

IEEE 802.11n 무선 네트워크에서의 협력적 프레임 집약 기법

송 태 원[†] · 백 상 현^{**}

요 약

프레임 집약 기법은 MAC 계층에서의 처리율 향상을 위한 기법으로, 새로운 무선랜 표준인 IEEE 802.11n에서는 MSDU 단위의 집약기법 (A-MSDU) 과 MPDU 단위의 집약기법 (A-MPDU)을 지원한다. 본 논문에서는 IEEE 802.11n의 A-MPDU 기법을 릴레이 기반의 협력 통신 환경에 적용하여 수신단에서 협력적으로 프레임들을 복구할 수 있는 협력적 프레임 집약 기법을 제안한다. 제안한 협력적 프레임 기법은 채널 상태가 나쁜 경우에도 두 개 이상의 프레임들을 수신하여 복구시키는 것이 가능하기 때문에 기존 기법에 비해 처리율을 향상시킬 수 있다. 성능 분석 모델을 통한 수치 분석 결과는 채널 상태에 따라 제안 기법이 기존의 릴레이 전송 기법 또는 직접적 전송 기법보다 성능이 더 좋아짐을 보여준다.

키워드 : 프레임 집약, IEEE 802.11n, A-MSDU, A-MPDU

Cooperative Frame Aggregation in IEEE 802.11n Wireless Networks

Taewon Song[†] · Sangheon Pack^{**}

ABSTRACT

IEEE 802.11n supports two frame aggregation schemes, aggregation for MAC service data unit (A-MSDU) and aggregation for MAC protocol data unit (A-MPDU), to improve throughput at the MAC layer. In this paper, we propose a cooperative frame aggregation (CoFA), which can recover erroneous frames in a cooperative manner based on A-MPDU. Specifically, CoFA receive multiple frames from direct and relay paths, and combined multiple frames jointly. Numerical results show that CoFA outperforms direct transmission and relay transmission over diverse channel conditions.

Keywords : Frame Aggregation, IEEE 802.11n, A-MSDU, A-MPDU

1. 서 론

최근, IPTV와 YouTube 등의 비디오 스트리밍 서비스 등 다양한 멀티미디어 애플리케이션의 수요가 급격히 증가하고 있다. 이러한 응용 서비스는 높은 데이터 전송율을 요구하므로, MIMO (Multiple Input and Multiple Output) 기술 등의 물리 계층에서 전송 용량을 높이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

다른 한편으로, 전송되는 MAC 프레임의 오버헤드를 줄여 처리율을 개선할 수 있는 연구도 진행되고 있다. 특히, MAC 계층에서 처리율을 향상시키기 위한 대표적인 방법은 여러 프레임들을 하나의 큰 프레임에 집약 (Aggregation)하여

프레임 전송에서의 오버헤드를 줄이는 프레임 집약 (Frame Aggregation) 기법이다. 새로운 무선랜 표준인 IEEE 802.11n [1]에서는 MSDU (MAC Service Data Unit) 또는 MPDU (MAC Protocol Data Unit)에 대하여 프레임 집약을 적용시킬 수 있는데 이를 각각 A-MSDU, A-MPDU라 한다.

IEEE 802.11n에서의 프레임 집약 기법에 대해 많은 연구가 진행 중에 있다. [2]에서는 A-MSDU 기법과 A-MPDU 기법, 그리고 이를 결합한 2단계 프레임 집약 기법의 성능을 분석하였고, [3]에서는 IEEE 802.11n에서 도입된 A-MSDU와 A-MPDU 두 기법에 대해 최적의 집약된 프레임 개수에 대해 성능을 분석하고 있다. [4]에서는 IEEE 802.11n에서, 프레임 집약에 따른 처리율을 이산시간 마르코프 체인을 이용하여 분석하였다.

