

IEEE 802.11 무선랜의 성능 향상을 위한 Binary Negative-Exponential Backoff 알고리즘

준희원 기형주*, 최승혁*, 종신회원 정민영*, 이태진*

Binary Negative-Exponential Backoff Algorithm to Enhance The Performance of IEEE 802.11 WLAN

Hyung Joo Ki*, Seung-Hyuk Choi* *Associate Members*,
Min Young Chung*, Tae-Jin Lee* *Lifelong Members*

요 약

DCF에서는 백오프 스테이지(backoff stage), 백오프 카운터(backoff counter), 경쟁 윈도우(contention window)의 세 가지 매개변수를 사용하여 충돌이 발생하면 백오프 스테이지를 하나씩 증가시키고 백오프 카운터를 선택하는 범위인 경쟁 윈도우를 두 배씩 증가시키는 이진 지수적인 백오프(BEB : Binary Exponential Backoff) 방식을 사용하여 전송 프레임간의 충돌 발생 가능성을 줄이고 있다. 그러나 무선 자원을 공유하는 단말의 수가 증가 할수록 충돌 발생 가능성이 증가하여 비효율적으로 자원을 사용하는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 무선 자원을 효율적으로 사용하고 무선 랜의 성능을 향상시키기 위해 충돌 발생 시 경쟁 윈도우를 최대로 유지하고 전송 성공 시 경쟁 윈도우를 반으로 줄이는 이진 음지수적인 백오프(BNEB : Binary Negative-Exponential Backoff) 방식을 제안하고 IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b의 세 가지 표준에 대해서 포화상태 및 정상 트래픽 상태에서의 성능 평가를 수행하였다.

Key Words : IEEE 802.11, DCF, BNEB, Throughput, MAC delay

ABSTRACT

IEEE 802.11 has employed distributed coordination function (DCF) adopting carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA). To effectively resolve collisions, DCF uses binary exponential backoff (BEB) algorithm with three parameters, i.e., backoff stage, backoff counter and contention window. If a collision occurs, stations involving in the collision increase their backoff stages by one and double their contention window sizes. However, DCF with BEB wastes wireless resource when there are many contending stations. Therefore, in this paper, to enhance the performance of wireless LAN, we propose binary negative-exponential backoff (BNEB) algorithm which maintains a maximum contention window size during collisions and reduces a contention window size to half after successful transmission of a frame without retransmissions. For IEEE 802.11, 802.11a and 802.11b standards, we also compare the performance of DCF with BEB to that with BNEB.

1. 서 론

IEEE 802.11은 Distributed Coordination Function (DCF)과 Point Coordination Function (PCF)의 두 가

지 MAC 방식을 정의하였다^[1]. DCF는 경쟁 구간에서 비동기 데이터 전송을 위한 매체 접근 방식으로 CSMA/CA를 기반으로 하고 있으며 PCF는 중앙 제

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 R01-2006-000-10402-0 지원으로 수행되었음.

* 성균관대학교 정보통신공학부 ({ki0724, zealion, mychung, tjlee}@ece.skku.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-09-396, 접수일자 : 2006년 9월 25일, 최종논문접수일자 : 2006년 11월 20일

어 노드의 관리 하에 무경쟁 방식으로 매체를 이용하는 방법이다. PCF는 중앙 집중적인 폴링 (Polling) 방식으로 폴링 오버헤드와 단말이 전송할 데이터가 없다는 것을 알리기 위하여 전송하는 널 패킷들로 인하여 무선자원을 비효율적으로 사용하는 문제점이 있다²⁾. 이러한 단점들로 인하여 PCF는 성능 및 유연성에서 문제를 나타내고 있어 대부분의 무선 랜 장비에서 거의 구현이 되지 않고 있다³⁾.

DCF의 기본적인 동작 방식에서 전송할 프레임이 있는 단말은 Distributed Interframe Space (DIFS)가 경과된 후 백오프 스테이지 0 에서 경쟁 윈도우를 최소 경쟁 윈도우 크기(CW_{min})로 초기화하고 백오프 카운터를 [0, CW_{min}]의 범위에서 랜덤하게 선택한다. 슬롯 시간 동안 채널이 사용되지 않음을 감지한 단말은 백오프 카운터를 1씩 감소시키고 슬롯의 시작 시점에 백오프 카운터가 0인 단말은 프레임 전송을 시작한다. 만약 충돌이 발생하게 되면, 충돌이 발생한 단말은 백오프 스테이지를 1씩 증가시키며 경쟁 윈도우를 두 배씩 증가시키고 백오프 카운터를 재설정 한다. 프레임 전송이 성공한 단말은 백오프 스테이지와 경쟁 윈도우를 초기화한다. DCF는 경쟁하는 단말의 수가 많을수록 충돌이 발생할 가능성이 증가하여, 이를 해결하기 위한 많은 연구들이 진행 되어 왔다^{4),11)}.

