채널 오류가 존재하는 환경에서 IEEE 802.11 무선랜의 경쟁 단말 수 예측 방법*

김준석, 최범곤, 정민영
성균관대학교 정보통신공학부
e-mail: {jsk7016, gonace, mychung}@ece.skku.ac.kr

A Method for Estimating the Number of Contending Stations in IEEE 802.11 WLAN under Erroneous Channel Condition

Jun Suk Kim, Bum-Gon Choi, and Min Young Chung
School of Information and Communication Engineering
Sungkyunkwan University

요 약

IEEE 802.11 DCF(Distributed Coordination Function)의 성능은 채널에 접근하기 위하여 경쟁하는 단말 수에 큰 영향을 받는다. 이에 경쟁하는 단말 수를 예측하기 위하여 많은 방법들이 제안되고 있지만 기존의 방법들은 채널 오류를 고려하지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 제안된 방법들 중 ARMA(Auto Regressive Moving Average) 필터(Filter)가 적용된 경쟁 단말 수 예측 방법을 수정 및 개선하여 채널 오류를 반영한 단말 수 예측 방법을 제시하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 방법은 채널 오류가 존재하는 환경에서 효과적으로 경쟁하는 단말 수를 예측할 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

IEEE 802.11 MAC(Medium Access Control)에서는 단말의 채널 접근을 위하여 기본 접근 방식으로 DCF (Distributed Coordination Function)와 선택 접근 방식으로 PCF(Point Coordination Function)를 정의하였다[1]. DCF는 CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance) 기반의 경쟁 채널 접근 기법이고, PCF는 폴링 방식 기반의 중앙 통제 방식 기법이다. DCF는 비동기식 전송함수로서 지연(Delay)에 민감하지 않은 데이터 전송에 적합하고, 반면에 PCF는 지연에 민감한 트래픽의 전송에 적합하다. 그러나 PCF는 구현상의 복잡성과 성능 및 유연성에 대한 문제로 현재는 거의 사용되고 있지 않다.

IEEE 802.11 DCF의 성능 평가에 관한 연구들은 DCF의 성능이 채널 접근을 위해 경쟁하는 단말의 수 n에 많은 영향을 받는 것을 보여 준다[2]-[5]. 경쟁하는 단말 수를 추정하는 많은 방법들이 제안되고 있으나[5]-[7], 기존에 제안된 방법들은 단말에서 추정하기에 복잡하고 또한 채널 오류로 인한 패킷 오류율(*PER*, Packet Error Ratio)을 고려하지 않았다. 따라서 채널 오류가 존재하는 환경에서도 경쟁하는 단말 수를 예측할 수 있는 효과적인 방법의 필요성이 대두되고 있다.

본 논문에서는 채널 오류가 존재하는 IEEE 802.11 DCF에서 채널에 접근하기 위해 경쟁하는 단말의 수를 예측하기 위하여, 기존의 ARMA(Auto Regressive Moving Average) 필터가 적용된 방법이 패킷 오류율을 반영할 수 있도록 개선하였다. 각각의 단말과 AP(Access Point)는 채널을 관측하여 채널이 사용되고 있지 않은(Idle) 슬롯, 채널이 사용되고 있는(Busy) 슬롯, 전송에 성공한 슬롯, 전송에 실패한 슬롯으로 분류한다. 이러한 채널 분석을 통하여, 각 단말들은 서로 독립적으로 패킷 전송 실패 확률과 패킷 전송 시 충돌확률을 구하고, 이를 이용해 패킷 오류율을 계산한다. 계산된 패킷 오류율을 반영하여 각 단말은 채널 오류가 존재하는 상황에서도 효과적으로 단말의 수를 추정할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.11 DCF 동작방식에 대한 설명을 하고, 3장에서는 채널 오류가 존재하는 DCF에서 경쟁하는 단말의 수를 추정하는 방법을 제안한다. 4장에서는 앞에서 제안한 방법의 성능을 시뮬레이션을 통해 검증 및 분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. Distributed Coordination Function

