

불완전 채널 감지하의 IEEE 802.11 DCF 포화상태 성능 분석

Saturated Performance Analysis of IEEE 802.11 DCF with Imperfect Channel Sensing

신 수 용* 채 석**
Soo Young Shin Seog Chae

요 약

본 논문은 불완전한 채널 감지를 고려한 포화 상태에서의 IEEE 802.11 carrier-sense multiple access with collision-avoidance(CSMA/CA)의 성능을 분석한다. 불완전한 채널 감지는 missed-detection과 false alarm을 포함하는데, 이러한 불완전한 채널 감지가 IEEE 802.11의 성능에 미치는 영향을 분석하고 이를 수식적으로 표현한다. 물리 계층의 불완전한 채널 감지를 표현하기 위해, 본 논문에서는 기존의 2차원 마코프 프로세스 모델을 수정했다. 모의실험 결과와 제안된 모델의 이론적인 결과가 일치하는 것을 보였다. 이러한 실험 결과를 바탕으로, 감지 확률이 IEEE 802.11의 성능에 있어 가장 중요한 요소임을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, performance of IEEE 802.11 carrier-sense multiple access with collision-avoidance (CSMA/CA) protocols in saturated traffic conditions is presented taking into account the impact of imperfect channel sensing. The imperfect channel sensing includes both missed-detection and false alarm and their impact on the performance of IEEE 802.11 is analyzed and expressed as a closed form. To include the imperfect channel sensing at the physical layer, we modified the state transition probabilities of well-known two state Markov process model. Simulation results closely match the theoretical expressions confirming the effectiveness of the proposed model. Based on both theoretical and simulated results, the probability of detection is concluded as a dominant factor for the performance of IEEE 802.11.

☞ keyword : IEEE 802.11, imperfect channel sensing, missed-detection, false alarm, performance

1. 서 론

저가의 단거리 무선 기술로 널리 보급되어왔다. WLAN에서 매체 접근 제어 (MAC)은 중요한 역할을 하고 있으며 IEEE 802.11은 distributed coordination function (DCF)를 포함한 MAC와 물리계층(PHY)를 정의하고 있다.

802.11 DCF 규격의 핵심은 carrier sense multiple access/collision avoidance (CSMA/CA)이다. CSMA/CA에서는, 패킷을 전송하려는 노드가 채널 활동 상태를 지속적으로 모니터링하는데 이를 채널 감지 또는 clear channel assessment (CCA)라 한다. 채널이 distributed interframe spacing(DIFS)동안 유희상태에 있으면, 노드는 패킷을 전송한다. 그렇지 않고, 채널이 바쁜상태에 있는 것으로 판

단되면, 노드는 채널이 유희상태로 감지될때까지 지속적으로 모니터링을 수행한다. 이 때, 노드는 전송하기 전에 다른 노드들에 의해 전송되고 있는 패킷들과의 충돌을 최소화하기 위해 임의의 백오프 시간(backoff time)을 발생시킨다. 이 backoff time 카운터는 채널이 유희상태로 감지된 경우에 감소하고 그렇지 않으면 현재의 값을 유지한다(frozen). 그러므로, CCA는 채널 감지를 MAC의 일부분으로써 사용하고 있는 IEEE 802.11의 필수적인 성분이라고 할 수 있다.

IEEE802.11의 성능은 이전에 많은 연구들이 수행되었다. 802.11 DCF의 2차원 마코프 체인 모델은 Bianchi에 의해 처음 제안되었다 [1]. 이 논문에서 분석은 소위 포화 상태, 즉 모든 노드들이 항상 전송할 패킷을 가지고 있는 상태를 가정했다. [2]에서는 재전송 회수의 제한이 있는 경우 IEEE 802.11 DCF의 처리량과 지연시간을 분석했다. [3]에서는 현재까지 제안된 포화 상태 IEEE 802.11 DCF의 성능 분석을 위한 다양한 모델들을 소개하고 남아있는 문제점들을 소개하고 있다.

* 정 회 원 : 국립금오공과대학 전자공학부 교수
wdragon@kumoh.ac.kr

** 정 회 원 : 국립금오공과대학 전자공학부 교수
schae@kumoh.ac.kr

[2011/08/19 투고 - 2011/09/01 심사(2011/11/01 2차) - 2012/01/02 심사완료]

한편 Bianchi의 논문을 확장하여 포화 상태의 IEEE 802.11e EDCA (Enhanced Distributed Coordination Access)의 성능을 분석한 논문들도 있다 [4],[5]. 또한 IEEE 802.11의 실제 네트워크는 일반적으로 포화상태가 아니기 때문에, 비 포화 조건 하에서 IEEE 802.11의 성과를 평가하는 것이 중요하다. 몇몇 논문들은 Bianchi의 모델에 유휴 상태를 추가하여 이를 해석하였다 [6]-[10].