Bianchi는 2차원 마코프 체인을 이용한 DCF의 성능 평가 모델을 제안하고 이를 시뮬레이션을 통하여 검증하였다⁵⁾. Xiao는 Bianchi모델의 간단한 수정과 함께 DCF의 수율과 MAC 지연의 한계를 나타내었다⁶⁾. DCF보다 빠른 충돌 해결을 위한 Fast Collision Resolution (FCR)알고리즘은 기존의 DCF보다 적은 경쟁 윈도우를 사용하고 연속적인 휴지 슬롯이 탐지 되면 백오프 카운터를 지속적으로 감소시키는 방식으로 DCF와 비교하여 충돌을 빠르게 해결할 수 있다. 그러나 공정성(fairness)에 취약점을 가지고 있기 때문에, 공정한 스케줄링 알고리즘을 혼합하여 사용 하여야 하는 단점이 있다⁷⁾. Gentle Distributed Coordination Function (GDCCF)은 연속적인 전송 성공 횟수를 집계하는 계수기를 사용하며, 계수기의 값이 일정한 값에 도달하면 새로 전송될 프레임은 이전 프레임의 백오프 스테이지보다 1이 감소한 백오프 스테이지에서 전송을 시도하게 된다⁸⁾. 이러한 방식은 자원을 공유하는 단말의 수가 많을 때 DCF보다 충돌 발생 가능성이 줄어들게 되지만 백오프 값에 상관없이 고정된 값을 사용하는 것은 경쟁 단말의 수가 적을 때 수율의 감소 및 지연 증가의 원인이 된다.

GDCCF의 성능을 개선한 Enhanced GDCCF (EGDCCF)에서는 동일한 백오프 스테이지에서 연속적인 전송 성공 횟수를 집계하는 계수기를 사용한다^{9),10)}. EGDCCF에서는 연속적인 전송 성공 횟수가 허용된 값에 도달하면 새로 전송될 프레임은 이전 프레임의 백오프 스테이지보다 1이 감소한 백오프 스테이지에서 전송을 시도하게 된다. 허용되는 값은 백오프 스테이지마다 다르게 할당된다. EGDCCF는 수율이 경쟁 단말의 수에 민감하지 않지만 백오프 스테이지에 따라 서로 다른 허용된 값을 사용하기 때문에 DCF에서 사용되는 계수기 외에 연속적인 전송 성공 횟수를 집계하는 계수기를 추가로 사용하는 문제점이 있다. Chatzimisios 등은 IEEE 802.11a에서 DCF의 기본 접근 방식 및 RTS/CTS방식에 대하여 수학적 분석과 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교하였고 Raffaele 등은 IEEE 802.11b에서 DCF의 기본 접근 방식 및 RTS/CTS방식의 성능을 비교하였다^{11),12)}.

본 논문에서는 간단하면서도 효과적인 충돌 해결 알고리즘인 Binary Negative-Exponential Backoff (BNEB) 방식을 제안하고 이에 대한 분석 및 성능을 평가 한다. 논문의 구성은 서론에 이어, 2장에서는 BNEB 알고리즘의 동작 방식에 대해 설명하고 3장에서는 포화 상태에서 BNEB 알고리즘의 수율 및 MAC 지연에 관한 수학적 분석 모델을 제시한다. 4장에서는 포화 상태에서 수율 및 MAC 지연의 수학적 분석 모델을 IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b의 세 가지 환경에서 시뮬레이션을 통해 검증하며, 정상 트래픽 상태에서 입력 도착률에 따른 수율 및 MAC 지연을 평가한다. 그리고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. BNEB 알고리즘

BNEB 알고리즘은 기존 DCF에서 사용되는 BEB와 같이 세 개의 매개 변수, 즉 백오프 스테이지, 백오프 카운터, 경쟁 윈도우를 사용하고 있으며, 각 변수의 기능은 기본 DCF와 유사하다. DCF 방식에서 프레임 전송을 위해 사용되는 경쟁 윈도우의 크기가 전송 프레임의 충돌 여부에 의해 결정되는 것과 달리, BNEB의 경쟁 윈도우는 이전 프레임의 전송 성공 여부에 의해 결정된다. 따라서 BNEB는 충돌 발생 시 최대 경쟁 윈도우를 사용하여 각 단말이 중복된 백오프 카운터를 선택할 가능성을 줄임으로써 충돌이 발생 가능성을 최소화 하며, 전송 성공 시 경쟁 윈도우를 줄임으로써 경쟁 단말 수가 적은 경우 백

오프에 의한 지연을 줄이는 장점이 있다. 또한, BNEB방식에서 음의 백오프 스테이지를 도입하여 연속적인 전송 성공을 나타내는 척도로 사용하고 있어 기 제안된 GDCCF나 EGDCF와 같이 연속적인 전송 성공을 집계하는 계수기 없이 경쟁 단말 수에 대한 예측이 가능하다.

BNEB 알고리즘에서 백오프 스테이지 i 에서의 경쟁 윈도우 크기 W_i ($CW_{min} + 1 \leq W_i \leq CW_{max} + 1$)는 다음과 같이 결정된다.

$$W_i = \begin{cases} CW_{max} + 1, & 0 \leq i \leq m, \\ \max(2^i \cdot (CW_{max} + 1), CW_{min} + 1), & -L \leq i < 0, \end{cases} \quad (1)$$

여기서, CW_{min} 와 CW_{max} 은 각각 최소 및 최대 경쟁 윈도우 크기, m 은 동일 프레임에 대한 최대 허용 가능한 재전송 횟수를 나타내고 있으며, L 은 자연수로서 보조 변수이다. 각 단말은 전송하는 프레임의 백오프 카운터를 $[0, W_i - 1]$ 에서 균등하게 선택하여 설정하고, 휴지 상태인 백오프 슬롯을 감지할 때 마다 1씩 감소시키고 백오프 카운터 값이 0이 되면 프레임을 전송한다.

