초고속 무선 랜에서 트래픽 간의 처리율 향상을 위한 연구

송병진*, 이선희**

Research on the enhancement of throughput for traffic in WLAN

Byunjin Song* and Seonhee Lee**

요 약

최근 스마트폰과 태블릿 PC 등의 무선 랜(WLAN: Wireless Local Area Networks)을 지원하는 디바이스가 급증하고, 이를 이용한 모바일 서비스가 기하급수적으로 빠르게 보급되었다. 이런 상황에 따라 무선 랜은 더 빠른 속도의 데이터 전송에 대하여 요구하였고, 이를 만족하기 위하여 IEEE 802.11n의 표준이 확정되었다. 특히, IEEE 802.11n의 표준에서 A-MPDU(Aggregation MAC Protocol Data Unit)이라는 핵심적인 기술을 발표하였다. 이는 데이터를 전송할 때 발생하는 오버헤드를 감소하여 전송속도 향상에 도움을 주었다. 본 논문에서는 이 A-MPDU 전송하는 데이터 중 TCP 트래픽을 전송할 때 발생하는 문제점에 대하여 논하고, 해결 방안도 제시한다. A-MPDU 방식으로 TCP 데이터를 전송할 때, 특정 MPDU 데이터가 전송이 실패하는 경우 TCP Duplicate ACK을 발생하여 불필요한 TCP 재전송이 발생하게 된다. 이에 TCP가 갖고 있는 TCP cumulative ACK을 이용하여 불필요하게 발생하는 TCP duplicate ACK 생성을 막고 전송효율을 높이는 방안을 해결책으로 제시한다. 이 해결 방안은 여러 개의 TCP ACK을 집적하여 보내는 대신 시퀀스 번호가 가장 높은 TCP ACK을 하나만 대표하여 보내어 불필요한 오버헤드를 감소할 수 있다. 이 방식을 이용하면 기존 표준에서 제안된 방식에 비해 최대 20% 이상의 전체 처리율 향상을 볼 수 있다.

Key Words : TCP Traffic, A-MPDU, A-MSDU, Wireless, Throughput

ABSTRACT

In this paper, we want provide improved services with faster transmission, IEEE 802.11n was standardized. A-MPDU (Aggregation MAC Protocol Data UNIT) is a vital function of the IEEE 802.11n standard, which was proposed to improve transmission rate by reducing frame transmission overhead. In this paper, we show the problems of TCP retransmission with A-MPDU and propose a solution utilizing the property of TCP cumulative ACK. If the transmission of an MPDU subframe fails, A-MPDU mechanism allows selective re-transmission of failed MPDU subframe in the MAC layer. In TCP traffic transmission, however, a failed MPDU transmission causes TCP Duplicate ACK, which causes unnecessary TCP re-transmission. Furthermore, congestion control of TCP causes reduction in throughput. By supressing unnecessary duplicate ACKs the proposed mechanism reduces the overhead in transmitting redundant TCP ACKs, and transmitting only a HS-ACK with the highest sequence number. By using the RACK mechanism, through the simulation results, it was conrmed that the RACK mechanism increases up to 20% compared the conventional A-MPDU, at the same time, it tightly assures the fairness among TCP flows.

I. 서 론

최근 스마트폰과 태블릿 PC뿐 아니라 사물인터넷으로 이어지는 무선랜 환경이 빠르게 우리 생활 속에 널리 활용되고 있다. 이를 뒷받침하기 위하여 휴대용 통신기기는 IEEE 802.11 기반의 무선랜(WLAN : Wireless Local Area Network)을 통하여 인터넷 접속을 지원한다. 무선랜은 유선랜에 비하여 설치비용이 저렴하고, 최근에는 빠른 전송속도도 지원되어 다양한 부분에 있어 활용이 증가하고 있다. 무선랜을 통하여 가정용 냉장고나 세탁기, 선풍기, 에어컨 등의 전자기기뿐만이 아니라 최근 사물인터넷 시장의 무선랜 수요를 등에 업고 보일러, 방범장치 등의 생활 전반에 있어 무선랜의 활용도는 폭발적으로 증가하고 있는 추세이다. 최근 무

