

IEEE 802.11e EDCA에서 효율적인 대역폭 측정을 통한 Cross-Layer 기반의 비디오 전송 기법

(A Cross-Layer based Video Transmission Scheme using Efficient Bandwidth Estimation in IEEE 802.11e EDCA)

신 필 규[†] 이 선 현[†] 정 광 수^{††}
(Pilgyu Shin) (Sunhun Lee) (Kwangsue Chung)

요 약 최근 무선 환경에서 스트리밍 서비스의 서비스 품질을 향상시키기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 무선 환경의 채널상태 불안정은 높은 전송 지연과 손실을 발생시키게 되고, 결과적으로 사용자 측면에서의 서비스 품질을 저하시키는 문제점을 가진다. 이러한 무선 환경에서의 서비스 품질을 향상시키기 위해 IEEE 802.11 Working Group에서는 IEEE 802.11e를 제안하였고, 이를 기반으로 하는 여러 기법들이 제안되었지만 네트워크 상태에 적응적이지 못한 기존 연구들은 전송큐의 오버플로우와 데이터 손실이 발생하여 전송하는 영상의 품질을 저하시키게 된다.

본 논문에서는 IEEE 802.11e EDCA(Enhanced Distributed Channel Access) 모델을 기반으로 무선 환경에서의 멀티미디어 스트리밍 서비스 품질의 향상을 위한 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 MPEG-4 영상의 각 프레임의 중요도에 따라 차별적으로 IEEE 802.11e EDCA 모델의 전송 방식을 적용하고, 수신측의 AC(Access Category)를 고려한 효율적인 대역폭 측정을 기반으로 한 송신측의 프레임 폐기를 통해 현재 네트워크 상태에 적응적인 전송을 조절을 한다. 실험 결과를 통해 제안한 기법이 무선 환경의 스트리밍 서비스의 종단간 서비스 품질을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

키워드 : IEEE 802.11e EDCA, 스트리밍, Cross-layer

Abstract Promoting quality of streaming service in wireless networks has attracted intensive research over the years. Instable wireless channel condition causes high transmission delay and packet loss, due to fading and interference. Therefore, they lead to degrade quality of video streaming service. The IEEE 802.11 Working Group is currently working on a new standard called IEEE 802.11e to support quality of service in WLANs. And several schemes were proposed in order to guarantee QoS. However, they are not adaptable to network condition. Accordingly, they suffered video quality degradation, due to buffer overflow or packet loss.

In this paper, to promote quality of video streaming service in WLANs, we propose a cross-layer architecture based on IEEE 802.11e EDCA model. Our cross-layer architecture provides differentiated transmission mechanism of IEEE 802.11e EDCA based on priority of MPEG-4 video frames and adaptively controls the transmission rate by dropping video frames through the efficient bandwidth estimation based on distinction of each AC. Through the simulation, proposed scheme is shown to be able to improve end-to-end quality for video streaming service in WLANs.

Key words : IEEE 802.11e EDCA, Streaming, Cross-layer

[†] 학생회원 : 광운대학교 전자통신공학과
pgshin@adams.kw.ac.kr
sunlee@adams.kw.ac.kr

^{††} 종신회원 : 광운대학교 전자통신공학과 교수
kchung@kw.ac.kr

논문접수 : 2006년 12월 19일

심사완료 : 2008년 3월 13일

Copyright © 2008 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제35권 제3호(2008.6)

1. 서론

최근 무선랜 환경에서의 비디오 스트리밍 서비스에 대한 수요가 늘고 있다. 그러나 무선랜 환경은 페이딩(Fading)이나 간섭(Interference) 등의 영향으로 채널 상태가 상대적으로 불안한 문제를 갖고 있어, 비디오 스트리밍 서비스의 전송 지연, 패킷 손실 등으로 인한 서비스 품질의 저하를 유발 시킨다. 기존의 무선랜은 최선형 서비스에 기반한 시스템으로 서비스 품질(QoS, Quality-of-Service)을 보장하기에는 적합하지 않다. 따라서 IEEE 802.11 Working Group에서는 무선 환경에서의 QoS를 보장하기 위해 IEEE 802.11 매체 접근 제어(MAC, Medium Access Control) 방식을 향상시킨 IEEE 802.11e 표준화를 진행 하였으며, 서비스 품질 향상을 위한 여러 적응형 기법들이 제안 되었다[1-5].

무선 인터넷 환경에서 주요한 비디오 코덱으로 활용되고 있는 MPEG-4는 기존의 MPEG-1과 MPEG-2에 비해 호환성이 향상되고, 고능률의 압축이 가능하며, 무선 환경에서와 같이 대역폭이 적은 통신 매체에서도 전송이 가능하여 양방향의 멀티미디어 서비스를 구현하는데 장점을 가지고 있다. MPEG-4는 I 프레임, P 프레임, B 프레임의 3가지 종류의 프레임으로 구성되어 있으며, 각각의 프레임은 서로 다른 압축율과 프레임간의 의존성을 가진다. 프레임간의 의존성에 의한 중요도에 따라 차별적인 QoS의 지원이 필요하다.

본 논문에서는 스트리밍 서비스의 종단간 QoS를 향상시키기 위해 IEEE 802.11e 무선랜 환경에서 효율적인 대역폭 측정을 통한 Cross-layer 기반의 비디오 전송 기법에 관한 연구를 수행하였으며, 성능 측정을 통해 유효성을 검증하였다. 본 논문에서 제안하는 Cross-layer 기반의 비디오 전송 기법은 MPEG-4 프레임의 상대적인 중요도에 따라 IEEE 802.11e EDCA(Enhanced Distributed Channel Access) 모델의 차별적인 매체 접근 방법을 제공하고, 대역폭 측정 방식을 개선하여 효율적으로 네트워크 상황을 모니터링 하였으며, 프레임 폐기(Frame Dropping)를 통하여 중요도가 낮은 프레임들을 우선적으로 폐기함으로써 현재의 네트워크 상태에 적응적인 전송을 조절을 수행한다.

본 논문의 2장에서는 MPEG-4 비디오 인코딩 기법, IEEE 802.11e 매체 접속 방식 그리고 IEEE 802.11e 매체 접속 방식을 이용한 기존의 멀티미디어 전송 프로토콜에 대해 기술하였고, 3장에서는 제안하는 IEEE 802.11e 환경에서의 Cross-layer 기반의 비디오 전송 기법에 대해 기술하였다. 4장에서는 제안한 기법의 시뮬레이션을 통한 성능 검증 결과에 대하여 기술하였으며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺었다.

2. 관련연구

2.1 MPEG-4 비디오 인코딩 기법

MPEG-4 인코딩 기법은 MPEG(Moving Picture Experts Group)에서 만든 멀티미디어 정보의 압축전송 기법에 대한 표준으로, 비디오 CD 등의 저장매체를 위한 MPEG-1, 디지털TV를 위한 MPEG-2 보다 향상된 표준안이다. 특히, MPEG-4는 기존의 MPEG-1, MPEG-2에 비해 고효율의 압축이 가능하며, 대역폭이 적은 통신 매체에서도 전송이 가능한 양방향 멀티미디어를 구현할 수 있는 표준 부호화 방식이라는 점에서 무선의 네트워크 환경에서 주요한 비디오 코덱으로 활용되고 있다. MPEG-4의 인코더에 의해 생성되는 프레임은 3가지 종류가 있으며 각 프레임의 특징은 다음과 같다[6,7].

- I 프레임(Intra-coded frame) - 독립적으로 인코딩과 디코딩을 할 수 있는 스틸 이미지의 정보를 가진다. 다른 프레임에 비해 가장 낮은 압축율을 가진다.
- P 프레임(Predictively-coded frame) - 이전의 I 프레임 또는 P프레임의 정보를 이용하여 인코딩 또는 디코딩 한다. 이전 프레임의 정보를 참조하는 P 프레임은 I 프레임보다 높은 압축율을 가진다.
- B 프레임(Bidirectionally predictively-coded frame) - 이전의 I 프레임 또는 P 프레임 그리고 따라오는 I 프레임 또는 P 프레임의 정보를 이용해 인코딩 또는 디코딩 한다. 이전 프레임과 따라오는 프레임의 정보를 참조하는 B 프레임은 다른 프레임들 중에 가장 높은 압축율을 갖는다.

각 프레임을 디코딩하기 위해서는 참조하는 기준 프레임이 먼저 전송 되어야 한다. 그렇기 때문에 그림 3과 같이 전송하는 순서와 보여지는 순서는 다르게 된다. 송신측에서 전송하는 첫 번째 GOP(Group of Picture)는 그림 3과 같이 전송되고 스틸 이미지 정보를 가지는 기준 프레임인 I 프레임은 항상 GOP에서 가장 먼저 전송 된다. I 프레임은 첫 번째 P 프레임의 참조를 위해 먼저 전송 되고, 이어서 I 프레임과 P 프레임을 참조하여 디코딩을 하는 B 프레임이 전송되어진다.