현재 전송하여야 하는 프레임에 대한 백오프 스테이지는 이전 프레임의 백오프 스테이지 값과 전송 결과, 즉 성공 또는 실패(충돌)에 따라 결정된다. 이전 프레임이 백오프 스테이지 i 에서 전송을 성공한 경우, i 가 0 보다 크면 현재 전송하여야 하는 프레임에 대한 백오프 스테이지는 0으로 설정되고, 0 보다 작거나 같고 $-L$ 보다 크면 $i-1$ 로 설정되고, $-L$ 과 같으면 $-L$ 을 유지함으로써 이전에 사용한 경쟁 윈도우 보다 작거나 작은 경쟁 윈도우 크기를 사용한다. 그러나 이전에 백오프 스테이지 i 에서 시도한 프레임 전송이 실패(또는 충돌)하는 경우, i 가 0 보다 크거나 같고 m 보다 작으면 현재 전송하여야 하는 프레임에 대한 백오프 스테이지는 $i+1$ 로 설정되고, i 가 0 보다 작으면 1로 설정한다. i 가 m 과 같으면 프레임을 폐기하고 백오프 스테이지를 0으로 설정한다. 따라서 충돌이 발생하면 다음 프레임 전송에서는 최고 크기의 경쟁 윈도우를 사용하여 빠른 충돌 해결을 시도한다.

III. BNEB 수학적 분석 모델

Bianchi는 2차원 마코프 체인을 이용한 DCF의 성능 평가 모델을 제안하고 이를 시뮬레이션을 통하여

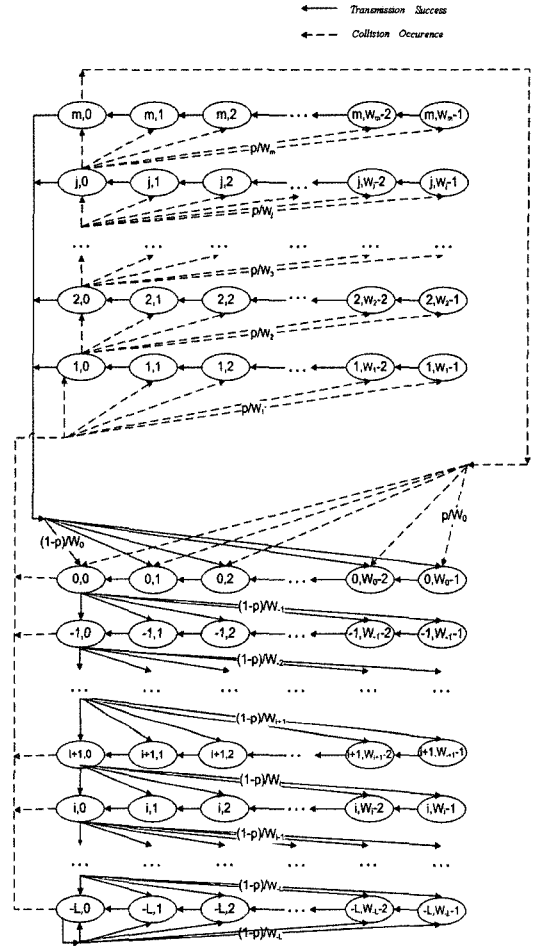


그림 1. BNEB 마코프 체인 모델

검증하였다^[45]. 이를 이용하여 제안하는 BNEB의 포화 상태 수 및 MAC 지연을 분석하기 위해 n 개의 단말이 존재하고 각 단말은 프레임 전송을 성공적으로 마친 시점에 전송하고자하는 새로운 프레임을 가지고 있다고 가정한다. $s(t)$ 와 $b(t)$ 를 임의의 시간 t 에서 단말의 백오프 스테이지와 백오프 카운터 값을 나타내는 랜덤 프로세스라고 하면, BNEB 알고리즘에 대한 동작은 2차원 마코프 체인 $(s(t), b(t))$ 으로 나타낼 수 있으며,

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

로 정의하면 정상 상태에서의 마코프 체인은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 전송한 프레임이 충돌할 확률을 p 라 하면, 마코프 성질을 이용하여 다음과 같이 조건부 확률을 이용하여 상태 전이 확률을 구할

수 있다.

$$\begin{aligned}
 P\{i, j|i, j+1\} &= 1 & i \in [-L, m], j \in [0, W_i - 2], \\
 P\{0, j|i, 0\} &= (1-p)/W_0 & i \in [1, m-1], j \in [0, W_0 - 1], \\
 P\{0, j|i, 0\} &= 1/W_0 & i = m, j \in [0, W_0 - 1], \\
 P\{i-1, j|i, 0\} &= \frac{(1-p)}{W_{i-1}} & i \in [-L+1, 0], j \in [0, W_{i-1} - 1], \\
 P\{i, j|i, 0\} &= \frac{(1-p)}{W_i} & i = -L, j \in [0, W_i - 1], \quad (2) \\
 P\{i+1, j|i, 0\} &= p/W_{i+1} & i \in [1, m-1], j \in [0, W_{i+1} - 1], \\
 P\{1, j|i, 0\} &= p/W_1 & i \in [-L, 0], j \in [0, W_1 - 1],
 \end{aligned}$$