※ 본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.
*서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 방송통신융합프로그램 (bjsong1@naver.com)
**서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 방송통신융합프로그램 (eve-0513@hanmail.net, seonhee@snut.ac.kr) 교신저자 : 이선희
접수일자 : 2015년 7월 14일, 수정완료일자 : 2015년 9월 17일, 최종게재확정일자 : 2015년 9월 22일

선랜 기술을 사용하여 고속철도나 고속버스 등에서도 무선 인터넷 서비스를 제공하고, CCTV 등과 같이 유선랜의 한계만을 갖고 있는 분야에서도 널리 이용하여 더 향상되고 손쉽게 무선랜 구축 및 이용에 있어 활용도를 늘려가는 추세이다.

본 논문에서는 MAC 계층에서의 데이터 전송속도 향상을 위한 방안 중 IEEE 802.11n에서 채택된 A-MPDU (Aggregation MAC Protocol Data Unit) 방식을 이용하여 TCP 트래픽을 처리할 때 발생하는 오버헤드로 인해 처리율 저하에 대한 문제점과 이를 해결할 수 있는 방안에 대하여 연구한다. 기존의 연구는 A-MPDU 방식의 성능에 대하여 UDP 트래픽 처리를 수학적으로 분석하거나 처리율을 극대화하는 프레임의 크기를 찾는데 집중하였으나, TCP 트래픽에 대한 연구는 없었다. 본 연구는 이에 TCP 트래픽 전송시 발생할 수 있는 문제점에 집중하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성한다. 2장에서는 A-MPDU 방식으로 TCP 트래픽을 전송할 때 발생되는 문제점에 대하여 기술하고, 발생하는 문제점에 대한 해결 방안을 모색한다. 3장에서는 제안하는 해결 방안에 대해 기존 방안과 성능을 수치 해석을 통하여 비교 분석한다. 끝으로 4장에서는 결론을 맺고 향후 연구 방향에 대하여 제시한다.

Ⅱ. 문제점 기술 및 해결 방안 제시

아래 그림 1을 참고하여 TCP의 전송에 대하여 보면, TCP 데이터를 집적하여 전송하게 되면 많은 오버헤드들이 발생한다. 데이터에 대한 ACK 프레임과 TCP ACK 프레임, Block ACK 프레임 등 여러 종류의 오버헤드들이 데이터 전송에서 붙게 되어 속도 저하에 영향을 미친다. 또, 여러 개의 TCP ACK 패킷이 한 번에 수신 측에 전달할 때, 프레임 집적을 사용하지 않을 때보다도 TCP ACK의 손실 확률이 더 높아지는 문제점이 있다. TCP ACK에 대한 패킷이 손실하면 TCP 송신측은 TCP 혼잡 제어 방법을 이용하고 무선 단말은 한 번의 채널 점유 시간 동안 보낼 수 있는 패킷의 최대 개수가 집적되는 프레임 최대 크기와 CW로 인해 제한을 받게 된다. 집적하는 프레임의 최대 크기는 이미 표준에서 제한을 두어 고정된 값이지만, CW 사이즈는 TCP ACK의 성공여부에 따라 동적으로 바뀌게 된다.

