

CSMA/CA에 적합한 전송확률을 고려한 무선 LAN의 패킷 처리율 분석

Throughput analysis of packet applied to the transmission probability for CSMA/CA protocol in wireless LAN

하 은 실*

Ha Eun Sil

요 약

무선 LAN상에서의 단말들의 기존의 처리율은 기지국과 단말간의 지연을 고려하지 않았으나 본논문에서는 CSMA/CA의 특성에 적합한 전송 지연을 고려할뿐만 아니라 DCF 처리율은 백오프가 발생될 확률과 관련되며 이는 각 단말에서의 충돌에 의한 재전송 확률을 고려하였다. 본 논문에서는 재전송 과정에 최대 백오프를 두어 최대한 패킷 간의 충돌을 방지하기 위함이며 이와 관련된 과정을 마르코프 체인 모델에 적용시켜 전송이 성공적으로 이루어질 확률을 구하고 이를 한 기지국에 대한 단말수별로 BER, Eb/No대 처리율을 속도별로 시뮬레이션하여 OFDM 기반 무선 LAN 환경에서 패킷 처리율이 최대가 되는 단말수, 속도, 패킷 크기에 따른 이상적인 환경이 아닌 무선 LAN의 최적 요소를 구할 수 있었다.

Abstract

This paper analyzes the throughput of DCF protocol at the MAC layer in the 802.11a wireless LAN. The throughput of DCF protocol is related on probability of backoff, depends on retransmission of each terminal. This paper applied to nonmarcov discrete model for each terminal BER in the base station versus the packet throughput is progressing with the data rate of 6,12,24,54 Mbps, We find the fact that the less the data rate be the higher the throughput. We also find from the throughput calculation by means of traffic intensity in OFDM wireless LAN.

☞ keyword : 무선 LAN, OFDM, DCF, MAC, CSMA/CA

1. 서 론

무선 LAN은 11 Mbps의 전송률을 지원하는 표준 규격 IEEE 802. 11b의 완성과 이에 따른 저가의 관련 장치 개발, 그리고 휴대형 PC 및 PDA의 보급 확대 등에 따라 최근 관련시장이 큰 폭으로 성장하고 있고 이렇게 무선 LAN이 활발하게 사용하고 있는데 반해 최대 전송 속도가 무선 LAN의 CSMA/CA 백오프 발생에 따른 액세스 지연 메카니즘, 오버 헤드 및 무선

환경 특유의 페이딩으로 인하여 최대 전송 속도에 못 미치고 있다. 이러한 점에서 일부 논문에서는 패킷 발생률에 따른 처리율을 1 Mbps급 IEEE 802.11 무선 LAN에 대해서 분석하였지만 IEEE 802.11a 무선 LAN에 대해서는 분석되어 있지 않다[4]. 또 다른 논문에서는 IEEE 802.11a 무선 LAN에서 처리율이 계속 증가되는 것으로 분석하였지만 이는 RTS/CTS후의 패킷 전송 확률을 고려하지 않은 것에 기인한다^{5,6}. 이러한 배경에서 본 논문에서는 2장에서는 IEEE 802.11a의 Frame 구조와 무선 LAN의 MAC 계층에서 사용되는 CSMA/CA에 적합한 RTS/CTS DCF 프로토콜의 동작을 살펴보았다. 3장에서

* 정 회 원 : 남서울대 정보통신과 전임강사
hes@nsu.ac.kr(교신저자)

[2007/11/23 투고 - 2007/11/27 심사 - 2007/12/21 심사완료]

는 2장에서 분석한 내용을 바탕으로 DCF 프로토콜의 처리율에 백오프 발생을 고려한 이산 비마르코프 확률 모델을 통해 처리율을 계산하였고 4장에서는 3장에서 모델링된 전송 확률에 따른 처리율을 평가하기 위해서 지연된 DCF 패킷처리율을 전송 속도 6, 12, 24, 54Mbps에서 기지국간에 단말수를 증가시키면서 시뮬레이션을 통해 전송 확률에 따른 BER대 처리율을 분석하였으며 5장에서는 결론과 함께 MAC 계층의 향후 연구방향에 대하여 언급하였다.

