

촉감지원 3D 네트워크 가상환경을 위한 QoE 프레임워크

(QoE Framework for Haptic-based 3D Network Virtual Environment)

김 종 원 [†]
(JongWon Kim)

이 석 희 ^{**}
(Seokhee Lee)

손 석 호 ^{**}
(Seokho Son)

요약 본 논문에서는 촉감지원 NVE (networked virtual environment) QoE (quality of experience) 프레임워크의 프로토타입을 제안한다. 제안하는 NVE QoE 프레임워크는 가변적인 네트워크 상황과 이질적인 시스템 상에서도 제한된 자원을 효율적으로 사용하여 사용자에게 높은 현실감을 제공하는 것을 목표로 한다. 이를 위해서 촉감지원 NVE에서 요구되는 현실감 수준을 효율적으로 수치화할 수 있는 방법을 제안하고 이를 기반으로 QoE 요구조건을 충족시키기 위해 필요한 컴포넌트들을 정의한다. 또한 다양한 미디어들이 결합되어있는 촉감 지원 NVE의 서비스에 따른 네트워크 요구조건을 분석하고 다양한 요구 조건을 효율적으로 수용하기 위해 필요한 촉감 지원 NVE 전송 컴포넌트들을 제안한다. 실험 결과에 따르면 제안된 3D NVE QoE 프레임워크는 효율적인 cpu 및 네트워크 사용을 보장하며 이를 기반으로 제한된 자원 하에서도 사용자의 현실감을 개선시킨다.

키워드 : 촉감상호작용, 네트워크 가상환경, QoE, 그리고 QoS

Abstract In this paper, the prototype of haptic-based NVE (networked virtual environment) QoE (quality of experience) is proposed. The proposed framework plays a role of providing users with realistic feeling by managing the system and network resources efficiently under time-varying networks and heterogeneous systems. Therefore, first IoPH (importance of presence for haptic interaction) is defined to quantitate the sense of real that the users feel now. Then we define the haptic-based NVE components required to satisfy the haptic interaction QoE requirements. Finally, QoE adaptation scheme is suggested, which adapts the haptic-based NVE components to current network and system constraints for better haptic interaction quality.

Key words : Haptic Interaction, Networked Virtual Environment, QoE, and QoS

1. 서론

가상현실(VR: virtual reality) 기술의 발전과 네트워크의 급속한 보급으로 인해 몰입형 콘텐츠를 이용한 네트워크 가상환경(NVE: networked virtual environment)에 대한 관심이 증가하고 있다. 이미, 고화질 영상, 다채널 오디오, 그리고 3D CG를 기반으로 여러 분야에서 현실 세계의 한계를 극복하려는 시도를 하고 있고 최근에는 촉감 장비의 보급으로 인해 시각과 청각뿐만 아니라 촉감까지 제공하는 NVE에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

NVE는 기존의 멀티미디어 서비스와 비교하여 다음과 같은 특징을 가진다. 다수의 사용자가 한 가상환경(VEs: virtual environments)을 공유하고 사용자들이 지역적으로 분산되어 있기 때문에 확장성(scalability)과

· 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.
(계약번호 UD070018AD).

[†] 중신회원 : 광주과학기술원 정보통신공학과 교수
jongwon@nm.gist.ac.kr

^{**} 학생회원 : 광주과학기술원 정보통신공학과
shlee@nm.gist.ac.kr
shson@nm.gist.ac.kr

논문접수 : 2007년 11월 20일
심사완료 : 2008년 7월 30일

Copyright © 2008 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제7호(2008.10)

일관성(consistency)이 요구된다. 또한 실시간 협업과 같은 서비스를 제공하기 때문에 높은 수준의 상호작용성(interactivity)을 필요로 한다. 그리고, 다양한 미디어들이 결합된 서비스를 제공하기 위하여 이들간의 동기화(synchronization) 및 제한된 자원을 효율적으로 공유하는 적응(adaptation)기술이 필요하다.

이와 같은 요구조건을 수용하기 위해서 몇몇 연구들이 선행되었다. [1]에서는, 서버-클라이언트 방식의 NVE 상에서 가상 극장과 같은 서비스를 위해서, 즉 서버가 비디오, 오디오, 및 그래픽 데이터를 클라이언트 측에 전송할 때 발생하는 시간 지연 문제를 해결하기 위한 QoS (quality of service) 맵핑 알고리즘 및 프레임워크를 제안하였다. [2]에서는, 이를 발전시켜서 사용자 상호작용에 더욱 중점을 두고 응용프로그램 및 네트워크의 변화와 사용자의 현실감 저하간에 관계를 분석하고 이들간의 관계를 동적으로 맵핑시키는 프레임워크를 제안하였다. [3]에서는, NVE를 모바일 상에서 구현하기 위한 네트워크 QoS와 NVE 서비스간에 맵핑 문제를 다루었다.

본 논문에서는 이런 선행연구들을 기반으로 가변적인 네트워크 상황과 이질적인 시스템 상에서도 높은 현실감을 제공 가능한 축감지원 NVE 프레임워크의 프로토타입을 제안한다. 이를 위해서 NVE상의 각각의 객체에 사용자의 현실감 측면에서의 중요도(QoE: quality of experience)를 부여하고, 이를 기반으로 응용프로그램, 데이터, 및 네트워크를 동적으로 적응시킨다. 결과적으로, 제한된 리소스를 효율적으로 사용하여 사용자의 현실감을 증가시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 본 논문에서 사용한 NVE QoE의 개념에 대해서 설명한다. 3절에서는 제안하는 축감기반 NVE QoE 프레임워크를 설명하고, 4절에서는 이를 검증하는 실험 결과를 보여준다. 마지막으로 5절에서는 논문의 결론을 맺는다.

2. NVE를 위한 Quality of Experience(QoE)

QoE(quality of experience)는 사용자가 그들의 환경과 상호작용할 때 감각, 지각, 및 인식 등의 특징으로 정의된다[4]. 예로 “기쁜”, “즐거움”, 및 “불쾌한” 등의 사용자의 주관적인 평가가 있을 수 있다. 이러한 QoE는 소프트웨어 및 디바이스의 적절성, 효율성, 및 신뢰성 등 여러 요소들로 인해 그 값이 좌우되고 응용프로그램마다 다양한 QoE 요구조건을 필요로 한다. 예로, 오디오기반 시스템에서는 음질의 신뢰성 및 대화의 끊김 정도가, 비디오기반 시스템의 경우 프레임률 및 화질의 선명성이 중요한 QoE 요구조건이 된다. 같은 미디어간에도 그 미디어의 사용 목적에 따라 필요한 QoE 요구조건이 다르다. 즉, 네트워크 지연은 VoD(video-on-demand)

시스템 상에서 비디오와 오디오의 QoE에는 큰 영향을 주지 않지만, 원격 화상 회의와 같은 NVE 시스템에는 큰 영향을 준다. 상호작용성과 일관성이 강조되는 NVE 시스템은 사용자가 원하는 작업을 원격지의 다른 사용자들과 얼마나 효율적으로 완료할 수 있는가가 QoE의 중요한 요구조건이 된다.