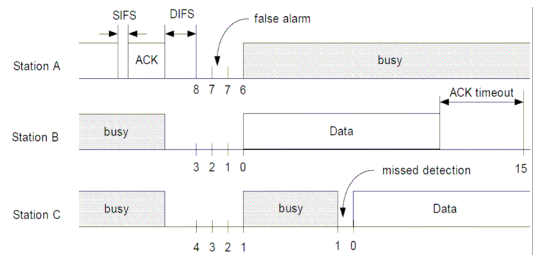
에러가 발생하기 쉬운 무선 채널의 특성을 고려하여 IEEE 802.11 DCF의 성능을 분석한 논문들도 있다. [11],[12]는 전송 에러가 IEEE 802.11 DCF의 성능에 주는 영향을 분석하였고, [13],[14]는 hidden terminal 효과가 IEEE 802.11에 미치는 영향을 정리하였다. 특히 [9]는 전송에러와 capture 효과를 고려하여 비포화상태 IEEE 802.11의 처리량을 분석하기도 했다.

그러나 이전 연구들은 채널이 유휴상태이거나 바쁜 상태일때, 이를 완벽하게 인식하는 것으로 가정했다. 실제 WLAN 환경에서는, 물리계층에서의 CCA 수행 과정 동안 잘못된 결정들을 얻게 될 수 있다. 전송이 수행되고 있지 않은 상황에서도 CCA 결과 채널이 바쁜 상태에 있다고 결정하는 false alarm, 전송이 수행되고 있는데도 채널이 유휴상태라고 결론 짓는 missed-detection이 바로 이러한 잘못된 채널 감지에 해당한다. p_{fa} 의 확률로 발생하는 false alarm은 유휴 상태의 채널을 바쁜 상태로 인식하여 가능한 패킷 전송을 미루고 backoff 상태에 머무는 시간을 늘려서 채널의 이용률을 낮출 수 있다. $(1-p_d)$ 의 확률로 발생하는 missed-detection은 완벽한 채널 감지상황에서는 감소시키지 않아야 할 backoff 카운터를 감소시켜 현재 전송중인 다른 노드와 추가적인 충돌을 발생시킬 수 있는 가능성이 있다(여기서 p_d 는 채널 감지 확률임). False alarm과 missed-detection은 IEEE 802.11 DCF의 성능에 영향을 미치기 때문에 IEEE 802.11의 성능 분석에 있어 그 영향을 조사할 필요가 있다. [15]는 채널 감지 에러하의 CSMA/CA 규격의 성능을 분석하였으나, 하나의 backoff상태를 가진 CSMA/CA를 가정하였기 때문에 IEEE 802.11 DCF의 성능 분석에 적용하기 어렵다.

2. 불완전한 채널 감지하의 IEEE 802.11 DCF 2차원 마코프 모델

2.1 불완전 채널 감지

IEEE 802.11에서는 채널의 유휴 여부를 감지하기 위해 주로 에너지 감지(energy detection) 또는 프리앰블 감



(그림 1) 불완전 채널 감지하의 IEEE 802.11 DCF 동작 예

지(preamble detection)가 사용된다. 에너지 감지는 채널상에 존재하는 에너지의 양을 이용하여 채널 유휴 여부를 판단하고, 프리앰블 감지는 matched filter 방식으로 이미 알려진 신호의 패턴을 활용하여 채널 유휴 여부를 판단하는 방식이다. 이러한 감지 방식은 높은 신호 대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio, SNR)하에서는 비교적 정확한 감지를 수행할 수 있으나, 낮은 SNR하에서는 채널 감지 결과에 오류가 발생할 수 있다. [16]

(그림 1)은 3개의 노드 A,B,C가 같은 무선 채널을 공유하는 예를 통해 불완전 채널 감지가 IEEE 802.11 CSMA/CA에 미치는 영향을 보여준다.

그림에서 패킷 전송 완료후에 노드 A는 DIFS후에 새로운 backoff 카운터값(=8)을 선택했다. B와 C는 A의 전송 완료후 자신들의 backoff 카운터를 감소시킨다. 노드 A에서 false alarm이 발생하면 채널이 유휴상태임에도 불구하고 7이라는 값을 유지하게 되고 이는 노드 A가 backoff 상태에 있는 시간을 증가시킨다. 노드 B의 backoff 카운터가 0이 되면, 노드 B의 패킷이 전송되고 A와 C의 backoff 카운터는 고정된다.

