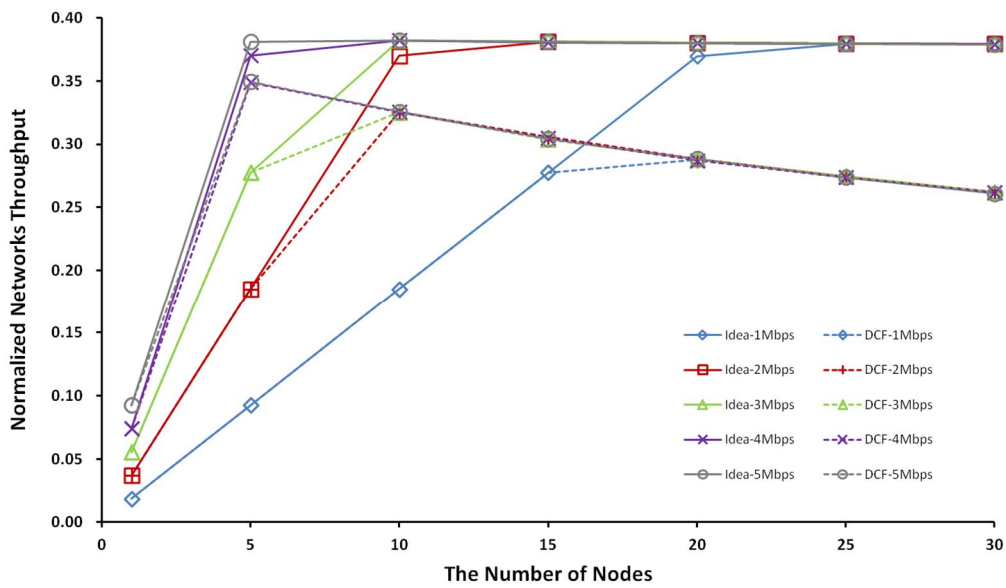


수가 30 개 일 경우 최대 43%의 처리량 향상을 볼 수 있었다.

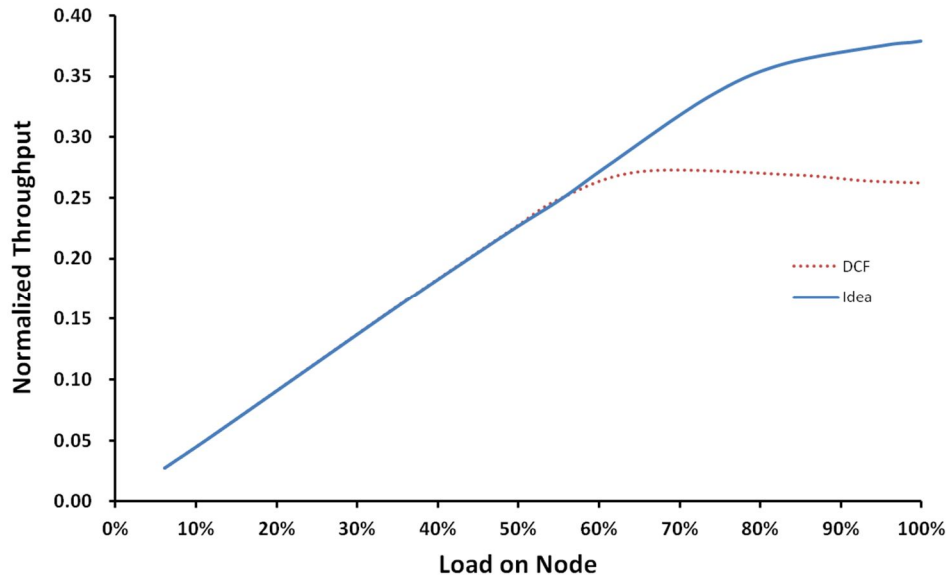
다음 모의실험에선 데이터 생성 속도를 달리하면서 처리량을 측정하였다. [그림 4.2]은 단말에서 데이터 생성 속도를 달리하면서 모의실험을 수행한 결과이다. [그림 4.2]에서 확인 할 수 있듯이 데이터 생성 속도가 빠를수록 네트워크 역시 빠르게 포화상태로 진입한다. 네트워크가 포화상태로 진입하면 충돌에 대한 보상이 확실히 존재하기 때문에 처리량이 늘어난다. 하지만 포화상태에 이르기 전 환경에서는 DCF 와 동일한 성능을 보인다. 이는 각 단말의 MAC 계층의 큐에 전송할 데이터가 없는 환경이기 때문이다. 그렇기 때문에 언제 네트워크가 포화상태가 되고, 네트워크에 데이터 량이 증가함에 따라 어떻게 처리량이 변화하는지가 중요하다. 네트워크의 데이터 량을 변화하기 위하여 각 단말의 부하를 달리 하면서 모의실험을 수행한 결과가 [그림 4.3]이다.