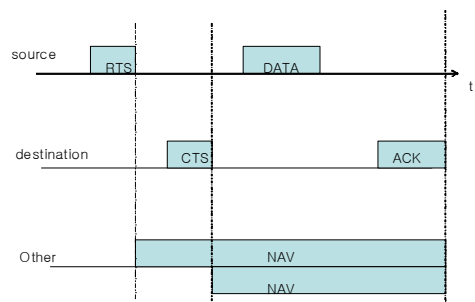
2. IEEE 802.11a의 패킷 전송 제어

IEEE 802.11의 물리계층은 1997년 무선 LAN에 대한 최초의 표준인 IEEE 802.11을 완성함으로써(1999년 수정됨) 무선 LAN 이용 확산을 위한 계기가 마련되었다. 이후 무선 LAN의 고속화에 대한 요구를 반영하여 새로운 물리계층 표준인 IEEE 802.11b와 IEEE 802.11a가 추가로 표준화되었다. IEEE 802.11은 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 방식을 기반으로 한 MAC 프로토콜 규격과 2.4GHz 대역에서 1/2Mbps의 전송속도를 지원하는 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 방식과 FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식 및 적외선 통신 방식 등 3가지 종류의 물리계층 규격을 정의하고 있었다. 물리계층에서의 최대 전송률이 54Mbps인 802.11a는 MAC계층을 기준으로 물리계층에 비해 약 절반에 조금 못 미치는 정도의 처리율을 제공하게 되므로 미래의 무선 멀티미디어 서비스와 같은 고화질 TV의 스트리밍 서비스에 적용 가능하도록 하기 위해 무선LAN MAC에 대한 개선과 여러 개의 송수신 안테나를 이용하여 데이터 전송속도를 개선할 수 있는 MIMO(Multi-Input Multi-Output) 방식을 통한 표준화가 진행되고 있다.[3]본고에서는IEEE 802.11a CSMA/CA와

의 적합성을 위한 RTS/CTS패커니즘에서의 백오프를 고려한 패킷 제어 방법에 대해서 알아 본다.

2.1 CSMA/CA에 적합한 RTS/CTS

802.11은 무선 링크를 이용하여 전송하므로 다른 RF로부터 전자기파 반사를 피하여 동작하여야 하며 다중 경로 페이딩, 수신이 어려운 장소로 전송 이동이 불가능한 상황이 가능하다. IEEE 802.11 MAC의 기본동작은 CSMA/CA 방식을 사용한다. 모든 전송된 프레임은 ACK를 받게 되어 있으며 전송중 한 부분이라도 소실되면 그 프레임은 잃어 버린 것으로 간주한다. 그러나 멀리 떨어진 충돌이 발생 할 수 있는데 이를 해결하기 위해 <그림 2.2>에서 RTS/CTS 클리어링 절차를 사용한다. 전송할 프레임을 갖고 있는 기지국은RTS를 보낸다. 목표 스테이션이 아닌 다른 스테이션은 전파 발생이 정지되고 백오프를 위한 NAV(Network Allocation Vector)를 설정, NAV가 "0"이 될때까지 매체로의 접근이 연기된다. 수신측은SIFS(Short Interframe Space)만큼 기다린후 CTS를 보낸다. 다른 스테이션은 NAV(RTS)를 못 받았을 수 있으므로 송신측은 SIFS만큼 기다린후 ACK를 보내고 수신측은 SIFS만큼 기다린후 ACK를 보낸다.[5]



(그림 2.1) 백오프를 위한 송신 금지구간 NAV

시퀀스가 완료되면 단말이 없는 경우에 그림 2.2와 같이 DIFS(DCF Interframe Space)만큼 지난 후 캐리어가 센싱되지 않을 경우 어떤 스테이션이라도 매체 사용이 가능하여 데이터를 전송한다. 만약 캐리어가 센싱되었거나 혹은 DIFS구간에서 캐리어가 센싱되었을 경우에는 캐리어가 사라질 때까지 기다린다. 캐리어가 사라진 후에는 DIFS 시간간격동안 다시 기다린 후 백오프 과정을 시작한다. 각 단말은 백오프과정에서 카운터 값을 할당 받는데 매 슬롯을 지날 때 캐리어가 센싱되지 않으면 1씩 감소시키고 캐리어가 센싱되면 현재 값을 계속 유지하다가 캐리어가 센싱되지 않으면 다시 1을 감소시키는 과정을 반복한다. 이 과정을 통해 백오프 카운터 값이 0이 되었을 때 데이터 전송을 시도한다 [6]

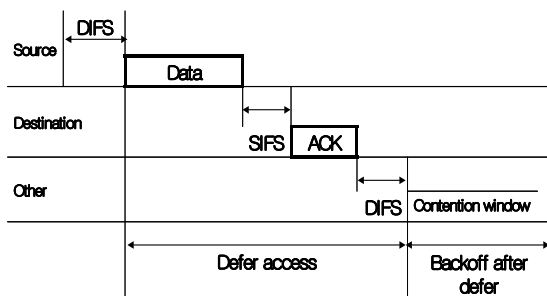
IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 시간축상에서 교대로 이용되는 PCF(Point Coordination Function)와 DCF의 두가지 동작모드를 지원한다. PCF는 비 경쟁방식으로서 시간적으로 제약적인 서비스에 이용되고 DCF는 경쟁기반의 CSMA/CA기법을 이용하며 비동기적인 데이터 전송에 주로 이용된다. 802.11 MAC 프로토콜은 5개의 시간간격을 정의한다. SIFS(Short InterFrame Space)와 slot time은 물리계층에 의해서 결정되는 것이고 PIFS(Priority InterFrame Space), DIFS(Distributed InterFrame Space) 및 EIFS(Extended InterFrame Space)는 SIFS와 slot time 기반하에서 정의된다. SIFS 시간간격은 16 μ sec, slot time은 9 μ sec, DIFS 시간간격은 34 μ sec 가 된다. slot time은 신호 전파 및 처리 지연현상을 고려한 수치이다. PIFS는 SIFS에 하나의 slot time을 추가한 시간간격(25 μ sec)이고 DIFS는 SIFS에 2개의 slot time을 추가한 시간간격(34 μ sec)이 된다. EIFS는 가장 긴 시간간격을 갖으며 데이터 프레임이 에러 상태로 수신될 경우 수신 단말이 ACK 프레임을 보내는 데 지장이 없도록 충

분한 시간을 확보한다.