그러나, 노드 C에서 missed-detection이 발생했고, 이는 채널이 바쁜 상태임에도 불구하고 새로운 패킷 전송을 유발하여(C의 backoff counter 1à0) 노드 B와 C의 패킷간의 충돌을 야기함으로써 IEEE 802.11 네트워크의 처리량을 감소시킬 수 있다.

P_{idle} 를 채널이 유휴상태일 확률, p_a 와 p_b 를 각각 하나의 노드에 의해 채널이 유휴/바쁜 상태로 결정될 확률이라고 하자. 이 경우 p_a 와 p_b 는 식 (1)과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned}
 p_a &= P_{idle}(1 - p_{fa}) + (1 - P_{idle})(1 - p_d) \\
 p_b &= P_{idle}p_{fa} + (1 - P_{idle})p_d
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

2.2 불완전 채널 감지를 고려한 2차원 마코프 모델

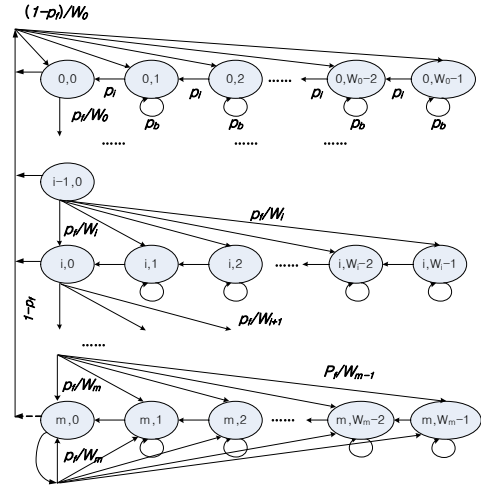
본 절에서는 불완전 채널 감지를 고려하기 위해 [1]에서 제안한 2차원 마코프 모델의 효율적인 변경을 제안한다. IEEE 802.11 네트워크는 N개의 노드로 구성되고, 분석을 위해 hidden terminal과 capture 효과(Capture 효과는 두 개 이상의 패킷이 충돌해도 신호의 크기 차이로 인해 하나의 패킷을 수신할 수 있는 것을 의미)는 없다고 가정한다.

IEEE 802.11의 각 노드들은 $(s(t), b(t))$ 의 이차원 마코프 모델로 표현된다. $b(t)$ 는 주어진 노드의 backoff 시간 카운터를 대표하는 확률 과정이다. Backoff 카운터는 각 유틸리티 시간 슬롯마다 감소되고, 노드가 패킷을 전송한 경우 새로운 값으로 설정된다. 초기에 backoff 카운터는 $[0, \dots, W_i-1]$ 내에서 결정되는데, 여기서 $W_i=2^i W_0$ 이고 W_0 는 IEEE 802.11의 최소 contention window(CW) 크기이다. Backoff 단계를 의미하는 $s(t)$ 는 패킷을 전송하는 최초의 시도에 0부터 시작하여 충돌에 의해 재전송 될 때마다 1씩 증가한다. 최대값은 m이며, 성공적인 전송후에는 0으로 초기화 된다

그리고, 불완전 채널 감지에 의해 $b(t)$ 는 p_i 의 확률로 감소되고, p_b 의 확률로 동일한 값을 유지하게 된다. 이를 바탕으로 수정된 2차원 마코프 모델은 (그림 2)와 같다.

(그림 2)에는 $(m+1)$ 개의 다른 backoff 단계가 있고, m이 최대 backoff 단계이다. 따라서 최대 CW 크기는 $CW_{max}=2^m W_0$ 가 된다. 패킷 전송은 $(i,0)$ 상태에 도달해야만 이루어진다. 충돌이 발생하게 되면, backoff 단계가 증가하고 다음 상태가 $(i+1,k)$ 가 되도록 p_i/W_{i+1} 의 확률로 새로운 backoff time 카운터 값을 선택한다. 여기서 p_i 는 전송 실패 확률을 의미한다. 이전의 연구들에서 충돌은 각 전송의 최초 슬롯에서만 발생했지만, 불완전 채널 감지의 경우, 충돌은 (그림 1)에서처럼 패킷 전송중에도 발생할 수 있다.

충돌이 발생하지 않으면, 패킷은 전송되고 전송 노드는 $(i,0)$ 상태로 들어간다. $(i,0)$ 상태에서 전송 노드는 패킷이 성공적으로 전송되면 $i=0$ 의 backoff 단계로 재진입한다. 전송중에 충돌이 발생하면, ACK 패킷이 전송되지 않기 때문에 ACK timeout이 발생하고 p_i/W_{i+1} 의 확률로 backoff 단계는 $(i+1,k)$ 상태가 된다. 따라서 불완전 채널 감지를 고려하여 수정된 2차원 마코프 모델은 다음 수식 (2)와 같이 1-step 전이 확률들로 표시될 수 있다.



