

# IEEE 802.11b의 패킷 충돌 확률에 기반한 가용 대역폭 예측

고덕주<sup>o</sup> 차호정  
연세대학교 컴퓨터학과  
{djko,hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

## Available Bandwidth Estimation Based on Packet Collision Probability of IEEE 802.11b

Dukju Ko<sup>o</sup> Hojung Cha  
Dept. of Computer Science, Yonsei University

### 요 약

최근에 널리 사용되고 있는 IEEE 802.11b의 QoS 보장은 중요한 기술적 이슈가 되고 있다. IEEE 802.11b의 QoS를 보장하기 위한 정책을 효율적으로 수립하기 위해서는 현재 채널에서의 사용 가능한 대역폭을 예측할 수 있어야 한다. 본 논문은 기존에 제시되었던 IEEE 802.11b의 채널 saturation 대역폭 모델을 확장하여 채널 상태의 모니터링을 기반으로 한 현재의 채널에서 사용 가능한 대역폭의 예측 모델을 제안한다. 또한 실제 무선 환경을 구현하여 실험한 결과와 제안한 모델에서의 결과 비교를 통해 제안한 모델이 채널의 가용 대역폭을 효과적으로 예측할 수 있음을 확인하였다.

### 1. 서론

최근에 무선 통신은 여러 최신 기술 중에 가장 급부상하고 있는 기술이며, 우리의 일상생활에서의 핵심적인 기술로서 반영되고 있다. 여러 종류의 무선 통신 중에서도 IEEE 802.11b는 설치의 편리함과 낮은 장비 가격 그리고, 비교적 높은 채널 대역폭 등의 장점을 가지고 있기 때문에 이미 널리 사용되고 있다. 한편, 실시간 멀티미디어 콘텐츠 역시 그 수요와 서비스의 품질에 있어서 많은 발전이 이루어지고 있다. 이러한 실시간 멀티미디어 응용 프로그램이 원활한 서비스를 제공하기 위해서는 데이터 전송률이나 지연율, 지터와 같은 요구 사항들을 만족시켜야 하는데, 무선망은 유선망과 달리 패킷 손실이나 패킷 충돌과 같은 예측하기 힘든 다양한 특징들이 많이 존재하기 때문에 응용 프로그램의 QoS를 만족시키기 위해서는 기존의 유선망과 다른 방법들이 제안되어야만 한다. 즉, IEEE 802.11b와 같은 경우, 동일한 서비스 그룹에 속하는 무선 단말의 수가 증가하거나 트래픽의 양이 많아져 무선 채널의 상태가 혼잡해지는 때는 Medium Access Control(MAC) 프로토콜의 특성에 따라 무선 단말들 간에 패킷 충돌이 심하게 일어나 결국 전체 채널 대역폭과 사용률이 떨어지는 현상을 보이게 된다[1], [2]. 또한 각 단말들은 하나의 채널만을 공유하기 때문에 한 단말에서 대역폭의 변화가 다른 단말의 대역폭에도 영향을 미치게 될 가능성이 존재한다. 따라서 각 단말에서 무선 네트워크의 QoS를 만족시키기 위한 정책을 마련하기 위해서는 무선 무선 채널의 상태의 혼잡 상태에 따라 현재 무선 채널에서의 사용 가능한 대역폭을 효율적으로 알아낼 수 있는 구조가 필요하다.

본 논문은 2장에서 MAC 프로토콜의 기본 동작 과정과 기존의 IEEE 802.11b의 saturation 대역폭 모델들에 대해 살펴본다. 3장에서는 무선 네트워크 디바이스 드라이버를 통해 얻을 수 있는 정보를 이용해 현재 채널에서 사용 가능한 대역폭을 예측할 수 있는 모델을 제안한다. 4장에서는 제안한 모델을 검증하기 위한 실험의 결과에 대해 기술하고 5장에서 결론을 맺는다.

