

프레임 기반의 우선순위화를 적용한 네트워크 적응형 HD MPEG-2 스트리밍의 설계 및 구현

정회원 박 상 훈*, 준회원 이 승 주*, 정회원 김 중 원*, 김 우 석**

Design and Implementation of Network-Adaptive High Definition MPEG-2 Streaming employing Frame-based Prioritized Packetization

SangHoon Park* *Regular Member*, Seungjoo Lee* *Associate Member*,
JongWon Kim*, WooSuk Kim** *Regular Member*

요 약

최근 네트워크 미디어 기술의 발달로 인터넷 망에서 HDTV급의 고화질 비디오를 스트리밍하는 시도가 많이 이루어지고 있다. 그러나 최선형 서비스(best-effort service)를 기반으로 하는 인터넷 망에서 고화질 비디오를 안정적으로 스트리밍하기 위해서는 네트워크 상황에 적응할 수 있는 전송 기법이 요구된다. 본 논문에서는 MPEG 프레임(I, P, B) 기반의 패킷 우선순위화를 적용한 네트워크 적응형 HD MPEG-2 스트리밍 시스템을 설계 및 구현한다. 전송 비디오는 JVC HDV 카메라로부터 실시간으로 입력받으며 19.2 Mbps의 비트율과 MPEG-2 TS (MPEG-2 MP@HL) 형식을 갖는다. 네트워크 상태의 측정은 스트리밍 클라이언트에서의 RTP 패킷 헤더의 파싱을 이용한 패킷 손실율과 평균 지터의 측정을 통해 이루어지며 이 정보는 주기적으로 스트리밍 서버로 피드백 된다. 스트리밍 서버의 네트워크 적응 관리자(network adaptation manager)에서는 네트워크 상태에 따라 프레임의 중요도에 따른 프레임 폐기(frame dropping)를 함으로서 전송률 적응을 수행한다. 이와 관련하여 TS 패킷의 실시간 파싱 및 프레임 기반 패킷 우선순위화 기법이 제안된다. 제안 시스템은 소프트웨어로 구현되며 LAN 환경에서의 실험을 통해 네트워크의 이용 가능한 대역폭이 변동하는 상황에서 HD 스트리밍의 중단 간 서비스 품질을 향상시킴을 보여준다.

Key Words : HDTV over IP, Adaptive video streaming, Prioritized packetization, MPEG-2, End-to-end QoS.

ABSTRACT

As the networked media technology have been grown in recent, there have been many research works to deliver high-quality video such as HDV and HDTV over the Internet. To realize high-quality media service over the Internet, however, the network adaptive streaming scheme is required to adopt to the dynamic fluctuation of underlying networks. In this paper, we design and implement the network-adaptive HD(high definition) MPEG-2 streaming system employing the frame-based prioritized packetization. Delivered video is inputted from the JVC HDV camera to the streaming server in real-time. It has a bit-rate of 19.2 Mbps and is multiplexed to the MPEG-2 TS (MPEG-2 MP@HL). For the monitoring of network status, the packet loss rate and the average jitter are measured by using parsing of RTP packet header in the streaming client and they are sent to the streaming server periodically. The

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

** 한국전자통신연구원 이동멀티미디어방송 연구팀 (airegin@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2005-03-104, 접수일자 : 2005년 3월 18일

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

network adaptation manager in the streaming server estimates the current network status from feedback packets and adaptively adjusts the sending rate by frame dropping. For this, we propose the real-time parsing and the frame-based prioritized packetization of the TS packet. The proposed system is implemented in software and evaluated over the LAN testbed. The experimental results show that the proposed system can enhance the end-to-end QoS of HD video streaming over the best-effort network.

I. 서론

최근 인터넷 환경의 발전과 고품질 미디어에 대한 사용자들의 수요가 증가함으로써 인터넷 망에서 HDTV 비디오를 스트리밍하는 연구 (HDTV over IP)가 많이 시도되고 있다⁷⁻¹¹. 아직은 높은 대역폭을 지원하는 KOREN(Korea advanced REsearch Network)이나 KREONET(Korea Research Environment Open NETwork)과 같은 연구망을 중심으로 이루어지고 있지만 가까운 미래에 범용 인터넷 망을 이용한 고품질 VOD(Video On Demand), 현실감 있는 화상회의(video conference) 등의 서비스가 상용화될 것으로 전망된다. 그러나 인터넷 기반의 고품질 미디어 스트리밍 서비스를 실현하기 위해서는 네트워크, 미디어, 시스템을 총괄한 모든 구성 요소에 대한 개선이 여전히 과제로 남아 있다. 이러한 과제들은 최선형 서비스(best-effort service)를 기반으로 하는 인터넷 망에서 높은 대역폭을 요구하는 고품질 비디오에 대한 서비스 품질(QoS: Quality of Service)을 안정적으로 보장하지 않는 데 그 원인이 있다.

인터넷 환경에서 미디어 스트리밍의 QoS를 개선시키기 위한 기존의 연구들은 비디오 압축(video compression), 응용 계층에서의 QoS 제어, 전송 프로토콜(transport protocol), 미디어 분배 서비스(media distribution), 스트리밍 서버(streaming server), 미디어 동기화(media synchronization) 등의 범주로 나눌 수 있다³. 이중 응용 계층에서의 QoS 제어 기법은 혼잡 제어(congestion control)나 손실율 제어(error control)등의 목적을 가지며 네트워크로부터의 어떠한 QoS 지원없이 종단 시스템에서의 지원만을 요구한다는 점에서 장점을 갖는다.

본 논문에서는 스트리밍 서버와 클라이언트간의 응용 계층에서의 QoS 제어 기법에 기반한 네트워크 적응형 HD(High Definition) MPEG-2 비디오 스트리밍 시스템을 설계 및 구현한다. 스트리밍 서버에서는 MPEG 프레임 유형(I, P, B)의 중요도에 기반하여 네트워크 상황에 따라 프레임 폐기(frame dropping)를 수행함으로써 전송률을 조절한다. 이

기법은 확장된 의미의 시간적 확장성(temporal scalability) 기법을 의미한다. 이를 위해 MPEG-2 TS (Transport Stream)¹⁾ 패킷의 실시간 파싱(real-time parsing)과 프레임 단위의 패킷 우선순위화(frame-based prioritized packetization) 기법이 제안된다. 실시간 파싱 과정에서는 각 TS 헤더와 PES(Packetized Elementary Stream) 헤더를 분석함으로써 TS 패킷의 유형과 비디오 TS 패킷인 경우에는 프레임 부호화 유형을 알아낸다. 이에 기반을 두어 프레임 유형의 중요도에 따른 프레임 단위의 패킷 우선순위를 수행한다.

