

채널 특성 변화에 적응하며 QoS 보장이 가능한 무선 랜 프로토콜 연구

*이계상
동의대학교 정보통신공학과
e-mail : ksl@deu.ac.kr

A Study on QoS-aware Wirelss LAN Protocols Adapting Channel Condition Variations

*Kye-Sang Lee
Information and Communications Engineering Dept.
Dong-eui University

Abstract

Wireless LANs based on the IEEE 802.11 standard are widely spread for use nowadays. Traffic which are conveyed over the WLANs change rapidly from normal data such as Email and Web pages, to multimedia data of high resolution video and voice. To meet QoS (Quality of Service) required by these multimedia traffic, the IEEE 802 committee recently has developed a new standard, IEEE 802.11e.

Current IEEE 802.11e, however, is not sufficient to support service differentiations and network performance enhancements, under a varying network environment experiencing as varying channel characteristics and high network loads. Recently, there have been much research to complement this deficiency of 802.11e standard. This paper surveys these research efforts.

I. 서론

IEEE 802.11 표준에 기반한 무선 랜의 사용이 빠르게 확산되어 가고 있다. 구축의 저비용과 용이성이 빠른 보급의 이유일 것이다. 하지만, 현재 사용되는 802.11 표준은 최선형 트래픽 전달만을 목표로 하고

있다. 최근 들어, 고해상도 영상이나 음성 등 멀티미디어 트래픽을 포함한 응용들이 무선 랜을 통해 서비스 되어야 할 필요성이 증대되고 있다. 멀티미디어 트래픽 전달을 위해서는 서비스 품질 (QoS: Quality of Service)의 보장이 우선되어야 한다. 이를 위해 IEEE에서는 최근 IEEE 802.11e 표준을 개발하였다[1].

하지만, IEEE 802.11e 표준은 모든 단말이 동일한 채널 조건의 환경 하에 동작함을 가정하고 있어, 채널 특성이 변화하거나 네트워크 부하가 증감하는 실제 환경에서는 당초 목표로 했던 서비스 차별화의 실현과 네트워크 성능 제고가 달성되지 못할 수 있다. 최근, 이러한 802.11e 표준의 취약점을 보완하고자 많은 연구가 진행되었다.

본 논문에서는 우선 IEEE 802.11e에서 QoS 차별화를 위해 제시된 표준 매체 접근 제어 방식을 간략히 살펴 보고, 무선 채널 환경에서 QoS 보장에 부정적 영향을 주는 이슈들을 살펴 본 다음, 채널 특성 변화와 네트워크 부하 변화에 적응할 수 있는 프로토콜 연구 동향을 살펴 본다.

II. IEEE 802.11e 표준

IEEE 802.11e 표준의 매체접근제어 방식은 두 가지가 포함되어 있다. 하나는 분산형 경쟁 방식을 채용한 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) 방식이며, 다른 하나는 중앙 집중형 비경쟁 방식인 HCCA (HCF Controlled Channel Access) 방식이다. EDCA는 기존 802.11 MAC인 DCF (Distributed Coordination

Function)를 확장한 것이다. DCF가 모든 트래픽에 대해 동일한 IFS (Interframe Space)와 CW(Contention Window)을 적용한데 비해, EDCA는 트래픽을 네 개의 AC_{*i*} (Access Category, $i=0,1,2,3$)로 나누고 각 AC_{*i*} 별로 서로 다른 IFS_{*i*}와 CW_{*i*}를 적용하여 QoS 차별화를 도모한다. 즉, AC_{*i*}는 다른 우선순위를 갖는 트래픽 클래스로 볼 수 있다. EDCA에서는 모든 단말기가 역할 면에서 동등한 자격으로 경쟁하며 매체접근을 시도하므로, EDCA는 경쟁적 분산 프로토콜이라 할 수 있다.

한편, HCCA는 AP (Access Point)에 매체접근 결정 기능이 포함된 중앙 집중식 프로토콜이라 할 수 있다. 통신을 원하는 단말은 AP로 연결 요청하고, AP는 가용한 네트워크 자원을 고려하고 단말의 트래픽 QoS 요구사항을 감안하여 연결 수락을 결정한다. 연결이 수락되면 해당 단말은 AP의 폴링 리스트 (polling list)에 포함되어 AP로부터 정기적으로 전송 기회를 얻는다. 즉, 정기적인 데이터 전송이 필요한 실시간 데이터의 전달에 효과적인 방식으로, EDCA 만으로는 충족될 수 없는 QoS 보장 기능을 제공한다.

