실감성 증진을 위한 스테레오 비디오 전송 시스템
(Stereo Video Delivery System for Enhanced Immersion)

장 혜 영 † 오 세 찬 † 김 종 원 †† 우 운 택 ††† 변 옥 환 ††††
(Hyeyoung Chang) (Sehchan Oh) (JongWon Kim) (Woontak Woo) (Okhwan Byeon)

요 약 인터넷을 통한 멀티미디어 지원 시스템들의 급속한 발전은 시공간의 제약을 극복하면서 진행되어야 하는 다양한 형태의 통신과 이를 통한 협동 연구를 가능하게 한다. 본 논문은 원거리 협업을 실감나게 지원하기 위한 미래지향적인 광대역 미디어 통신의 하나로 주목받는, 입체 (스테레오) 영상을 실제 네트워크를 통해 전달하고 재현하기 위해 필요한 요소 기술들을 다룬다. 구현된 시스템을 통하여 송신 측에서의 스테레오 영상 미디어 획득 및 처리, 대용량 데이타의 신뢰성 있는 실시간 전송, 수신 측에서의 복원 및 재현 과정 전반을 기술한다. 전송 성능은 선도망/연구망으로 구성된 실제 네트워크 상의 전송과 가상화된 LAN 테스트 베드 실험을 통하여 측정하였고, 고화질의 스테레오 영상을 전송하여 사용자에게 실감성과 몰입감을 제공할 수 있음을 보여준다.

키워드 : 스테레오 영상 전송 시스템, 신뢰성, 실감성, 몰입감

Abstract Emerging high-speed next-generation Internet is enabling immersive media communication systems and applications to realize geographically distributed team collaborations while overcoming the limit of distance and time. Focusing on the reliable real-time delivery of 3D (i.e., stereo) video among corresponding parties, in this paper, key schemes for stereo video processing/display and reliable transport of stereo video packets over high-speed Internet are designed and implemented. The performance of proposed stereo video delivery system is evaluated both by emulating various network situations for quantitative comparison and by transmitting over real-world Internet up to the speed of around 100 Mbps. The results demonstrate the feasibility of the proposed system in supporting the desired immersive communication.

Key words : stereo video delivery system, reliability, immersion

1. 서 론

인터넷과 시스템의 급속한 고속한 발전은 원거리 사용자들의 실감성 있는 협업을 가능하게 하고 있다. 이를 지원하는 응용 시스템 중 액세스그리드(access grid, 약하여 AG)[1]와 VRVS(virtual rooms video-conferencing service) 등의 시스템은 원격지에서 접근 연구자들로 하여금 얼굴을 마주보며 회의를 하는 것처럼 자연스러운 상호작용을 가능하게 할 뿐 아니라, 다양한 종류의 데이타를 공유하여 협업할 수 있는 환경을 구축하는 기술을 제공한다. 하지만 기존의 시스템들은 최초 개발 시의 시스템의 성능 및 대역폭의 한계 등의 이유로 대부분 오래된 압축방식에 의존한 300Kbps 수준의 2차원 영상만을 전송하고 있다. 차세대 통합 전송 환경에 대비한 개선된 협업 환경(advanced collaboration environment: ACE)[2]을 구현하기 위해서는 현재 수준의 근본적인 한계를 극복하는 고화질의 실감 미디어 전송 및 재현 기술이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 사용자가 스테레오 비디오의 고속 전송을 통하여 좀 더 실감나게 협업 환경에 몰입하도록 하는 방식을 연구한다[1]. 즉 100Mbps 급 고화질 스테레오(stereo) 영상 전송 및 재현을 위한, 3차원 영

· 본 연구는 광주과학기술원과 한국과학기술정보연구원의 위탁과제의 일부지원을 받아 수행됨
† 비 회 원 : 광주과학기술원 정보통신공학과
tarilove@kjist.ac.kr
soh@kjist.ac.kr
†† 비 회 원 : 광주과학기술원 정보통신공학과 교수
jongwon@kjist.ac.kr
††† 종신회원 : 광주과학기술원 정보통신공학과 교수
wwoo@kjist.ac.kr
†††† 종신회원 : 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅센터 연구원
ohbyeon@kreonet2.net
논문접수 : 2003년 3월 6일
심사완료 : 2003년 10월 14일

1) 스테레오 영상은 양안시차(binocular parallax)를 이용하여 사용자에게 입체감을 느낄 수 있도록 하는 방식으로 전송모듈은 좌우 영상의 동기화 부분을 제외하고는 대용량 미디어 스트림과 동일하게 취급한다.