스트리밍 서버에서의 전송률 적용은 스트리밍 클라이언트에서 측정된 네트워크 상태 측정 정보에 기반한다. 이를 위해 스트리밍 클라이언트에서는 RTP(Real-time Transport Protocol) 헤더를 파싱하여 주기적으로 손실률(loss rate)과 평균 지터(average jitter)를 측정하고 스트리밍 서버로 피드백을 보낸다. 스트리밍 서버의 네트워크 적응 관리자(network adaptation manager)에서는 피드백 패킷에 기반하여 네트워크 상태를 판단하며 우선순위가 낮은 패킷들을 프레임 단위로 폐기함으로써 전송률을 조절한다. 내부적으로 정의되는 변수인 *drop_stage*는 프레임 폐기량을 결정한다.

제안 시스템은 모듈 단위의 소프트웨어로 구현되어 VLC(VideoLAN Client)¹⁹⁾와 통합된다. TS 패킷 파싱 알고리즘의 실시간 동작을 위해 자체 제작한 MPEG-2 TS 파싱 툴을 이용하여 효율적인 구현을 수행하였다. 입력 비디오는 JVC HD 카메라를 이용해 실시간으로 촬영되어 19.2Mbps의 소스 비트율을 갖는 MPEG-2 TS 형식으로 IEEE1394 인터페이스를 통해 들어온다. 구현 시스템의 성능 검증을 위해 LAN 테스트베드 환경을 구축하였으며 네트워크 혼잡 상황을 주기 위해 iperf²⁰⁾를 이용한 배경 트래픽(background traffic)을 발생시켰다. 스트리밍 실험 결과는 네트워크 상황에 따른 전송률 적용을 수행함으로써 손실율과 평균 지터를 현저히 줄임으로서

1) MPEG-2 시스템의 일부로 전송 오류에 유연하게 대처할 수 있는 다중화 방식 및 동기화 관련 정보 등을 제공함으로써 방송 환경이나 네트워크 전송 등에 적합한 방식이다.¹¹.

중단간 QoS를 향상시킬 수 있음을 보여준다. 이는 제안 기법 적용 시 적응형 전송에서의 프레임 폐기 (frame dropping)로 인해 프레임 재생율(frame rate)은 떨어질 수 있지만 네트워크 혼잡으로 인한 임의의 패킷 손실이나 지터를 줄임으로서 사용자가 느끼는 서비스 경험(QoE: Quality of Experience)은 향상되는 의미를 포함한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 제안하는 적응형 MPEG-2 TS 스트리밍 시스템에 대해 설명하고 3절에서는 구현 사항에 대해 설명한다. 4절에서 LAN 테스트베드에서의 실험 결과를 제시하고 5절에서 관련연구를 요약한 후 6절에서 결론을 맺는다.

II. 네트워크 적응형 HD MPEG-2 스트리밍

2.1 스트리밍 서버/클라이언트 구조

최선형 서비스를 지향하는 인터넷 환경에서의 미디어 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서는 시간에 따라 가변하는 네트워크 상황에 적응적으로 대처할 수 있는 기법이 요구된다. 이를 위해서 네트워크 적응형 응용프로그램과 네트워크 자원들 사이의 대등한 상호작용을 증진하기 위한 네트워크 적응형 미디어 스트리밍 시스템의 프레임워크가 제시된 바 있다⁴¹. 제시된 프레임워크는 동영상 부호화 전송/분배를 하는데 발생하는 문제점을 해결하기 위한 방법으로서 수시로 변하는 네트워크 환경에 대처함으로써 사용자에게 보다 나은 품질의 전송을 제공하는 목적을 가지고 있다. 주기적으로 현재의 네트워크 상황에 대한 정보를 판단한 후 이를 이용하여 전송 서버 및 클라이언트들이 전송률 및 재생 방법에 적응적으로 대처함으로써 사용자에게 일정 수준의 QoS를 보장하도록 한다.

그림 1은 네트워크 적응형 스트리밍 서버와 클라이언트에 대한 전체 구조를 보여준다. 스트리밍 서버와 클라이언트가 IP(Internet Protocol) 네트워크를 통해 연결되며 여기에서는 유니캐스트(unicast) 전송 방식만으로 범위를 한정한다. 입력 비디오의 형식은 복수의 기초 스트림(ES: elementary stream)들이 MPEG-2 TS 형식으로 다중화되고 비디오 기초스트림의 경우 MPEG-2 비디오 방식으로 부호화된 것을 고려한다. 이에 따라 입력 데이터는 188바이트의 고정 크기를 갖는 TS 패킷이 연속적으로 들어온다고 생각할 수 있다. 이후 TS 패킷들은 실시간 전송을 위해 RTP 패킷화 과정을 거친 후 최종적으로

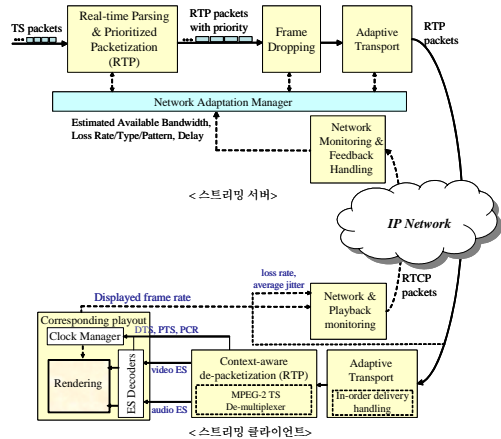


그림 1. 스트리밍 서버/클라이언트 구조

UDP(User Datagram Protocol) 패킷으로 전송되게 된다. 네트워크 및 스트리밍 재생 품질에 대한 측정을 위해 RTCP(RTP Control Protocol)가 사용될 수 있다. 각 주요 구성 요소에 대한 기능을 요약하면 다음과 같다.