한편 무선 통신 환경에서의 처리율 향상을 위해서 릴레이를 이용한 협력 통신 (Cooperative Communications) 기법 역시 널리 연구되고 있다. 특히, MAC 계층에서 협력 통신을 위해서 CoopMAC [5], rDCF [6] 등의 다양한 기법이 제안되었다. 하지만, 이러한 협력 통신 환경과 프레임 집약 기

* 본 논문은 2010년도 한국연구재단의 기초연구사업(No. 2009-0083838) 및 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT산업원천기술개발사업(KI001855, 테라헤르츠 대역 근거리 무선 통신시스템 연구)의 일환으로 수행되었음.
** 본 논문의 일부는 통신정보 합동학술대회(JCCD) 2010에서 발표되었음.
† 준 회 원: 고려대학교 전기전자전파공학부 석사과정
** 종 신 회 원: 고려대학교 전기전자전파공학부 조교수(교신저자)
논문접수: 2010년 8월 10일
수정일: 1차 2010년 11월 1일
심사완료: 2010년 11월 1일

법을 어떻게 적용할 것인지에 대한 연구는 아직 보고된 바 없다.

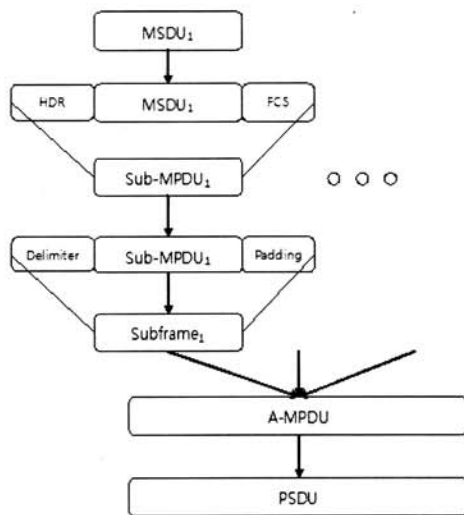
본 논문에서는 IEEE 802.11n의 A-MPDU 기법을 협력 통신 환경에 접목시킨 협력적 프레임 집약 기법 (CoFA: Cooperative Frame Aggregation) 을 제안한다. CoFA에서는, 송신단 측에서 여러 MPDU들로 구성된 A-MPDU를 수신단으로 전송한다. 수신단은 송신단으로부터 직접 수신한 프레임과, 릴레이를 거쳐 수신한 프레임을 서브 프레임 별로 결합하여 훼손된 프레임을 복구한다. 이는 직접 수신한 프레임과 릴레이를 통해 수신한 프레임은 서로 독립적인 채널 상황을 경험하기 때문에 이러한 협력적 프레임 집약 기법을 통해 전체적인 프레임 수신 확률을 향상시킬 수 있기 때문이다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 시스템 모델을 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 CoFA 기법과 여러 경우에 대한 동작 과정을 설명한다. 4장, 5장에서는 분석적 모델을 기반으로 하여, 기존 기법들과의 분석이 이루어지고, 6장에서 본 논문을 마무리한다.

2. 시스템 모델

2.1 프레임 구조

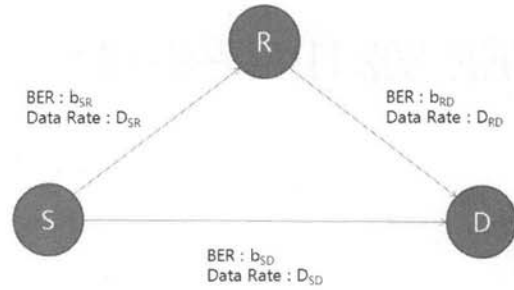
본 장에서는 CoFA에서 쓰인 프레임 구조 및 시스템 모델을 소개한다. 앞서 언급한 것과 같이, 본 논문에서 제안하는 CoFA는 A-MPDU에 기반을 두고 있다 이는 A-MPDU는 각각의 MPDU가 FCS (Frame Check Sequence)를 갖고 있으므로 A-MSDU보다 협력 통신의 환경에 적합하기 때문이다. (그림 1)은 A-MPDU의 프레임 구조를 보여준다.