### 2. IEEE 802.11b MAC 프로토콜 및 관련 연구

IEEE 802.11b 표준은 무선 단말 매체를 효율적으로 사용하기 위해 DCF(Distributed Coordination Function)와 PCF(Point Coordination Function)의 두 가지 MAC(Medium Access Control)을 정의하고 있다. 하지만 현존하는 IEEE 802.11 무선

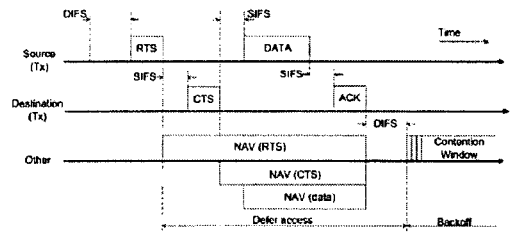


그림 1. IEEE 802.11 DCF의 기본동작

네트워크 장비에서 PCF를 구현하기 어려울 뿐만 아니라 Ad Hoc 망에서는 사용할 수 없다는 한계를 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이미 널리 사용하고 있는 IEEE 802.11b의 DCF MAC 프로토콜이 사용되는 무선 채널에서 사용 가능한 대역폭을 예측할 수 있는 방안에 대해 기술한다.

그림 1은 IEEE 802.11b의 DCF의 기본 동작에 대해 간단히 나타내고 있다. DCF는 기본적으로 Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA)[3]를 사용해 여러 개의 무선 단말이 같은 채널을 사용함으로써 발생하는 충돌을 막는다. Carrier Sensing은 물리계층과 MAC계층에서 모두 일어나는데, 물리 계층에서는 다른 무선 단말들이 전송할 때 발생하는 채널 활동 감지함으로써 physical carrier sensing을 수행한다.

CSMA/CA는 DIFS의 간격시간 후 채널이 비어 있을 때, 바로 패킷 전송이 일어나는 것을 방지해 기다리고 있던 다른 패킷과의 충돌을 피할 수 있게 한다. 즉, 전송해야 할 패킷이 있어 DIFS의 시간 동안 idle한 채널을 기다린 무선 단말은, 그 후 추가적으로 임의의 back-off의 시간 동안 기다리게 된다. 이 back-off는 패킷의 충돌마다 2배 씩 증가 하며, 따라서 back-off time의 계산식은 다음과 같다.

$$Backoff\ time = [2^{i+1} \times rand()] \times Slot\ time \quad \text{식(1)}$$

(i는 재전송 횟수를 의미하며, 초기 값은 1이다.)

여기서 Slot\_time은 물리 계층의 인자이며, rand()는[0,1]의 범위를 갖는 균일 분포 확률 변수이다. 기존의 IEEE 802.11의 대역폭 모델에 대한 연구는 대부분 앞에서 언급한 IEEE 802.11의 기본적인 동작에 근거해 수식적인 분석을 통한 최대 채널 대역폭 모델들을 제시했다[4],[5],[6],[7],[8]. IEEE 802.11에서 사용되는 CSMA/CA

• 본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 특정기초연구사업으로 수행하였음 (과제번호 : R01-2002-000-00141-0)

프로토콜의 가장 큰 특징은 패킷 간의 충돌을 피하기 위해서 경쟁 윈도우를 사용하는 점이라고 할 수 있으며, 앞의 연구들은 이러한 경쟁 윈도우에서의 back-off time을 계산하기 위한 모델을 제안하고 있다. 하지만, 이러한 모델들은 모든 단말들이 항상 보내야 할 패킷을 가지고 있는 채널 saturation 대역폭 모델만을 고려했다는 한계가 있다. 또한 각 모델의 검증에 있어서 실제적인 측정의 결과를 사용하지 않고 수학적 분석을 사용하거나 시뮬레이터를 이용한 경우가 대부분이었기 때문에 IEEE 802.11b의 실제 동작과 차이가 있을 수 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 연구에서 제시한 IEEE 802.11b의 최대 대역폭 모델을 확장하는 방법으로 디바이스 드라이버 레벨에서 측정 가능한 패킷 충돌 값을 이용해 채널의 최대 대역폭 모델뿐만 아니라, 사용 가능한 대역폭을 구할 수 있는 채널 상태의 모니터링을 기반으로 한 모델을 제시한다. 이어서, 실제 실험에서의 검증 을 통해 제안한 모델의 정확성을 확인한다.

3. 패킷 충돌 확률에 기반한 가용 대역폭 예측 모델

무선 채널에서 사용 가능한 대역폭을 구하기 위해서 먼저 채널의 최대 대역폭을 예측 할 수 있는 채널 saturation 대역폭 모델을 제안 한다. 이어서 현재 채널에서 사용되고 있는 대역폭을 알아낼 수 있는 채널 utilization 모델을 제안한 후, 앞의 두 모델을 기반으로 해 가용 대역폭 예측 모델을 완성한다. 제안하는 모델에 필요한 인자 는 표 1 과 같다.