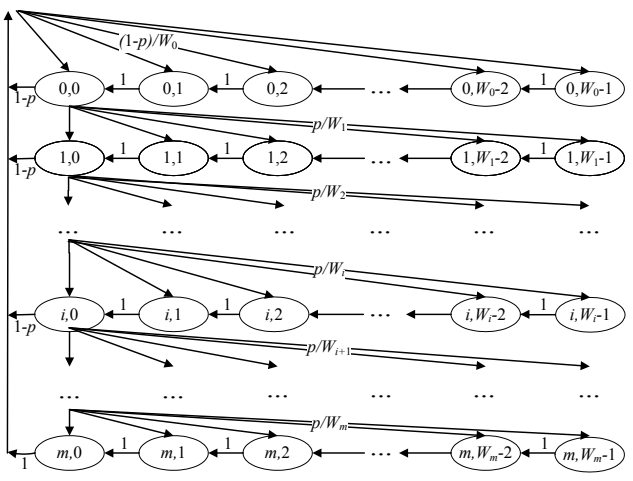
IEEE 802.11 DCF는 CSMA/CA를 이용한 경쟁 기반 채널 접근 방식이다. DCF는 채널에 접근하기 위해서 이진 지수 백오프 기법(BEB, Binary Exponential Backoff Scheme)을 사용한다. DCF에서 전송할 패킷을 가지는 단말은 전송을 시도하기 위해 채널을 관측한다. 만일 관측하

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C1090-1011-0005))

는 동안 채널이 사용되고 있다면, 단말은 채널이 사용되지 않을 때까지 채널을 관측하며 대기한다. 채널이 DIFS (Distributed Inter-Frame Space)동안 사용되지 않으면 단말은 채널에 접근하기 위해 백오프 카운터를 설정하게 된다. 백오프 카운터는 백오프 스테이지에 따른 경쟁 윈도우에 기반하여 선택된다. 백오프 카운터는 (0,w-1)의 범위에서 균일하게 선택된다. 여기서 w는 경쟁 윈도우로 초기 백오프 스테이지에서의 값은 W이고, 백오프 스테이지가 1씩 증가할 때마다 경쟁 윈도우는 2배씩 커진다. 단말은 패킷 전송에 실패할 때마다 백오프 스테이지를 1씩 증가시키며, 백오프 스테이지가 최대값 m에 도달하면 더 이상 백오프 스테이지를 증가시키지 않는다.

경쟁 윈도우가 선택된 후 단위 슬롯 시간동안 채널이 사용되고 있지 않다면, 단말은 백오프 카운터를 1씩 줄여나간다. 백오프 카운터가 0이 되면 단말은 전송을 시도하며, 만일 전송에 실패하면 단말은 백오프 스테이지를 하나 증가시키고 경쟁 윈도우를 선택하여 다시 경쟁에 참여한다. 만일 수신 단말에서 전송된 패킷을 수신하였다면 수신 단말은 ACK(Acknowedgement) 메시지를 전송 단말로 보내준다. ACK 메시지는 SIFS(Short Inter-Frame Space) 동안 채널을 감지한 후 채널이 사용되고 있지 않다면 전송된다. ACK 메시지를 수신 받은 전송 단말은 패킷의 전송이 성공함을 알게 되고 다음 패킷의 전송을 준비하게 된다.

본 논문에서 사용하는 DCF 모델은 그림 1의 마코프 체인 모델로 표현된다[8]. 네트워크는 모든 단말이 항상 전송할 패킷을 가지는 포화상태를 가정한다. 전송에 실패할 확률 p는 상수이며, 이전에 패킷이 경험했던 충돌이나 채널 오류에 독립적이다. 전송을 시도한 단말이 확률 p로 전송에 실패했다면 단말은 백오프 스테이지를 증가시켜서 경쟁에 다시 참여하게 된다. 단말이 전송에 성공했다면 백오프 스테이지를 초기화 시키고 다음 패킷의 전송을 위해 초기화 된다. 전송 재시도 횟수가 IEEE 802.11 표준에 정의되는 최대 재전송 횟수(Retry limit)가 되면 단말은 전송하려던 패킷을 폐기하고 백오프 스테이지를 초기화한다.