(그림 1) A-MPDU 프레임 구조

2.2 협력 통신 모델

(그림 2)는 협력 통신 모델을 보여준다. 여기서 S, R, D는 각각 송신 노드, 릴레이 노드, 그리고 수신 노드를 나타



(그림 2) 시스템 모델

낸다. 적절한 릴레이를 선택하는 알고리즘은 여러 논문에서 연구되고 있으나 본 논문에서는 최적의 릴레이가 선택된다고 가정한다.

본 논문에서는 협력 통신에 기반한 멀티홉 통신을 가정한다. 이는 송신 측에서 수신 측까지 바로 전송하는 것이 아닌, 경로 내에 존재하는 릴레이 노드들을 거쳐 전송하는 방법이다. 멀티홉 통신기법은, 홉 수가 늘어나는 단점을, 가까워진 거리나 신뢰적인 채널을 통한 전송으로 보완하여 처리율을 도모한다. 여러 홉을 거쳐 통신하는 기법은 널리 연구되었다. 하지만 본 논문에서 제안하는 CoFA에서는 기존의 릴레이 기반의 멀티홉 통신기법[5-7]과는 달리, 송신 노드부터 직접 수신한 프레임과 릴레이를 통해 수신한 프레임을 모두 고려하여 협력적으로 프레임을 구성하게 된다. 본 논문에서는 비협력 A-MPDU 집약기법만 사용하는 ‘A-MPDU’, 릴레이 노드를 통해 수신한 프레임만을 고려하는 ‘멀티홉 전송’, 그리고 앞서 언급한 ‘CoFA’ 세 기법의 비교 및 분석한다.

3. 협력적 프레임 집약 기법

기존의 IEEE 802.11n에서와 마찬가지로 RTS/CTS의 교환을 전제로 프레임을 전송하게 된다. CoFA의 핵심은 릴레이를 통한 프레임 (그림 2에서 S-R-D)과 직접 수신한 프레임 (그림 2에서 S-D)을 조합하여 보다 높은 프레임 전송 확률을 얻고자 하는 것이다. 그러므로 적절한 릴레이를 얻는 것이 필수적인데, 이에 대해서는 [5-7] 등에서 논의된 방법을 가정하고 본 논문에서는 두 개 이상의 집약된 프레임을 협력적으로 결합하는 방법에 초점을 맞춘다.

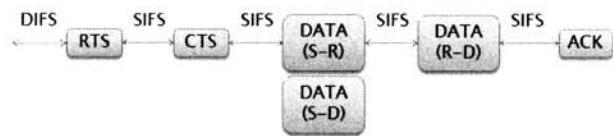
CoFA의 동작 과정을 시간에 따라 기술하면 다음과 같다. 우선 송신지와 수신지가 서로 RTS/CTS를 교환하여 프레임을 전송하기 위한 채널을 점령한 후, 본 데이터 프레임을 전송한다. 이후 전송된 프레임을 ‘엿듣는’ 릴레이 또한 수신지로 엿듣는 프레임을 그대로 수신자에게 전달한다. 일련의 과정까지 기다린 수신지는 비로소 ACK 프레임을 전송하고 일련의 전송과정이 마무리된다.

(그림 2)에서의 S-D, S-R, R-D 각각 오류가 존재하는, 서로 독립적인 채널을 가정하고 있으므로 여러 가능한 상황이 존재할 수 있다. 아래의 표기법은 각각 (S-D, S-R, R-D) 경로의 전송성공여부를 나타낸다. 데이터패킷 이외의,

RTS, CTS, ACK 프레임의 경우 프레임의 크기가 작고 낮은 전송율로 보내게 되므로 이들 프레임에 대해서는 전송 실패가 나타나지 않는다고 가정하였다.