상 미디어 획득/처리와 신뢰성 있는 실시간 전송을 고려한다. 구체적으로는 스테레오 카메라로부터 얻어진 좌우 영상들을 네트워크 대역폭에 맞추어 처리하고, 대용량 미디어의 고속 전송을 위하여 개선된 ARQ(automatic repeat request), FEC(forward error correction) 기법을 사용한다. 또한 고화질 대용량의 3차원 영상 전송 요구 조건을 감안하여 시스템의 하드웨어, 소프트웨어 구성을 진행하였다. 그 결과 전송되어진 스테레오 영상은 구현된 시스템을 통하여 입체 영상을 보여주기 위한 각종 영상 포맷들로 변형되며, 사용자는 3차원 안경을 착용하여 실감성이 증대된 협업 환경을 제공함을 확인한다. 또한 구현된 시스템은 실제 네트워크 상황을 에뮬레이션 할 수 있는 LAN 환경의 테스트베드와 최대 155M 대역폭의 선도망(KOREN-Korea Advanced Research Network)/연구망(KREONET-Korea Research Environment Open Network) 등의 실제 인터넷들을 통하여 전송 기법에 따른 실제 전송 성능을 전송률, 손실률 등의 척도로 비교 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2절에서는 관련 연구를 언급한 후 3절에서 제안 시스템의 전반적인 개요 및 구현 사항들을 다룬다. 이어서 3차원 영상의 획득 및 처리에 대해 4절에서 설명한 후에, 5절에서 대용량의 미디어의 실시간 전송에 신뢰성을 부여하는 방법을 고찰한다. 6절에는 실험 내용과 분석을 기술하고 7절에서 논문을 마감한다.

2. 관련 연구

개선된 협업 환경을 위한 연구는 주로 전송된 영상을 효과적으로 처리하고 디스플레이 하여 실감성을 제공하려고 하는 것으로 다양한 디스플레이 장비를 이용하여 진행되고 있다. 예를 들어 SVTE(shared virtual table environments)[3]은 원거리에서 참여하는 연구자들이 자연스런 상호작용을 하면서 사용자에게 몰입감을 제공하려는 연구로 이 시스템의 목적은 소규모의 연구자들이 같은 테이블에 앉아서 회의를 하는 듯한 실감성을 제공하는 데 있다. 하지만 이와 같은 연구는 이상적인 네트워크 전송을 가정하고 이루어지는 것으로 대용량 미디어의 고속전송에 대해서는 심도 있게 다루지 못하고 있다. 한편 고화질의 대용량 데이타를 실제 광대역 네트워크에서 전송하고자 하는 연구로는 USC ISI(University of Southern California Information Sciences Institutes)에서 진행하고 있는 HDTV over IP를 들 수 있다[4]. 압축되지 않은 고화질 영상(1280x720, 45frame/s)을 실제 IP 네트워크로 전송하는 시스템을 제안하고 있으며, Gbps급 네트워크(DARPA SuperNet)를 통한 전송 실험에서는 615Mbps정도의 전송률을 보였다. UW(University of Washington)에서도 Internet HDTV라는 이름으로 유사한 연구가 진행되고 있다[5]. 하지만 전송 품질이 완벽하게 보장되지 않는 고속 네트워크 환경에서 대용량의 미디어를 전송할 때 전송 패킷의 순간적인 손실이나 지연에 따른 문제점에 대한 연구에 있어서는 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

3. 스테레오 영상 전송 시스템 개요 및 구현

3.1 송신측 시스템

송신측 시스템은 IEEE 1394 스테레오 카메라(최대 400Mbps)로부터 획득된 대용량 좌우 영상들을 네트워크 대역폭과 시스템의 제약에 맞도록 처리하고 디스플레이 하는 모듈과 신뢰성을 부여하여 네트워크 전송을 하는 모듈로 나뉜다(그림 1 참조). 이 모듈들은 기능상에서 서로 독립적으로 병행 수행될 필요성을 고려하여 다중 쓰레드(thread)로 구현하였다. 영상 획득/처리 단계의 쓰레드는 고정된 크기의 프레임을 네트워크 전송 쓰레드로 전달하고, 링버퍼(ring buffer)를 공유하여 모듈간의 처리 속도 차에서 발생하는 병목현상을 방지한다. 병목현상의 원인은 영상의 획득과 디스플레이로 인한 I/O 디바이스의 처리과정 지연과 네트워크 상태에 따른 전송과정 지연에서 찾을 수 있다. 각 모듈의 역할은 다음과 같다.

영상 획득/처리 모듈: 스테레오 카메라로부터 영상을 획득하여 전송 및 재현을 위한 처리과정을 거친 후 송신 측 디스플레이 모듈과 네트워크 모듈로 프레임을 전달한다. 본 논문에서는 획득된 영상은 대용량 고화질 영상을 소프트웨어 방식으로 진행되는 실시간 압축의 복잡성과 지연을 고려하여 압축과정을 생략한다. 다만 네트워크 대역폭 한계를 맞추기 위해 전처리 필터링을 포함한 영상 샘플링을 한 후 좌우 영상의 동기화를 위해 행 방향으로 샘플링된 스테레오 영상을 상하로 재배열하여 한번에 획득된 좌우 영상을 하나의 패킷으로 전송하도록 하였다.

