

IEEE 802.11 DCF 에서의 충돌 감소를 위한 가변 백오프 스테이지(VBS) 알고리즘

강성호 · 추영열*

Variable Backoff Stage(VBS) Algorithm to Reduce Collisions in IEEE 802.11 DCF

Seongho Kang · Young-yeol Choo*

Department of Computer Engineering, Tongmyong University, Busan, Korea

요 약

IEEE 802.11의 MAC에서는 데이터 전송을 제어하기 위해 DCF(Distributed Coordination Function)를 사용한다. DCF의 BEB(Binary Exponential Backoff) 알고리즘은 경쟁하는 스테이션의 수가 일정 수가 넘을 경우 최소 경쟁 윈도우(Minimum Contention Window)의 크기로 인해 백오프(backoff) 시 필연적으로 충돌이 발생하여 성능이 저하되는 문제점을 가진다. 본 논문에서는 백오프 스테이지(Backoff Stage)를 AP(Access Point)에 접속된 스테이션의 수에 따라 가변 조정하는 VBS(Variable Backoff Stage)알고리즘을 제안하고 이를 통해 필연적으로 발생하는 충돌을 방지함으로써 네트워크의 사용량을 높이는 방안을 제시한다. 또한 제안된 알고리즘의 분석적인 모델을 도출하고 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기법이 적용된 BEB 알고리즘과 VBS 알고리즘을 비교하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 VBS 알고리즘의 백오프 상태 증가율을 5와 10으로 적용한 결과 BEB 알고리즘보다 재전송 횟수가 1/5, 1/10로 줄었으며 네트워크 사용량은 19%, 18% 개선되었다. 패킷 지연은 두 경우 모두 약 1/12 수준으로 측정되었다.

ABSTRACT

IEEE 802.11 MAC(Media Access Control) defines DCF(Distributed Coordination Function) for data transmission control. BEB(Binary Exponential Backoff) algorithm of DCF has a problem that if the number of stations connected are over a certain threshold, it degrades network performance because of packet collisions caused from the minimum contention window size. To cope with this problem, we proposed a novel algorithm, named as VBS(Variable Backoff Stage) algorithm, which adjusts the rate of backoff stage increment depending on the number of stations associated with an AP(Access Point). Analytic model of proposed algorithm was derived and simulations on the BEB and the VBS algorithms have been conducted on the OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) method. Simulation results showed that when the rate of backoff state increment was 5 and 10, the number of retransmission were reduced to 1/5 and 1/10 comparing to that of BEB, respectively. Our algorithm showed improvement of 19% and 18% in network utilization, respectively. Packet delay was reduced into 1/12.

키워드 : IEEE 802.11 무선랜, 분산 조정함수, 백오프 알고리즘, 미디어 접속 제어

Key word : IEEE 802.11 wireless LAN, Distributed Coordination Function, backoff algorithm, Media Access Control

Received 06 May 2015, Revised 14 May 2015, Accepted 28 May 2015

* Corresponding Author Young-yeol Choo(E-mail : yychoo@tu.ac.kr, Tel : +82-51-629-3751)

Department of Computer Engineering, Tongmyong University, Busan, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.6.1333>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

IEEE 802.11은 무선랜(Wireless LAN)의 표준기술 중 하나로써 Wi-Fi Alliance에서는 2015년 IEEE 802.11 표준을 사용하는 기기가 20억 개가 넘어갈 것으로 예측하고 있다. 스마트폰의 보급으로 인해 3G/4G와 같은 무선 전화망을 보조하는 네트워크로서의 역할이 높아지고 있으며 이에 높은 전송률(IEEE 802.11ac), 핸드오프(IEEE 802.11ai) 등을 고려한 표준이 채택되고 지속적으로 발전되고 있는 추세이다[1].

