

IEEE 802.11 DCF를 위한 MIMD 백오프 알고리즘 분석

임석구*

요약

IEEE 802.11 WLAN의 MAC에서는 데이터 전송을 제어하기 위한 방법으로 DCF와 PCF를 사용하며, DCF의 경우 CSMA/CA를 기반으로 한다. DCF의 BEB 백오프 알고리즘은 경쟁하는 스테이션이 적은 상황에서는 비교적 우수한 성능을 보이나 경쟁하는 스테이션의 수가 많은 경우 처리율, 지연 관점에서 성능이 저하되는 문제점이 있다. 본 논문에서는 패킷 전송 후 충돌이 발생하면 경쟁윈도우를 2배로 증가시키고 패킷의 정상적인 전송 후에는 경쟁윈도우를 반으로 감소함으로써 패킷 충돌 확률을 낮추는 MIMD 백오프 알고리즘을 패킷 재전송 횟수까지 고려하여 수학적으로 분석한다. MIMD 백오프 알고리즘의 효율성을 입증하기 위해 시뮬레이션을 수행하여 분석하였다.

Analysis of MIMD Backoff Algorithm for IEEE 802.11 DCF

Seog-Ku Lim*

Abstract

The MAC of IEEE 802.11 WLAN to control data transmission uses two control methods called DCF and PCF. The DCF controls the transmission based on CSMA/CA. The BEB backoff algorithm of DCF shows relatively excellent performance in situation that the number of competing station is less, but has a problem that performance of throughput and delay is degraded in situation that the number of competing station is increased. This paper mathematically analyzes an MIMD backoff algorithm considering retry limit that increases the CW to doubled after collision and decreases smoothly the CW to halves after successful transmission in order to reduce the collision probability. To prove efficiency of the MIMD backoff algorithm, lots of simulations are conducted and analyzed.

Keywords : IEEE 802.11, WLAN, backoff algorithm, saturation throughput, packet delay, retry limit

1. 서론

IEEE 802.11은 현재 가장 널리 사용되고 있는 무선랜(Wireless LAN)의 표준기술 중 하나이다. IEEE 802.11 WLAN은 데이터를 액세스하기 위한 방법으로 DCF(Distributed Coordination Function)와 PCF(Point Coordination Function)를 사용한다. DCF는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 방식을 기반으로 하여 모든 스테이션이 동등한 관

계에서 경쟁을 통해 채널을 사용한다. 반면, PCF는 AP(Access Point)와 같은 중앙제어 노드의 관리 하에 폴링(Polling) 방식으로 스테이션들이 채널을 사용할 수 있게 관리하는 무경쟁 방식이다. DCF에는 데이터 패킷을 전송하기 위해 기본액세스(Basic Access) 방식과 RTS/CTS(Ready To Send / Clear To Send) 방식이 있다.

IEEE 802.11 DCF의 백오프 알고리즘(Backoff Algorithm)은 BEB(Binary Exponential Backoff)라고 부르며, 기본 동작은 다음과 같다. 이전 프레임에서 패킷 전송에 실패한 경우에는 경쟁윈도우(CW , Contention Window)를 2배로 증가시켜서 충돌확률을 낮추며, 패킷 전송에 성공한 경우에는 경쟁윈도우를 CW_{min} 으로 급격하게 줄이는데, 이는 경쟁하는 스테이션의 수가 많을수록 충돌이 발생할 가능성이 증가되고 이로 인해 지

※ 제일저자(First Author) : 임석구
접수일:2011년 7월 11일, 수정일:2011년 8월 23일
완료일:2011년 9월 01일
* 백석대학교 정보통신학부
sklim@bu.ac.kr

연시간이 증가하여, 이를 해결하기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다.

2차원 마르코프 체인을 이용하여 IEEE 802.11 DCF의 성능 평가 모델을 분석한 연구들이 있다 [1],[2]. [1]에서는 패킷 재전송 회수(Retry Limit)를 고려하지 않았으나, [2]에서는 이를 고려하여 분석하였다. 이 후, 다양한 백오프 알고리즘에 관한 연구가 있었다. EIED(Exponential Increase Exponential Decrease)는 충돌이 발생하면 경쟁 윈도우를 2배씩 증가시키고, 전송에 성공하면 경쟁윈도우를 $1/\sqrt{2}$ 로 줄이는 방식이며[3], EILD(Exponential Increase Linear Decrease)는 충돌이 발생하면 경쟁윈도우를 2배씩 증가시키고, 전송에 성공하면 경쟁윈도우를 선형적으로 줄이는 방식이다[4]. MIMD(Multiplicative Increase and Multiplicative Decrease)는 충돌이 발생하면 경쟁윈도우를 2배씩 증가시키고, 전송에 성공하면 경쟁윈도우를 1/2로 줄이는 방식이다[5],[6]. Slow CW 백오프 알고리즘은 충돌이 발생하면 경쟁윈도우를 2배씩 증가시키고, 전송에 성공하면 경쟁윈도우를 $\delta(=1/2^g)$ 만큼 줄이는 방식인데[7], $g=1$ 이면 MIMD 백오프 알고리즘과 같다. LILD(Linear Increase Linear Decrease)는 충돌이 발생하면 경쟁윈도우를 선형적으로 증가시키고, 전송에 성공하면 경쟁윈도우를 선형적으로 줄이는 방식이다[8]. 그리고 GDCF(Gentle DCF)는 충돌이 발생하면 경쟁윈도우를 2배씩 증가시키고, 연속적으로 c 회 전송에 성공해야만 경쟁윈도우를 1/2로 감소하는 방식이다[9]. 이러한 연구들은 2차원 마르코프 체인 모델을 이용하여 포화수율(Saturation Throughput) 관점에서 백오프 알고리즘의 성능을 분석하였지만, 일차원 모델로 분석한 연구도 있으며[10], 패킷의 지연시간 관점에서 분석한 연구들도 있다[2],[10],[11],[12].

