

IEEE 802.11 WLAN에서 새로운 Backoff 알고리즘의 해석적인 분석

임석구*

*백석대학교 정보통신학부

e-mail:sklim@bu.ac.kr

Analytic Study on New Backoff Algorithm in IEEE 802.11 WLAN

Seog-Ku Lim*

*Div. of Information and Communications, BaekSeok University

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11 WLAN의 MAC인 DCF의 성능을 개선하는 알고리즘을 제안하고 이를 해석적으로 분석한다. IEEE 802.11 WLAN의 MAC에서는 데이터 전송을 제어하기 위한 방법으로 DCF와 PCF를 사용하며, DCF의 경우 CSMA/CA를 기반으로 한다. DCF는 경쟁 스테이션이 적은 상황에서는 비교적 우수한 성능을 보이나 경쟁 스테이션의 수가 많은 경우 처리율, 지연 관점에서 성능이 저하되는 문제점이 있다. 본 논문에서는 패킷 전송 후 충돌이 발생하면 윈도우 값을 최대 CW로 증가시키고 연속적으로 c번 패킷전송에 성공하면 CW를 감소함으로써 패킷 충돌 확률을 낮추는 알고리즘을 제안하고 이를 수학적으로 분석한다. 제안하는 알고리즘의 효율성을 입증하기 위해 시뮬레이션을 수행하여 그 타당성을 제시하였다.

1. 서론

최근 들어 무선 랜(Wireless LAN)의 편리함과 효율성으로 인해 급격히 시장이 확대되고 있다. 이 중에서 IEEE 802.11 표준[1]은 가장 많은 시장을 확보하고 그 영역을 지속적으로 확장해 나갈 것으로 전망된다.

IEEE 802.11 WLAN MAC에서는 무선채널을 액세스하기 위한 방법으로 DCF(Distributed Coordination Function)와 PCF(Point Coordination Function)를 사용한다. IEEE 802.11 WLAN의 기본적인 액세스 방법으로 사용하는 DCF의 경우 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)를 기반으로 하여 모든 스테이션이 동등한 관계에서 경쟁을 통해 채널을 사용하게 된다. 반면, PCF는 AP(Access Point)와 같은 중앙 제어 노드의 관리 하에 폴링(Polling) 방식을 이용하여 스테이션들이 채널을 사용할 수 있게 관리하는데, 성능 및 유연성에서 많은 문제점이 있어 실제

대부분의 무선 랜 장비에서는 이 기능을 지원하지 않는다[2].

DCF의 기본적인 동작 방식에서 전송할 프레임이 있는 스테이션은 DIFS(Distributed Inter Frame Space)가 경과된 후 백오프 스테이지(Backoff Stage) 0 에서 경쟁 윈도우(Contention Window, CW)를 최소 경쟁 윈도우 크기(CW_{min})로 초기화하고 백오프 카운터(Backoff Counter)를 $[0, CW_{min}]$ 의 범위에서 랜덤하게 선택한다. 1 슬롯시간 동안 채널이 사용되지 않음을 감지한 스테이션은 백오프 카운터를 1씩 감소시키고 슬롯의 시작시점에 백오프 카운터가 0인 스테이션은 프레임 전송을 시작한다. 만약 충돌이 발생하게 되면, 충돌이 발생한 스테이션은 백오프 스테이지를 1씩 증가시키고 경쟁 윈도우를 두 배씩 증가시키며 백오프 카운터를 재설정한다. 프레임 전송에 성공한 스테이션은 백오프 스테이지와 경쟁 윈도우를 초기화한다. DCF는 경쟁하는 스테이션의 수가 많을수록 충돌이 발생할 가능성이 증가하여, 이를 해결하기 위한 많은 연구들이 진행

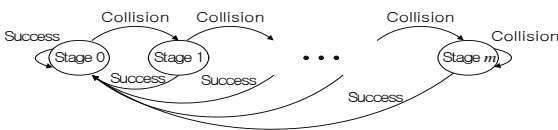
되어왔다[3]-[10].

본 논문에서는 패킷을 c 회 연속적으로 성공한 경우에만 백오프 스테이지를 한 단계 낮추고 CW 를 현재 값의 반으로 줄이며, 충돌이 발생한 경우에는 CW 를 CW_{max} 값으로 증가시킴으로써 충돌에 대한 확률을 적게 하여 자원의 효율을 높일 수 있는 알고리즘을 제안하고 이를 해석적으로 분석하며 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 검증한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서는 제안된 알고리즘에 대한 수학적 분석을 설명한다. 3장에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 포화수율(Saturation Throughput), 평균 패킷 지연시간(Average Packet Delay) 관점에서 분석하였고 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 제안하는 DCF 알고리즘