2.1.1 실시간 파싱 및 패킷 우선순위화

스트리밍 서버에서는 모든 TS 패킷들에 대해 실시간 파싱을 수행한다. 여기에서는 일차적으로 TS 패킷의 유형을 알아낸다. 만약 비디오 TS 패킷인 경우에는 유효부하(payload) 부분을 분석하여 프레임 부호화 유형을 알아낸다. 또한 TS 패킷의 유효부하에 복수의 프레임 정보가 들어가 있는 경우에는 패킷 분리(packet split) 과정을 거쳐 각각을 별도의 TS 패킷으로 재생성하는 것이 필요하다. 이는 기존에 단일 계층으로 부호화된 비디오 스트림에 대해 계층화된 전송(layered transmission)을 적용하기 위한 일련의 재구성(re-organization) 과정으로 요약될 수 있다. 이후 패킷 우선순위화에서는 프레임 유형의 중요도에 따라 비디오 TS 패킷들의 우선순위를 할당한다. 프레임 유형의 중요도는 MPEG의 시간적 중복성을 이용한 부호화 방식에 따라서 I(Intra), P(Predictive), B(Bi-directional) 프레임 순이 된다. 동일한 프레임 유형을 갖는 복수의 TS 패킷들은 하나의 RTP 패킷으로 묶이게 된다. 일반적으로 HD 비디오의 한 프레임은 복수의 비디오 TS 패킷으로 구성된다. 하나의 RTP 패킷은 헤더를 포함하여 1500 바이트의 크기를 갖기 때문에 최대 6개의 TS 패킷이 들어갈 수 있다. 우선순위 정보는 각 패킷 내에 자체적으로 포함되지 않고 네트워크 적응 관리자로 입력된다.

2.1.2 네트워크 측정 및 피드백 제어

네트워크 상태 측정을 위해 스트리밍 클라이언트는 RTP 패킷의 헤더를 파싱한다. RTP 헤더의 시퀀스 번호(sequence number)와 타임스탬프(timestamp) 필드는 패킷 손실율과 평균 지터 계산에 이용된다. 네트워크 상태 측정은 일정한 주기마다 이루어지며 측정값은 주기적으로 서버로 피드백된다. 피드백 패킷을 위해 현재 구현 시스템에는 간단한 UDP 패킷을 이용하나 보다 정교한 제어를 위해 RTCP로 확장하는 것이 가능하다.

2.1.3 네트워크 적응 관리자와 프레임 폐기

전송을 적응의 양은 스트리밍 서버의 네트워크 적응 관리자에 의해 결정된다. 이를 위해 네트워크 적응 관리자는 스트리밍 클라이언트로부터 받은 피드백 패킷에서 패킷 손실율과 평균 지터값을 추출한다. 이 값들에 기반하여 현재의 네트워크 상태를 판단하고 프레임 폐기량을 결정한다. 네트워크 상태를 반영하는 *drop_stage* 변수는 점진적으로 증가하거나 감소하며 이 값이 커질수록 단위 시간당 폐기되는 프레임 양은 증가한다.

2.1.4 스트리밍 클라이언트

스트리밍 클라이언트는 네트워크 상태 측정과 피드백 기능 이외에 MPEG-2 TS 역다중화기(de-multiplexer), ES 복호기(decoder), 출력(rendering), 관련 재생 제어(corresponding playout control) 등의 기능을 포함한다. 관련 재생 제어 기능에서는 스트리밍 서버에서의 프레임 폐기로 인해 발생할 수 있는 미디어동기화와 관련된 문제를 제어한다. 이를 위해 재생 미디어 유닛(media unit)들에 대한 관련 타임스탬프(PCR, DTS, PTS)들을 조절한다.

패킷 전송의 신뢰성을 높이기 위해 적응형 FEC(adaptive FEC)를 포함하는 적응형 전송(adaptive transport) 과정이 추가될 수 있다¹⁸⁾.

2.2 실시간 파싱 및 패킷 우선순위화

그림 2는 TS 패킷의 구조를 계층적으로 보여준다. TS 패킷은 TS 헤더, PES 헤더, 유료부하(payload)로 구성된다¹¹⁾. 또한 하나의 TS 내에는 복수의 프로그램이 포함될 수 있다²⁾. 그러므로 프레임 단위의 패킷 우선순위를 위해서는 TS에서 해당 프로그램의 비디오 ES를 찾아야 한다.

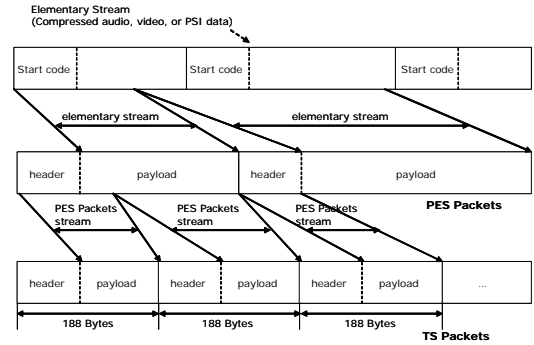


그림 2. TS 패킷의 계층적 구조¹¹⁾.

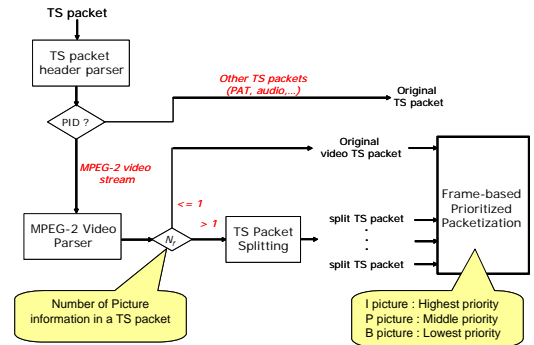


그림 3. TS 패킷의 실시간 파싱 및 프레임 기반 패킷 우선순위화 흐름도

그림 3은 TS 패킷 구조에 기반한 실시간 패킷 파싱 과정을 제시한다. 먼저 MPEG-2 비디오 ES 패킷을 찾기 위해 프로그램의 고유 구분자인 PID 필드를 TS 헤더에서 추출하고 프로그램 내에서의 ES의 고유 구분자인 *stream_id* 필드를 PES 헤더에서 추출해낸다. 만약 MPEG-2 비디오 ES 패킷인 경우에는 유료부하에 있는 비디오 프레임이 어떠한 유형인지를 찾는다. MPEG-2 비디오 ES는 계층적으로 부호화되며 해당 계층의 시작을 알려주는 시작코드(start_code)와 유료부하가 반복되는 구조를 갖는다³⁾.