IEEE 802.11 WLAN은 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 방식을 기반으로 모든 스테이션이 동등한 관계에서 경쟁을 통해 채널을 사용하는 DCF(Distributed Coordination Function)를 기본적인 데이터 액세스 방법으로 사용하고 있다. IEEE 802.11 DCF는 BEB(Binary Exponential Backoff) 알고리즘을 기본으로 한다[2]. 즉, 경쟁윈도우(CW, Contention Window)의 값 중 임의의 값을 백오프 카운터(Backoff Count)로 선택하고 채널이 유희상태일 때 이 백오프 카운터를 줄임으로써 카운터가 0이 되면 해당 스테이션은 전송을 시도하는 구조이다. 전송이 성공하면 다시 최초의 백오프 스테이지로 값이 설정되어 최소경쟁윈도우 값으로 경쟁윈도우를 설정하고, 충돌이 발생하게 되면 백오프 스테이지를 증가시킴으로써 경쟁윈도우의 값을 2배씩 증가시키는 방법을 사용한다. 이러한 BEB 알고리즘의 구조 상 경쟁하는 스테이션의 수가 증가할수록 충돌이 발생할 가능성이 증가하여, 이를 해결하기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다. 그 대표적인 예로 Binachi[3]는 2차원 마르코프 연쇄(Markov Chain)를 이용하여 DCF의 충돌확률을 수학적으로 계산하고 이를 시뮬레이션으로 검증하는 방법을 제안하고, Binachi의 해석방법을 응용하여 EIED(Exponential Increase Exponential Decrease)[4], EILD(Exponential Increase Linear Decrease)[5], MIMD(Multiplicative Increase and Multiplicative Decrease)[6], Slow CW[7], GDCCF(Gentle DCF)[8]와 같이 프레임의 전송이 성공하였을 경우 경쟁윈도우를 줄이는 폭을 조절하여 DCF의 충돌확률을 줄이는 방안이 제시되었다. 또한 LILD(Linear Increase Linear Decrease)[9]와 같이 충돌이 발생할 때에도 경쟁윈도우의 크기를 점진적으로 증가시키는 방식과 ADCF(Adaptive DCF)[10]와 같이 네트워

크의 전송상태 및 대기상태 정보를 파악하여 각 스테이션의 전송 성공률을 계산함으로써 경쟁윈도우의 크기를 조정하는 방법이 제안되었다. 하지만 언급된 알고리즘들은 모두 충돌이 발생하였을 경우에 대처하는 방안들로, 노드의 수가 최소경쟁윈도우 값 이상으로 증가하게 되면 필연적으로 프레임의 충돌이 발생하게 되는 데 이에 대한 고려는 미흡하다.

이러한 배경에서 본 논문은 네트워크에 접속된 스테이션의 수에 따라 백오프 스테이지를 결정함으로써 경쟁윈도우의 크기를 조절하여 스테이션의 증가 시 발생하게 되는 프레임의 충돌 확률을 낮추고 네트워크의 사용량을 높이는 VBS(Variable Backoff Stage)알고리즘을 제안한다. 따라서 2장에서는 제안하는 알고리즘에 대한 설명을, 3장에서는 해석적결과를 이용하여 시뮬레이션 결과와 비교하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

IEEE802.11 DCF의 기존 많은 연구들은 충돌이 발생한 경우 경쟁윈도우의 크기를 조정하여 네트워크의 처리율을 높이는 방법을 사용한다. 하지만 이는 충돌이 발생한 경우만을 가정하여 일정 수 이상의 스테이션이 동시에 채널을 사용하는 상황에서는 각각의 스테이션들은 접속과 동시에 충돌을 야기하는 문제점을 가진다. 또한 채널의 상태를 분석하여 경쟁윈도우의 크기를 조정하는 방식을 제안한 연구들[10-12]이 있으나 이는 스테이션의 이동이 빈번한 경우 채널의 상태를 예측하기가 쉽지 않은 문제점을 가진다. 따라서 결정된 경쟁윈도우의 크기를 상황에 맞게 가변적으로 조정하지 못하고 교착상태(Dead lock)에 빠질 위험성이 있다.

본 논문에서는 일정 수 이상의 스테이션이 같은 채널 상에 존재할 때 필연적으로 발생하는 충돌을 방지하기 위해 최초 백오프 스테이지를 같은 AP에 접속한 스테이션의 수에 따라 가변적으로 조정하는 VBS 알고리즘을 제안한다. 기본적으로 VBS 알고리즘은 데이터의 최초 전송 시와 데이터의 전송이 성공한 경우 AP에 접속된 스테이션의 수에 따라 백오프 스테이지를 결정하여 백오프 알고리즘을 수행하고, 충돌이 발생한 경우 BEB 알고리즘과 같은 방식으로 다음 단계의 백오프 스테이

지로 진입함으로써 경쟁윈도우의 크기를 증가시키는 방법을 사용한다.

2.1. 동일 AP 상의 스테이션 수

VBS 알고리즘의 동작을 위해서는 같은 AP에 접속된 스테이션 수를 파악하여야 하며 따라서 본 논문에서는 다음의 2가지 방식을 제안한다.