I 프레임은 독립적으로 디코딩할 수 있고, P 프레임은 이전의 I 프레임 또는 P프레임에 의존성을 가지게 되며, B 프레임은 이전의 I 프레임 또는 P 프레임과 따라오는 I 프레임 또는 P 프레임에 의존성을 가지게 된다. 만약 P 프레임이 전송 되지 않는다면, 해당 P 프레임에 의존성을 가지는 P 프레임 또는 B 프레임을 디코딩을 하는

전송 순서 - **IPBBPBBPBBIBB**

재생 순서 - **IBBPBBPBBPBBBI**

그림 1 MPEG-4 프레임의 전송순서와 재생 순서

데 문제가 발생하게 되며, 이는 영상의 품질의 저하를 가져오게 됨을 의미하게 된다. 각 프레임 간의 의존성으로 보아 프레임의 중요도는 $I > P > B$ 의 순서로 매겨질 수 있으며, 송신측에서 전송할 데이터의 중요도에 따른 차별적인 QoS 지원을 위한 전송방식을 제공한다면 전송하는 영상의 종단간의 품질을 향상시킬 수 있음을 짐작할 수 있다.

2.2 IEEE 802.11e 매체 접근 제어 프로토콜

기존의 IEEE 802.11은 세계적으로 가장 많이 보급된 매체 접근 방법 중의 하나이다. 하지만 IEEE 802.11은 모든 스테이션들이 같은 파라미터와 동일한 접근 방법을 사용하기 때문에 QoS를 보장하는데 어려움이 있다. 멀티미디어 스트리밍과 같은 서비스의 성장과 함께 QoS 보장에 대한 요구가 증가 하고 있으며, QoS 보장을 위해 새롭게 제안된 IEEE 802.11e 매체 접근 제어 프로토콜은 기존의 IEEE 802.11 매체 접근 제어 프로토콜을 확장하여 HCF(Hybrid Coordination Function)를 새롭게 정의하였다. HCF는 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)와 HCCA(HCF Controlled Channel Access) 모델의 두 가지 방법을 제안하고 있다. EDCA 모델은 경쟁 기반 매체 접근 방법이며, HCCA 모델은 HC(Hybrid Coordinator)의 통제 아래 동작하는 폴링 기반 매체 접근 방법이다. EDCA 모델은 우선순위에 기반한 차별화된 서비스를 제공하기 위해 설계 되었으며, 기존 802.11의 DCF(Distributed Coordination Function) 모델과 그 구성이 매우 유사하다. EDCA 모델에서는 QoS지원을 위해 AC(Access Category)의 개념을 정의 하고 있는데 각각의 AC는 사전에 결정된 경쟁 파라미터와 DIFS(Distributed Interframe Space)를 대체하는 AIFS[AC](Arbitration Interframe Space), 그리고 AC별로 차별화된 $CW_{min}[AC]$ 과 $CW_{max}[AC]$ 의 속성을 가지고 있다[2,8,9].

그림 1은 내부에서 우선순위를 결정하기 위한 QoS 파라미터와 가상 스테이션처럼 인식되는 4개의 전송큐를 가지는 WSTA(Wireless Station)의 구조를 보여준다. 만약 한 스테이션 안에 위치한 복수개의 병렬화된 AC의 백오프 카운터 값들이 같은 시간에 0에 도달하게 되면, WSTA 안에 위치한 스케줄러가 가상 충돌 (Virtual Collision)을 방지하도록 한다.

그림 2는 EDCA 모드의 매체 접근 방법을 보여준다. 각각의 프레임들은 AC에서 정의되어진 우선순위에 따라 AIFS[AC]의 크기가 다르게 되며, 최상위 우선순위를 갖는 프레임은 DIFS와 같은 IFS(Interframe Space)를 가지고 우선순위가 낮을수록 더 긴 IFS를 가지게 되어, 결과적으로 우선순위가 높은 프레임이 매체에 접근할 확률이 커지게 된다. 경쟁 윈도우의 크기는 각 우선

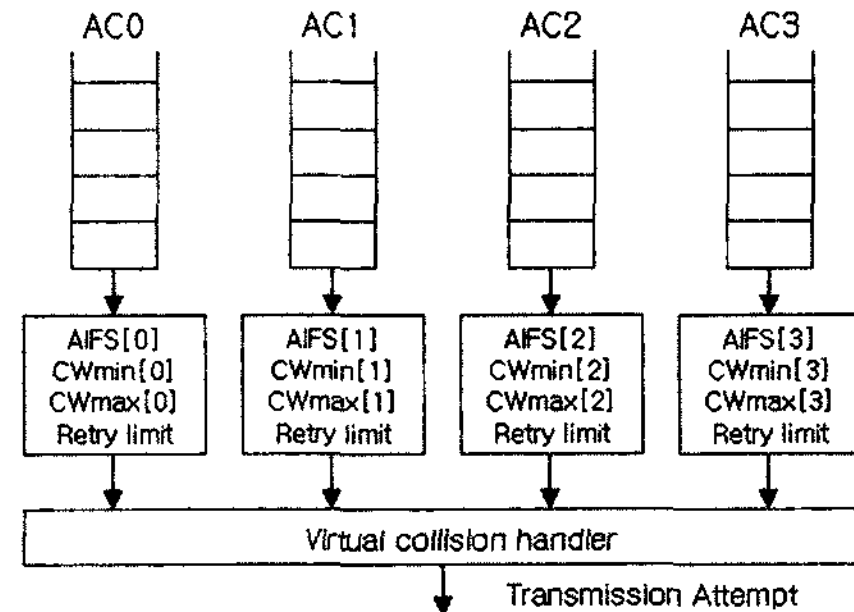


그림 2 IEEE 802.11e EDCA 모델의 구조

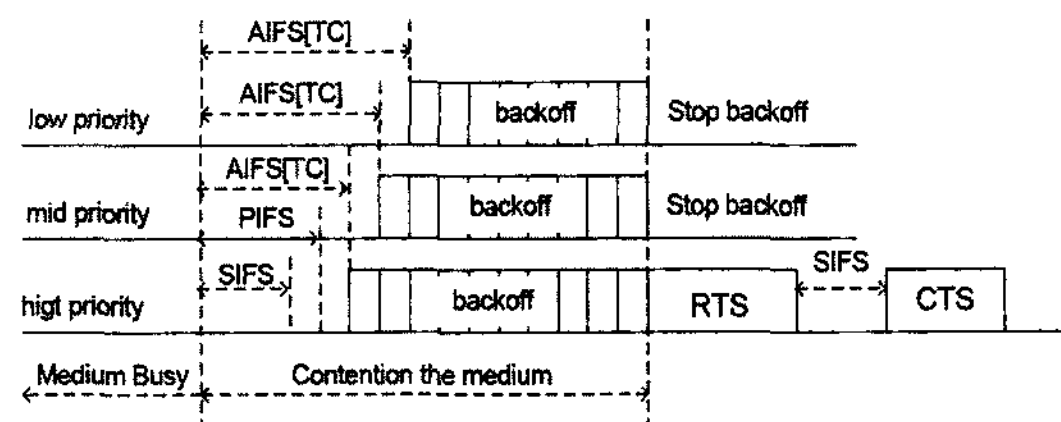


그림 3 IEEE 802.11e EDCA 모델에서의 매체 접근 제어 방식

순위에 따라 다른 $CW_{min}[AC]$ 과 $CW_{max}[AC]$ 를 가지게 되는데, 높은 우선순위의 프레임일수록 작은 $CW_{min}[AC]$ 과 $CW_{max}[AC]$ 를 가진다. 이로 인해 높은 우선순위의 프레임은 충돌이 발생해도 매체접속까지의 대기시간을 줄일 수 있게 되어, 전송큐의 데이터가 전송 권한 (Transmission Opportunity)을 획득하는데 유리해지게 된다.

