
IEEE 802.11 무선 랜의 성능 향상을 위한 새로운 MAC 프로토콜

황경호*

A new MAC protocol to improve a performance in IEEE 802.11 wireless LANs

Gyung-Ho Hwang*

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11 무선 랜의 인프라스트럭처 모드에서 성능을 향상시키기 위한 새로운 매체 접근 제어 (MAC) 프로토콜을 제안한다. 각 단말은 beacon으로부터 전송되는 파라미터와 접속 연결 시에 AP로부터 부여받은 자신의 고유한 ID를 사용하여 단말들 내에서 유일한 백오프 값을 생성하여, 데이터 전송 시에 해당 백오프 값만큼의 유희 슬롯을 보낸 후 데이터를 전송한다. 제안한 백오프 방식을 따를 경우 단말들 간의 충돌 없는 접속이 가능하며, 시뮬레이션을 통해 성능 분석을 한 결과, 기존의 IEEE 802.11 프로토콜의 CSMA/CA 표준 방식과 비교해서 채널 이용률이 늘어나고 패킷 지연이 감소함을 볼 수 있었다.

ABSTRACT

A new backoff scheme for infrastructure mode in IEEE 802.11 wireless LANs is proposed to improve a performance. Each station generates a unique backoff number using total number of stations, fairness parameter included in beacon frame and an user's ID that is assigned by AP. The station sends a packet after its own backoff number of idle slots, which makes a collision free access among stations within AP's coverage. The proposed method shows better performance in the view of channel utilization and packet delay than an original IEEE 802.11 CSMA/CA backoff scheme.

키워드

backoff, CSMA/CA, wireless LANs, IEEE 802.11

I. 서 론

IEEE 802.11 무선 랜은 단말의 이동성과 무선의 편리함을 제공하여 현재 공항이나 오피스, 가정에 많이 설치되어 사용되고 있는 기술이다. IEEE 802.11 무선 랜에서 주로 사용되는 MAC 프로토콜은 분산형 매체 접속 방식 중의 하나인 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple access

with collision avoidance) 프로토콜이다[1]. CSMA/CA 프로토콜의 성능은 마코프체인(Markov chain)을 사용하여 분석되었으며[2], 많은 연구자들이 CSMA/CA의 성능을 향상시키기 위해서 노력하고 있다. 그 중에서 접속 확률을 조절하여 이론적인 최대의 성능을 달성하는 방안이 제안되었고[3], 채널의 처리율과 공평성을 향상시키기 위해서 백오프 간격을 최적화하는 방안도 제안되었다

[4]. 또한 유일한 개수의 에너지 버스트를 사용하여 단 말별로 충돌이 없는 접속 방안을 제공하여 성능을 향상시키는 방안[5]이 제안되었으나 이는 추가적인 하드웨어를 요구하는 방안으로 실현이 어려운 점이 있다. 오버헤드를 줄여서 성능을 향상시키는 방안[6]과 짧은 에너지 임펄스를 사용하여 빠른 충돌 해결을 제안하는 방안[7]도 있다. 그리고 contention window (CW)를 결정할 때 표준에서 사용하는 최대값 뿐만 아니라 최소값도 최적으로 조절하는 방안도 있다[8]. 본 논문에서는 이전의 여러 연구 결과들과 같은 목적을 가지고 IEEE 802.11 무선 랜의 성능을 향상시키기 위한 새로운 접속 방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 II장에서는 IEEE 802.11 무선 랜에서 사용하는 CSMA/CA 프로토콜에 대해서 설명하고, III 장에서는 성능을 향상시키기 위한 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통해서 기존의 CSMA/CA 프로토콜과 제안한 방식의 성능을 비교하고 분석한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. IEEE 802.11 무선 랜의 CSMA/CA 프로토콜