이를 바탕으로 마코프 체인의 규칙성을 따르면 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 b_{i,0} &= (1-p)^{-i} b_{0,0} & i \in [-L+1, 0], \\
 b_{i,j} &= \frac{W_i - j}{W_i} b_{i,0} & i \in [-L, 0], j \in [0, W_i - 1], \\
 b_{-L,0} &= \frac{(1-p)^L}{p} b_{0,0} & (3) \\
 b_{i,0} &= p^{i-1} b_{0,0} & i \in [1, m], \\
 b_{i,j} &= \frac{W_i - j}{W_i} b_{i,0} & i \in [1, m], j \in [0, W_i - 1].
 \end{aligned}$$

$b_{i,j}$ ($i \in [-L, m], j \in [0, W_i - 1]$)는 $b_{0,0}$ 로 표시 가능하며, 따라서 $\sum_{i=-m}^L \sum_{j=0}^{W_i-1} b_{i,j} = 1$ 을 만족하는 $b_{0,0}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 b_{0,0} &= \frac{1}{A+B} \\
 A &= \frac{(Wp+1) + \frac{(1-p)}{2} \left[W \left(\frac{1-p}{2} \right)^m - 1 \right]}{p(1+p)} \\
 B &= \frac{W+1}{2} \left(\frac{1-p^L}{1-p} \right) \quad (4)
 \end{aligned}$$

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

$$\tau = \sum_{i=-L}^m b_{i,0} = \left(\frac{1}{p} + \frac{1-p^m}{1-p} \right) b_{0,0} \quad (5)$$

프레임 충돌이 발생할 확률 p 는 2대 이상이 전송을 시도할 확률과 같으며 프레임 전송이 성공할 확률 P_s 는 오직 1대만이 전송을 성공할 확률이고 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p = 1 - (1-\tau)^{n-1} \quad (6)$$

$$P_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{P_{tr}} \quad (7)$$

여기서 P_{tr} 은 1대 이상이 전송을 시도할 확률을 나타낸다.

$$P_{tr} = 1 - (1-\tau)^n \quad (8)$$

백오프 슬롯 타임을 σ , 성공적으로 하나의 프레임을 전송하는데 걸리는 시간과 프레임 충돌이 발생하는 시간 구간을 각각 T_s 와 T_c , 전송이 성공한 패킷에 의한 평균 전송 시간을 $E[P]$, 충돌한 패킷의 평균 전송 시간을 $E[P^*]$, 물리계층과 MAC 계층의 헤더 전송 시간의 합을 H ($= PHY_{hdr} + MAC_{hdr}$), 전파 지연을 δ 라 하면 T_s 와 T_c 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 T_s &= H + E[P] + SIFS + \delta + ACK + DIFS + \delta \\
 T_c &= H + E[P^*] + DIFS + \delta
 \end{aligned}$$

포화상태에서의 정규화 수율 S 는 전송 성공과 충돌 그리고 백오프 시간이 차지하는 시간과 페이로드 전송 시간의 비율로 정의할 수 있으며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S = \frac{P_s P_{tr} E[P]}{(1-P_{tr})\sigma + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1-P_s) T_c} \quad (9)$$

다음으로 DCF와 BNEB의 포화상태에서의 평균 MAC지연을 구하기 위해 임의의 백오프 스테이지에서 평균적으로 머무르는 시간 d_i 를 정의하면 d_i 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 d_i &= (1-p)T_s + pT_c + [(1-P_b)\sigma + P_b T_b] \frac{W_i}{2}, \\
 & \quad i \in [-L, m] \quad (10)
 \end{aligned}$$

P_b 와 T_b 는 각각 채널이 사용 중일 확률과 채널이

사용 중일 때 동결된 평균 시간을 나타낸다. P_b 는 단말 자신을 제외한 나머지 단말이 전송을 시도할 확률과 같으며 T_b 는 다른 단말의 전송 성공으로 인한 동결 시간과 충돌 발생으로 인한 동결 시간의 합과 같다. 따라서 P_b 와 T_b 는 다음과 같이 구할 수 있다.

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

$$T_b = \frac{(n-1)\tau(1-\tau)^{n-2}}{P_b} T_s + \left(1 - \frac{(n-1)\tau(1-\tau)^{n-2}}{P_b} \right) T_c \quad (12)$$

d_i 를 기반으로 백오프 스테이지 i 에서 남아있는 평균 MAC 지연 D_i 는

$$D_i = \begin{cases} d_i + pD_1, & -L \leq i \leq 0, \\ d_i + pD_{i+1}, & 1 \leq i \leq m, \\ d_i, & i = m, \end{cases} \quad (13)$$

와 같이 표현되고, 마지막으로 평균 MAC 지연 D 는 다음과 같다.

$$D = \frac{\sum_{i=-L}^0 b_{i,0} D_i}{\sum_{i=-L}^0 b_{i,0}} \quad (14)$$

IV. 성능 평가

DCF와 BNEB의 성능을 평가하기 위하여 표 1과 같은 MAC 파라미터를 사용하였고 DCF와 BNEB의 최소 윈도우 사이즈(CW_{min})을 같게 하기 위하여 802.11과 802.11b에서는 $L=5$, $m=7$ 로 설정하였고 802.11a에서는 $L=6$, $m=7$ 로 설정하였다. m 은 동일 프레임에 대한 최대 허용 가능한 재전송 횟수를 나타내고 있으며, L 은 자연수로서 보조 변수이다. 802.11a에서 Control Rate (C_{con})는 ACK와 같은 Control 패킷이 전송될 때 사용되며 6, 24Mbps로 설정하였다.

