Performance Analysis on DCF Considering the Number of Consecutive Successful Transmission in Wireless LAN

Lim Seog Ku

Abstract In this paper, MAC(Medium Access Control) algorithm for the IEEE 802.11 DCF(Distributed Coordination Function) improving the performance is proposed and analyzed by simulation. The MAC of IEEE 802.11 WLAN to control data transmission uses two control methods called DCF and PCF(Point Coordination Function). The DCF controls the transmission based on CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). The DCF shows excellent performance relatively in situation that competition station is less but has a problem that performance is fallen from throughput and delay viewpoint in situation that competition station is increased. This paper proposes an enhanced DCF algorithm that increases the CW to maximal CW after collision and decreases the CW smoothly after successful transmission in order to reduce the collision probability by utilizing the current status information of WLAN. To prove efficiency of proposed algorithm, a lots of simulations are conducted and analyzed.

Key Words : IEEE 802.11, WLAN, DCF, Backoff Algorithm, Contention Window

1. 서 론


IEEE 802.11은 1999년에 처음 발표되었고 2.4GHz대와 5GHz대의 무선 주파수를 사용하여 다양한 전송 속도를 지원하는 제품이 출시되었다. 이중 현재는 Direct Sequence(DS) 대역 확산 기법을 이용하여 최대 11Mbps를 지원하는 IEEE 802.11b 표준이 가장 많은 시장을 구축하고 있다.

IEEE 802.11 WLAN MAC에서는 무선체널을 액세스하기 위한 방법으로 DCF(Distributed Coordination Function)와 PCF(Point Coordination Function)을 사용한다. IEEE 802.11 WLAN의 기본적인 액세스 방법으로 사용하는 DCF의 경우 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)를 기반으로 하여 모든 스테이션 동등한 관계에서 경쟁을 통해 채널을 사용하
계 된다. 반면, PCF는 AP(Access Point)와 같은 중앙제어
노드의 관리 하에 풀링(Polling) 방식을 이용하여 스테이
선들이 채널을 사용할 수 있게 관리하는데, 성능 및 유연
성에서 많은 문제점이 있어 실제 대부분의 무선 LAN 장비
에서는 이 기능을 지원하지 않는다[4].

DCF의 기본적인 동작 방식에서 전송할 프레임이 있
는 스테이션은 DIFS(Distributed Inter Frame Space)가 경
과된 후 백오프 스테이지(Backoff Stage) 0에서 경쟁 원
도우(Contention Window, CW)를 최초 경쟁 원도우 크기
($C_{\text{max}}$)로 초기화하고 백오프 카운터(Backoff Counter)를
[0, $C_{\text{max}}$]의 범위에서 랜덤하게 선택한다. 1 슬롯시간 동
안 채널이 사용되지 않음을 감지한 스테이션은 백오프
카운터를 1씩 감소시키고 슬롯의 시작시점에 백오프 카
운터가 0인 스테이션은 프레임 전송을 시작한다. 만약 충
돌이 발생하게 되면, 충돌이 발생한 스테이션은 백오프
스테이지를 1의 증가시키고 경쟁 원도우를 두 배씩 증가
시키며 백오프 카운터를 재설정 한다. 프레임 전송에 성
공한 스테이션은 백오프 스테이지와 경쟁 원도우를 초기
화한다. DCF는 경쟁하는 스테이션의 수가 많을수록 충
돌이 발생할 가능성이 증가하여, 이를 해결하기 위해 많
은 연구들이 진행 되었다[3][6].

