
IEEE 802.11n에서의 2단계 프레임 집약 기법 성능 분석

송태원* · 양성열* · 백상헌** · 윤주상***

Performance Analysis of Two-Level Frame Aggregation in IEEE 802.11n

Taewon Song* · Seongyeol Yang* · Sangheon Pack** · Joo Sang Youn***

본 연구는 과학재단 특정기초연구의 지원을 받아 수행되었음 (과제번호 R01-2008-000-20801-0).

요 약

차세대 무선랜 표준인 IEEE 802.11n에서는 MAC 계층에서의 처리율을 향상시키기 위해서 프레임 집약 (Frame Aggregation) 기법을 제안하고 있다. IEEE 802.11n의 프레임 집약 기법은 MSDU (MAC Service Data Unit) 단위의 집약 기법 (Aggregate MSDU: A-MSDU)와 MPDU (MAC Protocol Data Unit) 단위의 집약 기법 (Aggregate MPDU: A-MPDU)의 두 가지 기법을 제안하고 있다. 본 논문에서는 A-MSDU와 A-MPDU를 결합한 2단계 프레임 집약 (Two-Level Frame Aggregation) 기법의 성능을 분석한다. 성능 분석을 위해 마르코브 체인에 기반하여 2단계 프레임 집약 기법의 처리율을 모델링한 뒤 이를 이용하여 노드의 수와 채널 상태 등에 따른 프레임 집약 기법의 처리율 변화 추이를 분석한다. 그리고 분석 결과에 기반하여 최적의 프레임 집약 기법을 설계하기 위한 방법을 제시한다.

ABSTRACT

Frame Aggregation is a promising technology for improving MAC throughput in IEEE 802.11n. In IEEE 802.11n, two frame aggregation schemes, Aggregate MSDU (A-MSDU) and Aggregation MPDU (A-MPDU), are defined. In this paper, we analyze the performance the two-level frame aggregation scheme where A-MSDU and A-MPDU are combined. We develop the analytical model for the two-level frame aggregation scheme and present numerical results on the effect of bit error rate, aggregation size, and the number of nodes.

키워드

프레임 집약, IEEE 802.11n, A-MSDU, A-MPDU, 2단계 프레임 집약

* 고려대학교
** 고려대학교(교신저자)
*** 동의대학교

I. 서 론

IEEE 802.11 계열의 무선랜은 학교, 공항, 도심 등의 많은 건물에 설치되어 쉽게 무선 인터넷을 사용할 수 있는 환경을 제공하고 있다. 기존의 가장 널리 보급되었던 IEEE 802.11b 표준의 경우 11Mbps의 전송율을 제공하는 데 비해 최근 널리 적용되고 있는 IEEE 802.11a/g의 경우 54Mbps의 전송율을 지원하게 된다. 한편 IEEE 802.11 표준화 그룹에서는 이러한 전송율을 보다 향상시키기 위한 작업을 진행하고 있는데 IEEE 802.11n이 그 대표적인 예이다. 아직 표준화 작업이 완료되진 않았지만 향후 IEEE 802.11n은 108Mbps에서 320Mbps에 이르는 높은 전송율을 지원한다.

전송을 향상을 위해 IEEE 802.11n에서는 물리 계층에서 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 과 MIMO (Multiple Input Multiple Output)와 같은 사용하는 동시에 MAC 계층에서 프레임 집약 (Frame Aggregation) 기법을 사용하는 것을 기술하고 있다. 특히, 프레임 집약 기법은 CSMA/CA (Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance)에 기반한 무선랜 표준에서 프레임 전송에서 발생하는 MAC 오버헤드를 줄일 수 있는 아주 효과적인 기법이다.

현재 IEEE 802.11n에서는 MSDU (MAC Service Data Unit) 단계에서의 집약(A-MSDU)과 MPDU (MAC Protocol Data Unit) 단계에서의 집약(A-MPDU)을 정의하고 있는데, 이 두 기법에 대한 성능은 [3]에서 수행되었다. 한편, 두 기법을 결합시킨 2단계 프레임 집약 기법이 제안되었는데 [2] 아직 2단계 프레임 집약 기법에 대한 분석 결과는 보고된 바 없다.

