

# IEEE 802.11에서 성능향상을 위한 백오프 알고리즘 연구

김태진\*, 이지엽\*, 임석구\*  
\*백석대학교 정보통신학부  
e-mail: kim\_t\_j@naver.com

## A Study on Back-off Algorithm to enhance performance in IEEE 802.11

Tae-Jin Kim\*, Ji-Yup Lee\*, Seog-Ku Lim\*  
\*Div. of Information Communications, Baekseok University

### 요약

본 논문에서는 IEEE 802.11 WLAN(Wireless LAN)에서 기본 액세스 방식인 DCF(Distributed Coordination Function)의 성능을 높이기 위하여 개선된 알고리즘을 제안한다. CDMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)기반인 DCF는 스테이션의 적은 상황에서는 비교적 우수한 성능을 나타내지만 스테이션이 많은 혼잡상황에서는 처리율, 지연율, 충돌률 관점에서 성능이 큰 폭으로 저하된다. 본 논문에서는 패킷 전송 후 충돌이 발생하면 CW(Contention Window)를 4배 증가 시켜주고 패킷의 전송이 성공 시에는 CW를 서서히 줄여주어 연속적인 충돌과 잠재적인 충돌을 미연에 방지함으로써 패킷 충돌의 확률을 낮추어 주는 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 이용하여 성능을 입증한다.

### 1. 서론

최근 컴퓨터의 보급이 급속하게 확산되면서 그에 따른 인터넷 사용율도 높아지고 있다. 노트북, PDA 뿐만 아니라 핸드폰으로도 인터넷 사용이 가능해지면서 편리성과 효율성으로 인하여 무선 랜(Wireless LAN)의 관심과 수요가 늘어날 것으로 전망된다.

무선 랜은 가정과 사무실, 제한된 실내 환경에서 인터넷 서비스를 중심으로 운용되던 형태를 벗어나 카페, 공원 등, 소규모 핫스팟(Hot spot)영역으로 확장되고 있으며 응용분야 또한 급속히 발전하고 있다. 이러한 무선 랜을 구현하기 위한 규격인 IEEE 802.11은 1999년에 처음 발표되었고[1], 이후 IEEE 802.11b, IEEE802.11a, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n으로 발전되었다. 현재 Direct Sequence(DS) 대역 확산 기법을 이용하여 최대 11Mbps를 지원하는 IEEE 802.11b 표준이 가장 많은 시장을 구축하고 있다[2].

IEEE 802.11 WLAN MAC에서는 무선채널을 액세스하기 위한 방법으로 DCF(Distribute Coordination Function)와 PCF(Point Coordination Function)를 사용한다. PCF는 AP(Access Point)와 같은 중앙제어 스테이션의 관리 하에

폴링(Polling) 방식을 이용하여 스테이션들이 채널을 사용할 수 있게 관리하는데, 폴링 오버헤드와 스테이션이 전송할 데이터가 없다는 의미의 Null 패킷들로 인하여 성능 및 유연성에서 많은 문제점이 있어 실제 대부분의 무선랜 장비에서는 이 기능을 지원하지 않는다[3]. DCF의 경우 IEEE 802.11 WLAN의 기본적인 액세스 방법으로 사용하며 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)를 기반으로 하여 모든 스테이션이 동등한 관계에서 경쟁을 통해 채널을 사용하게 된다. DCF는 스테이션의 수가 적은 상황에서는 우수한 성능을 보이지만 스테이션이 많은 혼잡상황에서는 성능이 저하되는 문제점을 가지고 있다. DCF의 문제점을 보완하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 연구 결과로서 Backoff Counter의 크기를 천천히 감소시킴으로서 성공적으로 전송된 패킷에 대한 충돌확률을 다음 패킷에 일부 적용하기 위한 방법인 DCF+[4]가 있다.

