

Cross Layer 기반의 무선랜 채널 모니터링을 적용한 네트워크 적응형 HD 비디오 스트리밍

정희원 박상훈*, 윤하영*, 종신회원 김종원*, 정희원 조창식**

Network-Adaptive HD Video Streaming with Cross-Layered WLAN Channel Monitoring

SangHoon Park*, Hayoung Yoon* *Regular Members*,
JongWon Kim* *Lifelong Member*, ChangSik Cho** *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11a 무선랜(WLAN) 환경에서 Cross Layer 기반의 채널 모니터링(Cross-Layered Monitoring: CLM)을 이용한 네트워크 적응형 고선명(high definition: HD) MPEG-2 TS 비디오 스트리밍 시스템을 제안한다. 무선 채널 모니터링을 위해 AP(access point)는 MAC(media access control) 계층의 전송 상태를 주기적으로 측정하고 응용 계층의 스트리밍 서버로 전달한다. 이것은 비디오 스트리밍 응용 프로그램이 피드백 기반의 종단간 모니터링(End-to-End Monitoring: E2EM) 기법을 적용할 때보다 가변적인 무선 채널 상태에 좀 더 빠르고 효과적으로 적응할 수 있게 한다. 스트리밍 서버는 네트워크에 적응적인 전송을 위해 측정된 무선 채널 상태에 따라 우선순위 기반의 프레임 폐기(priority-based frame dropping)를 수행한다. 이를 위해 스트리밍 서버는 실시간 파싱(real-time parsing)과 프레임 기반의 패킷 우선순위화(frame-based prioritized packetization) 기능을 제공한다. 성능 평가를 위해 IEEE 802.11a 무선랜 환경에서의 다양한 스트리밍 실험을 수행한다. 실험 결과는 제안 시스템이 시간에 따라 가변하는 무선 채널 상태에서 기존 기법에 비해 종단간 비디오 스트리밍의 품질을 향상시킬 수 있음을 보여준다.

Key Words : Wireless video, Cross-layered channel monitoring, Adaptive streaming, Prioritized packetization, End-to-end QoS

ABSTRACT

In this paper, we propose a practical implementation of network-adaptive HD(high definition) MPEG-2 video streaming with a cross-layered channel monitoring(CLM) over the IEEE 802.11a WLAN(wireless local area network). For wireless channel monitoring, AP(access point) periodically measures the MAC(media access control) layer transmission information and sends the monitoring information to a streaming server. This makes that the streaming server reacts more quickly as well as efficiently to the fluctuated wireless channel than that of the end-to-end monitoring(E2EM) scheme for the video adaptation. The streaming server dynamically performs the priority-based frame dropping to adjust the video sending rate according to the measured wireless channel condition. For this purpose, our streaming system nicely provides frame-based prioritized packetization by using a

* 본 연구는 ETRI 위탁과제 및 대학 IT연구센터 육성·지원 사업의 연구결과로 수행되었음.

* 광주과학기술원 정보통신공학과 네트워크미디어 연구실 ({shpark, hyyoon, jongwon}@netmedia.gist.ac.kr),

** 한국전자통신연구원 실시간멀티미디어 연구팀 (cscho@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2005-10-437, 접수일자 : 2005년 10월 27일, 최종논문접수일자 : 2006년 3월 24일

real-time stream parsing module. Various evaluation results over an IEEE 802.11a WLAN testbed are provided to verify the intended QoS adaptation capability. The experimental results show that the proposed system can effectively mitigate the quality degradation of video streaming caused by the fluctuations of time-varying wireless channel condition.

I. 서론

디지털 시대가 본격화 되면서 가정의 정보 가전 기기들이 초고속, 대용량을 전송하는 고속의 디지털 가전기기들로 바뀌고 이를 하나의 네트워크로 구성하고자 하는 노력들이 이루어지고 있다. 특히 무선 홈 네트워크 기술에 대한 관심이 증폭되고 있으며 이중 무선랜(Wireless LAN) 기술은 가장이라는 생활공간 전체를 지원할 수 있는 정도의 전송 거리와 기본 멀티미디어를 전송할 정도의 충분한 대역폭)을 지원한다. 이러한 측면에서 무선랜은 홈 네트워킹을 위한 접속 기술로서 각광을 받고 있다.

그러나 무선랜 환경은 페이딩(fading)이나 간섭(interference) 등과 같은 요인으로 인한 채널 불안정성과 대역폭의 제한과 같은 문제점들을 갖고 있다. 이로 인해 무선랜을 이용한 홈 네트워크 환경에서 비디오 전송 응용의 요구 사항들을 충족시키기 위해서는 여전히 많은 문제점들이 해결되어야 한다. 예를 들어 명목상으로는 54Mbps를 지원하지만 실제 최대 대역폭이 약 20Mbps 내외인 IEEE 802.11a 무선랜 환경에서 고선명(high definition: HD) 비디오)를 안정적으로 전송하는 것은 쉽지 않다³⁾6). 실제로 최근에는 Vixs¹⁾와 같은 무선랜 환경에서의 상용 HD 비디오 전송 관련 상용 제품들이 늘어나고 있으나 QoS에 대한 고려가 부족한 실정이다.