NVE 사용자 QoE를 증가시키기 위해서는 NVE 시스템의 다양한 계층에서의 노력이 필요하다. 지금까지의 연구들은 주로 네트워크 멀티미디어 시스템의 병목지점으로 여겨지는 네트워크 단에서 이루어 졌다. 예로 [3]에서는, 모바일 통신상에서 NVE 서비스를 제공하기 위한 네트워크 QoS 맵핑 방법을 제시하였다. 그들은 우선 다양한 VR 서비스들을 미디어의 전송 요구조건과 서비스의 상호작용성에 기반하여 크게 다섯 개의 (hard real time interactive VR, soft real time interactive VR, VR with integrated real time streaming media, non-realtime interactive VR, and non-real time best effort VR) 서비스로 분류한다. 분류된 VR서비스들을 네 개의 UMTS QoS 클래스(conversational, streaming, interactive, and background)로 맵핑시킴으로써 NVE 서비스를 위한 최선의 네트워크 환경을 제공한다. 네트워크 QoS 기법들은 제한된 네트워크 환경에서 효율적으로 미디어를 전송함으로써 사용자의 현실감을 증가시킬 수 있지만, 실제 일어날 수 있는 다양한 제약조건들을 (e.g., 이질적인 네트워크와 제한된 시스템) 고려했을 때 많은 부족함이 존재한다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여, 다양한 NVE QoE 조절 기술들이 응용계층에서 개발되고 있다. 표 1과 같이 기존의 DIVE, NPSNET, MASSIVE 연구에서는 분산 가상 환경 내에 전송되는 네트워크 트래픽을 줄이면서 사용자의 QoS를 만족시키는 가상 공간 시스템을 제안하였다[5]. DIVE는 분산 가상 공간에 다수의 클라이언트가 참여함으로써 발생하는 네트워크 지연을 줄이는데 초점을 두었다. 그리고, NPSNET은 가상 공간에 참여한 클라이언트의 지역성에 따라 제한된 정보만을 받게 하여 네트워크 전송량을 줄였으며, MASSIVE는 사용자의 인지에 따른 QoS를 조절하여 전송되는 네트워크 트래픽을 줄이고 동시에 사용자의 QoS를 만족시키는 시스템을 구현하였다. 이러한 시스템은 다수의 사용자가 참여하는 분산 가상 현실을 구현하는데 초점을 두었으나 사용자간의 다양한 상호작용에 따른 논의가 다소 부족하였고 사용자의 만족도를 충분히 고려하지 못하였다.

최근에는 보다 다양하고 제한된 환경에서 사용자의 만족도를 충분히 반영하기 위한 연구가 진행되고 있다. 그 중 이미 NVE 시스템에서 많은 비중을 차지하는 비디오, 오디오, 그리고 CG 데이터를 중심으로 다양한 시

표 1 기존의 NVE 시스템 요약 [5]

파라미터	NPSNET	CAVE VPS	DIVE/COVEN	MASSIVE	mWorld	Spline	VLNET
대역폭							
-3D world	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
-텍스트	No	No	Yes	Yes	No	No	Yes
-오디오	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
-비디오	No	Yes	No	Yes	No	No	Yes
지연	100/300 ms	100 ms	200 ms	n/a	n/a	n/a	100 ms
통신방법	멀티캐스트	멀티캐스트	멀티캐스트	멀티캐스트	멀티캐스트	멀티캐스트	유니캐스트
신뢰성	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

스텝 및 네트워크 적응 방법이 제안되었다. [1]에서는, 다수의 사용자들이 제한된 네트워크 상에서 효율적으로 비디오/오디오/CG를 공유하는 기법을 제안하였다. 그들은 각각의 미디어에 대한 주관적인 사용자의 만족도를 각각의 스트리밍 객체와 사용자의 위치 및 시선 방향 정보에 기반하여 수치적으로 표현한다(IoP: importance of presence). 사용자의 QoE를 반영하는 IoP값에 의하여 비디오/오디오/CG 데이터를 변환 및 적응시킴으로써 NVE의 반응 속도를 향상시킬 수 있고, 결론적으로 전체적인 NVE QoE 향상을 가져온다. [2]에서는, 여러 시스템 컴포넌트들간의 (렌더링, 압축, 전송률 조정, ...) 조화와 사용자 상호작용에 보다 중점을 둔 QoE 적응 프레임워크를 제안하였다. 그들은 우선 다양한 실험을 통해서 각각의 시스템 컴포넌트의 조합 하에서의 사용자의 만족도에 관한 데이터를 수집한다. 얻어진 정보를 사용하여 사용자의 만족도에 관한 선형 추정 모델을 만들고 이 모델에 기반하여 사용자가 원하는 만족도에 준하는 시스템 설정 값을 추정한다.

촉각 상호작용 기술의 성장으로 인해 촉각 데이터에 특화된 QoE 기법들에 관한 연구도 진행되고 있다. Ishibashi[6]와 Hikichi[7] 등은 각각 VTR(virtual-time rendering)과 QM(queue monitoring) 알고리즘을 촉각 상호작용에 적용을 하였다. 그리고 촉각데이터 버퍼링 기술이 중단간 지연을 증가시키지만 지터에 대한 영향을 완화시킴으로써 촉각 상호작용의 현실감을 증가시킬 수 있음을 언급하였다. S. Dodeller 등은[8] 촉각 상호작용을 위한 새로운 전송 프로토콜인 smoothed SCTP(synchronous collaboration transport protocol)를 제안하였다. smoothed SCTP는 가상 물체의 마지막 갱신 메시지와 같은 중요한 데이터를 중요 촉각 정보로 정의하고 이에 속하는 데이터는 ACK(automatic repeat request) 방식을 사용하여 신뢰적으로 전송한다. 그 외에 촉각데이터는 최선형 방식으로 전송하여 촉각 상호작용이 요구하는 높은 수준의 네트워크 지연 및 손실 요구 조건을 수용하려는 시도를 하였다. Cen 등은[9] 오버레이 네트워크에 기반한 촉각 데이터 전송 프로토콜인 STRON(supermedia transport over overlay net-

works)을 제안하였다. STRON은 ARQ 방식이 큰 중단간 지연을 유발하는 문제점을 해결하기 위해서 FEC(forward error correction)를 사용한다. 손실이 존재하는 네트워크 상에서 기존의 다른 전송프로토콜보다 더 작은 중단간 지연을 보장함을 보였지만, 사용된 Reed-Solomon 코드 역시 큰 처리 지연을 유발한다. 따라서 더 엄격한 QoS 요구조건을 가지는 응용을 위해서는 촉각 데이터에 특화된 손실 조정 방법이 필요하다. Yap 등은[10] 촉각 데이터를 IP QoS-enabled 네트워크 상에서 Diffserv를 기반으로 전송하는 방법을 제안하였다. 다양한 실험을 통해서 비디오와 오디오가 같이 전송되는 환경에서도 촉각 데이터의 엄격한 네트워크 요구조건을 수용할 수 있음을 보였다. 하지만 촉각기반 NVE의 제한된 네트워크 자원 측면만을 중점을 두었고 제한된 cpu 자원 및 사용자의 현실감에 대한 고려는 부족하였다.