본 논문에서는 패킷 재전송 회수까지 고려한 MIMD 방식을 해석적으로 분석하고 이를 포화수율, 전송에 성공한 패킷들의 평균지연시간, 패킷드롭확률 관점에서 BEB 방식과 비교 분석한다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서는 MIMD 방식을 설명하고 이를 2차원 마르코프 체인 모델을 이용하여 해석적으로 분석한다. 3장에서는 해석적인 모델을 시뮬레이션 결과와 비교 분석하고, 포화수율, 평균지연시간, 패킷드롭

확률 관점에서 IEEE 802.11 DCF와 비교하여 분석하며, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 해석적인 모델 분석

2.1 마르코프 체인 모델

앞으로의 해석은 참고문헌 [1]과 동일한 가정 하에 분석하며, 3가지 변수인 경쟁윈도우, 백오프 스테이지(Backoff Stage) 그리고 백오프 카운터(Backoff Counter)를 사용한다. MIMD 백오프 알고리즘의 기본 동작은 다음과 같다. 전송할 패킷이 있는 스테이션은 DIFS(Distributed Interframe Space) 시간이 경과된 후, 백오프 스테이지 0에서 경쟁윈도우 CW 를 최소경쟁윈도우인 CW_{min} 으로 초기화하고 백오프 카운터를 $[0, CW_{min}]$ 의 범위에서 랜덤(Random)하게 선택한다. 1 슬롯시간(Slot Time) 동안 채널이 사용되지 않음을 감지한 스테이션은 백오프 카운터를 -1 감소시키고 슬롯의 시작시점에 백오프 카운터가 0인 스테이션은 패킷을 전송한다. 만약 충돌이 발생하게 되면, 충돌이 발생한 스테이션은 백오프 스테이지를 +1 증가시켜서 경쟁윈도우를 두 배씩 증가시키고 백오프 카운터를 재설정한다. 반면에 패킷 전송에 성공한 스테이션은 백오프 스테이지를 -1 감소시켜서 경쟁윈도우를 반으로 감소시키고 백오프 카운터를 재설정한다. 백오프 스테이지 0에서 패킷 전송에 성공하면 백오프 스테이지 0에 머물고 경쟁윈도우는 CW_{min} 이 된다. 반면에 계속해서 전송에 실패하여 최대 백오프 스테이지에 도달한 경우 경쟁윈도우는 최대 경쟁윈도우 $CW_{max} = 2^{m'} CW_{min}$ 로 설정된다. 최대 백오프 스테이지에서도 전송에 실패하면 경쟁윈도우는 증가하지 않는다. 이를 정리하면 식(1)과 같다.

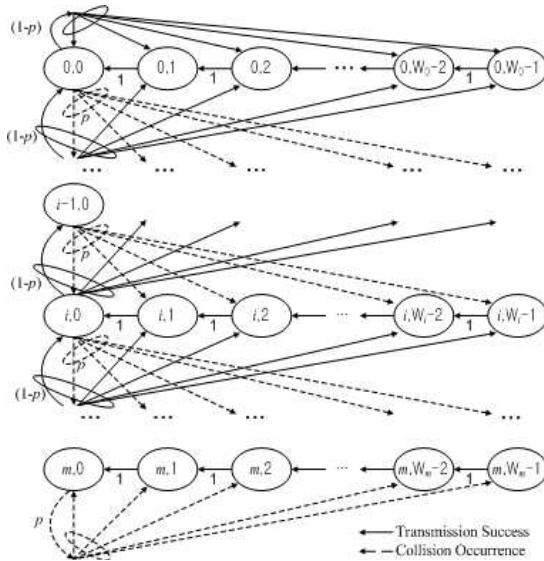
$$CW_i = \begin{cases} 2^i W & i \leq m' \\ 2^{m'} W & i > m' \end{cases} \quad (1)$$

여기서, $i(i \in [0, m])$ 는 백오프 스테이지, m 은 재전송 회수를 나타낸다. $W = CW_{min}$ 는 최소 경쟁윈도우 크기, $2^{m'} W = CW_{max}$ 는 최대 경쟁윈도우 크기를 나타낸다. $m' = \log_2(CW_{max}/CW_{min})$

는 백오프 스테이지의 개수를 나타내는데, IEEE 802.11 표준 DSSS인 경우 $m'=5$ 이다[13].

