

IEEE 802.11e에서의 멀티미디어 트래픽 전송을 위한 Cross-layer기반의 프레임 우선순위화 기법

신필규[○], 이선현, 정광수

광운대학교 전자공학부

{pshin[○], sunlee[○]}@adams.kw.ac.kr, kchung@kw.ac.kr

Cross-layer Based Frame Prioritization Scheme for Transport of Multimedia Traffic over IEEE 802.11e

Pilgyu Shin[○], Sunhun Lee, Kwangsue Chung

School of Electronics Engineering, Kwangwoon University

요 약

무선랜 환경에서의 효율적인 비디오 스트리밍을 하기 위해서는 불안정한 네트워크 대역폭과 패킷지연, 패킷손실 등의 문제가 해결 되어야 한다. 본 논문에서는 서비스 품질의 보장을 위해 기존의 Best-effort에 기반한 IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 향상시킨 IEEE 802.11e MAC 프로토콜을 이용하여 Cross-layer 기반의 프레임 우선순위화 기법을 제안 하였다. 멀티미디어 트래픽의 프레임 중요도에 따라 다르게 부여한 Priority를 이용해 IEEE 802.11e MAC 프로토콜의 차별화된 데이터 전송을 하였으며, 네트워크 상태 모니터링을 통해 중요도가 낮은 프레임을 우선적으로 폐기하는 적응적 전송을 조절 기법을 제안하였다. 실험 결과는 제안하는 Cross-layer기반의 프레임 우선순위화 기법이 멀티미디어 스트리밍의 중단간 QoS를 향상 시킬 수 있음을 보여준다.

1. 서 론

최근 무선랜 환경에서의 비디오 스트리밍 서비스에 대한 수요가 늘고 있다. 그러나 무선랜 환경은 페이딩(Fading)이나 간섭(Interference) 등과 같은 요인으로 인해 채널 상태가 상대적으로 불안한 문제를 갖고 있다. 이로 인해 멀티미디어 트래픽 전송시 요구되는 네트워크 대역폭이 불안정하게 된다. 결과적으로 패킷지연, 손실 등과 같은 문제를 발생 시키고 이는 사용자측에서 비디오 품질의 심각한 저하를 낳는다. 무선랜은 Best-effort 데이터에 기반한 시스템이므로 서비스 품질(Quality-of-Service)을 보장하기에는 적합하지 않다. 따라서 IEEE 802.11 Working Group에서는 무선 환경에서의 QoS를 보장하기 위해 IEEE 802.11 매체접속제어(Medium Access Control, MAC) 방식을 향상 시키기 위한 노력으로써 IEEE 802.11e 표준화를 진행 하였으며, 사용자 측에서의 QoS를 보장하기 위해 무선랜을 위한 많은 적응형 스트리밍 기법들이 제안 되었다[1][2].

본 논문에서는 스트리밍서비스의 중단간 QoS를 향상시키기 위해 IEEE 802.11e 무선랜 환경에서 Cross-layer 기반 프레임 우선순위화 기법에 관한 연구를 수행하였으며, 성능 측정을 통해 유효성을 검증하였다. 제안한 기법

에서는 네트워크 상황에 따라 중요도가 떨어지는 프레임들을 폐기함으로써 네트워크에 적응적인 전송을 수행하도록 동작하며, 실시간 파싱(Real-time Parsing) 및 프레임 기반 패킷 우선순위화(Frame-based Prioritized Packetization), 네트워크 모니터링에 기반한 프레임 폐기(Frame Dropping), IEEE 802.11e MAC 프로토콜로 구성된다.

데이터 우선순위화 기반 적응형 전송은 데이터 우선 순위화(Prioritized Packetization) 과정과 네트워크 모니터링 결과를 기반으로 한 적응형 전송(Adaptive Transport)으로 나누어진다. 먼저 데이터 우선순위화에서 전송할 데이터를 분석하여 상대적인 중요도를 파악하고 이 정보를 패킷에 포함시켜 적응형 전송 부분으로 보내는 역할을 한다. 적응형 전송에서는 클라이언트로부터 받은 피드백정보를 기반으로 전송할 데이터의 중요도에 따라 IEEE 802.11e MAC 프로토콜의 Priority Queue에 전달하는 역할을 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 IEEE 802.11e MAC 프로토콜에 대해 설명하고, 3절에서는 Cross-layer 기반의 프레임 우선순위를 기법을 이용한 802.11e의 네트워크 상태에 따른 적응형 전송을 조절 부분에 대해 설명한다. 4절에서는 제안한 Cross-layer기반의 프레임 우선순위화 기법의 결과에 대해 설명하고, 5절에서 결론을 맺는다.

* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성, 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

2. IEEE 802.11e MAC 프로토콜

서비스를 제공함에 있어 사용자의 요구를 모두 충족 시켜 줄 수 있다면 아무런 문제가 없겠지만, 만일 그렇지 못하다면 서비스를 차별화 하여 가능한 한 모든 서비스에 대하여 공평한 만족을 주는 것이 그 해결 방안이라 할 수 있다. 또한, 우리는 이러한 서비스의 차별화 기능을 QoS라고 한다. 기존의 IEEE 802.11은 일반적인 데이터만을 전송대상으로 고려하고 있어 멀티미디어와 같은 데이터 형식은 서비스 하는데 한계가 있다. 즉 QoS 기능이 결여되어 있다.

IEEE 802.11e에는 QoS를 두 가지 경우로 나누어서 제공하고 있는데, 우선순위 방식과 파라미터 방식이 있다. 우선순위 방식은 기본적인 QoS 방법으로서 8단계로 서비스 차별화를 선택할 수 있으며, 8단계는 다시 4등급의 AC(Access Category)로 나누어 서비스를 차별화 하고 있으며, 파라미터 방식에서는 트래픽의 특성에 따라 다양한 파라미터들을 정의해서 매체 접근을 관장하는 HC(Hybrid Coordinator)가 적절히 매체 접근을 허가하는 진보된 QoS를 제공한다.

EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)는 HCF(Hybrid Coordination Function)를 위해서 IEEE 802.11e에서 기본적으로 제공되어야 하는 프로토콜이다. EDCA는 CP 구간 동안에 작동하는 매체 접근 제어 방법으로서, 우선순위 방식의 QoS방침을 따른다.

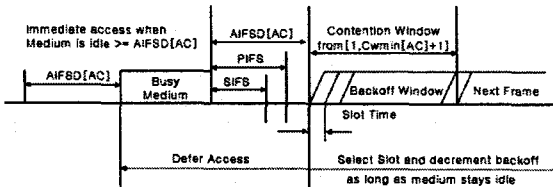


그림 1. EDCA의 UP별 다중 백오프

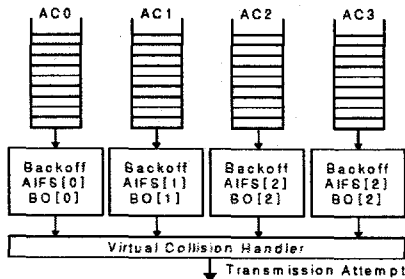


그림 2. EDCA의 액세스 카테고리 와 가상 백오프

그림 1은 전송 권한(Transmission Opportunity)을 획득하기 위해서 경쟁을 하는데 있어서, UP별로 채널이 유휴 상태인지를 판단하는데 걸리는 시간에 차이를 둔 것을 나타낸 것이고, 그림 2에서는 한 WSTA(Wireless Station)에서 각 AC 간에 전송 권한을 획득하기 위해서 가상 백오프 알고리즘이 수행된다.

3. Cross-layer기반 프레임 우선순위화 기법

3.1. 전체 구조

IEEE 802.11e 무선 환경에서 멀티미디어 데이터 전송을 위해 본 논문에서 제안한 Cross-layer 기반의 우선순위화 기법의 구조는 그림 3과 같다. Application Layer, Transport Layer, 802.11e MAC Layer의 3개의 Layer로 구성되며, 각 레이어에 대한 설명은 다음과 같다.