본 논문에서는 마르코프 체인에 기반하여 2단계 프레임 집약 기법의 처리율을 모델링한 뒤 이를 이용하여 노드의 수와 채널 상태 등에 따른 프레임 집약 기법의 처리율 변화 추이를 분석한다. 그리고 분석 결과에 기반하여 최적의 프레임 집약 기법을 설계하기 위한 방법을 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 관련된 프레임 집약 기법을, III장에서는 제안하는 분석적 모델을 설명한다. IV장에서는 수치분석 결과를 제시하고 V장에서는 결론을 맺는다.

II. IEEE 802.11n 프레임 집약 기법

본 장에서는 IEEE 802.11n [1]에서 제안하는, MAC 계층에서의 처리율을 향상시킬 수 있는 프레임 집약과 2단계 프레임 집약 기법을 설명한다.

A-MSDU 집약 기법에서는 그림 1에서와 같이 본래의 MSDU에 subheader를 추가하고 비트를 패딩(Padding)한 subframe을 생성한 뒤에 여러 subframe을 집약하게 된다. 여기서 Padding은 subframe의 크기를 4 바이트의 정수배가 되게 하여, 수신단에서 다음 subframe의 시작점을 예측할 수 있게 해준다. 이 기법은 오류의 영향이 있는 환경에서 가장 큰 약점을 보인다. 이는 하나의 비트에 오류가 발생하기만 해도 모든 프레임을 재전송해야 하기 때문이다.

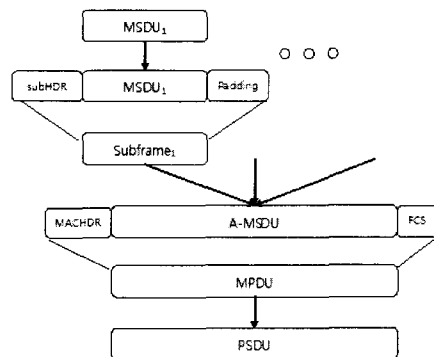


그림 1 MSDU단계에서의 집약 기법
Fig.1 Aggregate MSDU (A-MSDU)

A-MPDU 집약 기법은 반대로, 각각의 subframe마다 모두 FCS를 추가하여 오류가 발생해도 subframe 별로 오류를 검출하는 것이 가능하고 재전송 또한 subframe 별로 수행되므로 재전송으로 인한 부하를 줄일 수 있다. 하지만 이로 인해 A-MSDU에 비해서는 더 많은 오버헤드가 발생하게 되어 오류가 적은 환경에서는 A-MSDU보다 상대적으로 낮은 처리율을 보여준다. 그림 2는 A-MPDU 기법을 설명한다.

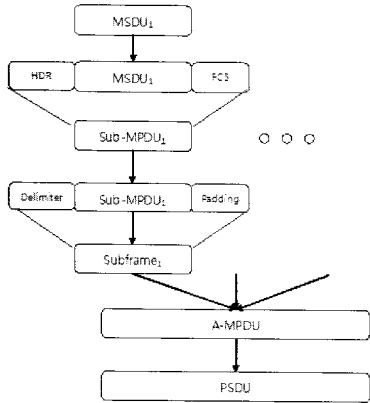


그림 2 MPDU단계에서의 집약 기법
Fig.2 Aggregate MPDU (A-MPDU)

반면, 2단계 프레임 집약 기법은 위의 두 방법을 결합한 방법이다. 만약 일정한 개수의 페이로드들을 전송한다고 하면, A-MSDU의 경우에는 페이로드 전체에 하나의 FCS가 존재하고, A-MPDU의 경우에는 각각의 subframe에 FCS가 존재한다. 반면 2단계 집약 기법은 일정 간격으로 FCS가 첨부되어있는 것으로 볼 수 있으므로 오류가 있는 환경에서도 충분히 강하면서 필요이상으로 많은 오버헤드를 차지하지도 않는다.

