

# 비압축 인터넷 HDTV 시스템의 저비용 설계 및 구현

준회원 조진용\*, 채종권\*\*, 콰재승\*, 종신회원 김종원\*\*, 변옥환\*\*\*

## Design and Implementation of a Low-cost Uncompressed Internet HDTV System

Jinyong Jo\*, JongKwon Chae\*\*, Jaiseung Kwak\* Associate Members,  
JongWon Kim\*\*, OkHwan Byeon\*\*\* Lifelong Members

### 요약

광 네트워크 기술의 발달로 인한 가용 대역폭의 증가는 고품질 협업환경 구축을 위한 비압축 인터넷 HDTV의 개발과 서비스를 촉진시키고 있다. 비압축 인터넷 HDTV는 고품질 갈무리 및 재생, 고성능 데이터 처리, 고속 전송 기술 등을 필요로 하는 첨단 광대역 응용이다. 하지만, 높은 장비 구축비용과 대용량 데이터의 전송을 위해 필요한 기가급 광대역 네트워크 요구는 비압축 인터넷 HDTV의 서비스 인프라를 확대하는데 있어 걸림돌로 작용하고 있다. 본 논문에서는 비압축 인터넷 HDTV 시스템의 저비용 구축을 위한 하드웨어 구성 및 시스템 구조를 제안하고 하드웨어의 제어와 데이터의 효과적인 전송 및 재생을 위해 개발된 소프트웨어를 소개한다. 개발 구축된 비압축 인터넷 HDTV 시스템의 성능 검증을 위해 연구망에 실험환경을 구축하고 중단 간 전송 및 재생 실험을 수행하여 효율성을 입증하였다.

**Key Words** : Uncompressed internet HDTV, Broadband networked application

### ABSTRACT

Recent advances in optical-network technologies have led to the advent of broadband networks reaching 10 Gbps. The increase of available network bandwidth envisions wide-spread use of broadband applications such as uncompressed Internet HDTV, which would be a cutting-edge application for networked collaborations. Despite of breakthroughs in high-performance systems and networks, expensiveness blocks wide-range deployments of uncompressed Internet HDTV systems. In this paper, we propose a low-cost uncompressed Internet HDTV system and discuss its software architecture in depth. We conducted several network-based experiments utilizing a research network test-bed to evaluate the performance of the proposed system.

### 1. 서론

그리드 컴퓨팅은 고성능 컴퓨팅 자원과 광대역 네트워크를 하나로 연결해 고속연산 및 대용량 데이터 처리를 용이하게 하는 기술이다. 광 네트워크 기술은 그리드 컴퓨팅과 같은 첨단 응용의 기반 인

프라로써 수십 Gbps의 네트워크 대역폭을 제공할 수 있는 단계에 있다. 네트워크 인프라의 확대와 시스템 성능의 폭발적인 증가에 따라, 그리드 응용 연구자들은 광대역 네트워크 응용의 개발과 이를 활용한 협업환경 구축을 위해 노력하고 있다. 협업환경을 지원하는 그리드 기술들은 현장의 생동감을

\* 한국과학기술정보연구원 고성능연구망사업단 ({jiny92o, jskwak}@kisti.re.kr), (° : 교신저자)

\*\* 광주과학기술원 정보통신공학과 ({jkchae, jongwon}@nm.gist.ac.kr),

\*\*\* 한국과학기술정보연구원 e-Science사업단 (ohbyeon@kisti.re.kr)

논문번호 : KICS2006-09-371, 접수일자 : 2006년 9월 5일, 최종논문접수일자 : 2007년 1월 4일

원거리에 전달하기 위해 고선명(high definition) TV 및 가상현실(virtual reality) 등의 가시화 기술과 접목되어 활용될 전망이다. 광 네트워크 및 전송 기술의 발달은 인터넷 가시화 기술의 활용 범위를 IPTV<sup>[1]</sup>나 Access Grid<sup>[2]</sup>와 같은 협대역 응용에서 비압축 HDTV<sup>1)</sup><sup>[3],[4],[5]</sup>와 같은 광대역 응용까지 확대시켰다.

압축 기술을 활용하는 고선명 가시화 응용의 경우, 영상 프레임 간 종속성으로 인한 오류 전파, 부호화 및 복호화 과정의 복잡도로 인한 처리 지연 (processing delay) 등의 문제점이 있기 때문에 실시간 대화형 (real-time interactive) 가시화 시스템의 구축 및 활용에 어려움이 있다. 이에 비해, 비압축 HDTV 기술은 고선명 멀티미디어의 초기 품질을 지속적으로 유지할 수 있을 뿐만 아니라, 코덱 처리를 위한 추가 지연이 발생하지 않아 실시간 대화형 응용에 매우 적합하다. 비압축 HDTV의 응용영역은 저비용 실시간 방송 중계, 실시간 영상 편집, 고화질 미디어 제작(authoring) 등 방송 산업 전반에 걸쳐 사용될 수 있다. 멀티캐스트 기술을 활용해 고선명 원격 강의 및 세미나를 중소 규모(100 여명 이내)로 지원하는 온라인 교육(e-learning) 영역에서도 활용 가능하다. 또한, 개발의 확장을 통해 원격 의료나 디지털 시네마와 같은 고선명 영상이 요구되는 분야에 적용이 기대된다.

본 논문은 비압축 HDTV 시스템의 저비용 설계와 고품질 보장을 위한 소프트웨어 구조에 대해서 제안한다. 논문의 개발이 기술적으로 기여한 부분은 1) 저가형 하드웨어 인터페이스 제어를 위한 소프트웨어 모듈 지원, 2) 음성 RTP(Real-time Transport Protocol) 스트림의 분리 전송 및 재생 지원, 3) 양수포트(dual-port) 전송을 위한 소프트웨어 구조 설계 및 지원, 4) 음성의 소프트웨어 재생을 위한 모듈 지원 등에 있다. 구현된 소프트웨어 및 시스템의 성능 시험을 위해 연구망에 테스트베드를 구축하고 실험을 수행했다. 본 논문을 통해 개발된 저가형 시스템이 비압축 인터넷 HDTV의 확산 및 보급에 기여하고, 수행된 실험들이 국내 연구망을 활용한 선도 연구라는 점에서도 의미를 갖는다.

본 논문의 2절에서는 인터넷 HDTV의 종류와 장단점을 조사하고, 3절에서 비압축 HDTV와 관련된

연구들을 살펴본다. 구축된 비압축 인터넷 HDTV의 하드웨어 구성 및 시스템 구조에 대한 설명은 4절에서, 소프트웨어의 구조에 대한 내용은 5절에서 기술한다. 6절에서 실험 환경 및 네트워크 적용 실험을 수행하고, 7절에서 결론을 맺는다.

## II. 인터넷 HDTV 및 트래픽 특성

HDTV 표준안은 영상 압축을 위해 MPEG2 MP@HL (main profile@high level)을 정의하고 다중화에 MPEG2 TS(transport system)를 규정하고 있다<sup>[6]</sup>. MPEG2 TS는 유손실(loss-prone) 환경 하에서 음성과 영상을 전송하기 위한 목적으로 설계되었으며 방송 응용 분야에서 사용되고 있다. MPEG2 MP@HL은 비월(progressive) 및 순차(interlaced) 주사 방식의 영상을 지원하며 최대 1980x1125의 해상도를 갖는다. MPEG2 영상은 intra-coding(I), forward prediction(P), bidirectional prediction(B) 등 3가지 형태의 프레임들을 갖는다. 각 프레임은 GOP(group of picture)라 불리는 집합 내에서 특정 순서를 갖도록 구성하며 일반적으로 GOP는 12 또는 15 프레임 크기를 갖는다. MPEG2 MP@HL의 최대 데이터 전송율은 80Mbps이지만, 디지털 TV의 6MHz 채널 대역폭인 19.4Mbps가 HDTV 1개 채널을 수용하기 때문에 19.2Mbps이내의 대역폭을 사용한다.