이러한 무선랜 환경하에서 종단간 비디오 스트리밍 품질을 향상시키기 위해서는 여러 측면에서의 QoS 지원 노력이 요구되며 이중 응용 계층에서의 네트워크 적응형 스트리밍 기법은 기존의 자원을 효율적으로 사용하면서 종단간 비디오 품질을 향상시킨다는 점에서 장점을 갖는다⁷⁾. 그러나 무선 환경에서 적응형 스트리밍 기법의 관건은 동적으로 변하는 무선 채널 상태에 빠르고 효과적으로 대처할 수 있어야 한다는 점이다. 그러나 기존 유선 네

트워크 환경에서 적용되어온 종단간 네트워크 측정(End-to-End Monitoring: E2EM)에 기반한 적응형 스트리밍 기법들은 피드백 패킷의 지연과 비 신뢰성으로 인해 무선 네트워크 환경에 그대로 적용하기에는 문제점을 갖고 있다⁸⁻¹⁰⁾. [8]에서는 유선 환경에서 프레임 기반의 우선순위화와 E2EM 기법을 적용한 네트워크 적응형 HD 비디오 전송 시스템을 구현하였다. [9]와 [10]에서는 이를 무선랜 환경으로 확장하였다. 그러나 E2EM 기법의 한계로 인해 무선랜의 동적인 채널 환경에 적절히 대응을 못하는 문제가 있었다. 그러므로 기존 유선 네트워크 기반의 적응형 스트리밍 기법들은 무선 환경의 특성에 맞게 적절하게 수정되어야 한다.

본 논문에서는 무선랜 환경에서의 효과적인 적응형 비디오 스트리밍을 위해 Cross-Layered Monitoring (CLM) 기법을 적용한다. 이를 위해 [8-10]에서의 프레임 기반 우선화 기법을 적용한 스트리밍 시스템에 CLM 기법을 결합한다⁴⁾. CLM 기법은 MAC (medium access control)이나 PHY(physical) 계층에서의 무선 채널 상태 측정 및 응용 계층으로의 빠른 전달을 수행함으로써 E2EM 기법에 비해 보다 빠르고 예측적인 무선 채널 상태 측정을 실현한다. 무선 채널 상황에 따른 비디오 적응을 위해서는 프레임 기반의 패킷 우선순위화(frame-based prioritized packetization) 기법을 적용한다. 여기에서는 단일 계층으로 보호화된 비디오에 대해 확장된 의미에서의 시간적 확장성(temporal scalability) 기법을 적용한다. 즉, 입력 비트스트림(bitstream)에 대해 실시간 파싱(real-time parsing)을 수행하여 비디오의 프레임들을 중요도에 따라 우선순위화하며 전송률 적응을 위해 이에 기반한 프레임 폐기(priority-based frame dropping)를 수행한다⁸⁾.

제안 시스템은 IEEE 802.11a 무선랜 환경에서 MPEG-2 TS 비디오의 스트리밍 실험을 통해 평가된다. CLM에 기반한 적응형 전송 기법의 타당성을 검증하기 위해 비적응형 전송뿐만 아니라 E2EM에 기반한 적응형 전송과의 성능 비교를 수행한다. 실

1) IEEE 802.11g/a에서는 54Mbps, 향후 IEEE 802.11n에서는 100Mbps까지의 고속 데이터 통신이 가능하다^{3,5)}.
 2) 압축된 HD 비디오는 약 20 Mbit/s의 비트율을 가지며 MPEG-2 TS(transport stream)¹⁾ 형식을 갖는다.
 3) IEEE 802.11c에서는 IEEE 802.11a와 달리 MAC 계층에서 차별화된 QoS 기능을 지원하고 있으나 아직 실제적인 도입은 안 되어 있는 상황이다⁴⁾.

4) 무선 환경에서의 Cross Layer 설계는 기존 계층 기반의 설계를 파괴한다는 점에서는 단점을 갖고 있지만 자원이 제한적인 무선 환경에서는 적절한 기법으로 고려되어지고 있다.

험 결과는 제안 시스템이 동적인 무선랜 환경에서 다른 기법들에 비해 빠르고 효과적인 적응형 비디오 스트리밍을 할 수 있음을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 제안하는 CLM 기반의 적응형 HD 비디오 스트리밍 시스템을 설명한다. 또한 이전 연구에서 제안된 실시간 파싱과 프레임 기반 우선순위화 기법에 대해 요약하고 CLM 기법을 결합한 프레임워크와 실제 무선 채널 적응형 전송 방법에 대해 초점을 맞추어 설명한다. III절에서 무선랜 테스트베드에서의 실험 결과를 제시한 후 IV절에서 결론을 맺는다.

II. CLM 기반의 무선 채널 적응형 HD 비디오 스트리밍 시스템

2.1 전체 프레임워크

그림 1은 무선랜 환경에서의 네트워크 적응형 스트리밍 서버와 클라이언트를 포함하는 HD 비디오 전송 프레임워크를 보여준다. 입력 스트림으로서 188byte의 고정 크기를 갖는 MPEG-2 TS 패킷들을 고려한다. 입력 MPEG-2 TS는 HDD와 같은 저장 매체나 HD 카메라와 같은 실시간 비디오 캡처 장비로부터 들어온다. 스트리밍 서버에서는 측정된 무선랜의 채널 상태에 따라 MPEG-2 TS 스트림의 전

송률을 조절한다. 전송률 조절은 우선순위가 낮은 비디오 프레임들을 폐기(frame dropping)함으로써 수행된다. 이를 위해 실시간으로 TS 패킷들을 파싱(real-time parsing)하고 프레임 단위의 패킷 우선순위화(frame-based prioritized packetization)를 수행한다. 여기에서는 MPEG-2 TS 패킷들을 실시간으로 파싱하여 MPEG 비디오의 프레임 부호화 유형에(I, P, B) 따라 중요도를 나누고 재구성한다. 스트리밍 클라이언트에서는 기본적으로 복호 및 재생에 필요한 기능들을(RTP 역패킷화, MPEG-2 TS 역다중화, ES 복호기) 포함한다. 이 때 프레임 폐기로 인해 발생할 수 있는 동기화 관련 문제를 해결하기 위해 관련 재생 기능이 포함될 수 있다.