IEEE 802.11 DCF의 충돌-해결 과정을 [그림 1]에 나타내었다. 초기에 백오프 스테이지(stage 0)에서 CW 값은 최소값 CW_{min} 을 갖는다. 패킷 전송에 실패하면 백오프 스테이지는 1 증가하고 CW 값은 2 배로 증가된다. 전송에 성공하면 stage 0으로 복귀하고 네트워크의 상태에 관계없이 CW 값은 CW_{min} 가 된다. 이를 식 (1)에 나타내었다. 충돌에 의해 높아진 CW 를 CW_{min} 값으로 되돌릴 경우 충돌 확률이 높아지게 되며, 전송을 위해 기다리는 스테이션의 수가 많을 경우 충돌 확률은 더욱 높아져서 시스템 성능은 떨어지므로 비효율적으로 동작한다.

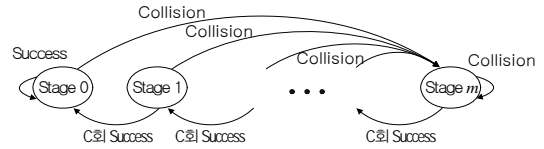


[그림 1] IEEE 802.11 DCF의 충돌-해결 과정

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

예를 들어 현재 stage i 에서 전송에 성공하면 다음 백오프 스테이지는 0이 되고 CW 는 $CW_0 = CW_{min} = 31$ 로 설정된다. 그러나 현재 경쟁하는 스테이션의 수가 충분히 크다면($\gg 32$), stage 0에서 새로운 충돌 확률은 매우 높을 것이다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 패킷을 c 회 연속적으로 성공한 경우에만 백오프 스테이지를 한 단계 낮추고 CW 를 현재 값의 반

으로 줄이며, 충돌이 발생한 경우에는 CW 를 CW_{max} 값으로 증가시킴으로써 충돌에 대한 확률을 적게 하여 자원의 효율을 높일 수 있는 알고리즘을 제안한다. [그림 2]에는 제안하는 알고리즘의 충돌-해결 과정을 나타내었으며, CW 값의 산출은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

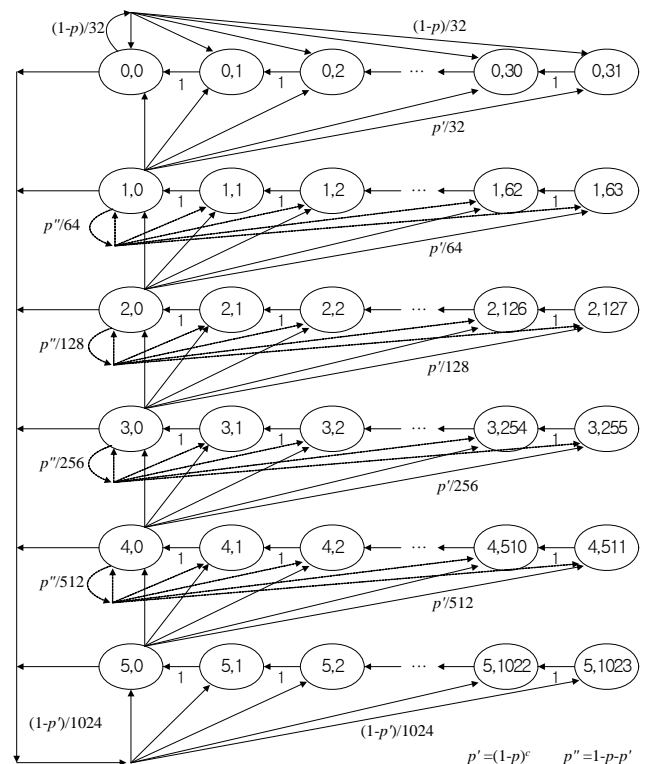


[그림 2] 제안하는 알고리즘의 충돌-해결 과정

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

$s(t)$ 와 $b(t)$ 를 임의의 시간 t 에서 단말의 백오프 스테이지와 백오프 카운터 값을 나타내는 랜덤 프로세스라고 하면, 제안하는 알고리즘에 대한 동작은 2차원 마르코프 체인 $\{s(t), b(t)\}$ 으로 나타낼 수 있으며, 이를 식 (3)과 같이 정의하면 정상 상태에서의 마르코프 체인은 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P[s(t) = i, b(t) = j] = b_{i,j} \quad (3)$$



[그림 3] 제안 알고리즘의 마르코프 체인 모델

전송한 프레임이 충돌할 확률을 p 라 하면, 마르코

프 성질을 이용하여 다음과 같이 조건부 확률을 이용하여 상태 천이 확률을 구할 수 있다.

$$\begin{cases} P[i,k|i,k+1]=1 & k \in (0, W_i - 2) \quad i \in (0, m) \\ P[0,k|0,0] = (1-p)/W_0 & k \in (0, W_0 - 1) \\ P[m,k|i,0] = p/W_m & k \in (0, W_m - 1) \quad i \in (0, m) \\ P[i-1,k|i,0] = p'/W_{i-1} & k \in (0, W_{i-1} - 1) \quad i \in (1, m) \\ P[i,k|i,0] = (1-p-p')/W_i & k \in (0, W_{i-1} - 1) \quad i \in (1, m-1) \end{cases} \quad (4)$$

$p' = (1-p)^c$: c 번 연속해서 전송에 성공할 확률

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

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

단말이 프레임 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.