EDCA와 HCCA는 superframe을 기준 단위로 동작한다. 하나의 superframe은 CP (Contention Period)와 CFP (Contention Free Period)로 구분되며, EDCA는 CP 기간에만 사용될 수 있는데 반해, HCCA는 CFP와 CP 기간 모두에서 사용될 수 있다.

III. 무선 채널 환경의 변화와 영향

앞 장에서 기술한 IEEE 802.11e MAC 알고리즘은 멀티미디어 데이터 전달시 요구되는 QoS 보장을 위한 훌륭한 플랫폼을 제공한다. 하지만, 이 표준은 어디까지나 모든 단말이 겪는 무선 채널의 환경이 항상 동일하다는 가정에 기반을 두고 있다. 그러나, 실제로 무선 채널 환경은 단말의 이동과 출입에 따라 변화가 심하며, 이는 QoS 보장의 실현이라는 이 표준의 목표에 부정적 영향을 끼친다. 이 장에서는 이러한 무선 채널 환경의 변화와 영향을 먼저 살펴 봄으로써, 다음 장에서 소개될 연구들의 배경에 가름하고자 한다.

QoS에 영향을 미치는 무선 채널의 두 변화 요인은 채널 특성과 네트워크 부하이다. 채널 특성의 변화는 주로 단말의 이동에 기인한 전파 손실과 다중경로 간섭 효과의 결과로 나타나며, 통상 패킷의 손실과 재전송 및 전달 지연 등과 같은 네트워크 성능 저하를 가져온다. 무선 랜에서 네트워크 부하는 단말의 출입에 따라 수시로 변화하며 다수의 단말이 하나의 매체를 공유하므로 단말 수에 따른 네트워크 부하의 증감은

네트워크 성능에 직접적인 영향을 준다.

채널 특성 변화는 802.11e 표준의 QoS 보장을 불안하게 하므로, 좀 더 자세히 살펴볼 필요가 있다. 이 표준은 기본적으로 모든 단말이 동일한 채널 조건을 가질 때 서비스 품질 차별화 메커니즘을 제공한다. 그러나, 단말의 이동에 따른 위치 변경과 전파 간섭 등으로 단말이 겪게 되는 채널 특성은 통상 달라지게 되며, 이 것이 서비스 차별을 무더지게 할 수 있다. 극단적으로는, 높은 우선순위를 갖는 단말이 상당한 수율 저하와 지연을 겪게 되어 결국은 보다 낮은 우선순위를 갖는 단말의 성능 보다 낮은 수준의 서비스를 받게 되는 우선순위 역전 현상이 일어날 수도 있다[2].

이렇듯 채널 특성 변화가 부정적 영향을 주는 것처럼, 매체 접근 경쟁에 참여하는 단말 수의 변화도 QoS 차별화 실현에 좋지 않은 영향을 미친다. 네트워크 노드와 부하의 증가에 따라 재전송이 빈번해지고 지연이 증가 하면서, 특정 우선순위의 트래픽에 요구되는 최소한의 서비스 품질이 보장되지 못하는 상황이 발생한다. 예를 들어, 802.11e EDCA 표준이 적용되지만 네트워크 노드가 증가함에 따라 비디오 트래픽의 수율이 저하되는 사례가 보고 되었다[3].

IV. 채널 환경 변화 적응형 QoS 보장 프로토콜

이 장에서는 앞 장에서 기술한 채널 특성 변화와 네트워크 부하 변화에 적응하여 QoS 보장을 지원하는 프로토콜 연구 사례를 소개한다.

[2]에서는 세 가지 채널 적응 변수를 제안한다. 첫 번째 적응 변수는 채널 접근 지연을 최소화 하기 위해 고안된 PF (Persistent Factor)이다. EDCA에서 재전송 시는 CW가 두 배로 늘어난다. 이는 패킷 충돌시 또 다른 충돌을 예방하기 위한 조치이지만, 패킷 재전송이 패킷 충돌이 아닌 채널 특성 저하에 기인한 경우, 불필요한 지연과 낮은 수율을 초래하게 된다. PF 적응 변수는, 재전송이 일어나는 경우 그 원인을 계산하여 패킷 충돌이 아닌 경우, CW에 적당한 값으로 곱해져 CW의 과도한 확장을 방지함을 목적으로 한다. 즉, 채널 특성이 좋지 않은 경우, 불필요한 지연을 방지함으로써 네트워크 수율 증가를 도모한다.

