

비압축 HD 비디오 전송 시스템과 네트워크 기반 타일드 디스플레이의 결합

박종철*[○], 채종권*, 최기호*, 김종원*, 조진용**, 곽재승**
*광주과학기술원 정보통신공학과
**한국과학기술정보연구원 고성능연구망사업단

{jcpark[○], jkchae, khchoi, jwkim} @netmedia.gist.ac.kr, {jiny92, jskwak} @kisti.re.kr

Integration of Uncompressed HD Video Transport System and Network-based Tiled Display

JongChurl Park*[○], JongKwon Chae*, KiHo Choi*, JongWon Kim*, JinYong Jo**, JaiSeung Kwak**
*Gwangju Institute of Science and Technology(GIST),
**Korea Institute of Science and Technology Information(KISTI)
Korea

요 약

광 기반 네트워크 기술의 발전에 따라 Gbps 급의 대역폭을 요구하는 비압축 HD (high definition) 영상을 낮은 지연으로 전송하고 재생하는 것이 가능해지고 있다. 이를 위하여 다양한 비압축 HD 미디어 전송 시스템이 소개되어 왔으며, 이들은 일반적으로 RTP(Real-time Transport Protocol)에 기반으로 한 실시간 데이터 전송과 비압축 미디어 인터페이스를 효과적으로 결합하여 대화형으로 사용함에도 지장이 없는 저지연의 실감형 시스템을 지원하고 있다. 본 논문에서는 [4,5]에서 제안된 비압축 HD 미디어 시스템의 실감성을 향상시키기 위하여 9600 x 4800 해상도의 타일드 디스플레이를 통해 전송된 비압축 HD 영상을 재생할 수 있는 기법을 제시한다. 또한 실제 구현된 비압축 HD 영상과 타일드 디스플레이 간의 연동 실험을 통하여 제안된 결합 방식의 타당성을 확인하고, 그 결과로 얻어진 실감성은 미디어 서비스의 효율성을 입증한다.

1. 서 론

최근 한국과 일본간의 10Gbps급 초고속 연구 개발망 개통을 통해서 알 수 있듯이 고성능 네트워크 인프라는 점차적으로 확장되고 있다. 이와 같이 향상되고 있는 네트워크 인프라가 주는 고대역폭의 활용을 위해 다양한 새로운 응용들이 부각되고 있으며, 이의 일환으로 다자간 협업 환경에서 비압축 HD 미디어를 실시간으로 지원하는 전송 시스템이 널리 개발되고 있다. 지금까지 제안된 비압축 HD 미디어 전송 시스템들은 수 Gbps급 초고속망의 성능 검증을 비롯한 다양한 분야에 이용되고 있다[1-5]. USC/ISI의 UltraGrid[1], Research Channel의 iHD1500[2], NTT 사의 i-Visto[3] 등이 대표적이며, 원격의료, 원격강의, 대규모 퍼포먼스 중계와 같은 협업환

경에 다양하게 활용되고 있다.

이와 같이 생생한 현장의 느낌을 전할 수 있는 비압축 HD 미디어 전송 시스템이 사용자들의 관심을 모으면서 이의 세부적인 성능을 개선하는 노력이 최근 들어 진행되고 있다. 예를 들어, HD를 능가하는 4K 해상도의 지원이나 상호 작용 형 협업 환경과의 효과적인 연동과 같은 문제가 다루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 비압축 HD 미디어 전송 기술의 재생모듈 개선을 위해 네트워크 기반으로 고해상도를 지원하는 타일드(tiled) 디스플레이[6]과의 연동을 제안한다. 즉 저지연 전송을 위한 비압축 HD 미디어 전송 시스템의 수신 측에 타일드 디스플레이와 재생 기능을 연동하는 기법을 제안한다. 시스템의 연동으로 인한 SW 구성과 이에 수반하는 문제들에 대해 알아본다. 구체적으로는 모듈간의 동기화 및 포