그림 2는 802.11에서의 DCF와 BNEB 포화 상태 수율을 나타낸다. 단말수가 2대, 3대 일 때는 BNEB의 수학적 분석 결과와 시뮬레이션 결과가 약간의 차이를 보이지만 그 외에는 분석과 시뮬레이션 결과가 일치한다. 기존의 DCF는 경쟁하는 단말수의 증가에 따라 수율이 감소하는 반면 BNEB는 일정 단말수 이상에서 단말수의 증가에 따른 수율의 변화를

표 1. 802.11, MAC 파라미터

	802.11	802.11a	802.11b
Packet payload	8184 bits	8184 bits	8184 bits
MAC header (MAC_{hdr})	272 bits	272 bits	272 bits
PHY header (PHY_{hdr})	128bits	128bits	128bits
ACK length	240bits	240bits	240bits
Data rate (Mbps)	1	6, 54	1, 2, 5.5 11
Propagation delay (δ)	$1 \mu s$	$1 \mu s$	$1 \mu s$
SIFS	$28 \mu s$	$16 \mu s$	$10 \mu s$
DIFS	$128 \mu s$	$34 \mu s$	$50 \mu s$
Slot time	$50 \mu s$	$9 \mu s$	$20 \mu s$
CW_{min}	31	15	31
CW_{max}	1023	1023	1023

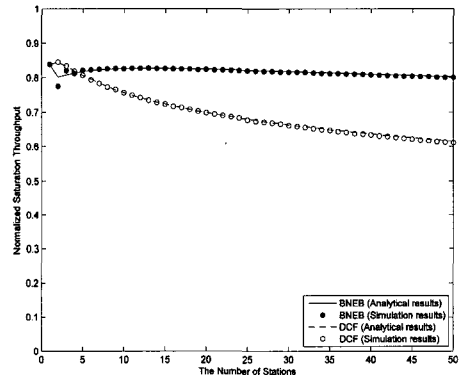


그림 2. 802.11에서 DCF와 BNEB의 포화상태에서의 수율 ($L=5$, $m=7$)

거의 보이지 않는다. BNEB는 충돌 발생 시 경쟁 윈도우를 CW_{max} 로 유지하여 재전송 프레임간의 충돌 발생 가능성을 줄이기 때문에 DCF와 달리 경쟁 단말수의 증가에 따른 수율의 변화가 크지 않다. 따라서 경쟁하는 단말의 수가 증가 할수록 BNEB와 DCF의 수율의 차이는 커지는 경향을 보인다.

그림 3은 포화 상태에서의 BNEB와 DCF의 MAC 지연을 나타낸다. BNEB의 MAC 지연에 관한 수학적 분석 결과와 시뮬레이션 결과는 일치하며 따라서 MAC 지연 분석 모델이 정확함을 알 수 있다. 경쟁하는 단말수의 증가에 따라 BNEB와 DCF의 MAC 지연은 모두 증가하지만 BNEB의 MAC 지연이 DCF의 MAC 지연보다 작고 선형적으로 증가한다. 충돌이 발생할 때마다 경쟁 윈도우의 크기를 두 배씩 증가시키는 DCF와 달리 BNEB는 충돌이 발생 하면 충돌이 발생한 프레임의 재전송을 위해 최대 크기의 경쟁 윈도우를 사용하기 때문에 재전송 프레임의 충돌 발생 가능성이 낮다. 또한 음의 백오프 스테이지를

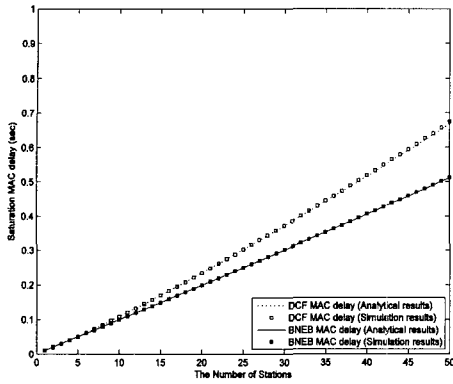


그림 3. 802.11에서 DCF와 BNEB의 포화상태에서의 MAC 지연 ($L=5, m=7$)

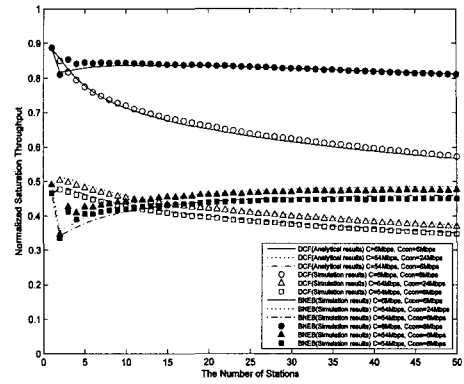


그림 4. 802.11a에서 DCF와 BNEB의 포화상태에서의 수율 ($L=6, m=7$)