두 번째 적응 변수는 DC (Defer Countdown)이다. EDCA에서는 백오프 기간 중 다른 단말이 전송을 시작하면 즉시 백오프 카운트다운을 중지하고 채널이 다시 휴지기간이 될 때를 기다린다. 적응 변수 DC는, 이미 과도한 대기 시간을 겪고 있는 패킷의 전송을 촉진하기 위해 고안되었으며, 카운트다운이 재개되었을 때

카운트다운을 가속시키기 위한 변수로, 네트워크 수율을 제고한다. [2]에서 제안된 세 번째 변수는 단편화 경계값으로, 채널 상태가 좋지 않은 상황에서도 전송 성공 확률을 높이기 위해 패킷 단편의 최대 크기를 조정한다. 이와 같은 세 가지 채널 적응 변수를 적절히 조정하여 사용함으로써, 채널 특성이 저하되는 네트워크 환경에서도 서비스 차별화를 유지하며, 네트워크의 수율을 높일 수 있음을 보였다[2].

AEDCF (Adaptive EDCF) 방식[4]은 네트워크 부하 증가를 다룬 연구이다. 이 연구는 단말과 네트워크 부하의 증가로 인한 패킷 충돌율을 감소시키는데 초점을 두었다. 패킷 전송이 성공한 경우 EDCA에서는 기본적으로 CW_{min} 값에서 다시 시작하지만, AEDCF에서는 그 때 까지의 충돌율을 감안하여 더 작은 CW 값에서 시작하는 것을 허용한다. 더 작은 값에서 경쟁창이 시작함으로써 패킷 지연 시간을 줄이고, 충돌율은 작아짐으로써, 결국 높은 네트워크 부하에서도 요구된 수율과 지연 성능을 유지하게 된다. CW 시작 값을 AC_i 클래스에 따라 다르게 조정하여 서비스 차별화를 향상시킬 수 있음을 보였다.

AFEDCF (Adaptive Fair EDCF)[3]은 두 가지 적응 변수를 사용한다. 첫 번째 변수는 CW 확대 변수로 [2]의 PF 변수 처럼 CW에 곱해 지는 값이나 네트워크 부하가 높을 때 패킷 충돌율을 줄이기 위해 사용된다. 두 번째 변수는 adaptive fast backoff 메커니즘을 위한 변수로, 채널이 휴지 기간일 때 백오프 카운트다운을 가속화 하기 위해 사용한다. AC_i 별로 이 두 적응 변수의 최대치를 다르게 설정함으로써 변화하는 채널 환경에서도 서비스 차별화를 유지하고 네트워크 성능 향상을 달성한다.

DAC (Distributed Access Control) 방식[5]을 기반으로 하여 개선된 TLP (Two-Level Protection) 방식 [6] 또한 채널 특성 변화를 반영하는 방식으로 들 수 있다. TLP 방식은 트래픽 부하가 커지는 경우에도 기존 트래픽 흐름을 보호할 수 있도록 2 단계의 보호 방식을 채용한다. 단계 1에서는 기존 비디오/음성 흐름이 새로운 비디오/음성 흐름으로부터 보호한다. 이를 위해 두 가지 알고리즘이 제안되었다. 하나는 새로운 흐름을 잠정적으로 수락한 후 네트워크 성능을 측정해 보고 요구된 서비스 품질이 만족되지 않는 경우 그 트래픽 흐름이 축출되는 방식이고, 또 하나는 비축 자원이 경계값 이하인 경우 아예 새로운 트래픽 흐름의 진입을 허용하지 않는 방식이다. 하지만, 최선형 트래픽 전송 단말이 증가함으로써 충돌이 빈번해져 QoS 흐름이 영향을 받는 것으로부터 보호하기 위해, 단계 2가 도입된다. 단계 2에서는 기존 최선형 트래픽에 부여된 IFS와 CW와 같은 EDCA 변수를 조절하여 충돌의 횟

수를 효과적으로 줄인다. 즉, 단계 2는 최선형 트래픽 흐름으로부터 QoS 트래픽 흐름을 보호한다.