(그림 1) 마코프 체인 모델

3. 채널 접근을 경쟁하는 단말 수 추정

정상 상태(Steady state)에서 각 단말이 패킷을 전송했을 때 전송에 실패할 확률 p는 다음과 같다[8].

$$p = 1-(1-\tau)^{n-1}(1-BER)^{l+H} = 1-(1-\tau)^{n-1}(1-PER). \quad (1)$$

여기서 BER은 비트 오류율(Bit Error Ratio), l은 패킷 데이터의 길이, H는 패킷 헤더의 길이, PER은 패킷 오류율(Packet Error Ratio), n은 채널 접근을 경쟁하는 단말 수, τ는 단말이 임의로 선택된 슬롯에서 전송할 확률이다. 전송에 실패할 확률은 각 단말을 제외한 나머지 단말이 전송할 확률을 의미하며, 1과 전송을 시도했을 때 전송에 성공할 확률의 차가 된다. 식 (1)에서 채널 접근을 경쟁하는 단말의 수 n에 관해 다음이 구해진다.

$$n = 1+\frac{\log(1-p)-\log(1-PER)}{\log(1-\tau)}. \quad (2)$$

단말이 p와 PER, τ를 알고 있다면 채널에 접근하기 위하여 경쟁하는 단말 수 n은 식 (2)로부터 추정할 수 있다.

전송 실패 확률 p는 전송을 시도한 횟수와 전송에 실패한 횟수의 비로 측정 가능하며 다음과 같다[9].

$$p = \frac{N_f}{N_t}. \quad (3)$$

여기서 N_f는 전송에 실패한 횟수이고, N_t는 전송을 시도한 횟수이다. 전송을 시도한 횟수는 패킷을 전송한 슬롯의 개수로 측정하며, 전송에 실패한 횟수는 패킷을 전송하였을 때 ACK 메시지를 수신 받지 못한 슬롯의 개수로 측정한다.

임의로 선택된 슬롯에서 전송할 확률 τ는 전송 실패 확률 p를 알고 있을 때, 다음과 같이 계산된다[8].

$$\tau = \frac{2(1-2p)(1-p^{m+1})}{W(1-(2p)^{m+1})(1-p)+(1-2p)(1-p^{m+1})}. \quad (4)$$

여기서 m은 최대 백오프 스테이지, W는 경쟁 윈도우의 초기값이다.

패킷 오류율 PER은 전송된 패킷이 다른 패킷과의 충돌로 인해 전송에 실패할 확률 p_c와 전송을 시도했을 때 전송에 성공할 확률 p_s로 계산될 수 있다[9]. p_c는 Idle 슬롯과 Busy 슬롯을 이용해 측정할 수 있다. 채널이 사용되고 있지 않는 슬롯을 I, 다른 단말의 전송으로 채널이 사용되고 있는 슬롯을 B라고 하면 p_c는 다음과 같이 계산된다[9].

$$p_c = \frac{B}{I+B}. \quad (5)$$

식 (5)는 단말이 전송을 시도할 때, 채널이 사용중인 (Busy) 슬롯에서 전송을 하면 충돌이 발생한다는 것을 의미한다. p_s는 1과 전송 실패 확률 p의 차로 구할 수 있으며, 또한 충돌이 일어나지 않을 확률 $1-p_c$와 패킷 오류가 발생하지 않는 확률 $1-PER$의 곱으로 표현된다.

$$p_s = 1-p = (1-p_c)(1-PER). \quad (6)$$

식 (6)은 충돌이 일어나지 않고 패킷 오류도 발생하지 않는 경우에만 전송이 성공적으로 이루어짐을 나타낸다. 식 (6)으로부터 패킷 오류율 PER은 다음과 같이 표현되며 측정된 p와 p_c로부터 PER을 계산할 수 있다.

$$PER = 1 - \frac{p_s}{1-p_c} = 1 - \frac{1-p}{1-p_c}. \quad (7)$$

앞에서 설명한 p, τ, PER은 채널을 슬롯 단위로 나누어 관측함으로써 각 단말에서 독립적으로 추정할 수 있다. 각 단말은 추정된 값과 식 (2)를 이용해 경쟁하는 단말의 수를 예측할 수 있으며, 채널 오류가 존재하는 IEEE 802.11 무선랜에도 효과적으로 적용된다.

