

# IEEE 802.11 WLAN 환경에서 최적의 CW 공유 방안

이진이<sup>1</sup>, 이수빈<sup>1</sup>, 경연웅<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한신대학교 컴퓨터공학부 학부생, <sup>2</sup>한신대학교 컴퓨터공학부 교수

## Optimal CW Synchronization Scheme in IEEE 802.11 WLANs

Jin-Lee Lee<sup>1</sup>, Su-Bin Lee<sup>1</sup>, Yeunwoong Kyung<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Student, Division of Computer Engineering, Hanshin University,

<sup>2</sup>Professor, Division of Computer Engineering, Hanshin University

**요약** 본 논문은 IEEE 802.11 WLAN 환경에서 최적의 CW(Contention Window) 값을 구하고 해당 값을 네트워크 내의 모든 단말들 및 새롭게 접속할 단말들과 공유하는 방법을 제안하고자 한다. IEEE 802.11 WLAN의 기본 MAC(Medium Access Control) 방식은 DCF(Distributed Coordination Function)를 지원하는데, DCF는 단말의 데이터 전송 성공 여부에 따라 실패 시 CW를 2배로 증가시키고, 성공 시 CW를 초기값으로 초기화시키는 동작을 반복한다. 하지만 이러한 기존의 DCF CW 조정 방식은 하드웨어 칩셋 또는 표준에 정의되어 있는 고정된 CW 초기값을 이용해서 동작하기 때문에 네트워크 상황 및 단말의 수에 따른 동적인 변경을 고려하지 않았다. 이를 해결하기 위해 최적의 CW 값을 구하는 연구들이 진행되었지만 기존 연구들은 최적의 CW 값에 대한 단말들의 동기화 과정을 고려하지 못하였고 이는 성능 저하를 발생시킬 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 네트워크 상황 및 단말의 수를 고려하여 최적의 CW 값을 구하고, 해당 값을 단말들과 동기화 시키는 방안을 제시하고자 한다.

**주제어** : WLAN, 최적 CW, CW 동기화

**Abstract** In this paper, we propose a optimal CW(Contention Window) synchronization scheme in IEEE 802.11 WLANs. IEEE 802.11 WLANs support DCF(Distributed Coordination Function) mode for the MAC(Medium Access Control) operation. In DCF, the CW increases exponentially according to the collisions and becomes minimum CW according to the success of data transmissions. However, since the base minimum CW value is hardware or standard specific, the number of active stations and network status are not considered to determine the CW value. Even though the researches on optimal CW have been conducted, they do not consider the optimal CW synchronization among mobile stations which occur network performance degradation. Therefore, this paper calculates the optimal CW value and shares it with mobile stations in the network.

**Key Words** : WLAN, optimal CW, CW synchronization

### 1. 소개

IEEE 802.11 기반 WLANs은 신속한 배치, 적은 비용, 그리고 손쉬운 구성으로 인하여 전 세계적으로 가장

인기 있고 널리 보급된 네트워크가 되었다. 특히 IoT 및 스마트폰의 보급이 일반화됨에 따라 액세스 네트워크에 대한 관심이 커지고 있고 자연스럽게 WLAN에 대한 연구도 지속적으로 진행되고 있다[1-3]. IEEE 802.11는

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020R1G1A1100493).

\*교신저자 : 경연웅(ywkyung@hs.ac.kr)