프레임의 부호화 유형을 알기 위해서 먼저 프레임의 시작을 알려주는 *psc*(picture start code)를 찾는다. *psc* 이후에는 일련의 헤더(picture header)가 뒤따르며 이중에 *picture_coding_type* 필드를 이용해 해당 프레임의 부호화 유형을 알 수 있다. *psc*가 없는 경우에는 가장 최근에 찾은 *picture_coding_type*과 동일하다. 이렇게 분석된 비디오 TS 패

2) 하나의 프로그램에는 독립적인 미디어를 표현하는데 필요한 모든 정보를 갖고 있다¹¹⁾.

3) MPEG-2 비디오 ES는 시퀀스, GOP(Group Of Picture), 픽처, 매크로블록, 블록 등의 계층을 가지며 여기에서 픽처는 프레임과 동일한 의미로 사용된다²⁾.

킷들은 프레임의 부호화 유형에 따라 I, P, B 순으로 우선순위를 갖게 된다. 이것은 MPEG-2 비디오의 인접한 프레임간의 상관성을 이용한 부호화 기법의 특징에 따른 것이다^[2]. PAT(Program Association Table)와 오디오와 같은 다른 유형의 TS 패킷들은 비디오 패킷들보다 더 높은 우선순위를 갖는다. TS 패킷들의 우선순위 정보는 패킷 내부에 포함되기 보다는 네트워크 적응 관리자를 통해 관리된다.

그림 3에서 N_f 는 해당 TS 패킷 내에 포함된 프레임의 수를 의미하며 1보다 클 경우에는 패킷 분리 과정을 거치는 것을 볼 수 있다. 이는 비디오 TS 패킷의 유료부하 내에 복수의 프레임이 들어가는 경우 프레임 기반의 우선순위화 및 프레임 폐기가 용이하도록 하기 위한 과정이다. 패킷 분리 후에는 분리된 각 TS 패킷들의 유료부하의 크기가 원본 TS 패킷과 비교하여 달라지게 된다. 스트리밍 클라이언트에서 변경된 TS 패킷들을 문제없이 파싱하고 복호화하기 위해서는 TS 패킷의 헤더를 수정하는 것이 요구된다. 이를 위해 TS 패킷 헤더의 적응 필드(adaptation field)⁴⁾를 수정한다(그림 4). 적응 필드의 마지막 부분에는 의미 없는 데이터 부분의 미히는 *stuffing_bytes* 필드가 올 수 있다. 이를 이용하여 패킷 분리에 따라 줄어들게 되는 유료부하만큼 TS 헤더의 *stuffing_bytes* 부분을 늘린다. 이에 따라 적응 필드의 길이는 추가된 *stuffing_bytes*만큼 증가되어야 한다.

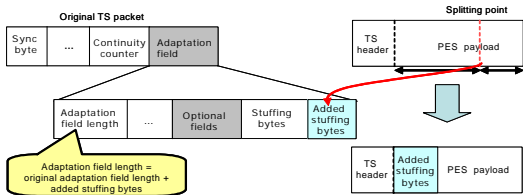


그림 4. 적응 필드를 이용한 TS 패킷 분리 기법.

2.3 네트워크 적응 관리자

네트워크 상태 측정을 위해 RTP 헤더를 이용한다(그림 5). RTP 계층은 TS 패킷이 UDP 패킷으로 만들어지기 전에 RTP 헤더를 추가함으로써 생성될 수 있다. RTP 헤더에는 16비트의 시퀀스 번호와 32비트의 타임스탬프 필드가 있어 수신측에서 이를 이용해 기본적인 패킷의 수신 품질 상태를 측정할

4) 적응 필드는 TS 패킷 헤더에서 필수적으로 오는 필드 이외에 부가적으로 올 수 있는 헤더 정보를 의미한다^[1].

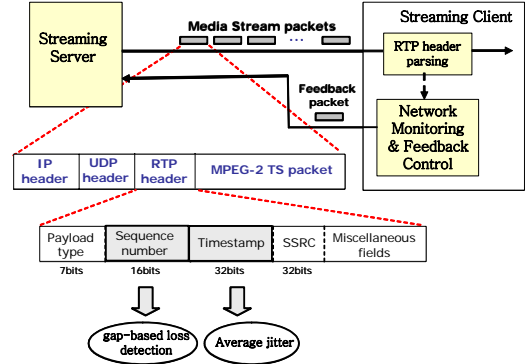


그림 5. RTP 계층을 이용한 네트워크 상태 측정과 피드백.

수 있다^[15]. 즉, 연속적으로 수신된 RTP 패킷에 대해 시퀀스 번호의 간격을 통한 패킷의 손실율과 타임스탬프 필드를 이용해 평균 지터를 계산할 수 있다. 이때 측정의 주기는 이에 따른 오버헤드의 영향에 따라 적절히 조절할 수 있다. 매 주기마다 측정값을 스트리밍 서버에 알리기 위해 피드백 패킷을 만들어 보낸다.