IEEE 802.11 무선 랜은 크게 인프라스트럭처 (infrastructure) 모드와 애드 혹(ad hoc)모드의 두 가지 방식이 존재한다. 인프라스트럭처 모드는 일반적으로 유선과 연결된 AP(access point)가 자신의 전송 범위 내의 단말들과 연결을 맺고 데이터를 주고받는 모드이며, 애드 혹 모드에서는 단말들끼리 데이터를 주고받는다. 인프라스트럭처 모드의 IEEE 802.11 무선 랜의 MAC 프로토콜은 크게 PCF(point coordination function)방식과 DCF(distributed coordination function) 방식으로 나누어진다. PCF 방식은 AP가 패킷 전송의 주도권을 가진 중앙집중식 방식으로 AP에 접속한 단말들을 폴링하여 데이터 전송을 허락한다. 따라서 PCF 방식에서는 폴링 리스트를 어떻게 관리하느냐에 따라 성능이 많이 좌우된다. 하지만, 대부분의 IEEE 802.11 무선 랜 장비에서는 DCF 방식의 MAC 프로토콜을 주로 사용한다. DCF 방식은 CSMA/CA 프로토콜에 기반을 둔 분산형 접속 방식이다.

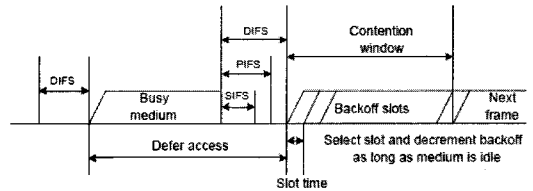


그림 1. IEEE 802.11 DCF 방식의 MAC 프로토콜
Fig 1. DCF scheme in IEEE 802.11 MAC protocol

그림 1은 IEEE 802.11 프로토콜의 DCF 방식에 대해 개략적으로 설명한다. 각 단말은 전송할 데이터 패킷이 있을 때, 채널 상태를 검색해서 신호가 없는(idle) 상태가 DIFS 시간 동안 지속되면, 데이터를 바로 전송하고, 채널에서 신호가 검출되는 경우(busy)일 경우에는 DIFS 시간 동안 멈춘 후에 랜덤으로 백오프 카운터 값을 0에서 CW 사이의 정수 값으로 설정한다. 백오프 카운터 값은 한 슬롯 타임동안 채널이 idle 일 경우에 1씩 줄고, busy일 경우에는 카운터를 멈추고, busy 신호가 끝나면 다시 DIFS 동안 시간을 보낸 후에 백오프를 수행한다. 단말은 백오프 카운터 값이 0이 되면 데이터를 전송한다.

각 단말이 보낸 데이터 패킷을 수신한 상대방 단말은 SIFS 시간 후에 ACK 패킷을 전송하게 되고, ACK를 수신한 단말은 자신이 보낸 패킷이 성공적으로 전송되었다고 생각한다. 만일 일정 시간 내에 ACK 패킷을 수신하지 못할 경우에는 데이터 패킷을 보낸 단말은 전송 실패라고 간주하고, 백오프 카운터를 다시 설정하여 데이터 패킷을 재전송한다. 재전송을 위해서 백오프 카운터를 다시 설정할 때는 랜덤 설정 범위의 최대값인 CW를 이전의 2배로 만들어서 단말들끼리 서로 같은 백오프 값을 설정해서 발생하는 충돌 확률을 줄이게 된다. 이 때 CW의 최대값은 미리 정해져 있으며, CW가 최대값에도 달하면 패킷 전송이 성공할 때 까지 해당 CW는 계속 유지된다. 패킷 전송이 성공하면 CW는 다시 최소값으로 설정한다.

CSMA/CA 프로토콜 방식은 일반적인 사용자 환경에서는 좋은 성능을 보여준다. 하지만, 단말의 트래픽이 많은 상황에서는 단말들이 보낸 데이터 패킷들의 충돌 확률이 커지게 되어 처리율이 떨어지게 된다. 또한 CSMA/CA 프로토콜에서는 패킷이 충돌 할 경우, 백오프 값을 선택하는 랜덤 값 구간을 두 배로 늘림으로

써, 단말들이 서로 다른 백오프 카운터 값을 선택하도록 하여 충돌 확률을 줄이게 되는데, 백오프 값이 커지면, 그만큼 idle 슬롯도 늘어나서 전체 채널 이용률이 떨어지게 된다. CSMA/CA 방식의 성능의 척도 중 하나로 사용되는 채널 이용률은 다음과 같이 나타낼 수 있다[2].

$$S = \frac{P_s T_{data}}{P_{idle} T_{slot} + P_s T_s + (1 - P_{idle} - P_s) T_c} \quad (1)$$

여기서 각 변수의 의미는 다음과 같다.