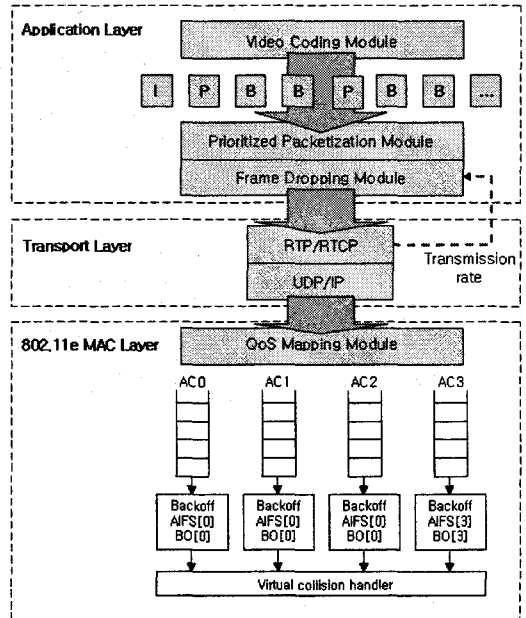


그림 3. Cross-layer기반의 우선순위화 기법의 구조

첫 번째 Application Layer에는 3가지 다른 역할을 수행하는 Module이 존재한다. 3가지 Module은 전송하게 될 영상의 프레임들을 생성하는 Video Coding Module, 각 프레임의 중요도에 따라 Priority를 Marking하는 Prioritized Packetization Module, 그리고 Feedback 되어진 네트워크 상태 정보에 따라 네트워크에 적응적으로 전송율을 조절하기 위해 프레임들을 폐기하는 Frame Dropping Module로 이루어져 있다. 두 번째 Transport Layer에서는 멀티미디어 데이터 전송과 Feedback 정보를 활용하기 위해 RTP/RTCP(Real-time Transport Protocol/Real-time Transport Control Protocol)를 사용하였으며 클라이언트 측에서 Feedback 되어진 네트워크 상태 데이터를 Application Layer의 Frame Dropping Module로 알려주는 역할을 수행한다. 그리고 마지막으로 IEEE 802.11e MAC Layer에는 QoS Mapping Module과 IEEE 802.11e Mac 프로토콜로 구성된다. QoS Mapping Module에서는 Application Layer에서 프레임 중요도에 따라 Priority가 Marking된 각 프레임들을 IEEE 802.11e MAC 프로토콜의 Priority Queue에 할당하는 역할을 한다.

3.2. 프레임 우선순위화

프레임 우선순위화 모듈에서는 전송하는 프레임의 중요도에 따라 우선 순위를 부여하는 역할을 수행한다. MPEG-4에서 제안하는 프레임 형식에는 I-Frame, P-Frame, B-Frame의 3가지 프레임 형식이 있으며 중요도는 I > P > B 순으로 각 프레임의 의존성과 프레임의 압축률에 따라 다르다[3]. 그림 4는 프레임의 중요도에 따라 각 프레임에 Priority를 부여하는 Prioritized Packetization Module을 나타낸 것이다.

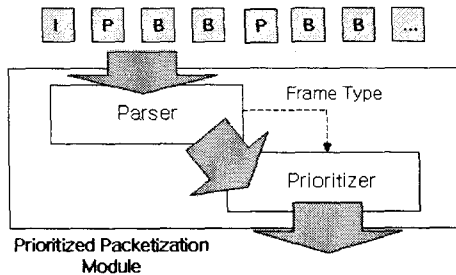


그림 4. Prioritized Packetization Module

Prioritized Packetization Module의 Parser는 Video Coding Module로부터 받은 MPEG-4 프레임 데이터를 분석하여 프레임의 종류를 인식하고, 프레임의 중요도를 Prioritizer에게 알려 준다. Prioritizer는 Parser에서 인식한 프레임의 종류에 따른 중요도를 바탕으로 각 프레임에 Priority를 부여하여 IEEE 802.11e MAC 프로토콜의 차별적인 전송방식을 이용할 수 있도록 한다. 각 프레임에 부여한 Priority와 IEEE 802.11e MAC 프로토콜의 파라미터의 관계는 표 1과 같이 나타낼 수 있다.