[그림 4.3]의 시뮬레이션은 단말의 개수가 30 개인 네트워크 환경이다. 그래프를 보면 단말에서의 부하가 60% 이상에서 DCF 보다 높은 처리량을 보인다. Bianchi 의 이론적인 모델을 이용하여 계산하면 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있는 최대 정규화된 처리량은 0.35 이다. 이를 IEEE 802.11g 에서 제공하는 최고 데이터 전송 속도, 54 Mbps 와 함께 계산하면 $18.9 (0.35 \times 54)$ Mbps 가 나온다. 수행한 모의실험에서 데이터 생성 속도의 단위가 Mbps 이고, 단말의 개수가 30 개이기 때문에 각 단말의 부하가 60%이면 IEEE 802.11g 네트워크의 기본 처리량은 18 Mbps 가 나옴으로써 이론적인 처리량과 비슷한 수치를 나타낸다. 그렇기 때문에 60%을 단말이 개수가 30 개인 무선랜 포화상태의 시작으로





[그림 4.2] 데이터 생성 속도에 따른 정규화된 네트워크 처리량 변화



[그림 4.3] 단말의 평균 부하에 따른 정규화된 네트워크 처리량 변화

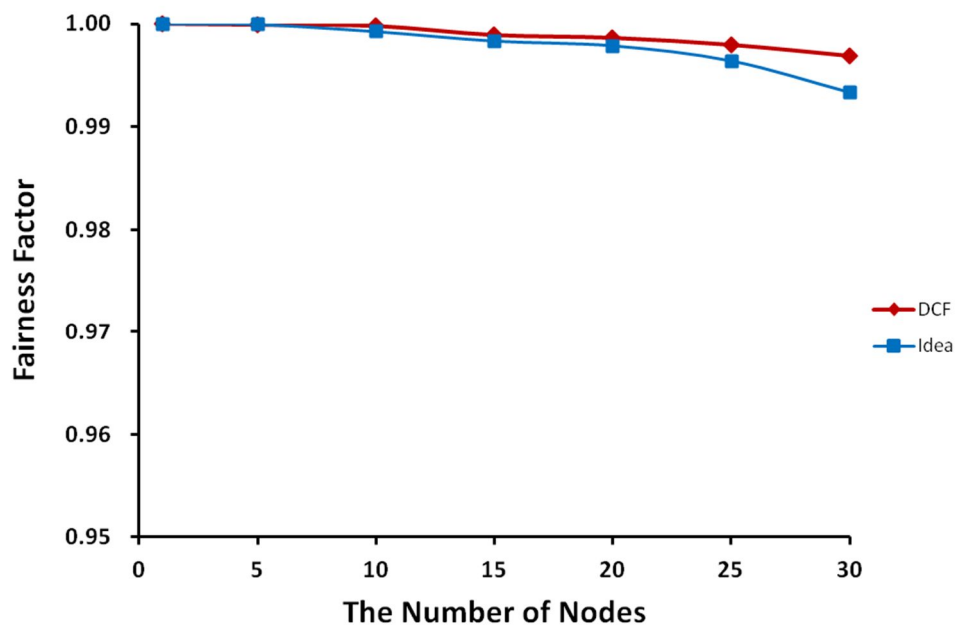


볼 수 있다.