IP 네트워크를 이용해 MPEG2 영상을 전송하기 위해서 실시간 전송 규약인 RTP가 이용된다. MPEG1과 MPEG2 영상에 대한 RTP 페이로드(payload) 포맷은 IETF RFC 2250<sup>[7]</sup>에 정의되어 있다. 압축된 프레임들은 MPEG2 TS 패킷의 페이로드 크기인 184 바이트(byte)로 분할되며 전송 효율을 높이기 위해 수개의 TS 패킷들이 단일 RTP 패킷에 통합된다. MPEG2 TS 패킷은 헤더를 포함해 총 188 바이트이다.

MPEG2는 높은 압축율과 고화질의 영상을 제공하고 저비용으로 송/수신 시스템을 구축할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 부호화 및 복호화의 영향으로 종단 간 전달 지연이 600-740ms로 높다는 단점이 있다<sup>[8]</sup>. 이는 실시간 응용의 권장 지연인 150ms를 4배 이상 초과하는 값으로 쌍방향 화상회의 등 대화형 응용에는 부적합한 수치이다. 또한, MPEG2는 손실 환경 하에서 오류가 발생했을 때, 동일 GOP내에 존재하는 프레임들 사이에 시공간적으로(temporal and spatial) 오류가 전파되는 특성이 있다.

1) 본 논문에서 사용된 '비압축 HDTV' 용어는 IP 네트워크를 이용하여 HDTV급 영상 및 음성을 비압축으로 전송하는 시스템을 총칭하며 '비압축 인터넷 HDTV'는 개발 구축된 시스템을 가리킨다.

SMPTE 292M은 비압축 HDTV 신호의 장비 간 전송 표준을 제공하기 위해 전기적 특성, 디지털 포맷 및 내장 보조 데이터 등과 같은 정보를 규정하고 있다<sup>[9]</sup>. 전기적 특성을 규정하기 위해 SMPTE 292M은 1.485 또는 1.485/1.001 Gbps의 데이터율(data rate)로 동작하는 HDTV 신호들을 위해 직렬 디지털 인터페이스(HD-SDI, serial digital interface)를 제공한다. 디지털 포맷은 1080i 비일 주사, 720p 순차 주사 등 다양한 주사 구조(scanning geometry)를 갖는 디지털 입력을 수용하며, SMPTE 292M 전송 계층이 갖는 활성영상 영역(active picture area)에 할당된다. 수평보조 데이터(horizontal ancillary data) 영역은 일반적으로 48KHz 디지털 음성을 수용하며 수직보조 데이터(vertical ancillary data)는 시간 정보(time code)와 문자 정보를 포함한다.

비압축 HDTV 시스템에 있어서 네트워크는 SMPTE 292M 신호를 사용하는 영상 장비들 간에 데이터 전송 통로를 제공하는 시스템 버스의 역할을 한다. 현재 호환성 있는 비압축 HDTV의 네트워크 전송을 위한 2종류의 RTP 페이로드 규정이 IETF RFC 3497과 4175에 각각 정의되어 있다<sup>[10][11]</sup>. 회선대행(circuit emulation)은 SMPTE 292M 신호 전체를 패킷화해서 전송하는 방법으로 HD-SDI를 이용하는 방송용 장비와 직접적인 호환을 위해 설계되었다<sup>[10]</sup>. 최대 전송율은 1.485Gbps이며 방송 장비와의 호환성 문제로 유연성이 떨어진다. 고유 패킷화(native packetization)<sup>[11]</sup>는 SMPTE 신호(SMPTE 274M, 296M 등) 중 활성영상 영역만을 패킷화 하기 때문에 다양한 영상 포맷을 수용할 수 있다. 또한, 비일 및 순차 주사, 8-16 비트 샘플 크기, 색상 표현의 다양성(RGB, YCrCb 등), 색상 부샘플링(sub-sampling: 4:4:4, 4:2:2 등) 등을 지원함으로써 유연성을 제공한다. 고유 패킷화에서 패킷화의 기본 단위는 활성 주사선(active scan line)이며 회선대행의 경우 SMPTE 292M의 주사선(scan line)이다.

비압축 HDTV는 압축과정에서 발생하는 코덱 지연과 시공간 오류 전파의 단점이 없다. 하지만, 비압축 특성으로 인해 네트워크와 시스템 영역에서 고성능 및 고대역폭을 요구한다.

다음 표 1은 MPEG2 MP@HL과 비압축 HDTV의 요약 비교이다.

비압축 HDTV는 고성능 시스템과 네트워크 기술을 필요로 하는 데이터 집중적(data-intensive)인 응용이다. 비압축 HDTV는 8 비트 영상을 9,000 바이트 패킷에 넣어 전송하기 위해 1/fps (frame-per-

표 1. MPEG2 vs. 비압축 HDTV.

	MPEG2 MP@HL	비압축 HDTV
전송율	19.2 Mbps	1.485 Gbps
RTP	RFC 2250	RFC 3497/4175
영상압축	yes	no
처리지연	600-740ms	100ms 이내
장점	저비용, 저대역폭	고화질, 실시간
단점	오류전파, 고지연	고비용, 고대역폭

second) 초에 약 460개의 패킷을 생성한다. 1,500 바이트 패킷을 이용할 경우, 1/fps 초에 2,764개의 패킷을 처리해야 하며 10 비트 영상은 8 비트 영상에 비해 패킷 처리량이 약 1.3배 증가한다. 8 비트 영상은 1 프레임 당 약 4.147 메가 바이트(MByte)의 임시 저장 공간이 요구되며, 10 비트 영상은 약 5.529 메가 바이트가 필요하다.

1,500 바이트 패킷을 이용할 경우, 송신 시스템에서는 하드웨어 인터럽트와 잦은 메모리 복사로 인해 시스템 과부하가 발생하게 되며 전송 효율도 저하되기 때문에 네트워크에서는 9,000 바이트 프레임을 지원해야 한다. 패킷을 물리 계층으로 전송하기 위해서는 18 바이트의 데이터링크 계층 오버헤드와 물리계층에서 8 바이트 프리앰블(preamble) 및 최소 8 바이트 IPG(inter-packet gap)가 IP 패킷에 추가된다. 근거리 네트워크에서 네트워크 인터페이스의 단편화/재조합 기능을 이용해 9,000 바이트 데이터를 1,500 바이트 패킷으로 단편화 해 전송하면 시스템 과부하 문제는 막을 수 있지만, 장거리 네트워크에서는 재조합 실패 가능성이 크게 증가하기 때문에 단편화/재조합 기능을 이용하기 어렵다.

비압축 HDTV는 대용량 데이터 처리 및 트래픽의 버스트(burst) 특성을 갖고 있으며, 송신 및 수신 시스템에서 처리 지연을 최소화해 실시간 영상 편집을 가능하게 하는데 기능적 목적이 있다. 네트워크는 비압축 HDTV에서 SMPTE 292M 신호의 전달 통로로 시스템 버스의 역할을 수행한다. 수신 시스템에서 네트워킹 측면의 품질 보장을 위해 동적인 제어를 가하면 처리 지연과 시스템 과부하를 발생시키기 때문에 신호의 품질을 더욱 악화시키는 결과를 초래한다. 따라서, 네트워크 계층에서 응용의 중단 간 품질을 보장할 방안이 필요하다. 현재, 2 계층(layer 2)에서 송/수신 시스템들 간의 라우팅 경로를 동일 가상랜 (VLAN, virtual LAN)으로 묶는 광 경로 규정설정(light-path provisioning)을 통해 외부 트래픽의 유입을 막고 품질을 보장하는 방안을 활용하고 있다.