포화 상태에서 수율을 분석하기 위해 n 개의 스테이션이 존재하고 각 스테이션은 패킷 전송을 성공적으로 마친 시점에 전송하고자 하는 새로운 패킷을 가지고 있다고 가정한다. $s(t)$ 와 $b(t)$ 를 임의의 시간 t 에서 스테이션의 백오프 스테이지와 백오프 카운터 값을 나타내는 랜덤 프로세스라고 하면, 2차원 마르코프 체인 $\{s(t), b(t)\}$ 으로 나타낼 수 있으며, 이를 식(2)와 같이 정의하면 정상 상태에서의 마르코프 체인은 (그림 1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P[s(t) = i, b(t) = j] = b_{i,j} \quad (2)$$



(그림 1) MIMD의 마르코프 체인 모델

전송한 패킷이 충돌할 확률을 p 라 하면, 마르코프 성질을 이용하여 다음과 같이 조건부 확률을 이용하여 상태전이확률을 구할 수 있다.

$$\begin{cases} P[i, k | i, k+1] = 1 & k \in (0, W_i - 2), i \in (0, m) \\ P[0, k | 0, 0] = (1-p)/W & k \in (0, W-1) \\ P[i-1, k | i, 0] = (1-p)/W_i & k \in (0, W_{i-1} - 1), i \in (1, m) \\ P[i, k | i-1, 0] = p/W_i & k \in (0, W_i - 1), i \in (1, m) \\ P[m, k | m, 0] = p/W_m & k \in (0, W_m - 1) \end{cases} \quad (3)$$

식(3)에서 첫 번째 식은 각 슬롯의 시작점에서 백오프 카운터가 감소함을 나타내고, 두 번째 식은 백오프 스테이지 0에서 패킷 전송에 성공하면, 새로운 패킷을 백오프 스테이지 0에서 시작하며, 백오프 카운터 값은 $(0, W-1)$ 사이의 임의의 값이 선택된다. 세 번째 식은 백오프 스테이지 i 에서 패킷 전송에 성공하면, 백오프 스테이지는 감소하고 새로운 백오프 카운터 값은 $(0, W_{i-1}-1)$ 사이의 임의의 값이 선택된다. 네 번째 식은 백오프 스테이지 $i-1$ 에서 패킷 전송에 실패하면, 백오프 스테이지는 증가하고 새로운 백오프 카운터 값은 $(0, W_{i-1}-1)$ 사이의 임의의 값이 선택된다. 마지막 식은 백오프 스테이지가 최대치 m 에 도달하면, 백오프 스테이지는 더 이상 증가하지 않음을 의미한다.

이를 바탕으로 마르코프 체인의 규칙성을 이용하면 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$b_{i,0} = q^i b_{0,0} \quad (0 \leq i \leq m) \quad (4)$$

여기서 $q = p/(1-p)$ 이다. 마르코프 체인의 규칙성에 따라 각 $k \in (0, W_i - 1)$ 에 대해서 $b_{i,k}$ 는 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} \begin{cases} (1-p)(b_{1,0} + b_{0,0}) & i = 0 \\ pb_{i-1,0} + (1-p)b_{i+1,0} & 0 < i < m \\ p(b_{m,0} + b_{m-1,0}) & i = m \end{cases} \quad (5)$$

식(4)를 이용하여 식(5)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} \quad i \in (0, m) \quad (6)$$

따라서 식(4)와 식(6)에 의해서 $b_{i,k}$ 의 모든 값들은 $b_{0,0}$ 와 조건부 충돌확률 p 의 함수로 표현된다. 마지막으로 $b_{0,0}$ 는 모든 구간에서의 확률을 더하면 1이 된다는 조건을 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$1 = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \frac{W_i + 1}{2} \quad (7)$$

식(7)에 식(1)과 식(4)를 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{b_{0,0}} = \begin{cases} T_1(q, m) & m \leq m' \\ T_1(q, m') - T_2 & m > m' \end{cases} \quad (8)$$

$$T_1(q, m) = \frac{1 - q^{m+1}}{2(1-q)} + \frac{W(1 - (2q)^{m+1})}{2(1-2q)}$$

$$T_2 = \frac{(2^{m'}W + 1)}{2} \times \frac{q^{m'+1}(1 - q^{m-m'})}{1-q}$$

스테이션이 패킷 전송을 시도할 확률 τ 는 $b_{i,0}$ ($i \in [0, m]$)에 있을 확률을 모두 더한 것이 되고 따라서 τ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{1 - q^{m+1}}{1-q} b_{0,0} \quad (9)$$

2.2 포화수율

전송한 패킷이 충돌할 확률 p 는 나머지 $(n-1)$ 개의 스테이션 중에서 적어도 하나 이상이 전송을 시도할 확률과 같으며 다음 식과 같이 표현된다.