공정성에 대한 모의실험에서 Jain 의 fairness factor 를 이용하였다 [14]. 각 단말에서 성공적으로 전송한 데이터의 수를 $S(i)$ 이고, N 은 네트워크에 참가한 단말의 수라고 하면, Jain 의 fairness factor 는 다음과 같다.

$$F = \frac{\{\sum_{i=1}^N S(i)\}^2}{N \sum_{i=1}^N \{S(i)\}^2}$$

위 식을 이용하여 공정성에 대하여 시뮬레이션을 수행한 결과는 [그림 4.4]와 같다.

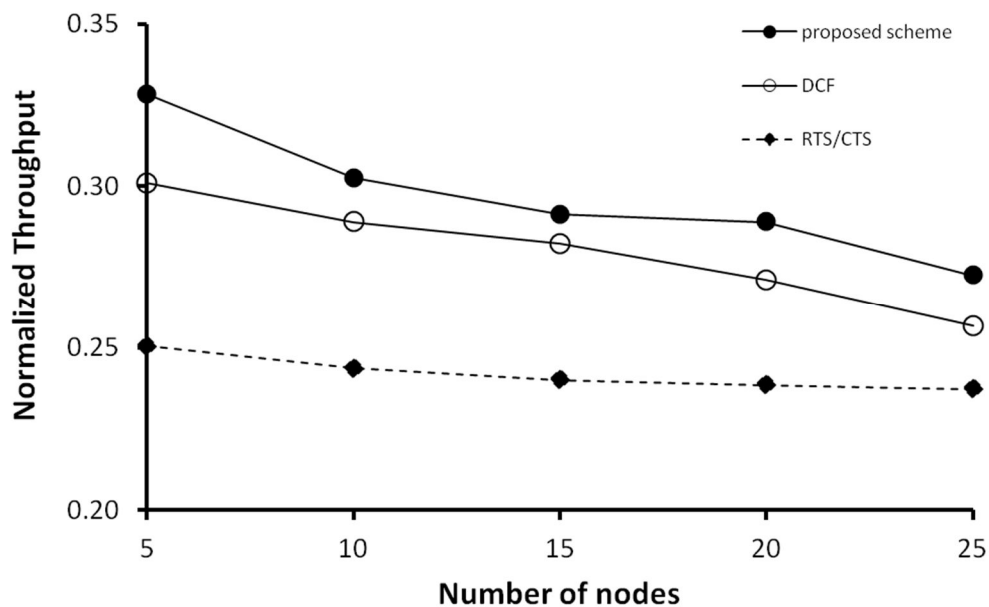


[그림 4.4] Jain의 공정성 지수



[그림 4.4]에서 확인할 수 있듯이 네트워크에 참여하는 단말의 수가 증가할수록 DCF 와 백오프 충돌 처리 방법 모두 조금씩 감소하긴 하지만 모든 모의실험 결과에서 99% 이상의 공정성 지수를 확인할 수 있었다. 즉, 충돌을 경험한 단말에게 재전송에서 성공할 경우 추가적인 전송 기회를 보장해주는 방법은 네트워크에 참여하는 단말의 수가 증가하더라도 단말들 사이의 공정성을 유지한다.

또 다른 충돌 원인인 숨겨진 단말 문제를 해결하기 위한 빠른 재전송 방법에 대해서도 모의실험을 수행하였다. 첫 번째로 네트워크에 참여하는 단말의 수를 증가시키면서 정규화된 처리량 변화에 대한 모의실험이다.