가용 대역폭이 부족하고 광 경로 규정설정이 없는 3 계층(layer 3) IP 네트워크를 통해 데이터를 전송할 경우, 비압축 HDTV의 9,000 바이트 패킷 사용과 버스트 특성으로 인해 1,500 바이트 패킷을 이용하는 외부 트래픽들은 네트워크 자원을 할당받기 힘들어진다. 예를 들어, 1 Gbps 네트워크를 이용해 980Mbps의 송신율로 비압축 HDTV 신호를 전송할 경우, 회선 용량(link capacity)의 최대치에 근접하게 되며 패킷간의 전송 간격은 IPG 설정값으로 인해 최소 8 바이트가 된다. 즉, 1,500 바이트 또는 그 이상의 크기를 갖는 패킷들이 9,000 바이트 패킷들 사이에 다중화(multiplex)되기 어렵다. 1 프레임은 1/fps 초의 전송 주기를 가지며 주기 내에서 활성전송 영역(약 30ms 이내)과 비활성전송 영역(약 3ms)이 존재한다. 활성전송 영역에서 이중 패킷들의 다중화가 어렵기 때문에, 패킷 지연변이(jitter)가 최소화 된다. 지연변이의 증가는 비활성전송 영역에서 외부 트래픽에 의해 네트워크 자원이 잠시 선점된 후에 발생하는데 이때의 지연변이는 수  $\mu$ s 에 한정되며 수십 ms의 지연변이가 발생할 경우에는 다음 활성전송 영역에 있는 패킷들이 손실될 가능성이 크다.

### III. 관련 연구

비압축 HDTV의 연구는 전송 소프트웨어의 구조에 따라 iHD1500<sup>[12]</sup>, UltraGrid<sup>[13]</sup>, i-Visto<sup>[14]</sup> 등 3 가지로 구분된다.

iHD1500은 미국의 Research Channel에서 개발 중인 소프트웨어로 10 비트 1080i 방식의 비압축 SMPTE 292M 4:2:2 신호를 광대역 네트워크를 통해 전송하기 때문에, 단방향 1.485Gbps의 대역폭이 필요하다. 1999년에 최초 시연에 성공했으며 Microsoft Windows™ 환경에서 동작한다. 주요 특징으로는 양수포트(dual-port 또는 trunk) 전송 기법을 도입해 구축비용을 절감했으며 네트워크 전송 지연을 제외한 중단간 지연이 약 4 프레임(133 ms)을 보인다. 현재 저지연 구현, Linux 지원, 상호 호환성 등의 연구에 주력하고 있으며 조만간 오픈 소스화 할 예정이다.

UltraGrid는 미국의 남가주(USC/ISI) 대학에서 개발 중인 소프트웨어로서 10 비트 720p 방식의 비압축 HDTV를 지원한다. 영상의 전송 형태는 SMPTE 292M 또는 활성 영상 영역을 갖는다. UltraGrid 프로젝트를 통해서 비압축 HDTV의 전송

형태인 RFC 3497과 RFC 4175가 정의되었다. UltraGrid는 회선대행과 고유 패킷화 기능을 지원해 갈무리(capture) 및 재생의 유연성이 높으며 오픈 소스이다. 본 논문의 비압축 인터넷 HDTV는 UltraGrid를 전송 모듈로 활용해 개발되었다.

i-Visto는 일본 NTT에 의해 상용으로 개발된 인터넷 영상 스튜디오 시스템으로 방송환경의 지원에 목적이 있다. 영상 전송을 위해 1/10 Gbps 이더넷 및 SONET/SDH를 지원하고 최대 3개의 영상 스트림을 동시 처리 가능하다. 2개의 1 Gbps 네트워크 인터페이스 카드를 이용해 1.6 Gbps 처리율(throughput)을 갖는 트렁크 전송을 지원한다.

### IV. 하드웨어 구성 및 시스템 구조

그림 1은 비압축 인터넷 HDTV를 활용하기 위한 시스템 구성도를 보여준다. 저가형 HDV 카메라로부터 출력되는 아날로그 영상 신호는 A/D(analog to digital) 변환을 거쳐 HD-SDI 신호로 송신 시스템에 입력된다. 아날로그 음성은 24 비트 48KHz로 샘플링 된다.

송신 시스템의 HD-SDI 인터페이스는 입력되는 A/V(audio/video) 디지털 신호를 갈무리 또는 재생하는데 사용되며 비압축 인터넷 HDTV용 소프트웨어를 통해 패킷화된다. 패킷화된 영상 및 음성 데이터는 1/10 Gbps 네트워크 인터페이스를 통해 수신측으로 송출된다. 활성영상 영역과 고품질 음성만을 전송하는 비압축 인터넷 HDTV의 최대 전송 대역폭은 1.3 Gbps이며 2개의 1 Gbps 네트워크 인터페이스를 통해 양수포트 전송된다. 10 Gbps 연결이 가능한 액세스 네트워크에서는 10 Gbps 네트워크 인터페이스를 활용해 단수 포트(single-port) 전송이

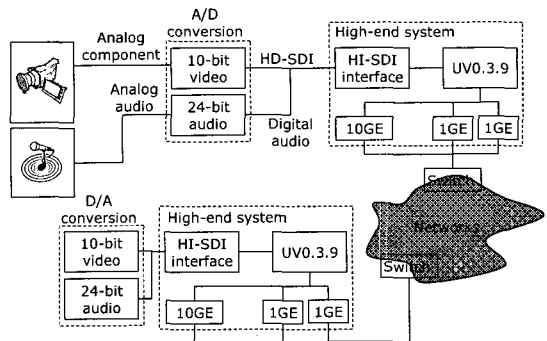


그림 1. 시스템 구조

가능하다. 양수포트 전송은 매체 내 또는 매체 간 (inter-/intra-media) 동기화를 위한 추가적인 계산 처리 비용이 필요하지만, 고가의 10 Gbps 네트워크 인터페이스를 대체할 수 있는 장점이 있다.

수신측은 네트워크 패킷 형태의 데이터를 음성 및 영상 프레임으로 재구성 한 후, HD-SDI 신호로 변환 출력하는 역할을 수행한다. 비압축 인터넷 HDTV는 비압축 영상 및 음성의 소프트웨어 및 하드웨어적인 재생 기법을 지원한다. 하드웨어 방식은 비월 주사 방식의 문제점인 비월 손상(interlacing artifacts)을 인터레이스 제거(deinterlacing) 기법을 통해 해결함으로써 고품질의 영상 재생을 가능하게 하지만 구축 비용이 높다는 단점이 있다. 이에 비해, 소프트웨어 방식은 수신단에서 HD-SDI 인터페이스가 필요하지 않으므로 시스템의 구축비용을 절감할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 실시간 인터레이스 제거 기능을 이용할 경우 높은 시스템 부하로 인해 고품질 재생이 어려운 단점이 있다. 소프트웨어 음성의 경우, 일반 사운드 카드를 이용해서 재생한다.

그림 2는 비압축 인터넷 HDTV 시스템을 10 Gbps 인터페이스를 통해 네트워크에 직접 연결했을 때, 시스템 내에서 영상 및 음성 데이터의 이동 경로를 보여 준다. 비압축 인터넷 HDTV의 HD-SDI 인터페이스와 네트워크 인터페이스가 1.3 Gbps 이상의 데이터 전송률을 필요로 하기 때문에 최소 2개 이상의 64 비트 확장 PCI(peripheral component interconnect extended)가 필요하다.

본 논문에서 구성된 시스템은 3개의 133MHz와 2개의 100MHz 확장 PCI 슬롯을 가지고 있다. 모든 시스템 버스는 64 비트로 동작하며 133MHz 확장 PCI 버스를 사용하는 주변 장치의 최대 속도는 이론상 1 GByte/s 이다. 중앙처리장치는 800MHz FSB(front-side bus)를 갖는 양수(dual) 구조이며 이론상 최대 대역폭은 51.2 Gbps이다. 메모리는 400MHz 클럭으로 동작하며 CPU와 동일한 대역폭을 갖는다. 10 Gbps 네트워크 인터페이스는 Chelsio N210™ 모델로 다중모드 광섬유(multi-mode optical fiber)를 이용해 10 Gbps 스위치와 연동 된다. 양수 포트 전송을 위해 2×1 Gbps 내장형 네트워크 인터페이스 카드를 이용한다. 네트워크 인터페이스는 64 비트 133MHz로 동작하기 때문에 이론상 최고 속도가 약 1 GByte/s이다.