3.3. 적응적인 전송율 결정

현재의 네트워크 상태를 파악하고 가용 대역폭을 측정하기 위해 클라이언트 단에서의 패킷 Inter-arrival Time을

표 1. 802.11e MAC Parameter

Type	AIFS	CWmin	CWmax	Max Retrylimit
I-Frame (AC3)	50	7	15	8
P-Frame (AC2)	50	15	31	8
B-Frame (AC1)	50	31	1023	4
Best Effort (AC0)	70	31	1023	4

이용해 전송율 측정을 수행하였다. IEEE 802.11e MAC Protocol은 4가지 등급의 AC 마다 다른 MAC 파라미터를 가지기 때문에 표 1에서와 같이 각 AC에 매칭되는 Frame의 종류에 따라 독립적으로 측정을 하였다. 식 1은 패킷 Inter-arrival Time 을 이용해 가용 대역폭을 측정하는 식을 나타낸다.

$$R_i[i] = \frac{Packet\ size}{(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

$R_i[i]$ 는 측정된 각 AC[i] ($i = 0, 1, 2, 3$)의 가용 대역폭을 나타내며, $(t_2 - t_1)$ 은 패킷 Inter-arrival Time을 나타낸다. 무선의 네트워크 환경에서는 측정된 값의 변동이 심하기 때문에 값의 안정화를 위해서 식 2의 필터를 이용해 값을 안정화 시키고, 식 3을 이용해 계산된 대역폭을 합산한다.

$$R_i[i] = \alpha * R_i[i] + (1 - \alpha) * R_{i-1}[i] \quad (2)$$

$$R_i = \sum_{i=0}^3 R_i[i] \quad (3)$$

측정된 대역폭은 RTCP 패킷에 추가하여 서버측으로 Feedback하게 된다. 측정된 전송율은 상위 Layer의 Frame Dropping Module에 전달되어 적응적 전송율 조절에 이용된다.

3.4. Frame Dropping을 이용한 적응적 전송율 조절

클라이언트 측에서 Feedback 되어지는 RTCP 패킷의 정보를 Cross-layer signaling을 통해 Frame Dropping Module에 전달이 되어지게 된다. Frame Dropping은 GOP(Group Of Picture) 단위로 적용되며, 식 4,5는 전송할 GOP의 기본 전송율(R_G)을 구하는 것을 나타낸다.

$$R_G = G_r * size\ of\ GOP \quad (4)$$

$$G_r = \frac{r_f}{n_g} \quad (5)$$

R_G 는 전송할 GOP의 전송율을 나타내고, G_r 은 초당 전송되는 GOP의 수, r_f 는 영상의 Frame Rate, n_g 는 하나의 GOP를 구성하는 Frame의 수를 나타낸다. Feedback 받은 전송율(R_F)과 식4에서 계산한 GOP의 전송율을 비교하여, GOP의 전송율이 Feedback 받은 전송율보다 클 경우에는 그림 5와 같이 전송할 GOP 내에서 중요도가 낮은 Frame을 우선적으로 Dropping하여 네트워크 상태에 적응적인 전송을 할 수 있도록 한다.

```

1. while ( $R_G > R_F$ )
    1. if (exist B-frame)
        1. Drop one B-frame
        2. Re-calculate  $R_G$ 
        3. continue
    2. if (exist P-frame)
        1. Drop one P-frame
        2. Re-calculate  $R_G$ 
        3. continue
    3. Drop I-frame
    
```

그림 5. 적응적 전송율 조절

4. 실험 결과

IEEE 802.11e 무선랜 환경에서의 Cross-layer기반 프레임 우선순위화 기법의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션을 수행 하였다. 시뮬레이터로는 ns-2 Network Simulator를 사용하였다[4]. Application Layer의 MPEG-4 트래픽의 생성을 위해 TES(Transform Expand Sample) Model을 사용하였으며, MAC Layer 에는 IEEE 802.11e EDCA Model을 사용하여 제안한 기법의 성능 평가를 수행하였다[5][6].

제안한 기법의 성능을 평가하기 위해 그림 6과 같은 환경을 구성하였다. 시뮬레이션은 100초간 진행 하였으며, 전체 시뮬레이션 시간동안 노드 N1과 W1간에는 TES Model에 의해 생성된 MPEG-4 Traffic을 전송하였다. MPEG-4 트래픽의 Frame Rate 는 30 frame/s, GOP 는 일반적으로 사용하는 IBBPBBPBBPBB의 패턴을 사용 하였다. 시뮬레이션 시간 20초부터 100초 사이에는 노드 N2와 W2간에 UDP를 사용한 300kbps의 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 배경 트래픽으로 전송하였다.