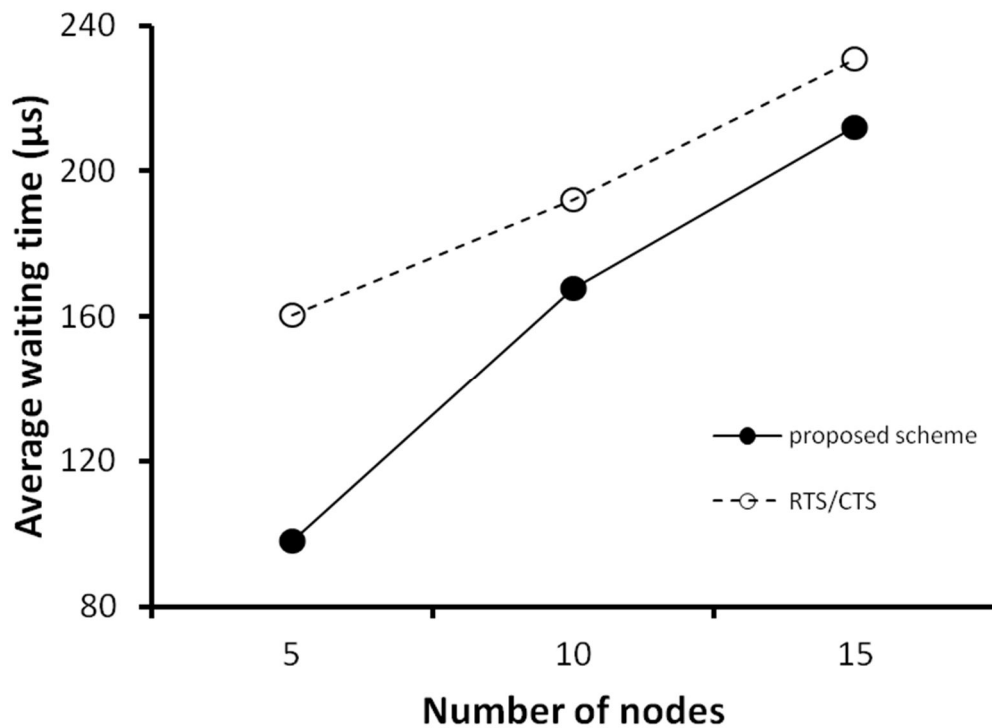


[그림 4.5] DCF, RTS/CTS, 그리고 빠른 재전송 방법의 정규화된 처리량 변화



높은 데이터 전송 속도에서는 예상한대로 데이터 전송 전에 컨트롤 메시지를 전송하는 것이 큰 비용으로 적용됨을 RTS/CTS 을 통하여 확인할 수 있다 [그림 4.5]. 결국 단말의 수와 상관없이 RTS/CTS 가 가장 적은 처리량을 보였다. 그리고 단말의 수가 증가할수록 처리량이 감소하는데 이는 백오프 충돌 역시 증가하기 때문이다. 그럼에도 불구하고 전체적으로 제안하는 빠른 재전송 방법이 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

숨겨진 단말 문제에 대한 해결책인 RTS/CTS 와 정확한 비교를 위하여 평균 대기 시간에 대하여 모의실험을 수행하였다. 평균 대기 시간은 단말이 하나



[그림 4.6] 빠른 재전송 방법과 RTS/CTS의 평균 대기 시간



의 성공적인 데이터 전송을 위하여 소비한 시간을 의미하며 백오프 시간과 IFS 들의 시간의 합과 같다. [그림 4.6]는 평균 대기 시간 모의실험의 결과이다. 네트워크에 참여하는 단말의 수가 증가할수록 평균 대기 시간이 모든 방법에서 증가하였다. 하지만 본 논문에서 제안하는 빠른 재전송 방법은 RTS/CTS 보다 더 적은 시간을 대기함을 알 수 있다. 이는 충돌이 발생하였을 경우 빠르게 재전송을 제공하기 때문이다. 또한 RTS/CTS 는 모든 단말의 전송에 추가적인 컨트롤 메시지 교환 시간이 포함되어 있기에 빠른 재전송 방법보다 더 많은 시간을 평균 대기 시간으로 한다.