HD-SDI 인터페이스의 OS 종속성으로 인해 Mandrake 리눅스(커널 2.6.11.3)가 사용됐다. 패킷

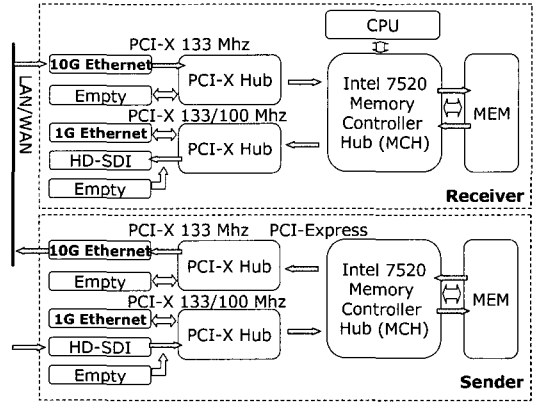


그림 2. 하드웨어 구조

화된 비압축 인터넷 HDTV 데이터의 송/수신을 위해서 UltraGrid의 전송 모듈이 확장되었으며 영상 및 음성의 실시간 갈무리 및 재생을 위한 HD-SDI 인터페이스의 구현부 등이 개발되었다.

## V. 소프트웨어 구조

### 5.1 UltraGrid의 기본 구조 및 제약 사항

남가주대학의 UltraGrid 소프트웨어(UV)는 720p 방식의 영상을 지원하며 데이터의 전송 형태로 회선대행과 고유 패킷화를 지원한다. UltraGrid의 전송 모듈은 HD-SDI 영상 캡처 카드를 통해 갈무리한 영상 프레임을 RTP 패킷화해 유니캐스트 또는 멀티캐스트 기법을 이용해 전송한다. 또한, RTCP 패킷에 네트워크 상태 측정 정보 및 세션 참여자 정보를 전송함으로써 세션의 제어기능을 제공한다. 비압축 영상 프레임의 패킷화는 자체 정의된 페이로드 헤더 포맷을 따르고 있으며, 수신 모듈은 페이로드 헤더로부터 프레임화에 필요한 정보를 얻게 된다. UltraGrid의 회선대행 방식은 RTP 페이로드 부분에 SMPTE 292M 신호정보가 들어가는 방식이다. 회선대행의 경우, SMPTE 292M 신호가 영상, 음성, 시간 정보 등의 데이터를 포함하기 때문에 음성의 전송과 재생을 위해 독립적인 프로토콜이나 소프트웨어적 지원이 필요하지 않다. 하지만, UltraGrid의 고유 패킷화 방식은 SMPTE 292M 신호 중, 영상 데이터만을 패킷화해 전송하기 때문에 음성 부분에 대한 소프트웨어 모듈이 필요하다. 즉, 고유 패킷화 방식으로 UltraGrid를 이용할 경우, 외부 오디오 응용(robust audio tool 등)을 이용해야 한다. 이는 다채널 고품질 음성의 재생 및 녹화 등

이 불가능함을 의미한다.

UltraGrid는 SMPTE 292M 신호의 갈무리 및 재생을 위해 DVS사의 Centaurus™ 카드를 사용한다. 따라서, 기존 UltraGrid의 소프트웨어 모듈은 상대적으로 고가 장비인 해당 카드에 최적화되어 있다. 네트워킹에 관한 사양으로 UltraGrid는 1/10 Gbps 백본을 활용할 수 있고 단수 포트 전송만을 지원하고 있다.

### 5.2 UltraGrid의 확장

그림 3은 본 연구를 통해 확장된 UltraGrid의 소프트웨어 구조를 보여 준다. 제안된 비압축 인터넷 HDTV의 소프트웨어 구조가 기존 UltraGrid와 비교했을 때, 확장된 부분은 크게 3가지로 구분된다. 첫째, 비압축 인터넷 HDTV는 저가형 HD-SDI 인터페이스를 도입하고 해당 인터페이스를 활용해 갈무리 및 재생이 가능하도록 확장 개발되었다. 둘째, 저가형 네트워킹 기법의 지원을 위해 양수포트 전송을 지원 한다. 즉, 2개의 1 Gbps 네트워크 카드를 이용해 최대 2 Gbps의 영상 데이터를 전송할 수 있다. 10 Gbps 백본이 도입단계에 있고, 상대적으로 고비용 구조라는 측면을 고려할 때, 개발된 양수포트 전송 기법은 구축비용의 절감에 크게 효과적이다. 셋째, 24 비트 48KHz를 갖는 6 채널 고품질 음성을 지원한다. 음성은 SMPTE 292M 신호 출력을 재생하는 하드웨어 방식과 사운드 카드를 통해 PC 출력하는 소프트웨어 방식을 모두 지원한다. 또한, 네트워크를 통해 음성을 전송하기 위해 영상으로부터 분리된 독립 RTP 세션을 지원한다. 영상과 음성을 위한 RTP 헤더는 표준 규약인 IETF RFC 3550을 따르며 음성 RTP의 페이로드 형태는

다채널 음성의 안정적 재생을 지원할 수 있도록 구성되었다.

#### 5.2.1 미디어 갈무리 및 재생

SMPTE 292M 신호로 부터 활성영상 영역을 분리하거나 SMPTE 292M 신호의 출력을 위해서 저가형 HD-SDI 갈무리 및 재생 인터페이스인 AJA사의 XENA HS™가 이용되었다. 24 비트 48 KHz 디지털 음성이 XENA HS™를 통해 채널별로 갈무리 된다. 영상은 1080i 비월 주사 방식으로 프레임율은 29.97/59.94, 30.0/60.0 및 25.0/50.0을 지원하며, 음성은 최대 6채널을 갖는다. 이하에서 별도로 언급되지 않을 경우, 프레임율은 29.97을 기준으로 한다. 영상 및 음성의 재생을 위해서 하드웨어 방식인 HDTV 출력과 소프트웨어 방식인 PC 출력을 갖는다. HDTV 출력의 경우, 영상과 음성은 전송 후 재구성된 SMPTE 292M 신호로부터 검출된다. PC 출력은 사운드 카드와 그래픽 카드를 이용한 모니터 출력으로 SMPTE 292M 신호 출력 장치가 필요하지 않아 비압축 HDTV를 저비용 구현가능하다.

기존의 비압축 HDTV 시스템은 회선대행 방식을 통해 SMPTE 292M 신호를 직접 전달하거나, 고유 패킷화 방식을 통해 영상만을 전송했다. 회선대행 방식을 이용할 경우, 수신측에서 영상과 음성의 동기화 문제를 손쉽게 해결할 수 있는 장점이 있는데 비해, 높은 대역폭을 요구하며 응용의 활용에 있어 유연성이 떨어진다. 예를 들어, 원격 강의 등의 응용에 있어 활성 송신자(active sender)를 제외할 수 신자들은 음성만을 이용해 응용에 참가하는 것이 대역폭 활용의 측면에서 이득이 있으나 회선대행 방식을 사용할 때, 음성만 분리 전송하는 것은 불가능하다. 고유 패킷화 방식에 음성을 지원하게 될 경우, 전송 규약을 정의하고 매체의 동기화 문제를 해결해야 하는 단점은 있으나, 응용의 유연성이 높아지고 상대적으로 저 대역폭을 소비한다는 장점이 있다. 또한, PC 출력이 가능해 시스템 구축비용을 절감할 수 있다.