Case 1: (o, o, o)

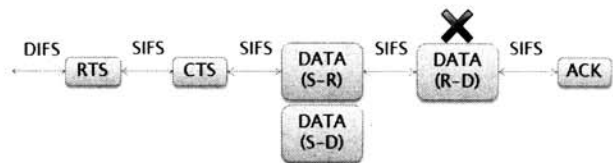
본 경우는 S-R, R-D, S-D 경로 모두 전송이 성공한 경우이다. 여기에서 전송성공이란, 하나 이상의 subMPDU가 성공적으로 수신되어 ACK 프레임을 보낼 수 있는 경우를 뜻한다. 성공적인 RTS/CTS 교환 후에 데이터를 전송하고, 수신 측은 릴레이 노드로부터 프레임을 모두 성공적으로 수신한 후에, 수신된 두 프레임 (S-R-D, S-D)을 비교하여 오류가 발생한 subMPDU를 복구한 후 최종적으로 ACK 프레임을 보내게 된다. 즉, CoFA에서는 한 subMPDU에 대해서 최소 하나 이상의 정상적인 서브 프레임을 수신하였다면 결과적으로 해당 subMPDU는 성공적으로 수신한 것이 된다.



(그림 3) Case 1

Case 2: (o, o, x)

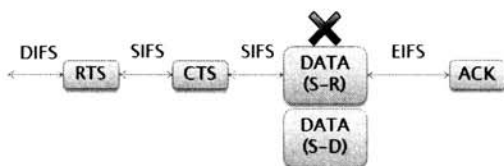
릴레이에서 수신 측으로 전송하는 패키지에서 오류(즉, 릴레이가 전송한 모든 subMPDU에서 오류가 발생)가 난 경우이다. 본 경우는 Case 1과 소요시간이 동일한데, 이는 오류의 여부는 수신이 완료되고 나서야 알 수 있게 되기 때문이다.



(그림 4) Case 2

Case 3: (o, x, x)

본 경우는 송신 측에서부터 릴레이까지 전송되는 경로에 오류가 발생한 경우이다. 릴레이에서 정상적인 수신이 이루어지지 못했으므로 릴레이에서부터 수신 측으로의 전송 또한 이루어지지 못한다. 수신 측에서는 릴레이로부터의 전송 시간을 감안하여 일정 시간(즉, 타이머)을 기다리나, 지정된

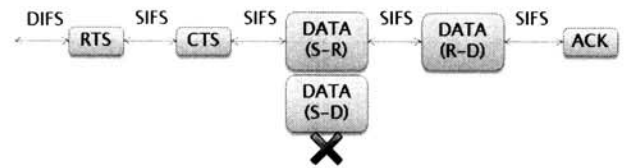


(그림 5) Case 3

시간 이상이 소요되게 되면 수신을 포기하고 확인 응답을 보낸다.

Case 4: (x, o, o)

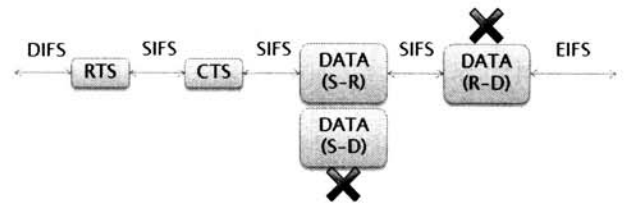
본 경우는, 의도된 경로인 송신-수신 측의 직접적인 전송은 실패하였으나, 릴레이를 통한 전송은 성공적으로 이루어진 경우이다. 결과적으로, 소요시간은 (o, o, o)나 (o, o, x)의 경우와 같게 이루어진다.



(그림 6) Case 4

Case 5: (x, o, x)

릴레이가 송신 측으로부터 전송된 패키지는 잘 엮혔으나, 릴레이로부터 수신 측으로 전송되는 프레임에서 오류가 발생한 경우이다. 역시 같은 이유로 (x, o, o)와 같은 소요시간을 나타낸다.