무선랜의 채널 상태 측정을 위해서는 크게 두 가지 접근 기법이 고려될 수 있다. 첫 번째는 종단간 측정(End-to-End Monitoring: E2EM) 기법이다. 이것은 스트리밍 클라이언트에서 비디오 스트림의 수신 상태를 측정 후 스트리밍 서버에 주기적으로 피드백하는 방법이다. 이를 위한 간단한 기법으로서 연속적으로 수신된 RTP 패킷들 간의 시퀀스 번호 간격을 이용한 손실률(loss rate)과 평균 지터(average jitter)를 측정한다. 측정된 손실률은 주기적으로 스트리밍 서버의 네트워크 적응 관리자(Network Adaptation Manager)로 피드백된다. 하지만 E2EM에서는

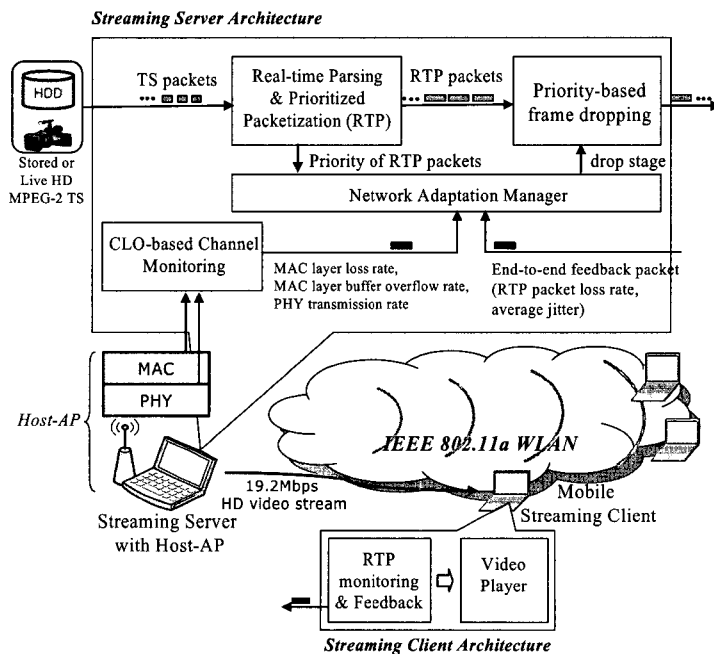


그림 1. 무선랜에서의 네트워크 적응형 HD MPEG-2 TS 비디오 스트리밍 프레임워크

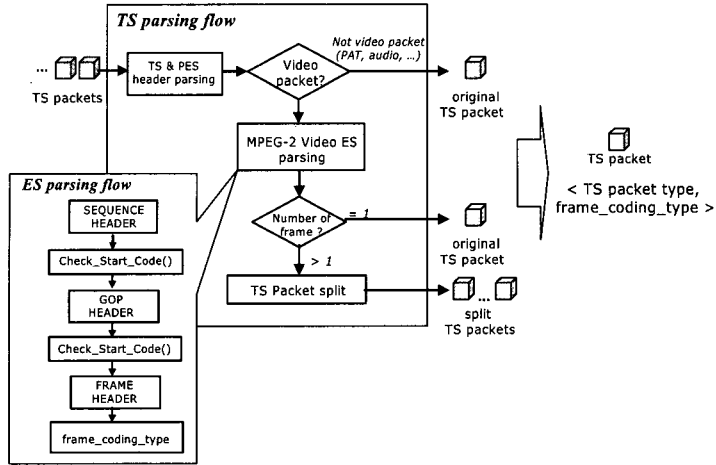


그림 2. MPEG-2 TS 스트림의 실시간 파싱

피드백 패킷을 스트리밍 서버로 전송하고 네트워크 적응에 적용하기까지 지연이 있기 때문에 이와 관련된 비디오의 적응적 전송의 효율이 떨어지게 된다. 즉, 측정시의 네트워크 상태와 비교하여 비디오 비트스트림의 적응적 전송 시점에 네트워크 상태가 가변될 수 있기 때문에 예상치 못한 패킷 손실이라든가 지연이 발생할 수 있으며 반대의 상황에서는 네트워크 자원 이용도의 성능이 떨어질 수 있다.

두 번째 접근 기법은 Cross-Layered Monitoring (CLM) 기법으로서 무선 AP에서의 모니터링 결과를 주기적으로 스트리밍 서버 응용 프로그램으로 전달함으로써 이루어진다. AP에서는 E2EM에서와 달리 MAC이나 PHY와 같은 아래 계층의 무선 채널 전송 상태를 측정한다. 이러한 접근 기법은 스트리밍 서버와 AP 기능을 같이 포함하는 디지털 STB나 홈 게이트웨이와 같은 서비스 모델에서 유용하게 적용될 수 있다. 즉, AP에서의 채널 측정 정보를 네트워크 적응형 스트리밍 응용으로 전달할 때 생기는 피드백 지연이나 비신뢰성 문제를 완화시킬 수 있게 된다. CLM 기법에서 AP로부터 네트워크 적응 관리자로 보내는 정보는 MAC 계층 손실률(MAC layer loss rate), MAC 계층 버퍼 오버플로우율(MAC layer buffer overflow rate) 등이 포함된다.