구현된 비압축 인터넷 HDTV는 유사 회선대행(pseudo circuit emulation)을 이용한다. 유사 회선대행은 영상과 음성의 갈무리 및 재생 간격을 일치시켜 전송함으로써 회선대행 방식을 유사하게 이용하는 것으로 정의한다. 따라서, 음성도 영상과 같은 29.97/59.94, 30.0/60.0 및 25.0/50.0의 프레임율을 갖으며 갈무리 시점은 영상의 갈무리 시점과 일치한다. 유사 회선대행은 고유 패킷화 방식을 사용하

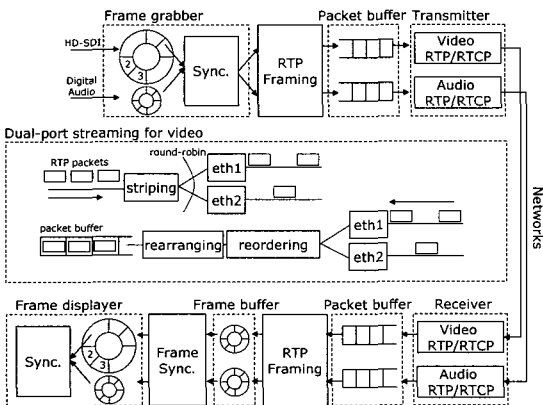


그림 3. 소프트웨어 구조

는 수신측에서 영상과 음성의 동기화를 용이하게 한다.

5.2.2 음성의 RTP 패이로드 형태 및 영상의 양수포트 전송

유사 회선대행 방식을 이용해 갈무리된 영상과 음성은 네트워크 전송을 위해 각각 독립된 RTP/RTCP 세션을 생성한다. 음성과 영상의 RTP 헤더는 IETF RFC 3550에 따르며 비압축 영상의 패이로드 형태는 IETF RFC 4175에 기반한다. 유사 회선대행 방식에서 24 비트 48KHz 음성의 RTP 전송을 지원하기 위해서는 패이로드 형태에 대한 규정이 필요하다. 비압축 인터넷 HDTV에서 음성 RTP 패킷을 위해 정의된 패이로드 형태는 그림 4와 같다).

0						16						32					
v	p	x	cc	m	pt	Sequence Number											
Timestamp																	
Synchronization Source (SSRC)																	
Offset			Payload Length						Location								
Start Point						Sample Size											

그림 4. 음성 RTP 및 패이로드 형태

패이로드 형태는 음성 RTP 패킷의 손실 시 발생하는 채널 정보의 손실 등에 유연히 대처하고 유사 회선대행 방식을 사용하는 음성 RTP를 효과적으로 동기화할 수 있도록 구성되었다. 유사 회선대행 방식을 활용해 음성을 갈무리했을 때, 음성 1 프레임 당 샘플의 수는 가변적(예, 48KHz/29.97)이므로 RTP 타임스탬프 값(예, 1600KHz)을 고정해 증가시키고 여유분을 오프셋(Offset) 필드를 통해 보상한다. 패이로드 길이(Payload Length)는 패킷이 포함하고 있는 음성 데이터의 크기를 나타낸다. 위치 정보(Location)는 패킷이 담고 있는 음성 데이터가 음성 프레임을 구성하기 위해 삽입되어야 할 상대적 위치를 나타낸다. 시작 지점(Start Point)은 음성 샘플의 시작 위치를 지정함으로써 수신측에서 채널 정보를 유지할 수 있도록 한다. 샘플 크기(Sample Size)는 음성 1 프레임이 가지는 총 샘플 수를 나타낸다.

송신측의 동기화기(Sync.)는 유사 회선대행을 통해 영상 및 음성 프레임의 갈무리 동기화를 수행하며 동기화된 영상 및 음성 프레임은 그림 3의 RTP Framing 모듈을 통해서 RTP 패킷화되어 전송된다.

2) 오프셋(Offset) 필드는 추후 요구사항을 위해 마련해둔다.

개발된 비압축 인터넷 HDTV는 영상 프레임의 전송을 위해 단수 포트 및 양수포트 전송 등 2가지 네트워킹 기법을 제공한다. 양수포트 전송은 1 Gbps 회선 수개가 묶여있는 수 Gbps 네트워크 백본에서 최대 1.485 Gbps를 필요로 하는 10 비트 비압축 HDTV 신호를 전송 가능하게 한다. 양수포트 전송을 이용하게 되면 10 Gbps 네트워크를 직접 활용하는 것보다 비용 측면에서 효과적이다. 양수포트 전송의 지원을 위해 패킷 인터넷 기법<sup>[5]</sup>을 응용했다. 비압축 인터넷 HDTV 시스템은 영상 프레임의 패킷화 과정을 거친 후, 2개의 1 Gbps 네트워크 인터페이스를 활용해 순환 순차(round-robin) 방식으로 패킷들을 전송한다. 음성 프레임의 경우 대역폭 소모가 적기 때문에 단일포트 전송을 수행한다.

양수포트 전송은 패킷의 순차적 도착을 보장하지 못하므로 수신측에서는 양수포트 전송된 패킷들을 투명하게 재순서화 해야 재생 시 영상의 왜곡을 최소화 할 수 있다. 1 Gbps 네트워크 인터페이스를 이용할 경우 송신측에서 보내지는 패킷의 최소 간격은 IPG 설정값(8 바이트)으로 인해 약 0.64  $\mu$ s이다. 비순차 도착의 원인은 송신측에서 하드웨어 인터럽트에 의해 패킷 전송을 위한 소프트웨어 인터럽트가 선점당한 경우, 네트워크 중간 노드에서 버퍼링으로 인한 경우 및 수신 시스템에서 패킷 버퍼를 검색하는 시간 측정의 정확도가 낮음으로 인해 수  $\mu$ s의 간격을 두고 도착하는 패킷들에 대해 동시 도착으로 인식하는 경우 등이 있다. 제안된 시스템 구조에서는 주로 시간 측정의 정확도 부재로 인해 패킷의 비순차 도착이 발생한다. 비압축 인터넷 HDTV 시스템은 그림 3과 같이 패킷의 동시도착을 인지할 경우, RTP 패킷의 순서 번호(sequence number)를 비교해 재순서화(reordering)하는 과정을 거치며 동시 도착 오류 이외의 원인으로 인해 비순차 도착한 패킷들에 대해서는 재배열(rearranging) 과정을 거쳐 패킷들을 순차화 시킨다.

네트워크 전송되는 패킷들은 혼잡으로 인해 지연변이를 유발한다. 지연변이는 음성 및 영상 패킷들을 프레임화 할 때와 각 프레임들을 매체 내(intra-media) 또는 매체 간(inter-media) 동기화할 때 오차를 유발시킴으로써 재생 품질을 악화한다. 프레임화 시, 지연변이를 흡수하기 위해서 해당 프레임을 구성하는 첫 번째 패킷의 도착시간을 기준으로 프레임율( $f_s$ )과 지연변이( $j_t$ )를 고려해 프레임 구성을 완료하기 위한 최적의 지연 시간을 갖도록

구현됐다. 즉, 단일 프레임은 첫 번째 해당 패킷 도착 시간으로부터 최대  $1/f_s + 3 \cdot j_i$  의 시간 지연을 갖고 지연변이를 흡수한다. 지연변이는 지수이동평균(exponential moving average)에 의해 구해진다. 가해진 시간 지연을 초과해 도착하는 패킷은 비압축 HDTV의 저지연 특성을 유지하기 위해 손실로 간주한다.

### 5.2.3 매체 내 및 매체 간 동기화

유사 회선대행 방식을 이용해 전송한 음성과 영상의 동기화는 동일 미디어 프레임 내에서 재생 간격을 일정하게 유지하기 위한 매체 내 동기화와, 이종 미디어 간 재생시간을 일치시키는 매체 간 동기화로 구분된다. 개발된 비압축 인터넷 HDTV의 영상과 음성의 갈무리 시간을 동기화시켜주는 유사 회선대행 방식을 이용한다. 이는 높은 시스템 부하로 인해 동적인 매체 간 또는 매체 내 동기화 기법(네트워크 적응형 동기화 등)의 적용이 어려운 비압축 HDTV 시스템에서 영상 및 음성의 동기화를 간소화 시킨다.