2.2 DCF 프로토콜

DCF는 그림 2.2에서 CSMA/CA 메카니즘을 이용하는 데 전송할 새로운 패킷이 있는 AP 또는 단말은 채널이 사용되고 있는지를 모니터한다. 채널이 DIFS 시간간격동안 휴지상태이면 AP 또는 단말은 패킷을 전송하기 시작한다. 이와는 달리 AP 또는 단말은 채널이 사용되고 있는지 휴지 상태인지를 계속 모니터하고 DIFS 시간간격동안 채널이 휴지상태이면 slot time 단위로 채널 시간을 처리하여 slot time 단위로 랜덤 backoff 시간간격을 발생시킨다. 그리고 채널이 사용중인지 휴지상태인지를 계속 모니터하는 데 각 slot time 동안에 아직도 채널이 휴지상태라고 하면 backoff 시간간격은 하나씩 감소하게 된다. Backoff 시간간격이 0인 경우에 AP 또는 단말은 패킷을 전송하게 된다. 이러한 backoff 기간동안 채널이 slot time에서 사용중이라면 backoff 간격이 감소되는 것은 정지되고 채널이 DIFS 시간간격과한개의 slot time 시간간격동안 휴지상태라고 감지된 후에만 동작하게 되며 Backoff 시간간격이 0인 경우에 또 다시 패킷이 전송되기 시작한다. 이러한 backoff 기법은 채널이 사용 중이라는 것을 인식하게 되므로 충돌 현상을 피할 수 있도록 하는 기법이다. 더욱이 채널의 캡처 현상을 피하기 위하여 AP 또는 단말은 채널이 DIFS 시간간격동안 휴지상태라고 해도 2개의 새로운 패킷이 연속적으로 전송되는 경우 backoff 시간동안 대기하게 된다. DCF의 backoff 메카니즘은 지수함수 특성을 갖고 있는 데 각각의 패킷이 전송되는 경우 slot time 단위의 backoff 시간은 패킷전송 실패 횟수에 따라 정해지는 값을 n 이라고 할 때 $0 \sim n-1$ 의 범위에서 균일하게 정해진다. 패킷이 처음으로 전송되는 경우 n 은 최소 충돌 윈도우 값

인 $CW_{min} = 16$ 으로 설정되고 패킷 전송이 실패할 경우 n 값은 $CW_{max} = 1024$ 의 범위내에서 2배로 증가한다. 그리고 패킷전송이 성공적으로 이루어진 경우 수신단말은 ACK 신호를 보내게 되며 프로토콜 헤더를 간단히 하기 위하여 ACK 신호는 순서번호를 포함하지 않으며 수신한 패킷에 대해서 즉시 응답하는 stop-and-go 프로토콜 기반 하에서 데이터를 교환한다. 송신단말은 패킷전송을 완료한 후 $16 \mu\text{sec}$ SIFS 시간 간격 내에 ACK 신호를 수신해야 된다. 송신단말이 정해진 ACK_timeout 기간 내에 ACK 신호를 수신하지 못하거나 채널에 다른 패킷이 전송되는 것을 감지하게 되면 패킷 전송이 실패한 것으로 간주하며 backoff 메카니즘에 의한 재전송 절차를 따르게 된다. 802.11 MAC 프로토콜은 물리계층의 채널 감지기법외에 채널이 휴지상태로 되기 전에 남아 있는 시간의 양을 각 단말에게 알려주는 NAV(Network Allocation Vector) 기법을 구현한다. 모든 패킷은 duration 필드를 포함하며 NAV값은 각각의 패킷이 전송될 때 필드 값에 따라 업데이트된다. 이러한 NAV 기법을 가상 캐리어 감지기법이라고 하며 MAC 프로토콜은 충돌현상을 피하기 위하여 물리 및 가상 감지기법을 이용하는 것이다.