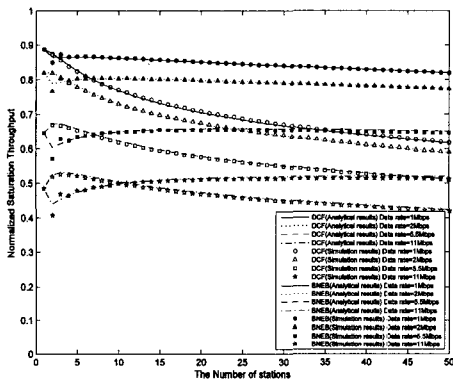


그림 5. 802.11b 에서 DCF와 BNEB의 포화상태에서의 수율($L=5, m=7$)

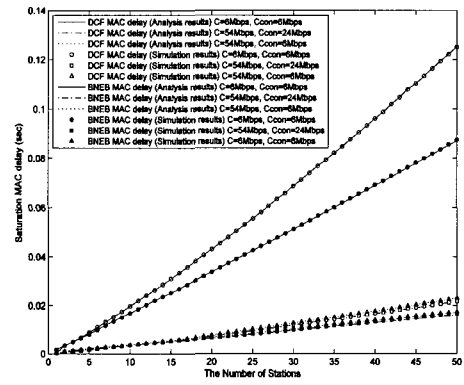


그림 6. 802.11a에서 DCF와 BNEB의 포화상태에서의 MAC 지연 ($L=6, m=7$)

사용하여 이전 프레임이 초기 전송에 성공하였을 시 다음 프레임의 초기 전송을 위해 경쟁 윈도우의 크기를 이전 크기의 반으로 줄이기 때문에 백오프로 인한 불필요한 지연을 줄일 수 있다. 그림 3과 그림 4의 결과로 포화 상태에서 BNEB의 성능이 DCF보다 우수하다.

그림 4와 5는 802.11a 및 802.11b에서 DCF와 BNEB의 포화상태 수율을 나타낸다. BNEB에서는 프레임의 초기 전송 시 최대 크기의 경쟁 윈도우를 사용하기 때문에 데이터 전송 속도가 빠른 802.11a와 802.11b에서 단말의 수가 적을 때 수율이 DCF보다 작을 수 있지만 802.11a 54Mbps 및 802.11b 11Mbps의 결과에서 10대 이상 일 때 단말 수가 증가 할수록 BNEB의 수율이 DCF보다 커진다. 그림 6과 7은 802.11a 및 802.11b에서 DCF와 BNEB의 포화상태 MAC 지연을 나타내며 BNEB의 MAC 지연이 DCF보다 작음을 알 수 있다.

802.11, 802.11a 그리고 802.11b의 세 가지 표준에

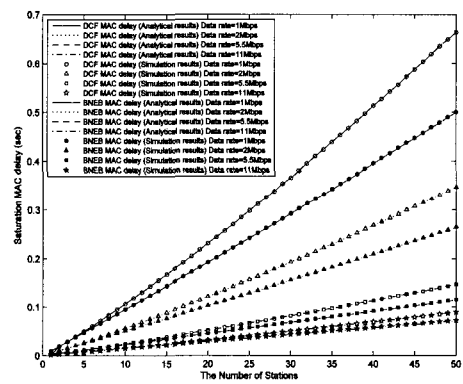


그림 7. 802.11a에서 DCF와 BNEB의 포화상태에서의 MAC 지연 ($L=5, m=7$)

대해서 입력 도착률에 따른 수율 및 MAC 지연을 평가하기 위해 n 이 10, 30, 50 일 때 시뮬레이션을 수행 하였다. 트래픽 특성은 포아송 프로세스를 따른다고 가정하였으며 시뮬레이션 파라미터들은 포화상태와 마찬가지로 표 1에 명시 되어있는 파라미터들

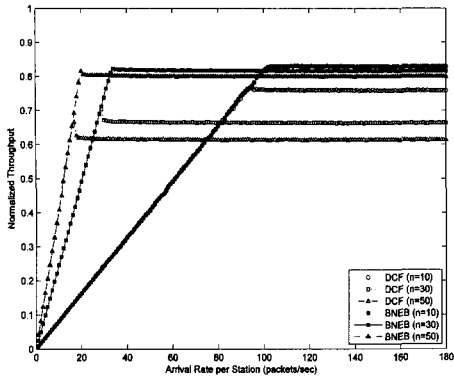


그림 8. 802.11에서 패킷 도착률에 따른 DCF와 BNEB의 수율 ($L=5, m=7$)

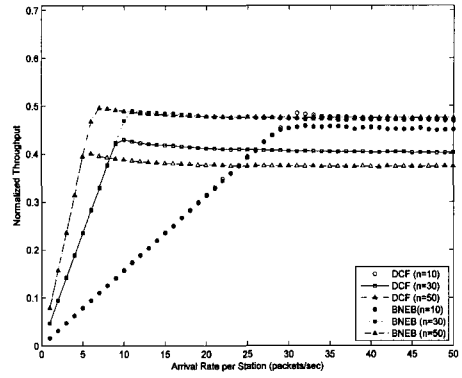


그림 9. 802.11a에서 패킷 도착률에 따른 DCF와 BNEB의 수율 ($L=6, m=7$)