(그림 2) 불완전 채널 감지를 고려한 IEEE 802.11 DCF 2차원 마코프 모델

$$\begin{aligned}
 P_{i,k|j,k+1} &= p_i, & k \in [0, W_i - 2], i \in [0, m], \\
 P_{i,k|j,k} &= p_b, & k \in [0, W_i - 1], i \in [0, m], \\
 P_{0,k|j,0} &= (1 - p_f) / W_0, & k \in [0, W_0 - 1], i \in [0, m], \\
 P_{i,k|j-1,0} &= p_f / W_i, & k \in [0, W_i - 1], i \in [1, m], \\
 P_{m,k|j,m,0} &= p_f / W_m, & k \in [0, W_i - 1].
 \end{aligned} \tag{2}$$

수식 (2)의 첫번째 / 두번째 수식은 채널이 idle/busy 상태일 경우 각각 backoff counter를 1씩 감소시키거나 유지하는 것을 각각 설명한다. 식 (2)의 세번째 수식은 성공적인 패킷 전송후에 backoff stage 0으로 다시 시작하고 backoff counter 값을 $(0, W_0-1)$ 의 범위에서 균등하게 선택하는 것을 의미한다. 나머지 식들은 전송 실패우의 시스템을 모델링하고 있다.

$b_{i,k} = Pr\{s(t)=i, b(t)=k\}$ 를 마코프 모델의 정상 상태 분포라고 정의하자. 그러면 식 (2)를 활용하여 단순한 계산을 통해 특정 노드가 $b_{i,0}$ (단, $i \in [0, m]$)에 있을 확률은 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 b_{i,0} &= \left(\frac{p_f}{p_i} \right)^i b_{0,0}, & i \in [1, m-1], \\
 b_{m,0} &= \frac{\left(\frac{p_f}{p_i} \right)^m}{1 - p_f / p_i} b_{0,0}, & i = m.
 \end{aligned} \tag{3}$$

마코프 체인의 특성에 의해, 각 $k \in [1, W_i - 1]$ 에 대한 $b_{i,k}$ 는 수식 (4)와 같이 정리될 수 있다.

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} \begin{cases} \frac{1 - p_f}{p_i} \sum_{i=0}^m b_{i,0}, & i = 0 \\ \frac{p_f}{p_i} b_{i-1,0}, & i \in [1, m - 1] \\ \frac{p_f}{p_i} (b_{m-1,0} + b_{m,0}), & i = m \end{cases} \quad (4)$$

수식 (3)으로부터 $\sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{(1-p_f)}$ 와 같은 관계식을 얻을 수 있고, 모든 $b_{i,k}$ (단, $i \in [0, m]$, $k \in [0, W_i - 1]$)는 $b_{0,0}$ 에 의해 표현될 수 있고, 하나의 노드가 모든 존재할 확률의 합은 1이므로 수식 (4)를 이용하여 하기와 같은 관계식을 도출할 수 있다.

$$\frac{b_{0,0} \left\{ (2p - 2p^2 - p(2p)^m)W_0 + \frac{1-p_f}{p_i} (1-2p)(W_0 - 1) + (1-2p)(2-p) \right\}}{2(1-p)(1-2p)} = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = 1 \quad (5)$$

위 수식 (5)에서 $p = p_f/p_i$ 이다. 수식 (5)에서 $p \rightarrow 1$ 이면, $b_{0,0}$ 는 하기와 같이 정리할 수 있는데, 이는 [1]의 결과와 일치함을 알 수 있다.

$$b_{0,0} \rightarrow \frac{2(1-p_f)(1-2p_f)}{(W_0 + 1)(1-2p_f) + W_0 p_f (1 - (2p_f)^m)} \quad (6)$$

이를 이용하여 임의의 슬롯에서 하나의 노드가 전송을 시작할 확률인 τ 는 도출해보면, 전송은 backoff stage와 상관없이 backoff counter값이 0이 되면 발생하기 때문에 수식 (7)과 같이 정리할 수 있다.

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p} \quad (7)$$

(표 1)은 본 논문에서 사용된 확률값들을 정리한 것이다.