3. 촉각 3D NVE를 위한 QoE 프레임워크

3.1 촉각기반 NVE QoE metrics 및 요구조건

본 논문에서는 촉각 관련 현실감에 보다 중점을 두어 촉각 관련 QoE metrics 및 네트워크 QoS 요구조건을 정의하고 IoPH(IoP for Haptic)을 추가해서 중요도에 따라 촉각 관련 QoE 요소들을 변경한다. 기존의 그래픽 렌더링은 30 Hz의 업데이트률로 수행되지만 촉각 렌더링은 1 kHz의 업데이트률을 가진다. 즉, 매 1 ms 마다 cpu와 네트워크 자원을 필요로 하기 때문에 동시에 처리해야 할 다른 작업들을 위해서 최대한 효율적으로 자원을 사용하여야 한다.

IoPH는 촉각 상호작용이 가능한 가상 객체(VO: virtual object)와 촉각 상호작용 포인터(HIP: haptic interaction pointer) 간의 위치 관계 및 속도로 정해진다. 먼저 위치 관계로부터 HIP와 VO간의 충돌이 있는지, 즉 촉각 피드백을 사용자에게 전달해야 하는 경우(C₁)와 그렇지 않은 경우(C₂)를 판단한다. VO와 HIP간에 충돌이 일어나는 시점이 전체적인 가상환경의 현실감에 중요한 역할을 하므로 실제적인 충돌이 없더라도 HIP와 VO간에 거리가 특정 거리 값보다 가까운 경우 또한 C₁에 포함시킨다. C₂의 경우에는 실제적인 촉각 피드백이 없으

표 2 촉감 QoE metrics

QoE metrics	설명
위치 좌표 정밀도 (Position resolution)	VO와 HIP의 좌표 값의 양자화 정도
힘 민감성 (Force sensitivity)	힘 피드백의 양자화 및 샘플링 정도
촉감 랜더링률 (Haptic update rate)	촉감 랜더링 루프의 갱신률
폴리곤 개수 (Polygon resolution)	VO를 표현하는 폴리곤의 개수
동기화 정도 (Synchronization level)	그래픽/촉감 및 촉감/다른 미디어간의 동기화 정도
촉감 데이터 지연 (Haptic data latency)	촉감 데이터의 종단간 시간
힘의 투명성 정도 (Force transparency)	실제 제공해야 할 힘과 왜곡된 힘간의 차이

므로 촉감 랜더링을 위해서 많은 시스템 및 네트워크 자원을 사용할 필요가 없다. 그러므로, 현재 자원이 부족한 경우 촉감 QoE 요소들을 미리 정의된 최소값들까지 감소시킴으로써 다른 작업을 위한 자원을 확보한다. C_i의 경우에는 HIP와 VO의 속도(V_{hip} , V_{vo})를 계산하고, 식 (1)과 같이 IoPH 값을 계산한다(V_{max} : 최대 속도 차이). 이는, [11]에서 연구된 속도와 촉감 랜더링과의 관계에 기반한다.¹⁾ 단, [11]에서는 정지된 물체를 사용자가 HIP를 움직여서 촉감 상호작용하는 경우만을 가정하여 HIP 속도만을 고려하였는데, 본 논문에서는 VO 역시 움직일 수 있는 동적인 환경을 가정한다. VO와 HIP의 속도의 방향이 같으면 실제적으로 VO와 HIP사이에서 발생하는 촉감 상호작용 속도는 상쇄되고 VO와 HIP의 속도의 방향이 다르면 촉감 상호작용의 속도는 보강된다. 따라서, VO와 HIP간의 속도 차를 계산하고 촉감 상호작용의 속도가 느려질수록, 즉 속도 차가 0에 가까울수록 높은 IoPH 값을 부여한다.

$$IoPH = 100 \times \left(1 - \left| \frac{V_{hip} - V_{vo}}{V_{max}} \right| \right) \quad (1)$$

현재 가상환경 혹은 각각의 가상 객체에 대한 촉감 중요도가 정의되면 이에 맞게 촉감 현실감에 영향을 주는 요소(표 2)들을 변화 시키고, 각각의 데이터 스트림들이 요구되는 QoS(표 3)에 맞게 전송될 수 있도록 한다. 촉감 QoE metrics로는 네트워크 전송량과 관련 있는 위치 좌표의 정밀도와 힘의 민감성, 그리고 cpu 사용량과 관련 있는 촉감 랜더링률과 폴리곤의 개수 등이 있다. 또한, 동기화 관련 파라미터로서 동기화 정도, 촉감 데이터의 지연, 그리고 힘의 투명성 정도를 정의한다. 서버의 가상환경에서 계산되는 촉감 피드백이 가상 공간에 접속한 다수의 클라이언트들에게 전달되어야 하는 이상적인 촉감 피드백이라고 가정했을 때, 촉감 투명성은 서버(F_{server})와 클라이언트(F_{client}) 간의 힘의 차이의 비로 정의된다(식 (2)). 모든 사용자가 서버와 같은 촉감 피드백을 제공하기 위해서는 c 가 0.07이하가

되어야 하는데[12], 촉감의 중요도에 따라서 가변적으로 c 값을 증가시켜줌으로써 다른 더 중요한 작업을 위한 자원을 할당할 수 있도록 한다.

$$c = \frac{F_{client} - F_{server}}{F_{client}} \quad (2)$$

표 3은 다양한 VR서비스들의 네트워크 QoS요구조건을 보여준다. 촉감 기반 VR 서비스의 네트워크 QoS요구조건은 그 응용프로그램의 목적 및 용도에 따라서 달라진다. 본 논문에서는 촉감 기반의 entertainment-style 응용프로그램을 가정하고 촉감 미디어의 네트워크 요구조건은 [13]에서 제시된 값에 기반한다(지연: 약 60~80ms, 지연 변동: 약 10~20ms, 랜덤 손실: 약 20~30%, 그리고 버스트 손실: 약 10~20%). 그리고, 지연과 손실에 민감성을 기반으로 VR 서비스들을 네 종류의 서비스로 분류한다: very delay sensitive, delay sensitive, loss sensitive, and very loss sensitive. 표 3와 같이 촉감 미디어를 지원하는 VR 서비스는 기존의 비디오 및 오디오 데이터에 비하여 더욱 지연에 민감하고 손실에는 더욱 강건한 성질을 가진다. 이는 촉감 데이터를 위한 전송량 조절 방법[14]과 같은 전송 기술이 사용되지 않았음을 가정하고 또한 1초에 1000번의 데이터를 생성하는 촉감 고유의 특성을 반영한다.