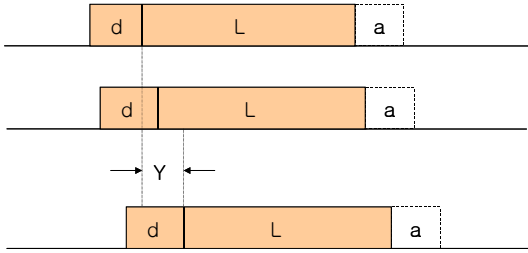
(그림 2.2) 802.11a DCF 프로토콜에 의한 백오프 메커니즘

3. 이상적 DCF 처리율 분석 및 평가

3.1 백오프 메커니즘에 의한 DCF 패킷 처리율

본고에서는 앞에서 검토한 RTS/CTS 백오프 메커니즘에 의한 이상적인 802.11 MAC의 DCF 프로토콜의 패킷 처리율을 분석하기로 한다. 그림 2.3에서 보여준 바와 같이 전송할 패킷을 갖고 있는 이동 단말이 DIFS 간격($d \mu\text{sec}$) 동안 채널이 휴지(idle) 상태라고 인지하면 이동 단말은 데이터 패킷을 전송하기 시작한다. 패킷 전송에 따라서 채널은 DIFS 간격동안 휴지 상태로 남아 있으며 그때 수신단말에 의해서 ACK 신호가 보내진다. 송신 단말은 채널이 사용중(busy) 상태라고 인식하면 backoff 메카니즘을 따르며 새로운 패킷과 재전송 패킷으로 구성된 트래픽은 G 패킷/ μsec 의 intensity를 갖는 포아슨 분포를 따른다고 가정한다. 새로운 패킷전송과 재전송 패킷이 독립적인 source가 되도록 backoff 간격이 충분히 길다면 위의 가정은 타당하며 간단히 하기 위하여 신호전파 지연값($a \mu\text{sec}$)은 스테이션간에 동일하다고 가정한다. 그래서 새로운 패킷 전송이 다른 스테이션에 의해서 감지될 수 없는 시간 간격은 a 에 의해서 주어진다. 결과적으로 CSMA 프로토콜하의 스테이션은 전송을 시작하게 되고 충돌이 발생하게 되는데 전송하기 전에 $d \mu\text{sec}$ 동안 채널이 휴지상태임을 감지한다. 패킷전송시간을 $L \mu\text{sec}$ 로 가정하고 패킷전송을 성공적으로 하기 위하여 채널 activity를 고려하는 경우 채널은 $d \mu\text{sec}$ 동안 휴지 상태이며 $L \mu\text{sec}$ 의 패킷전송이 이루어진다고 한다. L 은 MSDU의 패킷길이 x 바이트와 전송속도 r bps을 이용하여 $(x+34)(8/r)$ 로 표현할 수 있다. 그림 3.1에서 보듯이 송신기는 ACK 신호를 수신하기 위해서 $d \mu\text{sec}$ (DIFS 간격)동안 기다린다. ACK 전송시간은 $c \mu\text{sec}$ 로 설정하고 채널은 ACK 신호가 전송된 후 모든 스테이션

에 의해서 다시 휴지상태라고 감지된다. 그림 3.1은 CSMA 프로토콜에 대해 전송시 충돌이 발생하는 타이밍 다이어그램을 나타낸다.



(그림 3.1) 전송시 충돌이 발생하는 타이밍 다이어그램

Y 는 채널이 사용중인 시간간격에서 첫 번째 패킷전송과 마지막 패킷전송사이의 시간 스패를 나타낸다. Y 의 평균시간은 $\bar{Y} = a - \frac{1 - e^{-aG}}{G}$ 로 주어지고 성공적으로 전송이 이루어지거나 충돌이 발생하는 사용중인 시간의 평균 길이는 $\bar{B} = d + \bar{Y} + L + a + (d + c)e^{-aG}$ 로 주어진다. 사용중인 시간간격과 휴지 시간간격으로 구성된 평균 주기 시간은 $\bar{T} = d + \bar{Y} + \frac{(x + 34)^8}{r} + a + (d + c)e^{-aG} + \frac{1}{G}$ 로 주어진다. 채널 처리율은 데이터가 성공적으로 전송되는 시간의 비로 $S = \frac{\frac{(x + 34)^8}{r} e^{-aG}}{\bar{T}}$ 정의되는데 최종적으로 식 3.1과 같이 표현된다.

$$S = \frac{\frac{(x + 34)^8}{r} e^{-aG}}{d + a - \frac{1 - e^{-aG}}{G} + \frac{(x + 34)^8}{r} + a + (d + c)e^{-aG} + \frac{1}{G}} \quad (3.1)$$

4. 마르코프 확률 과정에 의한 DCF 처리율 분석

4.1 비트 에러 발생에 의한 패킷 처리율

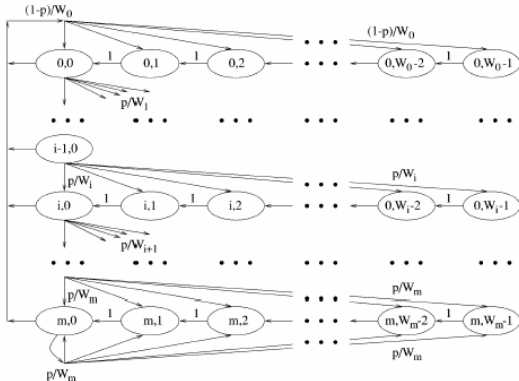
본 절에서는 패킷 전송시 전송채널에서 발생하는 백오프 전송 확률 상의 비트에러에 의한 재전송 확률을 고려하여 처리율을 분석하며 단말수 n 은 고정되었다고 가정하고 각각의 단말은 항상 전송패킷을 가지고 있다고 가정한다. 다시 말해, 포화조건(saturation condition)상에서 동작한다(예를 들면 전송 큐는 항상 비어있지 않음)고 한다. 그리고 패킷의 길이는 동일하고 채널상에서 비트에러는 P_b 라는 확률로 랜덤하게 발생된다고 가정하고 3개의 부분으로 구분되어 해석된다. 첫째, 백오프 확률상의 비트에러의 영향이 비트에러율 P_b 및 패킷크기 P 를 기반으로 해서 유도된다. 둘째, 랜덤하게 선정된 슬롯타임 내에서 단말의 패킷전송 확률 τ 가 분석되는데 이 확률은 CSMA/CA 메커니즘에는 직접적으로 관련되어 있지 않지만 패킷 에러율 P_c 와 충돌확률에 관련되어 있다. 결국 CSMA/CA 기반의 DCF 처리율은 τ 및 P_b 의 함수로 표현된다[5].