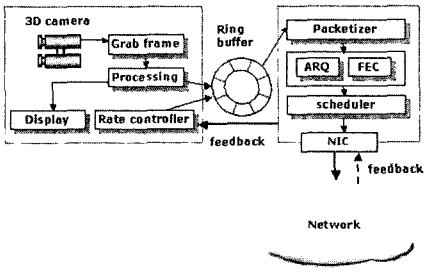

그림 1 스테레오 영상 전송 시스템(송신측)

네트워크 전송 모듈: 네트워크 모듈로 전달된 영상 프레임은 먼저 MTU(maximum transfer unit)을 참조하여 적당한 패킷 크기로 분할된다. 패킷화 단계에서는 전송 순서에 따라 순차적으로 증가되는 순서번호(sequence number)를 자체적으로 정의한 헤더에 포함하여 UDP/IP 기반으로 패킷화 한다[2]. 광대역 원거리 네트워크 상에서 대용량 미디어를 신뢰성 있게 실시간으로 전송하려면 광대역 네트워크 자원의 효율적인 활용을 고려함과 동시에 원거리로 인한 응답시간 지연을 감안하여야 한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 고속 전송에 알맞도록 개선된 Reliable Blast UDP기법[6]과 패킷 단위 FEC[7,8]를 이용하였다. 전송의 마지막 단계에서는 급격하게 네트워크로 패킷들이 유입되는 것을 막기 위하여 전송률에 따라 패킷 사이 간격을 조정한다.

3.2 수신측 시스템

그림 2와 같이 수신 측에서는 전송 받은 순서번호의 공백을 검사하여, 패킷의 손실 여부를 확인한 후 해당 신뢰성 기법에 따라 처리한 다음, 프레임 단위로 병합하여 스테레오 영상 재현을 위한 모듈로 전달한다. 전송 받은 영상 스트림은 사용자의 디스플레이 환경이나 기호에 맞는 포맷으로 디스플레이 된다. 스테레오 영상을 이용하여 사용자에게 몰입감을 제공하는 것은 사용자의 3차원 디스플레이 장치에 따라 좌우된다. 따라서 단일 CRT 모니터에서부터 3차원 안경과 스테레오 프로젝터가 갖춰진 환경 등 다양한 모드를 고려하여 디스플레이를 제공해야 한다. 송신 측과 같이, 네트워크 모듈과 영상 처리 및 디스플레이 모듈은 쓰레드를 사용하여 독립적으로 구현하였다.

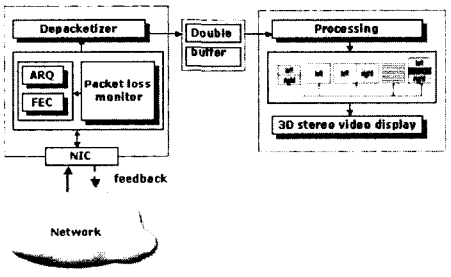

그림 2 스테레오 영상 전송 시스템(수신측)

4. 스테레오 영상의 처리/재현 및 전송률 제어

IEEE 1394 인터페이스를 이용한 디지털 스테레오 카메라는 좌/우 양안에 해당하는 두 프레임의 영상을 생성한다. 그림 3에서 보이는 것처럼 스테레오 카메라의 구성방법은 두 대의 카메라와 피사체와의 위치에 따라서 평행식과 교차식으로 구분된다[9,10]. 실험에 사용한 카메라는 두개의 광축 간격이 평행한 동기식 카메라이며, 최대 얻을 수 있는 영상의 크기는 좌우 영상 각각 가로 640 픽셀, 세로 480 픽셀이다. 채택된 평행식 구성법은 삼차원 입체효과를 유지하면서 기하학적인 왜곡 효과를 최소화할 수 있다. 스테레오 영상은 하나의 영상 화면에 각각 좌 영상과 우 영상이 표현되어야 하므로, 좌/우 영상의 동기화가 필요하다. 그림 4는 스테레오 영상 표현 방법을 나타낸다. 제안된 시스템에서는 그림 4(d)와 같이 각각 좌 영상과 우 영상을 열 방향으로 1/2 만큼 하향 샘플링 하였다. 이와 같은 형태의 표현방법은 네트워크의 허용 대역폭을 맞추기에 적합할 뿐만이 아니라 기존의 2차원 영상 전송 방법을 직접 활용할 수 있게 하는 장점도 있다.

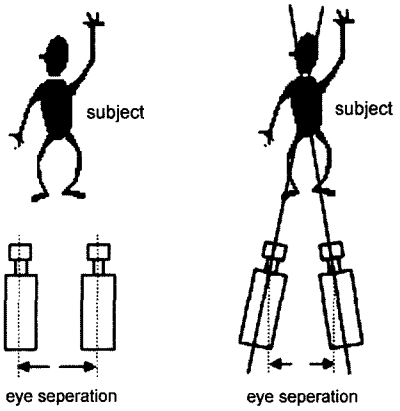

그림 3 스테레오 카메라 구성법

획득된 스테레오 영상은 허용된 네트워크 대역폭에 맞추기 위해, 전처리 필터링과 하향 샘플링 등을 포함한 프로세싱 과정을 거친다. 예를 들어 송신 측에서는 저대역 필터링을 포함한 2:1 하향 샘플링을 수행한다. 네트워크를 통하여 수신된 영상은 수신측 디스플레이 환경에 맞추어 저대역 필터링을 포함한 상향 샘플링 통하여 원래의 영상 해상도로 복원된다.

구현된 시스템은 수신 측에 디스플레이를 위해 그림 5와 같이 네 가지 스테레오 영상 구성법을 지원한다. 수신 측에서 스테레오 디스플레이를 위한 전용장비가 없는 경우 그림 5(a)와 같이 기준 영상인 좌 영상만을 상향 샘플링 하여 디스플레이 한다. 스테레오 디스플레이가 가능한 모니터를 가지고 있다면, 상향 샘플링과 저대역 필터를 사용하는 대신 그림 5(b)와 5(c)에서와 같이 인터레이스 포맷으로 디스플레이 한다. 그림 5(c)의 경

2) 패킷화 부분은 향후 RTP/UDP 표준화 기반의 전송으로 개선될 예정이다.