(표 1) 분석을 위한 확률값 및 그 정의

확률	정의
P_{idle}	채널이 실제로 유힬상태일 확률
p_i	특정노드에 의해 채널이 유힬상태로 결정될 확률
p_b	특정노드에 의해 채널이 바쁜상태로 결정될 확률
p_f	현재의 전송이 실패할 확률
p_d	바쁜상태에 있는 채널을 바쁜 상태로 인식할 확률
p_{fa}	유힬상태에 있는 채널을 바쁜 상태로 인식할 확률
p_{sk}	패킷의 k번째 슬롯이 성공적으로 전송될 확률
P_{tr}	특정 슬롯에서 최소한 한 개 이상의 패킷이 전송되고 있을 확률
P_s	패킷이 성공적으로 전송될 확률

2.3 불완전 채널 감지를 고려한 IEEE 802.11 DCF 성능 분석

전송된 패킷이 성공적으로 수신되기 위해서는 패킷의 첫번째 슬롯에서 충돌이 발생하지 않아야 한다. 즉 하나의 노드가 전송을 시작할 때, 다른 노드들은 backoff 상태에 머물러 있어야 한다. 따라서 패킷의 첫번째 슬롯에서 성공적으로 전송할 확률은 수식 (8)과 같이 정리할 수 있다.

$$p_{s_0} = \left(1 - \sum_{i=0}^m b_{i,0} \right)^{N-1} = (1-\tau)^{N-1} \quad (8)$$

패킷의 첫번째 슬롯이 성공적으로 전송되었음에도 불구하고 전송 노드는 패킷을 전송하는 도중에 다른 노드들의 불완전 채널 감지에 의해 충돌을 경험할 수 있다. 즉 하나의 패킷이 전송중일 때 (i,1) 상태에 있던 어떤 노드가 채널을 missed-detection하면 또 다른 패킷을 전송할 수 있고 이는 충돌을 야기하는 것이다.

하나의 패킷이 M 슬롯으로 이루어진다고 가정하자. 이 경우 k번째 슬롯 ($k \in [1, M-1]$)이 성공적으로 전송될 확률은 아래 수식과 같이 정리할 수 있다.

$$p_{s_i} = \left(1 - \left(\sum_{i=0}^m b_{i,1} (1-p_d) \right) \right)^{N-1} = \dots = p_{s_{M-1}} \quad (9)$$

수식 (9)는 현재 전송중인 노드를 제외한 모든 노드들이 (i,1)외에 존재하거나 (i,1)에서 missed-detection하지 않을 확률을 의미한다.

수식 (8)과 (9)로부터, 전송 실패 확률은 하기 수식과 같이 얻어질 수 있다.

$$p_f = 1 - \prod_{k=0}^{M-1} p_{S_k} = 1 - p_{S_0} p_{S_1}^{M-1}. \quad (10)$$

p_i 와 p_b 를 계산하기 위해서는, 실제로 채널이 유희상태인 확률 P_{idle} 을 구해야 한다. P_{idle} 은 네트워크 상의 모든 노드가 전송상태에 있지 않을 확률이므로 하기 수식과 같이 표현된다.

$$P_{idle} = \left(1 - \sum_{i=0}^m b_{i,0}\right)^N = (1-\tau)^N \quad (11)$$

IEEE 802.11 네트워크의 이용률을 S 라고 표시하는데, 이는 전체 시간중 패킷을 성공적으로 전송한 시간의 비율로 정의된다. 따라서 S 는 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$S = \frac{P_r P_s E[L]}{(1-P_r)\sigma + P_r P_s T_s + P_r (1-P_s)T_c} \quad (12)$$

여기서 P_r 은 특정 슬롯에서 최소한 한 개 이상의 패킷이 전송되고 있을 확률이다. 네트워크가 N 개의 노드가 채널을 공유하고 있고 각각의 노드가 특정 슬롯에서 전송할 확률이 τ 이므로 하기 수식과 같이 정리된다.

$$P_r = 1 - (1-\tau)^N \quad (13)$$

또한 P_s 는 현재 무선 채널에서 패킷이 성공적으로 전송될 확률을 의미하는데, 수식 (8)-(10)으로부터 다음 수식과 같이 정리할 수 있다.

$$P_s = \frac{N\tau(1-\tau)^{N-1} \left\{ 1 - \left(\sum_{i=0}^m b_{i,1} (1-p_d) \right)^{N-1} \right\}^{M-1}}{P_r} \quad (14)$$

수식 (14)는 N 개의 노드들 가운데 하나의 노드만이 첫

(표 2) IEEE 802.11의 인자들

인자	값
PHY header	16 bytes
MAC header	24 bytes
Data payload	512, 1024 bytes
ACK	14 bytes
Slot time	20 us
SIFS	10 us
DIFS	50 us
ACK timeout	300 us