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = (1+\rho)^m b_{0,0} \quad (6)$$

$$b_{0,0} = 2 \left[W + (1+\rho)^m + 2\rho W \frac{2^m(1+\rho)^m - 1}{1+2\rho} + (2^m W + 1) \{ (1+\rho)^m - (1+\rho)^m \} \right]^{-1}$$

3. 시뮬레이션을 통한 성능 분석

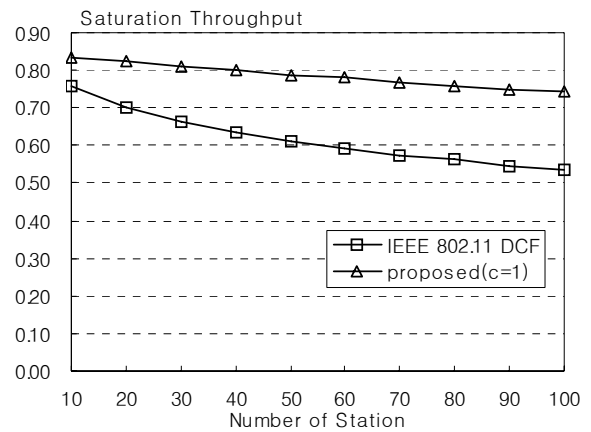
제안하는 알고리즘의 수학적 모델을 평가하기 위해 시뮬레이션을 수행하였으며, 포화수율 관점에서 분석하였다. 시뮬레이션은 SLAM II을 사용해서 Event-Driven 방식으로 구현하였으며[12], 시뮬레이션 수행은 seed number를 변경하면서 10회의 결과에 대한 평균값을 사용하였다.

수학적 모델의 평가와 시뮬레이션 수행에 필요한 시스템 파라미터는 DSSS(Digital Sequence Spread Spectrum)를 가정하였으며, [표 1]과 같다[7]. 패킷 Payload 크기를 8184bit로 고정하였고 채널 속도는 2Mbps로 가정하였다. 또한 시뮬레이션을 위해 CW 의 최소값(CW_{min})과 최대값(CW_{max})은 각각 32, 1024로 하고 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)

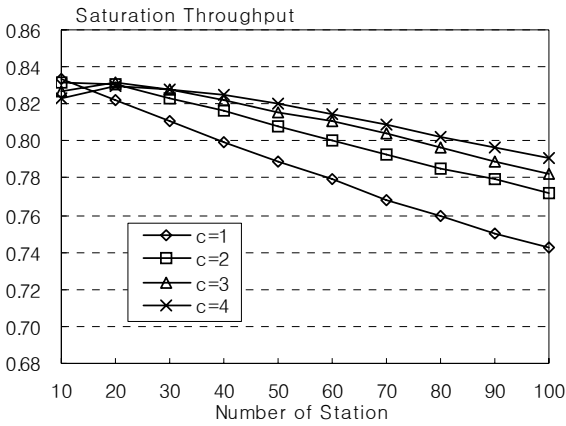
파라미터	값
Packet payload	8184 bits
MAC overhead	272 bits
PHY header	128 bits
ACK	112bit + PHY header
RTS	160bit + PHY header
CTS	112bit + PHY header
채널속도	2 Mbps
전파지연시간	1 μ sec
Slot Time	20 μ sec
SIFS	10 μ sec
DIFS	50 μ sec
CW_{min}	32
CW_{max}	1024
ACK_Timeout, CTS_Timeout	300 μ sec
재전송 한계값	7

[그림 4]는 기본 액세스인 경우 스테이션의 수의 증가에 따른 포화수율을 802.11 DCF와 제안 알고리즘($c=1$ 인 경우)을 비교하여 나타낸 그래프이다. 제안하는 알고리즘의 성능이 802.11 DCF에 비해 포화수율이 높음을 알 수 있다. 또한 802.11 DCF인 경우 스테이션 수가 증가할수록 포화수율이 급격히 감소하지만, 제안하는 알고리즘의 경우 서서히 감소하는 것을 알 수 있다.