2.3 IEEE 802.11e 기반 멀티미디어 전송 프로토콜

최근 IEEE 802.11e EDCA 모델의 매체 접근 제어 기능을 이용하여 전송하는 데이터의 중요도에 따라 효율적으로 멀티미디어 영상을 전송시키고 영상의 품질을 높이기 위한 많은 연구가 진행되었다[3-5,10]. 기존의 연구에서 음성, 영상 그리고 데이터의 종류에 따라 중요도를 다르게 적용하여 IEEE 802.11e EDCA 모델의 차별적인 매체 접근 제어 방식을 적용시키고, 전송 중에 손실되는 프레임을 성공적으로 전송한 프레임을 이용해 재구성하여 사용자입장에서의 서비스 품질을 높이기 위한 연구가 진행 되었다[5]. 그리고 H.264와 같은 영상 데이터의 중요도에 따라 IEEE 802.11e EDCA 모델의 차별적인 매체 접근 제어 방식을 이용하여 서비스의 품질을 향상시키기 위한 기법들이 제안 되었다[10]. 하지만 기존의 연구들은 전송할 데이터의 중요도에 따라 IEEE 802.11e EDCA 모델의 AC별로 분류하여 데이터를 전송시키고 사용자 입장에서의 서비스 품질을 높이기 위한 접근을 시도하였지만, 네트워크 상태에 적응적으로 전송을 조절을 하지 못하여 현재의 네트워크가 허용할

수 있는 범위를 넘어서는 데이터 전송을 시도할 수 있으며, 결과적으로 전송큐의 오버플로우 또는 데이터의 손실을 발생 시켜 전송하는 영상의 품질을 저하 시킬 수 있다는 문제를 가진다.

3. Cross-layer 기반의 비디오 전송 기법

3.1 전체 구조

IEEE 802.11e 환경에서 멀티미디어 데이터 전송을 위해 본 논문에서 제안한 Cross-layer 기반의 비디오 전송 기법의 구조는 그림 4와 같다. 응용 계층(Application Layer), 전송 계층(Transport Layer), IEEE 802.11e 매체 접근 제어 계층(MAC Layer)의 3개의 계층으로 구성되며, 각 계층에 대한 설명은 다음과 같다.

응용 계층에서는 3가지 다른 역할을 수행하는 모듈이 존재한다. 3가지 모듈은 전송하게 될 영상의 프레임 생성하는 영상 부호화 모듈(Video Coding Module), 각 프레임의 중요도에 따라 우선순위를 부여하는 패킷 우선순위화 모듈(Prioritized Packetization Module), 그리고 수신측에서 피드백(Feedback) 되어진 네트워크 상태 정보에 따라 네트워크에 적응적으로 전송율을 조절하기 위해 프레임을 폐기하는 프레임 폐기 모듈(Frame Dropping Module)로 이루어져 있다.

전송 계층에서는 멀티미디어 데이터 전송과 피드백 정보를 상위 계층으로 전달하는 역할을 수행한다. 실시간 데이터 전송을 위한 국제 표준인 RTP/RTCP(Real-

time Transport Protocol/Real-time Transport Control Protocol) 프로토콜을 사용하여 전송하였으며, 수신측에서 피드백 되어진 RTCP 패킷의 현재 네트워크 상태 정보를 응용 계층의 프레임 폐기 모듈로 전달하는 역할을 수행한다.

마지막으로 IEEE 802.11e 매체 접근 제어 계층에는 QoS 매핑 모듈(QoS Mapping Module)과 IEEE 802.11e 매체 접근 제어 프로토콜로 구성된다. QoS 매핑 모듈에서는 프레임의 중요도에 따라 다르게 부여한 우선순위를 이용해 IEEE 802.11e EDCA 모델의 각 AC에 해당하는 전송큐에 할당하고, 프레임의 중요도에 따라 차별적인 무선 매체 접근을 시도하도록 하였다.

3.2 패킷 우선순위화

패킷 우선순위화 모듈에서는 전송하는 MPEG-4 영상의 프레임 중요도에 따라 프레임에 우선순위를 부여하는 역할을 한다. MPEG-4에서 제안하는 프레임 형식은 I 프레임, P 프레임, B 프레임의 3가지 프레임 형식이 있으며 중요도는 I > P > B 순으로 각 프레임의 의존성과 프레임의 압축율에 따라 결정된다[11]. 그림 5는 프레임의 중요도에 따라 각 프레임에 우선순위를 부여하는 패킷 우선순위화 모듈의 구조를 나타낸 것이다.

패킷 우선순위화 모듈의 파서(Parser)는 영상 부호화 모듈로부터 받은 MPEG-4 프레임 데이터를 분석하여 프레임의 종류를 판단하고, 파서에서 인식한 프레임의 종류에 따른 중요도를 바탕으로 각 프레임에 우선순위를 부여한다. IEEE 802.11e EDCA 모델의 AC별 AIFS [AC], CWmin, CWmax와 Max retry limit의 파라미터 값과 MPEG-4 영상의 중요도에 따른 각 AC와의 관계를 표 1에 나타내었다.

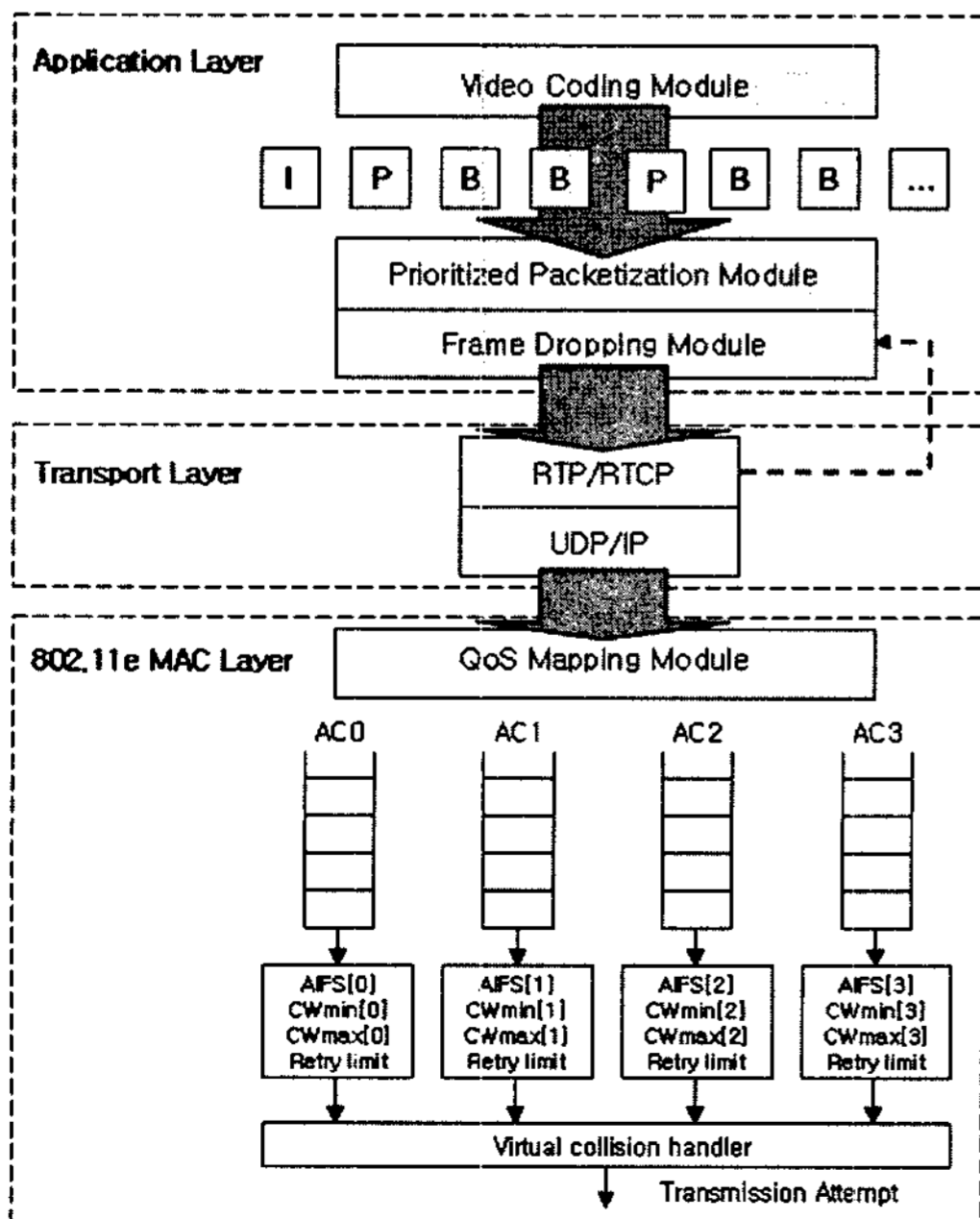


그림 4 Cross-layer 기반의 비디오 전송 기법의 구조

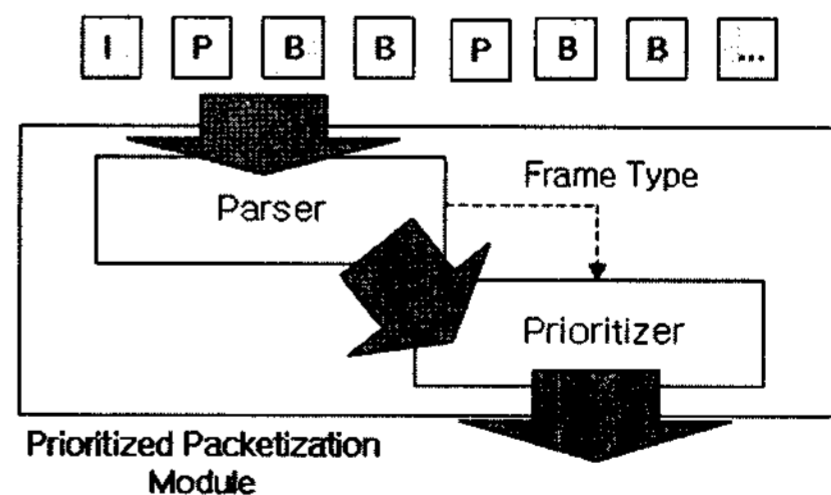


그림 5 패킷 우선순위화 모듈의 구조

표 1 IEEE 802.11e EDCA MAC 파라미터

Type	AIFS (μs)	CWmin	CWmax	Max retry limit
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