2.2 실시간 파싱 및 패킷 우선순위화

MPEG-2 TS의 실시간 파싱에서는 각 TS 패킷의 유형과 비디오 패킷인 경우 유료부하(payload)에 포함된 프레임 유형을 알아낸다. MPEG-2 비디오 기

초스트림(elementary stream: ES)은 sequence, GOP, picture, macroblock, block 등의 계층을 가지며 여기에서 picture는 프레임과 동일한 의미이다^[2]. 비디오 프레임의 유형은 picture start code(psc) 후에 나오는 picture 헤더 정보에 포함된다. 그림 2는 TS 패킷의 실시간 파싱에 대한 전체적인 흐름도를 보여준다. 먼저 비디오 TS 패킷인지를 알아내기 위해 TS 헤더와 PES(packetized elementary stream) 헤더로부터 PID 필드와 stream_id 필드를 추출한다. 비디오 패킷이 아닌 경우에는 이후 추가적인 과정 없이 바로 출력으로 보내게 된다.

비디오 패킷인 경우에는 유료부하에 있는 비디오 프레임이 어떠한 유형인지를 찾아야 한다. 이를 위해 비디오 파싱 단계를 거친다. 여기서는 기초 스트림 내에 포함되어 있는 유료부하에 어떠한 프레임 정보를 포함 하는지 알아낸다. 이를 위해 psc가 존재하는 지를 찾아낸다. psc를 찾은 경우에는 프레임 유형에 따라 해당 TS 패킷에 우선순위를 할당하게 된다. 우선순위는 I, P, B 순으로 할당된다. 또한 하나의 TS 패킷의 유료부하 내에 복수의 프레임 정보가 들어가는 경우에는 별도의 패킷 분리(packet split) 과정^[9]을 거친 후 각 TS 패킷에 프레임 유형에 따른 별도의 우선순위를 할당하게 된다.

실시간 파싱 과정을 거친 후에는 RTP(realtime transport protocol)^[11] 패킷화를 수행하면서 우선순위 개념을 적용해야 한다. 그림 3은 실시간 파싱 과정을 거친 TS 패킷들을 이용하여 프레임 단위의 RTP 패킷화를 수행하는 과정을 보여준다. TS 패킷들의 우선순위 종류는 다섯 가지로 구분된다. 이들을 우선순위가 높은 순으로 나열하면 PAT(program asso-

5) CLM의 구현을 위해 AP는 MADWIFI^[13]를 이용한 HostAP를 이용하여 구현하였다.

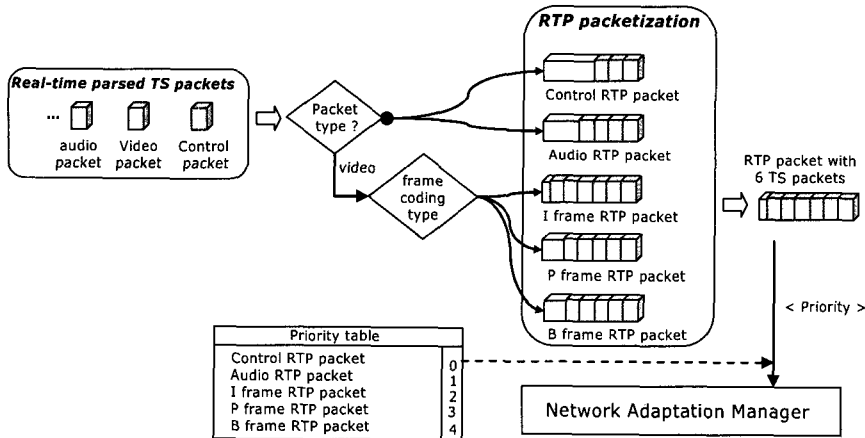


그림 3. 우선순위기반 RTP 패킷화.

ciation table)나 PMT(program map table)와 같은 스트림 메타 데이터 패킷, 오디오 패킷, I 프레임 패킷, P 프레임 패킷, B 프레임 패킷 순이 된다. 일반적인 RTP 패킷의 크기는 1500 바이트로서 TS 패킷에 비해 크므로 복수의 TS 패킷들이 하나의 RTP 패킷으로 통합되게 된다⁶⁾. 이때 유의할 것은 하나의 RTP 패킷에는 동일한 우선순위를 갖는 패킷들만이 들어가야 한다는 점이다. 예를 들어 하나의 RTP 패킷에 B 프레임 TS 패킷들과 P 프레임 TS 패킷들이 동시에 들어갈 수는 없다. 최종적으로 RTP 패킷들과 우선순위 정보가 출력되게 된다. 현재의 구현은 각 RTP 패킷들의 우선순위 정보는 패킷 내부에 포함되지 않고 네트워크 적응 관리자를 통해 관리된다.

2.3 무선 채널 모니터링

2.3.1 CLM

CLM 기법은 주기적으로 MAC 계층의 전송 상태를 측정하여 무선 채널 상태를 예측한다. MAC 재전송 한계로 인해 전송에 실패한 패킷의 수 (N_{L_excess}), MAC 버퍼 오버플로우로 인해 손실된 패킷의 수(N_{B_over}), MAC에서의 재전송 횟수 (N_{L_retry})를 측정한다. 측정된 N_{L_excess} , N_{B_over} , N_{L_retry} 값들은 응용 계층에 존재하는 스트리밍 서버의 네트워크 적응 관리자로 전달된다. CLM 기법은 MADWIFI 무선 이더넷 카드 드라이버^[13]를 이용하여 소프트웨어 모듈로서 구현되며 비디오 스트리밍 오픈 소스인 VLC(VideoLAN Client^[12])와 통합된다.

6) 최대 7개의 TS 패킷이 하나의 RTP 패킷에 포함될 수 있다.