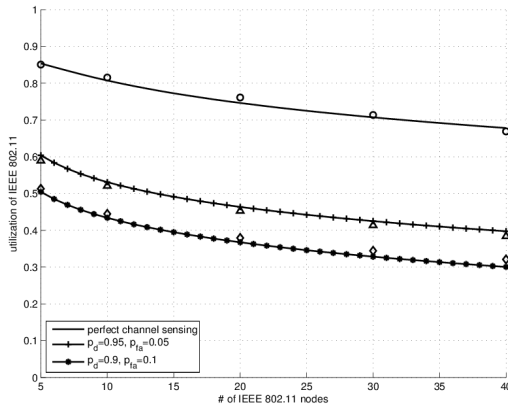
번째 슬롯에서 전송을 수행하고 $(N\tau(1-\tau)^{N-1})$, 나머지 (M-1) 슬롯 동안 다른 노드들이 패킷 전송을 시도하지 않을 확률을 의미한다. 기존의 연구와는 다르게 패킷의 첫번째 슬롯의 성공적인 전송외에도 후속되는 (M-1) 슬롯의 전송이 성공적으로 이루어져야만 비로소 성공적인 패킷 전송으로 간주되는 것이다.

$T_s(=H+PL+SIFS+ACK+DIFS)$ 와 $T_c(=H+PL+ACKtimeout)$ 는 각각 평균 데이터 전송 시간과 충돌에 의해 채널이 바쁜 상태에 있는 시간을 의미하고, ACK 프레임 길이, ACK timeout, DIFS, SIFS, 슬롯 시간(slot duration), PHY 및 MAC 헤더 길이(H)로부터 하기와 같이 구해진다. 각각의 인자들의 상세한 값은 (표 1)에서 정리하였다.

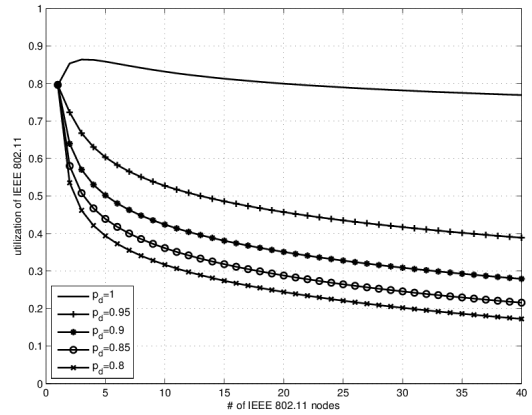
3. 성능 평가

3장에서는 불완전 채널 감지하의 IEEE 802.11의 성능을 모의 실험을 통해 도출하고 2장에서 제시된 이론적인 결과와 비교하여 도출한 결과의 효용성을 입증하고자 한다. IEEE DCF를 모델링하기 위해, MATLAB 기반의 시뮬레이터 개발했다. N 개의 IEEE 노드가 AP에게 데이터를 전송하는 기본 DCF 모드를 가정했다. IEEE 802.11의 물리계층은 확산 대역 기법을 기반으로 하는 802.11b 표준의 물리계층을 사용하였다. PHY, MAC 헤더, ACK은 최소 전송 속도(1 Mbps)로 전송되고 사용자 데이터(payload)는 CCK(complementary code keying)를 사용하여 최대 전송 속도인 11 Mbps로 전송하는 것으로 정의했다.

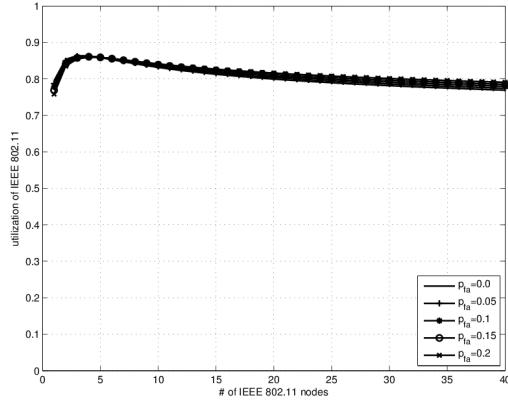
(그림 3)은 완전/불완전 채널 감지하의 IEEE 802.11의 이용률에 대하여 2장에서 도출한 수식적인 결과와 모의 실험 결과를 보여주고 있다. IEEE 802.11의 노드수는 5에서 40까지를 이용했고, payload는 1024 byte를 가정했다.