개발된 비압축 인터넷 HDTV는 2단계의 매체 간 동기화 과정을 갖는다. 첫째, 영상과 음성 프레임을 재생 버퍼로 이동시키기 전에 매체 간 프레임 동기화를 수행한다. 둘째, 매체 간 프레임 동기화를 거친 영상과 음성 프레임은 동일한 시간 정보를 가지며 재생 버퍼에 입력된 후 매체 간 재생 동기화된다. 2단계 동기화 과정을 거치는 이유는 동기화를 위해 사용되는 RTP 타임스탬프의 정확도가 낮아 정교한 매체 내 및 매체 간 재생을 필요로 하는 HDTV 출력에 적합하지 않기 때문이다. 프레임 동기화는 전송된 RTP 패킷의 타임스탬프를 활용하며, 재생 동기화를 위해서는 RDTSC(real time-stamp counter)를 이용해  $\mu$ s단위의 정확도를 유지한다. RDTSC는 한 기계어 명령의 처리를 위해 한번의 CPU 클럭이 발생한다는 점을 이용해 시간을 측정하며 CPU의 초당 총 클럭 수를 알면 한 클럭 당 단위 시간을 계산할 수 있다.

유사 회선대행과 같이 영상 프레임에 동기화시켜 음성을 갈무리하고 전송하면 영상 및 음성 간 프레임 구성완료 시간의 차이를 최소화 할 수 있다. 즉, 영상 프레임과 음성 프레임이 동시에 갈무리된 후 전송되고 네트워크상에서 전달 지연이 없다고 가정했을 때, 두 프레임 간 구성완료 시간 차이가 최소화되어 매체 간 프레임 동기화를 용이하게 한다. 구현된 시스템은 영상 프레임의 송신 완료와 동시에

음성 프레임을 송신하는 순차 전송을 적용한다. 순차 전송을 이용하면 대용량 버스트 특성을 갖는 영상 프레임에 의해 음성 프레임이 받는 영향을 최소화할 수 있다. 1 또는 10 Gbps 네트워크에서 패킷의 개당 전송 시간을  $t_p$ , 영상 프레임의 크기를  $s_v$ (약 5,529,600 바이트), 음성 프레임의 크기를  $s_a$ (약 38,400 바이트), 전송 패킷의 크기를  $s_m$ 이라고 했을 때, 영상과 음성을 동시에 송신할 경우, 수신측에서 영상과 음성의 프레임을 구성 완료하는 시점에 약  $t_p \times (s_v - s_a) / s_m$   $\mu$ s의 시간 간격이 발생한다. 예를 들어, 10 Gbps 네트워크에서 9,000 바이트 크기를 갖는 하나의 패킷을 처리하는데 약 8.47  $\mu$ s가 필요하므로 구현된 시스템에서 순차 전송을 이용해 전송할 경우, 영상과 음성 두 프레임 간 구성완료 시간의 차이는 약 36.13  $\mu$ s ( $8.47 \times s_a / s_m$ )이다. 수신측 시스템의 매체 간 프레임 동기화기(Frame Sync.)는 매체 간 프레임 구성완료 시간 차이와 시스템 및 네트워크 혼잡으로 인한 추가적인 차이를 보상해 준다.

매체 간 프레임 동기화는 RTP 패킷의 타임스탬프(time-stamp) 값을 이용해 수행되며 음성 또는 영상 프레임이 손실되어 비동기화 되었을 경우, 영상 또는 음성 프레임을 버림(discarding)으로서 동기화를 복구한다. 프레임 버림을 이용하는 이유는 시스템 부하를 최소화하고 프레임 버퍼를 낮게 유지함으로써 추가적인 지연 발생을 막기 위해서이다. 또한, 재생시간의 조절, 최근 프레임의 삽입 등 동적 프레임 복구를 통해 얻는 이득이 추가되는 복잡도에 비해 작기 때문이다. 프레임 동기화를 위해 필요한 음성 또는 영상 프레임의 최대 버퍼링 시간은 두 프레임 간 수신완료 시간의 차이와 같으므로 10 Gbps 네트워크에서 약 36.13  $\mu$ s를 갖는다.

매체 간 프레임 동기화를 마친 영상 및 음성 프레임이 재생 버퍼로 이동될 때, 동일한 RDTSC 타임스탬프를 받게 되며 각 프레임들의 물리적 메모리 위치를 포함하는 데이터 구조에 삽입된다. 데이터 구조가 갖는 RDTSC 타임스탬프와 영상과 음성 프레임의 메모리 위치를 참조해 매체 간 재생 동기화가 수행된다.

매체 간 및 매체 내 프레임 동기화를 마친 영상과 음성 프레임은 재생 버퍼로 이동 된다. 재생 버퍼에서는 매체 내 재생 동기화를 위해서 RDTSC를 이용한 소프트웨어 인터럽트를 매체의 프레임율에



기초해 주기적으로 발생시킨다. 발생한 인터럽트를 기준으로 매체를 재생시키면 수신 시스템에서 매체 간 동기화를 유지할 수 있다. 개발된 비압축 인터넷 HDTV 시스템은 프레임 버퍼의 언더플로우(underflow)를 막고 매체 내 동기화를 유지하기 위해 2 프레임의 초기 버퍼링(2/fps ms) 시간을 가지며 소프트웨어 인터럽트와 재생 하드웨어의 초기화를 위해 매체의 프레임율이 정적(static)으로 설정된다.

## VI. 실험 환경 및 결과

### 6.1 시스템 튜닝

송/수신 시스템들의 전송 성능을 최적화하기 위해 MTU(maximum transfer unit) 크기, 커널 변수, 네트워크 인터페이스의 선택사항 등이 각각 튜닝되었다.

MTU 크기는 종단 간 전송 성능(throughput)에 큰 영향을 미치는 요소이다<sup>[16]</sup>. 10 비트 비압축 영상 데이터를 1,500 바이트 메시지 크기로 전송할 경우, 종단 시스템은 초당 약 11 만개의 패킷을 처리해야 된다. 즉, 9.05  $\mu$ s 간격으로 패킷이 송신되는 것과 같다. 하지만, 응용 계층에서 1,500 바이트 메시지 크기에 맞춰 단편화(fragmentation) 과정을 거칠 경우 시스템 부하로 인해 데이터 송/수신이 어려워지므로 9,000 바이트 MTU 크기를 이용해야 된다.

운영체제 커널 변수에 대한 튜닝은 송/수신 버퍼의 권장 크기를 조절하는 것으로 종단 시스템에서 패킷 오버플로우(overflow)를 막는 역할을 한다. 비압축 HDTV는 RTP/UDP 프로토콜을 사용하며 실험에 이용된 커널 변수는 다음과 같다.

```
echo 524288 > /proc/sys/net/core/optmem_max
echo 262144 > /proc/sys/net/core/wmem_default
echo 262144 > /proc/sys/net/core/rmem_default
echo 128388607 > /proc/sys/net/core/tmem_max
echo 128388607 > /proc/sys/net/core/wmem_max
echo 6000 > /proc/sys/net/core/netdev_max_backlog
```

마지막으로 네트워크 인터페이스에 대한 튜닝이 필요하다. Gbps 네트워크 인터페이스는 내부 성능 조율을 위한 튜닝 변수들을 가지고 있다. 개발된 소프트웨어는 양수포트 전송(2x1 Gbps)을 지원한다. 2개의 네트워크 인터페이스를 이용할 경우, 시스템 자원에 대한 쟁탈(contention)이 발생하는데 인터럽트 관리를 통해 비순차 도착 등 자원 쟁탈로 인한 문제를 최소화 할 수 있다. 정적 인터럽트 관리를

통해 패킷의 송신 및 수신에 필요한 인터럽트 발생 주기를 최소화 했다.