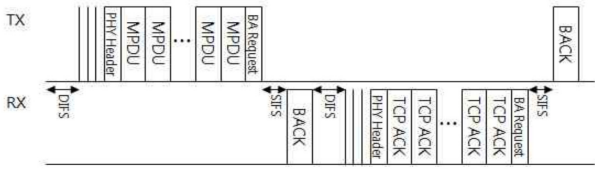

그림 1. A-MPDU 방식을 이용한 TCP 데이터 트래픽 전송

본 연구는 아이디어는 프레임 집적을 통해 TCP 데이터를 전송할 때 발생하는 오버헤드를 줄여 전송효율을 높이는 데 있다. 제안하는 아이디어를 HS-ACK(High Sequence ACK)이라 부른다. 이는 TCP 데이터를 송수신할 때, 수신부에서 만드는 TCP ACK을 최소화하여 오버헤드를 줄이는데 목적이 있다. TCP가 갖는 TCP cumulative ACK 속성을 응용하여 TCP ACK을 집적하여 보내는 대신 가장 높은 시퀀스 번호에 대한 TCP ACK 하나만 보내 전체 데이터가 성공하였음을 알린다. 이를 위해서는 IFQ(Interface Queue) 위에 논리적인 큐를 두어 일종의 TCP ACK 관리모형을 둔다. 프레임 집적을 이용하여 TCP 데이터 패킷을 보낼 때 동일한 목적지의 TCP ACK 패킷은 연속해서 MAC 계층에 도달한다. 제안하는 방법은 TCP cumulative ACK 특성을 응용하여 가장 높은 시퀀스 번호를 갖는 TCP ACK만을 MAC 계층에 보내고 나머지 TCP ACK는 모두 없애는 방법을 통해 오버헤드를 줄이고자 한다. 예를 들어 수신한 TCP ACK 패킷의 시퀀스 번호를 n이라 하면, 시퀀스 번호는 n을 포함하여 모든 데이터 패킷을 성공적으로 수신한 것을 의미한다. 제안하는 방법은 A-MPDU으로 단말이 다수의 TCP 데이터 패킷을 포함한 MPDU를 수신하게 되면, 단말은 매 수신 TCP 데이터 패킷마다 TCP ACK 패킷을 생성하여 전송하지 않고, A-MPDU 프레임 내에서 성공적으로 수신한 가장 높은 시퀀스 번호를 가진 데이터 패킷에 대한 ACK 패킷 하나만 생성하여 전송한다. 예를 들어, A-MPDU 프레임 내에서 시퀀스 번호가 3부터 15인 TCP 데이터 패킷을 전송 모두 성공하여 수신하면, 시퀀스 번호가 15인 TCP ACK 패킷 하나만 전송하고, 시퀀스 번호가 15인 TCP 데이터 패킷이 전송 실패한 경우, 시퀀스 번호가 14인 TCP ACK 패킷이 HS-ACK이 된다. 이 후, A-MPDU 프레임에서 전송 실패한 시퀀스 번호 15인 TCP 데이터 패킷에 대한 MAC 계층 재전송을 포함하여 시퀀스 번호가 30인 TCP 데이터 패킷까지 전송 실패 없이 수신하게 되면, 단말은 시퀀스 번호가 30인 HS-ACK 패킷을 생성하여 전송한다. HS-ACK 메커니즘은 불필요한 TCP ACK의 전송을 방지하여 오버헤드를 감소시킨다. 게다가 HS-ACK 메커니즘이 TCP Duplicate ACK 생성을 억제하여 불필요한 중복된 TCP 재전송과 TCP 재전송으로 인한 전송 속도 감소를 방지할 수 있다.

Ⅲ. 수치 해석을 통한 성능 분석

제안하는 방법을 비교 분석하기 위하여 수치 분석모델을 두었다. 식 3.1은 BER(Bit Error Rate)가 발생하는 PER(Packet Error Rate)의 값을 나타낸다. D는 전송된 데이터이고, Byte 단위로 계산한다.

$$PER = 1-(1-BER)^{D_{data}} \tag{3.1}$$

식 4.2는 전송된 데이터에서 발생하는 오류 확률이다. 여

기서 n_{agg} 은 데이터 집적한 총 수량이고, x 는 전송된 A-MPDU 데이터 중에서 오류가 발생한 MPDU의 개수를 의미한다.

$$prob(x) = \binom{n_{agg}}{x}(1-PER)^{x} PER^{(n_{agg}-x)} \quad (3.2)$$

그리고 식 3.3은 데이터를 전송하는데 걸리는 전체 시간을 의미한다.

$$T_{TOT_{tx}} = T_{DIFS} + T_{BT} + T_{PHY} + n_{agg} \times (T_{MAC} + T_{delay} + T_{DATA} + T_p) \quad (3.3)$$