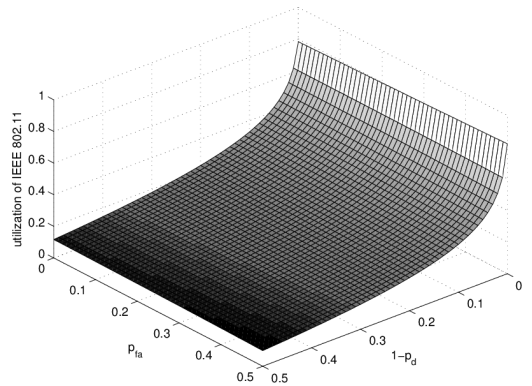
(그림 3) 불완전 채널 감지하의 IEEE 802.11 DCF이 이용률에 대한 이론 결과와 모의실험 결과 비교



(그림 5) $p_{fa}=0$, p_d 가변시 IEEE 802.11 DCF이 이용률



(그림 4) $p_d=1$, p_{fa} 가변시 IEEE 802.11 DCF이 이용률



(그림 6) 불완전 채널 감지하의 IEEE 802.11 DCF 이용률 (IEEE 802.11 노드수=20, 데이터 payload = 1024 bytes)

그림에서 보이듯이, 수식 (12) 로부터 도출한 결과와 모의 실험 결과와 일치함을 알 수 있다.

(그림 4)는 false alarm이 IEEE 802.11의 이용률에 미치는 영향을 보여주고 있다. 여기서 p_{fa} 는 0.0에서 0.2까지의 범위에서 변하고 p_d 는 1로 고정했으며, payload는 1024 byte를 가정했다. 그림에서 보이듯이 비록 false alarm이 각각의 노드들이 backoff 상태에 머무는 시간을 늘리는 결과를 가져오지만, 포화상태의 부하로 인해 항상 전송할 데이터가 존재하기 때문에 IEEE 802.11의 이용률에 미치는 영향은 제한적임을 알 수 있다.

(그림 5)는 missed-detection이 IEEE 802.11의 이용률에 미치는 영향을 보여주고 있다. (그림 4)에서와는 달리 p_{fa} 는 0.0으로 고정하고, p_d 는 0.8에서 1의 범위에서 가변하였다. p_d 가 감소함에 따라, 즉, missed-detection의 확률이

증가함에 따라, IEEE 802.11의 이용률이 급격하게 감소함을 알 수 있다. p_d 가 0.05만 감소해도 IEEE 802.11의 이용률은 $p_d=1$ 인 경우 대비 평균 50% 이하로 감소하고 있다. 또한 이러한 감소폭은 노드수가 증가할수록 더욱 심각해지고 있다. 이는 수식 (9)에서 표현한 것처럼 missed-detection이 완벽한 채널 감지에서는 감소시키지 않아야 하는 backoff 카운터를 감소시켜서 현재 전송중인 패킷을 감지하지 못하고 또다른 패킷을 전송시켜 충돌을 발생시키기 때문이다. 상대적으로 노드수가 증가하면 이러한 종류의 충돌이 더욱 빈번하게 발생할 수 있기 때문에 IEEE 802.11의 이용률이 더욱더 감소하게 된다.

(그림 6)은 IEEE 802.11의 이용률(utilization)과 false alarm 확률, missed-detection 확률간의 관계를 보여준다. IEEE

802.11 노드 수는 20개로 설정되었고, 데이터 payload의 크기는 1024 바이트를 사용했다. (그림 6)에서 보이듯이 IEEE 802.11의 이용률은 missed-detection 확률이 증가할 때 급격히 감소함을 알 수 있다. 이는 수식 (14)에서도 이미 설명했듯이 missed-detection의 IEEE 802.11 노드들 간에 추가적인 충돌을 발생시키기 때문이다. False alarm 확률이 증가하면 IEEE 802.11의 이용률은 감소하지만 상대적으로 missed-detection에 비해 그 감소폭은 매우 작은 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 IEEE 802.11의 이용률을 최적화시키기 위해서는 missed-detection 확률을 최소화하는 것이 필요하다는 것을 시사한다.

4. 결 론

본 논문은 포화 부하 상태에서 false alarm 확률과 missed-detection 확률로 표현되는 불완전 채널 감지하의 IEEE 802.11 DCF의 처리량을 기존의 마코프 모델을 수정하여 분석하였다. IEEE 802.11 DCF에서 false alarm은 채널이 유휴 상태일 때에도 가능한 전송을 미루게 만들어 backoff 상태에 머무는 시간을 증가시켜 채널 이용률의 저하를 가져온다. 반대로 missed-detection은 채널이 바쁜 상태임에도 불구하고 backoff 카운터를 감소시켜 또다른 전송을 유도할 수 있고 이로 인해 추가적인 패킷의 충돌을 야기할 수 있다. 본 논문은 이러한 불완전 채널 감지가 IEEE 802.11 DCF의 성능을 미치는 영향을 분석하기 위해 기존의 2차원 마코프 모델을 수정하였다. 불완전 채널감지하의 IEEE 802.11 DCF의 처리량을 수식으로 표현하였고, false alarm 및 missed-detection 확률, 노드수, 사용자 데이터 길이 등 다양한 인자의 변화에 따른 IEEE 802.11 DCF의 변화를 분석하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안된 이론적 결과를 입증하였다. 수식 분석 및 모의 실험 결과, IEEE 802.11 처리량의 향상 측면에서 missed-detection 확률을 최소화하는 것이 가장 중요한 요소임을 확인했다. 본 논문의 결과는 IEEE 802.11 네트워크의 효율적인 채널 감지 방식을 설계하고 구현하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 지원된 논문임