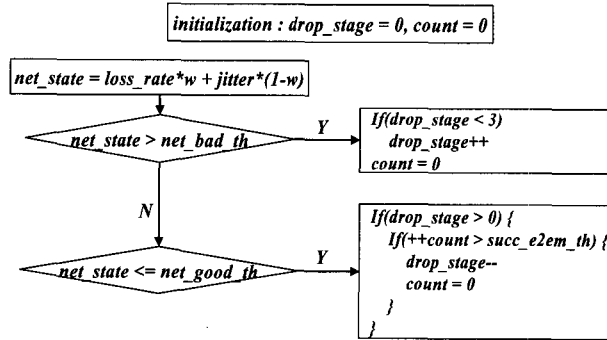
2.3.2 E2EM

E2EM 기법에서는 네트워크 상태 측정을 위해 RTP 헤더의 시퀀스 번호와 타임스탬프 필드를 이용한다. 즉, 연속적으로 수신된 RTP 패킷에 대해 시퀀스 번호의 간격을 통한 패킷의 손실율과 타임스탬프 필드를 이용해 평균 지터를 계산할 수 있다. 이때 측정의 주기는 오버헤드의 영향에 따라 적절히 조절할 수 있다. 매 측정 주기마다 측정값을 스트리밍 서버에 알리기 위해 피드백 패킷을 생성해 보낸다^[1].

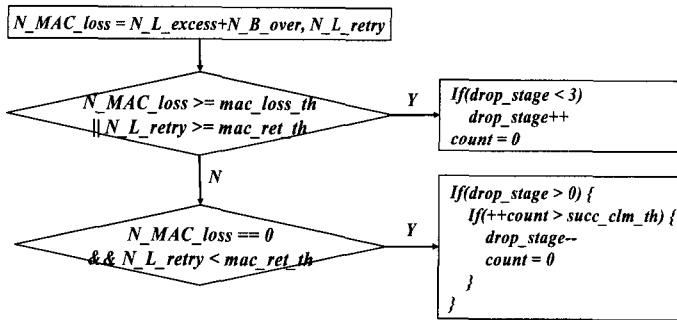
2.3.3 우선순위 기반 프레임 폐기

측정된 무선 채널 상태에 따라 네트워크 적응 관리자는 우선순위 기반의 프레임 폐기 기법을 적용하여 전송률을 조절한다. 이를 위해 네트워크 적응 관리자에서는 프레임 폐기 단계를 두어 폐기할 프레임의 양을 조절한다. 이것은 내부적으로 정의되는 *drop_stage* 변수에 의해 결정된다. 예를 들어 “I1 B2 B3 P4 B5 B6”의 GOP를 갖는 MPEG-2 비디오 스트림의 경우 *drop_stage*는 0에서 3까지 변화한다. *drop_stage*가 커질수록 폐기되는 프레임 양은 많아지며 전송률은 줄어들게 된다. *drop_stage*가 0인 경우 원래의 모든 프레임이 전송되며 1로 증가할 경우 B2와 B5 프레임이 폐기된다. 이후 *drop_stage*가 2로 증가하면 모든 B 프레임이 폐기되며 최종적으로 3인 경우 B 프레임과 P 프레임이 폐기된다.

그림 4(a)는 E2EM 적용시의 네트워크 적응 관리자에서 *drop_stage*를 결정하는 흐름도이다. *drop_stage*는 패킷 손실율과 평균 지터값의 *weight*에 기반한 합계값과 네트워크 상태의 좋음과 나쁨을 결



(a) E2EM에서의 drop_stage 제어 흐름도.



(b) CLM에서의 drop_stage 제어 흐름도.

그림 4. drop_stage 제어를 위한 흐름도

정하는 임계치 값들인 *bad_state_th*, *good_state_th* 과의 비교를 통해 변화된다. *drop_stage*를 증가시킬 때와 따라 감소시킬 경우에는 최소 손실을 이하 (*good_state_th*)가 연속 임계치인 *successively_good_th* 이상 반복되었을 경우에만 *drop_stage*를 줄인다.

이에 반해 그림 4(b)는 CLM 기반 적응 기법에서의 *drop_stage* 변화 흐름도이다. CLM에서 측정된 *N_L_excess*와 *N_B_over*의 합은 *N_MAC_loss*로 정의된다. 우선 *N_L_retry*값이 링크 계층의 최대 손실 임계치(*mac_loss_th*)보다 크거나 같을 경우 *drop_stage*를 증가시킨다. 또는 *N_L_retry*값이 링크 계층의 최대 재전송 임계치(*mac_ret_th*)보다 크거나 같을 경우 *drop_stage*를 증가시킨다. 반대로 *N_MAC_loss*가 0이고 *N_L_retry* 값이 *mac_ret_th* 보다 작을 경우에만 *drop_stage*를 감소시키는 것을 고려한다. 이 경우 E2EM과 유사하게 곧바로 적용치 않고 연속 임계치(*succ_clm_th*)이상 발생하였을 시에만 *drop_stage*를 감소시킨다.

III. 성능 평가

3.1 실험 환경

그림 5는 IEEE 802.11a HostAP를 포함하는 스트리밍 서버와 스트리밍 클라이언트로 구성되는 무선 HD 스트리밍 테스트베드를 보여준다. 무선 채널의 상태를 시간에 따라 변동시키기 위해 스트리밍 서버의 위치는 고정시키고 스트리밍 클라이언트는 지정된 경로를 따라 이동시켰다. 스트리밍 클라이언트는 Position 1→Position 2→Position 1→Position 3→Position 1 순으로 이동하며 각 지점에서 15초간 머무르게 하였다. 그림 5에서 지정된 경로에 따라 실험을 한 결과 Position 1과 Position 2 사이에서 이동하는 동안(20초~45초 구간) 무선 채널 상태가 현저히 떨어짐을 확인하였다. 또한 Position 3에서 Position 1으로 이동하는 구간(100초~115초)에서는 이동 속도를 빠르게 하였기 때문에 무선 채널 상태가 떨어졌다.