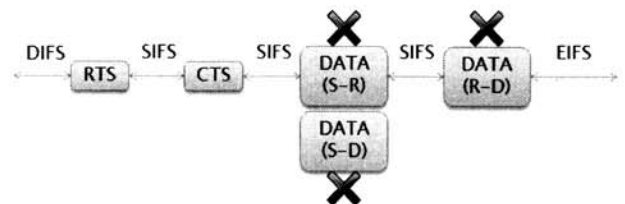


(그림 7) Case 5

Case 6: (x, x, x)

본 경우는 송신 측에서 전송한 프레임과 릴레이 노드를 통한 프레임 모두 에러가 발생한 경우이다. 본 경우 역시 (x, x, o)의 경우와 같은 소요시간이 발생한다.

상기 설명한 여섯 가지 경우에 대해서 해당 경우의 확률과 필요한 시간은 <표 1>에 정리되어 있다. 기존의 A-MPDU 기법에 비해 하나의 데이터를 수신하는 시간이 늘어나게 되나, 이는 수신단에서의 협력통신으로 보완될 수 있다. 본 기법은 별도의 하드웨어가 불필요하고, 프레임 단계에서 구현이 가능하므로 간단히 구현할 수 있다는 장점이 있다.



(그림 8) Case 6

<표 1> T_{case} , P_{case}

Case	Time
	Probability
Idle	σ (Time Slot)
	$1-P_{tr}$
Collision	DIFS + RTS + CTS
	$P_c (= P_{tr}(1-P_s))$
(o, o, o)	DIFS + RTS + CTS + DATA _{SR} + DATA _{RD} + ACK + 4SIFS
	$P_{tr}P_s(1-P_{SD})(1-P_{SR})(1-P_{RD})$
(o, o, x)	DIFS + RTS + CTS + DATA _{SR} + DATA _{RD} + ACK + 4SIFS
	$P_{tr}P_s(1-P_{SD})(1-P_{SR})P_{RD}$
(o, x, x)	DIFS + RTS + CTS + DATA _{SD} + ACK + 2SIFS + EIFS
	$P_{tr}P_s(1-P_{SD})P_{SR}$
(x, o, o)	DIFS + RTS + CTS + DATA _{SR} + DATA _{RD} + ACK + 4SIFS
	$P_{tr}P_sP_{SD}(1-P_{SR})(1-P_{RD})$
(x, o, x)	DIFS + RTS + CTS + DATA _{SR} + DATA _{RD} + ACK + 4SIFS
	$P_{tr}P_sP_{SD}(1-P_{SR})P_{RD}$
(x, x, x)	DIFS + RTS + CTS + DATA _{SD} + ACK + 2SIFS + EIFS
	$P_{tr}P_sP_{SD}P_{SR}$

4. 분석적 모델

앞서 언급했듯, 송신 노드는 DIFS (DCF Inter-frame Space) 만큼 대기 후 수신 노드와 RTS, CTS를 교환한 뒤 실제 데이터를 전송한다. 수신 노드는 릴레이로부터 수신한 데이터 프레임과 송신 노드로부터 직접 수신한 데이터 프레임을 협력적으로 수신한 뒤 하나 이상의 서브 프레임을 성공적으로 수신한 경우 ACK 프레임을 전송하게 되고 올바른 서브 프레임을 수신하지 못한 경우에는 EIFS (Extended Inter-Frame Space)만큼 대기 후 ACK을 전송한다.

본 논문의 처리율은 [3]에 기반을 두었다. [3]에 따르면 처리율 S는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = \frac{E_p}{E_t} \tag{1}$$

여기서 E_p 는 성공적으로 수신된 평균 페이로드의 크기이고 E_t 는 평균 소요시간을 의미한다. 각각은 아래 식과 같이 나타낸다.

$$E_p = L_p P_{tr} P_s \sum_i^L (1 - P_e(i)) \tag{2}$$

$$E_t = \sum_{all\ cases} T_{case} P_{case} \tag{3}$$

L_p 는 프레임 내의 전체 페이로드, P_{tr} 은 임의의 시간에 하

나 이상의 전송이 일어날 확률로서 아래와 같이 나타낸다.