몇 호환성 문제, 그리고 연동 시 발생하는 지연/지터의 영향 문제 등을 살펴보고, 이를 해결하기 위해 임계영역 (critical section)¹⁾ 방식에 따른 SW 구현을 제안한다. 또한 실제 구현된 비압축 HD 영상과 타일드 디스플레이 간의 연동 실험을 통하여 제안된 결합 방식의 타당성을 확인하고, 그 결과로 얻어진 실감성 있는 미디어 서비스의 효용성을 입증한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 비압축 HD 미디어 전송 시스템 및 타일드 디스플레이 관련연구에 대해 소개한다. 3절에서는 제안 시스템의 전체적인 구성과 입력/재생 모듈에 대해 살펴본 후, 4절에서 제안한 연동 기법을 기술한다. 이어서 5절에서 제안 기법의 실험결과를 다루며, 6절에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 비압축 HD 미디어 전송 시스템

먼저 UltraGrid는 1.2Gbps 이상의 비압축 HD 영상 전송을 제공하며, Access Grid와 연계된 HD급 화상회의를 제공할 수 있다[1]. SMPTE-296M 고화질 오디오/비디오 신호를 HD-SDI (High Definition Serial Digital Interface) 입출력 카드를 통해 시스템으로 입출력하고, 이를 네트워크 인프라를 통해 RTP/UDP/IP 패킷으로 전송한다. 대기시간(latency) 최소화를 목표로 삼고 있기 때문에 저지연을 요구하는 실시간 회의에 활용될 수 있다. 이밖에도 Motion JPEG (MJPEG)과 Digital Video (DV) 등의 영상 압축을 지원한다. 이와 유사하게 Research Channel의 iHD1500은 비용 효율적인 시스템을 추구하고 있으며[2], 저가의 HD-SDI 획득 장비를 사용하는 특성을 지닌다. 1.5Gbps급 비압축 HD 영상 및 음성을 4 프레임시간 (133ms)의 중단 간 지연으로 지원하는 수준을 보이고 있다. 또한 상업적인 특성을 지닌 NTT의 I-Visto는 비압축 HDTV 관련 영상의 생성 및 전송을 개선하고자 한다[3]. 특히 고속 IP 네트워크 기술을 이용한 저비용 전송을 이용하여 방송국과의 협업 등의 다양한 테스트와 부분적인 상용화가 진행되고 있다. 기술적으로는 하나의 프레임시간 미만의 매우 우수한 중단간 지연을 장점으로 가진다.

본 논문에서 다루는 비압축 HD 미디어 전송을 위해서는 UltraGrid의 높은 확장성 및 호환성을 바탕으로 비용 효율성, 영상/음성의 통합 지원, 동기화 성능 개선 등의

측면에서 성능을 개선한 [4,5]의 시스템이 사용된다. 특히 제안 시스템에서는 커널 2.6.11.3으로 패치된 Mandrake 10.1 버전을 사용하여 보다 안정적이고 최적화된 패킷전송이 가능한 장점이 있다[4].

2.2 네트워크 기반 타일드 디스플레이

단일 디스플레이 장치의 해상도 한계를 극복하여 고해상도를 지원하기 위해, 저해상도 모니터를 격자형태로 배치한 타일드 디스플레이 시스템이 널리 연구되고 있다. 이의 일환으로 GIST에서 개발 중인 SMeet One Display (Smart Meeting Space for ACE)는 고해상도 영상 처리 시 발생하는 병목현상과 높은 시스템 자원사용 문제를 해결하기 위해, Gbps급 네트워크를 기반으로 영상을 처리하는 부분과 이를 디스플레이하는 부분이 분리된 유연성 있는 구조를 지원한다[7]. 이 구조는 영상 데이터의 수신과 처리를 독립적으로 동작하게 하여, 타일드 디스플레이를 구성하고 있는 다른 머신들의 수정 없이, 새로운 형태의 영상은 물론 이미지나 3D 그래픽스 데이터 등과 같이 다양한 종류의 미디어 데이터의 가시화를 지원할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 유연성 있는 시스템 구조를 이용하여, 타일드 디스플레이와 비압축 HD 미디어 재생 모듈과 연동함으로써 실감성 있는 비압축 HD 미디어 가시화를 구현하고자 한다.