접수일 2020년 10월 8일 수정일 2020년 11월 24일 심사완료일 2020년 11월 28일

Distributed Coordination Function(DCF)과 Point Coordination Function(PCF)라는 두 가지 MAC방식을 제공한다[4]. PCF는 무충돌 서비스 제공을 목표로 polling message를 전송하는 AP를 통해 서로 다른 station들과 조율하는 중앙집중식 MAC 프로토콜이다. 반면 DCF는 경합 기반의 접속 방식으로, 이진 지수 백오프(Binary Exponential Backoff) 알고리즘을 이용한 CSMA/CA 메커니즘을 사용한다. 이 중 DCF는 무선 채널에 대한 무작위 접근을 가능하게 하도록 IEEE 802.11에 채택된 기본 MAC 메커니즘이다. DCF에서 단말은 전송을 원할 경우, Distributed Inter Frame Space (DIFS) 시간 동안 채널의 상태를 청취해야 한다. DIFS 시간이란, DCF에서 각 단말이 무선 매체에 접근해 데이터를 전송하려 할 때, 어떤 단말이 무선 매체를 마지막으로 사용한 직후부터 기다려야 하는 시간이다. 만일 DIFS 시간 동안에 다른 단말들이 채널을 사용중일 경우, 단말은 다른 단말들의 채널 사용이 끝날 때 까지 채널에 대한 접근을 기다려야 한다. 만약 DIFS 기간 동안 채널이 idle할 경우 백오프 시간은  $\text{rand}(CW) \times T_{\text{slot}}$ 으로 결정되는데, 여기서 CW는 Contention Window,  $T_{\text{slot}}$ 은 슬롯시간, 그리고  $\text{rand}()$ 은 난수 생성함수이다. IEEE 802.11에서 CW 값은 단말의 데이터 전송 시 충돌하면 이진 지수 형태로 증가하고, 성공하면 다시 초기화된다. 단말은 항상 CW에 비례하는 백오프 시간 동안 채널에 대한 접근을 기다려야 하기 때문에 CW 값에 따라 네트워크 성능에 영향을 미치게 된다. [5-6]현재 IEEE 802.11에서는 하드웨어 칩셋 및 표준에 따라 고정된 CW 초기값을 설정하여 동작하게 되는데 유연하지 않은 고정 CW 값 사용에 의해 네트워크 성능 최적화 문제가 제기되어 왔다 [2, 5]. 이를 해결하기 위해 지금까지 throughput을 높이고 충돌확률을 낮추는 최적의 CW에 대한 많은 연구가 수행되었다[7-10]. 하지만 해당 연구들은 가정하는 네트워크 상황에 따라 최적의 CW 값을 구하는 방법을 제안하였지만 해당 CW 값을 어떻게 네트워크 내의 다른 단말들과 동기화를 시킬지에 대한 고려가 부족하였다.

따라서 본 연구에서는 IEEE 802.11 WLAN 환경에서 단말의 수 또는 네트워크 상태에 따라 동적으로 변동되는 최적의 CW값을 계산하고, 계산된 CW값을 네트워크 내의 다른 단말들과 동기화를 시키는 방법을 제안함으로써 모든 단말들이 최적의 CW값을 사용하여 최적의 네트워크 성능을 보장할 수 있도록 하였다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 Basic DCF Operation

802.11 DCF Mechanism에서 단말은 전송해야 할 packet이 있을 때, DIFS 동안 채널을 scanning을 한다. 이때, 채널이 DIFS 동안 idle 상태로 판명된다면, random backoff time을  $[0, CW-1]$ 내에서 생성하여, backoff counter를 감소시킨다. 여기서 CW값은 현재 CW값을 의미한다. 해당 backoff counter 값이 0이 되고 난 다음 slot의 시작 부분에서 해당 packet의 전송이 시작된다. 만약 backoff time이 줄어드는 도중 채널이 idle 상태가 아님을 감지했을 경우 backoff time은 채널이 다시 idle하다고 감지가 되기 전까지 감소하는 것을 멈추고 해당 상태를 유지하게 된다. packet이 성공적으로 수신되었을 시, 수신자는 SIFS 후에 ACK 메시지를 전송한다. 하지만, packet이 성공적으로 수신되지 못할 경우, backoff time을 결정하는 범위 값이  $[0, CW-1]$ 에서  $[0, 2 \times CW-1]$ 값이 된다. 이와 같이 현재의 CW 값은 최대치 전까지 전송 실패할 때마다 2배씩 증가한다. 이런 DCF Mechanism의 CW 책정 방법은 단말들의 개수 및 네트워크 상태를 고려하지 않고 고정된 CW 값을 사용하기 때문에 네트워크의 throughput을 최적으로 유지할 수 없다[11].

### 2.2 기존 CW 조정에 대한 연구들

지금까지 throughput을 높이고 충돌확률을 낮추는 최적의 CW를 계산하기 위해 많은 연구가 수행되었다. CW조정 방식에 대하여 fixed-CW (CWmin and CWmax) 메커니즘과 adaptive-CW adjustment 메커니즘의 두 가지로 분류한다.