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (10)$$

식(9)와 식(10)은 두 개의 미지수를 갖는 비선형 시스템이며, 수치해석적인 방법을 이용하여 해를 구할 수 있다.

P_{tr} 을 임의의 슬롯시간에 최소한 하나 이상의 스테이션이 패킷을 전송할 확률이라고 하면, 무선채널 상에서 n 개의 스테이션이 경쟁하고 있기 때문에 각 스테이션은 확률 τ 로 전송을 시도한다.

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^n \quad (11)$$

확률 P_s 를 적어도 하나 이상의 스테이션이 패킷을 전송할 조건에서 성공적으로 패킷을 전송할 확률이라고 하면 다음과 같다.

$$P_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{P_{tr}} = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{1 - (1-\tau)^n} \quad (12)$$

$E[P]$ 를 평균 페이로드 크기라고 하면, 성공적으로 패킷을 전송하는데 소요되는 슬롯시간의 평균은 $P_{tr}P_sE[P]$ 로 나타낼 수 있다. 슬롯이 비어 있을 확률은 $1 - P_{tr}$, 전송에 성공할 확률은 $P_{tr}P_s$, 충돌이 발생할 확률은 $P_{tr}(1 - P_s)$ 이다. 정

규화 수율 S 는 전송성공과 충돌, 그리고 백오프 시간이 차지하는 시간과 페이로드 전송시간의 비율로 정의할 수 있으므로 다음과 같이 표현할 수 있다[1].

$$S = \frac{P_s P_{tr} E[P]}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr}P_sT_s + P_{tr}(1 - P_s)T_c} \quad (13)$$

여기서 T_s 는 패킷을 성공적으로 전송하는 데 소요되는 평균 시간이며, T_c 는 패킷 충돌에 의해 낭비되는 평균시간을 나타낸다. σ 는 빈 슬롯시간의 길이이다.

패킷의 헤더를 $H = PHY_{hdr} + MAC_{hdr}$ 로 나타내고 δ 를 전파지연이라고 하면 기본액세스 방식에 대한 성공적으로 전송한 패킷의 평균시간 T_s 와 충돌에 의해 소비된 평균시간 T_c 값은 식(14)와 같다.

$$\begin{cases} T_s^{bas} = H + E[P] + SIFS + \delta + ACK + DIFS + \delta \\ T_c^{bas} = H + E[P] + DIFS + \delta \end{cases} \quad (14)$$

RTS/CTS 액세스 방식인 경우 충돌은 RTS 패킷에서만 발생하므로 T_s 와 T_c 값은 식(15)와 같다.

$$\begin{cases} T_s^{RTS} = RTS + SIFS + \delta + CTS + SIFS + \delta + H \\ \quad + E[P] + SIFS + \delta + ACK + DIFS + \delta \\ T_c^{RTS} = RTS + DIFS + \delta \end{cases} \quad (15)$$

2.3 패킷 드롭확률 및 드롭지연시간

마르코프 체인 모델에서 패킷이 최대전송회수 m 까지 전송해서도 충돌이 발생하고 이어서 추가적인 전송에서도 충돌이 발생하면 패킷을 드롭한다. 따라서 패킷이 드롭될 확률은 다음 식과 같이 주어진다.

$$p_{drop} = p^{m+1} \quad (16)$$

폐기되는 패킷의 평균개수는 다음과 같다.

$$E[N_{drop}] = \sum_{i=1}^{\infty} ip^{i(m+1)} = \frac{p^{m+1}}{(1 - p^{m+1})^2} \quad (17)$$

i 번째 백오프 스테이지에서 지연되는 평균 타임슬롯 수는 $(W_i + 1)/2$ 이다. 하나의 패킷이

$(m+1)$ 번 충돌하는데 소요되는 시간은 다음과 같다.

$$E[T_{drop}] = \sum_{i=0}^m \frac{W_i + 1}{2} \quad (18)$$

$$= \begin{cases} \frac{W(2^{m+1} - 1) + (m+1)}{2} & m \leq m' \\ \frac{W(2^{m'}(m - m' + 2) - 1) + (m+1)}{2} & m > m' \end{cases}$$

슬롯시간의 평균은 다음과 같다.

$$E[slot] = (1 - P_{tr}) \cdot \sigma + P_{tr} \cdot P_s \cdot T_s + P_{tr} \cdot (1 - P_s) \cdot T_c \quad (19)$$

여기서 σ 는 슬롯타임의 크기이다. 따라서 하나의 패킷이 드롭될 때까지 소요되는 평균시간은 다음과 같다.

$$E[D_{drop}] = E[T_{drop}] \cdot E[slot] \quad (20)$$

2.4 평균 패킷 지연시간

하나의 패킷이 성공적으로 전송될 때까지의 평균지연시간은 패킷을 전송한 순간부터 응답(ACK)을 받은 순간까지로 정의된다. 따라서 전송에 성공한 패킷의 평균패킷 지연시간은 다음과 같이 주어진다.