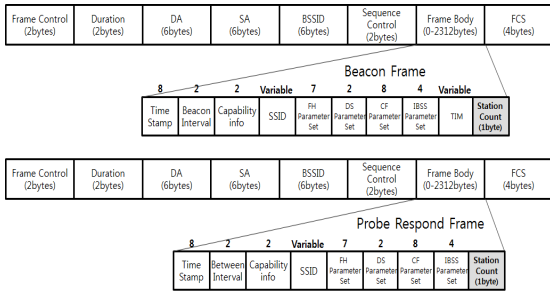


그림 1. 스테이션 수 필드 삽입예시
Fig. 1 Example of station counter insertion

첫 번째 방식은 그림 1과 같이 AP(Access Point)가 프로브 응답(Probe response) 및 비콘(Beacon) 메시지의 프레임 바디에 스테이션 수(station count) 필드를 삽입하여 전송함으로써 접속된 각 스테이션이 같은 AP에 접속된 스테이션 수를 파악한다.

프로브 응답은 스테이션이 능동(Active) 방식으로 AP에 접속하기 위해 AP로 부터 수신하는 메시지로써 스테이션의 프로브 요청(Probe request) 메시지에 대한 응답 메시지이다. 따라서 채널의 모든 스테이션들은 AP에 다른 스테이션이 접속하고자 할 때 마다 AP에 접속된 스테이션의 수를 파악할 수 있게 된다. 또한 비콘 메시지는 AP가 주기적으로 전송하는 메시지로써 스테이션이 수동(Passive) 방식으로 AP에 접속하고자 할 때 사용된다. 비콘 메시지는 100ms 간격으로 주기적으로 전송되며 이를 통해 스테이션은 AP에 접속된 스테이션의 수를 파악 가능하다. 이렇게 AP가 주기적으로 또는 스테이션의 접속 요청 시 전송하는 두 가지 네트워크 설정 메시지에 스테이션 수를 삽입하여 전송함으로써 스테이션의 변동 상태를 보다 실시간으로 파악할 수 있고 이를 통해 제안하는 알고리즘의 정확도를 높일 수 있다. 프로브 응답의 경우는 새로운 스테이션이 네트워크상에 접속하고자 하는 상태이며 이는 곧 스테이션의

수가 증가할 수 있음을 의미하고, 비콘 메시지의 경우 주기적으로 네트워크상에 접속이 종료된 스테이션이 있는지를 파악할 수 있게 한다.

두 번째 방식은 IEEE 802.11e 표준상의 비콘 메시지에 포함되는 ‘BSS(Basic Service Set) Load Element’를 통해 스테이션의 수를 파악하는 방법이다. 이는 표준상에서 제공하는 요소로써 AP의 수정 없이 네트워크의 스테이션 수를 파악할 수 있으나 100ms 간격의 비콘 메시지에 포함되므로 스테이션 수의 변화를 감지하기 위해 최대 100ms의 지연이 있을 수 있다는 단점이 있다. 본 논문에서는 앞에 기술된 2가지 방식에 의해 각 스테이션은 같은 AP상에 접속된 스테이션의 수를 파악하는 것으로 가정한다.

2.2. VBS 알고리즘

VBS 알고리즘은 각 스테이션들이 AP상에 접속된 스테이션의 수를 파악하면 이에 따라 알고리즘 상의 시작 백오프 스테이지(start backoff stage)를 결정한다. 같은 AP에 접속된 스테이션 수에 따른 시작 백오프 스테이지의 결정 알고리즘은 다음과 같다.

```

i = 0;
while(backoff stage(i) ≤ maximum backoff stage(m)){
    if ( station count(sc) × VBSF < Wi )
        Set start stage(a) = i;
        break;
    else
        next stage(i++);
}
    
```

VBSF(Variable Backoff Stage Factor)는 VBS알고리즘 요소(Factor)를 나타내며, W_i 는 i 번째 스테이지의 경쟁윈도우의 크기를 나타낸다. SC는 현재 같은 AP에 접속된 스테이션의 수이다. VBSF는 가변으로 설정될 수 있는 인자로써 높은 값을 가질수록 경쟁윈도우의 크기가 증가하므로 충돌확률은 낮아지나 백오프 카운터 단계의 대기시간이 늘어나는 등가교환(Trade-off) 관계이므로 네트워크의 복잡도에 따라 적절히 설정될 필요가 있다. 알고리즘의 동작은 스테이션 수에 대한 정보를 가진 메시지가 수신되어 VBS 알고리즘을 통해 i 값이 선택되면 백오프 스테이지의 시작 값 a 를 i 로 설정함으로써 경쟁윈도우의 시작 크기를 설정한다. 데이터의

전송 성공 시마다 이 a 값은 갱신되며, 충돌 발생 시는 기존 BEB 알고리즘과 동일하게 다음 백오프 스테이지로 단계를 진행시킨다. 다음 그림 2는 VBS 알고리즘의 동작을 설명한다.