스트리밍 서버에서는 클라이언트로부터의 피드백 패킷에 기반하여 전송률을 적응한다. 이와 관련하여 네트워크 적응 관리자에서는 피드백 패킷으로부터 손실율과 평균 지터값을 추출하여 네트워크 상태를 판단하고 이에 따라 프레임 폐기를 할 것인지를 결정한다(그림 6의 좌측). 또한 프레임 폐기의 양을 조절하기 위해 *drop_stage* 변수를 유지한다. *drop_stage*의 범위 및 어떤 프레임을 폐기할지는 해당 MPEG 비디오의 GOP 유형에 의존한다. 예를 들어 그림 6의 우측과 같이 "I1 B2 B3 P4 B5 B6"의 GOP를 갖는 경우 *drop_stage*는 0에서 3까지 변화한다. *drop_stage* 값이 증가될수록 폐기되는 프레임 양은 많아지며 전송율은 줄어들게 된다. 즉 *drop_stage* 값이 1일 경우에는 한 GOP 내에서 모든 B 프레임이 폐기되며 *drop_stage*가 2일 경우에는 B 프레임과 P 프레임이 폐기된다.

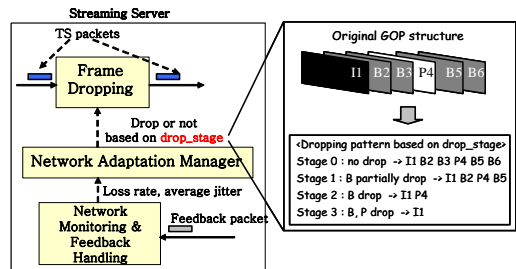


그림 6. 네트워크 적응 관리자에 의한 프레임 폐기 메커니즘.

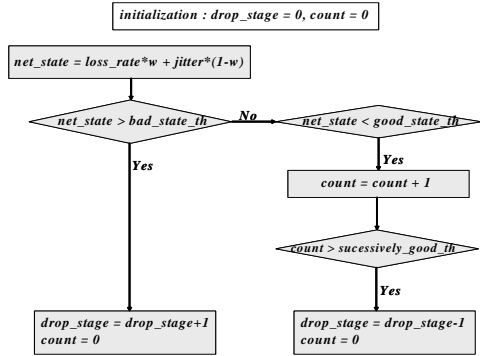


그림 7. drop_stage 결정 흐름도.

drop_stage 값은 손실율과 평균지터의 가중치에 기반한 합계값인 net_state와 네트워크 상태를 판단하는 기준이 되는 임계치(threshold)간의 비교를 통해 점진적으로 증가하거나 감소한다. 그림 7은 네트워크 적응 관리자에서 drop_stage를 결정하는 흐름도를 보여준다. 초기값으로서 프레임 폐기가 없게 되는 0값을 가진다. net_state값이 bad_state_th보다 클 경우에는 drop_stage를 바로 증가함으로써 프레임 폐기량을 증가시킨다. 이에 반해 good_state_th보다 클 경우에는 drop_stage를 바로 감소시키지 않고 successively_good_th 이상 반복되었을 경우에만 줄인다. 이는 전송률을 다시 높이는 경우 빈번한 전송률 적응이 발생하는 문제를 완화시키기 위한 것이다.

이러한 예외를 두는 것은 네트워크 상태 측정 기법에 있어 현재 해당 비디오 스트림을 위해 이용 가능한 네트워크 대역폭(available network bandwidth)을 정확하게 측정하는 것이 어렵기 때문이다. 이는 스트리밍 클라이언트에서의 패킷 손실률 및 평균 지터에 기반한 네트워크 상태 측정 기법 만으로는 한계가 있음을 의미한다. 즉, 네트워크 상태가 안 좋아질 경우 프레임 폐기를 함으로서 네트워크 혼잡으로 인한 임의의 패킷 손실에 대처하는 것은 가능하지만 실제로 해당 비디오 스트림에 대한 이용 가능한 대역폭이 증가한 것이 아니라 프레임 폐기로 인한 결과일 경우에는 바로 전송률을 높일 경우 빈번한 전송률 조절이 발생하는 문제가 생기게 된다. 이러한 문제를 해결을 위해서는 네트워크 측정에 있어 현재의 이용 가능한 네트워크 대역폭의 예측 기법이 적용되어야 한다.

III. 시스템 구현

제안 프레임워크를 구현하기 위해서 적응형 전송

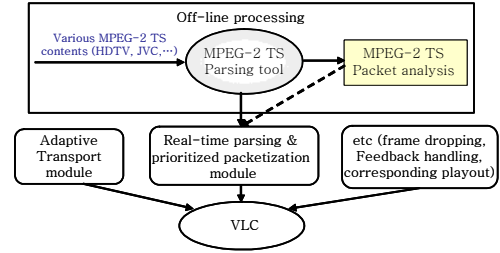


그림 8. 통합 소프트웨어 구성.

관련 주요 기능들은 별도의 모듈로 구현하고 비디오 스트리밍 오픈 소스로서 제공되는 VLC와 통합한다(그림 8)5). VLC에서는 비디오 스트리밍을 위한 기본적인 전송 관련 모듈 및 스트리밍 클라이언트에서의 재생 기능 등을 지원한다.

MPEG-2 TS의 효과적인 실시간 파싱 과정을 위해 실제 비트스트림의 일반적인 구조를 분석하고 이에 따른 좀 더 최적화된 구현이 이루어져야 한다. 이를 위해 별도의 파싱 툴을 구현하였다. 여기서는 TS 콘텐츠의 전형적인 패킷을 분석하는데 목적이 있다. 분석된 결과를 바탕으로 실시간 파싱과 패킷 우선순위화 모듈을 효율적으로 구현하였다. 그림 9는 구현된 파싱 툴의 사용자 인터페이스를 보여준다. 좌측 창에는 각 TS 패킷의 유료부하에 psc가 있는 경우 프레임 부호화 유형 및 TS 패킷 내에서의 바이트 위치를 보여준다. 우측 창에서는 비디오 스트림의 GOP 구조 및 부가적인 정보를 보여준다.

네트워크 측정 및 피드백 기능을 위해 RTP 헤더 파싱 및 측정 기능을 구현하였다^{15, 21)}. 그림 10은 손실률 및 평균 지터의 기본 계산 코드를 보여주며 측정 간격은 1초로 하였다. loss_rate와 avg_jitter는 손실율과 평균 지터를 각각 의미한다. loss_rate를 구하는 수식에서 10000은 100%, num_packet은 측

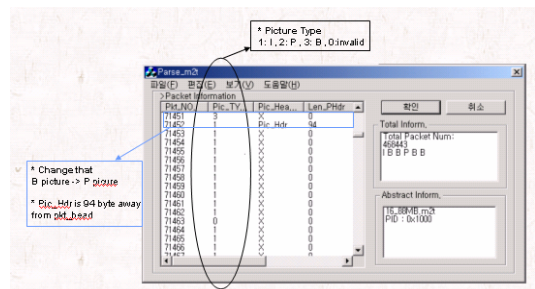


그림 9. MPEG-2 TS 파싱 및 분석 툴.