3.2 NVE QoE 프레임워크

그림 1은 제안한 촉감 3D NVE를 위한 QoE 프레임워크를 보여준다. 서버는 다수의 사용자간에 가상 공간의 일관성을 유지시켜주고 각 영역 안에서 필요한 그래픽 데이터들을 분배한다. 또한, 필요에 따라서 비디오 및 오디오 정보를 모든 사용자에게 공급하는 스트리밍 서비스를 한다. 각각의 클라이언트들은 촉감 인터페이스를 사용하여 가상환경과 또는 다른 클라이언트들과 상호작용한다. 가상환경에서의 위치 및 방향 정보를 서버로 전송하고 화상 회의 서비스의 경우에는 자신의 비디오 및 오디오 정보를 다른 클라이언트에게 제공할 수 있다.

서버는 데이터 예측(data prediction), QoE 적응(QoE adjustment), QoE 조정(QoE control), 멀티미디어적응변환(multimedia adaptation), 일관성 유지(consistency control), 데이터 우선순위화(data prioritization), 그리

1) [11]에서는 촉감 상호작용의 속도가 증가할 때 사용자가 특정 가상 물체에 대해 인지하는 촉감의 민감성은 감소함을 보였다.

표 3 Haptic-based NVE 서비스들의 네트워크 요구조건

VR service class	Media type	Example VR service	Classification parameters			
			Degree of sym.	Delay	Delay variation	Information loss
Very delay sensitive	Haptic event	Haptic-based collaboration	Two way	End-to-end one way delay < 60 ms	10 ms	< 10%
	Event graphics	Distributed simulation	Two way	End-to-end one way delay < 100 ms	50 ms	< 3%
	Event, graphics	Tightly coupled non-haptic collaboration	Two way	End-to-end one way delay < 100 ms	N.A.	Zero
Delay sensitive	Video, audio, graphics, text	Virtual conferencing	Two way	End-to-end one way delay < 150 ms	< 1ms (for conversational voice)	< 3%
	Event, graphics	Loosely coupled non-haptic collaboration	Two way	End-to-end one way delay < 500 ms	N.A.	Zero
Loss sensitive	Haptic event, Event, graphics, audio, video	Haptic-based VoD streaming	Primarily one-way	Start up delay < 10 s Lip-synch. +/-80 ms Audio-haptic +/- 80 ms	10 ms (haptic)	< 10% (haptic) < 2% (video) < 1% (audio) < Zero% (animation)
	Event, graphics, audio, video	VE with integrated video /audio/graphic	Primarily one-way	Start up delay < 10 s Lip-synch. +/-80 ms	< 2 s	< 2% (video) < 1% (audio) < Zero% (animation)
Very loss sensitive	Event, graphics	VE navigation	Primarily one-way	One way delay < 4 s/new space	N.A.	Zero
	Event, graphics	Data base retrieval	Primarily one-way	One way delay < 15 s/page	N.A.	Zero
	Event, graphics	Background download of VE	Primarily one-way	No special requirements	N.A.	Zero

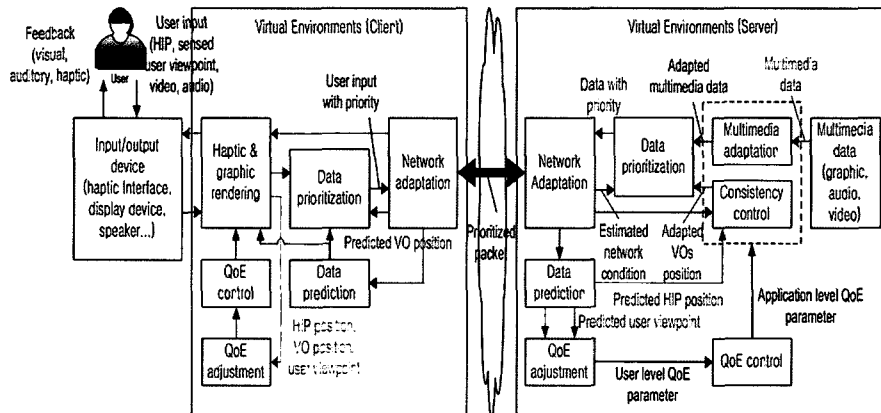


그림 1 촉감 3D NVE QoE 프레임워크

고 네트워크 적용(network adaptation) 모듈들로 구성된다. 데이터 예측 모듈은 네트워크 손실 및 지연으로 인해 데이터가 손실되는 것을 방지하기 위해서 사용자의 HIP 및 뷰포인트 정보를 예측한다. 예측된 데이터를 사용하여 QoE 적용 모듈은 IoP와 IoPH 값을 계산하고 계산된 정보를 사용하여 QoE 조정 모듈은 각각의 미디어 혹은 VO들의 효율적인 표현 방법을 결정한다. 즉,

IoP 값에 따라서 비디오의 시간적/공간적 해상도 및 압축 방식을 결정하고 각각의 VO들의 LoD를 결정한다. 또한, IoPH 값에 따라서 촉감 상호작용에 필요한 VO 정보들의 보내는 시간 간격을 결정한다. 이렇게 결정된 응용계층 QoE 인자들을 기반으로 각각의 미디어들은 멀티미디어 적용 변환과 일관성 유지 모듈을 통해서 적용 변환된다. 그리고 데이터 우선순위화과 네트워크 적

응 모듈들은 각각 미디어가 요구하는 네트워크 QoS 조건과 현재 네트워크 상황을 고려하여 모든 클라이언트에게 전송한다.

클라이언트는 촉감/그래픽 렌더링(haptic & graphic rendering), QoE 적응, QoE 조정, 데이터 예측, 데이터 우선순위화, 그리고 네트워크 적응 모듈들로 구성된다. 촉감/그래픽 렌더링 모듈은 상호작용 및 사용자에게 피드백을 제공하기 위한 모든 작업을 포함한다. 클라이언트 측의 QoE 적응 모듈은 촉감/그래픽 렌더링 모듈로부터 실시간으로 HIP, VO, 그리고 사용자 시점 위치를 전달받아서 IoP와 IoPH를 계산한다. 계산된 IoP와 IoPH 값에 기반하여 QoE 조정 모듈은 VO의 LoD 값 및 촉감/그래픽 렌더링의 프레임률을 결정한다. 서버 및 다른 클라이언트에게 전달이 필요한 데이터들은 데이터 우선순위화와 네트워크 적응 모듈을 통해서 전달된다.

데이터 우선순위화 모듈은 데이터 스트림 특징에 기반하여 혹은 한 데이터 스트림 내에서 각각의 데이터의 특징에 기반하여 지연 및 손실에 관한 서로 다른 우선순위를 부여한다. 촉감 데이터 우선순위화는 수신 측의 촉감데이터 예측 정확도에 기반하여 촉감 데이터의 중요도를 계산한다. 전송 측에서는 수신 측이 예측하기 어려운 데이터에는 높은 우선순위를, 수신 측이 정확히 예측할 수 있는 데이터에는 낮은 우선순위를 부여하여 보다 네트워크 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 지원한다. 촉감데이터우선순위는 중요도의 오름차순으로 0에서부터 2까지 세 단계로 정의된다. 네트워크 혼잡으로 인해 손실된 촉감데이터는 수신 측에서 정확한 촉감데이터를 예측하는 것을 어렵게 만들기 때문에, 네트워크 손실 (l)이 존재할 경우에는 상대적으로 손실된 데이터

의 다음 번 전송될 데이터의 중요도 증가시킨다. 이를 통해 네트워크 손실률이 증가할수록 더욱 중요한 촉감 데이터의 양은 많아지지만 네트워크 손실에 따른 촉감 상호작용의 질적 저하를 완화시킬 수 있다[15,16].