$$E[D] = E[X] \cdot E[slot] \quad (21)$$

여기서 $E[X]$ 는 성공적으로 패킷을 전송하는데 소요되는 평균시간을 슬롯타임 수로 나타낸 것이며, 다음과 같이 주어진다.

$$E[X] = \sum_{i=0}^m \left[\frac{p^i - p^{m+1}}{1 - p^{m+1}} \cdot \frac{W_i + 1}{2} \right] \quad (22)$$

여기서 $(1 - p^{m+1})$ 는 패킷이 폐기되지 않을 확률이며, $(p^i - p^{m+1}) / (1 - p^{m+1})$ 은 폐기되지 않은 패킷이 i 번째 스테이지에 도달할 확률이다. 식(22)를 정리하면 식(23)과 같다.

3. 시뮬레이션 및 성능 평가

3.1 시스템 파라미터 및 시뮬레이션

MIMD 백오프 알고리즘의 수학적 모델을 평가하기 위해 시뮬레이션을 수행하였으며, 포화수율, 전송에 성공한 패킷들의 평균지연시간, 재전송 회수 제한에 따른 패킷드롭확률 관점에서 분석하였다. 시뮬레이션은 SLAM II를 사용해서 Event-Driven 방식으로 구현하였으며[14], 시뮬레이션 수행은 시드번호(seed number)를 변경하면서 10회의 결과에 대한 평균값을 사용하였다.

수학적 모델의 평가와 시뮬레이션 수행에 필요한 파라미터는 IEEE 802.11 표준규격 DSSS(Digital Sequence Spread Spectrum)를 가정하였으며, <표 1>과 같다[13]. 패킷의 길이는 1814bit, 채널 속도는 2Mbps로 가정하였다. 또한 CW 의 최소값(CW_{min})과 최대값(CW_{max})은 각각 32, 1024이고, 재전송 한계값을 7로 설정하였다. 시뮬레이션 환경은 각 스테이션이 항상 전송할 데이터를 가지고 있는 포화상태를 가정하였으며, 전송에러에 의한 재전송은 고려하지 않았다.

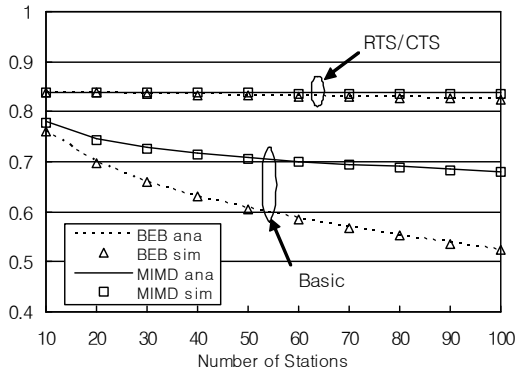
<표 1> 시스템 파라미터(802.11 DSSS)

파라미터	값
Packet payload	8184 bits
MAC overhead	272 bits
PHY header	128 bits
ACK	112bit+PHYhdr
RTS	160bit+PHYhdr
CTS	112bit+PHYhdr
Channel bit rate	2 Mbps
Propagation Delay	1 μ s
Slot Time	20 μ s
SIFS	10 μ s
DIFS	50 μ s
CW_{min}	32
CW_{max}	1024
Short Retry Limit	7

$$E[X] = \begin{cases} \frac{W[1 - (2p)^{m+1}]}{2(1-2p)(1-p^{m+1})} + \frac{1}{2(1-p)} - \frac{p^{m+1}}{1-p^{m+1}} E[T_{drop}] & m \leq m' \\ \frac{W[1 - (2p)^{m'+1}]}{2(1-2p)(1-p^{m+1})} + \frac{1}{2(1-p)} + \frac{W \cdot 2^m p^{m'+1} (1 - p^{m-m'})}{2(1-p)(1-p^{m+1})} - \frac{p^{m+1}}{1-p^{m+1}} E[T_{drop}] & m > m' \end{cases} \quad (23)$$

3.2 해석적인 모델 평가

(그림 2)는 스테이션의 수의 증가에 따른 포화수율을 IEEE 802.11 DCF의 BEB 알고리즘과 MIMD 알고리즘을 비교하여 나타낸 그래프이다. 먼저 해석적인 모델은 시뮬레이션 결과와 매우 정확하게 일치함을 보여주고 있다. (그림 2)에서 기본액세스(Basic Access) 방식에서의 수율은 스테이션의 개수와 밀접하게 관련되어 있으나 RTS/CTS 방식은 그렇지 않음을 보여주고 있다. 기본액세스방식인 경우 MIMD 알고리즘의 포화수율이 IEEE 802.11 DCF의 BEB 알고리즘에 비해 높음을 알 수 있다. 또한 BEB 알고리즘인 경우 스테이션 수가 증가할수록 포화수율이 급격히 감소하지만, MIMD 알고리즘의 수율은 상대적으로 서서히 감소한다. 그 원인은 식(13)으로부터 설명할 수 있다.