표 1. 수치분석을 위한 표기

명명	의미
T_{PHY}	물리계층 헤더 전송 시간
T_{SIFS}	Shortest IFS
T_{DIFS}	Distributed IFS
T_{slot}	Slot Time
$CW_{\min}$	Minimum contention Window size
T_{BT}	Backoff Time
R_{PHY}	물리계층 전송속도
R_{basic}	물리계층 헤더 전송속도
L_{MAC}	MAC 계층 오버헤드
L_{DATA}	실제 전성할 데이터 사이즈
L_{backr}	Block ACK 요청 프레임 사이즈
L_{ack}	ACK 프레임 사이즈
L_{back}	Block ACK 프레임 사이즈
$L_{TCP-ack}$	TCP ACK 사이즈
L_{del}	MPDU Delimeter
L_p	MPDU Padding
T_{del}	MPDU Delimeter 전송시간
T_{backr}	Block ACK 요청 프레임 전송시간
T_p	MPDU Padding 전송시간
T_{MAC}	MAC 계층 오버헤드 전송시간
T_{ack}	ACK 프레임 전송시간
$T_{TCP-ack}$	TCP ACK 전송시간
T_{back}	Block ACK 프레임 전송시간

$$T_{TOT_{rx}} = T_{SIFS} + T_{BT} + T_{PHY} + T_{back} + T_{DIFS} + T_{BT} + n_{agg} \times (T_{MAC} + T_{delay} + T_{ack} + T_p) + T_{backr} + T_{SIFS} + T_{PHY} + T_{BACK} \quad (3.4)$$

$$T_{HS-ACK_{rx}} = T_{SIFS} + T_{BT} + T_{PHY} + T_{back} + T_{DIFS} + T_{BT} + (T_{MAC} + T_{\nabla ay} + T_{ack} + T_p) \quad (3.5)$$

식 3.4와 식 3.5을 비교하면 데이터를 전송하는데 걸리는 총 시간에서 차이를 보인다. 이는 기존에 집적하여 데이터를 전송할 때 발생하는 모든 오버헤드들이 제안하는 방법에서는 대표가 되는 가장 높은 시퀀스의 TCP ACK만을 보내 전송하는데 걸리는 시간을 충분히 줄이는 효과를 볼 수 있다. 이 두 식을 통하여 기존과 비교하여 전체 처리량을 구하면 다음과 같다.

$$THR_{A-MPDU} = \sum_{k=1}^{n} \frac{k \times L_{DATA} \times 8 \times prob(k)}{T_{TOT_{rx}}} \quad (3.6)$$

$$THR_{HS-ACK} = \sum_{k=1}^{n} \frac{k \times L_{DATA} \times 8 \times prob(k)}{T_{HS-ACK_{rx}}} \quad (3.7)$$

제안하는 방법을 이용하면 성능적인 면에서 기존 방식에 비하여 최대 20% 가량의 성능 증가를 볼 수 있다. 이는 포화도를 가정하여 처리량 성능을 측정하였고, 이에 충분한 개선 효과를 볼 수 있음을 확인하였다.