$P_a$	채널 saturation에서의 이론적인 패킷 충돌 확률 (최대 패킷 충돌 확률)
$P_e$	현재 채널에서의 측정된 패킷 충돌 확률
$n$	하나의 채널을 공유하고 있는 단말의 수
$m$	최대 경쟁 윈도우 크기 ( $2^m W_{min} = 1024$ )
$W_{min}$	최소 경쟁 윈도우 크기 ( $W_{min} = 32$ )
$W_{avg}$	채널 saturation에서의 평균 경쟁 윈도우 크기
$W'_{avg}$	현재 채널에서 평균 경쟁 윈도우 크기
$S_{phy}$	네트워크 물리 계층에서의 패킷 헤더 크기 (24byte)
$S_{i,msdu}$	단말 $i$ 의 MSDU(MAC Service Data Unit) 크기
$B_{phy}$	IEEE 802.11b의 physical layer의 preamble과 header에 전송 대역폭(11Mbps)
$B_{data}$	IEEE 802.11b의 MAC Protocol Data Unit에 대한 대역폭(1Mbps)
$T_{i,total}$	IEEE 802.11b에서 하나의 전체 프레임을 전송하는데 소비되는 전체 시간
$T_{overhead}$	IEEE 802.11b에서 하나의 전체 프레임 전송하는데 소비되는 overhead 시간
$T_{i,packet}$	IEEE 802.11b에서 하나의 패킷 프레임 전송하는데 소비되는 시간
$T_{backoff}$	IEEE 802.11b의 경쟁 과정에서 back-off time으로 소비되는 시간
$T_{DIFS}$	IEEE 802.11b의 DIFS(DCF Inter Frame Space) 시간 (50μsec)
$T_{SIFS}$	IEEE 802.11b의 SIFS(Short Inter Frame Space) 시간(10μsec)
$T_{ACK}$	ACK 프레임의 전송 시간 (50μsec)
$T_{slot}$	IEEE 802.11b의 경쟁 윈도우에서의 슬롯 시간 (20μsec)
$T_{collision}$	패킷이 충돌 했을 경우 소요되는 시간
$X$	단말 한 개에서의 이론적인 채널 saturation 대역폭
$X'$	현재의 채널에서 이미 사용 중인 대역폭
$X_{Available}$	현재의 채널에서 사용 가능한 대역폭

표 1. IEEE 802.11b의 인자

3.1 채널 Saturation 대역폭 모델

IEEE 802.11b는 데이터를 전송하기 위해 그림 2와 같은 주기를 반복한다. 따라서 단말  $i$ 가 하나의 프레임에 보내는데 필요한 총시간  $T_{i,total}$ 은 식 (2)와 같다.

$$T_{i,total} = T_{i,packet} + T_{overhead} + T_{backoff} \tag{2}$$

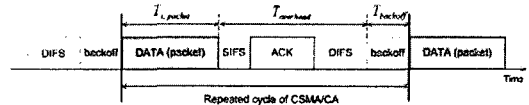


그림 2. CSMA/CA의 timing diagram

또한, 각 단말에 따른 프레임의 전송 overhead는 식 (3)과 같이 DIFS, SIFS, ACK 프레임에 대한 시간으로 나타낼 수 있고, 식 (4)를 통해 데이터 패킷의 전송시간을 구할 수 있다.

$$T_{overhead} = T_{DIFS} + T_{SIFS} + T_{ACK} \tag{3}$$

$$T_{i,packet} = \frac{S_{phy}}{B_{phy}} + \frac{S_{i,msdu}}{B_{data}} \tag{4}$$

back-off time과 경쟁윈도우의 평균 크기는 식 (5)와 (6)을 통해 나타낼 수 있으며, 두 값의 관계는 식 (7)과 같다.

$$T_{backoff} = T_{slot} \cdot W_{avg} \tag{5}$$

$$W_{avg} = (1-p_a) \frac{W_{min}}{2} + p_a(1-p_a) \frac{2W_{min}}{2} + p_a^2(1-p_a) \frac{2^2W_{min}}{2} + \dots + p_a^{m-1}(1-p_a) \frac{W}{2} + p_a^m \frac{2^m W_{min}}{2} \tag{6}$$

$$= \frac{1-p_a-p_a(2p_a)^m}{1-2p_a} \cdot \frac{W_{min}}{2}$$

$$P_a = 1 - \left(1 - \frac{1}{W_{avg}}\right)^{n-1} \tag{7}$$

한편, 패킷 충돌 시에는 ACK와 DIFS가 발생하지 않기 때문에 식 (8)과 같이 소비 시간을 계산할 수 있다.