3.3 적응적인 전송율 결정

송신측에서의 불필요한 전송 시도에 의한 오버플로우와 패킷 손실을 줄이기 위해서는 적응적인 전송율 조절이 필요하다. 이를 위해, 본 논문에서는 현재의 네트워크의 상태를 파악하고 적응적으로 전송율을 조절 하기 위해 수신측에서의 패킷 도착 시간 간격을 이용하여 대역폭 측정을 수행한다. IEEE 802.11e EDCA 모델은 각 AC에 따라 다른 AIFS[AC]와 IFS를 가지기 때문에 전송되는 데이터를 수신측에서 AC의 구별 없이 수신하게 된다면 각 AC별로 다른 IFS의 영향으로 수신측에서 측정되는 패킷 도착 시간 간격은 불규칙하게 변동을 하게 되고, 이로 인해 올바른 대역폭 측정을 하지 못하게 된다.

본 논문에서는 IEEE 802.11e EDCA 모델에서 불규칙한 IFS에 의한 부정확한 대역폭 측정 방법을 보완하여 IFS의 변동에 영향을 받지 않도록 각 AC별로 독립적으로 대역폭을 측정하는 방법을 사용하였다. 수신측에서는 각 AC별로 수신되는 패킷을 구분하여 패킷 도착 시간 간격을 측정하므로써 다른 AC의 IFS에 영향을 받지 않고서 독립적으로 대역폭 측정이 가능하게 된다. 각 AC에서 독립적으로 측정한 대역폭의 합을 추가하여 적절한 대역폭을 구하고 이를 송신측으로 피드백 하여 현재 네트워크의 상태에 적응적으로 전송율을 조절하도록 한다. 식 (1)은 각 AC에서 수신되는 패킷의 패킷 도착 시간 간격을 이용해 대역폭 샘플(Bandwidth Sample)을 측정하는 식을 나타낸다.

$$\text{Bandwidth Sample}[i] = \frac{S_2}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

$\text{Bandwidth Sample}[i]$ 는 독립적으로 측정된 각 AC($i = 0, 1, 2, 3$)에서의 대역폭을 나타내며, S_2 와 t_2 는 현재 받은 패킷의 크기와 받은 시간을 나타내고, t_1 은 이전 패킷을 받은 시간, $t_2 - t_1$ 은 패킷 도착 시간 간격을 나타낸다. 불안정한 무선 환경에서 대역폭 측정값의 급격한 변화를 줄이기 위해 식 (2)의 저역필터를 이용해 현재 시간 t 에서의 안정화된 대역폭을 구하고, 현재 네트워크의 가용 대역폭(R_F)을 구하기 위해 식 (3)을 이용해 IEEE 802.11e EDCA 모델의 4가지 AC별로 측정된 대역폭($BSE[i]$)을 합한다. 합산한 대역폭은 RTCP RR (Receiver Report) 패킷에 실어 주기적으로 송신측으로 피드백 하여 송신단에서 적응적인 전송율 조절을 할 수 있도록 한다.

$$BSE_t[i] = \alpha \cdot BSE_{t-1}[i] + (1-\alpha) \cdot \frac{BSE_t[i] + BSE_{t-1}[i]}{2} \quad (2)$$

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

3.4 프레임 폐기를 이용한 적응적 전송율 조절

IEEE 802.11e EDCA 모델의 각 AC에 따라 측정된 대역폭 정보는 송신단의 프레임 폐기 모듈에 전달되며, 이를 기반으로 프레임을 폐기함으로써 네트워크에 적응적인 전송율 조절을 하게 된다. 프레임 폐기는 수신측에서 주기적으로 피드백 되어진 현재 네트워크의 가용 대역폭과 MPEG-4 영상 데이터의 전송율을 비교한다. 수신측에서 측정된 현재 네트워크의 가용 대역폭보다 데이터의 전송율이 크게 될 경우 현재 전송할 GOP 내부의 프레임 중 중요도가 낮은 프레임을 우선적으로 폐기하여 전송율을 낮추게 된다.

식 (4)와 식 (5)는 송신측에서의 데이터 전송율(R_G)을 구하는 식을 나타낸다. G_r 은 초당 전송되는 GOP의 수, Size of GOP 는 현재 전송할 GOP의 바이트 단위의 크기, r_f 는 영상의 초당 프레임율을 의미하며, n_G 는 하나의 GOP를 구성하는 프레임의 개수를 나타낸다.

$$R_G = G_r \cdot \text{Size of GOP} \quad (4)$$

$$G_r = \frac{r_f}{n_G} [\text{GOP}/s] \quad (5)$$

송신측에서 프레임 폐기를 통한 적응적 전송율 조절을 위해 수신측에서 피드백 받은 가용 대역폭(R_F)과 식 (4)에서 계산한 데이터의 전송율을 비교한다. 데이터의 전송율이 현재 네트워크의 가용 대역폭보다 클 경우에는 그림 6과 같이 전송할 GOP 내에서 상대적으로 중요도가 낮은 B 프레임을 우선적으로 폐기하여 네트워크 상태에 적응적인 전송율 할 수 있도록 한다.

그림 6은 프레임 폐기를 통해 데이터의 전송율을 조절하는 의사코드(Pseudo-code)를 나타낸다. 데이터 전송율이 가용 대역폭보다 클 경우 데이터 전송율이 가용 대역폭보다 작을 때까지 가장 중요도가 낮은 B 프레임을 하나씩 폐기하면서 프레임 폐기에 의해서 줄어든 데이터 전송율을 다시 계산한다. 모든 B 프레임을 폐기하여도 데이터 전송율이 가용 대역폭보다 큰 값을 가지게 된다면, P 프레임을 B 프레임과 같은 방식으로 폐기하

```

drop_loop = 1
while ( RG > RF && drop_loop == 1)
  if ( Number of B-frame > 0)
    Drop one B-frame
    Re-calculate RG
  else if ( Number of P-frame > 0 )
    Drop one P-frame
    Re-calculate RG
  else
    // Enqueue an I-frame to AC[3]
    drop_loop = 0

```

그림 6 적응적 전송율 조절을 위한 프레임 폐기 기법

고 전송율의 비교를 계속한다. 하지만 모든 B 프레임과 P 프레임을 폐기하여도 데이터 전송율이 가용 대역폭보다 크게 된다면, 본 논문의 프레임 폐기를 통한 적응적 전송율 조절 기법은 영상의 최소한의 품질 보장을 위해 네트워크 상태가 나쁘더라도 가장 중요도가 높은 스틸 이미지의 정보를 가지는 I 프레임은 B, P 프레임처럼 폐기하지 않고 전송을 시도하여 네트워크에서 경쟁을 하도록 한다.

4. 실험 결과

본 장에서는 IEEE 802.11e 무선랜 환경에서의 효율적인 대역폭 측정을 통한 Cross-layer 기반의 비디오 전송 기법의 성능을 평가하였다. 성능 평가를 위한 시뮬레이터로는 LBNL(Lawrence Berkely National Laboratory)의 ns-2(network simulator)를 사용하였다. 응용 계층에서의 가변 비트율(VBR, Variable Bit Rate)을 가지는 MPEG-4 트래픽의 생성을 위해 TES(Transform Expand Sample) 모델을 이용하였고, 매체 접근 제어 계층에는 IEEE 802.11e EDCA 모델을 사용하여 제안한 기법의 성능 평가를 수행하였다[7,12,13].