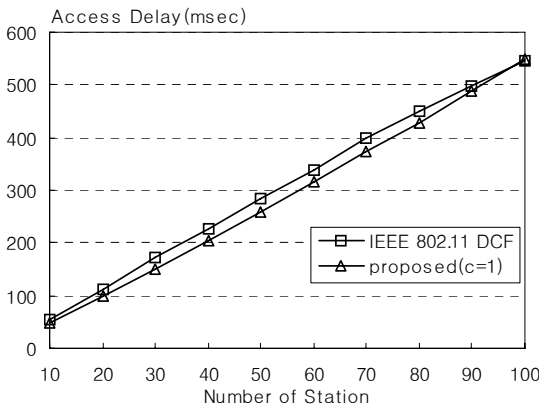
[그림 4] 기본 액세스에서의 포화수율의 변화

[그림 5]는 기본 액세스인 경우 c 의 변화에 따른 제안하는 방식의 성능을 나타내었는데, c 가 클수록 우수한 성능을 나타낸 반면에 RTS/CTS 액세스인 경우에는 오히려 c 가 커짐에 따라 성능이 저하됨을 알 수 있었다.



[그림 5] c에 따른 포화수율의 변화(기본 액세스)

평균 패킷지연시간은 패킷이 큐의 헤더에 입력되는 순간부터 패킷이 성공적으로 전송되어 수신측으로부터 ACK 메시지를 수신할 때까지의 시간으로 정의된다. [그림 6]은 기본 액세스인 경우 평균 패킷지연시간을 나타내었는데, 제안하는 알고리즘의 지연시간이 802.11 DCF에 비해 낮음을 알 수 있다. 이는 802.11 DCF는 잦은 충돌로 인해 지연시간이 증가되었으며, 아울러 포화수율도 감소하였음을 알 수 있다.



[그림 6] 기본 액세스에서의 평균 패킷지연시간

4. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11 무선랜 환경에서 기존의 DCF 매커니즘의 성능을 향상시키기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 성공적인 패킷 전송 후에 CW를 CW_{min} 으로 급격히 감소시키지 않고 c번 연속적으로 패킷 전송에 성공한 경우에만 백오프 스테이지를 한 단계 낮추고 CW를 반으로 감소시킨다. 또한 충돌이 발생하면 CW를

CW_{max} 로 증가시킨다. 제안한 알고리즘은 스테이션이 많은 환경에서 스테이션간의 충돌 확률을 낮게 하여 채널 효율을 높일 수 있고, 평균 패킷지연시간이나 평균 패킷 폐기율 관점에서 높은 성능향상을 나타내는 것을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

본 연구 결과를 바탕으로 진행할 향후 연구과제로는 제안한 알고리즘에서의 지연시간에 대한 수학적 성능 분석이 진행할 것이다. 또한 멀티미디어 트래픽 환경에 제안한 방식을 적용하기 위해 우선순위가 서로 다른 다양한 트래픽에 대한 적정 파라미터에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] The Editors of IEEE 802.11. IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications, Nov. 1997.
- [2] Y. Xiao, "An Analysis for Differentiated Services in IEEE 802.11 and IEEE 802.11e Wireless LANs", Proc. In ICDCS 2004. pp. 32-39.
- [3] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", IEEE J. Selected Areas in Communications, Vol. 18, No. 3, pp. 535-547, 2000.
- [4] G. Bianchi, "IEEE 802.11 Saturation Throughput Analysis," IEEE Communication Letters, Vol. 2, No. 12, pp. 318-320, Dec. 1998.
- [5] Y. Xiao, J. Rosdahl, "Throughput and Delay Limits of IEEE 802.11," IEEE Communication Letters. Vol. 6, No 8, pp. 355-357, Aug. 2002.
- [6] Y. Kwon, Y. Fang, and H. Latchman, "A Novel MAC Protocol with Fast Collision Resolution for Wireless LANs," Proc. IEEE INFOCOM'03, Vol. 2, pp. 853-862, April. 2003.
- [7] C. Wang and Bo Li, "A New Collision Resolution Mechanism to Enhance the Performance of IEEE 802.11 DCF", IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 53, No. 14, July 2004.
- [8] M. Y. Chung, M. S. Kim, T. J. Lee, Y. Lee, "Performance evaluation of an enhanced GDCF for IEEE 802.11," IEICE Trans. Comm., Vol.

- E88-B, No. 10, pp. 4125-4128, Oct. 2005.
- [9] P. Chatzimisios, A. C. Boucouvalas, V. Vitsas, "Effectiveness of RTS/CTS handshake in IEEE 802.11a wireless LANs," IEEE Electronic Letters, Vol. 40, No. 14, pp. 915-916, July 2004.
- [10] B. Raffaele, C. Marco, "IEEE 802.11 Optimal performances: RTS/CTS mechanism vs. basic access," Personal, indoor and mobile radio communication, the 13th IEEE International symposium on, Vol. 4, Sept. 2002.
- [11] 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.
- [12] A. Alan B. Pritsker, "Introduction to Simulation and SLAM II", John Wiley & Sons, 1986.