$$T_{collision} = T_{i,total} - T_{ACK} - T_{SIFS} \tag{8}$$

따라서 식(4),(5),(6),(7),(8)를 이용하면, 하나의 채널을 사용하는 무선 단말의 수가  $n$ 개 일 때의 최대 채널 대역폭은 식 (9)와 같다.

$$X = \frac{S_{msdu}}{\sum_{i=1}^n T_{i,total} + (n-1) \cdot p_a \cdot T_{collision}} \tag{9}$$

3.2 채널 utilization 모델 및 가용 대역폭 예측 모델

현재 채널에서의 측정된 패킷 충돌 확률  $P_e$ 은 그 값에 따라 현재 채널의 사용률을 예측할 수 있다. 따라서 식 (6)에 채널 saturation에서의 최대 패킷 충돌 확률  $P_a$  대신  $P_e$ 을 대입한다면 현재의 무선 채널에서 각 단말이 실제적으로 갖는 평균적인 경쟁 윈도우 크기  $W'_{avg}$ 를 식 (10)에서와 같이 구할 수 있다.

$$W'_{avg} = (1-p_e) \frac{W_{min}}{2} + p_e(1-p_e) \frac{2W_{min}}{2} + p_e^2(1-p_e) \frac{2^2W_{min}}{2} + \dots + p_e^{m-1}(1-p_e) \frac{W}{2} + p_e^m \frac{2^m W_{min}}{2} \tag{10}$$

$$= \frac{1-p_e-p_e(2p_e)^m}{1-2p_e} \cdot \frac{W_{min}}{2}$$

식 (11)을 이용한 식 (12)에서는  $P_e$ 값과  $W'_{avg}$  값을 통해서 채널 saturation 상태로 가정할 수 있는 무선 단말의 수  $n'$ 를 구할 수 있고 식 (12)를 통해 각 무선 단말에서 평균적으로 사용하고 있는 현재 채널의 사용량을 예측 할 수 있다.

$$p_e = 1 - \left(1 - \frac{1}{W_{avg}}\right)^{n'-1} \quad \text{식(11)}$$

$$n' = 1 + \log_{\left(1 - \frac{1}{W_{avg}}\right)}(1 - p_e) \quad \text{식(12)}$$

$$X' = \frac{S_{m,edu}}{\sum_{i=1}^{n'} T_{i,total} + (n'-1) \cdot p_e \cdot T_{collision}} \quad \text{식(13)}$$

따라서 현재의 채널에서 사용 가능한 대역폭은 식 (14)과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_{available} = n \cdot (X - X') \quad \text{식(14)}$$

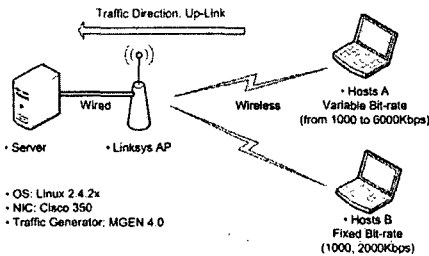


그림 4. 실험 환경

4. 모델 검증

3장에서 제안한 모델의 검증을 위해 그림 4와 같은 실험 환경을 구성하였다. 서버와 단말은 모두 Linux 2.4.22에서 동작하며, 무선 단말의 수를 2대로 하여 실험을 진행했다. NIC는 Cisco 350 series PCMCIA 카드를 이용해 IEEE 802.11b 모드로 Linksys WAP 54G Access Point와 통신하며, 각 단말과 Access Point 사이에는 아무런 장애물 없이 최대한 가깝게 위치시킴으로써 패킷 손실이 최소화 되도록 하였다. 전송 계층에서의 TCP 혼잡 컨트롤과 같은 복잡한 트래픽 컨트롤 메커니즘을 피하기 위해서 UDP 트래픽만이 사용되었으며, 이 UDP 트래픽은 MGEN 4.0을 이용해 생성되었다.