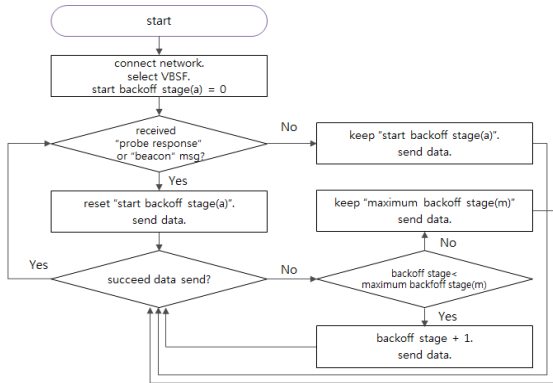


그림 2. VBS 알고리즘의 동작
Fig. 2 Operation of VBS algorithm

2.3. VBS의 마르코프 모델

IEEE 802.11 DCF를 분석하기 위한 마르코프 체인 모델(Markov chain model)은 [3]에서와 같이 DCF의 충돌 확률을 수학적으로 분석하기 위해 사용된 모델로서 각 스테이션들은 한 번의 전송 성공 후 바로 전송할 다른 패킷이 있는 포화상태를(Saturation status)를 가정한다.

VBS 알고리즘을 적용한 마르코프 체인모델은 경쟁 윈도우(W), 백오프 스테이지(a, i, m), 백오프 카운터의 3가지 변수를 사용한다. 알고리즘이 적용된 마르코프 체인모델을 설명하면 백오프 스테이지 결정알고리즘으로 선택된 a 로 부터 스테이지가 시작되어 스테이지 i 는 $a \leq i \leq m$ 의 값을 가지며 $W_i = 2^i W$ 로 W 는 최소경쟁윈도우의 크기를, W_i 는 i 스테이지의 경쟁윈도우 크기를 나타내며 최대경쟁윈도우인 $2^m W$ 까지 증가하고 그 이후 충돌 발생 시에는 이 값을 유지한다.

포화상태에서 네트워크를 해석적으로 표현하기 위해 n 개의 스테이션이 존재한다고 가정하고, $s(t)$ 와 $b(t)$ 를 임의의 시간 t 에서 스테이션의 백오프 스테이지와 백오프 카운터 값을 나타내는 랜덤 프로세스라고 하면, VBS 알고리즘을 적용한 백오프 알고리즘은 2차원 마르코프 체인 $\{s(t), b(t)\}$ 로 나타낼 수 있으며 이는 이산시간 마르코프 체인(Discrete-time Markov chain)으로써 그림 3과같이 표현된다.

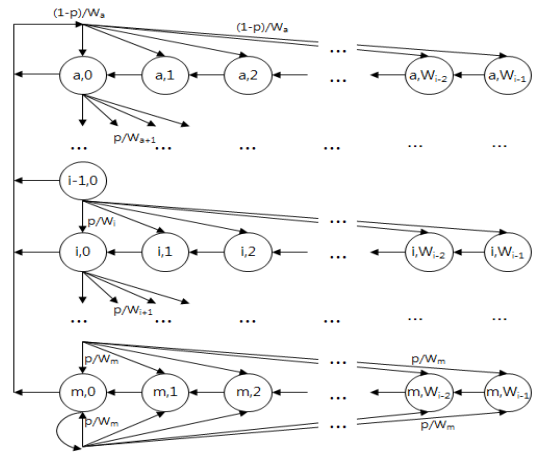


그림 3. VBS 알고리즘의 마르코프 체인 모델
Fig. 3 Markov chain model of VBS Algorithm

마르코프체인모델에서 a 는 VBS 알고리즘에 의해 설정되는 시작 백오프 스테이지, m 은 최대 백오프 스테이지를 나타내고, W_i 는 (a, m) 사이의 값을 가지는 i 스테이지의 경쟁윈도우 크기를 나타낸다. 데이터의 충돌이 계속되어 최대 백오프 스테이지에 도달하게 되면 충돌 발생 시 최대 백오프 스테이지 m 으로 상태가 유지되며 데이터의 전송이 성공하면 스테이지 a 로 다시 복귀한다.

VBS 알고리즘의 시작 스테이지는 지속적으로 갱신되나 해석적인 모델에서는 스테이지가 (a, m) 사이의 값으로 결정된 상태로써 전송한 패킷이 충돌확률을 p 라고 하면, 마르코프 성질을 이용하여 다음 식(1)과 같이 조건부 확률을 이용하여 상태전이 확률을 구할 수 있다.