### 6.2 네트워크 환경

구현된 비압축 인터넷 HDTV 시스템의 전송 및 재생 성능을 테스트하기 위해서 그림 5와 같은 실험 환경이 구축되었다. 실험 환경은 글로벌 과학기술협업망(GLORIAD), 초고성능 지역연구망(SuperSIREN) 및 초고속연구망(KREONET)의 3 계층 스위치들을 포함한다. 지역 3 계층 스위치(Local L3 Switch)를 제외한 스위치들은 지리적으로 인접해 있으며 종단 시스템간의 물리적 거리는 약 150km이다. 실험을 위해 2개의 1Gbps 전용 회선(dedicated link)을 생성했고 전용 회선에 연결된 종단 시스템 간의 왕복지연 시간(round-trip time)은 약 4ms이다.

그림 5는 실험 환경 하에서 단일포트 전송 실험을 위한 비압축 인터넷 HDTV 시스템 및 네트워크 구성도이다. 단일포트 전송 시, 종단의 송신 및 수신 시스템은 각각 1 Gbps 회선을 독립적으로 사용한다. 양수포트 전송 실험에서는 한 대의 시스템이 송신 또는 수신 역할을 수행하며 2개의 1 Gbps 회선을 동시에 수용한다. 따라서, 양수포트 실험에서 데이터의 흐름은 단방향성이 된다. 양수포트 전송은 두 개의 네트워크 인터페이스에 순환 순차방식으로 트래픽을 분산시키므로 각 회선에서 사용되는 네트워크 대역폭은 동일하다.

전용 회선상의 배경 트래픽(background traffic)은 평균적으로 약 1.15 Mbps로써 전송 실험에 주는 영향은 매우 적다. 종단 간 경로 MTU는 9,180 바이트로 설정되었으며, 송/수신 시스템에서 사용하는 MTU 크기는 9,000 바이트이다.

단일포트를 이용해 양방향 전송할 경우, 8 비트 영상을 이용했으며 양수포트를 이용해 단방향 전송할 경우, 10 비트 영상을 이용했다. 8 비트 영상의 경우 약 995Mbps의 데이터전송율을 가지며 10 비트 영상은 1.3 Gbps가 필요하다. 따라서, 양수포트 전송 실험 시, 각 전용 회선에서는 단방향 650Mbps 이상의 대역폭이 사용된다. 전송, 데이터링크 및 물리 계층에서의 패킷 오버헤드로 인해, 1Gbps 네트워크 상에서 8 비트 영상을 손실 없이 보내는 것이 불가능하므로 약 900Mbps의 데이터전송율을 갖도록 8 비트 영상 프레임의 크기를 줄여 실험했다.

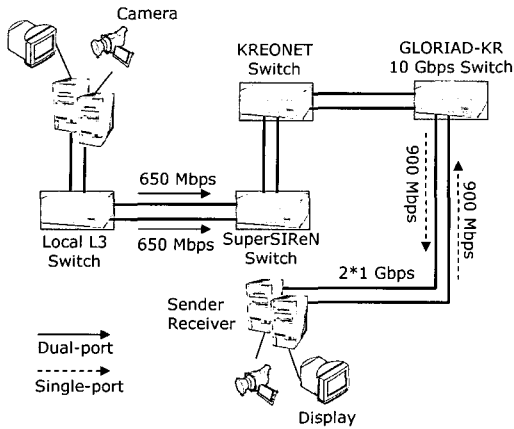


그림 5. 네트워크 실험 환경 설정.

6.3 전송 실험 및 결과

개발된 소프트웨어와 구축 시스템의 재생 및 전송 성능을 측정하기 위해서 단일포트(single-port)를 이용한 양방향 전송과 양수포트(dual-port)를 이용한 단방향 전송 실험이 각각 수행되었다. 측정 요소는 패킷 손실율, 패킷 간 지연변이, 초당 프레임 재생율(fps)이며 요소값들을 응용계층에서 측정했다. 응용계층에서 RTCP 송신 보고(sender report) 및 수신 보고(receiver report) 패킷을 활용해 왕복지연 시간을 예측할 수 있지만 네트워크 혼잡에 대한 실시간 측정값이 아니므로 생략한다. 패킷 손실량은 두 실험 모두 0%이며 실험은 약 10분 간 수행됐다.

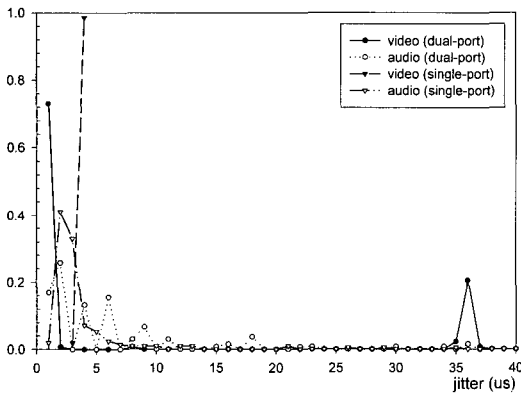


그림 6. 패킷의 지연변이.

그림 6은 패킷 간 도착 지연의 변이를 수신측 응용계층에서 측정해 도시화한 그래프이다. 구축된 시스템은 수신측에서 약 2개의 프레임을 버퍼링하기 때문에  $\mu s$  단위의 지터가 재생 성능에 영향을 주지

않는다. 하지만, 음성과 영상 프레임의 구성완료 시간의 차이에 영향을 줄 수 있다. 수신측에서 프레임 구성완료 시간의 차이를 보충하는 것은 추가 지연을 의미한다. 테스트 환경에서 왕복지연 시간은 4ms로써, 그림 6의 지연 변이는 네트워크 혼잡을 반영하지 않은 값이기 때문에 충분히 적어야 구성 완료 시간에 주는 영향을 최소화 할 수 있다.

음성과 영상 패킷 모두 단일포트 전송 시, 패킷의 지연변이가 10  $\mu s$  이하로 안정적인임을 확인할 수 있다. 수신측 소프트웨어는 주기적으로 패킷의 도착 이벤트를 검사하게 된다. 양수포트를 이용해 송/수신 할 때, 패킷의 지연변이로 인해 2개의 패킷 도착 이벤트(영상 양수포트 각각 1개)가 동시에 발생하는 경우가 있다. 2개의 영상 패킷들이 양수포트에서 이벤트를 동시에 발생시키면, 소프트웨어는 영상 패킷의 순서를 유지하기 위해 재순서화(reordering)를 수행한다. 그림 6에서 약 20%의 영상 패킷이 양수포트 전송에서 36 $\mu s$ 의 지연변이를 보이는 이유는 재순서화로 인해 버퍼링 및 처리 지연이 발생하기 때문이다. 영상 패킷들의 재순서화로 인한 처리 지연으로, 양수포트 전송 시 음성 패킷의 지연변이가 단일포트 전송에 비해 불안정함을 알 수 있다.

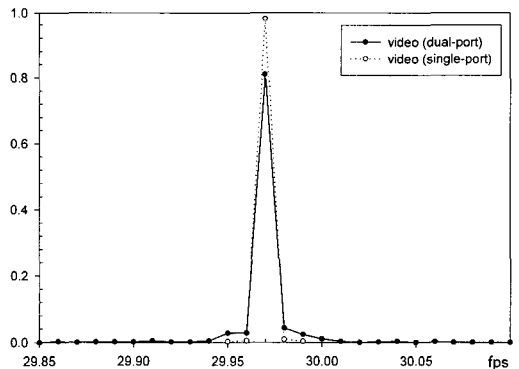


그림 7. 초당 프레임 재생율(fps).

그림 7은 수신측에서 측정한 영상 프레임의 초당 재생율(fps)을 나타낸다. 사용된 초당 재생율은 29.97 fps이다. 구축된 HDTV 시스템은 매 1/fps 초 마다 영상 프레임을 스크린에 주사한다. 단일포트 전송 시, 전체 영상 프레임 중 약 98%가 1/fps 초 간격으로 프레임을 화면에 주사했다. 양수포트 전송 실험에서는 약 80%가 이상적인 프레임 주사율을 보였으며 97%가  $\pm 22\mu s$  ( $29.95 \leq fps \leq 29.99$ ) 이내에 프레임 주사를 완료했다. 양수포트

전송 실험에서 프레임 재생율에 약간의 왜곡(distortion)이 있는 이유는, 그림 6에서 발생한 패킷의 지연변이가 단일포트 전송에 비해 상대적으로 크기 때문이다. 발생한 왜곡의 정도는 재생 장치 및 수신측 신호변환 장치에서 충분히 흡수되므로 영상의 재생 품질에 영향을 주지 않는다.