Fixed-CW 메커니즘에서는 앞서 말한 throughput을 높이고 충돌확률을 낮추기 위해 전송 성공 후 기존의 CW값을 초기값으로 변환시키는 것이 아니라 기존의 CW값에서 서서히 감소시키는 다양한 방법이 제안되었다. 이 중 EIED 알고리즘은 데이터 전송에 성공하면 CW값을 초기 CW값으로 바꾸는 것이 아닌 기존의 CW값의 반으로 낮추어 변화의 폭을 줄인다[5]. 그리고 EIED 알고리즘의 고정된 비율로 CW값을 변화시키는 문제로 인하여 네트워크 상태에 최적화된 CW값을 결정하기 어려운 문제점을 해결하기 위해 EILD알고리즘이 제안되었다 [12, 13]. 이는 데이터 전송 성공 시에 선형 CW값이 선형 감소가 가능하게 만든 것이다. 뿐만 아니라 그 이외에

도 MIMD 알고리즘, SETL 알고리즘 등 여러 알고리즘이 제안되어 왔다[12, 14, 15]. 이 알고리즘들은 CW크기에 적용된 서로 다른 증가요인을 이용한 네트워크 성능을 향상시켰다. 하지만 이 알고리즘들은 네트워크 상태의 변동을 대처하기 어렵고, CW 조정이 마지막 전송 시도 상태에 근거하기 때문에 이는 단말의 수가 증가할 때 throughput을 감소시키게 된다.

반면 adaptive-CW 메커니즘은 CW가 마지막 전송에 관계없이 활성 station 수 또는 네트워크 트래픽 부하와 같은 네트워크 조건에 따라 동적으로 조정된다[7, 9]. 해당 방법으로 인해 각 네트워크 상황에 따른 최적의 CW를 설정할 수 있지만 최적의 CW값을 어떻게 네트워크 내의 모든 단말들과 공유할지에 대한 고려가 부족하다. 특히 이동으로 인해 새로 접속된 단말의 경우 또다시 자신의 하드웨어 칩셋에 설정된 CW 초기값을 사용하기 때문에 전체 네트워크 성능을 저하시킬 수 있는 문제가 있다.

### 3. 제안하는 아이디어

#### 3.1 최적의 CW 계산 방법

본 논문에서는 DCF에서 수학적으로 증명된 최적의 CW 값을 사용하고자 한다[9-10]. 해당 방법은 실제 채널 상태 정보를 얻어 활성 단말들의 수를 추정하고, 알고리즘을 사용해 네트워크 부하를 이용하였다. 이를 통해 구해진 최적의 CW값은 수식 (1)과 같이 계산된다.

$$CW^* = \left( \frac{CW_{\min}}{2} \right) \times n - 1 \quad (1)$$

$CW^*$ 는 최적의 CW값,  $CW_{\min}$ 은 최소 CW값,  $n$ 은 활성 단말의 수를 의미한다. 활성 단말의 예상 개수는 수식 (2)와 같이 계산될 수 있다.

$$n_{est} = \frac{\log(1 - (2/(CW_{\min} + 1))) + \log(1 - P_w)}{\log(1 - (2/(CW_{\min} + 1)))} \quad (2)$$

여기서  $P_w$ 값은 0.21로 설정하였다[7].

#### 3.2 최적의 CW 공유 방법

본 논문에서는 위에서 구한 최적의 CW 값을 네트워크 내에 모든 단말들과 공유하는 방법을 제안하고자 한다. 해당 값은 기연결되어 있는 모든 단말들과도 공유해야 하고,

이동으로 인해 새로 접속하고자 하는 단말들에게도 공유되어야 하기 때문에 Beacon, probe response에 탑재하여 가능한 다양한 경로를 통해 공유하고자 한다[9].

##### a. Beacon

Beacon 신호를 통해 AP에서 계산된 최적의 CW값을 모든 단말들에게 보내준다. 현재 IEEE 802.11 표준에서는 해당 값을 전송할 수 있는 필드가 정해져 있지 않기 때문에 Vendor Specific 필드에 넣어서 송신이 가능하다[4]. Beacon 신호는 일반적으로 100ms 간격으로 송신되기 때문에 평균적으로 50ms 정도 내에 최적의 CW값을 알 수 있게 된다. 새로 접속할 단말들은 passive scanning 동작 시에 비콘 신호를 듣고 접속 시도를 수행하기 때문에 기존에 연결된 단말들뿐만 아니라 새롭게 접속할 단말들도 최적의 CW값을 인지하고 통신을 수행할 수 있다.