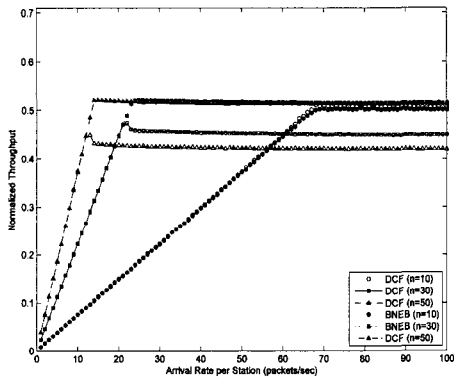


그림 10. 802.11b에서 패킷 도착률에 따른 DCF와 BNEB의 MAC 지연 ($L=5, m=7$)

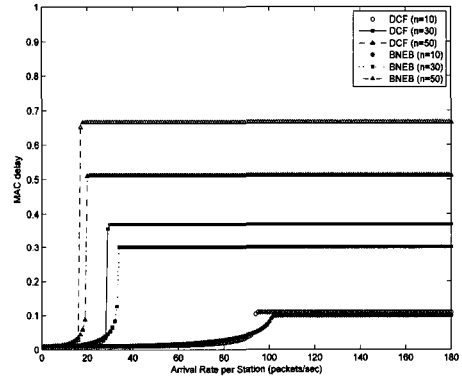


그림 11. 802.11에서 패킷 도착률에 따른 DCF와 BNEB의 MAC 지연 ($L=5, m=7$)

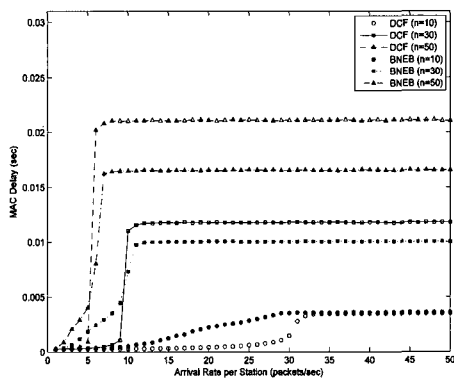


그림 12. 802.11a에서 패킷 도착률에 따른 DCF와 BNEB의 MAC 지연 ($L=6, m=7$)

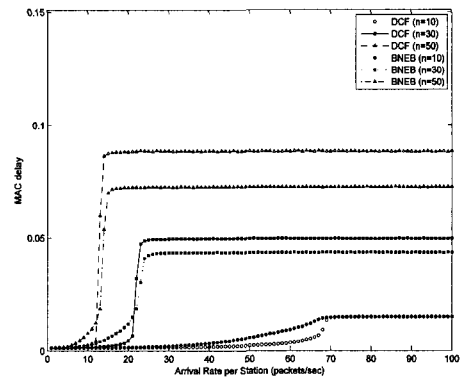


그림 13. 802.11b에서 패킷 도착률에 따른 DCF와 BNEB의 MAC 지연 ($L=5, m=7$)

을 사용하였다. 802.11a 에서 Control Rate (C_{con})는 24Mbps, Data Rate는 54Mbps 로 가정하였으며 802.11b 에서는 Data Rate가 11Mbps일 때를 가정하였다.

그림 8~10은 802.11, 802.11a 그리고 802.11b에서

입력 도착률 (λ) 변화에 따른 DCF와 BNEB의 수율을 나타낸다. 도착률이 증가하게 되면 단말이 전송할 프레임을 가질 가능성은 증가하게 되고 도착률이 특정한 값 (λ_{sat})을 넘어서게 되면 단말은 항상 전송

할 프레임을 가지게 된다. 그림 8~10 에서 BNEB와 DCF는 입력 도착률이 증가함에 따라 수율은 선형적으로 증가하고 $\lambda \geq \lambda_{sat}$ 일 때에는 일정한 값을 유지한다. 입력 도착률이 λ_{sat} 보다 작을 때는 상대적으로 입력되는 트래픽의 비율이 낮기 때문에 BNEB와 DCF의 동작방식에 따른 성능의 차이가 없이 비슷한 수율을 보이지만 입력 도착률이 λ_{sat} 보다 클 때는 각 동작방식에 따른 수율은 큰 차이를 보인다. 예를 들어 그림 8의 802.11 결과에서 n 이 10일 때 정상 상태에서의 DCF의 수율은 약 0.756이고 BNEB의 수율은 0.825를 나타내며 BNEB의 수율이 DCF의 수율에 비해 약 6.9% 향상된 성능을 보인다. 이러한 차이는 n 이 증가 할수록 커지고 n 이 50일 때는 BNEB의 수율이 DCF의 수율에 비해 약 18%의 성능 향상을 보인다.