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^n \tag{4}$$

n 은 노드의 수 τ 는 임의의 노드가 전송을 시도할 확률이고, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \tag{5}$$

위의 식에서, W 는 경쟁윈도우의 크기, m 은 최대 백오프 횟수, p 는 채널에서 패킷이 전송되었을 때, 실패할 확률이다.

P_s 는 정확히 하나의 노드가 전송을 시도하였을 때, (그로서 패킷간의 충돌이 없을 때) 그 전송이 성공할 확률을 나타내고, 다음과 같이 표현된다.

$$P_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{P_{tr}} = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{1-(1-\tau)^n} \tag{6}$$

$P_e(i)$ 는 i 번째 서브 프레임의 오류발생확률이고, 이는 아래와 다음과 같이 계산된다.

$$P_e(i) = (1 - (1 - b_{SD})^{L_i})(1 - (1 - b_{SR})^{L_i}(1 - b_{RD})^{L_i}) \tag{7}$$

L_i 는 i 번째 서브 프레임의 길이를 나타낸다. E_t 를 도출하는 과정의 변수들은 [3]를 참고하여 <표 1>에 정리하였다. <표 1>의 P_{SD} , P_{SR} , P_{RD} 는 각 경로 간의 전송실패확률로 다음과 같이 나타낸다.

$$p_{XY} = (1 - (1 - b_{XY})^{L_i})^{L_i} \tag{8}$$

XY 는 각각 송신지와 수신지를 나타내고, L 은 집약된 서브 프레임의 수이다. 여기서 전송실패라 함은 서브 프레임 각각에 모두 오류가 발생하여 수신지에서 응답을 할 수 없는 상황을 일컫는다.

E_t 는, <표 1>을 참고하여 각각 가능한 경우와 그에 따른 확률을 이용하여 도출할 수 있다.

5. 수치 분석 결과

<표 2>는 수치 분석에 사용된 파라미터로, 다른 세부 변수들은 [3]의 환경과 동일하다. 세부 변수 설정과 수식 전개는 [5]를 참고로 하였다. 협력 통신을 하는 경우에는 송신 노드에서 릴레이까지의 거리가 송신 노드에서 수신 노드까지의 거리보다 상대적으로 가깝다고 가정한다. 그러므로, 채널 모델러이션을 바꾼다든지 하여 Data Rate를 더 높게 하여 전송할 수 있는데 (예를 들어, 16-QAM 대신 64-QAM으로 변조하여 전송), 협력 통신을 하지 않는 경우와 비교하

〈표 2〉 수치 분석 파라미터

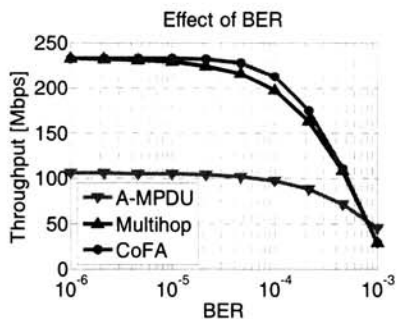
Parameter	Value
Basic Rate	54 Mbps
Data Rate	144.44 Mbps
Payload size in one MPDU	100 Bytes
The number of stations	10
The number of aggregated MPDUs	100
α	8
β	10
Bit Error Rate (BER)	10^{-4}

여 Data Rate가 증가되는 비율을 α 라고 둔다.

위와 같은 가정에서, 송신 노드에서 수신 노드까지의 거리는 릴레이에서 송/수신 노드까지의 거리보다 상대적으로 멀기 때문에 일정 비율만큼 BER이 높아진다고 가정한다. 이처럼 송신 노드와 수신 노드 사이에서 높아지는 BER 비율을 β 라고 둔다.