성능 비교를 위해 1)적응형 전송 기능을 적용시키지 않은 스트리밍('No_Adapt'), 2)E2EM을 적용한 스트리밍('E2EM_Adapt'), 3)CLM을 적용한 스트리밍('CLM_Adapt')로 구분하여 각 경우에 대해

7) 알고리즘에서 적용되는 임계치 값들은 현재 경험적인 실험 값에 의해 결정된다.

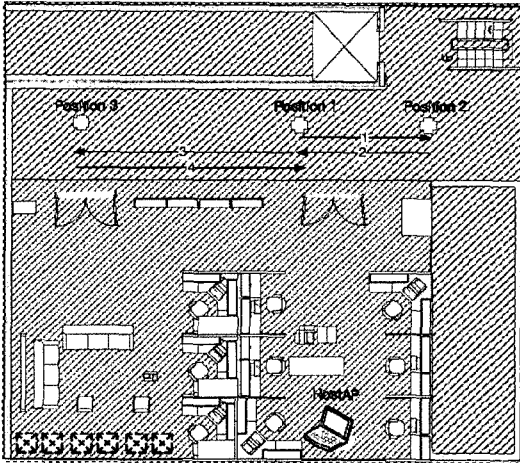


그림 5. 무선랜 스트리밍 테스트베드

표 1. 실험용 HD 비디오와 적응형 전송 파라미터.

	system layer	video ES	bitrate
	MPEG-2 TS	MPEG-2 video	19.2Mbps
	해상도	frame rate	GOP
	1280x720	29.97fps	IBBPBB
E2EM parameter	value	CLM parameter	value
monitoring period	1s	monitoring period	1s
net_bad_th	1	mac_loss_th	5
net_good_th	0.2	mac_ret_th	580
succ_e2em_th	12	succ_clm_TH	2

별도의 실험을 수행하였다. 각 시나리오에 대해 유사한 무선 채널 환경을 적용시키기 위해 그림 5에서 제시한 스트리밍 클라이언트의 움직임 경로에 매 실험마다 동일하게 수행하였다. 그러나 매 실험마다 시간적으로 무선 채널 상태의 변화가 정확히 일치하지는 않기 때문에 반복 실험을 통한 평균치를 이용해 성능 비교를 수행하였다. 표 1은 실험에 사용된 HD 비디오의 구체적인 사양과 E2EM과 CLM 기법에 적용되는 임계값 및 측정 주기 값을 보여준다.

3.2 실험 결과

그림 6과 그림 7은 단일 실험을 통한 적응형 전송의 유무에 따른 스트리밍 재생 품질 차이의 예를 제시한다. 먼저 그림 6은 'No_Adapt'에서의 RFPS (Rendered Frames Per Second), 클라이언트에서 측

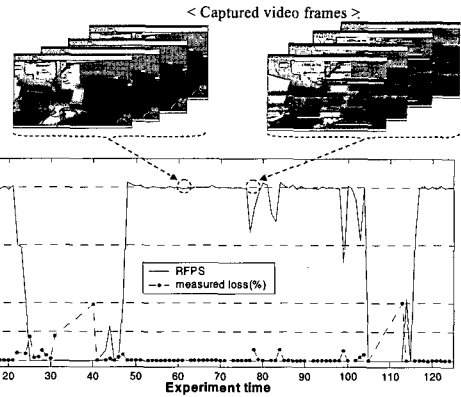
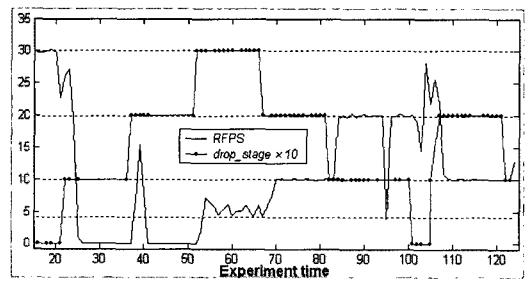
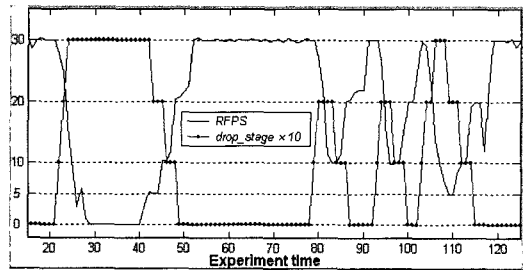


그림 6. 적응형 전송 기능이 없을 시의 비디오 스트리밍 품질: 프레임 스냅샷, RFPS, 손실율



(a) E2EM 적용시의 RFPS와 drop_stage.



(b) CLM 적용시의 RFPS와 drop_stage.

그림 7. 적응형 전송(E2EM&CLM) 적용시의 RFPS와 drop_stage 변화

정된 RTP 패킷 손실율, 클라이언트에서 재생된 프레임의 스냅샷(snapshot) 등을 보여준다. RFPS는 스트리밍 클라이언트에서 실제로 초당 재생된 프레임 수를 의미한다. 프레임 스냅샷을 통해 패킷 손실율이 2% 이상인 구간(78초-80초)에서 재생 프레임의 품질이 많이 떨어지게 되는 예를 확인할 수 있다. 또한 패킷 손실율이 현저히 높게 발생한 구간(20초-45초)에서는 RFPS가 0으로 떨어진다. 이것은 스트리밍 클라이언트에서 장기적인 재생 불연속(playout discontinuity)이 있었음을 의미한다.