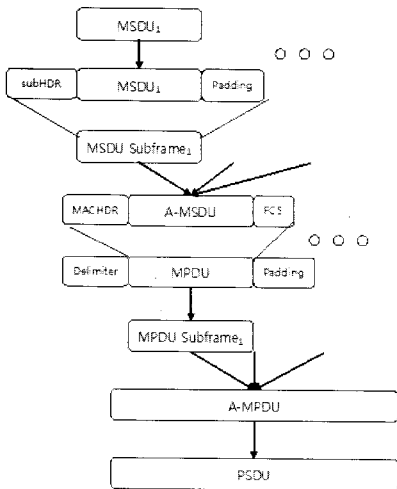


그림 3 2단계 프레임 집약 기법
Fig.3 Two-level frame aggregation

III. 성능분석모델

본 논문에서는, 마르코브 체인을 기본 개념으로 모델링한 [4]의 모델을, 연장시켜 구성한 [3]의 모델을 기반으로 하여, 오류가 존재하는 환경에서의 2계층 프레임 집약 기법에 대한 성능 분석 모델을 유도하였다.

제안한 모델에서 노드의 수는 N 개이며 무선채널의 비트 에러율 (BER: Bit error rate)은 P_b 라고 가정한다. IEEE 802.11에서의 경쟁 윈도우의 크기는 W 이고 최대 경쟁 윈도우는 CW_{max} 로 주어진다. 그러면 최대 백오프 단계 m 은 다음과 같이 표현된다.

$$m = \log_2 \left(\frac{CW_{max}}{W} \right) \quad (1)$$

그리고 모든 노드는 포화상태로 가정할 때 네트워크 처리율은 아래 식으로 주어진다.

$$S = \frac{E_p}{E_t} \quad (2)$$

E_p 는 성공적으로 전송이 일어난 경우에 받는 페이로드의 크기를 의미하고, E_t 는 전송받는 평균 시간을 의미한다.

그리고 충돌 또는 채널 에러로 인해 다음 번 백오프 단계로 넘어갈 확률은 아래 식으로 주어진다.

$$p = 1 - (1 - p_c)(1 - p_e) \quad (3)$$

그리고 이 때 한 노드가 전송을 시도할 확률은 [4]에 따라 다음과 같이 주어진다.

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

2단계 집약 기법에서는 프레임에 채널 에러가 발생할 확률인 pe 는 다음의 식을 통해 계산된다.

$$p_e = \prod_i (1 - (1 - P_b)^{L_i}) = (1 - (1 - P_b)^{L_c})^{n_p} \quad (5)$$

여기서 L_i 는 i 번째 MPDU subframe의 길이를 나타내고, n_p 는 MPDU subframe의 개수를 나타낸다. 더 간략한 분석을 위해 모든 MPDU subframe의 개수는 동일하다고 가정하였으며, 각각의 MSDU subframe 내에 집약된 MSDU들은 모두 같은 크기를 지닌다고 가정하였다. L_i 는 다음과 같이 더 자세하게 나타낼 수 있다.

$$L_i = n_s(L_0 + L_{msduhdr}) + L_{mpduhdr} \quad (6)$$

이 때 n_s 는 MSDU subframe의 개수이고, L_0 는 맨 처음 집약되기 전의 MSDU의 크기, $L_{msduhdr}$ 은 MSDU단계의 오버헤드의 합(subHDR+Padding)이고, $L_{mpduhdr}$ 은 MPDU단계의 오버헤드의 합(MACHDR+FCS+Delimiter+Padding)이다. 따라서, 2단계 집약기법을 적용한 PSDU의 길이는 $L = L_i n_p$ 로 계산된다.