CSMA/CA기법에서 물리계층 헤더와 MAC계층의 헤더를 포함하는 데이터 패킷은 패킷내부의 어느 한 비트라도 에러가 발생하면 재 전송되어야 한다. 편의상, 변수 P_c 를 패킷내의 에러 때문에 백 오프가 발생될 확률로 정의하고 패킷내의 에러는 랜덤하게 발생한다고 가정하면 CSMA/CA 기법에서 다음과 같이 표현된다. [5]

$$P_c = 1 - (1 - P_b)^{PHY_h + MAC_h + P + ACK} \quad (4.1)$$

4.1.1 비마르코프 확률 과정 모델링

$b(t)$ 를 어떤 주어진 단말에서의 백오프 타이머를 나타내는 확률적인 과정이라 하자. 이산적이고 정수 단위의 시간에서 $t, t+1$ 을 두 개의 연속적인 슬롯타임의 시작을 나타낸다고 하고 각 단말의 백오프 타임 카운터는 각 슬롯타임의 시작 부분에서 감소된다. 각 단말에서의 백오프 카운터의 값은 그것의 전송이력(얼마나 많은 재전송이 이전 패킷 전송시에 발생했는지 여부)에 의존하므로 확률과정 $b(t)$ 는 비 마르코프 확률과정이다. 편의상 $W = CW_{\min}$ 이라 정의하고 m 을 최대 백오프 단계라 하면 $CW_{\max} = 2^m W$ 가 된다. 또한 $W_i = 2^i W$ 라고 정의하며 여기서 $i \in (0, m)$ 는 백오프 단계라고 한다. 그리고 $s(t)$ 는 시간 t 에서 단말의 백 오프 단계 $(0, \dots, m)$ 를 나타내는 stochastic 확률과정을 나타낸다.



(그림 4.1) 백오프 윈도우 사이즈 마르코프 체인 모델

모델에서 전송된 패킷이 충돌하거나 성공적으로 전송되지 못할 확률 p 는 단말의 상태와는 무관하다고 가정한다. 이런 경우 편의상 bi-dimensional 과정은 이산시간 마르코프 체인이 되며, 그림4.2에 나타내었고 오로지 비 공백의 한단계 전이 확률은 다음과 같다.

$$\begin{cases} P\{i, k | i, k+1\} = 1, & k \in (0, W_i - 2); \quad i \in (0, m) \\ P\{0, k | i, 0\} = (1-p)/W_0, & k \in (0, W_0 - 1); \quad i \in (0, m) \\ P\{i, k | i-1, 0\} = p/W_i, & k \in (0, W_i - 1); \quad i \in (1, m) \\ P\{m, k | m, 0\} = p/W_m, & k \in (0, W_m - 1); \end{cases} \quad (4.2)$$

식(4.2)에서 첫 식은 백오프 시간은 각 슬롯타임의 시작에서 감소 된다는 사실을 설명한다. 두번째 식은 성공적으로 패킷 전달이 이루어진 다음의 새로운 패킷은 백오프 단계 0에서 전송이 시작됨을 설명하고 따라서 백오프의 시작은 구간 $(0, W_0 - 1)$ 에서 균일하게 선택된다. 나머지 두 개의 식은 성공적으로 전송되지 못한 경우의 모델을 나타내며, 특별히 백 오프 단계 $i-1$ 에서 전송 실패가 발생되면 백오프 단계는 증가되고, 새로운 초기 백 오프 값은 구간 $(0, W_i)$ 에서 균일하게 선택된다. 결국, 네 번째 식은 일단 백 오프 단계가 m 에 도달되면 뒤이은 패킷 전송시에 백오프 단계가 증가되지 않는 것을 나타내고 있다.

$$b_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{s(t) = i, b(t) = k\}, i \in (0, m), k \in (0, W_i - 1)$$

이 체인의 정적 분포라고 할 때 체인의 규칙에 따라 다음의 관계가 성립한다.

$$b_{i,k} = \begin{cases} p^i b_{0,0}, & k = 0; \quad i \in (0, m-1) \\ \frac{p^m}{1-p} b_{0,0} & k = 0; \quad i = m \\ \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} & k \in (0, W_i - 1); \quad i \in (0, m) \end{cases} \quad (4.3)$$

$b_{0,0}$ 의 값은 정규 조건을 적용하여 결정된다.