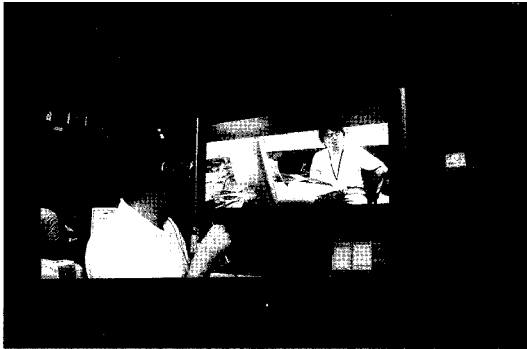


그림 8. 비압축 인터넷 HDTV를 활용한 화상 회의.

그림 8은 비압축 인터넷 HDTV를 활용해 양자간 화상회의를 하는 장면이다. 원격지로부터 전송된 영상이 재생되고 있는 모습이며, 원격지 사용자가 HDTV를 보면서 화상 회의를 진행하는 것을 알 수 있다. 90분 간 수행된 화상 회의에서 영상의 왜곡이나 프레임 간 동기화 문제는 발생하지 않았으며 패킷 손실(최대 2%)로 인한 영상 품질의 저하는 매우 적었다.

## VII. 결론

본 논문에서는 비압축 인터넷 HDTV 시스템의 저비용 구축을 위한 하드웨어 구성, 시스템 구조, 효과적인 전송 및 재생을 위한 제어부 등이 제안됐다. 성능 검증을 위해 연구망에 실험환경을 구축하고 종단 간 전송 및 재생 실험을 수행했다. 단일 및 양수포트 전송을 위해 제안된 전송 구조는 패킷의 지연변이 및 프레임 재생율에 있어 수십  $\mu$ s 이하의 왜곡을 보였으며 전송 및 재생 성능의 안정성이 유지됨을 확인했다. 개발 소프트웨어의 구조적 안정성 확보는 갈무리, 전송 및 재생을 위해 필요한 하드웨어 장비의 저비용 구축을 가능하게 한다는 점에서 의미가 크다.

양수포트 전송의 경우, 영상 패킷들의 재순서화로 인한 버퍼링 지연이 추가적인 지연변이를 발생시켰다. 향후 패킷 재순서화 방법과 패킷 이벤트에

대한 처리법을 개선해 패킷의 지연변이를 안정화시킬 예정이다. 또한, 패킷 네트워크상의 혼잡 상황이 시스템 성능에 주는 영향과 비압축 HDTV 트래픽이 일반 트래픽에 주는 영향을 조사함으로써 3계층(layer 3) 네트워크에서 시스템의 활용 가능성을 살펴볼 예정이다.

## 참고 문헌

- [ 1 ] B. Alfonsi, "I want my IPTV: Internet Protocol Television predicted a 'Winner'," *IEEE Distributed Systems Online*, vol. 6, no. 2, 2005.
- [ 2 ] Futures Laboratory of Argonne National Laboratory, "Introduction to AG Toolkit 2.x," Access Grid Toolkit 2.x, <http://www.accessgrid.org/>.
- [ 3 ] L. Gharai, C. Perkins, and A. Saurin, "UltraGrid: A high definition collaboratory," USC/ISI, Sept. 2005. <http://ultragrid.east.isi.edu/>.
- [ 4 ] NTT Innovation Lab., "Uncompressed HDTV transmission system over the Internet," NTT Press Release, Oct. 2001.
- [ 5 ] ResearchChannel and AARNet, "First multi-gigabit interactive video transmission between Australia and the US," AARNet news, Nov. 2004. <http://www.aarnet.edu.au/news>.
- [ 6 ] G. Bensberg, W. Rees, and V. E. Seferidis, "A migration path from multi-program MPEG-2 to HDTV," *Proc. International Broadcasting Convention*, Sept. 1995.
- [ 7 ] D. Hoffman, G. Fernando, V. Goyal, and M. Civanlar, "RTP payload format for MPEG1/MPEG2 video," Jan. 1998, IETF RFC 2250.
- [ 8 ] T. Kondo, "Development and evaluation of robust HDTV transmission system using FEC," 18th APAN Meetings/QUESTnet, June 2004.
- [ 9 ] ANSI/SMPTE 292M, Television - Bit-serial digital interface for high-definition television systems, The Society of Motion Picture and Television Engineers, White Plains, NY 10607.
- [ 10 ] L. Gharai, C. Perkins, G. Goncher, and A. Mankin, "RTP payload format for society of Motion Picture and Television Engineers

(SMPTE) 292M video”, March 2003, IETF RFC 3497.

- [11] L. Gharai and C. Perkins, “RTP payload format for uncompressed video”, September 2005, IETF RFC 4175.
- [12] J. DeRoest and M. Wellings, “Digital well and HD projects,” *Proc. CESNET Conference*, 2006.
- [13] C. Perkins, L. Gharai, T. Lehman, and A. Mankin, “Experiments with delivery of HDTV over IP networks”, *Proc. Packet Video Workshop*, April 2002.
- [14] K. Mochida, T. Kawano, T. Ogura, and K. Harada, “The i-Visto gateway XG - Uncompressed HDTV multiple transmission technology for 10 Gbit/s networks,” *NTT Technical Reviews*, pp. 38 - 43, 2005.
- [15] A. Hari, G. Varghese, and G. Parulkar, “An architecture for packet-stripping protocols,” *ACM Transactions on Computer Systems*, vol. 17, no. 4, pp. 249-287, Nov. 1999.
- [16] 조진용, 박재승, 변옥환, “대형 프레임이 종단간 전송 성능에 미치는 영향 분석,” *한국정보처리학회논문지*, 11-C권, 6호, pp. 787-789, 2004.

**조진용 (Jinyong Jo)**

준회원



1999년 2월 전남대학교 컴퓨터 공학과  
 2002년 8월 광주과학기술원 정보통신공학과 석사  
 2003년 8월~현재 한국과학기술정보연구원 연구망개발팀  
 <관심분야> 멀티미디어 응용 및

네트워크 전송

**채종권 (JongKwon Chae)**

준회원



2005년 8월 아주대학교 정보및 컴퓨터 공학과  
 2005년 9월~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 석사과정  
 <관심분야> 네트워크 응용 설계

**박재승 (Jaiseung Kwak)**

준회원



1995년 2월 전남대학교 산업공학과 석사  
 1999년 2월 전남대학교 산업공학과 박사  
 2000년 6월~현재 한국과학기술정보연구원 선임연구원  
 2007년 1월~현재 한국과학기술

정보연구원 연구망개발팀장

<관심분야> 정보통신공학, 광통신 공학

**김종원 (JongWon Kim)**

중신회원



1994년 2월 서울대학교 학사, 석사, 박사  
 1994년~1999년 공주대학교 전자공학부 조교수  
 1998년~2001년 Univ. of Southern California Dept. of Engineering - Systems

연구조교수

2001년 9월~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 부교수

<관심분야> 네트워크 미디어 시스템 및 프로토콜

**변옥환 (OkHwan Byeon)**

중신회원



1979년 2월 한국항공대학교 정보통신공학과 졸업  
 1993년 8월 경희대학교 전자공학과 박사  
 1978년 9월~현재 한국과학기술정보연구원(KISTI) 슈퍼컴퓨팅 응용실장, 초고속연구망부장,

e-Science사업단장

<관심분야> 망관리 및 보안, 그리드인프라기술, 융합형 과학응용기술