4. 성능 평가

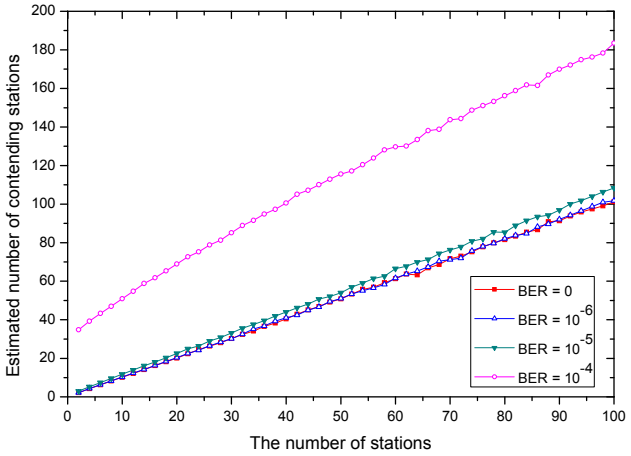
시뮬레이션에서 사용된 네트워크 환경은 BSS(Basic Service Set)로 가정하였다. 숨겨진 노드 문제는 고려하지 않았으며 네트워크는 단말들이 전송할 패킷을 항상 가지고 있는 포화상태로 가정하였다. 시뮬레이션에서 사용된 DCF 모델은 최대 재전송 횟수(Retry Limit)가 백오프 스테이지의 최대값과 같은 그림 1의 마코프 체인 모델로 가정하였다. DCF 모델에 사용된 주요 시스템 상수는 표 1과 같다. 패킷의 헤더와 길이는 일정하다고 가정하였으며, 데이터율은 고정 비트율(CBR, Constant Bit Ratio)을 가정하였다. 시뮬레이션은 C언어를 사용하여 몬테카를로의 이벤트 드리븐(Event driven) 방식으로 수행하였다[10].

<표 1> System parameter

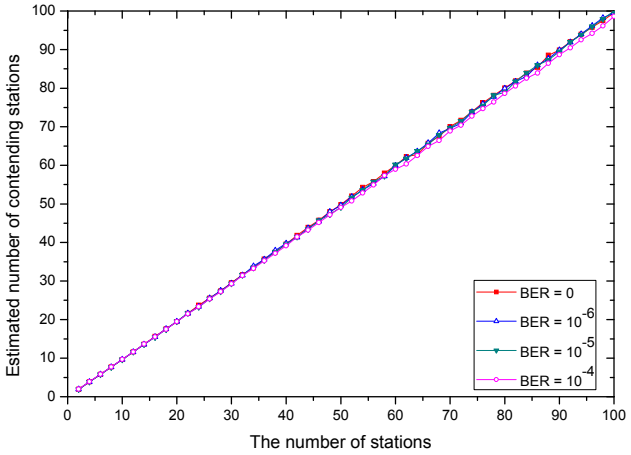
Parameter	Value
PHY header	128 bits
MAC header	272 bits
Payload	8000 bits
Datarate	54 Mbps
Propagation delay	1 μs
DIFS	34 μs
SIFS	16 μs
Slot time	9 μs
CW_{min}	16
CW_{max}	1024
Retry limit	6

시뮬레이션 분석은 총평균법(Long-term average)과 이동평균법(Moving average)을 이용한다. 총평균법을 이용해 채널 접근을 경쟁하는 단말 수 예측에 있어서 PER이 반영된 수식과 반영되지 않은 수식을 비교하고 검증한다. 그 다음 패킷 오류율이 반영된 수식을 ARMA 필터에 적용하여 채널 오류가 존재하는 IEEE 802.11 DCF에서 실시간으로 경쟁하는 단말 수를 예측한다. ARMA 필터는 이동평균법을 사용하여 동적으로 채널 접근을 경쟁하는 단말의 수를 예측한다[3].