네트워크 적응 모듈은 우선순위가 부여된 각각의 데이터들을 현재 네트워크 상황과 네트워크 요구조건을 고려하여 전송한다. 그림 2는 NVE의 네트워크 QoS 요구조건을 만족시키기 위한 네트워크 적응형 전송 모듈의 컴포넌트들을 보여준다. 각각의 데이터의 지연, 지터, 손실 및 대역폭 요구조건을 충족시키기 위해서 현재 네트워크 상황을 모니터링 한다. 측정된 네트워크 상황과 지연 및 손실에 관한 우선순위를 기반으로 각각의 데이터들은 필터링, 집적화, 손실 조정, 그리고 스케줄링 된다. 그 후에 어플리케이션 계층의 우선순위는 네트워크 계층의 QoS 인자 값과 맵핑되어 QoS 지원 가능 네트워크 상으로 전송된다.

네트워크 적응 모듈 중에 촉감데이터에 특화된 모듈로는 촉감데이터 우선순위기반 필터링, 촉감데이터집적, 촉감데이터 손실조정이 있다. 우선순위기반 필터링 모듈은 우선순위가 부여된 촉감데이터들의 전송량을 줄이기 위해 필터링을 한다. 촉감모드우선순위가 0인 촉감데이터들은 30ms에 한번씩 전송될 수 있다. 따라서 촉감모드우선순위가 0인 촉감데이터들은 30ms 동안 혹은 촉감모드우선순위가 1인 촉감데이터가 입력되기 전까지 우선순위기반 필터링 모듈에서 대기한다. 우선순위기반 필터링 모듈은 대기하고 있는 촉감모드우선순위가 0인 촉감데이터 중에서 촉감손실지연우선순위가 1혹은 2인 촉감데이터 하나만 촉감데이터집적 모듈로 전달하고 나머지는 필터링한다. 촉감모드우선순위가 1인 데이터들은

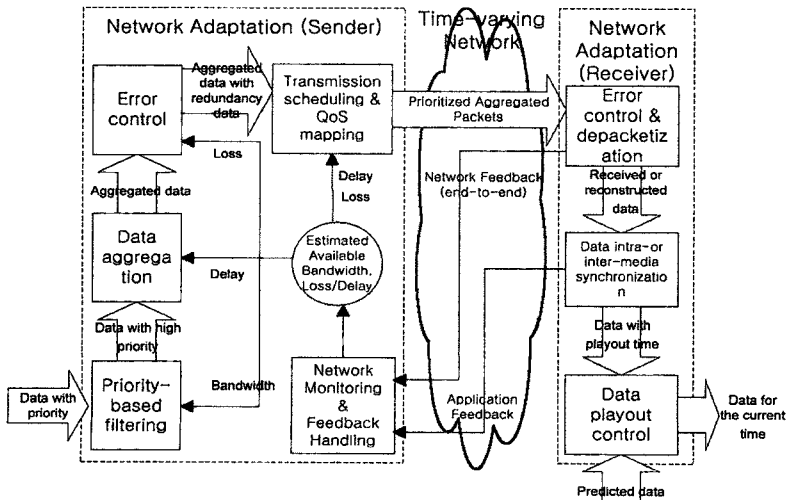


그림 2 NVE QoS지원 네트워크 적응형 전송

기다리는 시간 없이 바로 필터링 여부가 결정된다. 촉감 손실지연우선순위가 0인 촉감데이터들은 실제적인 전송 없이도 수신측의 촉감데이터예측 모듈에 의해 예측이 가능하기 때문에 모두 필터링된다. 촉감손실지연우선순위가 1인 촉감데이터는 현재 네트워크 상황이 혼잡하면 필터링되고 충분한 대역폭이 지원되는 경우에는 촉감손실지연우선순위가 2인 촉감데이터와 같이 촉감데이터집적 모듈로 전달된다. 촉감데이터집적모듈은 데이터 크기는 작지만 입출력 빈도가 잦은 촉감데이터를 집적함으로써 네트워크를 효율적으로 사용할 수 있도록 한다. 하지만 너무 오랜 시간에 걸쳐서 데이터를 집적할 경우에 촉감상호작용의 질적 저하를 초래할 수 있으므로 현재 네트워크 지연에 따라 1ms에서부터 8ms 동안에 발생되는 촉감데이터를 집적한다. 촉감데이터손실조정 모듈은 촉감손실지연우선순위가 2인 촉감데이터의 신뢰성 있는 전송을 위해 부가적인 정보를 생산한다. 부가적인 정보는 패킷에 제일 앞에 있는 촉감데이터와의 촉감손실지연우선순위가 2인 촉감데이터간의 차분코딩을 통해서 생산된다. n번째 패킷의 촉감손실지연우선순위가 2인 촉감데이터의 부가정보는 n+1,...,n+k 번째 패킷과 같이 전송될 수 있는데 촉감데이터손실조정 모듈은 현재 네트워크 손실률에 따라 k를 증가 혹은 감소시킴으로 데이터손실률을 조정할 수 있다[16].

4. 실험 결과

제한한 촉감지원 NVE QoE 프레임워크의 유용성을 검증하기 위해 그림 3과 4와 같은 촉감기반 가상환경 테스트베드를 구축하였다. 가상환경의 일관성을 유지하기 위해서 서버를 두었고 두 클라이언트와 서버는 네트워크 에뮬레이터를 통해서 서로 통신한다[17-19]. 테스트베드의 하드웨어 및 소프트웨어 구성은 그림 3과 같다[20]. 그림 4와 같이 촉감기반 가상 협업 시나리오로써 방 정리 응용프로그램을 구현하였다[21,22]. 가상환경