##### b. Probe Response

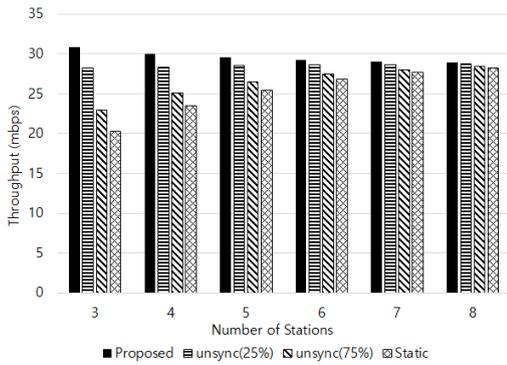
IEEE 802.11에서 정의한 scanning 방법으로는 위에서 언급한 비콘 기반의 passive scanning과 단말이 먼저 scan을 triggering하는 active scanning이 존재한다[4]. Active scanning에서는 단말이 각 채널별로 probe request를 전송하고, 이에 대한 응답으로 AP가 probe response를 전송하는데, 이때 probe response의 Vendor Specific 필드에 최적의 CW 값을 포함하여 전송할 수 있다. 이를 통해 active scanning을 이용하여 새롭게 접속할 단말들도 최적의 CW 값을 인지하고 접속 시도를 수행하게 된다.

## 4. 성능 분석

본 장에서는 제안된 방법의 효과를 입증하기 위하여 기존 방법들과의 비교를 통해 throughput 성능 분석을 수행하였다. 성능 분석은 MATLAB R2018a를 통해 수행하였고 파라미터들은 <Table 1>을 참고하였으며

<Table 1> Parameters for performance evaluation

Parameter	Values
PHY Header	192 bytes
MAC Header	224 bytes
ACK	112 bytes
SIFS	10 $\mu$ s
DIFS	50 $\mu$ s
Slot time	20 $\mu$ s
$CW_{\min}$	32



[Fig. 1] Throughput according to the number of stations

throughput 도출을 위한 수식적 전개는 [5] 연구를 참고하였다. 본 장에서는 제안하는 방법과 고정된  $CW_{min}$  을 사용하는 static 방법[5], 최적의 CW를 계산하지만 해당 값을 네트워크 내의 다른 단말들 및 새로 유입되는 단말들과 공유가 되지 않는 unsync 방법[7]을 비교하여 성능을 분석하였다. unsync 방법에서는 모든 단말들 중 최적의 CW값이 공유되지 않는 비율을 25%, 75%로 분류하여 나타내었다. (25%란 전체 단말의 25%는 최적의 CW값을 사용하지 않고 하드웨어 칩셋의 디폴트 값을 CW값으로 사용하는 경우를 나타낸다.)

[Fig. 1]은 단말의 수에 따른 throughput 성능을 나타낸다. 제안하는 방법이 최적의 CW를 모든 단말들과 공유하기 때문에 가장 높은 throughput을 나타내며 static 방법이 가장 낮은 throughput을 나타내는 것을 볼 수 있다. 기존의 unsync 방법은 계산된 CW를 공유하지 않는 비율이 높을수록 throughput이 떨어지는 것을 볼 수 있으며 이는 실제 예에서 단말들이 외부에서 해당 AP로 유입될 때 발생할 수 있는 현상이다. 단말의 수가 늘어날수록 throughput의 차이가 주는 것을 볼 수 있는데 이는 최적의 CW값이 하드웨어 칩셋의 디폴트 초기값과 가까워지기 때문에 나타나는 현상이다. 제안하는 방법은 최적의 CW를 구하는 방법이 달라지더라도 해당 CW의 동기화를 위해서 적용될 수 있으며 빠른 동기화가 네트워크의 성능을 결정할 수 있음을 보여준다.

### 5. 결론 및 향후 연구 방안

본 논문에서는 네트워크 상황 및 활성 단말의 수를 고

려하여 최적의 CW 값을 계산하고, 해당 값을 네트워크 내에 모든 단말들 및 새로 접속할 단말들과 공유하는 방법을 제안하였다. 기존 연구들에서는 단말들 간의 CW값 동기화가 이루어지지 않아서 네트워크 성능 저하가 발생할 수 있지만 본 연구에서는 Beacon 및 Probe Response를 통한 동기화를 통해 네트워크 성능 최적화를 도모할 수 있다. 본 연구는 향후 실제 WLAN 환경에서 실험을 통해 입증될 예정이며 해당 네트워크뿐 아니라 이웃한 네트워크들을 함께 고려하여 최적의 CW 값을 찾는 방향으로 확장할 예정이다.