(그림 2) 스테이션 수 변화에 따른 포화수율

식(13)의 분모와 분자를 $P_{tr}P_s$ 로 나누고 정리하면 다음과 같다.

$$S = \frac{P_s P_{tr} E[P]}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1 - P_s) T_c} \quad (24)$$

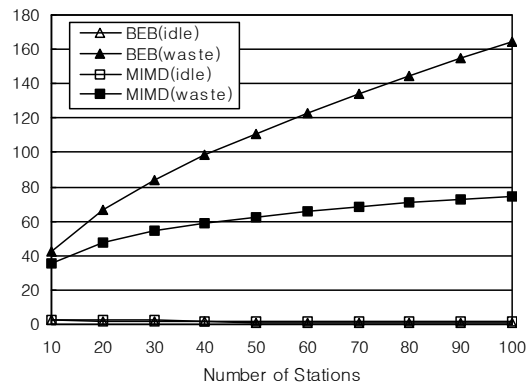
$$= \frac{E[P]}{T_s + \sigma \frac{1 - P_{tr}}{P_s P_{tr}} + T_c \left(\frac{1}{P_s} - 1 \right)}$$

식(24)의 분모는 하나의 패킷을 성공적으로 전송하는데 채널 상에서 소비하는 시간의 평균을 나타낸다. 이것은 3가지 구성요소로 이루어져 있는데, 식(24) 분모의 첫 번째 항인 T_s 는 하나의

패킷을 성공적으로 전송하는데 소요되는 시간이다. 식(14)와 식(15)를 이용하면, $T_s^{lbs} = 4482$, $T_s^{rts} = 4786$ 인데, 그 차이는 RTS/CTS 방식에 부과된 오버헤드에 기인한다. 두 번째 항은 액세스 방식과는 무관하며, 패킷의 성공적인 전송 당 채널이 유흡인 시간의 양을 나타낸다. 여기서 $1/(P_{tr}P_s)$ 는 전송에 성공할 때까지 소비하는 슬롯타임의 평균 개수를 의미한다. 이러한 슬롯타임 중에 $(1 - P_{tr})$ 부분은 비어있고, 각 빈 슬롯타임의 길이는 σ 이다. 세 번째 항은 충돌에 의해 채널에서 소비되는 시간을 나타낸다. $(1/P_s - 1)$ 는 전송 성공 당 평균 충돌수를 나타내고, 여기에 T_c 를 곱하면 충돌에 의해 소비되는 시간을 나타낸다.

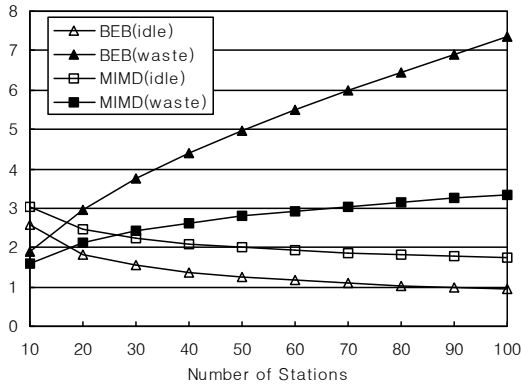
(그림 3)에는 기본액세스인 경우, 식(24) 분모의 두 번째 항과 세 번째 항을 슬롯타임의 길이 σ 로 정규화하여 나타내었으며, (그림 4)에는 RTS/CTS 방식인 경우를 나타내었다.

(그림 2)에 의하면 기본액세스인 경우 MIMD 알고리즘의 포화수율이 BEB 알고리즘에 비해 높는데, 그 이유는 (그림 3)에서 설명 가능하다. 즉, BEB 알고리즘은 스테이션의 개수가 증가함에 따라 Idle 슬롯타임의 개수는 매우 완만하게 감소하지만, 충돌에 의해 낭비되는 시간은 매우 급격하게 증가하므로 포화수율이 떨어진다. 이에 비해 MIMD 알고리즘은 스테이션의 개수가 증가함에 따라 Idle 슬롯타임의 개수는 매우 완만하게 감소하며, 충돌에 의해 낭비되는 시간은 상대적으로 완만하게 증가하므로 포화수율이 BEB 알고리즘보다 높게 나타난다.



(그림 3) Idle 슬롯타임과 충돌에 의해 낭비되는 슬롯타임의 평균 개수(기본액세스)

또한 (그림 2)에 의하면 RTS/CTS 액세스인 경우 MIMD 알고리즘의 포화수율이 약간 높으나 그 차이가 크지 않는데 그 이유는 (그림 4)로부터 설명 가능하다. 즉, 스테이션의 개수가 증가함에 따라 Idle 슬롯타임의 개수는 MIMD가 BEB보다 크지만, 충돌에 의해 낭비되는 시간은 그 반대가 되어 이를 종합하면 MIMD 알고리즘의 포화수율이 약간 크게 된다.