제안한 기법의 성능을 평가하기 위해 그림 7과 같은 환경을 구성하였다. 노드 N1과 W1사이에는 TES 모델에 의해 생성된 가변 비트율의 MPEG-4 트래픽을 전송하였으며, 노드 N2와 W2에는 UDP(User Datagram

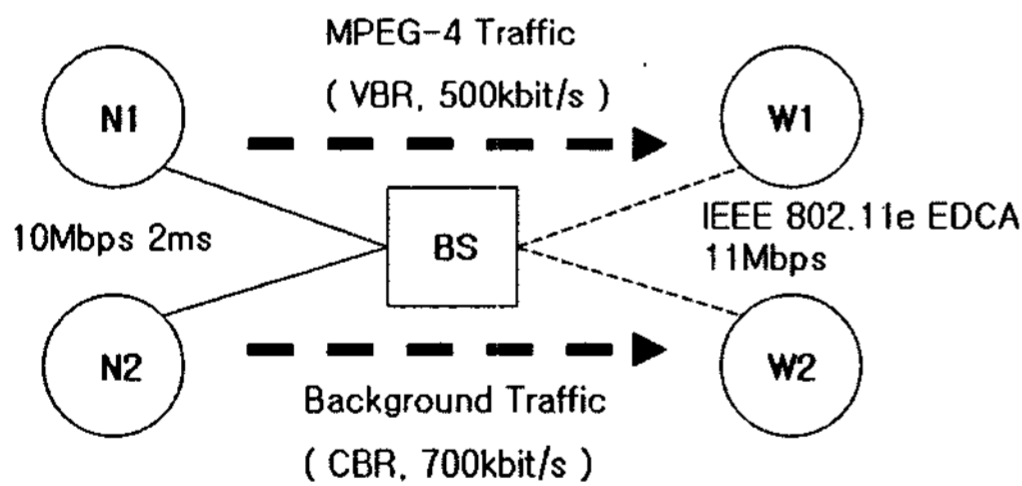


그림 7 실험 환경

Protocol)를 사용한 고정 비트율(CBR, Constant Bit Rate)의 배경 트래픽을 전송하였다.

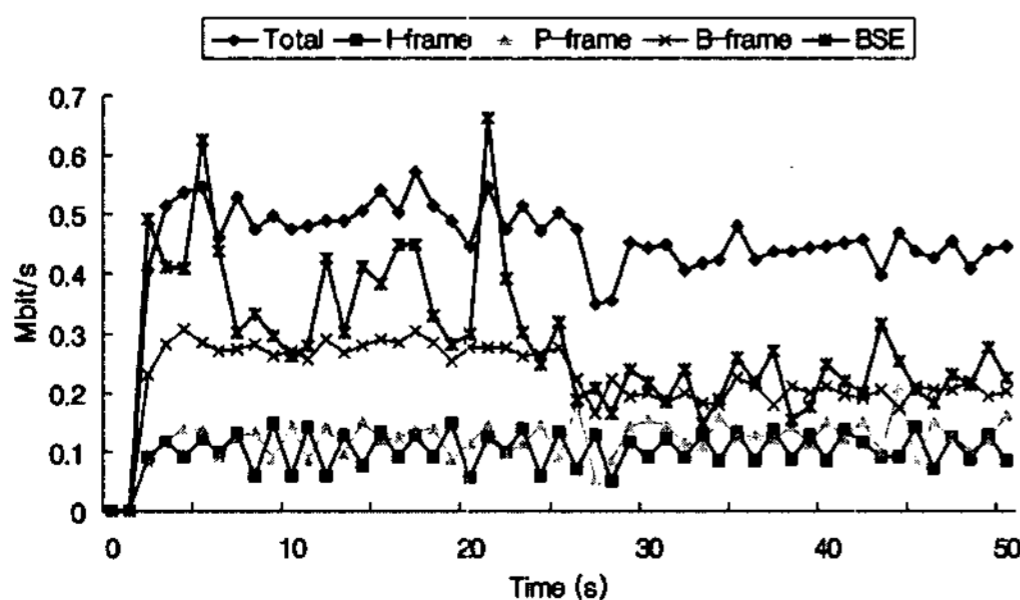
4.1 네트워크 대역폭 측정

본 절에서는 제안하는 AC별 가용 대역폭 측정 방식의 정확성 검증을 위한 실험을 수행 하였다. 대역폭 측정 실험은 50초간 진행 하였으며, 노드 N1과 W1에는 500Kbit/s의 가변 비트율의 MPEG-4 트래픽을 전체 실험 시간동안 전송 하였으며, 노드 N2와 W2사이에는 700Kbit/s의 고정 비트율을 가지는 배경 트래픽을 실험 시간의 25초부터 50초 사이에 전송하여 수신측에서의 대역폭 측정을 수행 하였다. 그림 8의 (a)는 IEEE 802.11e EDCA 모델의 각 AC의 전송 큐에서 전송 되는 데이터를 수신측에서 AC에 따른 구별을 하지 않고서 대역폭을 측정한 결과를 나타낸다. IEEE 802.11e EDCA 모델의 각 AC에 따라 다른 AIFS[AC]값과 IFS의 영향으로 수신측에서 올바르게 대역폭을 측정하지 못하는 결과를 보여준다. 그림 8의 (b)는 전송 되는 데이터를 수신측에서는 AC에 따라 다른 AIFS[AC]값과 IFS의 영향을 줄이기 위해 각 AC별로 대역폭을 측정하여 합산한 결과를 나타낸다. 제안하는 AC별 대역폭 측정 기법은 각 AC마다 독립적으로 대역폭을 측정하고 이를 합함으로써 보다 정확하게 대역폭을 측정하는 것을 확인할 수 있었다.

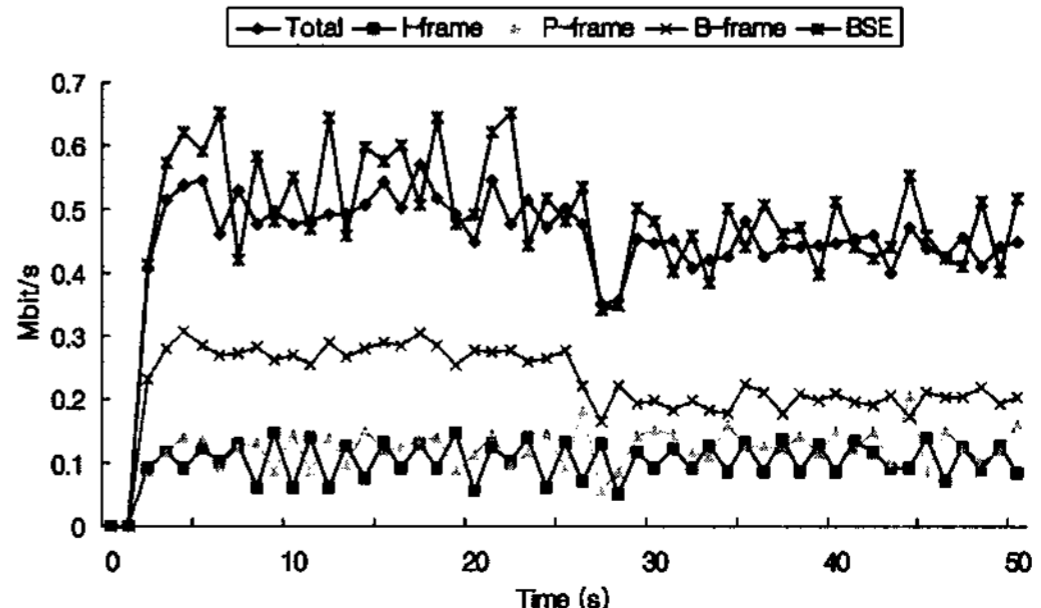
4.2 전송율 측정

본 절에서는 효율적인 대역폭 측정을 통하여 현재 네트워크 상태에 적응적으로 전송율을 조절하는 프레임 폐기 기법의 성능을 측정하였다. IEEE 802.11e EDCA 모델을 이용해 MPEG-4 트래픽을 전송하면서, 제안한 Cross-layer 기반의 프레임 폐기 기법을 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때, 그리고 AC를 고려하지 않은 대역폭 측정 기법을 사용한 기존 프레임 폐기 기법의 전송율을 비교한다.