본 논문에서는 데이터의 전송이 성공한 경우에 CW값을 반으로 줄이고 충돌이 발생한 경우에는 CW값을 4배 증가시켜 충돌에 대한 확률을 줄여 매체의 효율을 높일 수 있는 알고리즘을 제안하고 이를 Standard DCF와 DCF+를

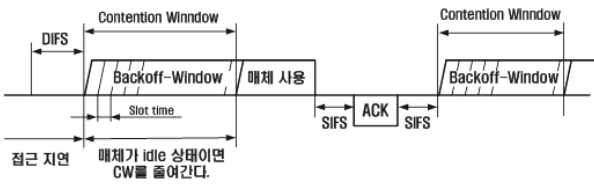
비교대상으로 정하고 시뮬레이션을 이용하여 성능을 입증한다. 서론에 이어 2장에서는 DCF 개요를 통해 Standard DCF와 DCF+, 제안 알고리즘에 대하여 설명하고, 3장에서는 시뮬레이션을 통해 성능분석을 한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## 2. IEEE802.11 DCF 개요

IEEE 802.11 WLAN 에서의 DCF는 기본적인 매체 접근 방식으로서 CSMA/CA 프로토콜을 사용하며 Random한 Backoff Time을 사용한다[5][6][7]. Backoff Time은 CW(Contention Window)에서 랜덤한 값을 추출한 후 슬롯타임(Slot Time)을 곱하여 생성한다. CW값은 최소( $CW_{min}$ ) 31부터 최대( $CW_{max}$ ) 1023을 가지며 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{Backoff Time} = \text{random}(CW) \times \text{aSlotTime} \quad (1)$$

[그림 1]은 DCF Basic Access 방식에서 스테이션의 동작을 보여준다. 스테이션이 데이터 전송을 위해 DIFS 동안 기다린 후에 매체가 idle 상태이면 CW(Contention Window)를 최소  $CW_{min}$ 로 초기화하고 Backoff Counter를 0에서  $CW_{min}$  사이에서 랜덤하게 선택한 후 Backoff Time을 생성하여 매체에 대한 접근을 지연시킨다. 매체에 대한 접근 지연중인 스테이션들은 매체의 상태를 확인하면서 동시에 자신의 Backoff Time을 1씩 감소시킨다. 만약 Backoff Time이 0에 가까워진 스테이션이 있다면 매체의 상태 확인 후에 idle 상태이면 매체에 접근하게 되고, 0이 되기 전에 매체를 다른 스테이션이 사용하게 되면 Backoff Time 줄이는 것을 멈춘다. 매체가 다시 idle 상태이면 DIFS 후에 남아있는 Backoff Time을 감소시킨다. 결국 이 스테이션은 새로 Backoff Time을 생성한 스테이션보다 더 작은 Backoff Time을 줄이게 될 확률이 높아 매체에 먼저 접근할 가능성도 높아진다.

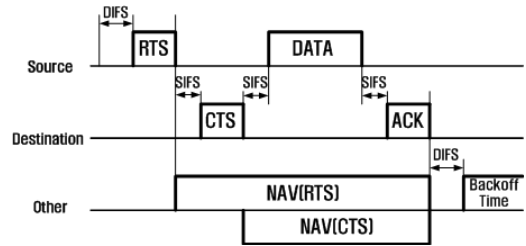


[그림 1] Basic Access 방식

Backoff Time이 0이 되어 패킷을 전송하게 되면 ACK를 통해 전송 성공 여부를 결정하게 된다. 패킷이 성공적으로 전송되었다면 CW는 최소  $CW_{min}$ 로 돌아가며 충돌이 발생하였을 경우 CW를 2배 증가시킨다.