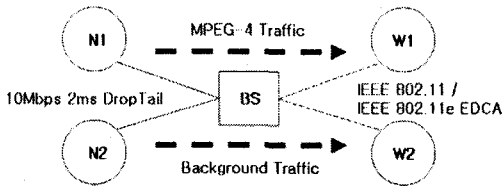


그림 6. 실험 환경

그림 7은 IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 이용하여 MPEG-4 트래픽을 전송하였을 때의 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 시간 20초 이후에 배경 트래픽의 발생으로 인한 경쟁 증가로 전송률 감소가 발생하게 되는 것을 볼 수 있다. 이는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜이 프레임 중요도에 따른 전송을 하지 못하게 되며, 결과적으로 사용자 측면에서의 서비스 품질의 저하를 유발하게 됨을 알 수 있다.

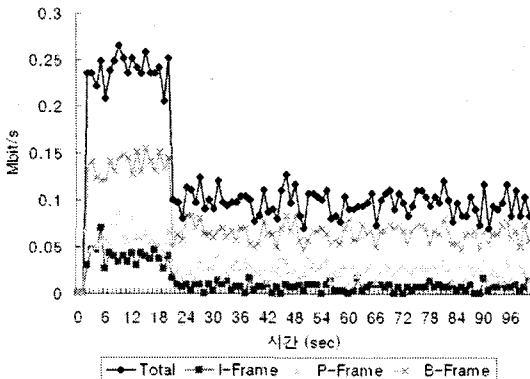


그림 7. IEEE 802.11 MAC을 이용한 전송 결과

그림 8은 본 논문에서 제안한 IEEE 802.11e MAC 프로토콜을 사용한 Cross-layer기반의 프레임 우선순위화 기법의 성능을 나타낸 것이다. IEEE 802.11e MAC 프로토콜을 사용하여 프레임의 중요도에 따라 차별적으로 데이터를 전송하게 되고, 배경 트래픽이 발생하는 20초 이후에 프레임 중요도가 낮은 B-frame의 일부를 폐기하고 네트워크 상태에 적응적으로 전송하는 것을 보여준다.

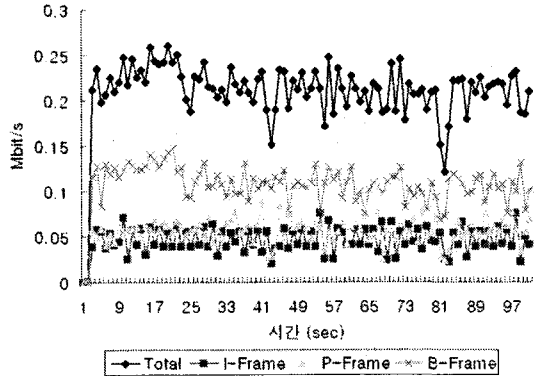


그림 8. 제안한 기법을 이용한 전송 결과

그림 9, 10, 11은 현재의 네트워크 상태를 모니터링하고 네트워크 상태에 적응적으로 전송을 하기 위해 사용하는 프레임 폐기 기법이 중단간의 QoS를 향상시킴을 확인하기 위해 각 프레임의 종류에 따른 손실율을 나타낸 것이다. IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 프레임 종류에 관계없이 높은 손실율을 보여주지만, 성능 검증에 사용한 IEEE 802.11e EDCA 모델은 프레임 중요도에 따른 차별적인 전송방식을 사용하기 때문에 프레임 손실율이 낮음을 보여준다. 또한 IEEE 802.11e EDCA 모델에 본 논문에서 제안한 프레임 폐기를 통한 적응적 전송기법을 적용 하였을 때 배경 트래픽의 영향을 가장 많이 받는 B-frame의 손실율이 IEEE 802.11e EDCA모델의 손실율보다 낮음을 확인 할 수 있다.