그림 2와 3은 시뮬레이션을 수행한 후 총평균법을 이용해 단말의 수를 예측한 결과이다. 시뮬레이션은 1000초 동안 수행되었으며, 채널 오류가 존재하지 않는 경우와 비트 오류율(BER)이 각각 10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4}인 경우에 대하여 수행되었다.



(그림 2) PER이 고려되지 않은 단말 수 예측



(그림 3) PER을 고려하였을 때 단말 수 예측

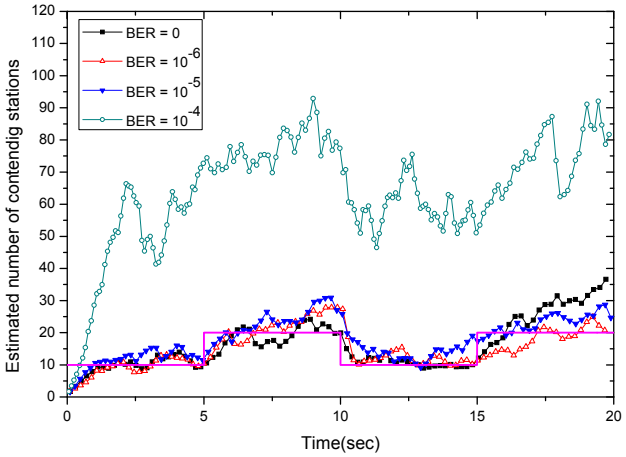
그림 2는 기존의 채널 오류가 반영되지 않은 식을 사용하여 단말 수를 추정한 결과이다. 그림 2를 통하여 채널 오류가 없는 경우와 채널 오류가 매우 작은 경우 ($BER = 10^{-6}$)에서는 채널에 접근하기 위해 경쟁하는 단말 수를 PER이 반영되지 않은 수식으로도 정확하게 예측하지만, 채널 오류율이 커지는 경우에 급격하게 단말 수 예측의 정확도가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이와 대조적으로 그림 3에서는 기존 수식에 PER을 반영한 수식이 채널 오류가 증가하여도 경쟁하는 단말 수를 정확하게 예측하는 것을 보여준다.

ARMA 필터에서 사용된 이동평균법 수식은 다음과 같이 주어진다[3].

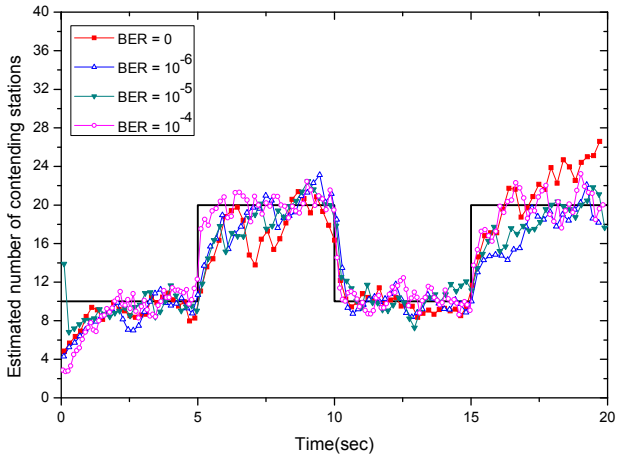
$$\bar{f}(t+1) = \alpha \cdot \bar{f}(t) + (1-\alpha) \cdot f(t). \quad (8)$$

$\bar{f}(t+1)$과 $\bar{f}(t)$는 $t+1$과 t에서의 확률의 평균이고 α는 가중치 벡터이며 $f(t)$는 t까지 q개의 슬롯동안 채널을 관측하여 측정한 확률을 의미한다. 본 시뮬레이션에서 p, p_c, p_s는 식 (8)를 사용하여 시간축 상에서 q 슬롯 간격으로