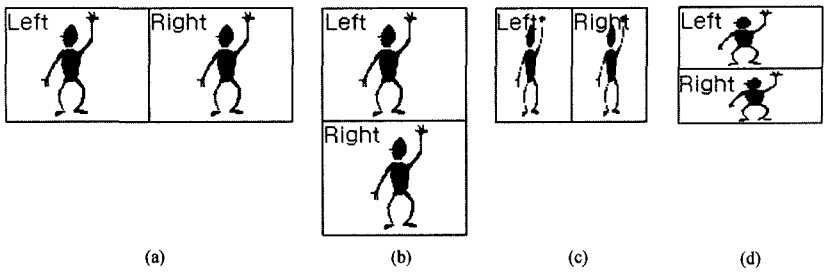

그림 4 스테레오 영상 표현방법

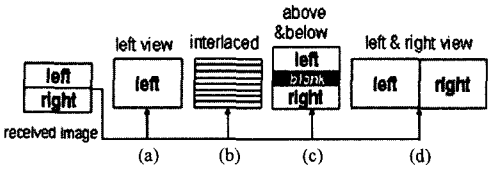

그림 5 수신측 디스플레이 구성법

우 좌 영상은 수직방향으로 1/2 하향 샘플링 되어 이미지 상단에 배치시키며 우 영상은 하단에 배치한다. 3차원 디스플레이를 위해 이미지 사이에 공백 데이타 라인을 덧붙이며, 포함된 공백 라인은 이미지 해상도와 모니터 재생 빈도에 따라서 달라진다. 공백 라인은 수직 해상도의 약 2.3%에 해당하는 값으로 한다[11]. 수신 측에 듀얼 모니터나 스테레오 디스플레이 가능한 HMD(head mount display)를 구비하고 있을 경우 그림 5(d)의 포맷이 가능하다.

네트워크 환경의 변화(전송률, 지연, 손실의 측면에서)에 대한 적응성을 증진시킬 수 있는 방법 중의 하나는 수신측의 피드백에 따라 송신측에서 네트워크 상태를 파악하여 전송률을 제어하는 것이다. 전송률을 제어하는 방법에는 네트워크 단에서 흐름을 제어하는 것과 영상을 생성/처리하는 단에서 조절하는 것으로 나눠진다. 전자는 급변하는 네트워크 상태를 반영하여 전송 계층에서 패킷을 삭제하는 방법을 취하는 것이고, 후자는 전송 계층으로 전달하기 전에 응용 계층에서 프레임 단위로 삭제하는 방법으로 전송률을 제어하는 방식이다. 본 논문에서는 프레임 단위로 삭제가 일어나는 것이 효율적인 영상 데이타의 특성을 감안하여 후자의 방식을 선택하였다. 이를 위하여 영상처리 모듈과 네트워크 모듈 사이의 링버퍼의 최대 크기를 현 상태의 네트워크에서 실제로 전송되는 전송률에 연동하여 설정한다. 이때 실제 전송률은 네트워크 모듈에서 전송한 전송률과 전송 계층으로부터 피드백된 네트워크 손실률을 참고하여 조정하여 얻는다. 그리고 실제 전송률로부터 초당 전송 가능한 프레임 수를 환산하여 링버퍼의 최대 크기를 제한한다[3]. 만약 순간적으로 전송률이 내려가 링버퍼의 최대 크기에 근접하게 되면 랜덤하게 기존에 링버퍼에 있는 프레임들을 삭제한다.

5. Stereo영상의 신뢰성 있는 전송

광대역 원거리 네트워크에서 100Mbps 이상의 대용량 데이타 전송은 기본적으로 UDP를 이용해야만 실시간 전송이 용이하며, 이는 영상과 같이 100% 신뢰성이 필요하지 않은 경우에 더욱 두드러진다. 또한 네트워크 특성상 이를 이용하는 어플리케이션(application)은 대역폭의 효율적인 활용과 원거리로 인한 지연시간 증가의 극복에 초점을 맞춰야 한다. 따라서 본 논문에서는 대용량 미디어 스트림의 고속 전송에 초점을 맞추어 개선된 ARQ와 FEC기반의 두 가지 모드를 사용한다. ARQ기반 고속 전송모드로는 [6]에서 제안된 Reliable Blast UDP 기법을 사용하였다. 또한 FEC기반 고속 전송 모드로는 Reed-Solomon 코드[8]를 이용하여, 지속적인 미디어 스트리밍을 위한 패킷 단위 FEC를 구현하였다.