그리고 성공적인 전송의 경우 전달되는 페이로드의 크기 E_p 는 다음과 같이 계산된다.

$$E_p = L_p P_{tr} P_s (1 - p_e) = L_0 n_s n_p P_{tr} P_s (1 - p_e) \quad (7)$$

IV. 수치 분석 결과

표 1. 성능분석 파라미터
Table. 1 Parameters for numerical analysis

Basic Rate	54 Mbps
Data Rate	144.44 Mbps
RTS/CTS	20/14 Bytes
BlockAck	152 Bytes
Slot Time	9 μ s
SIFS/DIFS	16/25 μ s
EIFS	\approx 44 μ s
MACHDR	24 Bytes
FCS	4 Bytes
Delimiter for A-MPDU	4 Bytes

먼저 그림 4는 2단계 집약기법의 처리율을 보여준다. 2단계 집약기법의 경우 MSDU는 10으로 고정되었고 MPDU가 1부터 50으로 변화되었다. A-MSDU의 경우 집

약된 프레임이 많아질수록 처리율이 약간 증가하다가 급격하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 반면 A-MPDU와 2단계 집약 기법의 경우 프레임 수가 증가할수록 처리율도 지속적으로 증가하는 경향을 보여주는데 이는 subframe마다 FCS가 존재하여 모든 프레임이 채널 에러의 영향을 받는 것을 방지하기 때문이다.

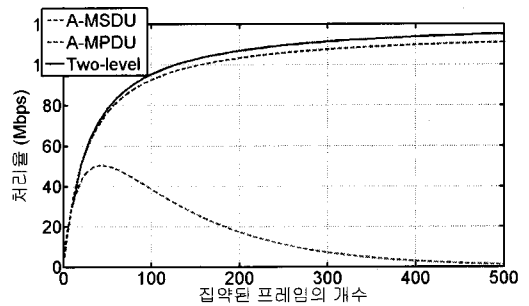


그림 4 프레임 개수에 따른 처리율 변화
Fig.4 Throughput vs. number of frames

그림 5와 6은 MPDU의 크기를 고정시켜놓은 상태에서, MSDU의 크기가 변화함에 따라 처리율이 어떻게 달라지는지, 그리고 MSDU의 크기를 고정시켜놓은 상태에서 MPDU의 크기가 변화함에 따라 처리율이 어떻게 달라지는지를 보여준다. [3]에서 보고된 결과와 마찬가지로 MSDU의 크기가 달라지는 경우에는 최적의 프레임 개수가 존재하고, MPDU의 경우에는 계속해서 증가하지만 그 증가폭은 점점 줄어드는 것을 알 수 있다.

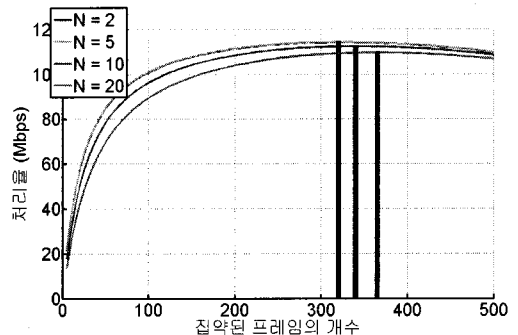


그림 5 MSDU 변화에 따른 처리율 변화
Fig.5 Throughput vs. number of MSDUs

즉, MPDU의 크기가 증가하면 처리율은 계속 높아지지만, 반면, 이를 처리하기 위한 지연 시간도 비례해서 늘어나므로, 이를 종합적으로 고려하여 MPDU 크기도 결정할 수 있을 것이다.

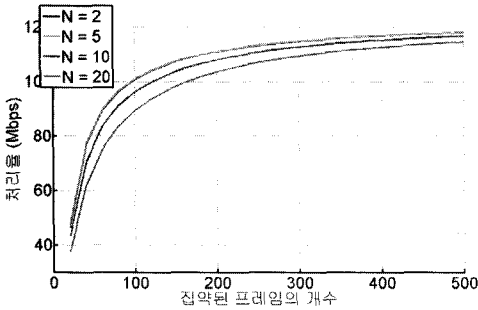


그림 6 MPDU 변화에 따른 처리율 변화
Fig.5 Throughput vs. number of MPDUs

그림 7는 일정 페이로드만큼이 주어졌을 때, MSDU와 MPDU를 어떻게 분배할 경우 처리율이 가장 높을지를 보여준다. 전체 페이로드는 1000개로, 100 kByte로 구성되었다. MSDU가 늘어나도 MPDU는 줄게 하여 페이로드의 크기를 같게 하였다.