- P_s : 성공적인 전송 확률
- P_{idle} : 하나의 슬롯에 아무도 전송하지 않을 확률
- T_{data} : 패킷 전송 시간
- T_s : 성공적인 전송을 위해 필요한 시간
- T_c : 전송이 충돌이 날 때 걸리는 시간
- T_{slot} : 물리 계층에서 한 슬롯의 시간

식 (1)에서 볼 수 있듯이 성능을 높이기 위해서는 충돌 확률을 줄여야 한다. 이를 위해서는 각 단말의 백오프 값이 서로 달라야 하며 이는 CW 값이 클수록 유리하다. 또한 채널 이용률을 높이기 위해서는 단말의 접속이 없는 idle 슬롯을 줄이는 것이 필요하며 이를 위해서는 CW의 값이 최대한 작아야 한다.

본 논문에서는 IEEE 802.11 무선 랜의 인프라스트럭처 모드에서 사용가능한 새로운 백오프 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 AP를 포함한 모든 단말이 백오프 값을 서로 다른 값을 지정할 수 있도록 하는 것으로 충돌 확률을 최소화하여 채널 이용률을 최대화 할 수 있다.

III. 제안하는 백오프 방식

본 논문에서는 IEEE 802.11 무선 랜의 CSMA/CA 프로토콜의 성능향상을 위해서 각 단말이 서로 다른 백오프 값을 가지도록 하여 충돌이 없는 접속 환경을 만들고, 각 단말의 접속 우선순위를 공정하게 만들기 위해서 시간에 따라서 우선순위가 변하도록 하였다.

각 단말은 AP에 접속할 때, AP로부터 association ID(AID)를 할당받게 된다. AID 필드는 표준에서는 1~2007사이의 값을 할당하도록 되어 있다. 제안하는 방식에서는 AID를 각 단말별로 서로 다른 값을 할당하되, 1부터 순서대로 값을 가지도록 한다. 예를 들어, 1부터 10번까지 단말들에게 할당된 후에는 11번을 할당하고, 만일 5번 단말의 접속이 끊어지면, 새로 추가 되는 단말을 5번을 할당하여 최대한 연속된 값을 가질 수 있도록 AP가 조절한다. AP는 0번을 가지는 것으로 생각한다. 만일 AID 변경을 위한 새로운 제어 패킷을 도입한다면, 어떤 단말이 접속을 끊었을 때, 기존의 마지막 AID를 가지고 있는 단말을 접속을 끊어서 비어있는 AID로 변경할 수 있을 것이다.

AP는 주기적으로 beacon을 전송할 때, AP에 접속된 전체 단말의 개수(N)와 접속 우선순위를 공정하게 만들기 위한 파라미터 값(R)을 알려준다. 단말의 백오프 값은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{Backoff Number} = (R + AID) \bmod N \quad (2)$$

여기서, mod는 모듈러 연산으로 N 값으로 나눈 나머지 값이다. R 값은 beacon 전송 시 마다 1씩 증가하고 0부터 N-1의 값을 가진다. 예를 들어 그림 2에서 보듯이 AID가 2인 단말이 있고, 전체 단말 개수가 15개이고, 이전 beacon에서 전송된 R 값이 3일 경우 해당 단말의 백오프 값은 $(3+2) \bmod 15 = 5$ 가 된다. 만일 R 값이 14일 경우에는 $(14+2) \bmod 15 = 1$ 이 된다. Beacon이 전송될 때 마다 각 단말의 백오프 계산 값이 달라지기 때문에 단말간의 접속 우선순위가 공정하게 보장된다. 각 단말은 식 (2)에서 구한 백오프 값의 개수만큼 idle 슬롯을 보낸 후에 데이터 패킷을 전송한다. 각 단말의 백오프 값이 서로 다르기 때문에 충돌 확률은 거의 없다. 만일 단말이 beacon 수신에 실패할 경우에는 이전 beacon의 R 값을 가지고 있기 때문에 beacon을 제대로 수신한 단말과 같은 백오프 값을 가질 확률은 있으나, 성능 평가에서 이 부분은 제외 하였다. 기존의 IEEE 802.11 무선 랜의 백오프 방식과의 차이점은 CSMA/CA 프로토콜에서는 충돌이 생길 경우, CW의 최대값을 두 배로 올려서 백오프 값을 다시 결정하나, 제안한 백오프 방식에서는 충돌로 인한 백오프 값을 새로 결정하지 않고, beacon으로부터 수신한 파라미터 값이 바뀔 때만 각 단말의 백오프 값을