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

첫 번째 식은 슬롯 타임의 시작 시점에서 백오프 카운트의 감소를 나타내고, 두 번째 식은 전송 성공 후 다시 시작 스테이지로 이동하는 것을 나타내는 식이며, 세 번째와 네 번째 식은 전송 실패 시 스테이지 이동을 설명하고 있다. $b_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{s(t)=i, b(t)=k\}$, $i \in (a, m)$, $k \in (0, W_{i-1})$ 를 정상분포(stationary distribution)을 가진다면 연쇄정칙(chain regularities)에 의해 다음 식(2)가 성립한다.

$$\begin{aligned}
 b_{i,0} &= p^{i-a} b_{a,0}, \quad i \in (a, m-1) \\
 b_{m,0} &= \frac{p^{m-a}}{1-p} b_{a,0} \\
 b_{i,k} &= \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0}, \quad k \in (0, W_i - 1) \quad i \in (a, m)
 \end{aligned} \quad (2)$$

마르코프 체인의 모든 스테이지의 충돌확률을 더하면 1이 된다는 점을 이용하면 다음과 같이 식(3)을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 1 &= \sum_{i=a}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = \sum_{i=a}^m b_{i,0} \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} \\
 &= \sum_{i=a}^m b_{i,0} \frac{W_i + 1}{2} \\
 &= \frac{b_{a,0}}{2} \left\{ \sum_{i=a}^{m-1} p^{i-a} (2^i W + 1) + \frac{p^{m-a} (2^m W + 1)}{1-p} \right\} \\
 &= \frac{b_{a,0}}{2} \left[W \left(\sum_{i=a}^{m-1} 2^i p^{i-a} + \frac{2^m p^{m-a}}{1-p} \right) + \sum_{i=a}^{m-1} p^{i-a} + \frac{p^{m-a}}{1-p} \right] \\
 &= \frac{b_{a,0}}{2} \left[W \left(2^a \frac{1 - (2p)^{m-a}}{1-2p} + \frac{2^m p^{m-a}}{1-p} \right) + \frac{1}{1-p} \right]
 \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)으로 부터 $b_{a,0}$ 을 구하면 식(4)와 같다.

$$b_{a,0} = \frac{2(1-p)(1-2p)}{2^a W(1-p) \left(1 - \frac{(2p)^m}{(2p)^a} \right) + (1-2p) \left(\frac{(2p)^m}{p^a} W + 1 \right)} \quad (4)$$

τ 를 어떤 스테이션이 임의의 슬롯 시간에 전송할 확률이라 하면 τ 는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \tau &= \sum_{i=a}^m b_{i,0} = \frac{b_{a,0}}{1-p} \\
 &= \frac{2(1-2p)}{2^a W(1-p) \left(1 - \frac{(2p)^m}{(2p)^a} \right) + (1-2p) \left(\frac{(2p)^m}{p^a} W + 1 \right)}
 \end{aligned} \quad (5)$$

전송한 패킷이 충돌할 확률 p 는 나머지 $(n-1)$ 개의 스테이션중 적어도 하나이상 이 슬롯 시간에 전송하고 있을 확률로서 식(6)과 같이 표현된다.

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

2.4. 전송률

전송률을 계산은 [3]에서 제시된 식을 활용한다.

n 개의 스테이션이 경쟁하는 채널에서 적어도 1개 이상의 채널이 전송을 시도할 확률을 P_{tr} , 스테이션이 전송에 성공할 확률을 P_s 라고 하면 P_s 는 오직 하나의 스테이션이 전송을 시도할 확률이 되므로 다음 식(7), 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

$E[P]$ 를 평균 페이로드 크기라고 하면, 성공적으로 패킷을 전송하는데 소요되는 슬롯시간의 평균은 $P_{tr} P_s E[P]$ 로 나타낼 수 있으며, 슬롯이 비어있을 확률은 $1 - P_{tr}$, 전송에 성공할 확률은 $P_{tr} P_s$, 충돌이 발생할 확률은 $P_{tr}(1 - P_s)$ 는 이다. 정규화된 시스템 처리율 S 는 전송에 성공한 실제 데이터의 평균 전송 시간과 패킷을 성공적으로 전송하는데 소요된 평균시간의 비율로써 식(9)와 같이 표현된다. 여기서 T_s 는 전송 성공 시 소요되는 평균 시간을 T_c 는 전송 실패 시 소요되는 평균 시간, σ 는 빈 슬롯 시간의 길이이다.