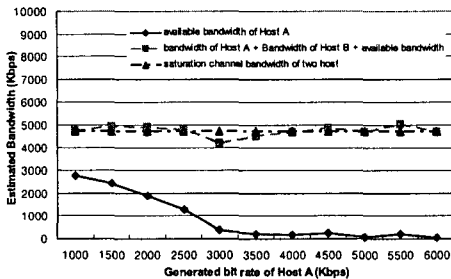


그림 5. Host B에서의 트래픽이 1000Kbps일 때 가용 대역폭 예측 결과

그림 5는 Host B에서 1000Kbps의 트래픽을 발생시킨 후 Host A에서 1000Kbps부터 추가로 트래픽을 발생시켰을 때의 가용 대역폭 예측 결과이다. 추가 트래픽이 증가함에 따라 제안한 모델에 의한 사용 가능한 대역폭은 정확하게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 사용 가능한 대역폭과 이미 사용되고 있는 다른 모든 트래픽의 합은 단말의 수가 2개 있을 경우의 채널 saturation 대역폭 (4811Kbps)과 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 Host B에서는 2000Kbps의 트래픽을 발생시킨 후 위와

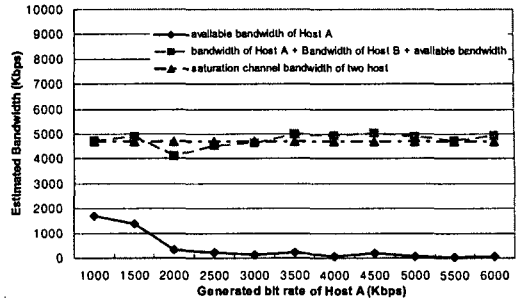


그림 6. Host B에서의 트래픽이 2000Kbps일 때 가용 대역폭 예측 결과

같이 Host A의 트래픽을 추가한 실험의 결과이다. 그림 5의 결과와 마찬가지로 채널에서 사용되는 트래픽에 따라 사용 가능한 대역폭을 정확하게 예측할 수 있으며, 채널에서 사용하고 있는 전체 트래픽과 예측된 사용 가능한 대역폭의 합이 채널 saturation 대역폭과 근사하게 일치하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11b의 패킷 충돌에 대한 모니터링을 기반으로 하여, 현재 채널에서 사용 가능한 대역폭을 예측할 수 있는 모델을 제안하였다. 실제 환경에서의 실험을 통해 제안한 모델에 대한 검증을 했으며, 제안한 모델이 사용 가능한 대역폭을 효과적으로 예측할 수 있음을 확인했다.

향후 과제는 제안한 모델을 이용한 IEEE 802.11의 QoS를 보장할 수 있는 네트워크 트래픽 컨트롤의 세부 정책 작성과 정책에 대한 정확한 성능 평가이다.

6. 참고문헌

- [1] Anders Lindgren, Andreas Almquist, Olov Schelen, "Quality of service schemes for IEEE 802.11 wireless LANs: an evaluation", *Mobile Networks and Applications archive*, Volume 8, Issue 3, Pages: 223 - 235, June 2003.
- [2] Xue Yang and Nitin H. Vaidya, "Pipelined Packet Scheduling in Wireless LANs," Technical Report, Coordinated Science Laboratory, University of Illinois at Urbana-Champaign, August, 2002.
- [3] Andrew S. Tangenbam, *Computer networks*, Prentice-Hall, Third edition, 1996.
- [4] Martin Heusse, Franck Rousseau, Gilles Berger-Sabbatel, Andrzej Duda, "Performance Anomaly of 802.11b" in *Proceedings of IEEE INFOCOM 2003*, April 2003, San Francisco California, USA.
- [5] Jangeun Jun, Pushkin Peddabachagari and Mihail Sichitiu, "Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Applications", in *Proceedings of the 2nd IEEE International Symposium on Network Computing and Applications (NCA'03)*, Jan. 2003.
- [6] Y. C. Tay, K. C. Chua, "A capacity analysis for the IEEE 802.11 MAC protocol", *Wireless Networks*, Volume 7 Issue 2, March 2001.
- [7] Yang Xiao, Rosdahl, J., "Throughput and delay limits of IEEE 802.11", *Communications Letters, IEEE*, Volume: 6,8, Pages: 355 - 357, August. 2002.
- [8] Bianchi G., "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function", *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, Volume: 18,3, Pages: 535 - 547, March 2000.