표 2는 실험을 통한 성능 측정에 사용한 파라미터를 나타낸다. 송신측에서 전송할 가변 비트율의 MPEG-4



(a) AC를 고려하지 않은 대역폭 측정

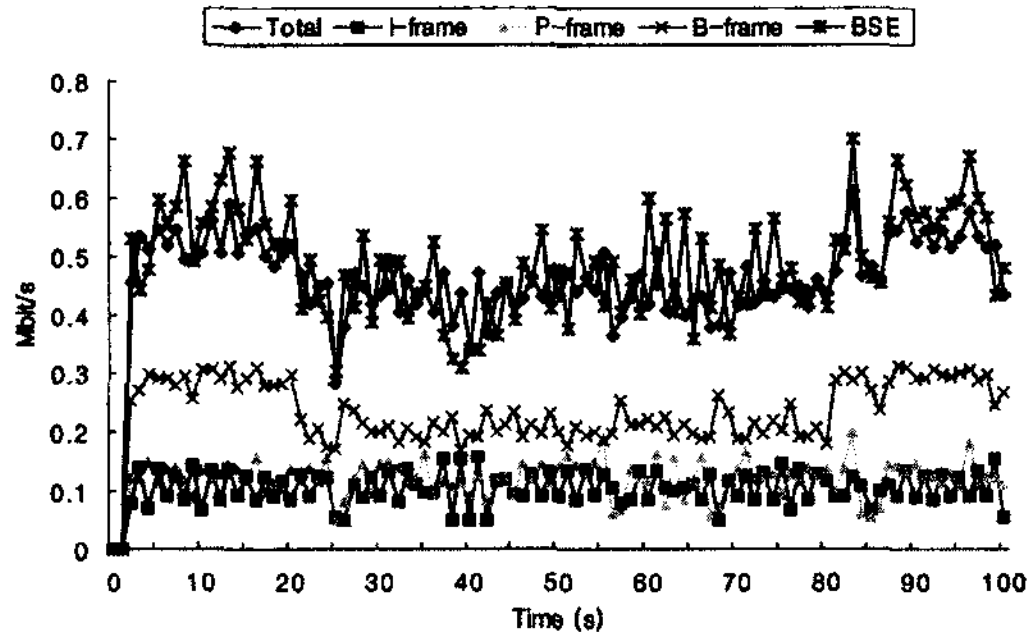


(b) AC를 고려한 대역폭 측정

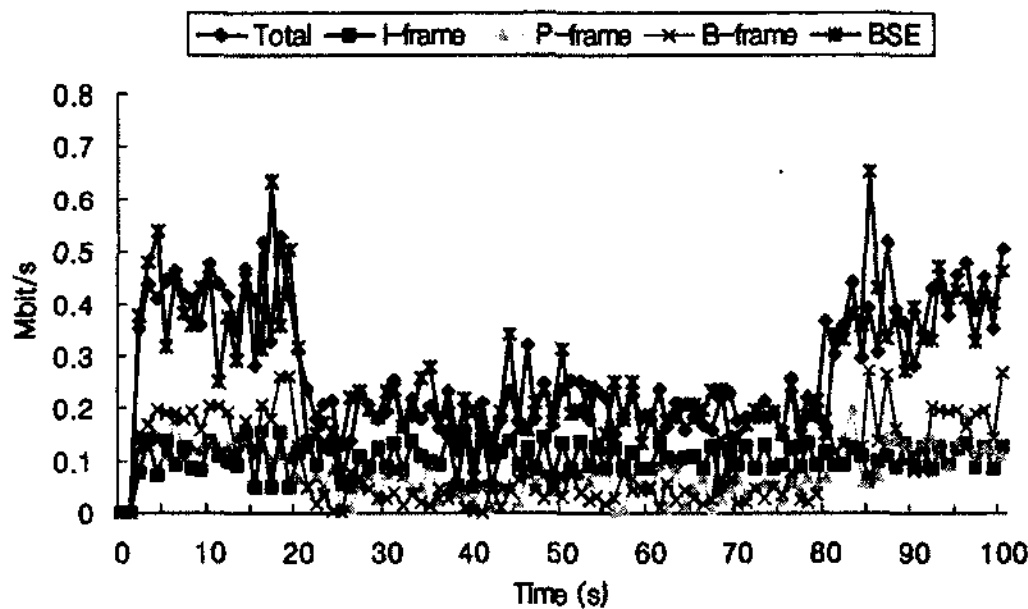
그림 8 대역폭 측정

표 2 성능 실험에 사용된 파라미터

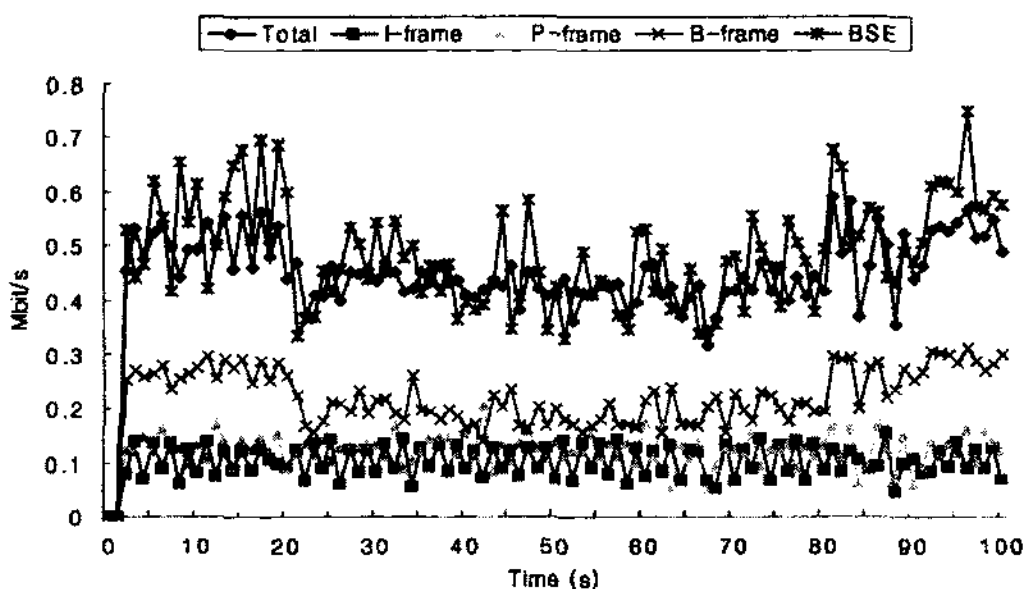
Frame rate	30 fps
GOP pattern	IBBPBBPBBPBB
Simulation time	100s
Background traffic	700Kbit/s (20s~80s)
Packet loss rate	4% (0.04)



(a) IEEE 802.11e EDCA 모델



(b) IEEE 802.11e EDCA 모델 + AC-ignorant 프레임 폐기 기법

(c) IEEE 802.11e EDCA 모델 + AC-aware 프레임 폐기 기법
그림 9 프레임별 전송율 변화

트래픽의 프레임 율은 초당 30 프레임, MPEG-4 트래픽의 GOP 패턴은 "IBBPBBPBBPBB", 실험은 100초간 진행 하였으며, 고정 비트율을 가지는 배경 트래픽은 20 초에서 80초 사이에 전송 하였으며, 무선 환경에서의

PLR(Packet Loss Rate)는 4%로 설정 하였다.

그림 9의 (a)는 MPEG-4 트래픽의 프레임 중요도에 따라 IEEE 802.11e EDCA 모델의 차별적인 전송 방식으로 데이터를 전송 하였을 때의 결과를 보여준다. 배경 트래픽이 발생하는 20초와 80초 사이에는 I 프레임과 P 프레임에 비해 낮은 매체 접근 우선순위를 가지는 B 프레임의 트래픽이 배경 트래픽의 영향을 받아 전송율이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

그림 9의 (b)는 MPEG-4 프레임의 중요도에 따른 IEEE 802.11e EDCA 모델의 차별적인 전송 방식과 수신측에서 AC를 고려하지 않은 대역폭 측정 기법을 이용하는 기존의 프레임 폐기 기법의 실험 결과를 나타낸다. AC를 고려하지 않은 대역폭 측정 방식은 정확한 대역폭을 구하지 못하여 송신단에서 불필요한 프레임 폐기를 수행하게 되어, 현재의 네트워크 상태에 적응적이지 못하고 전체적으로 낮은 전송율을 보이는 것을 실험 결과를 통해 알 수 있다.