참 고 문 헌

- [1] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 18(3), pp. 535-547, 2000.
- [2] P. Chatzimisios, V. Vitsas, A.C. Boucouvalas, "Performance Analysis of IEEE 802.11 MAC protocol for WLAN", *International Journal of Communication Systems*, pp. 545-569, 2005.
- [3] I. Tinnirello, G. Bianchi, X. Yang, "Refinements on IEEE 802.11 Distributed Coordination Function Modeling Approaches", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59(3), pp.1055-1067, 2010
- [4] J. Robinson, T. S. Randhawa, "Saturation throughput analysis of IEEE802.11e enhanced distributed coordination function", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, 33(5), pp. 917-928, 2004.
- [5] Y. Xiao, "Performance analysis of priority schemes for IEEE802.11 and IEEE802.11e wireless LANs", *IEEE Trans. Wireless Communications*, 4(4), pp. 1506-1515, 2005.
- [6] M. Ergena, P. Varaiya, "Throughput analysis and admission control in IEEE 802.11a", *Mobile Networks and Applications*, 10(5), p. 705-716, 2005.
- [7] K. Duffy, D. Malone, D. J. Leith, "Modeling the 802.11 distributed coordination function in non-saturated conditions", *IEEE Comm. Letters*, 9(8), pp. 715-717, 2005.
- [8] D. Malone, K. Duffy, D. Leith, "Modelling the 802.11 distributed coordination function in non-saturated heterogeneous conditions", *IEEE/ACM Trans. Networking*, 15(1), pp. 159-172, 2007.
- [9] F. Daneshgaran, M. Laddomada, F. Mesiti, M. Mondin, "Unsaturated throughput analysis of IEEE 802.11 in presence of non-ideal transmission channel and capture effects", *IEEE Trans. Wireless Communications*, 7(4), pp. 1276-1286, 2008.
- [10] C. Foh, M. Zukerman, J. Tantra, "A Markovian framework for performance evaluation of IEEE 802.11", *IEEE Trans. Wireless Communications*, 6(4), pp. 1276-1285. 2007.

- [11] Y. Zheng, K. Lu, D. Wu, Y. Fang, "Performance Analysis of IEEE 802.11 DCF in Imperfect Channels", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 55(5), pp. 1648-1656, 2006.
- [12] A. Alshanyour, A. Agarwal, "Throughput Analysis of IEEE 802.11 DCF in the Presence of Transmission Errors", *LNCS, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, 28(1), pp. 349-364, 2010
- [13] T. D. Senthilkumar, A. Krishnan, "Enhancement to IEEE 802.11 Distributed Coordination Function to Reduce Packet Retransmissions Under Imperfect Channel Conditions", *Wireless Personal Comm.*, pp. 1-25, 2011.
- [14] G. Prakash, P. Thangaraj, "Non-Saturation Throughput Analysis of IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", 51(2), pp. 157-167, 2011.
- [15] J. W. Chong, D. K. Sung, Y. Sung, "Cross-Layer Performance Analysis for CSMA/CA Protocols: Impact of Imperfect Sensing", *IEEE Trans. Vehicular Technology*, 59(3), pp. 1100-1108, 2010.
- [16] S. Nagaraj, S. Khan, C. Shclege, M.V. Burnashev, "Differential preamble detection in packet-based wireless networks", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 8(2), pp. 599-607, 2009

● 저 자 소 개 ●

신 수 용



1999년 서울대학교 전기공학부 졸업(학사)
 2001년 서울대학교 대학원 전기공학부 졸업(석사)
 2006년 서울대학교 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(박사)
 2010년~현재 국립금오공과대학 전자공학부 교수
 관심분야 : 무선통신, 3G/4G, WLAN/WPAN/WBAN, 산업용통신망, 실시간시스템, etc.
 E-mail : wdragon@kumoh.ac.kr

채 석



1978년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사)
 1980년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사)
 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사)
 1983년~현재 국립금오공과대학 전자공학부 교수
 관심분야 : 지식 기반 지능 시스템, 네트워크 기반 제어 etc.
 E-mail : schae@kumoh.ac.kr