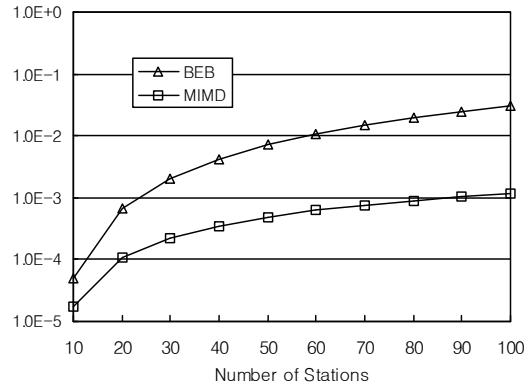
(그림 4) Idle 슬롯타임과 충돌에 의해 낭비되는 슬롯타임의 평균 개수(RTS/CTS 액세스)

3.3 드롭확률 및 평균지연시간

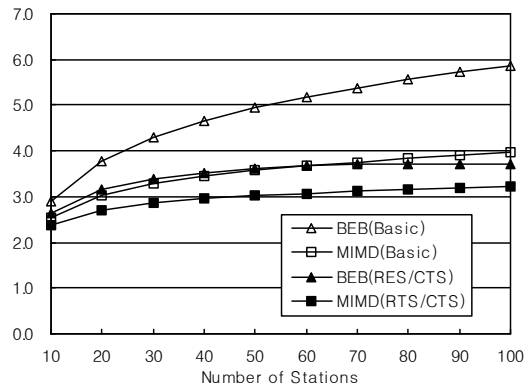
(그림 5)에는 패킷재전송 회수의 제한에 따른 패킷드롭확률을 나타내었다. 식 (16)에 의하면 이 확률은 재전송 회수 m 과 충돌확률 p 에만 관계되며, 액세스 방식과는 관계없이 동일하다. 분석 결과 MIMD 알고리즘에서의 패킷드롭확률이 낮음을 알 수 있는데, 그 이유는 IEEE 802.11 DCF의 BEB 알고리즘은 하나의 패킷전송에 성공하면 백오프 스테이지를 급격하게 낮춤으로 인해 충돌확률이 증가하였기 때문이다. 이에 비해 MIMD 알고리즘은 패킷전송에 성공하면 백오프 스테이지를 -1만 감소함으로써 충돌확률을 최소화한 것으로 분석된다.

(그림 6)에는 패킷이 드롭될 때까지의 평균시간을 나타내었는데, 스테이션의 수 n 이 증가함에 따라 평균드롭시간이 증가한다. 또한 RTS/CTS 방식이 기본액세스 방식에 비해 평균 지연이 낮음을 알 수 있다. 아울러 MIMD 알고리즘이 IEEE 802.11 DCF의 BEB 알고리즘보다 지연시간이 작음을 알 수 있었다. 그 이유는 식

(24) 분모의 세 번째 항인 충돌에 의해 채널에서 소비되는 시간에 기인한다.

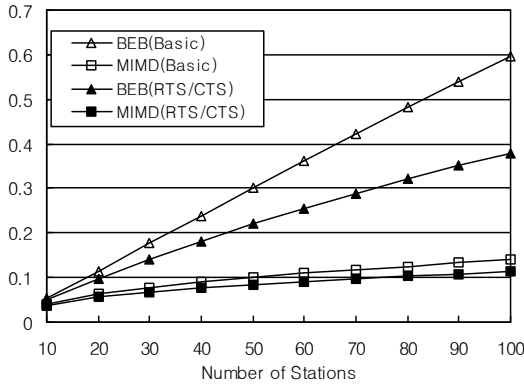


(그림 5) 스테이션 수 변화에 따른 패킷드롭확률



(그림 6) 스테이션 수 변화에 따른 평균패킷드롭시간

(그림 7)에는 스테이션의 수의 증가에 따른 평균 패킷지연시간(Average Packet Delay)을 나타내었다. 여기서 재전송회수 제한에 의해 패킷이 드롭된 경우는 제외한 결과이다. 스테이션 수가 증가함에 따라 지연시간이 증가하는 것을 알 수 있으며, RTS/CTS 방식이 기본액세스 방식에 비해 평균지연이 낮음을 알 수 있다. 또한 MIMD 백오프 알고리즘이 IEEE 802.11 DCF의 BEB 알고리즘보다 지연시간이 작음을 알 수 있었다. 그 이유는 식 (24) 분모의 세 번째 항인 충돌에 의해 채널에서 소비되는 시간의 차이에 기인한다.



(그림 7) 스테이션 수 변화에 따른 평균 패킷지연시간

4. 결론

IEEE 802.11 DCF의 BEB 백오프 알고리즘은 성공적으로 패킷을 전송한 경우, 다음 백오프 스테이지를 0으로 하여 경쟁윈도우를 급격하게 줄임으로써 패킷이 충돌할 확률이 증가하는 단점이 있으며, 현재까지 이러한 충돌확률을 줄이기 위한 다양한 백오프 알고리즘이 제안되었으며, 여러 방식 중 하나가 MIMD 백오프 알고리즘이다.