V. 결론 및 향후 연구

IEEE 802.11 을 표준 기술로 하는 무선랜은 접근의 용이성, 단말의 이동성, 그리고 높은 데이터 전송 속도로 인하여 널리 사용되는 무선 네트워크이다. 무선랜을 이용하는 단말들은 CSMA/CA 기반의 DCF 방식으로 채널에 접근하지만 충돌을 피하기 위하여 사용된 DCF 때문에 MAC 계층의 채널 이용률 저하된다. 최근 무선 장비들의 보급으로 인하여 쉽게 포화상태가 되는 무선랜에서는 충돌이 빈번히 발생하고, 이는 낮은 채널 이용률을 더욱 악화시킨다.

본 논문에서는 무선랜에서 발생하는 충돌을 두 가지로 정의하였고, 각 충돌에 대한 원인과 해결책을 제안하였다. 동일한 백오프 시간을 선택한 단말의 수가 둘 이상인 백오프 충돌은 재전송에 성공하면 추가적인 전송기회를 보장함으로써 정형화된 네트워크 처리량을 보안한다. 또 다른 충돌 원인인 숨겨진 단말에 의한 숨은 충돌은 AP 가 preamble correlation 을 통하여 숨은 충돌을 감지하고, 새롭게 정의한 N-ACK 을 전송하여 희생 단말들이 AP 에서 숨은 충돌이 발생하였다는 것을 알게 한다. 자신의 데이터 전송이 충돌을 경험하였다는 인지한 단말들은 빠르게 재전송을 함으로써 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있다.

각 충돌 원인에 대한 처리법을 검증하기 위하여 경향과 이론적인 분석, 그리고 모의실험을 수행하였다. Bianch 모델을 이용하여 무선랜의 경향을 분석하였고, 숨은 충돌이 발생하는 상황에서 두 단말이 하나의 데이터를 성공적으



로 전송할 때까지 걸리는 시간을 이론적으로 측정한 결과 기존의 방법들보다 제안하는 방법들이 더 나은 성능을 보였다. 모의실험에서는 정규화된 네트워크 처리량과 공정성, 그리고 평균 대기 시간을 측정하였는데, 그 결과 기존의 방법과 비교하여 네트워크 처리량의 최고 43% 향상과 평균 대기 시간의 감소, 그리고 Jain의 공정성 지수를 확인한 결과 99% 이상을 확인하였다.

향후 연구에서는 본 논문에서 제안한 방법들의 연결성에서 두 방법을 동시에 적용하는 통합 충돌 처리 기술에 대하여 발생하는 문제점과 필요한 기술적 요소에 대하여 연구하고자 한다. 그리고 무선 통신 장비의 특징 중 하나인 단말의 이동성을 고려한 단말들 사이에서 발생하는 충돌 처리 기술에 대하여 연구하고자 한다.