5.1 ARQ 기반 고속 전송 모드

Reliable Blast UDP는 대용량의 데이타를 QoS가 보장된 광대역 원거리 네트워크에서 고속으로 전달하도록 하는 방식이다. 그림 6과 같이 기존의 패킷 단위의 ARQ 대신에 blast라고 이름한 단위(예를 들어 프레임)를 모두 전송한 후, 손실이 있는 패킷들에 대해서 일괄적으로 재전송 요구를 전달받아 재전송 한다. 데이타 전송용으로 UDP 채널을 사용하면서 서버와의 피드백 제어용으로 TCP 채널을 사용한다. 이 방식은 일정 수준 이하로 패킷 손실이 보장되는 경우에 효과적이므로 네트워크 QoS 보장이 요구되며, 기본적으로 폐루프 메커니즘이기 때문에 100% 신뢰성을 제공한다. 또한 blast 전송에 의해서 손실률 보다는 재전송 횟수에 따라 실제 전송률이 결정된다. 따라서 일정 수준의 지연과 손실률을 보장하지 못하는 네트워크에서는 재전송으로 인한 부담으로 유효 전송률이 두드러지게 감소하게 된다.

3) 본 논문의 실험에서는 최대 1초 분량의 링버퍼를 사용했다.

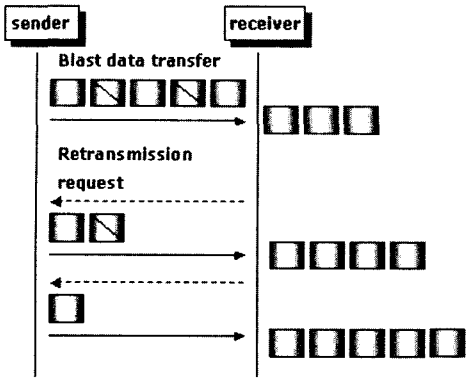

그림 6 Reliable blast UDP

5.2 FEC 기반 고속 전송 모드

FEC는 전송 시 발생하는 손실 복구를 위한 부가적인 정보를 미리 보내는 기법이다. 따라서 장거리 네트워크에서의 재전송으로 인한 지연을 방지하는 동시에 높은 신뢰성을 제공하여 실시간 전송이 필요한 미디어 스트림의 전송에 효과적이다. 하지만 패리티(parity)생성과정으로 인한 송신/수신측의 처리과정은 어플리케이션과 네트워크 대역폭이 감당해야 하는 부하를 가중시키는 단점이 있다.

광대역 네트워크 환경에서의 주된 데이타 손실은, 단말 시스템의 디바이스 버퍼 또는 스위치 큐 등에서 일어나는 패킷 단위의 손실이므로, 패킷 전체를 복원 할 수 있는 패킷 단위 FEC를 사용한다. 패킷 단위 FEC는 비트 단위 FEC를 패킷 단위로 확장한 것으로, 송신측에서 인접한 패킷을 모아 k 단위의 블록으로 그룹화한 후, 인코딩하여 n-k개의 패리티 패킷을 생성한다. 수신측에서는 동일 블록에 속한 순서번호를 확인하여 패킷 손실 상황을 확인한다. 손실된 패킷은 동일 블록 내에 수신된 최소한 k개의 패킷을 이용한 디코딩을 통하여 복원된다. 인코딩과 디코딩 과정은 다음과 같다. 원본 패킷의 한 블록을 $X = \{x, \cdots, x_k\}$라고 하고, $n \times k$의 생성 행렬을 G(generator matrix)라 하자. 인코딩은 생성행렬과 원본 패킷 벡터의 행렬연산으로 이루어지고 ($Y = GX$), 수신측에서 k개 이상의 패킷을 받았을 경우, G에서 추출된 $k \times k$ 크기의 G'의 역행렬을 이용하여 디코딩할 수 있다($X = (G')^{-1}Y$). 생성행렬 G는 원본 패킷을 위한 상단($k \times k$)의 단위행렬과 패리티 패킷을 위한 하단($(n - k) \times k$) 행렬로 이루어진다. G 행렬의 역행렬 생성을 위하여, 각 열은 선형적으로 독립적이어야 한다. 패리티 패킷 생성시 주의할 사항은 패리티 패킷 생성 및 복구에 걸리는 지연(원본 패킷과 패리티 패킷과의 인접 정도 등)과 복잡도를 감안하여야 하며, 네트워크 혼잡으로 인하여 발생되는 연속적인 패킷 손실(burst packet loss)을 반영해야 한다는 것이다. 따라서 원본 패킷(k)과 패리티 패킷(n-k)의 수는 연속적인 패킷 손실 수와 손실되는 패킷사이 간격에 따라 결정된다.

6. 실험 및 결과

본 논문에서 구현된 스테레오 영상 전송 시스템은 고성능 PC, IEEE 1394 스테레오 카메라와 3차원 디스플레이를 위한 장치 등을 이용하여 구현하였다. PC에는 Dell Workstation 530MT (dual Xeon™ 1.7GHz CPU, 1G memory, WildCat6110 graphic card)가 사용되었으며 스테레오 영상 획득에는 최대 640x480 크기의 좌우 영상을 초당 25프레임까지 지원하는 IEEE 1394 스테레오 카메라인 PointGrey사의 Bumblebee™를 사용하였다.

6.1 스테레오 영상의 획득/처리 및 재현

영상은 좌, 우 각각 초당 10프레임의 속도까지 획득할 수 있으며, 이들의 데이타양은 640 x 480 x 3(RGB) x 2 x 10 x 8 (bits) = 147.5Mbps 이다. 실험에서 이용한 네트워크 대역폭(100Mbps)을 맞추기 위하여, 획득된 영상 프레임은 필터링을 포함한 다운 샘플링 과정을 거친다.