3. 비압축 HD 미디어 전송 시스템과 타일드 디스플레이의 연동

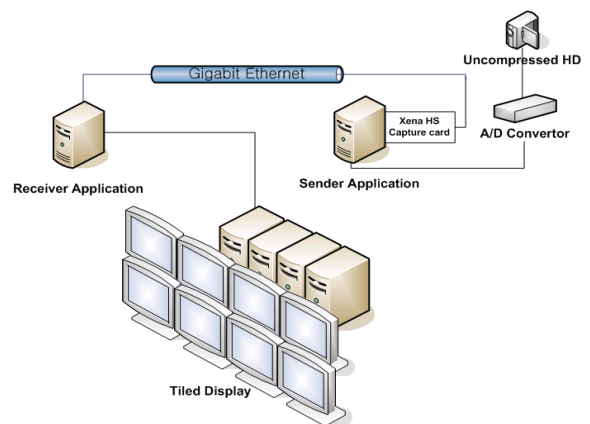


그림 1. 제안된 비압축 HD 미디어 전송 시스템 구조.

그림 1에 제시된 바와 같이 제안된 시스템은 크게 비

1) 임계영역은 다중프로그래밍 운영체제에서 여러 프로세스가 데이터를 공유하면서 수행될 때 각 프로세스에서 공유 데이터를 액세스하는 프로그램 코드 부분을 지칭한다.

압축 HD 송신측, 수신측, 그리고 타일드 디스플레이로 나뉜다. 송신측에서 비압축 HD 신호는 SMPTE-292M 표준에 따라 처리되므로 HDV 캡코더로부터 획득되는 아날로그 HD 신호를 디지털 신호로 변환하는 A/D 컨버터가 사용된다. HD-SDI 캡처(capture) 카드를 통해서 획득된 1920x1080i 포맷의 HD 신호는 Frame Grabber 메모리에 저장되었다가 전송모듈을 통해 프레임 별로 패킷화 되어 수신측에 전달된다. 이렇게 전송모듈로 전송된 패킷들은 Gbps급 인터넷을 통해서 수신측으로 전송된다. [4,5]에서 제안된 기존 시스템의 수신측에서는 재생(Display & Playout) 부분을 통해 디스플레이를 지원하고 있으며, HD-SDI 캡처 카드의 출력 기능을 활용한 H/W 방식에 더불어 S/W에 기반으로 한 화면 출력을 지원하고 있다. 따라서 본 논문에서는 재생(Display & Playout) 부분을 수정하여 네트워크 기반의 타일드 디스플레이 장치들이 요구하는 규약에 맞추어 HD 영상을 분할하여 각각의 장치들에 전송함으로써, 타일드 디스플레이 상에 재생이 이루어지도록 한다.

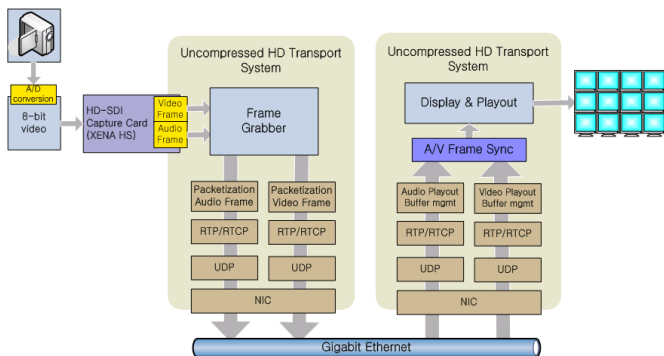


그림 2. 제안 시스템의 소프트웨어 구조.