5) 현재 구현된 소프트웨어에는 adaptive transport 모듈은 통합이 안 되었음.

$$\begin{aligned} loss_rate &= 10000 - (int)((float)(num_packet * 10000) / (float)current_sequence_number - beg_seq + 1)) \\ avg_jitter &= sum_jitter / (num_packet + 1) \\ \text{where, } sum_jitter &= abs((current_timestamp - prev_timestamp) - (local_timestamp - prev_local_timestamp)) \end{aligned}$$

그림 10. 손실율과 평균 지터 계산코드.

정 주기 동안 받은 패킷의 갯수, *current_sequence_number*는 현재 패킷의 RTP 시퀀스 번호, *beg_seq*는 측정 주기가 시작할 때 첫 RTP 패킷의 시퀀스 번호를 각각 의미한다. 예를 들어 *loss_rate*가 100으로 계산되었을 경우에는 1%의 손실율을 의미한다.

평균 지터 계산식에서 *current_timestamp*는 현재 패킷의 타임스탬프, *prev_timestamp*는 이전 패킷의 타임스탬프, *local_timestamp*는 현재 패킷을 받은 시간을 타임스탬프로 변환한 값, *prev_local_timestamp*는 이전 패킷을 받은 시간을 타임스탬프로 변환한 값을 각각 의미한다. *sum_jitter*는 이들 간의 차이의 절대값에 의해 계산되며 평균 지터값은 *sum_jitter*를 측정 주기 동안 받은 패킷 수로 나눔으로서 계산된다. 이렇게 계산된 *loss_rate*와 *avg_jitter*는 피드백용 UDP 패킷의 유료부하에 저장되어 스트리밍 서버로 전송된다.

IV. LAN 테스트베드 실험 결과

4.1 테스트베드 구성

실험용 LAN 테스트베드 환경은 스트리밍 서버 노드, 스트리밍 클라이언트 노드, 배경 트래픽용 서버와 클라이언트 노드, 스위치, JVC 카메라 등으로 구성된다(그림 11). 스트리밍 클라이언트와 배경 트래픽용 서버는 동일한 머신을 사용하였다. 배경 트래픽을 주기 위해 *iperf* 프로그램을 사용하였다. 각 머신은 100Mbps 이더넷 링크로 연결된다. 스트리밍 서버에는 JVC 카메라가 IEEE1394 인터페이스를 통해 연결된다. 각 노드의 운영체제는 *iperf* 클라이언트에는 레드햇 리눅스 8.0, 그 외의 머신에는 마이크로소프트 XP가 설치되어 있다.

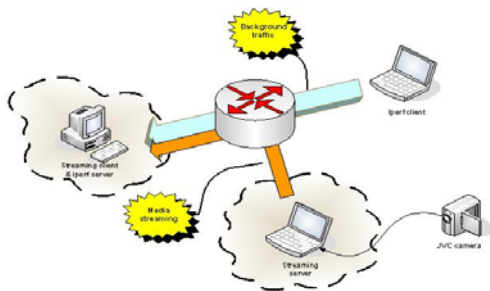


그림 11. LAN 테스트베드 구성.

| | | | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 75M -> 76M | -> 78M | -> 80M | -> 82M | -> 85M | -> 80M | -> 75M | -> 72M |
| 10s | 10s | 10s | 10s | 10s | 10s | 10s | 10s |

그림 12. 배경 트래픽 변화 시나리오.

JVC로부터 스트리밍 서버로 들어가는 비디오는 MPEG-2 TS 형식이며 1280x720 해상도, 29.97fps (frame per second), 19.2Mbps, IBBPBB의 GOP 등을 특성으로 갖는다. 초당 프레임 유형별 차지하는 대역폭은 I 프레임이 약 8Mbps, P 프레임이 약 4Mbps, B 프레임이 약 8Mbps이다. 네트워크 상태 측정 및 피드백 주기는 1초로 설정하였다. *drop_stage*를 결정하기 위한 임계치 값으로서 *bad_state_th*, *good_state_th*, *successively_good_th*에는 1, 0.2, 12를 각각 설정하였다. 그림 12는 가변적인 네트워크 상황을 만들기 위한 배경 트래픽 시나리오를 보여준다. *iperf*를 이용한 배경 트래픽은 75M부터 시작되며 85M까지 증가했다가 다시 72M로 감소한다. 각 단계 당 시간은 10초를 유지하게 하였다.

4.2 스트리밍 실험 결과

그림 13은 배경 트래픽 시나리오에 따른 스트리밍 클라이언트에서의 수신율 상황을 보여준다. 수신율은 배경 트래픽과 비디오 스트림이 합쳐진 양이다. 적응 기능이 없을 시에는 전체적으로 거의 100%까지 올라감을 확인할 수 있다 중간에 수신율이 20%로 내려가는 것은 배경 트래픽 시나리오에 의해 *iperf*가 재 시작되는 부분이다. 이에 반해 적응 기능을 추가했을 시에는 80%에서 90%사이를 유지하였다. 수신율이 가변적으로 변하는 현상은 수신측에서의 네트워크 측정에 따른 *drop_stage*의 변화로 인한 것이다.