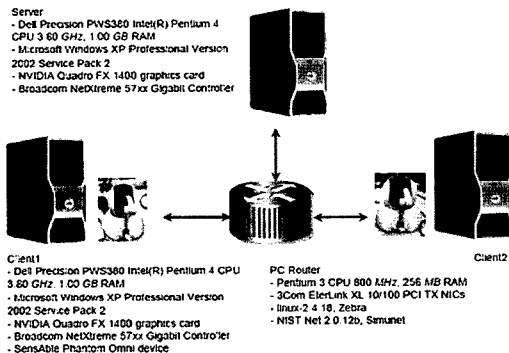


그림 3 촉감기반 가상환경 테스트베드

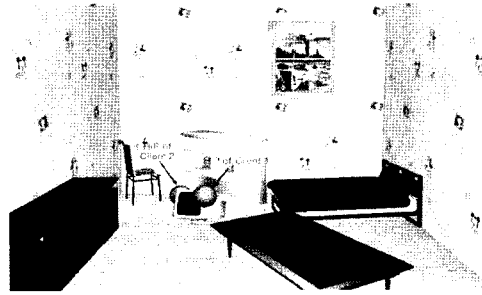


그림 4 방 정리 가상 협업 응용프로그램

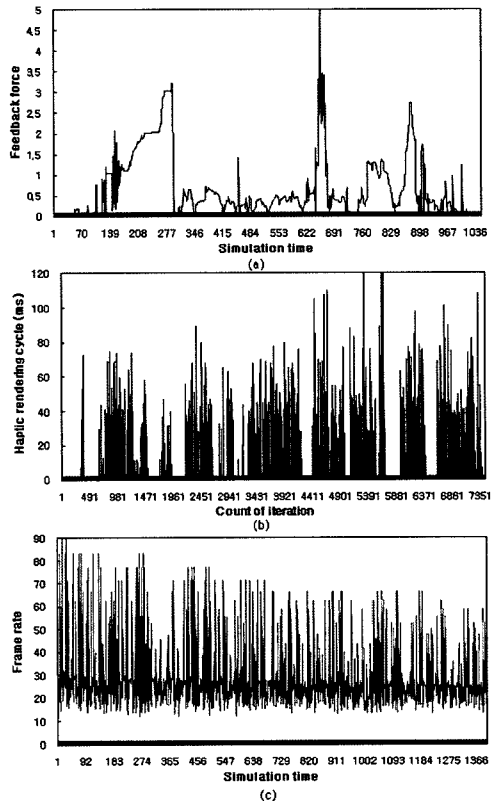


그림 5 촉감 3D NVE QoE 프레임워크의 필요성: 불규칙한 (a)힘 피드백, (b)촉감 렌더링률, 그리고 (c)그래픽 렌더링률

은 침대, 책상, 의자등과 같은 가상 물체로 이루어져있고 응용프로그램 시작 시 각각의 물체에 임의의 위치를 부여하여 방을 어지럽게 한다. 두 클라이언트는 촉감디바이스를 이용하여 무거운 가상물체를 서로 힘을 합하여 밀고 혹은 들어서 방을 정리한다.2)

그림 5는 촉감 3D NVE QoE 프레임워크의 필요성을

2) 이와 같은 촉감 상호작용은 게임, 텔레오퍼이션, 및 그의 다양한 촉감기반 공동작업을 위해 중요한 상호작용으로 간주된다[23].

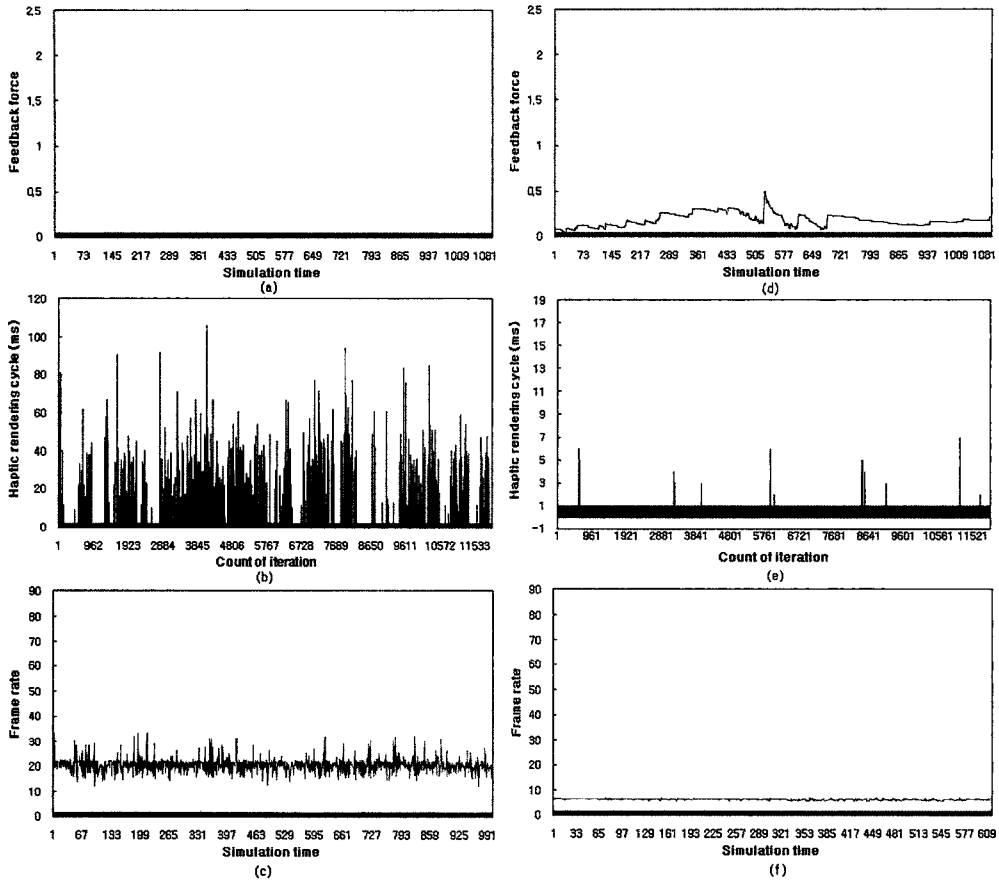


그림 6 촉감 3D NVE QoE 프레임워크의 사용자 현실감에 기반한 cpu 활용: 촉감상호작용이 없는 경우의 (a)힘 피드백, (b)촉감 랜더링률, (c)그래픽 랜더링률, 그리고 촉감 상호작용시의 (d)힘 피드백, (e)촉감 랜더링률, (f)그래픽 랜더링률

보여준다. 제한된 cpu와 네트워크 자원을 그래픽/촉감/네트워크가 서로 경쟁적으로 사용하면 그림 5(b)와 (c) 같이 불규칙한 촉감 및 그래픽 랜더링률을 유발한다. 이는 사용자에게 시각적인 비현실감뿐만 아니라 특정 가상 물체를 밀었을 때 그림 5(a)와 같이 불안정한 비현실적인 힘 피드백을 제공하는 요인이 된다. 본 논문에서는 제안된 3D NVE QoE 프레임워크의 사용자 현실감에 기반한 효율적인 cpu 및 네트워크 사용을 중점적으로 유용성을 검증한다.