제안된 시스템의 소프트웨어 구성은 그림2에 제시한 바와 같으며, 크게 미디어 입출력과 전송 모듈로 구분된다. 미디어 입력 모듈은 영상과 음성의 비압축 획득(즉 캡처)을 담당한다. 이때 샘플링 된 영상 비트 수에 따라 전송량이 달라지며, 8bit로 샘플링 할 경우 영상은 약 980Mbps이며, 10bit 경우에는 약 1.2Gbps 로 증가한다. 전송 모듈은 RTP/RTCP 기반으로 구현되며, 비압축 프레임 단위로 ALF(application level framing) 원리를 적용하여 패킷화 된 비압축 영상/음성 데이터를 실시간으로 전송한다. 주목할 사항은 영상과 음성은 각각 별도의 세션을 통해 전송이 이루어지며, 이들 세션들을 RTCP를 이용해 동기화하는 방식을 이용한다. 광대역 네

트워크를 통해서 패킷화 된 영상/음성 프레임들이 수신측으로 전달되면, 이들은 각각의 재생버퍼(playout buffer)에 저장된다. 이어서 영상/음성 간의 동기화 기능에 의해서 재생 시간이 조정된 후에 타일드 디스플레이 장치에서의 재현을 위해서 4절에서 제시하는 기법에 의해서 전송된다.

4. 연동을 위한 재생 모듈의 개선 기법

수신한 비압축 HD 영상을 네트워크 기반 고해상도 디스플레이 장치인 타일드 디스플레이에 연결하기 위해서 본 논문에서는 다음과 같은 개선 사항들을 제안한다.

첫째로 OpenGL 기반의 SDL (Simple DirectMedia Library) 그래픽 라이브러리를 이용한 재생 모듈을 제안한다. 기존의 시스템[4,5]에서 사용된 XV (X video extension) 그래픽 라이브러리를 이용한 영상 재생은 특정 그래픽 카드만을 지원하며, 현재 개발중단 상태인 문제가 있다. 이에 반해 SDL은 리눅스, 맥OS X, 유닉스, FreeBSD, 솔라리스 등 다양한 운영체제를 지원하며, C/C++, 자바, PHP, Perl, 파이썬, XML 등과 같은 개발 언어와도 유연성 있게 대응된다. 또한 그래픽 하드웨어의 제한이 없다는 장점이 있다.

두 번째로 제안하는 재생 모듈은 출력단과 타일드 디스플레이 간의 포맷 호환성을 위해 RGB와 YUV 포맷간의 변환을 지원한다. 비압축 HD 미디어 시스템에서 영상은 YUV 포맷으로 획득, 전송, 재생이 되는 반면, 타일드 디스플레이에서는 RGB 포맷을 이용한 재생을 수행한다. 따라서 YUVtoRGB라는 변환 기능을 추가하고 이를 효율적으로 구현하는 것이 요구된다.

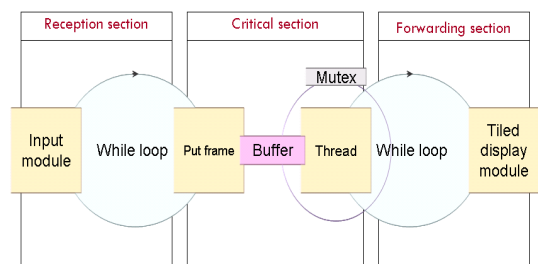


그림 3. 입력/입계/전송영역의 연동 구조 (문제 수정 전).

세 번째로 네트워크 기반 타일드 디스플레이와의 연동을 위해서는 공유되는 버퍼 메모리의 동기화된 접근 제어가 필요하며, 이를 뮤텍스(Mutual Exclusion)²⁾ 기법에 의해

2) 본 논문에서 사용된 '뮤텍스(Mutual Exclusion)' 용어는 다중 프로그래밍 시스템에서, 여러 프로세스가 하나의 공유 데이터를 액세스하면서 작업을 할 때, 한 프로세스가 데이터를 액세스할 때는 다른 프로세스들은 접근하지 못하도록 하는 운영체제의 기능이다.