References

- [1] IEEE 802.11-2007: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 2007.
- [2] K. Tan, J. Fang, Y. Zhang, S. Chen, L. Shi, J. Zhang, Y. Zhang, "Fine-grained Channel Access in Wireless LAN," Proceedings of the ACM SIGCOMM 2010 conference on SIGCOMM.
- [3] Y. Kwon, Y. Fang, and H. Latchman, "A novel MAC protocol with fast collision resolution for wireless LANs", in Proc. IEEE INFOCOM'03, Vol.2, pp. 853-862, Apr. 2003.
- [4] C. Wang, B. Li, and L. Li, "A new collision resolution mechanism to enhance the performance of IEEE 802.11 DCF," IEEE Trans. Veh., Techno., Vol. 53, No. 4, pp. 1235-1243, July 2004.
- [5] M. Y. Chung, M.-S. Kim, T.-J. Lee, Y. Lee, "Performance evaluation of an enhanced GDCF for IEEE 802.11," IEICE Trans. Commun., Vol. E88-B, No. 10, pp. 4125-4128, Oct. 2005.
- [6] IEEE 802.11 WG, Draft Supplement to STANDARD FOR Telecommunications and Information Exchange Between Systems -LAN/MAN Specific Requirements - Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS), IEEE 802.11e/D2.0, Nov. 2001.
- [7] N. Guo, C. Chen, C. Pei, "Dynamic TXOP Assignment for Fairness (DTAF) in IEEE 802.11e WLAN under Heavy Load Conditions", Seventh International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, 2006. PDCAT '06
- [8] Majkowski, Jakub, Palacio, Ferran Casadevall, "Dynamic TXOP configuration for Qos enhancement in IEEE 802.11e wireless LAN", International Conference on Software in Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 2006.
- [9] R. Garcés, J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Floor acquisition multiple access with



- collision resolution”, the ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM, New York, USA, 1996, pp. 187-197
- [10] K. Shiha, W. Liaob, H. Chenc, C. Choua, “On avoiding RTS collisions for IEEE 802.11-based wireless ad hoc networks”, *Computer Communications*, Vol. 32, Issue 1, 23 January 2009, pp. 69-77
 - [11] S. Gollakota, D. Katabi, “Zig-Zag decoding: Combating hidden terminal in wireless networks”, *ACM SIGCOMM*, 2008.
 - [12] S. Sen, R. R. Choudhury, S. Nelakuditi, “CSMA/CN: Carrier sense multiple access with collision notification”, *ACM MOBICOM*, 2010.
 - [13] G. Bianchi, “Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function,” *IEEE J. Select. Areas in Commun.*, Vol. 18, No. 3, pp. 535-547, Mar. 2000.
 - [14] IEEE Std 802.11g, Supplement to Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band, IEEE Std. 802.11g-2003, 2003
 - [15] P. Desain, J. Farquhar, J. Blankespoor, S. Gielen, “Detecting spread spectrum pseudo random noise tags in EEG/MEG using a structure-based decomposition”, 4th International BCI Workshop and Training Course, 2008.
 - [16] E. Blossom, “GNU radio: Tools for exploring the radio frequency spectrum”, *Linux Journal*, 2004
 - [17] Jain, R., Chiu, D., and Hawe, W.: ‘A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer systems’, DEC Research Report TR-301, 1984



Acknowledgements

감사의 글

포항에 내려와 김치하 교수님 그리고 NDS 가족들과 함께한 지 2년이 지났습니다. 너무나 많은 가르침과 추억을 함께하여 주신 많은 분들에게 감사의 마음을 전하겠습니다.

우선, 부족한 저를 제자로 받아주시고 지난 2년 동안 본 논문을 쓸 수 있게 많은 가르침을 주신 김치하 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 교수님의 가르침을 언제나 가슴 깊이 간직하며 앞으로 교수님의 제자로써 부끄럼 없이 계속 간직하고 살아가겠습니다. 그리고 본 논문이 나오기까지 많은 격려와 지도를 해주신 심사 위원 교수님들께도 진심으로 감사 드립니다. 멀리 외국에서 귀국해주신 송황준 교수님과 수업을 통하여 많은 가르침을 주신 서영주 교수님. 정말 감사 드립니다.