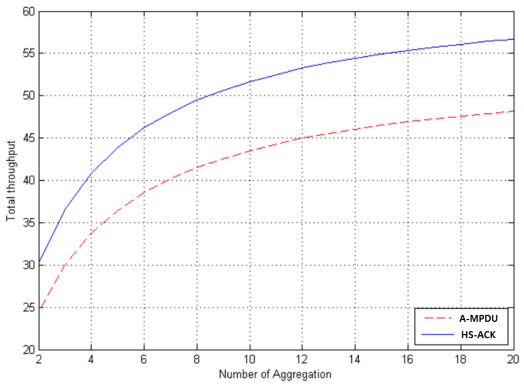

그림 2. 트래픽 처리를 위한 A-MPDU 방식과 HS-ACK 방식 비교

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 IEEE 802.11n에서 새롭게 채택된 프레임 집적 방식에 대하여 TCP 트래픽을 전송하는 상황에서 가져오는 문제점에 대하여 논의하였다. 기존 UDP 트래픽의 경우 트래픽에 대한 확인 및 재전송 등의 Recovery가 없기에 A-MPDU 방식에서 큰 성능 향상을 보았지만, TCP 트래픽의 특징인 Recovery를 위한 TCP ACK으로 인하여 가져오는 문제점에 집중하였다. 특히 A-MPDU 방식을 채택하여 여러 개의 MPDU를 집적하여 데이터를 전송하는 경우 발생할 수 있는 오버헤드를 줄이는 방법을 제안하여 불필요한 오버헤드가 감소하여 최대 20% 가량의 성능 증가를 보여주었다. 향후에는 TCP 전송에 대하여 모의실험을 통하여 TCP 트래픽의 처리율 향상에 얼마나 도움이 되는지에 대하여 분석할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] 김양규, “고속 무선랜에서 TCP flow 간의 처리율의 형평성과 효율성 향상 방안”, 졸업논문, June, 2013.

[2] B.Ginzburg, and A.Keselman, “Performance Analysis of A-MPDU and A-MSDU Aggregation in IEEE 802.11n,” in proceding of Sarnoff Symposium, Princeton, New Jersey, 2007.

[3] T.Li, Q.Ni, D.Malone and D.Leith “Aggregation with fragment retransmission for very high-speed WLANs,” IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.17, No.2, pp.591-604, April 2009.

[4] 이윤호, “Frame Aggregation 기법을 적용한 IEEE 802.11n 시스템 성능 분석,” 한국콘텐츠학회논문지, Vol.9, No.12, November, 2009.

[5] 최은영, “IEEE 802.11n 차세대 무선 LAN 칩셋 개발 동향,” 전자통신 동향분석 제21권 제3호, June, 2006

[6] Y.Lin and V.Wong, “Frame Aggregation and Optimal Frame Size Adaptation for IEEE 802.11n WLANs,” in proceeding of Global Telecommunications Conference, November, 2006.

[7] G.Bianchi, “Performance Analysis of the IEEE 802.11 DCF,” IEEE Journal on Selected Area in Comm., Vol.179, No.3, March, 2000.

[8] C.Wang and H.Wei, “IEEE 802.11n MAC Enhancement and Performnace Evaluation,” Mobile Networks and Applications, December, 2009.

[9] H.T.Wu and S.D.Cheng, “DCF+: An enhancement for reliable transport protocol over WLAN.” Journal of Computer Science and Technology, vol.18, no.2, pp.201-209, March, 2003.

[10] F. Keceli, I. Inan, and E. Ayanoglu, “TCP ACK congetion control and filtering for fairness provision in the uplink of IEEE 802.11 infrastructure basic service set,” in Proceedings of IEEE International Conference on Communication (ICC), pp.4512-4517, June, 2007.

[11] D.J. Leith, P. Cliord, D.W.Malone, and A. Ng, ″TCP fairness in 802.11e WLANs,″ IEEE Communications Letters, vol.9, no.11, pp.964-966, December, 2005.

[12] Q. Xia, X. Jin, and M. Hamdi, ″Active queue management with dual virtual proportional integral queues for TCP uplink/downlink fairness in infrastructureWLANs,″ IEEE Trans. onWireless Communications, vol.7, no.6, pp.2261-2271, June, 2008.

[13] T.Li, Q.Ni, D.Malone, D.Leith and Y.Xiao, ″Aggregation with Fragment Retransmission for Very High-Speed WLANs,″ IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.17, no.2, pp 591-604, April, 2009.

[14] Jain, R.Chiu, D.M.Hawe, W, ″A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation in Shared Computer Systems″. DEC Research Report TR-301, 1984.

저자

송 병 진(Byungjin Song) **정회원**

- 2013년 2월 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어 학사졸업
- 2015년 2월 : 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 방송통신융합프로그램 석사졸업

<관심분야> : 무선네트워크, 디지털음향

이 선 희(Lee Seon-Hee) **정회원**

- 1982년 : 동국대학교 대학원 전자공학과 공학석사 졸업
- 1990년 : 동국대학교 대학원 전자공학과 공학박사 졸업
- 1983년 ~ 1990년 : 유한대학교전자과 교수
- 1997년 ~ 1998년 : Califonia State Univ. Sacramento 교환교수
- 1990년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학 교수, NID융합기술대학원 방송통신융합프로그램 교수

<관심분야> : 디지털음향, 디지털방송제작기술, 응용전자회로