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

$H = PHY_{hdr} + MAC_{hdr}$ 을 패킷 헤더의 전송시간, δ 를 전파지연이라고 하면 식(10)으로 T_s 와 T_c 가 표현가능하다.

$$\begin{cases} T_s = H + E[P] + SIFS + \delta + ACK + DIFS + \delta \\ T_c = H + E[P] + DIFS + \delta \end{cases} \quad (10)$$

III. 시뮬레이션 및 성능평가

3.1. 시스템 파라미터 및 시뮬레이션

VBS 알고리즘의 수학적 모델을 평가하기 위해 시뮬레이션을 수행하여 백오프 스테이지에 따른 네트워크 처리율, 재전송 시도횟수, 각 패킷들의 평균지연시간의 관점에서 분석하였다. 시뮬레이션은 Pamvotis[13]를 수정하여 구현하였으며 시드번호(seed number)를 변경하여 값을 랜덤하게 설정하여 각 5분씩 데이터를 전송하여 평균을 측정하였다.

시뮬레이션을 수행함에 있어 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조방식을 사용하는 최대 대역폭이 54Mbps인 IEEE 802.11g를 기반으로 테스트를 진행하였으며 시뮬레이션에 설정된 각 파라미터는 표 1과 같이 패킷의 길이는 최대로 32768bits, 경쟁윈도우 최대값과 최소값은 IEEE 802.11g의 기본으로 설정된 16, 1024, 최대 백오프 스테이지는 6, 재전송 한계 값은 설정하지 않았다. 시뮬레이션은 각 스테이션이 항상 전송할 데이터를 가지고 있는 포화상태를 가정하였으며 전송실패에 의한 재전송은 고려하지 않았다. 또한 VBS알고리즘을 수행함에 있어 고려되어야 할 VBSF를 5와 10으로 설정하고 테스트를 진행하였고 이를 각 VBS5, VBS10으로 명명하였다. VBSF가 높을수록 스테이션 수에 따른 시작 백오프 스테이지 a의 값이 높아지며, 따라서 경쟁윈도우의 크기도 커진다.

표 1. 시뮬레이터 파라미터

Table. 1 Simulator parameter

Packet payload	32768bits
MAC header	272bits
PHY header	128bits
ACK length	112bits + PHY header
Channel Bit Rate	54 Mbps(IEEE 802.11g)
Propagation Delay	1μs
SIFS	10μs
DIFS	50μs
Slot Time	9μs
Initial CW size(CW min)	16
Maximum stage(CW max)	6(1024)

3.2. 해석적인 모델

그림 4는 스테이션 수의 증가에 따른 네트워크의 처리율과 설정되는 백오프 스테이지를 나타낸 그래프로써 그래프의 x축은 스테이션의 수를, y축은 네트워크의 사용률을 나타내고 우측은 VBS 알고리즘에서의 스테이션 수에 따른 시작 백오프 스테이지 a 값이다. BEB 알고리즘은 VBS5와 VBS10에 비해 스테이션 수의 증가에 따라 처리율이 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있으며, VBS10은 VBS5와 비교하여 2배의 VBSF 크기에 비해 네트워크 사용량의 차이가 크지 않다. 이는 일정 크기 이상의 경쟁윈도우는 데이터의 충돌확률은 줄이는 대신 백오프 대기시간이 증가하여 실질적인 네트워크 사용률을 높이지 못하기 때문으로 해석된다.

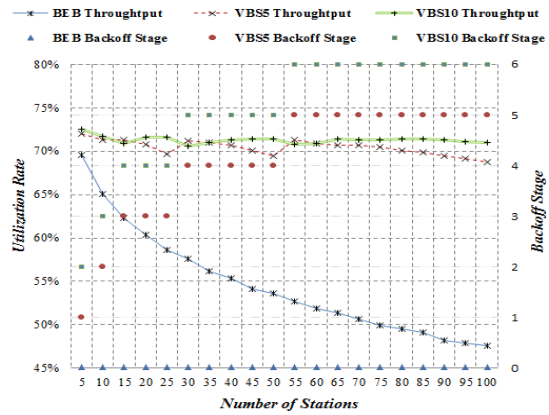


그림 4. 스테이션 수에 따른 처리율과 백오프 스테이지
Fig. 4 Utilization rate and backoff stage by number of stations

네트워크의 처리율은 식 9를 통해 설명가능하다. 식 9의 분자와 분모를 $P_r P_s$ 로 나누어서 정리하면 분모의 T_s 는 하나의 패킷을 성공적으로 전송하는데 소요되는 시간 $1/(P_r P_s)$ 는 전송에 성공할 때까지 소비하는 슬롯 타임의 평균, $T_c((1/P_r)-1)$ 는 충돌에 소비되는 시간을 나타낸다.