그림 11~13은 입력 도착률 (λ) 변화에 따른 DCF와 BNEB의 MAC 지연을 나타낸다. 입력 도착률이 λ_{sat} 보다 작을 때는 상대적으로 입력되는 트래픽의 비율이 작기 때문에 DIFS가 경과된 후 채널이 사용 중일 확률이 낮다. 따라서 단말이 백오프 상태에 있을 가능성이 낮기 때문에 동작 방식에 관계없이 낮은 MAC 지연을 보인다. λ 가 λ_{sat} 에 근접 할수록 MAC 지연은 증가하며 $\lambda = \lambda_{sat}$ 일 때 MAC 지연은 현저하게 증가한다. 802.11a, 802.11b의 경우 데이터의 전송 시간이 빠르기 때문에 충돌 시 최대 경쟁 윈도우(CW_{max})를 사용하는 BNEB의 경우 데이터 전송 시간이 차지하는 비율에 비해 전송을 하기 위해 백오프 시간이 차지하는 비율이 커질 수 있다. 하지만 $\lambda > \lambda_{sat}$ 일 때 MAC 지연은 일정하게 유지되고 BNEB의 MAC 지연은 DCF의 MAC 지연보다 낮다. 그림 8~10, 그림 11~13에서 BNEB의 λ_{sat} 이 DCF보다 크다는 것을 알 수 있고 따라서 입력 도착률의 증가에 따른 충돌 해결 능력이 BNEB가 DCF보다 더 우수하다.

V. 결론

본 논문에서는 기존의 DCF의 문제점을 개선하기 위해 충돌이 발생하면 경쟁 윈도우를 최대한으로 설정하고 전송이 성공할 때마다 경쟁 윈도우를 반으로 줄이는 BNEB 알고리즘을 제안하였다. 포화 상태에서의 수학적 분석 및 시뮬레이션을 통하여 제안된 BNEB 방식이 기존 DCF보다 좋은 성능을 가짐을 보였다. 또한 802.11, 802.11a 그리고 802.11b 의 세 가

지 표준에 대해서 수율과 MAC 지연 그리고 데이터 전송을 위해 백오프 시간이 차지하는 비율을 알아보기 위해 트래픽 특성이 프아송 프로세스를 따르는 조건에서 시뮬레이션을 수행하여 BNEB의 입력 도착률의 증가에 따른 충돌 해결 능력이 DCF보다 우수함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, ISO/IEC 8802-11:1999(E), Aug. 1999.
- [2] A. Kanjanavapasti, B. Landfeldt, "An analysis of a modified point coordination function in IEEE 802.11," in proc. of PMRC 2003, Vol. 2, pp. 1732 - 1736, Sep. 2003.
- [3] Y. Xiao, "Performance analysis of priority schemes for IEEE 802.11 and IEEE 802.11e wireless LANs," IEEE Trans. Wireless Comm., Vol. 4, No 4, pp. 1506-1515, July 2005.
- [4] G. Bianchi, "IEEE 802.11 saturation throughput analysis," IEEE Commun. Lett., Vol. 2, No. 12, pp. 318-320, Dec. 1998.
- [5] 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.
- [6] Y. Xiao, J. Rosdahl "Throughput and delay limits of IEEE 802.11," IEEE Commun. Lett.. Vol. 6, No 8, pp. 355-357, Aug. 2002.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] D. H. Kim, S.-H. Choi, M.-H. Jung, M. Y.

Chung, T.-J. Lee, Y. Lee, "Performance evaluation of an enhanced GDCF under normal traffic condition," in Proc. of IEEE TENCON'05, pp. 1560-1566, Nov. 2005.

- [11] P. Chatzimisios, A. C. Boucouvalas, V. Vitsas, "Effectiveness of RTS/CTS handshake in IEEE 802.11a wireless LANs," IEEE Electron. Lett., Vol. 40, No. 14, pp. 915-916, July 2004.
- [12] B. Raffaele, C. Marco, "IEEE 802.11 Optimal performances: RTS/CTS mechanism vs. basic access," Personal, indoor and mobile radio commun., the 13th IEEE International symposium on, Vol. 4, Sept. 2002.

기 형 주 (Hyung Joo Ki) 준회원



2006년 2월 성균관대학교 전기
전자컴퓨터공학부 졸업
2006년 3월~현재 성균관대학교
전자전기 컴퓨터공학과
석사과정
<관심분야> Wireless LAN,
Wireless PAN

최 승 혁 (Seung-Hyuk Choi) 준회원



2005년 2월 성균관대학교 전기
전자컴퓨터공학부 졸업
2005년 3월~현재 성균관대학교
전자공학과 석사과정
<관심분야> QoS Routing, 유무
선 홈 네트워크, Wireless LAN

정 민 영 (Min Young Chung) 중신회원



1990년 2월 KAIST 전기 및 전자
공학과 졸업
1994년 2월 KAIST 전기 및 전자
공학과 석사
1999년 12월 KAIST 전기 및 전
자공학과 박사
2000년 1월~2002년 2월 ETRI

선임연구원

2002년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
<관심분야> 차세대 인터넷, 광/홈/Ad-hoc 네트워크,
이동 통신망 성능 및 신뢰성 분석, Wireless PAN/
LAN/MAN

이 태 진 (Tae-Jin Lee) 중신회원



1989년 2월 연세대학교 전자공
학과 졸업
1991년 2월 연세대학교 전자공
학과 석사
1995년 12월 미국 University of
Michigan, Ann Arbor, EECS
석사

1999년 5월 미국 University of Texas, Austin, ECE
박사

1999년 8월~2001년 2월 삼성전자 책임 연구원
2001년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 조교수
<관심분야> 통신 네트워크 성능 분석 및 설계, 무선
PAN/LAN/MAN, Ad-hoc/센서 네트워크, 광 네트
워크