Bianchi는 2원 마르코프 체인을 이용하여 DCF의 성
능을 수학적으로 분석하고 이를 시뮬레이션을 통하여 검
증하였다[3][4]. Xiao는 Bianchi 모델을 수정하여 DCF의
수용량 및 MAC 지원의 한계를 제시하였다[5]. Kwon은
DCF보다 충돌을 조기에 해결하기 위해 FCR(Fast
Collision Resolution)이라는 알고리즘을 제안하였다는데,
기존의 DCF보다 적은 경쟁 원도우를 사용하고 연속적인
허지 슬롯이 탐지되면 백오프 카운터를 두배씩 감소
시키는 방식으로 DCF와 비교하여 충돌을 빠르게 해결할
수 있다. 그러나 공평성(fairness)에 취약점을 가지고 있기
때문에 공정한 스케줄링 알고리즘을 혼합하여 사용하여
야 하는 문제가 있다[6].

Wang은 GDCF(Gentle Distributed Coordination
Function) 알고리즘을 제안하였다는데, 연속적으로 c회 전
송에 성공하면 새로 전송될 프레임은 이전 프레임의 백
오프 스테이지보다 1이 감소한 백오프 스테이지에서 전
송을 시도하는 방식이다[7]. 이러한 방식은 저원을 공유
하는 스테이션의 수가 많을 때 DCF보다 충돌 발생 가능
성이 줄어들지만 백오프 간격에 상관없이 고정된 값을 사
용하는 것은 경쟁 스테이션의 수가 적을 때 수용의 감소
및 지연 증가의 원인이 된다. GDCF의 성능을 개선한
EGDCF(Enhanced GDCF)에서도 동일한 백오프 스테이
지에서 연속적인 전송 성공 횟수를 증가시키는 카운터를
사용한다[8]. EGDCF에서는 연속적인 전송 성공 횟수가


textbook에서 연속적인 전송성공 횟수를 고려한 DCF 성능분석

2. IEEE 802.11 DCF의 매체 접근
제어방식

DCF는 IEEE 802.11 MAC의 기본적인 매체 접근 방식
으로서, CSMA/CA방식을 근간으로 한다. [그림 1]은
DCF 기본 액세스(Basic Access) 방법에서 스테이션의 동
작을 보여준다. 매체 전송이 끝나고 DIFS 동안 매체가 유
해 상태(Idle)이면, 랜덤한 백오프 시간을 생성하여 매체
에 대한 접근을 연기한다. 이때 백오프 시간은 0부터 경
쟁 원도우(Contention Window)라고 불리는 $CW$ 사이의
값을 임의로 선택한다. 즉, 다음과 같은 식으로 설명할 수
있다.

\[ \text{Backoff Time} = \text{Rand}(0, CW) \times a\text{Slot Time} \] (1)
【그림 1】DCF의 기본 액세스 방법

매체에 대한 접근을 얻기 위한 스테이션들은 매체의 상태를 확인하면서 동시에 자신의 편안한 백오프 시간을 간소화 나간다. 만약 어떤 스테이션의 백오프 시간이 0이 될 때까지 매체가 유용 상태이며 그 스테이션은 매체에 접근하게 되고, 0이 되기 전에 매체를 다른 스테이션이 사용하게 되면 백오프 시간을 줄이는 것을 마다고 다음 DIFS 후에 나와있는 백오프 시간을 사용한다. 따라서 이 스테이션은 처음 편안한 백오프 시간을 생성한 스테이션보다 더 작은 백오프 시간을 가지게 될 확률이 높으므로 매체에 접근할 가능성이 높다. 그러나 백오프 시간이 0이 되면 패킷을 전송하게 되며, ACK를 통해 패킷 전송에 대한 성공여부를 결정한다. 패킷이 성공적으로 전송되었는 경우 CW 값을 $CW_{\text{min}}$으로 감소시키며, 충돌로 감지했을 경우 CW 값을 2배로 증가시킨다.