RTS/CTS 방식은 채널에 대한 예약 정보를 알리는 방식으로 [그림 2]와 같이 데이터를 전송하기 전에 RTS(Ready To Send)와 CTS(Clear To Send)를 교환한다. Backoff Time이 0인 스테이션은 매체접근에 성공하게 되고 RTS

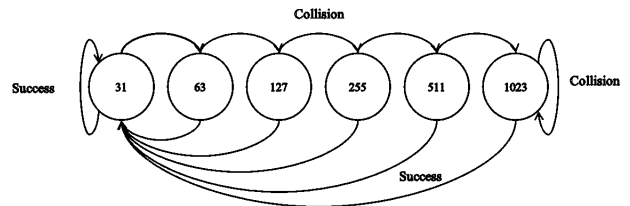
프레임을 전송한다. RTS 프레임에는 데이터를 전송하고자 하는 Source 스테이션의 주소와 NAV(Network Allocation Vector) 설정에 사용되는 Duration Field가 포함되어 있다. RTS를 수신한 스테이션들 중에 목적지(Destination) 스테이션은 RTS 프레임에 대한 ACK로서 CTS 프레임을 전송한다. 이때 다른 스테이션들은 RTS 프레임에 포함된 Duration Field 값으로 설정한 NAV를 줄여가면서 데이터의 전송이 끝날 때 까지 매체접근을 연기한다. RTS와 CTS를 사용한 방식은 Hidden Terminal 문제 해결과 RTS와 CTS 교환 충돌로 인한 전송 경로의 손실을 즉각적으로 확인할 수 있다[8].



[그림 2] RTS/CTS Access 방식

### 2.1. Standard DCF 알고리즘

Standard DCF는 지수적으로 증가하는 Backoff 알고리즘을 사용한다. 스테이션들은 패킷의 전송을 처음 시도하기 전에 0과  $CW_{min}$  사이의 랜덤한 값을 뽑아 그 값에 해당하는 Backoff Time을 가지게 된다. [그림 3]은 Standard DCF 알고리즘의 상태 천이도이다.  $CW_{min}$ 값으로 Backoff를 시작하며 패킷의 전송이 실패했을 경우 CW값을 두 배로 증가시켜 더 큰 범위에서 랜덤한 CW값을 추출하여 Backoff 시간을 생성한다. 큰 범위의 랜덤한 CW값은 충돌 확률을 줄여 주게 되고 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다. 그러나 스테이션수가 많은 혼잡상황에서는 CW값을 두 배 증가시키는 것으로는 부족하게 되어 다시 충돌이 일어나게 되면서 CW값을 연속적으로 증가시키게 되고 충돌이 일어날 때 마다 DIFS의 시간만큼 기다리고 다시 Backoff 시간을 기다려야 하기 때문에 성능이 떨어지게 된다. 또한 패킷의 전송이 성공하였을 경우 CW값을 급격히 초기  $CW_{min}$ 값으로 낮추기 때문에 잠재적인 충돌 발생을 초래하게 되어 혼잡상황에서 성능이 큰 폭으로 떨어지게 된다.

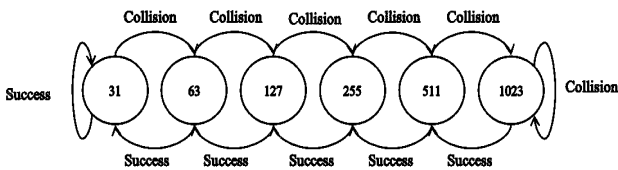


[그림 3] Standard DCF 알고리즘

$$CW_n = \begin{cases} \min((CW_{n-1} \times 2) + 1, CW_{max}) & \text{if collision} \\ CW_{min} & \text{if success} \end{cases} \quad (2)$$