실제 수신측의 디스플레이는 그림 7과 같이 지원되었으며, 사용자 환경에 따라 영상 디스플레이 방법도 달라진다. 위의 방법 중에서 셔터글래스를 사용하는 방식은 시분할 안경방식으로 LCD를 사용하여 좌우 영상을 모니터의 주파수에 맞춰 번갈아가며 보는 방법으로 모니터의 수직 주파수를 증가시켜 깜박임 없이 입체영상을 감상할 수 있다. 또한 셔터글래스를 이용한 디스플레이 방법 중 Sync. Double 방식은 인터레이스 방식보다 입체감을 느낄 수 있다. 편광 필터를 사용하는 방식은 빛의 방향성을 이용한 방식으로 좌우영상을 서로 90도 차이가 나게 하고 그에 맞게 제작된 편광 안경을 사용하

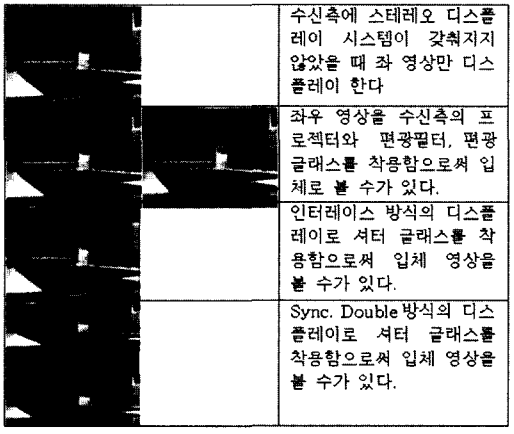

그림 7 스테레오 영상 디스플레이 방식 비교

여 영상을 인지하는 방식이다. 좌우영상을 두개의 편광 필터로 걸러서 영사하고, 스크린은 특수하게 제작된 실버스크린을 쓰게 되며 시분할 안경 방식에 비해 화면의 깜박임이 없으므로 눈의 피로도가 적다.

6.2 IP 네트워크 상의 스테레오 영상 전송

선도망/연구망을 이용한 원격 전송을 진행하기 전에, 전송 부분의 성능 평가를 위하여 100Mbps 네트워크 장치들을 이용한 LAN에서의 전송 성능을 조사하였다. 재현성 있는 성능 비교를 하기 위하여, 그림 8의 Case 1과 같이 Divert Socket[12]을 이용하여 손실 삽입 부분을 에뮬레이션(emulation)하는 테스트베드를 구성하였다. 즉 네트워크 에뮬레이터를 중간에 두어 송신측과 수신측의 프로그램에 영향을 주지 않으면서 채널 모델에 따라 임의로 손실률과 전송 지연을 설정했다. 본 논문에서 사용한 채널 모델은 Markov 체인을 네트워크 상황에 적용한 Gilbert-Elliot model로 채널의 상태는 Good 혹은 Bad 상태로 나뉜다. 두 가지 상태는 네트워크 손실 확률에 따라 천이하는데 이는 네트워크 손실 확률과 burst loss length를 반영하여 결정된다. 따라서 네트워크 손실 확률과 burst loss length를 조정하여 네트워크 혼잡상황을 발생시킬 수 있다. 그림 8의 Case 2의 경우, 획득된 스테레오 영상은 100Mbps정도로 처리된 다음 약 155Mbps의 선도망/연구망을 통하여 전송된다. K-JIST(광주)와 KISTI(대전) 사이의 WAN 경로는 여섯 홉의 라우터를 통과하며 5 ms[4]정도의 RTT를 갖는다. 전송 성능의 비교평가를 위해, 전송률을 변화시키면서 전송 기법에 따른 손실발생율(초기 손실률 L_i과 재전송 후 손실률 L_r), 유효 전송률 Th_f 등을 측정하였다. 초기 손실률 L_i는 패킷을 받은 직후 측정된 값을 말하고, ARQ의 경우 재전송이 끝난 후 측정된 재 전송 후 손실률을 L_r이라 한다. 또한 유효 전송률은 초당 전송된 데이타 양, 즉 일정한 양의 데이타를 전송하는 걸린 시간을 말한다.

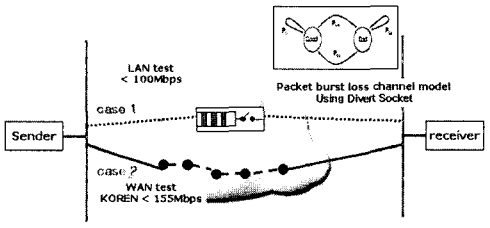

그림 8 테스트베드 구성도: LAN(case 1) / WAN(case 2)

LAN 환경에서 삽입 손실률이 없을 경우 ARQ/FEC 전송 성능 평가: 본 실험에서는 (n,k) = (4,3) 비율의 FEC를 사용하였고, 삽입 손실 발생률은 0%를 채택하였다. 전송률을 100 Mbps[5]까지 점진적으로 높이면서 유효 전송률 Thf(그림 9)과 초기 손실률 Li(그림 10)을 측정하였다. ARQ의 경우, 전송률 한계(100Mbps)에 가까워질수록 수신측 호스트의 프로세싱 지연과, 증가하는 손실패킷의 재전송으로 인하여 유효 전송률이 감소함을 알 수 있다. FEC의 경우도 전송률이 높을 경우 인코딩과 디코딩으로 인한 프로세싱 부하와 네트워크상의 대역폭 오버헤드가 유효 전송률의 감소를 야기한다. 또한 초기 손실률은 패리티 패킷에 의한 복원으로 인하여, FEC가 ARQ보다 낮은 값을 갖는다.