RTC/CTS 방식은 채널에 대한 예약 정보를 알려주는 방법으로, 실제 데이터를 전송하기 전에 짧은 간격의 RTS(Ready To Send)와 CTS(Clear To Send)를 포함하여 채널의 예약을 알리는 방식이다. 이 [그림 2]에 나타내었다. RTC/CTS 방식에서 가장 짧은 편안한 백오프 시간을 생성한 스테이션은 매체접근에 성공하게 되며, 먼저 RTS 프레임을 전송한다. RTS 프레임에는 데이터를 전송하고자 하는 소스(Source) 스테이션의 주소와 NAV(Network Allocation Vector) 설정에 사용되는 Duration Field가 포함되어 있다. RTS 프레임을 수신한 스테이션들 중에 목적지(Destination) 스테이션은 RTS 프레임에 대한 ACK로서 CTS 프레임을 전송하고, 나머지 스테이션들은 자신의 NAV를 RTS 프레임에 포함된 Duration Field 값으로 설정한 뒤, NAV를 줄여나가면서 매체접근을 얻기한다. RTC/CTS 프레임의 전송이 끝나면, 수신 스테이션은 데이터 전송을 시작하게 되고 수신 스테이션은 ACK 프레임을 전송한다. 모든 프레임에 Duration Field가 포함되어 있고, 스테이션들은 현재 NAV보다 더 큰 Duration Field를 수신할 경우에만 NAV를 생성한다. NAV가 0이 되면, 스테이션들은 매체가 유 효 상태라고 판단하고 DIFS 동안 기다린 후 자신의 백오프 시간을 줄여나가면서 매체접근을 시도한다. RTS와 CTS의 사용을 한 Virtual Carrier Sense 방식에 의해


【그림 2】DCF에서 RTS/CTS 방식

3. 제안하는 DCF 알고리즘

IEEE 802.11 DCF의 충돌-해결 과정은 [그림 3]에 나타내었다. 초기에 백오프 스테이지(stage 0)에서 CW 값은 최소값 $CW_{\text{min}}$을 갖는다. 패킷 전송에 실패하면 백오프 스테이지는 1 증가하고 CW 값은 2배로 증가된다. 전송에 성공하면 stage 0으로 복귀하고 네트워크의 상태와 관계없이 CW 값을 $CW_{\text{min}}$ 값이 된다. 이로써 (2)에 나타내었다. 충돌에 의해 놓여진 CW를 $CW_{\text{min}}$ 값으로 되돌릴 경우 총 횟수를 늘리기 위해, 각 스테이션의 수가 많을 경우 총 횟수는 더욱 늘어지게 시스템 성능은 떨어지며 비효율적으로 동작한다.

【그림 3】IEEE 802.11 DCF의 충돌-해결 과정

$$CW_i = \begin{cases} \min(2 \times CW_{i-1}, CW_{\text{max}}) & \text{if collision} \\ CW_{\text{min}} & \text{if success} \end{cases}$$ (2)

예를 들어 현재 stage $i$에서 전송에 성공하면 다음 백오프 스테이지는 0이 되고 CW는 $CW_{\text{new}} = CW_{\text{min}}$로 설정된다. 그러나 현재 진행하는 스테이션의 수가 충분히 크다면(32), stage $0$에서 새로운 충돌확률은 매우 높을 것이다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 패킷을 동일 연속적으로 성공한 경우에만 백오프 스테이지의 한 단계 낮추고 CW 값을 현재 값의 반으로 줄이며, 충돌이 발생한 경우에 $CW_{\text{new}}$는 $CW_{\text{min}}$으로 증가시킴으로써 충돌에 대한 확률을 적게 하여 자원의 효율을 높일 수 있는 알고리즘
을 제안한다. [그림 4]에는 제안하는 알고리즘의 충돌-해결 과정을 나타내었으며, CW 값을 산출하는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

\[ CW' = \begin{cases} \text{max}(CW_{\text{max}}/2, CW_{\text{min}}) & \text{if consecutive success} \\ \text{if collision} & \end{cases} \]

(3)

4. 시뮬레이션 및 성능 평가

IEEE 802.11 DCF와 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 시뮬레이션을 수행하였으며, 포화수용 한계를, 균일 평균, 평균 배업시간, 평균 평균 배업율의 관점에서 분석하였다. 시뮬레이션은 SLAM II를 사용해서 Event-Driven 방식으로 구현하였다[12].