추정되었다. 시뮬레이션을 위해 가중치 벡터 α는 $\alpha=0.995$, 샘플링 슬롯 q는 $q=10$이 사용되었다[3]. 경쟁하는 단말 수를 실시간으로 예측하기 위해서, 단말은 채널 오류가 반영된 수식이 적용된 ARMA 필터를 사용한다. 그림 4와 그림 5에서 시뮬레이션은 ARMA 필터를 이용하여 총 20초 동안 기준 입력 단말 수를 예측하였다. 그림 5는 *PER*이 반영된 수식을 적용한 ARMA 필터를 사용하여 각 단말이 기준 입력 단말을 효과적으로 예측하는 것을 보여준다. 그림 4에서 채널 오류를 고려하지 않은 기존 모델의 경우 채널 오류로 인해 정확하게 단말 수를 예측하지 못한다. 그림 4와 비교하여, *PER*이 고려된 수식이 적용된 ARMA 필터를 이용한 단말 수 예측은 채널 오류가 증가하여도 효과적으로 경쟁하는 단말 수를 실시간으로 예측할 수 있다.



(그림 4) *PER*이 고려되지 않은 ARMA 필터 추정



(그림 5) *PER*을 고려하였을 때 ARMA 필터 추정

5. 결론

본 논문에서는 채널에 접근하기 위해 경쟁하는 단말 수의 실시간 예측 기법을 채널 오류가 존재하는 환경으로 확장하여 적용하기 위한 연구를 수행하였다. 시뮬레이션을 통하여, 채널 오류가 반영된 수식을 적용한 ARMA 필터 예측 방식은 채널 오류가 존재하는 환경에서도 효과적으로 경쟁하는 단말 수를 예측할 수 있음을 확인하였다. 본 제안방식은 채널 오류가 존재하는 환경에서도 효과적으로 경쟁하는 단말 수를 예측함으로써, 경쟁하는 단말 수에 많은 영향을 받는 IEEE 802.11 DCF의 성능을 향상시키기 위해 진행된 많은 연구들에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] IEEE, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE Standard 802.11, Jun. 2007.

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

[3] C. Wang, B. Li, and L. Li, "A New Collision Resolution Mechanism to Enhance the Performance of IEEE 802.11 DCF," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 53, no. 4, pp. 1235-1246, Jul. 2004.

[4] Y. C. Tay, and K. C Chue, "A Capacity Analysis for the IEEE 802.11 MAC Protocol," ACM/Baltzer Wireless Networks, vol. 7, no. 2, pp. 159-171, Mar. 2001.

[5] G. Bianchi, and I. Tinnirello, "Kalman Filter Estimation of the Number of Competing Terminals in an IEEE 802.11 Network," in Proc. INFOCOM 2003, vol. 2, pp. 844-852, Mar. 2003.

[6] T. Vercauteren, A. L. Toledo, and X. Wang, "Batch and Sequential Bayesian Estimators of the Number of Active Terminals in an IEEE 802.11 Network," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 55, no. 2, pp. 437-450, Feb. 2007.

[7] J. S. Kim, E. Serpedin, and D. R. Shin, "Improved Particle Filtering-Based Estimation of the Number of Competing Stations in IEEE 802.11 Networks," IEEE Signal Processing Letters, vol. 15, pp. 87-90, 2008.

[8] P. Chatzimisios, A. C. Boucouvalas, and V. Vitas, "Perfomance Analysis of IEEE 802.11 DCF in Presence of Transmission Errors," in Proc. IEEE ICC, vol. 7, pp. 3854-3858, Jun. 2004.

[9] D. Malone, P. Clifford, and D. J. Leith, "MAC Layer Channel Quality Measurement in 802.11," IEEE Communications Letters, vol. 11, issue 2, pp. 143-145, Feb. 2007.

[10] J. M. Hammersley and D. C. Handscomb, "Monte-Carlo Methods," Methuen & Co. LTD., 1964.