변경한다.

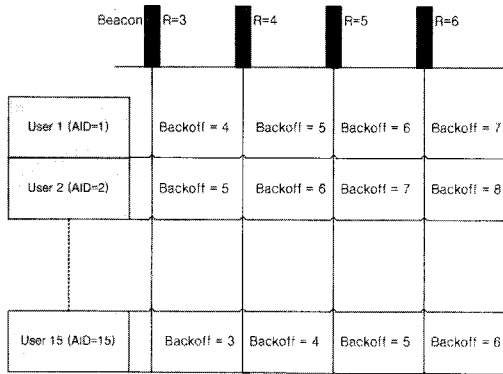


그림 2. 제안하는 백오프 방식에서 백오프 카운터 값 계산 방법
Fig 2. Calculation of backoff counter in proposed backoff scheme

IV. 성능 평가

제안한 백오프 방안은 OPNET 툴을 사용한 시뮬레이션을 통해서 성능을 평가하였다. 물리 계층으로는 IEEE 802.11a 표준을 사용하였고, 전송 속도는 24Mbps로 하였다. 그 외의 시뮬레이션 파라미터는 IEEE 802.11a의 표준을 따르고, 중요한 파라미터는 표 1과 같다. CW의 최소값과 최대값은 15와 1023을 사용하였다. 패킷 전송 시간 T_{data} 는 다음과 같이 계산한다.

$$T_{data} = T_{PhyHdr} + \left\lceil \frac{16 + M_{hdr} + M_{payload} + M_{FCS} + 6}{N_{DBPS}} \right\rceil \times N_{DBPS} / R \quad (3)$$

여기서 N_{DBPS} 는 OFDM 심볼당 데이터 비트수이다. 데이터 패킷의 사이즈는 1500 bytes를 사용하였고, 단말에서 데이터 패킷의 생성은 지수 분포를 따른다고 가정하였다. 일반적으로 AP에서 단말로 전송되는(다운링크) 데이터 패킷이 단말에서 AP로 전송되는(업링크) 데이터 패킷 보다 많기 때문에 AP에서 생성되는 데이터 패킷은 0.0012 msec의 평균 패킷 생성 시간을 가지고 단말

에서는 0.012 msec를 가지도록 하였다. 모든 단말은 AP의 전송 범위에 포함되며 허든 노드 문제는 없다고 가정하고, 패킷 전송 에러는 패킷사이의 충돌에 의해서만 발생한다고 가정하였다.

제안된 방안은 IEEE 802.11 표준의 CSMA/CA 프로토콜과 비교하였고, beacon 전송 간격(T_B)의 영향을 알아보기 위해 1, 5, 50 msec의 값을 사용하였다.