그림 6은 제안된 3D NVE QoE 프레임워크의 사용자 현실감에 기반한 효율적인 cpu 사용을 보여준다. 그림 6(a)~(c)는 VO와 HIP간에 충돌이 일어나지 않는 경우의 힘 피드백, 촉감 랜더링률, 그리고 그래픽 랜더링률을 나타낸다. 이와 같이 촉감 상호작용이 사용자의 현실감에 중요한 요소가 되지 않을 때는 우선적으로 그림 6(c)와 같이 15~30 Hz의 안정적인 그래픽률 보장을 위해

cpu 자원을 할당한다. 하지만 그림 6(d)~(f)와 같이 VO와 HIP간에 충돌이 일어나거나 예상되는 경우에는 cpu 할당의 우선순위를 촉감 랜더링 루트에 두고 그림 6(e)와 같이 안정적인 촉감 랜더링률을 확보한다. 이로 인해서 그래픽 랜더링률은 그림 6(f)와 같이 낮아지지만 그림 6(d)와 같이 안정적이고 현실감 있는 힘 피드백으로 인해서 전체적인 서비스의 질을 상승시키는 효과가 있다.

촉감 랜더링을 위해 충분히 cpu를 할당하여도 서버와의 동기화에 의해서 힘 피드백의 저하가 유발된다. 네트워크 지연이 존재하면 사용자가 가상 물체를 밀었을 경우 해당 가상 물체가 바로 반응하지 않고 서버와의 동기화를 위해서 일정시간 이후에 가상 물체의 위치가 갱신된다. 이러한 현상은, 그림 7(a)와 같이 네트워크 지연이 증가할 때 가상 물체가 생성하는 촉감 피드백이 증가하는 현상을 초래한다. 이러한 현상을 완화하기 위해서 촉감 중요도가 높은 경우에는 서버와의 그래픽 동

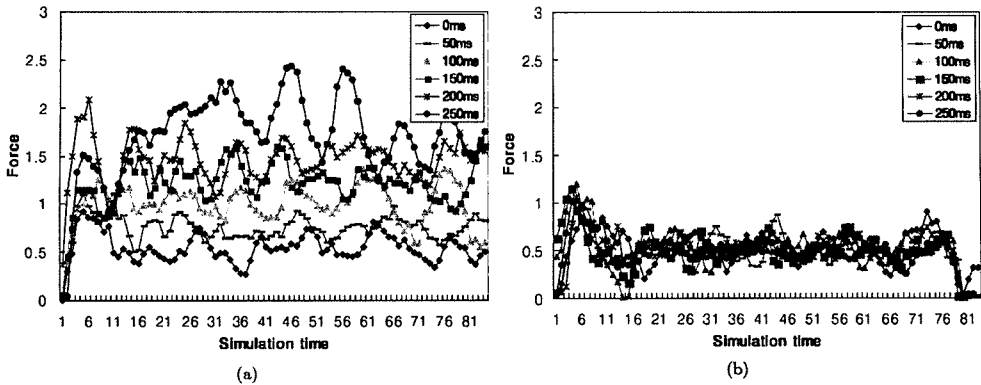


그림 7 현실감 있는 촉각 피드백 지원: (a) QoS 조정이 없는 경우 그리고 (b) QoS 조정을 통한 효과

기화보다 힘 피드백의 투명성에 더 많은 자원을 할당한다. 즉, 각각의 클라이언트들이 촉각 피드백을 예측하여 우선적으로 서버와의 힘 피드백을 동기화하고 점차적으로 그래픽 동기화를 맞추면 그림 7(b)와 같이 네트워크 지연이 존재하더라도 더욱 현실감 있는 힘 피드백을 제공할 수 있다.

그림 8과 9는 제안된 프레임워크의 효율적인 네트워크 사용을 검증하기 위한 실험결과이다. 제안된 3D NVE QoS 프레임워크의 촉각 우선순위화는 그림 8(a)와 같이 현재 네트워크 상황(손실률(1))에 기반하여 촉각 데이터 각각에 중요도를 부여하여 보다 효율적으로

네트워크 대역폭을 사용할 수 있도록 한다. 그림 8(b)는 촉각 우선순위화와 우선순위 기반 패킷 필터링에 의한 대역폭 사용을 보여준다. 결과적으로 사용자가 촉각 협업의 어려움을 느끼지 못할 정도의 협업의 품질을 보장하면서도 네트워크 손실률이 30% 존재하는 네트워크 하에서 촉각 데이터 전송률을 50% 이상 감소시킬 수 있다. 그림 9는 네트워크 적응형 전송 기법의 유용성을 보여주는 실험 결과이다. 본 실험을 위해 표 4와 같이 시간에 따라 네트워크 손실을 변화시켜주었다. 제안된 촉각데이터 적응형 전송기법의 유용성을 보이기 위해서 기존의 전송기법 transport scheme #1~#4와 비교하였

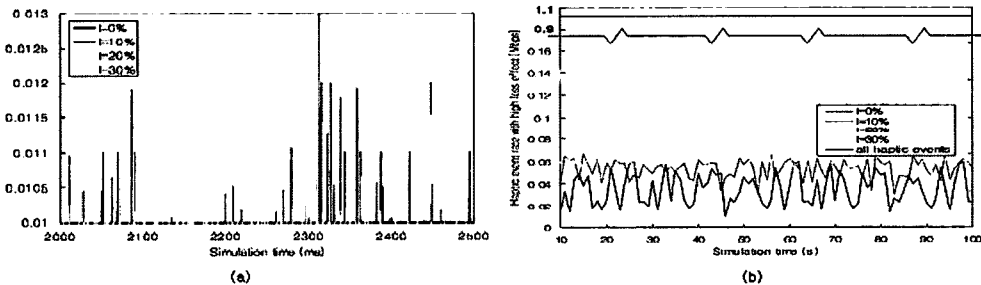


그림 8 네트워크 손실률과 촉각데이터 전송률: (a) 중요도가 높은 촉각데이터의 분포 그리고 (b) 촉각데이터 전송률

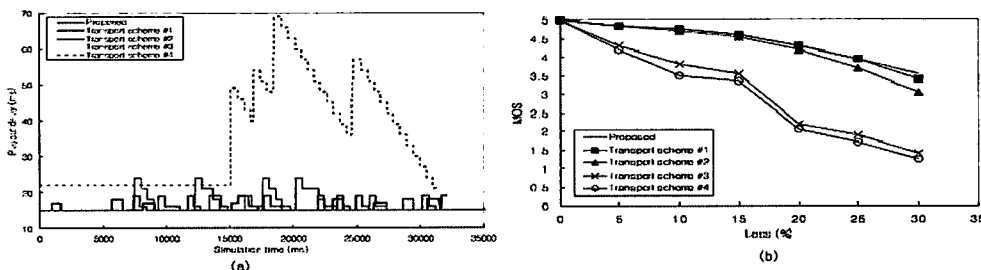


그림 9 네트워크 적응형 데이터 전송기법: (a) 중단간 지연 비교 그리고 (b) 질적 저하 비교

표 4 네트워크 설정

시간(s)	손실률(%)
0~5	0
5~10	10
10~15	15
15~20	20
20~25	10
25~30	0

다3): Transport Scheme #1 (Reed-Solomon code + VTR), Transport Scheme #2 (ARQ + VTR), Transport Scheme #3 (Transport Scheme #1 + Static Aggregation (ST) (8ms)), Transport Scheme #4 (Transport Scheme #2 + ST). 그림 9(a)는 제안된 기법이 보다 작고 안정적인 종단간 지연을 지원하는 것을 보여준다. 이를 통해서 그림 9(b)와 같이 보다 우수한 촉감 협업의 질을 보장할 수 있다. 촉감 협업 질의 주관적인 평가를 위해서 MOS(mean opinion score) 평가를 사용하였고 다음과 같은 5단계의 평가 항목을 통해서 평가되었다(1) very annoying, (2) annoying, (3) slightly annoying, (4) perceptible but not annoying, and (5) imperceptible [24]).