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \frac{W_i + 1}{2} \\ &= \frac{b_{0,0}}{2} \left[W \left(\sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i + \frac{(2p)^m}{1-p} \right) + \sum_{i=0}^{m-1} (p)^i + \frac{(p)^m}{1-p} \right] \\ &= 1 \end{aligned} \quad (4.4)$$

이것으로부터, 다음을 얻을 수 있다.

$$b_{0,0} = \frac{2(1-2p)(1-p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (4.5)$$

이제 확률 τ 는 단말이 랜덤하게 선택한 슬롯타임에서 표현되게 할 수 있다. 백 오프 단계에 상관 없이 백 오프 타이머가 0일 때면 어떤 전송 사건도 발생할 수 있으므로 다음식이 얻어진다. [6]

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p} = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (4.6)$$

그러나, 일반적으로 τ 는 성공하지 못할 확률 p (아직은 미지수)에 조건적으로 의존하므로 p 값을 찾기 위해서 전송된 패킷이 충돌될 확률을 알아야 할 필요가 생기며 이는 적어도 $n-1$ 개의 나머지 단말들이 타임 슬롯에서 전송함을 의미한다. 이 문제를 간단히 하기 위해서 정상상태를 가정하며 정상상태에서 각각의 나머지 단말들이 τ 확률을 가지고 패킷을 전송하며 패킷 에러율 P_c 의 영향을 고려하면 다음을 얻을 수 있다.

$$p = 1 - (1-\tau)^{n-1} (1-P_c) \quad (4.7)$$

식(4.16)를 역변환하여 $t^*(P) = 1 - \left(\frac{1-P}{1-P_c}\right)^{\frac{1}{n-1}}$ 을 얻을 수 있다. 식(4.6) 및 식(4.7)는 미지수 τ, p 의 비선형 시스템을 나타내며 이는 산술적인 방법에 의해 풀 수 있고 유일해를 가짐이 분명하다.

4.2 전송 확률에 의한 패킷 처리율

S 를 채널이 페이로드 비트들을 성공적으로 전송하기 위해 사용된 시간의 비율로 계산되는 시스템의 처리율로 정의한다. P_r 는 슬롯타임에서 적어도 하나의 전송이 발생될 확률로 하고 채널상에서 n 개의 단말이 경쟁하고 각 단말이 전송할 확률은 τ 이므로 다음식이 성립된다.

$$P_r = 1 - (1-\tau)^n \quad (4.8)$$

그리고 한 개의 단말만이 채널에 데이터를 전송하므로 전송이 성공적으로 이루어질 확률을 P_s 라고 하면 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}(1-P_c)}{P_r} \\ &= \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}(1-P_c)}{1-(1-\tau)^n} \end{aligned} \quad (4.9)$$

또한 처리율 S 는 다음과 같이 표현된다.

$$S = \frac{E[\text{슬롯타임내에 전송된 페이로드 정보}]}{E[\text{슬롯타임의 길이}]}$$

슬롯타임에서 성공적으로 전송될 확률은 $P_r P_s$ 이기 때문에 슬롯타임 내에서 페이로드 정보가 성공적으로 전송될 평균정보량은 $P_r P_s P$ 이다, 평균 슬롯타임의 길이는 채널이 휴지상태일 확률 $1-P_r$, 전송성공확률 $P_r P_s$, 충돌확률 $P_r(1-P_s)$ 을 고려하여 구해진다. 그러므로

$$\begin{aligned} S &= \frac{P_r P_s P}{(1-P_r)\sigma + P_r P_s T_s + P_r(1-P_s)T_c} \\ &= \frac{P}{T_s - T_c + \frac{\sigma(1-P_r)/P_r + T_c}{P_s}} \end{aligned} \quad (4.10)$$

여기서, T_s 는 성공적으로 데이터가 전송되어 채널이 busy상태로 감지되는 평균시간이며, T_c 는 충돌 상태인 동안에 각 단말이 채널을 busy로 감지할 평균시간을 나타낸다. σ 는 휴지상태인 슬롯타임의 지속시간을 나타낸다. CSMA/CA기법인 경우 다음과 같이 구해진다.[7]

$$\begin{cases} T_s = DIFS + T_p + T_{PHY} + \frac{MAC_h + P}{Rate} + SIFS + T_{ACK} \\ T_c = DIFS + T_p + T_{PHY} + \frac{MAC_h + P}{Rate} + EIFS \end{cases} \quad (4.11)$$

4.3 전송 확률에 의한 DCF 처리율 시뮬레이션 결과 및 검토

본절에서는 앞에서 IEEE 802.11a의 백오프와 충돌에 의한 전송 확률을 적용한 공식을 사용하여 OFDM 기반 무선 LAN의 DCF 처리율 성능을 명백하게 분석하기 위해서 시뮬레이션을 하는데 사용된 시스템 파라미터는 표 4.1과 같다, 802.11a MAC 헤더는 34 바이트로 하고 802.11a의 전송속도는 54 Mbps, 24 Mbps, 12 Mbps, 6 Mbps로 한다. 패킷 크기는 일반적으로 TCP ACK 데이터의 경우 60 바이트, Web Browsing 데이터인 경우 576 바이트, 인터넷의 최대 데이터 크기는 1500 바이트 정도 이므로 이를 대표적인 패킷크기로 MathLab을 사용하여 시뮬레이션하였다.