## 2.2. IEEE 802.11 DCF+ 알고리즘

Standard DCF를 보완한 DCF+ 알고리즘은 충돌 시에는 Standard DCF 알고리즘과 동일하게 동작하며 패킷의 전송 성공 시에는 [그림 4]과 같이  $CW$ 값을  $CW_{min}$ 값보다 낮아지지 않는 조건으로  $CW$ 값을 반으로 낮추는 알고리즘이다. 수식은 (3)로 나타낼 수 있다. 하지만 충돌 시에는  $CW$ 값을 두 배로 증가시키게 되므로 스테이션수가 많은 혼잡상황에서는 Standard DCF와 동일하게 동작한다. 즉, 충돌이 자주 일어나서  $CW$ 값을 연속적으로 증가시키게 되고 충돌이 일어날 때 마다 DIFS의 시간만큼 기다리고 다시 Backoff 시간을 기다려야 하기 때문에 성능이 Standard DCF와 마찬가지로 큰 폭으로 떨어지게 된다.



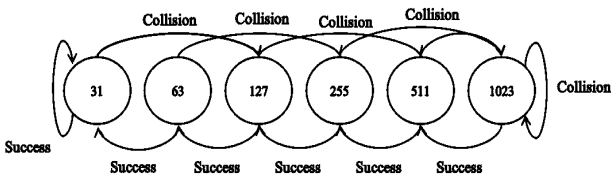
[그림 4] DCF+ 알고리즘

$$CW_n = \begin{cases} \min((CW_{n-1} \times 2) + 1, CW_{max}) & \text{if collision} \\ \max(int(CW_{n-1} \times 0.5), CW_{min}) & \text{if success} \end{cases} \quad (3)$$

## 2.3. DCF 알고리즘 제안

많은 스테이션들이 최초  $CW_{min}$ 에서 동일한 Backoff Time을 생성하게 되어 충돌이 일어난다고 가정하면 다음  $CW$ 값을 뽑을 때에는 좀 더 큰 범위의  $CW$ 내에서 값을 뽑게 하여야 연쇄적인 충돌확률을 줄일 수 있다.

제안 DCF 알고리즘은 [그림 5]와 같이 스테이션의 충돌 시  $CW$ 를 두 배가 아닌 4배 증가 시켜 적은 스테이션은 물론 스테이션수가 많은 혼잡상황에서도  $CW$ 값을 크게 가지게 함으로서 충돌확률을 줄이고자 하였다. 패킷 전송 성



[그림 5] 제안 알고리즘

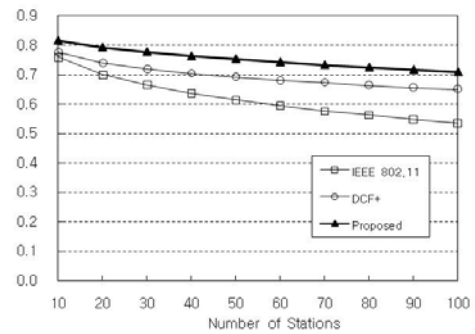
공 시에는  $CW$ 를 반으로 줄여 주는 방법을 제안하며 수식은 (4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$CW_n = \begin{cases} \min((CW_{n-1} \times 4) + 3, CW_{max}) & \text{if collision} \\ \max(int(CW_{n-1} \times 0.5), CW_{min}) & \text{if success} \end{cases} \quad (4)$$

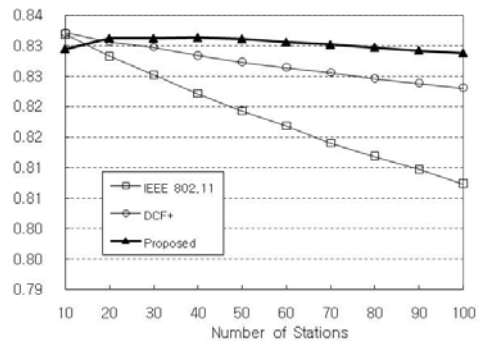
## 3. 시뮬레이션을 이용한 성능평가

제안 DCF알고리즘의 효율성을 입증하기 위해 단말의 수를 10대부터 혼잡상황에서의 성능분석을 위해 100대 까지 증가 시켰다. 각 단말들은 항상 전송할 패킷이 대기하고 있는 포화상태이고 Hidden Terminal 문제는 해결되었다는 가정 하에 시뮬레이션을 수행하였다.