5. 결론 및 추후 과제

본 논문에서는 가변적인 네트워크 상황과 이질적인 시스템 상에서도 높은 현실감을 제공 가능한 촉감지원 NVE QoE 프레임워크의 프로토타입을 제안했다. 먼저, 촉감지원 NVE에서 요구되는 현실감 수준을 효율적으로 수치화할 수 있는 방법을 제안하고 이를 기반으로 제안된 리소스를 효율적으로 사용하는데 필요한 QoE 컴포넌트들을 정의하였다. 또한 촉감 지원 NVE의 네트워크 요구조건을 분석하고 다양한 요구조건을 효율적으로 수용하기 위해 필요한 전송 컴포넌트들을 살펴보았다. 추후 과제로서는 제안한 촉감지원 NVE QoE 프레임워크를 기반으로 다양한 촉감기반 NVE 서비스를 구현하고 다수의 사용자를 기반으로 실험하여 그 유용성의 검증 및 프레임워크의 수정 보완이 필요하다.

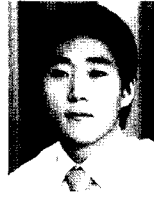
참 고 문 헌

[1] S. Oh, D. Kado, and K. Fujikawa, "QoS mapping for networked virtual reality system," Proc. SPIE Conf. Performance and Control of Network Sys., pp. 18-26, 1997.
 [2] D. Gracanin, Y. Zhou, and L. A. DaSilva, "Quality

of service for networked virtual environments," IEEE Communications Magazine, vol. 42, issue 4, pp. 42-48, 2004.
 [3] L. Skorin-Kapov, D. Mikic, and D. Huljenic, "End-to-end QoS for virtual reality service in UMTS," Proc. the 7th International Conference on Telecommunications - ConTEL, Vol.1, pp. 337-344, 2003.
 [4] A. S. Patrick, J. Singer, B. Corrie, S. Noel, K. El Khatib, B. Emond, T. Zimmerman, and S. Marsh, "A QoE sensitive architecture for advanced collaborative environments," Proc. Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks (QS-HINE), pp. 319-322, 2004.
 [5] M. Matijasevic, D. Gracanin, K. P. Valavanis, and I. Lovrek, "A framework for multiuser distributed virtual environments," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 32, No. 4, 2002.
 [6] Y. Ishibashi, S. Tasaka, and T. Hasegawa, "The virtual-time rendering algorithm for haptic media synchronization in networked virtual environments," Proc. the 16th International Workshop on Communication Quality and Reliability (CQR), pp. 213-217, May 2002.
 [7] K. Hikichi, H. Morino, I. Arimoto, I. Fukuda, S. Matsumoto, M. Iijima, K. Sezaki, and Y. Yasuda, "Architecture of haptics communication system for adaptation to network environments," Proc. IEEE ICME, pp. 563-566, Aug. 2001.
 [8] S. Dodeller and N.D. Georganas, "Transport layer protocols for telehaptics update messages," Proc. Biennial Symp. On Communic., Jun. 2004.
 [9] Zhiwei Cen et al, "Supermedia transport for tele-operations over overlay networks," Proc. NETWORKING, 2005.
 [10] K. Yap, A. Marshall, and W. Yu, "Providing QoS for multimodal system traffic flows in distributed haptic virtual environments," IEEE Global Information Infrastructure Symposium, 2 5 July 2007.
 [11] P. Kolčárek and J. Sochor, "Velocity driven haptic rendering," Proc. ACM SIGGRAPH, pp. 289-394, 2005.
 [12] S. Hirche, "Haptic telepresence in packet switched communication networks," Ph.D thesis, Technische Universität Munchen, 2005.
 [13] S. Lee, S. Moon, and J. Kim, "Performance evaluation of transport protocols for networked haptic collaboration," Proc. SPIE ITCOM, 2006.
 [14] T. Kanbara, Y. Ishibashi, and S. Tasaka, "Haptic media synchronization control with dead-reckoning in networked virtual environments," Proc. the 8th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics, and Informatics (SCI), Vol. 3, pp. 158-163, 2004.
 [15] J.-G. Kim, J. Kim, J. Shin, and C.-C. J. Kuo, "Coordinated packet-level protection with a cor-

3) 기존의 촉감데이터 전송 프로토콜인 smoothed SCTP[8]와 STRON[9]의 사용 및 구현이 가능하지 않기 때문에 각각 transport scheme #1과 #2로 대체된다.

- ruption model for robust video transmission," Proc. SPIE Visual Communication Image Processing (VCIP), 2001.
- [16] S. Lee, S. Moon, and J. Kim, "A network-adaptive transport scheme for haptic-based collaborative virtual environments," Proc. ACM NetGames, 2006.
- [17] M. Carson and D. Santay, "NIST Net: A Linux-based network emulation tool," Computer Communication Review, Vol. 33, pp. 111-126, Jun. 2003.
- [18] C.-J. Tsai et al., "MPEG-21 testbed project," <http://clabprj.ee.nctu.edu.tw/~mpeg21tb>.
- [19] IP Infusion Inc., "GNU Zebra," <http://www.zebra.org>.
- [20] SensAble Technologies, "PHANTOM Omni haptic device," <http://www.sensable.com/haptic-phantom-omni.htm>.
- [21] R. Smith, "Open dynamics engine," <http://www.ode.org>.
- [22] F. Conti, F. Barbagli, D. Morris, and C. Sewell, "CHAI: An open-source library for the rapid development of haptic scenes," Proc. IEEE World Haptics, Mar. 2005.
- [23] C. Basdogan, C.-h. Ho, M. A. Srinivasan, and M. Slater, "An experimental study on the role of touch in shared virtual environments," ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 7, pp. 443-460, 2000.
- [24] S. Matsumoto, I. Fukuda, H. Morino, K. Hikichi, K. Sezaki, and Y. Yasuda, "The influences of network issues on haptic collaboration in shared virtual environments," Proc. the 5th PHANToM Users Group, Oct. 2000.



손 석 호

2006년 8월 부경대학교 컴퓨터멀티미디어공학(학사). 2006년 9월~현재 광주과학기술원 정보기전공학부 석사과정. 관심분야는 Networked Virtual Environment, Haptic Rendering, High resolution display

김 종 원

정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터 제 14 권 제 1 호 참조



이 석 회

2003년 2월 서강대학교 컴퓨터과학과(학사). 2005년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과(석사). 2005년 3월~현재 광주과학기술원 정보기전공학부 박사과정. 관심분야는 Multimedia Delivery, Networked Virtual Environment, Tele-

operation