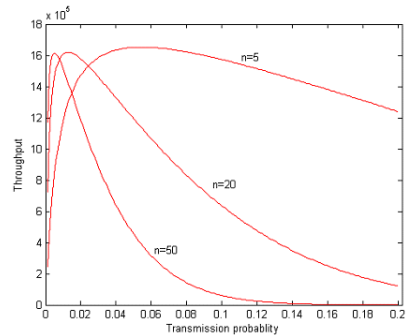
(표 4.1) 시스템 시뮬레이션 파라미터

패킷 페이로드 : P	60,576,1500[바이트]
MAC_h	34 [바이트]
PHY_h	5[바이트]
ACK	112 비트+ PHY_h
단말수 : n	5, 20, 50
전송속도	6,12,24,54 Mbps
T_{ACK}	44,32,28,24 μs For 6,12,24,54 Mbps

전과지연시간	1 μs
T_p	16 μs
T_{PHY}	4 μs
Slot time	9 μs
SIFS	16 μs
DIFS	34 μs
EIFS	43 μs

4.3.1 단말수별 전송확률 대 처리율

그림4.2은 전송확률 τ 에 따른 처리율 변화를 나타내는데 전송속도는 6 Mbps로 하여 MSDU의 패킷 크기는 60 바이트일 때 단말수 5, 20, 50에 대한 전송확률에 따른 처리율을 보여준다. 단말수가 5인 경우 $1.6525e+006(\tau = 0.054)$, 단말수가 20인 경우 $1.6195e+006(\tau = 0.013)$, 단말수가 50인 경우 $1.6133e+006(\tau = 0.005)$ 가 된다. 단말수가 작을수록 처리율이 우수하며 충돌 상태와 back off에 의한 휴지 상태가 반영된 결과를 알 수 있다.

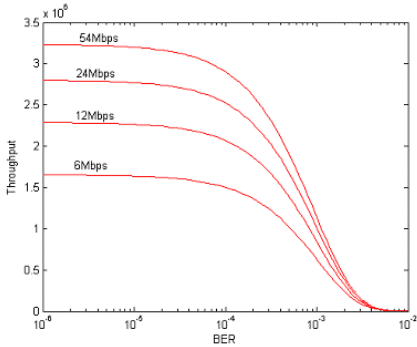


(그림 4.2) 전송확률(τ) vs. 처리율

4.3.2 전송속도별 BER 대 처리율

그림4.3은 단말수 $n=5$ 이고 패킷 크기 P 가 60 바이트 일 때 전송속도는 54 Mbps, 24 Mbps, 12 Mbps, 6 Mbps에 대한 각각의 BER에 따른 처리율 성능을 나타낸다. BER에 따른 성능은 전송

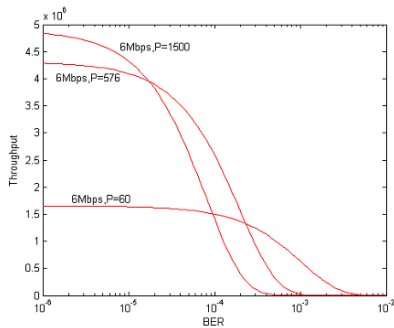
속도가 증가 할수록 처리율이 높으나 BER이 커질수록 거의 같아지는 것을 표시하고 있다.



(그림 4.3) BER vs. 처리율

4.3.3 패킷크기별 BER 대 처리율

그림 4.4는 단말수가 5이고 패킷 크기를 P, 전송속도는 6 Mbps일때 패킷 크기 P를 60, 576, 1500 바이트로 증가 시킬때 각각의 BER에 따른 처리율 성능을 나타낸다. 패킷의 크기가 클수록 BER대 처리율이 증가하나 10^{-3} 에서 특성이 바뀌어진다는 것을 알 수 있다.

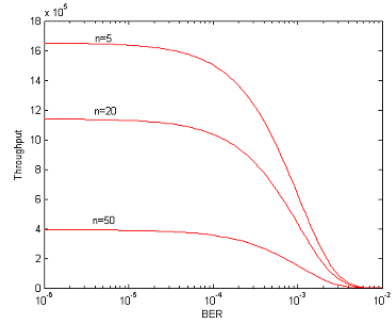


(그림 4.4) 패킷 크기에 따른 BER vs. 처리율

4.3.4 단말수별 BER 대 처리율

그림 4.5는 패킷 크기가 60 바이트 이고 전송 속도는 6 Mbps일 때 단말수 n을 5, 20, 50개로

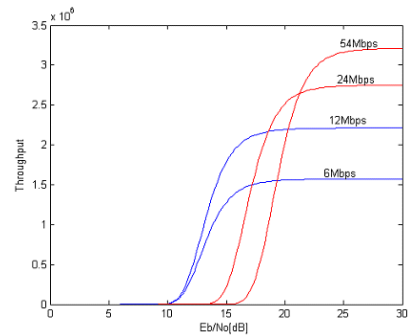
증가 시킬 때 각각의 BER에 따른 처리율 성능을 나타낸다.



(그림 4.5) 단말수에 따른 BER vs. 처리율

4.3.5 전송속도별 Eb/No 대 처리율

그림 4.6은 단말수가5이고 패킷 크기가 60 바이트일 때 전송속도는 54 Mbps, 24 Mbps, 12 Mbps, 6 Mbps인 경우 각각의 Eb/No에 따른 처리율 성능을 나타낸다.