가상 MAC (VMAC: Virtual MAC) 방식과 가상 소스 (Virtual Source) 방식은 네트워크 부하를 다루는 연구로 들 수 있다. VMAC 방식[7]은 가상 MAC을 가정한다. 가상 MAC은 실제 MAC과 나란히 단말에 존재하며, 가상 패킷을 취급한다. 가상 MAC은 가상 패킷을 실제 패킷과 똑 같이 스케줄링한다. 하지만, 실제 전송 시점에서는 아무 것도 전송하지 않고, 단지 실제 전송되었다면 일어났을 충돌의 확률을 추정한다. 충돌이 감지되면, 가상 MAC은 실제 MAC과 같이 백오프 (backoff) 과정을 수행한다.

가상 소스[8]는 가상 응용, 인터페이스 큐와 가상 MAC으로 구성된다. 가상 응용은 실제 응용과 같이 가상 패킷을 생성하고, 가상 패킷에 시각이 기록되고 큐에 저장된다. 가상 패킷이 가상 MAC에 의해 처리되고 난 후 겪은 총 지연 시간이 계산된다.

위 두 방식은 가상 패킷이 겪는 네트워크 성능을 관찰한 후 그 결과를 가지고 새로운 트래픽 흐름을 네트워크에 허용할지를 결정함으로써, 높은 네트워크 부하 시에도 기존 트래픽과 진입하는 트래픽의 서비스 차별을 유지한다.

채널 성능을 지속적으로 측정함으로써 채널 특성 변화에 대처하는 방식으로 경계치 기반 허가제어 방식을 들 수 있다[9]. 각 단말은 점유된 상대적 대역폭이나, 충돌 평균값과 같은 트래픽 조건치를, 모니터링 한 네트워크 성능 값으로부터 주기적으로 계산한다. 이 트래픽 조건치가 최소 경계치 이하로 떨어지면 제일 높은 우선순위를 갖는 AC_i 를 허락하고, 조건치가 최대 경계치 이상으로 올라가면 제일 낮은 우선순위의 AC_i 전송을 중지시킨다. 이 방식은 구현하기는 아주 쉬우나, 경계치 최적 설정이 어렵다.

또 다른 채널 측정 기반 방식은 HARMONICA 방식 [10]이다. AP는 주기적으로 링크 계층 품질값 (AC별 패기율, 지연, 수율)을 수집한다. 다음 두 가지 알고리즘을 사용하여 각 트래픽 클래스에 가장 최적의 채널 접근 변수를 찾아낸다. 한 알고리즘은 각 클래스간 변수 차이를 조정하는 것이고, 다른 알고리즘은 높은 채널 수율을 얻기 위해 모든 클래스의 변수를 일괄적으로 상향조정하든지 하향조정하는 것이다. 이 방식은 채널 변수를 수시로 조정함으로써 QoS 요구조건을 만족시킴과 동시에 네트워크 자원 이용을 최대화시킬 수 있으며 최선형 트래픽에 대해 최소한의 대역폭을 보존해 줄 수 있다는 장점을 갖는다. 하지만, 최적의 채널 변수 조정 작업이 어려운 일로, 조정값이 너무 크면 불안정하게 되고, 너무 작으면 최적 상태에 이를 때 까지 시간이 오래 걸린다는 단점을 갖는다.

단말이 경험하는 실제 물리 데이터율이 다른 점을 다룬 [11]에서는 물리 데이터율의 변이를 고려한 물리 데이터율 기반 허가 제어 방식을 제안한다. 실제 무선 랜 제품들은 실제 물리 데이터율에 따라 자신의 데이터 전송율을 조정한다. [11]의 기본 아이디어는, 시간 축상 장기적으로는 평균 물리 데이터율에 기반을 두어 허가 제어를 하고, 단기적으로는 순간적인 물리데이터율의 변화를 고려하여 데이터 전송 기회를 각 단말에 분산시키는 데 있다. 이와 같이 하여 이 방식은 기존 트래픽 흐름의 성능을 저해하지 않고, 보다 많은 트래픽 흐름을 수용한다. 또한, 이러한 연구는 VBR 트래픽에 적용되기 위해 확장되었다[12,13].