그림 3은 단말의 개수를 증가시키면서 채널 이용률을 살펴본 것이다. 채널 이용률은 전체 시뮬레이션 시간동안 성공적으로 전송된 패킷의 전송 시간 비율을 나타낸 것이다. 기존의 IEEE 802.11 표준 방식에서는 단말의 개수가 8개 이상이 되면 채널 이용률이 감소되는 것을 볼 수 있다. 이것은 단말의 개수가 많아질수록 충돌 확률이 커지기 때문이다. 그러나 제안한 방안에서는 단말 수가 증가하더라도 채널 이용률이 유지됨을 볼 수 있다. 이것은 제안한 방안에서는 충돌이 없는 접속을 보장하기 때문에 단말이 많아져도 충돌 확률이 영향을 받지 않기 때문이다. 채널 이용률에 관한 식 (1)에서 볼 때 백오프 지연과 충돌이 없는 경우의 이론적인 최대 이용률은 T_{data} / T_s 가 되며, IEEE 802.11a 물리 계층의 24Mbps 전송 속도를 고려할 때, 이 값은 0.87이 되어 시뮬레이션에서 구한 값과 거의 같음을 볼 수 있다. 즉, 제안한 방식은 충돌이 없는 접속을 통해서 최대의 채널 이용률에 가까운 결과를 얻을 수 있는 것이다. 또한 beacon 전송 간격은 충돌 확률과 관계없으므로 채널 이용률에 영향을 미치지 않는 것을 볼 수 있다.

표 1. 성능 평가 시뮬레이션에 사용된 파라미터
Table. 1 Parameters used in simulations

파라미터	심볼	값
Slot 시간	T_{slot}	9 μ sec
SIFS 시간	T_{sifs}	16 μ sec
DIFS 시간	T_{difs}	34 μ sec
PHY 프리앰블 + 헤더 전송시간	T_{PhyHdr}	20 μ sec
전송 지연	$T_{propdelay}$	1 μ sec
MAC 헤더 크기	M_{hdr}	30 bytes
FCS 크기	M_{FCS}	4 bytes
데이터(payload) 크기	$M_{payload}$	1500 bytes

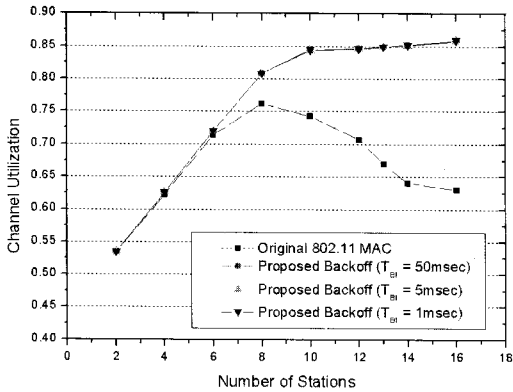


그림 3. 단말의 개수에 따른 채널 이용률
Fig 3. Channel Utilization vs. number of stations

그림 4에서는 AP에서 단말로 전송되는 다운링크 패킷의 지연시간을 보여준다. 제안한 방식을 사용했을 때, 다운링크 패킷의 지연 시간이 기존 방안에 비교했을 때 더 작은 것을 볼 수 있다. Beacon 전송 간격은 접속 우선 순위만 변화시키기 때문에 다운링크 패킷의 지연 시간에 영향을 미치지 않는다.

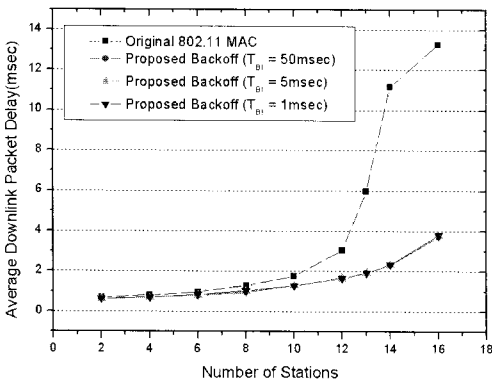


그림 4. 단말의 개수에 따른 평균 다운링크 패킷 지연 시간
Fig 4. Average downlink packet delay vs. number of stations

그림 5는 단말에서 AP로 패킷을 보내는 업링크의 지연 시간을 나타낸 것으로 단말의 수가 작을 때는 기존 MAC 프로토콜보다 지연 시간이 더 길어지는 것을 볼 수 있는데, 이는 다른 단말들의 패킷 전송이 성공적으로 이

뤄지기 때문이다. 그러나 단말의 개수가 많아지면, 제안한 방법의 패킷 지연은 기존의 방법보다 훨씬 작아지는 것을 볼 수 있다. 특히 beacon 전송 시간 간격이 짧을수록 더 좋은 성능을 나타낸다. 패킷이 MAC 계층의 전송 큐에 도달했을 때, 패킷을 전송하기 위해서는 자신의 백오프 값이 작을수록 전송이 빨리 일어나기 때문에, 단말의 트래픽 부하가 높고, beacon의 전송 간격이 클 경우 자신의 패킷을 전송하기 위해서는 자신의 백오프 값이 0가 되어야 겨우 전송할 수 있으므로, beacon 전송 간격이 작을수록 더 좋은 성능을 보여준다.