3.3. 재전송 시도 및 평균 패킷 지연시간

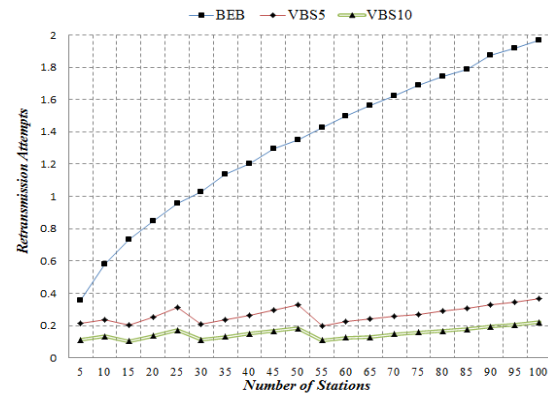


그림 5. 스테이션 수에 따른 재전송 시도
Fig. 5 Retransmission attempts by number of stations

그림 5는 스테이션의 수에 따른 재전송 시도를 나타내며 VBS5와 VBS10의 경우의 번복점은 VBS알고리즘에서 스테이션 수에 따라 백오프 스테이지가 증가하는 경우이며 이에 따라 경쟁윈도우 크기가 증가하고 네트

워크 전체의 충돌확률이 낮아져 재전송 시도가 감소하는 것이 그래프를 통해 확인 가능하다. BEB 알고리즘의 경우 스테이션이 증가할수록 재전송 시도가 급격하게 증가하며, 이는 잦은 충돌로 인해 네트워크의 처리율을 감소시킴을 의미한다. 또한 전송이 성공한 경우 백오프 스테이지가 0으로부터 다시 시작되며 이는 최소 경쟁윈도우에 보다 많은 수의 스테이션이 네트워크상에 존재하면 충돌 발생 확률이 높아지고 이에 따라 네트워크의 사용량이 감소된다.

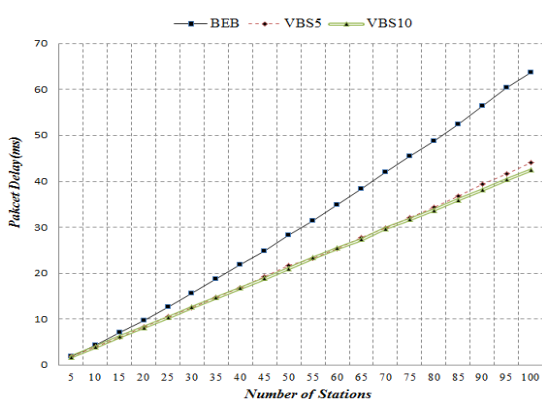


그림 6. 스테이션 수에 따른 평균 패킷 지연시간

Fig. 6 Average time of packet delay by number of stations

그림 6는 각 패킷 당 평균 지연시간을 나타낸다. 각 스테이션의 총 패킷 지연시간을 더하고 이를 테스트한 시간과 송신된 패킷 수로 나누어서 구하였다. 패킷 당 평균 지연시간 또한 BEB 알고리즘이 VBS알고리즘 보다 증가폭이 큼을 확인할 수 있다.

3.4. 시뮬레이션의 분석

표 2는 AP의 통신거리 상에 약 30개의 스테이션이 동시에 데이터를 전송할 때 시뮬레이터에서 측정된 값이다. 시뮬레이션 결과 기존 DCF 알고리즘인 BEB에 비해 재전송횟수가 대략 VBS5는 1/5, VBS10은 1/10로 현저히 감소했다. 네

트워킹의 전체 평균 처리량은 BEB 알고리즘에 비해 VBS5는 19%, VBS10은 18% 향상 되었다. 패킷 지연 시간 역시 BEB 알고리즘의 1/12로 현격히 감소되었다. 이는 충돌로 인한 재전송이 네트워크의 사용률, 전송지연에 큰 영향을 미침을 알려준다.

표 2. 스테이션 수가 30개일 때의 시뮬레이션 결과

Table. 2 Simulation result of 30 stations

	BEB	VBS5	VBS10
Utilization (%)	59.64	71.21	70.61
Throughput (Mbps)	30.38	37.55	37.23
No. of Retransmission	1.03	0.20	0.11
Packet Delay (msec.)	150.55	12.51	12.64