LAN 환경에서 삽입 손실률 가변에 따른 FEC 전송 성능 평가: 네트워크 상에서 손실이 변화하는 상황에서의 FEC의 패리티 패킷 수에 따른 대처 성능을 평가하

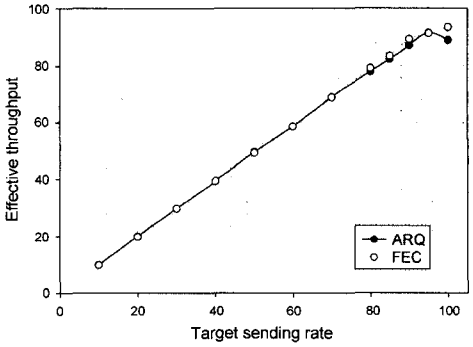

그림 9 ARQ, FEC 전송 기법에 따른 유효 전송률 (삽입 손실률 0%)

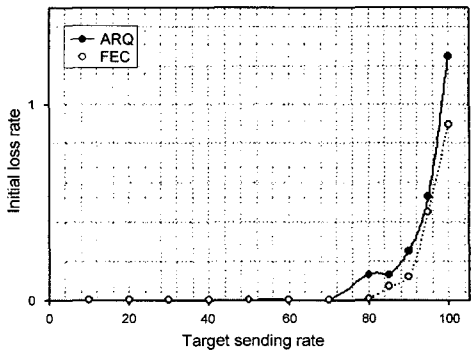

그림 10 ARQ, FEC 전송기법에 따른 초기 손실률 (삽입 손실률 0%)

4) iperf [13]로 측정한 결과 K-JIST와 KISTI사이의 네트워크는 UDP로 전송했을 경우 73.4Mbps정도에서 약 23%의 패킷 손실을 가진다.

5) LAN 환경 iperf [13]테스트 결과, 84.7Mbps정도의 UDP 스트림일 때 약 11% 패킷 손실을 갖는다.

기 위하여 네트워크 삽입 손실 확률에 따른 FEC 전송의 손실률/복원율을 측정하였다. 삽입된 손실은 1ms 간격의 burst 손실로 확률은 1%에서 4%로 조정되었다. 실험에서 FEC가 적용되지 않은 경우, 삽입된 손실률은 3.1%에서 11.7%정도의 패킷 손실을 발생시킨다[6]. 따라서 FEC를 적용하면 패리티 패킷 수를 증가시킴에 따라 보다 낮은 손실률을 보인다. 그림 11(오른쪽)은 동일한 삽입 손실률(1%)에서의 패리티 패킷 수에 따른 손실률/복원율을 보여주고 있으며, FEC 조합(5,3)부터는 0.5% 이하의 손실률을 보장한다. 따라서 네트워크 상황에 적응적인 FEC 조합은 대역폭 낭비를 최소화하면서 효과적으로 신뢰성을 보장할 수 있음을 보여준다[14-16].

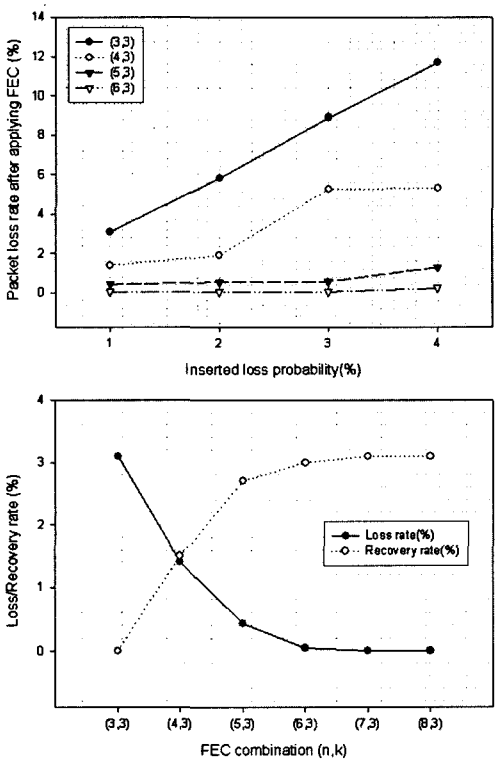

그림 11 네트워크 손실률에 따른 FEC 손실률/복원율

WAN 환경에서의 전송 성능 평가: 표 1은 WAN환경에서 측정한 유효 전송률과 패킷 손실률로 LAN 테스트 결과와 비슷한 경향을 보인다. 즉 ARQ는 뛰어난 신뢰성을 보장하지만 재전송으로 인한 지연이 발생하며, FEC의 경우 재전송 지연 없이 일정정도 이하의 손실률을 보장할 수 있다.

6) 삽입 손실 확률은 에뮬레이터의 손실을 결정하는 개별적인 요소로서 실제 발생되는 손실률과 차이가 있다.