### REFERENCES

- [1] D.W.Lee, K.Cho, and S.H.Lee, "Analysis on Smart Factory in IoT Environment," Journal of The Korea Internet of Things Society, Vol.5, No.2, pp.1-5, 2019.
- [2] Y.W.Kyung and T.K.Kim, "Flow Handover Management Scheme based on QoS in SDN Considering IoT," Journal of The Korea Internet of Things Society, Vol.6, No.2, pp.45-50, 2020.
- [3] Y.W.Kyung and T.K.Kim, "Service Mobility Support Scheme in SDN-based Fog Computing Environment," Journal of The Korea Internet of Things Society, Vol.6, No.3, pp.39-44, 2020.
- [4] IEEE 802 Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification, IEEE Std. 2016.
- [5] G.Bianchi, L.Fratta, and M.Oliveri, "Performance evaluation and enhancement of the CSMA/CA MAC protocol for 802.11 wireless LANs," in Proceedings of the 17th IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication (PIMRC '96), Vol.3, pp.391-396, 1996.
- [6] F.Cali, M.Conti, and E.Gregori, "IEEE 802.11 protocol: Design and performance evaluation of an adaptive backoff mechanism". IEEE Journal on Selected Areas in CommCations, Vol.18, No.9, pp.1774-1780, 2000.
- [7] Y.Peng, H.Wu, S.Cheng, and K.Long, "A new self-adapt DCF algorithm,". Global Telecommunications Conference, Vol.1, No.1 pp.87-91, 2002.
- [8] Q.Pang, S.C.Liew, J.Y.B.Lee, and V.C.M.Leung, "Performance evaluation of an adaptive backoff scheme for WLAN", Wireless Commun. Mobile Comput., Vol.4, No.8, pp.867-879, 2004.
- [9] I.Syed and B.Roh, "Adaptive backoff algorithm for contention window for dense IEEE 802.11 WLANs", Mobile Inf. Syst., Vol.2016, pp.1-11, 2016.
- [10] I.Syed, S.Shin, B.Roh, and M.Adnan, "Performance Improvement of QoS-Enabled WLANs Using Adaptive

Contention Window Backoff Algorithm," in IEEE Systems Journal, Vol.12, No.4, pp.3260-3270, 2018.

- [11] H.Wu, S.Cheng, Y.Peng, K.Long, and J.Ma, "IEEE 802.11 distributed coordination function (DCF): analysis and enhancement," International Conference on Communications. Conference Proceedings, Vol.5, pp.605-609, 2002.
- [12] N.Song, B.Kwak, J.Song and M.E.Miller, "Enhancement of IEEE 802.11 distributed coordination function with exponential increase exponential decrease backoff algorithm.", The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference, Vol.4, pp.2775-2778, 2003.
- [13] C.Ke, C.Weil, K.W.Lin, and J.Ding. "A smart exponential-threshold-linear backoff mechanism for IEEE 802.11 WLANs". Int. J. Commun. Syst. Vol.24, No.8, pp.1033-1048, 2011.
- [14] R.Ali, N.Shahin, Y.T.Kim, B.S.Kim, and S.W.Kim, "Channel observation-based scaled backoff mechanism for high-efficiency WLANs," Electronics Letter, Vol.54, No.10, pp.663-665, 2018.
- [15] N.Shahin, R.Ali, S.Kim, and Y.Kim, "Cognitive Backoff Mechanism for IEEE802.11ax High-Efficiency WLANs," Journal of Communications and Networks, Vol.21, No.2, pp.158-167, 2019.

**경 연 웅(Yeunwoong Kyung) [중신회원]**



- 2011년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부(공학사)
- 2016년 8월 : 고려대학교 전기전자전파공학부(공학박사)
- 2016년 9월 ~ 2020년 3월 : 삼성전자 무선사업부 책임연구원
- 2020년 3월 ~ 현재 : 한신대학교 컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

사물인터넷(IoT), SDN, 5G/6G, 이동성, 모바일 서비스

**이 진 이(Jin-Lee Lee) [준회원]**



- 2018년 3월 ~ 현재 : 한신대학교 컴퓨터공학부 학부생

<관심분야>

사물인터넷(IoT), 웹 서비스, 머신 러닝, 데이터베이스

**이 수 빈(Su-Bin Lee) [준회원]**



- 2018년 3월 ~ 현재 : 한신대학교 컴퓨터공학부 학부생

<관심분야>

사물인터넷(IoT), 웹 서비스, 머신 러닝, 데이터베이스