본 논문에서는 기존에 제안된 MIMD 백오프 알고리즘을 패킷 재전송 회수까지 고려한 알고리즘의 마르코프 체인을 이용하여 확장된 해석적인 모델을 분석하였다. 분석한 모델은 기본 액세스와 RTS/CTS 방식에 모두 적용할 수 있다.

MIMD 백오프 알고리즘의 성능은 포화수율, 평균패킷지연시간, 패킷드롭확률, 패킷이 드롭할 때까지의 평균시간 관점에서 IEEE 802.11 DCF BEB 알고리즘과 비교하여 분석하였다. 분석 결과, 먼저 해석적인 모델은 시뮬레이션 결과와 일치함을 보였다. 또한 MIMD 백오프 알고리즘은 IEEE 802.11 DCF의 BEB 백오프 알고리즘에 비해 포화수율이 높았으며, 패킷드롭확률, 평균지연시간 등은 낮아서 그 성능이 우수함을 알 수 있었다. MIMD 백오프 알고리즘의 성능 향상은 충돌에 의해 채널에서 소비되는 시간의 감소에 기인함을 알 수 있었다.

앞으로 실제의 무선랜 채널 환경을 고려하여 E_b/N_0 및 BER(Bit Error Rate)에 따른 처리율

특성을 파악한다면 구내 및 공중 무선랜 설계와 구축업무에 본 논문의 연구결과를 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", IEEE E J. Selected Areas in Communications, Vol. 18, No. 3, pp. 535-547, March 2000.
- [2] P. Chatzimisios, A. C. Boucouvalas and V. Vitsas, "IEEE 802.11 Packet Delay - A Finite Retry Limit Analysis", Proc. of IEEE GLOBECOM, Vol. 2, pp. 950-954, Dec. 2003.
- [3] N. Song, B. Kwak, J. Song, and L. E. Miller, "Enhancement of IEEE 802.11 distributed coordination function with exponential increase exponential decrease backoff algorithm", Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference(VTC), Vol. 4, pp. 2775-2778, April 2003.
- [4] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, "MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LAN's", Proc. of SIGCOMM'94, pp. 212-225, 1994.
- [5] W. K. Kuo and C. C. Jay Kuo, "Enhanced back off scheme in CSMA/CA for IEEE 802.11", Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Vol. 5, pp. 2809-2813, Oct. 2003.
- [6] H. Wu, S. Cheng, Y. Peng, K. Long, and J. Ma, "IEEE 802.11 Distributed Coordination Function (DCF): Analysis and Enhancement", Proc. of ICC 2002, New York, pp. 605 - 609, May 2002.
- [7] Q. Ni, I. Aad, C. Barakat and T. Turletti, "Modeling and analysis of slow CW decrease IEEE 802.11 WLAN", Proc. of PIMRC 2003, Vol. 2, pp. 1717-1721, Sept. 2003.
- [8] V. Vitsas, "Throughput analysis of linear back off scheme in wireless LANS, Electronics Letters, Vol. 39, No. 1, pp. 99-100, Jan. 2003.
- [9] C. Wang, B. Li and L. Li, "A New Collision Resolution Mechanism to Enhance the Performance of IEEE 802.11 DCF", IEEE Transac-

- n on Vehicular Technology, Vol. 53, No. 4, pp. 1235-1246, July 2004.
- [10] I. Vukovic and N. Smavatkul, "Delay Analysis of Different Backoff Algorithms in IEEE 802.11", Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference(VTC), Vol. 7, pp. 4553-4557, Sept. 2004.
- [11] L. Zhang, Y. Shu, O. Yang, G. Wang, "Study of Medium Access Delay in IEEE 802.11 Wireless Networks", IEICE Transactions on Communications, Vol. E89-B, No. 4, pp. 1284-1293, April 2006.
- [12] K. Kang and X. Lin, "An Accurate MAC Delay Model for IEEE 802.11 DCF", Proc. of IEEE ICT, pp. 654-657, May 2007.
- [13] IEEE standard for Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, IEEE Std: 802.11b-1999/Cor 1-2 001, 2001.
- [14] A. Alan B. Pritsker, "Introduction to Simulation and SLAM II", John Wiley & Sons, 1986.



임 석 구

1983년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)

1987년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1999년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)

1987년 1월~1992년 2월 : LG전자 중앙연구소

1992년 2월~1994년 2월 : 한국전자통신연구원

1994년 3월~2001년 2월 : 주성대학

1994년 7월~2008년 4월 : 한국전자통신연구원 초빙연구원

2001년 3월~현재 : 백석대학교 정보통신학부 부교수

관심분야 : 트래픽 엔지니어링, 시뮬레이션, 통신시스템 성능분석, BcN, WLAN