저의 두 번째 가족인 연구실 분들께도 감사의 말을 전합니다. 처음으로 포항에 내려왔을 때, 연구실의 만형으로 저를 이끌어주셨던 곽동호 선배님과 바쁜 일정 속에서도 연구실에 자주 내려오시어 함께 하여주신 양동민 선배님께 고맙다는 말을 전합니다. 더불어 지금은 멋진 사회 생활을 하고 계시는, 제 뒤에서 말없이 든든히 서 계시면서 조언을 해주신 신종민 선배님과 잠시나마 함께 기숙사와 연구실을 함께 한 권순목 선배님에게도 고맙다는 말을 전합니다. 직접 찾아 뵙고 말을 전하지 못하지만 이렇게나마 제 마음을 전합니다. 저 역시 사회의 한 사람으로써 이제 자주 만나서 사회 생활에서의 조언을 부탁 드립니다. 지난 두 편의 논문을 쓰는데 함께 고생하며 부족한 저를 이끌어 준 이기석 선배님과 함께 졸업논문 심사를 하며 많은 조언과 도움을 주시고, 평상시에도 롤모델로 많은 것을 알려주신 고재훈 선배님에게도 감사의 말을 드립니다. 언제나 제가 연구하고픈 분야를 한 발짝 앞서 나가며 많은



조언을 주신, 연구자로서 정말 존경하는 고현목 선배님과 모든 것이 어색하고 새로웠던 포항에 적응을 할 수 있도록 큰 도움을 주신 오승열 선배님 역시 정말 감사합니다. 비록 자주 뵙지는 못했지만 연구실 선배님으로 함께 해 주신 김용수 선배님께도 고마운 마음을 전합니다. 연구실 가족으로 선배이자 동생인 지선아. 지난 2년 동안 어찌던 가장 가까운 곳에서 나의 고민과 이야기를 들어줘서 고마워. 그리고 철민이와 건희야, 너희들이 있어 연구실 생활이 너무나도 즐거웠단다. 너희들의 후배들이 빨리 들어와서 이제 너희들의 몫을 주면 좋겠구나. 다시 한번 새로운 가족인 양동민, 곽동호, 신종민, 권순목, 이기석, 고재훈, 고현목, 오승열, 김용수, 이지선, 김철민 그리고 이건희에게 감사 드리며 앞으로 연구자로서 밝은 미래가 있기를 기원합니다.

포항에서의 새로운 인연으로 지난 2년간 함께 한 우리 일레븐 동아리에 게도 감사의 말을 전합니다. 김해대회, 영천대회, 두 번의 과대항과 FA컵으로 잊지 못할 추억을 남겨주었습니다. 비록 몸은 멀어지더라도 일레븐의 이상과 목표를 향해 함께 뛰겠습니다.

마지막으로 뒤에서 항상 지켜주고, 응원해준 이세상에서 가장 사랑하는 가족들에게 정말 감사하고 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 전충환 아버지, 조영희 어머니, 로사누나, 선미누나, 수미누나, 그리고 새로운 가족이 된 김경환 매형과 우리 조카 연우와 서우, 모두 사랑합니다. 이제부터 아들과 동생, 처남 그리고 삼촌으로 앞으로 열심히 하겠습니다. 감사합니다.



Curriculum Vitae

Name: Junghwi Jeon

Education

2004 ~2010	Dept. of Computer Science and Engineering, Ajou University (B.S.)
2009 ~ 2011	Dept. of Computer Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH) (M.S.)

Publications

Junghwi, Chulmin Kim, Kiseok Lee, and Cheeha Kim, “Fast Retransmission Scheme for Overcoming Hidden Node Problem in IEEE 802.11 Networks”, Journal of Computing Science and Engineering (JCSE), Vol.5, No.4, Dec. 2011

Junghwi, and Cheeha Kim, “A Collision Compensation Method for Improving Saturation Throughput in Wireless LAN”, The 15th Next Generation Communication Software (NCS 2011), pyeongchang, Korea, pp.124-133, Dec. 7~9, 2011



Junghwi, Kiseok Lee, and Cheeha Kim, “Fast Route Recovery Scheme for Mobile Ad Hoc Networks”, The 25th International Conference on Information Networking 2011(ICOIN), Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 124-133, Jan. 26~28, 2011