해결하는 것이 필요하다. 그림 3에서 제시한 바와 같이 제안된 전송 시스템의 수신측 출력단은 영상 프레임 수신(reception), 임계(critical), 그리고 전달(forwarding) 영역으로 구분된다. 수신영역의 입력을 통해 수신된 영상 프레임은 while루프를 통해 임계영역으로 전해진다. 임계영역은 전달된 각각의 영상 프레임을 재생하도록 중재하며, 한 번에 단 하나의 영상 프레임을 처리하기 위해 뮤텍스를 사용한다. 이어서 전달영역은 재생하도록 요구받은 영상 프레임을 타일드 디스플레이 모듈로 전송한다. 하지만 그림 3에 제시한 연동 구조에 따른 성능을 프레임 재생속도 및 대역폭 등의 성능 분석을 통해 확인하면, 수신영역과 임계영역 사이에서 병목현상이 나타난다. 병목현상은 수신영역의 입력모듈에서 임계영역으로(프레임단위로) 전달될 때 생기며, 네트워크 기반 타일드 디스플레이가 입력으로 들어오는 미디어 프레임을 적시에 처리하지 못하면³⁾ 뮤텍스가 입력영역에서 유입되는 프레임의 차단을 하기 때문이다. 차단된 프레임이 뮤텍스 해제 시 다시 전송되어 정상적인 재생시간보다 지연된 시간에 재생이 되므로 문제가 발생하며, 그림7과 같이 화면이 깨지거나 동작의 연계성이 없는 재생이 수행된다.

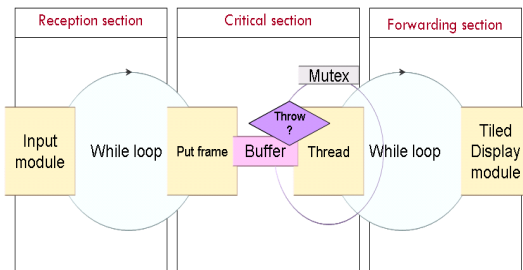


그림 4. 입력/임계/전송영역의 연동 구조 (문제 해결 후).

이를 해결하기 위해 그림4와 같이 임계영역에서 혼잡 제어기능을 갖는 조건문을 추가한다. 즉 임계영역에서 영상 프레임이 처리되는 도중에 다음 프레임이 입력영역으로부터 도착하면, 처리시간이 다음 프레임의 유입시간격보다 오래 걸릴 경우 대기하는 프레임을 버리는 방법을 사용한다. 즉 입력영역에서의 영상 프레임 유입속도와 임계영역과 전달영역 사이의 처리속도 차이로 인해 대기되는 프레임을 제어하는 과정을 추가한 것이다.

3) 타일드 디스플레이와의 연동 부분에서 상대적으로 긴 함수 호출 시간 및 메모리 복제 연산에 의해 발생된다. 또한 본 논문에서 사용된 타일드 디스플레이는 실시간성을 중요시하여 전송지연을 줄이도록 설계되었으며, 이에 따라 디스플레이 계산(처리) 과정에서 발생하는 지연에 대응하는 버퍼링은 지원하지 않는다.

5. 실험 결과

제안된 재생 모듈의 성능을 검증하기 위해서 구현된 실제 시스템을 이용한 연동 성능을 평가했으며, 실험의 조건은 다음과 같다. 8bit 비압축 HD 영상 (약 980Mbps)을 1Gbps로 제약된 네트워크 환경에서 9000bytes MTU를 사용하여 전송한 후 이를 타일드 디스플레이와 다시 연동하면서 재생이 진행되었다.

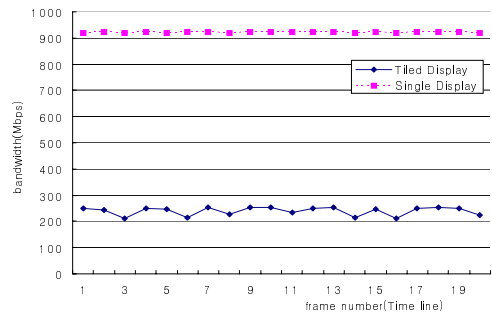


그림 5. 타일드 디스플레이로의 출력 대역폭.