이에 반해 그림 7(a)는 'E2EM_Adapt'의 실험 결과를 제시한다. 역시 20초에서 45초까지의 구간

서 무선 채널 상태는 급격히 떨어지며 이에 따라 RFPS는 현저히 떨어지게 된다. 스트리밍 서버와 클라이언트에서는 중단간 RTP 측정을 통해 채널 상태를 확인하며 이에 따라 *drop_stage* 값은 점진적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 비디오 전송률이 조절되기 때문에 그림 6의 결과와 달리 40초 부근의 구간에서 RFPS가 15까지 올라가게 됨을 확인할 수 있다. 그러나 20초 지점에서 무선 채널 상태가 안 좋아짐에도 불구하고 *drop_stage*는 바로 증가하지 않고 22초 부근에서 증가한다. 이는 E2EM에 의한 무선 채널 상태 측정 시간 및 스트리밍 서버에서의 실제 적응형 비디오 전송까지 지연이 많이 있음을 반영한다. 또한 스트리밍 클라이언트로부터 서버까지의 피드백 패킷도 손실될 수 있기 때문에 적응형 비디오 전송이 수행되지 않을 수도 있다. 100초 부근에서는 무선 채널 상태가 좋아지지 않았음에도 불구하고 *drop_stage*를 0으로 감소시킨다.

그림 7(b)는 'CLM_Adapt'의 실험 결과를 보여 준다. 'CLM_Adapt'에서의 무선 채널 상태 확인은 'E2EM_Adapt'보다 빠르며 이에 따라 20초 부근에서의 *drop_stage* 변화가 'E2EM_Adapt'보다 최대치로 빨리 도달하는 것을 확인할 수 있다. 무선 채널 상태가 안 좋은 상태가 40초 지점까지 지속되기 때문에 다른 실험과 마찬가지로 이 구간에서 재생 불연속이 여전히 발생하였다. 그러나 40초 지점에서 무선 채널 상태가 좋아지게 됨에 따라 *drop_stage*는 점차적으로 감소하게 되고 'E2EM_Adapt'에 비해 RFPS가 무선 채널 상태와 일관되게 변화한다. 또한 105초 부근에서 'E2EM_Adapt'와 같은 부정확한 적응형 전송이 발생하지 않았다. 그림 8은 각 실험 시나리오의 재생 불연속 지점을 비교한다⁸⁾. 'CLM_Adapt'에서 재생 불연속을 가장 줄일 수 있음을 확인할 수 있다.

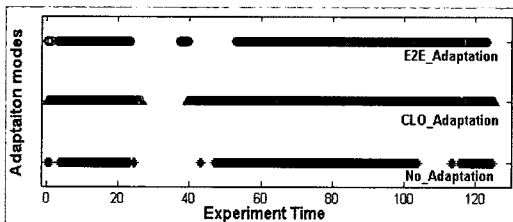


그림 8. 재생 불연속(playout discontinuity) 지점 비교

8) 본 실험에서 재생 불연속 구간은 0.2초 이상 새로운 프레임이 재생되지 않은 구간들로 정의한다.

표 2. 채널 모니터링에 따른 스트리밍 성능 비교

	No_Adapt	E2EM_Adapt	CLM_Adapt
Loss_mean	0.46%	0.33%	0.28%
Loss_max	9.93%	9.69%	9.52%
Loss_std	1.59%	1.34%	1.25%
Discontinuity	18.75%	13.1%	10.9%
RFPS	21.98	14.50	18.87
Opinion_score	1.88	3.62	4.21

표 2는 각 실험 시나리오에 대해 10번의 반복된 실험의 평균값들을 제시한다. 재생 품질에 밀접한 영향을 미치는 패킷 손실율에 있어 'CLM_Adapt'에서 가장 낮은 값을 보였다. 또한 누적된 재생 불연속 시간을 의미하는 'Discontinuity'의 비율 역시 'CLM_Adapt'에서 가장 적은 값을 가졌다. RFPS는 'No_Adapt'가 'CLM_Adapt'보다 높은 값을 보였다. 여기서 주의할 사항은 평균 RFPS가 재생 품질에 직접적으로 비례하지는 않는다는 점이다. 이는 패킷 손실로 인한 부분적인 프레임 손상 시에도 RFPS에는 계산되기 때문이다. 'No_Adapt'에서는 모든 프레임을 전송하기 때문에 채널 상황이 안 좋을 시에는 심각한 재생 품질 저하가 일어나지만 채널 상황이 다시 좋아질 경우에는 최대한 프레임을 재생할 수 있는 기회를 가진다. 이에 반해 적응형 전송 시에는 채널 상황이 좋아질 때 원래의 RFPS로 돌아가기까지의 지연시간이 있기 때문에 평균 RFPS는 'No_Adapt'보다 낮게 나올 수 있다. 그러나 실제 사용자가 느끼게 되는 재생 품질은 'No_Adapt'의 경우 현저히 떨어지게 된다. 이에 따라 사용자가 실제 느끼게 되는 주관적인 재생 품질을 비교하기 위해 'Opinion_score'를 측정하였다. 'Opinion_score'를 구하기 위해 10명의 사람들에게 각 실험을 임의로 보여주고 재생 품질을 1에서 5까지의 점수(5값이 가장 좋은 품질을 의미함)를 매긴 후 평균값을 내었다. 표 2에서 볼 수 있듯이 'CLM_Adapt'에서 가장 높은 값을 가지며 'No_Adapt'의 경우 실제 느끼는 재생 품질은 현저히 떨어진다.