5.1 BER에 따른 처리율의 변화

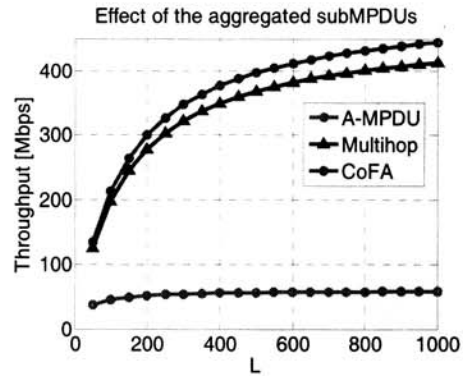
(그림 9)는 직접 수신된 프레임만을 고려하는 ‘A-MPDU’ 기법과 릴레이를 통해 프레임 수신하는 ‘멀티홉’ 기법, 그리고 직접 수신 및 릴레이를 통해 수신한 프레임 모두 고려하는 ‘CoFA’ 기법간의, BER 환경에 따른 처리율을 보여준다. CoFA의 처리율이 멀티홉의 처리율보다 높음을 알 수 있는데, 이는 CoFA가 송수신 노드 간의 직접 전송과 릴레이 노드를 통한 협력 전송을 모두 활용하기 때문이다. 한편 BER이 너무 높은 환경에서는 A-MPDU 기법이 더 좋은 성능을 나타내는 경우가 발생하는데, 이는 S-D경로가 릴레이 경로에 비해 상대적으로 더 높은 BER 때문에 프레임 복구에 거의 영향을 주지 못함에도 불구하고 전송시간만 늘어나게 되기 때문으로 풀이된다.



(그림 9) BER에 따른 성능 변화 ($\alpha = 8, \beta = 10$)

5.2 집약된 서브 프레임의 개수에 따른 처리율

(그림 10)은 서브 프레임의 크기를 100 bytes로 가정했을 때 집약된 서브 프레임의 개수에 따른 처리율을 보여준다. 주어진 분석환경에서 최대의 서브프레임 개수, 1000인 경우 CoFA기법이 멀티홉기법보다 약 10% 증가하였다. A-MPDU의 경우 각각의 서브 프레임마다 별도의 FCS가 존재하기

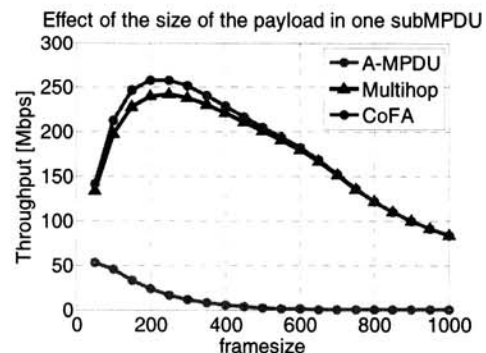


(그림 10) 집약된 서브 프레임 개수에 따른 처리율

때문에 집약되는 프레임의 수가 증가할수록 CoFA 및 A-MPDU의 처리율이 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만, 집약된 서브 프레임의 수는 무한대로 증가시킬 수는 없으며 IEEE 802.11n에서 규정되는 한도 내에서 최대한 많이 집약 시키게 된다. 또한 집약된 개수에 관계없이 CoFA 기법의 처리율이 더 뛰어난을 알 수 있다.

5.3 서브 프레임의 페이로드의 크기에 따른 처리율

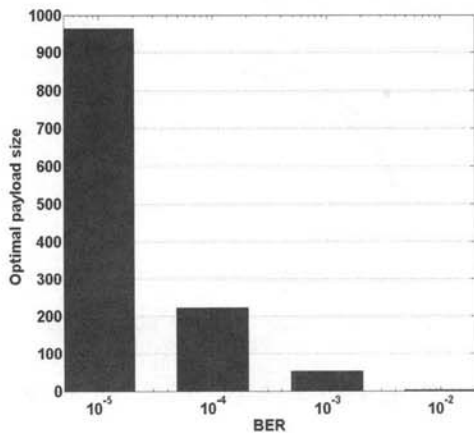
(그림 11)는 집약된 서브 프레임의 개수를 100개로 고정했을 때 서브 프레임의 페이로드의 크기에 따른 처리율을 보여준다. 이 때 BER은 10^{-4} 로 하였다. 최적의 프레임 크기인 경우, 제안하는 CoFA기법이 멀티홉기법에 비해 처리율이 약 7% 증가하였다. 처리율이 증가하다가 다시 감소하는데, 이는 특정 환경에서 최적화된 페이로드(곧, 서브 프레임의 크기)가 존재하는 것을 의미한다. 이는 서브 프레임의 크기가 너무 작으면 프레임 헤더 등으로 인한 오버헤드가 커지고, 반대로 서브 프레임의 크기가 너무 크면 오류에 취약하게 된다는 측면에서 쉽게 이해할 수 있다. 따라서 이러한 결과에 바탕하여 채널 상태에 따라 서브 프레임의 크기를 가변적으로 설정하는 기법을 생각해 볼 수 있다.