시뮬레이션 수행에 필요한 파라미터는 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)를 가정하였으며, [표 1]과 같다[7]. 패킷 Payload 크기를 8184bit로 고정하였고 체널 속도는 2Mbps로 가정하였다. 또한 시뮬레이션을 위해 CW의 최소값(CW_{\text{min}})과 최대값(CW_{\text{max}})은 각각 32, 1024로 하고 재전송 한계값을 7로 설정하였다. 시뮬레이션 환경은 각 스테이션에 항상 전송할 데이터를 가지고 있는 포화상태(Saturation State)를 가정하였으며, 전송에러에 의한 재전송은 고려하지 않았다.

[표 1] 시스템 파라미터(802.11 DSSS)

<table>
<thead>
<tr>
<th>파라미터</th>
<th>값</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Packet payload</td>
<td>8184 bits</td>
</tr>
<tr>
<td>MAC overhead</td>
<td>272 bits</td>
</tr>
<tr>
<td>PHY header</td>
<td>128 bits</td>
</tr>
<tr>
<td>ACK</td>
<td>112bit+PHYhdr</td>
</tr>
<tr>
<td>RTS</td>
<td>160bit+PHYhdr</td>
</tr>
<tr>
<td>CTS</td>
<td>112bit+PHYhdr</td>
</tr>
<tr>
<td>Channel bit rate</td>
<td>2 Mbps</td>
</tr>
<tr>
<td>Propagation Delay</td>
<td>1µsec</td>
</tr>
<tr>
<td>Slot Time</td>
<td>20µsec</td>
</tr>
<tr>
<td>SIFS</td>
<td>10µsec</td>
</tr>
<tr>
<td>DIFS</td>
<td>50µsec</td>
</tr>
<tr>
<td>CWmin</td>
<td>32</td>
</tr>
<tr>
<td>CWmax</td>
<td>1024</td>
</tr>
<tr>
<td>Short Retry Limit</td>
<td>7</td>
</tr>
</tbody>
</table>

[그림 5] 기본 액세스에서의 포화수용

[그림 6] RTS/CTS 액세스에서의 포화수용

[그림 7]와 [그림 8]은 기본 액세스와 RTS/CTS 액세스인 경우 c의 변화에 따른 제안하는 방식의 성능을 나타내
있어. 기본 액세스인 경우 c가 클수록 우수한 성능을 나타낸 반면에 RTS/CTS 액세스인 경우에는 오히려 c가 커짐에 따라 성능이 저하됨을 알 수 있었다.

[그림 7] c에 따른 포화수율(기본 액세스)

[그림 8] c에 따른 포화수율(RTS/CTS 액세스)

[그림 9]와 [그림 10]은 스테이션 수의 증가에 따른 평균 패킷지연시간을 802.11 DCF와 제한하는 알고리즘을 비교하여 나타낸 그래프이다. 평균 패킷지연시간은 패킷이 큐의 헤더에 입력되는 순간부터 패킷이 성공적으로 전송되어 수신측으로부터 ACK 메시지를 수신할 때까지의 시간으로 정의된다. 패킷지연시간에 영향을 미치는 요인으로는 크게 두 가지가 있다. 첫 번째는 패킷 충돌이 발생하면 재전송을 시도하며, 전송에 성공할 때까지 이 과정은 반복되는데 이는 수용이 낮아짐과 동시에 지연이 증가된다. IEEE 802.11 표준에서는 재전송에 의해서 지연시간이 지나치게 길어지는 경우를 제한하기 위해 재전송 횟수를 7로 한정하였으며, 그 이상의 패킷 재전송이 발생하면 그 패킷은 폐기한다. 두 번째 지연요인은 백오프 과정을 거쳐서 발생하는 경우이다. DIFS 이후, 전송할 패킷이 있는 모든 스테이션은 백오프 과정에 들어가는데, 이 과정에서 가장 먼저 백오프 시간이 0이 되는 스테이션이 매체를 사용할 권한을 갖게 된다. 이 때 백오프 시간을 적절 설정하면 백오프에 의한 전송지연이 작아지지만, 충돌확률이 높아지는 상호 보완 관계에 있다. 반면에 백오프 시간이 크게 하면 전송지연은 증가하지만 충돌확률은 낮아진다.