제안 알고리즘의 효율성을 입증하기 위한 성능 파라미터로는 포화수율, 전송지연, 충돌율을 이용 하였다. [그림 6]은 Basic Access방식에서의 포화수율을 나타내며 Standard DCF와 DCF+는 스테이션수가 증가함에 따라 수율이 떨어지는 것을 확인 할 수 있다. 제안 알고리즘도 스테이션수의 증가에 따라 효율이 떨어지나 작은 폭으로 떨어지며 기존 DCF보다. 효율이 항상 높은 것을 볼 수 있다. [그림 7]은 RTC/CTS를 적용한 방식에서의 포화수율을 보여주고 있다. 스테이션수가 10개 일 때 Standard DCF와 DCF+ 알고리즘의 수율이 좋게 나타나지만 스테이션수가 10개 이상에서는 수율이 급격하게 떨어진다. 하지만 제안 DCF 알고리즘은 스테이션수의 증가에 상관없이 기존의 알고리즘보다 성능이 높으며 변화의 폭도 적어 안정적인 것을 알 수 있다

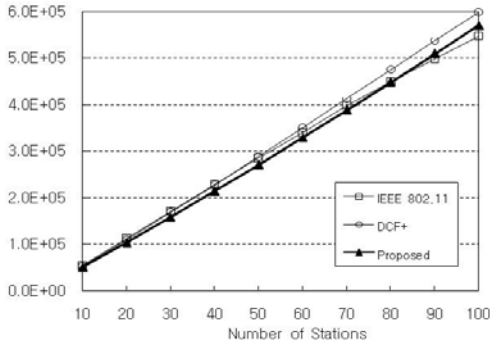


[그림 6] Saturation Throughput(Basic)

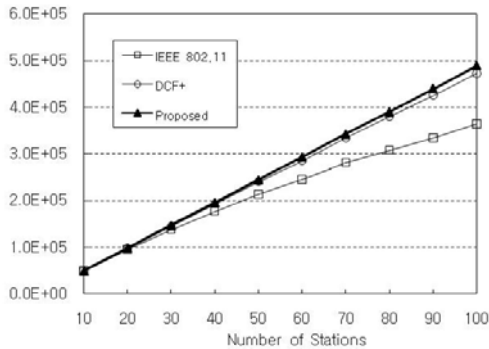


[그림 7] Saturation Throughput(RTS/CTS)

[그림 8]은 Basic Access방식일 때 지연율을 보여주고 있다. 제안 알고리즘이 [그림 6]과[그림 7]에서 기존 알고리즘보다 성능이 우수함을 도시 하였다. 성능은 기존 알고리즘보다 높으면서 [그림 8]에서 보여주듯 기존 알고리즘과 지연율 차이가 거의 없음을 볼 수 있다. [그림 9]는 RTS/CTS 방식일 때 의 지연율을 보여준다. Standard DCF가 지연율이 가장 낮게 나타나고 있으나 포화수율 측면에서는 가장 떨어지므로 전체적인 성능이 결코 좋다고 볼 수 없다. 반면 DCF+와 제안 DCF 알고리즘은 비슷한 수치를 보여주고 있다.

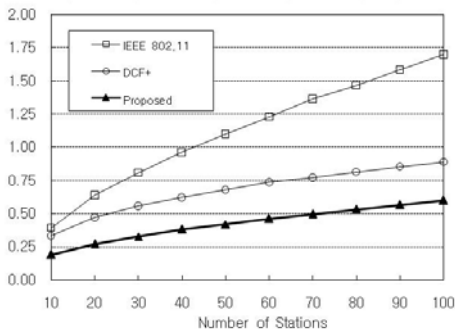


[그림 8] Access Delay(Basic)



[그림 9] Access Delay(RTS/CTS)