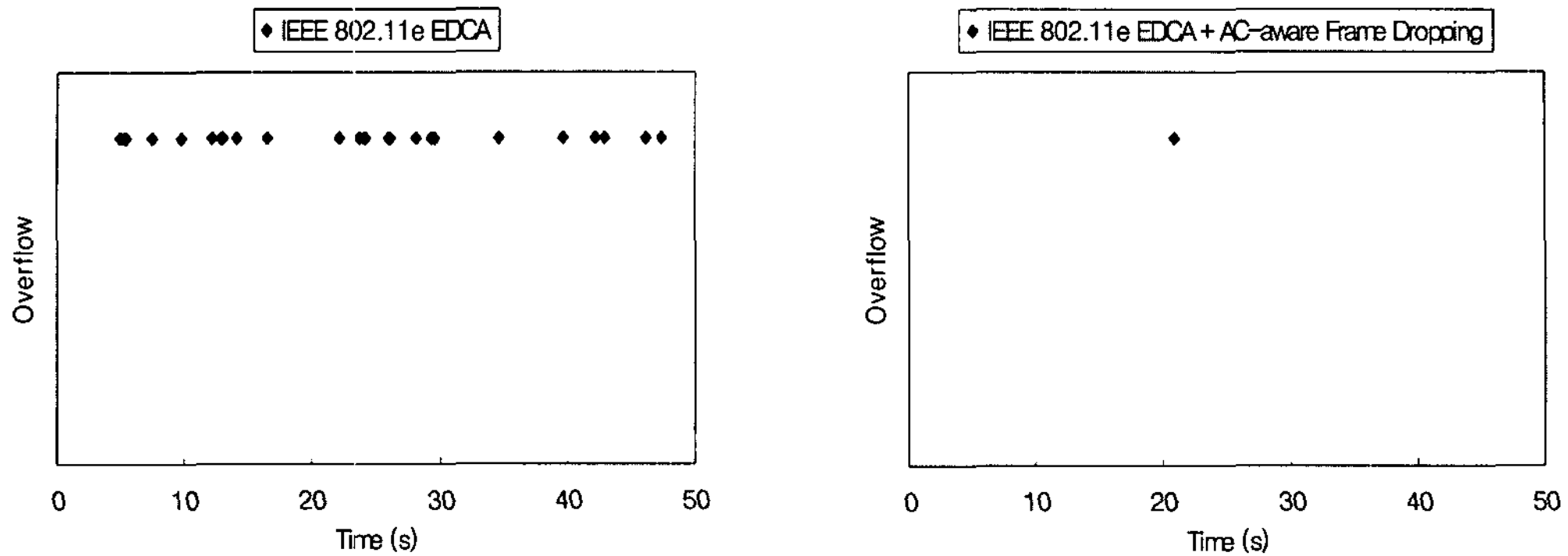
그림 9의 (c)는 IEEE 802.11e EDCA 모델에 MPEG-4 프레임의 중요도에 따른 IEEE 802.11e EDCA 모델의 차별적인 전송 방식과 AC를 고려한 대역폭 측정을 통한 프레임 폐기하는 기법을 추가한 실험 결과를 나타낸다. 본 논문에서 제안한 AC를 고려한 대역폭 측정 방식을 이용한 프레임 폐기 기법이 현재의 네트워크에 적응적으로 네트워크의 가용 대역폭을 활용하는 것을 이전 결과와의 비교를 통해 확인할 수 있다.

4.3 오버플로우 발생 빈도 측정

본 절에서는 IEEE 802.11e EDCA 모델에 MPEG-4 트래픽의 프레임 중요도에 따른 차별적인 매체 접근 방법과 프레임 폐기 기법의 추가에 따른 전송 큐에서의 오버플로우 빈도수에 대한 실험을 수행 하였다. MPEG-4 트래픽에서 가장 많은 전송량을 보여주는 B 프레임의 전송 큐에서의 버퍼 오버플로우 발생 빈도를 네트워크가 포화 상태에 이르렀을 때부터 50초간 측정하였다.

그림 10의 (a)는 프레임 폐기 기법을 적용하지 않았을 때의 전송 큐에서의 오버플로우 발생 빈도를 측정한 결과이다. 네트워크 상태에 적응적이지 못하여 불필요한 전송 시도와 함께 전송 큐에서의 오버플로우가 빈번하게 발생하여 효율적이지 못한 전송을 하는 것을 보여준다.

기존의 AC를 고려하지 않은 대역폭 측정 방식을 통한 프레임 폐기 기법은 계속해서 불필요한 프레임 폐기를 수행하여 송신단은 현재 네트워크의 가용 대역폭에 미치지 못하는 전송율을 가져 전송 큐에서의 오버플로우는 발생하지 않았다. 그리고 본 논문에서 제안하는 Cross-layer 기반의 AC를 고려한 대역폭 측정 방식을 통한 프레임 폐기 기법의 전송큐에서의 오버플로우 발생 빈도는 그림 10의 (b)에 나타낸다. 효율적으로 네트



(a) IEEE 802.11e EDCA 모델

(b) IEEE 802.11e EDCA 모델 + AC-aware 프레임 폐기 기법

그림 10 오버플로우 발생 빈도

워크 상태를 측정하여 적응적인 프레임 폐기를 통한 전송을 조절을 하기 때문에 그림 10의 (a)의 결과와는 다르게 전송 큐의 오버플로우가 거의 발생하지 않는 것을 확인 할 수 있었고, 네트워크 상태에 적응적인 전송을 조절이 송신측에서의 불필요한 패킷의 전송 시도에 의한 백오프 발생과 전송큐에서의 오버플로우를 줄임을 예상 할 수 있다.

4.4 프레임율 측정

본 절에서는 IEEE 802.11e EDCA 모델에 프레임 중요도에 따른 차별적인 전송과 프레임 폐기 기법의 추가에 따른 프레임율에 대한 측정을 수행하였다. 그림 11은 프레임 폐기 기법을 적용하지 않은 IEEE 802.11e EDCA 모델과 AC를 고려하지 않은 대역폭 측정 방식을 이용한 프레임 폐기 기법, 그리고 본 논문에서 제안하는 AC를 고려한 대역폭 측정 방식을 이용한 네트워크 상태에 적응적인 프레임 폐기 기법의 프레임율 측정 결과를 나타낸다.

IEEE 802.11e EDCA 모델에 AC를 고려하지 않은 대역폭 측정 방식을 이용한 프레임 폐기 기법은 정확하지 않은 대역폭 측정으로 인해 불필요한 프레임 폐기를 수행하여 전체적으로 가장 낮은 프레임율을 보인다. IEEE 802.11e EDCA 모델에 프레임 폐기 기법을 적용하지

않은 결과는 현재의 네트워크 상태에 적응적이지 못하여 송신단에서의 불필요한 전송 시도와 전송큐에서의 오버플로우 발생으로 인한 불안정한 프레임율 감소를 보이며, 본 논문에서 제안하는 네트워크 상태에 적응적으로 프레임율을 조절하는 AC를 고려한 대역폭 측정을 이용한 프레임 폐기 기법은 프레임 폐기 기법을 적용하지 않은 결과에 비해 안정적인 프레임율을 보여주는 것을 확인할 수 있다.

4.5 종단간 패킷 손실을 측정

본 절에서는 전송하는 영상의 품질을 측정하기위해 IEEE 802.11e EDCA 모델에 MPEG-4 트래픽의 프레임 중요도에 따른 차별적인 전송과 프레임 폐기 기법의 추가에 따른 종단간 패킷의 손실율에 대한 실험을 수행하였다. 일반적으로 영상의 품질을 측정하는 기준으로 활용되는 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)은 사용자의 서비스 품질과 비례적인 관계를 가지며, 서비스 품질은 종단간의 패킷 손실율과 반비례적인 관계를 가지므로 프레임 폐기에 의한 패킷 손실을 포함한 종단간의 패킷 손실율로 사용자의 서비스 품질과 PSNR을 예상할 수 있다[6,14]. 그림 12는 프레임 폐기를 하지 않는 IEEE 802.11e EDCA 모델과 AC를 고려하지 않은 대역폭 측정 방식을 이용한 프레임 폐기 기법, 그리고 AC