[그림 9]는 기본 액세스인 경우 평균 패킷지연시간을 나타내었는데, 제한하는 알고리즘의 지연시간이 802.11 DCF에 비해 낮음을 알 수 있다. 이는 802.11 DCF는 찾은 충돌로 인해 지연시간이 증가되었으며, 아울러 포화수율도 감소하였음을 알 수 있다.

[그림 10]은 같은 환경에서 RTS/CTS 액세스의 경우에 대한 그래프이다. 802.11 DCF의 지연시간이 작게 나타났는데, 그 이유는 재전송 한계에 도달한 패킷은 폐기시키고 전송에 성공한 패킷만을 통해 처리하여 값을 얻었기 때문이다. 이에 반해 제한하는 알고리즘은 상대적으로 패킷 폐기율이 작아서 지연시간이 길 것으로 분석되었다.

[그림 9] 기본 액세스에서의 평균 패킷지연시간

[그림 10] RTS/CTS 액세스에서의 평균 패킷지연시간

마지막으로 [그림 11]에는 각 알고리즘에 대한 평균
패킷을 나타내었다. 802.11 DCF는 제전송 횟수 제한에 의해 패킷이 높은 반면, 제안하는 방식의 패킷 패킷을 매우 낮으며, c가 커짐에 따라 더욱 작아짐을 알 수 있다. 이러한 패킷 패킷은 포화상수값과 평균 패킷 지연시간에 커다란 영향을 미침을 앞의 결과로부터 확인할 수 있었다.

![Diagram](attachment:diagram.png)

[그림 11] 제전송 횟수 제한에 의한 평균 패킷률

5. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11 무선랜 환경에서 기존의 DCF 메커니즘의 성능을 향상시키기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 성공적인 패킷 전송 후에 CW를 $C_{\text{max}}$으로 급격히 감소시키지 않고 c뿐 연속적으로 패킷 전송에 성공한 경우에만 백오프 스테이지를 한 단계 낮추고 CW를 반으로 감소시킨다. 또한 측정 결실 때 범위를 $C_{\text{max}}$으로 증가시킨다. 제안한 알고리즘은 스테이션이 많은 환경에서 스테이션간의 충돌 확률을 낮게 하여 채널 효율을 높일 수 있고, 평균 패킷지연시간이 높은 패킷 패킷을 관점에서도 낮은 성능향상을 나타내는 것을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

본 연구 결과를 바탕으로 진행된 향후 연구과제로는 제안한 알고리즘을 수학적으로 분석할 예정이며, 수용과 지연시간에 대한 수학적 성능 분석도 아울러 진행할 것이다. 또한 멀티미디어 트래픽에 제안한 방식을 적용하기 위해 우선순위가 서로 다른 다양한 트래픽에 대한 적정 기여에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

임석구 (Seog-Ku Lim)  [증신회원]

- 1983년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1987년 1월 ~ 1992년 2월 : LG 전자 중앙연구소
- 1992년 2월 ~ 1994년 2월 : 한국전자통신연구원
- 1994년 3월 ~ 2001년 2월 : 주성대학
- 1994년 7월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 초빙연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 부교수

<관심분야>
트래픽 엔지니어링, 멀티미디어 트래픽 특성분석, 이동통신시스템 성능분석, BeN