IV. 결론

향후 홈 네트워크에서 고품질 비디오 전송을 QoS를 보장하면서 서비스에 대한 수요가 증가할 것으로 예상되는 상황에서 그에 상응하는 기반기술을 확보하기 위하여 본 논문에서는 HD 비디오를

IEEE 802.11a 기반의 무선 네트워크 상황에 따라 적응적으로 전송하는 스트리밍 시스템을 설계하고 구현하였다. 적응형 전송은 무선 네트워크 상태 측정 정보를 이용하므로 무선 네트워크 상태를 정확하게 측정하는 것은 아주 중요한 요소로 작용한다. 본 논문에서 적용된 CLM은 스트리밍 서버와 결합된 AP에서의 MAC과 PHY의 채널 상태를 모니터링 함으로서 기존의 E2EM에서 피드백 방식의 문제점을 해결한다. 주의할 점은 본 논문에서 제시된 CLM 기법이 AP가 스트리밍 서버와 분리되는 무선랜 스트리밍 모델에서는 이러한 문제점을 근본적으로 해결하지는 못한다는 점이다. 하지만 AP를 내장할 수 있는 홈 게이트웨이나 무선 디지털 STB와 같은 응용에서는 논문에서 제시한 기법이 적절하게 적용될 수 있을 것으로 예상된다. 향후의 연구과제로서 현재의 CLM 알고리즘의 효율성을 증대하여 적응화 된 비디오 서비스가 보다 예측적으로 실현되도록 해야 할 것이다. 이외에 CLM 기반의 적응 기법에서 사용된 임계치를 분석적으로 결정하는 기법이 제안되어야 할 것이다. 또한 향후 도래할 새로운 무선랜 표준인 IEEE 802.11e와 IEEE 802.11n에 대응한 최적화 된 CLO 기법이 설계되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] ISO/IEC 13818-1, Information Technology- Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information, Part 1 : System, April 1996.

[2] ISO/IEC 13818-2, Information Technology- Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information, Part 2 : Video, May 1996.

[3] IEEE 802.11a WG, Part 11: Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specification: High-speed physical layer in 5GHz band, IEEE 802.11 Standard, Aug. 1999.

[4] IEEE 802.11 WG, Draft Supplement to Part 11: Wireless medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications: Medium access control(MAC) enhancements for quality of service(QoS), IEEE Standard. 802.11e/D10.0, Sep. 2004.

[5] Wilson, J. M. The next generation of wireless LAN emerges with 802.11n. Device

Forge, Aug. 2004.

[6] D. Qiao, S. Choi, and K. G. Shin, "Goodput analysis and link adaptation for IEEE 802.11a wireless LANs," *IEEE Trans. on Mobile Computing(TMC)*, vol. 1, no. 4, pp. 278-292, Oct.-Dec. 2002.

[7] D. Wu. et. Al., "Streaming video over the Internet: approaches and directions," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 11, no. 3, Mar. 2001.

[8] S. Park, S. Lee, J. Kim and W. Kim, "Design and Implementation of Network-Adaptive High Definition MPEG-2 Streaming employing Frame-based Prioritized Packetization," *J. of the Korean Insti. of Commun. Science*, vol. 30, no. 10A, pp. 886-895. Dec. 2005.

[9] S. Park, S. Lee and J. Kim, "Adaptive High Definition MPEG-2 TS Straming System using Frame-based Prioritized Packetization over IEEE 802.11a WLAN," *VCIP'05*, pp. 1880-1890, Beijing, China, July. 2005.

[10] S. Park, S. Lee, and J. Kim, "Network-Adaptive High Definition MPEG2 Streaming over IEEE 802.11a WLAN using Frame-based Prioritized Packetization," in *Proc. ACM WMASH'05*, Cologne, Germany, Sep. 2005.

[11] H. Schulzrinne. et. al., "RTP: A Transport Protocol for Real-time Applications," RFC 1889, Jan. 1996.

[12] VideoLAN, <http://www.videolan.org>.

[13] MADWIFI, <http://sourceforge.net/projects/madwifi>.

[14] VIXS, <http://www.vixs.com>.

박 상 훈 (SangHoon Park)

정희원



2001년 2월 강원대학교 정보통신공학과 졸업
 2003년 2월 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사
 2003년 3월~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정
 <관심분야> Multimedia System

and Multicast Media Streaming

윤 하 영 (Hayoung Yoon)

정회원



2004년 2월 한국항공대학교 정보통신공학과 학사
2006년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
2003년 3월~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정
<관심분야> QoS Provisioning in

Wireless LAN/MAN

조 창 식 (ChangSik Cho)

정회원



1993년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 학사
1995년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
1995년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
2005년 6월~현재 실시간멀티미

디어연구팀 팀장

<관심분야> Multimedia System and Media Streaming, Embedded S/W Engineering

김 중 원 (JongWon Kim)

종신회원



1987년 2월 서울대학교 제어계측공학과 학사
1989년 2월 서울대학교 제어계측공학과 석사
1994년 2월 서울대학교 제어계측공학과 박사
2001년 9월~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 부교수

2000년 7월~2001년 6월 미국 InterVideo Inc., Fremont, CA, 개발자문

1998년 12월~2001년 7월 미국 Univ. of Southern California, Los Angeles, CA, EE-Systems Department 연구조교수

1994년 3월~1999년 7월 공주대학교 전자공학과 조교수

<관심분야> Networked Media Systems and Protocols focusing "Reliable and Flexible Delivery for Integrated Media over Wired/Wireless Networks(네트워크미디어: <http://netmedia.gist.ac.kr>)