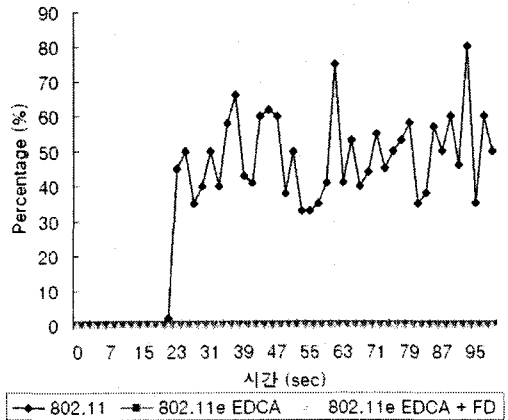


그림 9. I-frame의 손실율

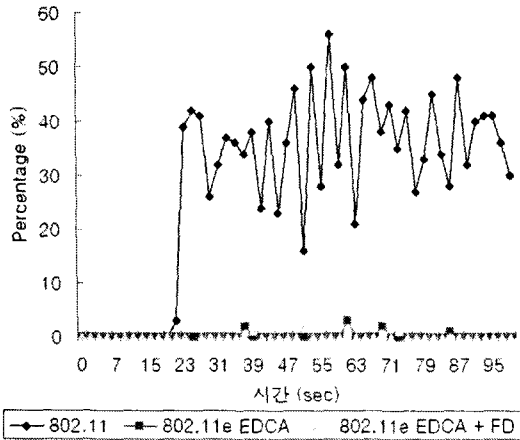


그림 10. P-frame의 손실율

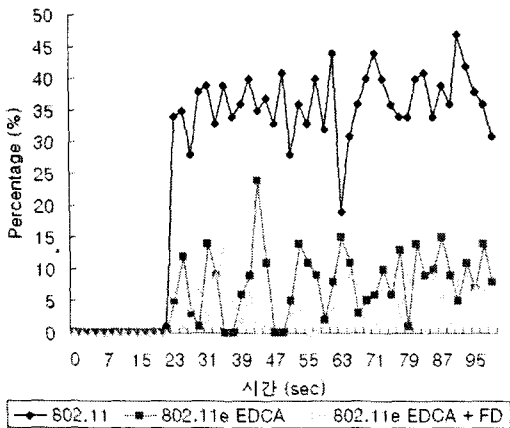


그림 11. B-frame의 손실율

이와 같은 결과는 모니터링을 통해 네트워크 상태에 적절적으로 프레임 폐기함으로써 배경트래픽과의 경쟁을 줄여주는 효과를 얻게 되고, 결과적으로 종단간의 서비스 품질의 향상을 기대할 수 있게 된다.

5. 결론

본 논문에서 제안한 IEEE 802.11e 무선랜 환경에서의 Cross-layer 기반 프레임 우선순위화 기법이 기존의 IEEE 802.11 MAC 보다 효율적으로 멀티미디어 트래픽을 전송하였으며, 프레임 폐기를 이용해 네트워크 상태에 적절적으로 전송율을 조절하여 종단간의 서비스 품질을 향상시킴을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 향후 연구로는 제안한 IEEE 802.11e 무선랜 환경에서의 Cross-layer 기반 프레임 우선순위화 기법을 여러 가지 네트워크 상황에서 실험을 해보고, 실제 네트워크에서의 구현을 통해 사용자 측면의 QoS를 측정하는 것을 목표로 한다.

참고 문헌

- [1] ANSI/IEEE Std 802.11 [ISO/IEC 8802-11 :1999(E)], "Part 11: Wireless LAN MAC and PHY Specifications. LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, 1999 Edition".
- [2] IEEE 802.11e, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS)," 802.11e draft 8.0, 2004.
- [3] ISO/IEC JTC/SC29/WG11 N3536, "Overview of the MPEG-4 Standard," July 2000.
- [4] The network simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [5] A Matrawy, I.Lambaris, and C. Huand, "MPEG4 Traffic Modeling Using The Transform Expand Sample Methodology," in Proc. IEEE 4th Int. Workshop on Networked Appliances, pp.249-256, 2002.
- [6] An IEEE 802.11e EDCA and CFB Simulation Model for ns-2, http://www.tkn.tu-berlin.de/research/802.11e_ns2/.