그림 14는 적응 기능의 유무에 따른 재생 화질을 보여준다. 적응 기능이 없을시 75M의 배경 트래픽 시점부터 손실이 생기기 시작했으며 트래픽 증가에 따라 손실률이 증가했다. 배경 트래픽이 85M인 경우, 비적응형 전송 시에는 약 15%의 손실이 발생하며 화질의 현저한 감소가 발생함을 그림 14.(c)에서 확인할 수 있다. 이에 반해 적응 기능을 적용 시에

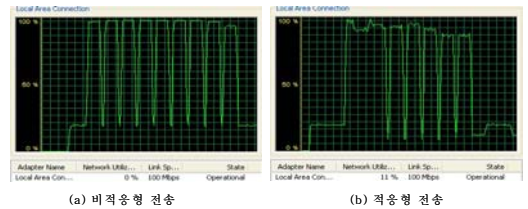
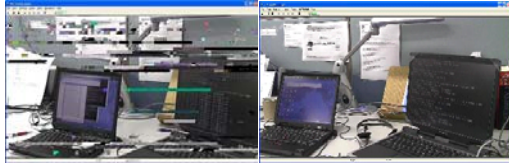
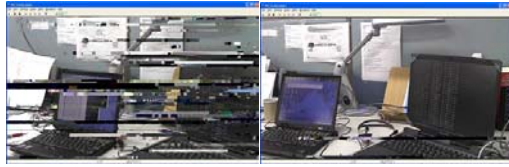


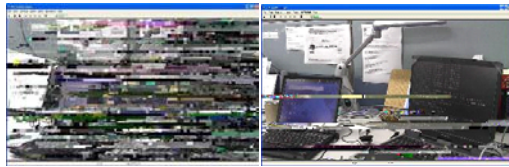
그림 13. 수신율 비교.



(a) 78M 배경 트래픽시



(b) 82M 배경 트래픽시



(c) 85M 배경 트래픽시

그림 14. 배경 트래픽 양에 따른 스트리밍 영상 비교. (좌측영상: 비적응형 전송, 우측영상: 적응형 전송)

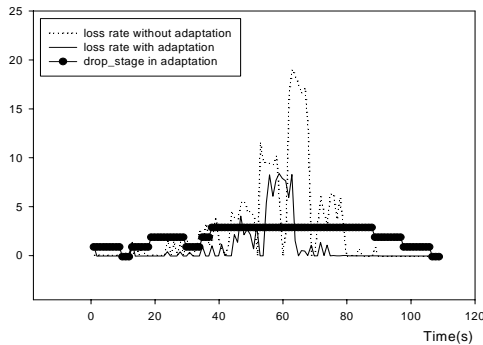


그림 15. 패킷 손실율과 drop_stage의 변화 그래프.

는 프레임 재생률은 떨어지지만 같은 배경 트래픽 상황에서 화질은 상대적으로 현저히 개선되었다. 그러나 배경 트래픽이 85M 이상으로 점점 늘어날 경우에는 적응형 적용 시에도 패킷 손실로 인한 화질 저하로 인해 사용자 입장에서 비디오 감상이 힘들었다. 결과적으로 프레임 폐기를 이용한 제안 기법에 의해 적용할 수 있는 범위는 비디오 스트림의 구성과 네트워크 상황에 따라 가변적이다.

그림 15는 손실률 비교 및 적응형 전송시의 drop_stage의 변화를 보여준다. 전체적으로 적응형 적용 시에 손실률이 현저히 떨어짐을 확인할 수 있다. drop_stage는 네트워크 상황에 따라 0에서 3 사이에서 변화한다. drop_stage가 3일 경우에는 1 프레임만이 전송됨을 예측할 수 있다. 이에 따라 스트리

밍 클라이언트에서의 초당 프레임 재생률은 5fps로 떨어진다. drop_stage가 1, 2일 경우에는 프레임 재생률이 각각 20, 10fps가 된다.

V. 관련 연구

최근 DV, HDV, HDTV급의 고화질 비디오를 인터넷 망을 통해 전송하는 연구들은 주로 기가비트 이더넷 망이나 국내에서는 KOREN이나 KREONET과 같이 고대역폭이 보장되는 연구망들을 중심으로 이루어지고 있다. 여기에 관련되어 미국의 USC ISI, ResearchChannel, 일본의 히로시마 대학, 국내에서는 KAIST, GIST등을 중심으로 연구가 활발히 진행되고 있다. USC ISI에서는 압축하지 않는 HDTV 비디오를 기가비트 이더넷을 통해 전송하는 시스템을 구축하고 실험하였다⁸⁾. ResearchChannel에서는 HDTV 비디오를 SONY HDCAM 코덱으로 압축하여 미국 내에서의 기가비트(gigabit) 망뿐 아니라 국가 간의 광대역 망을 이용한 전송 실험을 하였다⁷⁾. 히로시마 대학에서는 ROBUST라는 시스템을 구축하여 MPEG-2 기반의 부호화된 HDTV 비디오를 전송하는 시스템을 구축하였다¹⁰⁾. 또한 KAIST에서는 HDV 캠코더와 IEEE1394 인터페이스를 이용한 MPEG-2 기반 HDVTS 시스템을 구축하였다⁹⁾. GIST에서는 HDV 입력과 VideoLAN을 이용하고 패킷 손실 복구를 위한 FEC 기능을 추가하여 "VideoLAN for HDV" 시스템을 구현하였다¹¹⁾. 이 연구들은 주로 고대역폭을 지원하는 인터넷에서의 대용량 멀티미디어 전송 성능을 검증하는데 초점을 맞추고 있으며 QoS 지원 측면에서는 FEC 정도가 고려되고 있다.

패킷 우선순위가 측면에서 볼 때는 기존의 범용 인터넷 환경을 고려한 전통적인 비디오 스트리밍 분야에서 적응형 전송과 관련하여 다양한 기법들이 제안되어 왔다. 기존에 MPEG을 중심으로 표준화 및 제안되고 있는 일련의 계층형 비디오 부호화(layered video coding) 방식들도 이질적인 환경을 갖는 범용 인터넷 망에서의 적응적인 비디오 전송을 위한 것이라고 볼 수 있다. 기본적으로 계층형 비디오 부호화 방식의 의도는 인터넷 환경에 따라 전송하는 비디오의 품질을 효율적으로 차별화하겠다는 측면에서 패킷 우선순위가 기법과 연관되어 설계될 수 있다. 그러나 비디오가 계층적으로 부호화되어야 한다는 전제가 있다. 이에 반해 단일 계층으로 부호화된 비디오에 대해 패킷 우선순위가 기법

을 적용하는 것은 중간적인 선택이라고 볼 수 있다.