[그림 10]은 스테이션수의 증가, 즉 트래픽의 부하에 따른 각 알고리즘의 충돌률을 나타낸 것으로 충돌률은 충돌이 발생한 횟수에서 전송이 성공한 횟수로 나누어 구한 값으로 스테이션수가 증가함에 따라 충돌률이 증가함을 알 수 있다. Standard DCF경우 스테이션수가 증가함에 따라 충돌률이 급격히 증가 하지만 제안 DCF 알고리즘은 Standard DCF와 DCF+ 알고리즘에 비해 충돌률이 트래픽의 과부하에도 높지 않음을 알 수 있으며 스테이션수가 100대일 경우 Standard DCF 알고리즘과 3배 이상의 우수한 성능을 확인할 수 있다.



[그림 10] 스테이션 증가에 따른 충돌률

#### 4. 결론

본 논문은 Standard DCF와 DCF+가 패킷 전송 성공 시에는  $CW$ 값을 2배 증가시켜 스테이션이 많은 혼잡상황에서는 오히려 효율이 떨어지는 문제점을 보완하고자  $CW$ 값을 4배 증가시켜 연쇄적인 충돌확률을 낮추고 매체의 이

용률을 높일 수 있는 Simple한 알고리즘을 제안하였다.

성공 시에는  $CW$ 값을 급격히  $CW_{min}$ 값을 줄이는 것 보다 반으로 줄여주는 것이 잠재적인 충돌을 방지함으로 성능이 좋아지는 것을 Standard DCF와 DCF+ 비교를 통해 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 DCF+ 방식의 장점은 이용하고 성능을 떨어뜨리는 요소는 보완을 통해 성능을 높였고 시뮬레이션을 사용하여 기존 DCF 방식보다 우수함을 입증하였다.

본 연구결과를 통해  $CW$ 값이 DCF성능에 중요한 역할을 맡고 있음을 알 수 있었다. 향후 연구과제로는 스테이션수에 관계없이 충돌이 일어나면  $CW$ 값을 증가하는 알고리즘이 아닌 미리 스테이션수를 예측하고 스테이션수에 따라 적당한  $CW$ 값을 미리 부여하는 동적  $CW$  적용 알고리즘에 대한 수학적 분석과 시뮬레이션을 통한 성능 입증을 수행할 예정이다.

#### 참고문헌

- [1] The Editors of IEEE 802.11 IEEE Standard for Wirelee LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) specifications, NOV. 1997.
- [2] Y. Xiao, "An Analysis ofr Differentiated Services in IEEE 802.11 and IEEE 802.11e Wireless LANs", Proc. In ICDCS 2.4. pp. 32-39. 2004.
- [3] 황안규, 이재용, 김병청 "IEEE 802.11 DCF 성능 개선을 위한 매체접근제어 알고리즘의 설계 및 성능 분석", 전자공학회 논문지 제 42권 TC편 제 10 호, pp.709-720, 2005.
- [4] H. S. Chhaya and S. Gupta, "performance modeling of asynchronous data tranfer methods of IEEE 802.11 MAC protocol", Wireless Networks, vol.3 (1997), pp. 217-234, 1997
- [5] T. S Ho and K. C. Chen, "performance evaluation and enhancement of the CAMA/CA MAC protocol for 802.11 wireless LAN's", int Proc. IEEE PIMRC, Taipei, Taiwan, pp. 392-296
- [6] F. Cali, M. Conti, and E. Gregori, "IEEE 802.11 wireless LAN: Capacity analysis and protocol enhancement", presented at the INFOCOM'98, San Francisco, CA, Mar. 1998.
- [7] L. Kleinrock and F. Tobagi, "Packet switching in radio channels, Part-II The Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple Access Models and the Busy Tone Solution", IEEE Trans. Communication, Vol. 23, No. 12, pp. 1417-1433, Dec. 1975.