먼저 그림5에 타일드 디스플레이로 보내지는 출력 대역폭(bandwidth)을 도시하였으며, 비교를 위하여 기존의 단일 디스플레이로 출력되는 대역폭을 함께 나타내었다. 그림 5에서 확인할 수 있듯이 타일드 디스플레이의 평균 대역폭은 약 239.4Mbps로 감소되었다. 반면에 단일 디스플레이(타일드 디스플레이와 연동 이전)의 평균 대역폭은 약 921Mbps이다. 이는 현재 구축된 타일드 디스플레이 시스템의 처리 성능 한계에 따라 프레임들이 버려져서 발생한다.

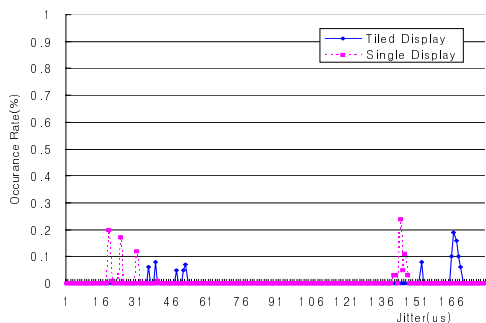


그림 6. 타일드 디스플레이와 단일 디스플레이의 Jitter 비교.

또한 그림6은 패킷 간의 도착 지연의 변이를 수신측에

서 도시화한 그래프이다. 송수신 과정에서 측정된 지터는 단일 디스플레이와 타일드 디스플레이가 별 차이가 없었다. 이를 통해 비디오 패킷의 전송이 지터의 영향을 거의 받지 않고 전송되었음을 확인했다.



그림 7. 병목현상 수정 전(위)/후(아래).

마지막으로 병목현상 수정 전후의 영상을 갈무리해서 그림7에 제시하였다. 수정 전(위)의 영상과 수정 후(아래)의 영상을 비교하여 제안한 기법의 효과를 검증할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 비압축 HD 미디어 전송 시스템의 성능 개선의 일환으로 네트워크 기반 타일드 디스플레이와의 연동 기법을 제안하고, 이를 구현을 통해 검증하였다. 하지만 타일드 디스플레이 부분의 처리 성능 및 TCP 기반 전송(타일드 디스플레이 장치로의 전송 시)에 따른 제약을 극복하여 실시간 시스템을 완성하는 것이 향후 요구된다.

감사의 글

본 연구는 글로벌아드프로젝트의 일환으로 추진되고 있는 한국과학기술연구원(KISTI)의 고성능 연구망 사업단의 지원에 의한 것임.

참고문헌

- [1] L. Gharia, C. Perkins, and A. Saurin, "UltraGrid: A high definition collaboratory," *USC/ISI*, Sept. 2005. <http://ultragrid.east.isi.edu/>.
- [2] ResearchChannel and AARNet, "First multi-gigabit interactive video transmission between Australia and the US," *AARNet news*, Nov. 2004. <http://www.aarnet.edu.au/news>
- [3] NTT Innovation Lab., "Uncompressed HDTV transmission system over the Internet," *NTT Press Release*, Oct. 2001.
- [4] JongKwon Chae, JinYong Jo, JongWon Kim, and OkHwan Byeon, "Design and Implementation of Enhanced Uncompressed HD Media Transport System," in *Proc. Institute of Communication Sciences (KICS 2006)*, pp 36, Incheon, Korea, Nov. 2006.
- [5] JinYong Jo, JongKwon Chae, JaiSung Kwak, JongWon Kim and OkHwan Byeon, "Design and implementation of a low-cost uncompressed Internet HDTV system," *J. of the Korean Institute of Communication Sciences*, pp. 53, Jan. 2007.
- [6] 최기호, 김종원, "초고해상도 디스플레이를 위한 비압축 HD 가시화 서비스 구현," in *Proc. HCI 2007*, vol. 1, pp. 713-718, Feb. 2007.
- [7] J. Kim and J. Kim, "Decomposable decoding and display structure for scalable media visualization over advanced collaborative environments," in *Proc. of SPIE ITCOM*, Oct. 2005.