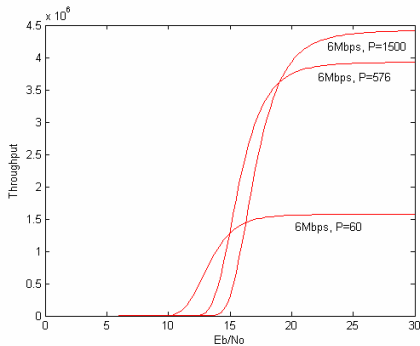


(그림 4.6) 전송속도에 따른 Eb/No vs. 처리율

4.3.6 패킷크기별 Eb/No 대 처리율

그림 4.7는 단말수가5이고 패킷 크기가60 바이트이고, 전송속도는 6 Mbps인 경우 패킷 크기를 60, 576, 1500 바이트로 증가 시킬 때 각각의 Eb/No에 따른 처리율 성능을 나타낸다. 즉 전력의 세기가 충분히 클 경우 패킷의 크기가

처리율의 성능을 높인다는 것을 표시하고 있다.



(그림 4.7) 패킷 크기에 따른 Eb/No vs. 처리율

5. 결론 및 향후 방안

본 논문에서는 802.11a MAC을 사용하였을 경우 PHY 계층의 데이터 전송속도의 증가와 이에 해당하는 MAC계층에서의 전송속도는 서로 선형적으로 비례하지 않는다는 한계를 기반으로 두고 있다. 이러한 MAC 계층에서의 한계를 PHY 계층의 전송속도와 함께 개선시키고자 전송확률과 패킷간의 충돌을 고려하여 BER 및 Eb/No 성능 평가를 단말수, 패킷크기, 전송속도 등을 통해 양호한 트래픽 특성이 얻어지는 결과를 확인 하였다. 그리고 무선 LAN 처리율을 향상시키기 위한 요구사항 및 기술적인 방법들은 처리율, 전력소모, 복잡정도 및 서비스 범위의 기준에 의해서 평가된다.

IEEE 802.11에서 정의하는 MAC 프로토콜은 기본적으로 CSMA/CA를 이용한 DCF 전송 방식에 기반을 두고 있으며, 무선 매체를 접근하는 데 있어 단말과 단말 사이의 우선 순위를 고려하지 않는다. 이러한 특성은 다양한 형태의 데이터 전송을 반영하지 못하며, QoS를 지원할 수 없다. IEEE 802.11에서는 AP에서 단말에 대한 서비스를 직접 제어하는 PCF 전송 방식을

또한 정의하고 있지만, 데이터 특성에 따른 서비스는 지원하지 않으며 널리 구현되고 있지 않으므로 효율적인 면은 거의 없다. 이에 본 장에서는 IEEE 802.11 MAC SAP에서의 최대 100Mbps throughput을 지원하고 홈 네트워크 등 다양한 서비스를 지원해야 하는 요구사항을 갖는 차세대 무선 LAN 시스템의 특성을 고려하였을 때, 802.11n에서 제시하는 기능적인 요구사항(FR)에 적합한 QoS 매커니즘 및 다양한 추가적인 요소를 포함하는 IEEE 802.11e의 Enhanced MAC 프로토콜이 향후 연구 방향이다. 또한 레일리와 라이시안 환경에서의 검증이 지금부터의 과제이다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.11b, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification," 1997.
- [2] IEEE 802.11b, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification: High-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band," 1999.
- [3] Upkar Varshney, "The Status and Future of 802.11-based WLANs," IEEE Computer, pp. 102-105, June 2003.
- [4] Kin K. Leung, Bruce McNair, Leonard J. Cimini and Jack H. Winters, "Outdoor IEEE 802.11 Cellular Networks: MAC Protocol Design and Performance," IEEE, pp. 595-599, 2002.
- [5] Zuoyin Tang, Zongkai Yang, Jianhua He and Yanwei Liu, "Impact of Bit Errors on the Performance of DCF for Wireless LAN," IEEE, pp. 529-533, 2002
- [6] Yang Xiao and Jon Rosdahl, "Throughput and Delay Limits of IEEE 802.11," IEEE

- Communications Letters, Vol. 6, No. 8, pp. 355 - 357, August 2002.
- [7] Jangeun Jun, Pushkin Peddabachagari and Mihail Sichitiu, "Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Applications," Proceedings of the Second IEEE International Symposium on Network Computing and Applications(NCA'03), 2003
- [8] Juha Heiskala and John Terry, "OFDM Wireless LANs : A Theoretical and Practical Guide," Sams Publishing, 2002.
- [9] Jim Geier, "Wireless LANs," Sams Publishing, 2002
- [10] Clark G.C. and Jr. & Cain J.B., Error-Correction Coding for Digital communications, Plenum Press, New York, NY, 1981.

● 저 자 소 개 ●



하 은 실

2005.8 성균관대학교 일반대학원졸업(공학박사)
1987~1995.5 대우통신 TDX연구소 주임연구원
2001.1~2005.8 유한 의료 보건복지 연구소 의료정보 선임연구원
2006.9~ 현재 남서울대학교 정보통신과 전임강사
<관심분야>
무선 LAN, RFID, 임베디드시스템, 의료 정보