IV. 결 론

최근 다수의 사용자가 이동 중에 네트워크에 접속하는 지하철역과 같은 장소의 무선 네트워크 서비스에서는 IEEE 802.11ai와 같은 빠른 접속을 중요시하는 연구가 진행되고 있으나 기존 IEEE 802.11 매체접근 알고리즘으로는 다수의 사용자가 동시에 네트워크에 접속하였을 경우 데이터의 잦은 충돌로 네트워크의 효율이 저하된다. 따라서 본 논문에서는 네트워크상에 접속된 스테이션의 수에 따라 시작 백오프 스테이지를 설정함으로써 경쟁윈도우의 크기를 조절하는 방식을 통해 데이터의 충돌확률을 줄이는 알고리즘을 제안하였다. 또한 해석적 모델을 제시하고 OFDM을 사용하는 IEEE 802.11g를 대상으로 시뮬레이션을 통해 처리율, 재전송 시도 횟수, 지연시간 관점에서 이를 증명하였다. 시뮬레이션 결과 스테이션 30개의 경우 BEB 알고리즘에 비해 VBS5와 VBS10이 재전송 시도는 각각 1/5, 1/10으로 줄고 이에 따라 패킷의 평균지연이 두 경우 모두 1/12로 줄었다. 제시된 알고리즘을 실제 네트워크에 적용할 경우 AP의 수정이 필요하나 기존의 알고리즘의 큰 변경 없이 적용가능하다는 장점을 가진다. 향후 최적 VBFS 값을 찾는 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Energy Efficiency & Resources program of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) grant funded by the Korea government Ministry of Knowledge Economy (20123030020020).

REFERENCES

[1] W. Sun, OI. Lee, Y. Shin, S. Kim, C. Yang, H. Kim, and S. Choi, "Wi-Fi Could Be Much More," *IEEE Communications Magazine*, vol. 25, no. 11, pp.22-29, Dec. 2014.

[2] IEEE Std. 802.11, *Standard for wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specification*, IEEE, Aug 1999.

[3] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, vol.18, no. 3, pp. 535-547, March 2000.

[4] 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", in *Proceeding of IEEE Vehicular Technology Conference(VTC)*, vol. 4, pp. 2775-2778, April 2003.

[5] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, "MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LAN's", in *Proceeding of Special Interest Group on Data Communications 1994(SIGCOMM 1994)*, pp. 212-225, Sept. 1994.

[6] W. K. Kuo and C. C. Jay Kuo, "Enhanced backoff scheme in CSMA/CA for IEEE 802.11", in *Proceeding of IEEE Vehicular Technology Conference(VTC)*, Vol. 5, pp. 2809-2813, Oct. 2003.

[7] Q. Ni, I. Aad, C. Barakat and T. Turetli, "Modeling and analysis of slow CW decrease IEEE802.11 WLAN", in *Proceeding of Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2003 (PIMRC 2003)*, Vol. 2, pp. 1717-1721, Sept. 2003.

[8] C. Wang, B. Li and L. Li, "A New Collision Resolution Mechanism to Enhance the Performance of IEEE 802.11 DCF", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. 53, No. 4, pp.1235-1246, July 2004.

[9] V. Vitsas, "Throughput analysis of linear backoff scheme in wireless LANS, *Electronics Letters*, vol. 39, no. 1, pp. 99-100, Jan. 2003.

[10] S. Kuppa and R. Prakash, "Adaptive IEEE DCF scheme with knowledge-based backoff," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, vol. 1, pp. 63-68, Mar. 2005.

[11] S. Keem, H. Yoon and K. LEE, "IEEE 802.11 performance improvement by proper backoff stage selection," in *Proceeding of Informations and Communications 2006 (ICEIC 2006)*, Vol 2, pp.475-478, Jun. 2006.

[12] J. Nam, "Backoff Algorithm to improve DCF functionality in IEEE 802.11," *The Journal of Korea Information and Communications Society*, vol 15, no. 6, pp.1386-1390, Jun. 2011.

[13] D. Vassis and V. Zafeiris. Pamvotis - IEEE 802.11 WLAN Simulator[Internet]. Available :<http://www.pamvotis.org>



강성호(Seongho Kang)

2006년 2월 : 동명대학교 컴퓨터공학과 공학사
 2008년 2월 : 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 공학석사
 2010년 3월 ~ 현재 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 박사과정
 ※관심분야 : WSN, Location Tracking, 컴퓨터 통신



추영열(Young-yeol Choo)

1986년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 공학사
 1988년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 공학석사
 2002년 2월 : 포항공과대학 컴퓨터공학과 공학박사
 1988년 6월 ~ 1994년 6월 : 포항산업과학기술연구원 선임연구원.
 1994년 7월 ~ 2002년 8월 : 포스코 기술연구소 책임연구원
 2002년 9월 ~ 현재 : 동명대학교 컴퓨터공학과 교수
 2005년 1월 ~ 7월 : 독일 Fraunhofer IESE Visiting Scientist
 2006년 11월 ~ 2012년 12월 : 유비쿼터스 항만 ITRC 센터장
 ※관심분야 : WSN, Ambient Intelligence, 컴퓨터통신, 공장자동화, 네트워크 보안