이와 관련하여 Walpole은 단일 계층으로 부호화된 MPEG 비디오를 고려하여 네트워크 상태에 따라 서버에서 프레임율을 조절하여 전송함으로써 종단간 QoS 품질을 개선시키는 기법을 제안하였다^[5]. 이 연구에서는 서버와 클라이언트간의 피드백 프로토콜과 GOP에 따른 프레임 폐기 패턴(pattern)이 제안되었으나 MPEG 비트스트림으로부터의 구체적인 프레임 폐기 기법은 제시되지 않았다. Chi-Woon은 프레임 폐기에 기반한 종단간 적응형 MPEG 비디오 스트리밍 기법을 제안하며 네트워크 상태에 기반한 전송율의 모델링에 초점을 맞추고 있다^[6]. 또한 프레임 단위의 패킷 우선순위화 뿐만 아니라 MPEG-4 부호화 방식의 특성을 이용한 객체 단위의 우선순위화 방법들도 적용할 수 있다^[12-14]. 이 기법들의 공통점은 MPEG-4의 객체들에 대해 중요도를 나누고 이에 기반한 차별적인 전송을 수행한다는데 있다. [4]에서는 우선순위화에 대한 다양한 요구 조건들을 포괄하여 지연과 패킷 손실에 따른 계층화된 RPI(Layered Relative Priority Index)로 정리하고 이를 기반으로 한 네트워크 적응형 미디어 전송 프레임워크를 제안하였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 HD MPEG-2 비디오를 인터넷 망에서 네트워크 상황에 따라 적응적으로 전송하는 스트리밍 시스템을 설계하고 구현하였다. 제안된 시스템은 향후 인터넷 망을 이용한 고품질 비디오 전송 시스템에 적용 가능할 것으로 기대된다. 프레임 기반 우선순위화 기반의 전송률 적용에서 현재의 네트워크 이용 가능한 대역폭을 예측하는 것은 아주 중요한 요소로 작용한다. 이를 위해 적극적 모니터링(active monitoring)과 같은 기법이 적용될 수 있을 것이다^[6]. 또한 멀티캐스트(multicast) 환경으로 확장하기 위해서는 스트리밍 서버에서의 적응 기능만으로는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해서는 서버뿐 아니라 각 클라이언트에 자체적인 적응 기능을 포함해야 한다. 이와 관련하여 클라이언트에서의 적응형 재생(adaptive playout) 기법을 통합하는 것이 가능하다^[17].

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] 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.

[4] J. Kim and J. Shin, "Dynamic network adaptation framework employing layered relative priority index for adaptive video delivery," in *Proc. IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM' 2002)*, Dec. 2002.

[5] J. Walpole and et. Al., "A player for adaptive MPEG video streaming over the Internet," in *Proc. SPIE 26th Applied Imagery Pattern Recognition (AIPR)*, Oct. 1997.

[6] F. Chi-Woon and S. C. Liew, "End-to-end frame-rate adaptive streaming of video data," in *Proc. IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, vol 2, pp 67-71, June. 1999.

[7] ResearchChannel, <http://www.researchchannel.org>.

[8] Colin Perkins, Ladan Gharai, Tom Lehman & Allison Mankin, "Experiments with Delivery of HDTV over IP Networks," in *Proc. 12th International Packet Video Workshop*, Pittsburgh, April. 2002.

[9] J Lee and K. Chon, "High-Definition Digital Video Over IP: System Design, Experiments and Applications," in *Proc. APAN Network Research Workshop 2004*, Cairns, Australia, July. 2004.

[10] ROBST, <http://net.ipc.hiroshima-u.ac.jp/robst/>.

[11] HDTV over IP, <http://hdtv.nm.gist.ac.kr>.

[12] S. Park. et. Al., "Design and implementation of MPEG-4 streaming system with prioritized adaptive transport," *J. of the Korean Insti. Of Commun. Science*, 29, paper 8A, pp. 859-867, Aug. 2004.

[13] T. Ahmed and A. Mehaoua, "Adaptive MPEG-4

streaming based on AVO classification and network congestion feedback,” in *Proc. Packet Video Workshop*, 2003.

- [14] E. S. Ryu, et. Al., “Selective MPEG-4 streaming based on weighted media objects,” in *Proc. 27th KISS Fall Conference*, vol. 27, no. 2, pp. 287-289, 2000.
- [15] H. Schulzrinne. Et. Al., “RTP: A Transport Protocol for Real-time Applications”, RFC 1889, Jan. 1996.
- [16] J. Park and J. Kim, “Hybrid Monitoring Scheme for Real-time Media Delivery over the Multicast Network,” in *Proc. APAN Network Research Workshop 2004*, pp. 1-8, 2004.
- [17] J. Jo and J. Kim, “Synchronized Multicast Media Streaming Employing Server-Client Coordinated Adaptive Playout and Error Control,” *J. of the IEICE Transactions on Communications*, vol. E87-B, no. 6, pp. 1670-1680, June. 2004.
- [18] Y. Kwon, H. Chang, and J. Kim, “Adaptive FEC control for reliable high-speed UDP-based media transport,” in *Proc. IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM'2004)*, Tokyo, Japan, Dec. 2004.
- [19] VideoLAN, <http://www.videolan.org>.
- [20] iperf, <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>.
- [21] http://cosmos.kaist.ac.kr/hdtv/vlc_rtp_measurement.htm.

박 상 훈 (SangHoon Park) 정회원
 2001년 2월 강원대학교 정보통신공학과 졸업
 2003년 2월 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사
 2003년 3월~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정
 <관심분야> Multimedia System and Multicast Media Streaming



이 승 주 (SeungJoo Lee) 준회원
 2004년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2004년 3월~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 석사과정
 <관심분야> Reliable and Secure Media Streaming over Multicast



김 종 원 (JongWon Kim) 정회원
 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>)



김 우 석 (WooSuk Kim) 정회원
 2001년 2월 한양대학교 전자전기기컴퓨터공학부 졸업
 2003년 2월 한양대학교 전자전기기컴퓨터공학부 석사
 2003년 3월~현재 한국전자통신연구원 연구원
 <관심분야> Digital Multimedia Broadcasting and Interactive Broadcasting systems