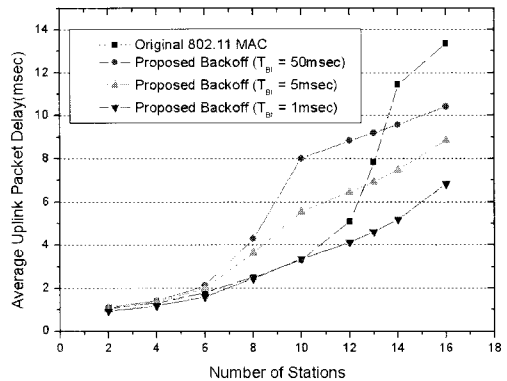


그림 5. 단말의 개수에 따른 평균 업링크 패킷 지연 시간
Fig 5. Average uplink packet delay vs. number of stations

V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.11 무선 랜의 무선 구간의 처리율을 높이기 위해서 기존의 CSMA/CA 방식의 MAC 프로토콜과는 다른 방식의 새로운 접속 방안을 제안하여 성능을 평가하였다. 제안한 방안은 각 단말이 AP로부터 할당받은 고유한 ID와 AP가 전달하는 파라미터 값을 이용하여 단말별로 유일한 백오프 값을 계산하게 되고, 그 값만큼의 idle 슬롯이 지나면 데이터 패킷을 전송하는 방식이다. 단말별로 서로 다른 백오프 값을 가지기 때문에 이상적인 경우 접속 충돌 확률이 거의 없고, 각 단말의 접속 우선순위를 매 beacon 전송 할 때 마다 바꿔주기 때문에 접속의 공평성도 보장하게 된다. 제안한 방안은

기존 방안과 비교해서 채널 이용률이나 패킷의 지연 측면에서 더 좋은 성능을 보여준다.

참고문헌

- [1] Part11:Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) specifications, IEEE 802.11 Std, 2007.
- [2] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 535-547, Mar. 2000.
- [3] F. Cali, M. Conti and E. Gregori, "Dynamic Tuning of the IEEE 802.11 Protocol to Achieve a Theoretical Throughput Limit," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 8, no. 6. pp. 785-799, Dec. 2000.
- [4] Z. Haas and J. Deng, "On Optimizing the Backoff Interval for Random Access Schemes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 12, pp. 2081-2090, Dec. 2003.
- [5] C. Papachristou and F. Pavlidou, "Collision- Free Operation in Ad Hoc Carrier Sense Multiple Access Wireless Networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 6, no. 8, pp. 352-354, Aug. 2002.
- [6] Y. Xiao, "IEEE 802.11 Performance Enhancement via Con-catenation and Piggyback Mechanism," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 5, pp. 2182-2192, Sep. 2005.
- [7] B. Zhou, A. Marshall and T.-H. Lee, "A k-Round Elimination Contention Scheme for WLANs," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 6, no. 11, pp. 1230-1244, Nov. 2007.
- [8] A. Ksentini, A. Nafaa, A. Gueroui and M. Naimi, "Deterministic Contention Window Algorithm for IEEE 802.11", *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2005.

저자소개



황경호(Gyung-Ho Hwang)

1998년 KAIST 전기및전자공학과 (공학사)

2000년 KAIST 전자전산학과 (공학석사)

2005년 KAIST 전자전산학과 (공학박사)

2005년 ~ 2007년 삼성전자 무선사업부 책임 연구원

2007년 ~ 현재 한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부

컴퓨터공학전공 전임강사

※관심분야: 이동통신 MAC 프로토콜, 무선 메쉬 네트워크, RFID 시스템