V. 맺는말

본 논문에서 살펴 본 여러 연구들은, 채널 특성 변화와 네트워크 부하 변화에 적응하여 서비스 차별화를 유지하고 성능을 제고하기 위해 MAC 계층에 여러 적응 변수를 사용한다. 이러한 방식들은 상호 보완적으로 이용될 수 있을 것이다. [2]에서 제안된 단편화 경계값 적응 변수는 AEDCF 또는 AFEDCF와 결합되어 열악한 채널 특성 환경에 이용될 수 있다. 또한, AFEDCF의 adaptive fast backoff 메커니즘은 [2]의 DC 적응변수와 결합되어 채널이 휴지 기간이거나 패킷이 과도한 대기 시간을 겪는 경우 백오프 절차를 가속화하기 위해 적용 가능할 것이다.

본 논문에서는 또한 변화하는 네트워크 환경에서 네트워크 성능 실측치를 이용하여 서비스 차별화와 성능을 제고할 수 있는 다양한 네트워크 노드 제어 알고리즘으로 TLP, VMAC 방식 등을 살펴 보았다.

참고문헌

[1] IEEE-802.11 WG, "IEEE 802.11e Standard Draft/D8.0: Draft Supplement to Standard for Telecommunications and Information Exchange between Systems - LAN/MAN Specific Requirements - Part II: MAC Enhancements for Quality of Service (QoS)," Feb. 2004.

[2] N. Ramos, D. Panigrahi, and S. Dey, "ChaPLeT: Channel-dependent Packet Level Tuning for Service Differentiation in IEEE 802.11e," Proc., Int'l. Symp. Wireless Pers. Multimedia Commun., Yokoshuka, Japan, 2003.

[3] M. Malli et al., "Adaptive Fair Channel Allocation for QoS Enhancement in IEEE 802.11

Wireless LANs," Proc. IEEE ICC, Paris, France, 2004.

[4] L. Ramdhani, Q. Ni and T. Turletti, "Adaptive EDCF: Enhanced Service Differentiation for IEEE 802.11 Wireless Ad Hoc Networks," Proc. IEEE Wireless Commun. and Net. Conf., New Orleans, LA, 2003.

[5] Y. Xiao and H. Li, "Evaluation of Distributed Admission Control for the IEEE 802.11e EDCA," IEEE Commun. Mag., vol. 42, no. 9, 2004, pp. S20-S24.

[6] Y. Xiao, H. Li, and S. Choi, "Protection and Guarantee for Voice and Video Traffic in IEEE 802.11e Wireless LANs," Proc. IEEE INFOCOM '04, vol. 3, Hong Kong, Mar. 2004, pp. 2152-62.

[7] M. Barry, A. T. Campbell, and A. Veres, "Distributed Control Algorithms for Service Differentiation in Wireless Packet Networks," Proc. IEEE INFOCOM '01, vol. 1, Anchorage, AK, 2001, pp. 582-90.

[8] A. Veres et al, "Supporting Service Differentiation in Wireless Packet Networks Using Distributed Control," IEEE JSAC, vol. 19, no. 10, 2001, pp. 2081-93.

[9] D. Gu and J. Zhang, "A New Measurement-based Admission Control Method for IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks," Mitsubishi Elec. Research Lab., Tech. rep. TR-2003-122, Oct. 2003.

[10] L. Zhang and S. Zeadally, "HARMONICA: Enhanced QoS Support with Admission Control for IEEE 802.11 Contention-based Access," Proc. IEEE RTAS '04, Toronto, Canada, May 2004, pp. 64-71.

[11] D. Gao, J. Cai, and L. Zhang, "Physical Rate-Based Admission Control for HCCA in IEEE 802.11e WLANs," Proc. IEEE 19th Int'l. Conf. Adv. Info. Net. and Apps., Taiwan, Mar. 2005.

[12] W. F. Fan et. al., "Admission Control for Variable Bit Rate Traffic in IEEE 802.11e WLANs," Proc. IEEE LANWAN '04, Mil Valley, CA, 2004, pp. 61-6.

[13] Q. Ni, P. Ansel, and T. Turletti, "A Fast Scheduling Scheme for HOF," IEEE 802.11e WG doc. 802.11-03-0577-01-000e, July 2003.