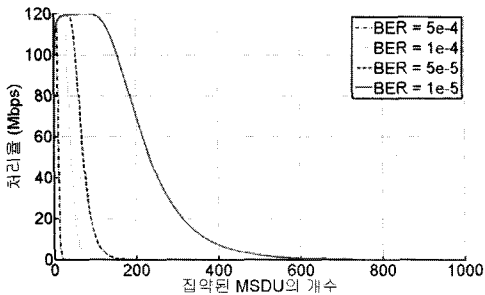


그림 7 주어진 페이로드에서 MSDU 변화에 따른 처리율 변화
Fig.7 Throughput vs. number of MSDUs for given payload size

동일한 페이로드를 전송할 경우에는, MSDU와 MPDU의 크기를 조절하는 것이 중요한데, BER이 크기 결정에 큰 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다. 그림 8은 몇몇 BER에 대해, 처리할 수 있는 페이로드의 크기가 주어질 경우 최적의 처리율을 발휘하는 MSDU의 개수를 보

여준다. 앞서 언급되었듯, BER이 달라짐에 따라 최적의 처리율을 발휘하는 MSDU의 개수가 크게 변함을 알 수 있다. 노드의 수는 20개로 가정하였다.

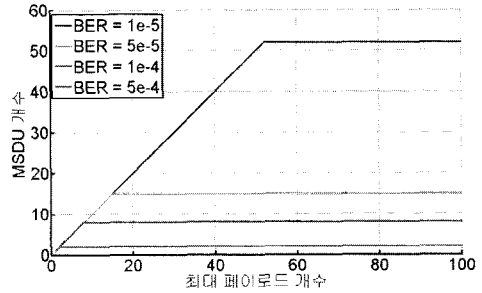


그림 8 페이로드 변화에 따른 최적의 MSDU 개수
Fig.8 Optimal MSDU vs. payload size

V. 결 론

본 연구에서는 차세대 무선랜 표준인 IEEE 802.11n에서의 MAC 계층 처리율을 향상시키기 위한 2단계 프레임 집약 기법의 성능을 분석하였다. 또한 제안된 분석적 모델을 바탕으로 2단계 프레임 집약 기법의 성능을 최적화하는 방안을 제시하였다. 이러한 결과는 향후 밀리미터파 대역, 테라헤르츠 대역 등과 같은 고속의 물리계층 환경에서 무선랜의 처리율을 보다 향상시켜줄 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학재단 특정기초연구의 지원을 받아 수행되었음 (과제번호 R01-2008-000-20801-0).

참고문헌

[1] IEEE P802.11n/D7.0 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput, Sep. 2008.

- [2] D. Skordoulis, Q. Ni, H. Chen, A. Stephans, C. Liu and A. Jamalipour, "IEEE 802.11n MAC Frame Aggregation Mechanisms for Next-Generation High-Throughput WLANs", IEEE Wireless Communications, Feb. 2008, pp. 40-47.
- [3] Y. Lin and V. Wong, "Frame Aggregation and Optimal Frame Size Adaptation for IEEE 802.11n WLANs", Proc. IEEE GLOBECOM, San Francisco, CA, Nov. 2006, pp. 1-6.
- [4] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 18, No. 3, pp. 535-547, Mar. 2000.



윤주상(Joo Sang Youn)

고려대학교 전자공학과 박사졸
동의대학교 멀티미디어공학과
전임강사

※관심분야: 멀티 네트워크, 무선 MAC 프로토콜

저자소개



송태원(Taewon Song)

고려대학교 전기전자전파공학부
재학중

※관심분야: 무선 MAC 프로토콜, IEEE 802.11n



양성열(Seongyeol Yang)

세종대학교 정보통신학과 학사졸
고려대학교 전기전자전파공학부
재학중

※관심분야: 무선 MAC 프로토콜, IEEE 802.11n



백상헌(Sangheon Pack)

서울대학교 전기컴퓨터공학부
박사졸
고려대학교 전기전자전파공학부
조교수

※관심분야: 무선 네트워크, 무선 MAC 프로토콜