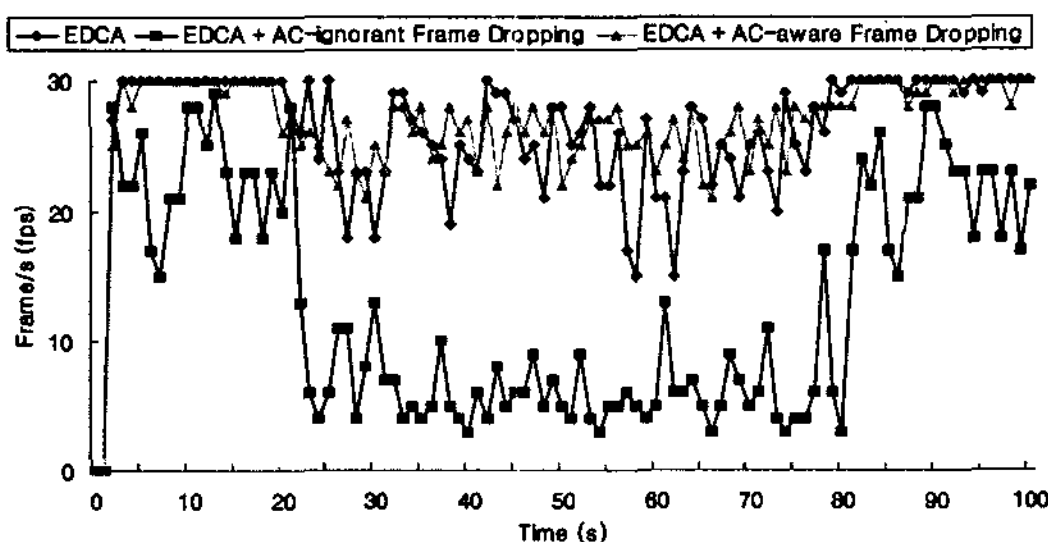


그림 11 프레임율 비교

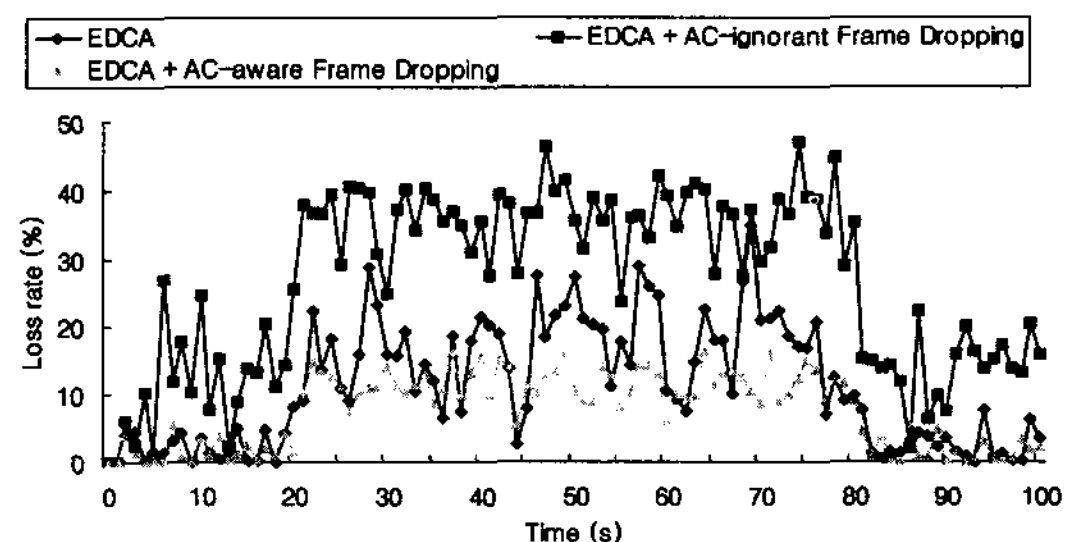


그림 12 종단간 패킷 손실율 비교

를 고려한 대역폭 측정 방식을 이용한 적응적인 프레임 폐기 기법의 프레임 폐기에 의한 패킷 손실을 포함한 종단간 패킷의 손실율을 비교한 그래프이다.

AC를 고려하지 않은 대역폭 측정에 기반한 프레임 폐기 기법은 올바르게 못한 대역폭 측정으로 인한 불필요한 프레임 폐기를 수행하여 가장 높은 종단간 패킷 손실율을 보여준다. 프레임 폐기를 하지 않는 IEEE 802.11e EDCA 모델은 송신단의 불필요한 전송 시도와 전송큐에서의 오버플로우 발생으로 인한 패킷 손실로 본 논문에서 제안하는 AC를 고려한 대역폭 측정에 기반한 적응적인 프레임 폐기 기법보다 높은 종단간 패킷 손실율을 보여준다. 이와 같은 결과는 본 논문에서 제안하는 Cross-layer 기반의 AC를 고려한 대역폭 측정 방식을 이용한 적응적인 프레임 폐기 기법이 네트워크에서의 배경 트래픽과의 경쟁을 줄여주는 효과를 얻을 수 있게 되고, 가용 대역폭을 효율적으로 활용하여 종단간의 서비스 품질의 향상을 가져올 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

무선 환경에서의 멀티미디어 스트리밍 서비스를 제공함에 있어서 무선 환경 자체의 페이딩이나 간섭의 영향으로 인한 채널상태의 불안정은 멀티미디어 데이터 전송시 요구되는 대역폭의 불안정을 가져오게 된다. 이러한 대역폭의 불안정은 전송 지연이나 손실을 발생시키게 되고 결과적으로 사용자 측면에서의 서비스 품질을 저하시키는 문제점을 가지고 있다. 최선형 데이터에 기반한 기존의 무선 환경은 서비스 품질을 보장하기에 적합하지 않아 IEEE 802.11 Working Group에서는 무선 환경에서의 QoS를 보장하기 위한 IEEE 802.11e의 표준화를 진행하였고, 이를 기반으로 사용자 측면에서의 서비스 품질 향상을 위한 많은 스트리밍 기법들이 제안되었다.

본 논문에서는 IEEE 802.11e에서의 효율적인 대역폭 측정을 통한 Cross-layer 기반의 전송율 조절기법을 제안하였다. MPEG-4 인코딩 기법의 각 프레임 중요도에 따라 IEEE 802.11e EDCA 모델의 AC별로 분류하여 전송하고, 효율적인 대역폭 측정과 프레임 우선순위에 따른 프레임 폐기 기법을 이용해 네트워크 상태에 적응적으로 전송율을 조절한다. 실험을 통하여 제안한 Cross-layer 기반의 효율적인 대역폭 측정을 통한 프레임 폐기 기법이 송신측의 전송 큐에서의 오버플로우와 불필요한 데이터의 전송 시도에 의한 손실을 줄임으로써 종단간의 서비스 품질의 향상을 시킬 수 있음을 알 수 있었다.

향후 연구 과제로 IEEE 802.11e EDCA 모델의 효율적인 대역폭 측정에 기반하여 전송하는 영상의 품질 조절 기법에 대한 연구가 수행 되어야한다. 또한 본 논문

에서 이용한 프레임 폐기 기법과 영상의 품질 조절 기법의 조합을 통해 종단간의 멀티미디어 서비스 품질을 극대화시키기 위한 연구도 함께 수행 되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] IEEE 802.11 Standard, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 1999.
- [2] IEEE 802.11e, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS)," 802.11e Draft 8.0, 2004.
- [3] D. Gu, and J. Zhang, "QoS Enhancement in IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks," IEEE Communications Magazine, June 2003.
- [4] D. Chen, D. Gu, and J. Zhang, "Supporting Real-Time Traffic with QoS in IEEE 802.11e Based Home Networks," IEEE Consumer Communications and Networking Conference, January 2004.
- [5] D. Gao, J. Cai, P. Bao, and Z. He, "MPEG-4 Video Streaming Quality Evaluation in IEEE 802.11e WLANs," IEEE International Conference on Image Processing, September 2005.
- [6] C. Rohaly et al., "Video Quality Expert Group : Current Results and Future Directions," Visual Communications and Image Processing, June 2000.
- [7] An IEEE 802.11e EDCA and CFB Simulation Model for ns-2, http://www.tkn.tu-berlin.de/research/802.11e_ns2/.
- [8] S. Choi, "Overview of Emerging IEEE 802.11 Protocols for MAC and Above," Telecommunications Review, Special Edition, November 2003.
- [9] J. L. Sobrinho, and A. S. Krishnakumar, "Quality-of-Service in Ad Hoc Carrier Sense Multiple Access Wireless Network," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, August 1999.
- [10] A. Ksentini, A. Gueroui, and M. Naimi, "Toward an improvement of H.264 Video Transmission over IEEE 802.11e through a Cross Layer Architecture," IEEE Communications Magazine, Special Issue on Cross-Layer Protocol Engineering, January 2006.
- [11] Overview of MPEG-4 Standard by the Motion Picture Expert Group, <http://mpeg.telecomitalia.com/>.
- [12] A. Matrawy, I. Lambaris, and C. Huand, "MPEG4 Traffic Modeling Using The Transform Expand Sample Methodology," IEEE International Workshop on Networked Appliances, 2002.
- [13] The Network Simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [14] S. Khan, S. Duhovnikov, E. Steinbach, M. Sgroi, and W. Kellerer, "Application-driven Cross-layer Optimization for Mobile Multimedia Communication Using a Common Application Layer Quality Metric," International Symposium on Multimedia over Wireless, July 2006.



신 필 규

2005년 광운대학교 전자통신공학과 학사
2008년 광운대학교 전자통신공학과 석박
통합과정 수료. 2008년~현재 이노와이
어리스 정보통신연구소 T&M S/W개발
팀. 관심분야는 인터넷 QoS, 유.무선 비
디오 스트리밍, Cross-Layer 기술



이 선 현

2003년 광운대학교 전자공학부 학사. 2005
년 광운대학교 전자통신공학과 석사. 2005
년~현재 광운대학교 전자통신공학과 박
사과정. 관심분야는 인터넷 QoS, 유.무선
비디오 스트리밍, Cross-Layer 기술

정 광 수

정보과학회논문지 : 정보통신
제 35 권 제 2 호 참조