(그림 11) 서브 프레임 페이로드 크기에 따른 처리율

5.4 BER에 따른 최적 서브 프레임의 개수

(그림 12)는 채널 상태에 따른 최적 서브 프레임 페이로드 크기에 대한 그림이다. 채널 환경이 좋을수록(즉, BER이 낮을수록) 보다 많은 크기의 페이로드를 단위로 집약하는



(그림 12) BER에 따른 최적 페이로드 크기

것이 좋고, 채널 환경이 나쁠수록(즉, BER이 높을수록) 보다 적은 크기의 페이로드를 단위로 집약하는 것이 좋을 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 채널 오류가 빈번하게 발생하는 무선 환경에서 사용할 수 있는 협력 프레임 집약기법을 제안하였다. 제안 기법은 기존의 IEEE 802.11n DCF를 기준으로 별다른 조작이나 계층의 수정 등이 필요하지 않으므로 구현이 간편하다. 기존 A-MPDU에 비하면 데이터 프레임을 한번 더 수신하게 되어 처리시간이 다소 더 소요되나 프레임 복구 능력이 우수하여 걸린 시간을 상쇄할 수 있다. 따라서, 일반적인 멀티홉 전송에 비해 제안 기법을 통해 처리율을 0~10% 정도 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 물론 채널 상태에 따라 A-MPDU가 CoFA기법보다 더 높은 처리율을 보이는 경우도 있으므로 채널 상태에 적응적으로 CoFA기법을 적용하는 것이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 802.11n-2009 IEEE Standard for Information technology -Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput,

October, 2009.

[2] D. Skordoulis, Q. Ni, H. Chen, A. Stephens, C. Liu and A. Jamalipour, "802.11n MAC Frame Aggregation Mechanisms for Next-Generation High-Throughput WLANs," IEEE Wireless Communications, Vol.15, No.1, pp.40-47, February, 2008.

[3] Y. Lin and V. Wong, "Frame Aggregation and Optimal Frame Size Adaptation for IEEE 802.11n WLANs," IEEE Wireless Communications, Vol.15, No.1, pp.40-47, February, 2008.

[4] P. Liu, Z. Tao, S. Narayanan, T. Korakis and S. S. Panwar, "CoopMAC: A Cooperative MAC for Wireless LANs," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.25, No.2, pp.340-354. February, 2007.

[5] H. Zhu and G. Cao, "rDCF: A Relay-Enabled Medium Access Control Protocol for Wireless Ad Hoc Networks," IEEE Trans. on Mobile Computing, Vol.5, No.9, pp.1201-1214, September, 2006.

[6] K. Tan, Z. Wan, H. Zhu, and J. Andrian, "CODE: Cooperative Medium Access for Multirate Wireless Ad Hoc Network," in Proc. IEEE SECON 2007, June, 2007.



송 태 원

e-mail : crazytb@korea.ac.kr

2010년 고려대학교 전기전자전파공학부 (학사)

2010년~고려대학교 전기전자전파공학부 석사과정

관심분야: 무선 MAC 프로토콜, IEEE 802.11n



백 상 현

e-mail : shpack@korea.ac.kr

2000년 서울대학교 컴퓨터공학부(학사)

2005년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(박사)

2007년~현재 고려대학교 전기전자전파공학부 조교수

관심분야: 미래 인터넷, 무선 MAC 프로토콜