표 1 WAN 환경에서의 전송 기법에 따른 성능 평가

	ARQ	FEC (4,3.)
Li (initial loss)	2.9 %	0.52 %
Lr (loss after retransmission)	0 %	0.52 %
Thf	72.6 M	84.74 M

7. 결 론

본 논문은 광대역 네트워크에서의 대용량 스테레오 영상의 신뢰성 있는 고속 전송을 위한 시스템 구현에 대하여 기술하였다. 구현된 시스템은 고속전송용으로 개선된 ARQ, FEC 기법을 이용하여 신뢰성을 보장하였으며, 고화질의 스테레오 영상의 다양한 디스플레이를 통하여 사용자에게 실감성과 몰입감을 제공할 수 있다. 현재 100M 급 네트워크에 맞춰 처리된 전송은 Gbps 대역 전송으로 확장될 예정이며, 고속 전송 시 대역폭의 효율적인 사용을 고려하여 네트워크 상황에 적응적으로 신뢰성을 보장할 수 있는 고속 전송모듈에 대한 연구가 진행되고 있다.

참 고 문 헌

[1] Access Grid Homepage, http://www-fp.mcs.anl.gov/fl/accessgrid/.
[2] ACE homepage, http://calder.ncsa.uiuc.edu/ACE-grid/.
[3] O. Schreer and P. Kauff, "An immersive 3D video-conferencing system using shared virtual team user environments," in *Proc. ACM Collaborative Environments CVE 2002*, Bonn, Germany, Sept./Oct. 2002.
[4] Colin Perkins, Ladan Gharai, Tom Lehman & Allison Mankin, "Experiments with Delivery of HDTV over IP Networks," in *Proc the 12th International Packet Video Workshop*, Pittsburgh, April 2002.
[5] University of Washington: Internet HDTV, 1998. http://www.washington.edu/hdtv/.
[6] E. He, J. Leigh, O. Yu, and T. A. DeFanti, "Reliable blast UDP: Predictable high performance bulk data transfer," in *Proc. IEEE Cluster Computing 2002*, Chicago, IL, Sept. 2002.
[7] K. Park and W. Wang, "AFEC: an adaptive forward error correction protocol for end-to-end transport of real-time traffic," in *Proc. International Conference on Computer Communications and Networks*, 1998.
[8] L. Rizzo, "Effective erasure codes for reliable computer communication protocols," *Computer Communication Review*, vol. 27, April 1997.
[9] 김은수, 이승현, 3차원 영상의 기초, 技多利.
[10] 2001 신기술동향조사 보고서 3차원 입체 영상기술, 특

허청, 2001.
[11] M. Husak, "Guide to making your own digital stereo-video movies in DVD quality for playing on computers," http://staffold.vscht.cz/~husakm/stereopcvideo.html.
[12] W. Kellerer, E. Steinbach, P. Eisert, and B. Girod, "A real-time internet streaming media testbed," in *Proc. IEEE Inter. Conf. on Multimedia and Expo (ICME '2002)*, 2002.
[13] Iperf, http://dast.nlanr.net/projects/Iperf.
[14] W. Kumwilaisak, J. Kim, and C.-C. J. Kuo, "Video transmission over wireless fading channels with adaptive FEC," in *Proc. Picture Coding Symposium '2001*, Apr. 2001.
[15] K. French and M. Claypool, "Repair of streaming multimedia with adaptive forward error correction," in *Proc. of SPIE Multimedia Systems and Applications (ITCOM '2001)*, Denver, Colorado, USA, Aug. 2001.
[16] C. Padhye, K. Christensen and W. Moreno, "A new adaptive FEC loss control algorithm for voice over IP applications," in *Proc. of IEEE International Performance, Computing and Communication Conference*, February 2000.

장 혜 영
2002년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 졸업. 2002년 3월~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 Reliable High-speed Media Transport and Adaptive control

오 세 찬
1997년 강원대학교 정보통신공학과(학사). 2002년~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 3D-Coding, Virtual Reality, HCI

김 종 원
1989, 1994년 서울대학교 석사, 박사
1994년~1999년 공주대학교 전자공학부 조교수. 1998년~2001년 Univ. of Southern California Dept. of Enginerring-Systems 연구조교수. 2001년 9월~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 부교수
관심분야는 네트워크 미디어 시스템 및 프로토콜

우 운 택
정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제
제 9 권 제 4 호 참조

변 옥 환
1979년 한국항공대학교 통신정보공학과
1993년 경희대학교 전자공학과(박사). 고려대학교, 경희대학교 겸임교수. 미국 OSM Corp(1984), NCSA/UIUC(1997) 객원연구원. 1978년~1995년 KIST 시스템공학연구소 책임연구원, 연구전산망개발실장, 슈퍼컴퓨팅응용실장. 1995년~1999년 ETRI 슈퍼컴퓨팅센터 책임연구원 고성능망연구실장, 슈퍼컴퓨팅연구실장. 1999년~현재 KISTI 슈퍼컴퓨팅센터 책임연구원, 초고속연구망부장, 슈퍼컴퓨팅인프라개발실장. 관심분야는 고성능망 관리 및 보안, 그리드네트워킹 및 협업액세스그리드