
QoE 지원 Tiled-display 기반 촉각 협업 시스템

Haptic Collaboration System over High Resolution Tiled-display with QoE

손석호*, Seokho Son, 이석희**, Seokhee Lee, 김종원***, JongWon Kim
광주과학기술원 정보기전공학부, 네트워크미디어 연구실

요약 본 논문에서는 협업 가상 환경이 보다 더 높은 현실감을 제공하도록 고해상도 tiled-display 에 기반을 둔 촉각 협업 시스템의 구조 및 구현 방법을 제안한다. 또한 이 시스템에서 QoE (quality of experience)의 수준을 높일 수 있는 기법을 제안한다. 촉각 기반 시스템과 고해상도 tiled-display를 위한 시스템은 각각 컴퓨터의 자원에 대한 요구조건이 있다. 촉각 시스템의 요구조건은 햅틱 디바이스의 햅틱 렌더링 반복 속도이다. 1kHz 이상의 렌더링 속도를 만족시키지 못하면 햅틱 장비는 불안정해지며 촉각 기반 협업을 방해한다. 그리고 tiled-display는 동영상을 디스플레이하기 위해서 일정 속도 이상으로 새로운 화면을 갱신 시켜야 한다. 일반적으로 햅틱 시스템과 tiled-display 시스템을 각각 사용하면 각각의 요구들을 만족시킬 수 있지만 두 시스템을 함께 사용하면 컴퓨터의 자원 부족에 의해 전체 시스템 성능이 저하되고, 사용자의 QoE를 만족시키기 어려워진다. 따라서 본 논문에서는 QoE 를 높일 수 있는 구조로 tiled-display 기반 햅틱 협업 시스템을 구현하고, 또한 상황에 따른 사용자의 감각적 우선순위를 파악하여 디스플레이 업데이트 주기와 햅틱 렌더링 주기를 선택적으로 조율함으로써 제한된 자원을 효율적으로 이용하고 시스템 전체의 QoE를 높일 수 있는 기법을 제안한다.

Abstract This paper proposes a structure of haptic collaboration system over high resolution tiled-display, and proposes a QoE (quality of experience) increase scheme in integrated system. Both haptic system and tiled-display system have requirements of computational power. A haptic device is unstable if haptic rendering rate is less than 1kHz. A requirement of tiled-display system is frame rate of display. It requires update of 30 frame per sec. If we use these systems independently, we can satisfy each requirements. However, if we integrate two systems, performance of entire system significantly decreases because of lack of resources, and QoE of users also decrease. In this paper, therefore, we propose a QoE guaranty scheme which selectively allocates cpu resource between display update and haptic rendering. In order to increase QoE, we set a priority for visual and haptic in order to allocate more resource on visual or haptic. If a user sensitive about touch, then proposed scheme increases haptic rendering rate by allocating more resource. Otherwise a user more sensitive about visual than haptic, proposed scheme decreases haptic rendering rate and increases tiled-display update rate. Therefore, by selectively allocating limited cpu resource, proposed scheme guaranties QoE of both haptic and visual.

핵심어: *haptic collaboration, haptic display, virtual environment, tiled-display, QoE*

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITA-2008-(C1090-0801-0017))

*주저자 : 광주과학기술원 정보통신공학과; e-mail: shson@nm.gist.ac.kr

**공동저자 : 광주과학기술원 정보통신공학과; e-mail: shlee@nm.gist.ac.kr

***교신저자 : 광주과학기술원 정보통신공학과 교수; e-mail: jongwon@nm.gist.ac.kr

1. 서론

가상현실은 사람이 현실에서 하기 어려운 일들을 쉽게 할 수 있는 환경을 제공할 수 있다. 이러한 장점으로 인하여 가상현실은 게임, 디자인, 건축, 의료기술 등 여러 가지 분야에서 그 효율성을 인정받았고, 기술적으로도 많은 연구가 진행되었다. 가상현실의 초기 기술들은 가상현실을 구성하고 공유할 수 있게 기본 틀을 구축하는데 있었다. 하지만 기본적인 가상환경의 틀이 정착되어 있는 지금은 어떻게 사용자를 가상환경에 몰입시켜서 더 높은 현실감을 제공할 것인가에 대한 연구가 가상환경 연구의 초점으로 부각되고 있다. 이에 따라 몰입감 있는 가상환경을 제공하기 위한 시각, 청각, 촉각 등을 지원하는 다양한 장비들이 개발 되었고, 이 장비들을 더 효율적이고 안정적으로 제공하기 위한 연구들이 함께 진행되고 있다.

본 논문에서는 실감적인 가상환경을 제공하는 시스템 중에서도 시각, 촉각 등을 지원하는 시스템들에 관한 연구에 관심을 갖는다. 시각적 측면에 관한 대표적인 연구로 EVL의 SAGE (Scalable Adaptive Graphics Environment) 시스템이 있다 [1-2]. 이 시스템은 동질의 디스플레이 장비들을 모아 하나의 디스플레이 장비처럼 보이게 하는 tiled-display 시스템을 구축하는데 주안점을 두었고, 이를 통해 사용자에게 저비용으로 더 큰 화면을 즐길 수 있는 시스템을 제공하였다. 또한 EVL에서는 CAVE 환경을 구축하였다 [3]. 이 연구에서는 디스플레이 장비를 6면의 동굴형식으로 구성하여 사용자가 더 실감적인 가상환경을 즐길 수 있게 하였다. 그리고 촉각에 대한 몰입감을 높이기 위한 연구로는 촉각 지원 협업 시스템이 있다 [4]. 이 시스템은 사용자가 햅틱 장비를 통해 가상환경의 가상물체를 조작하며, 그 조작에 대한 힘을 사용자에게 피드백 함으로써 더 원활한 협업 환경을 제공한다.

소개된 기존의 연구들은 가상현실을 현실감 있게 제공하기 위해 각각 고유한 시스템을 구축하여 활발히 연구를 진행하였으나, 여러 가지 감각을 지원하기 위한 시스템들의 통합에 대한 연구는 다소 부족해 보인다. 사용자에게 더 높은 수준의 가상환경을 제공하기 위해서는 여러 가지 감각들을 동시에 만족시킬 필요성이 있다. 이와 같은 동기에 의하여, 본 연구에서는 시각, 촉각을 실감적으로 제공하기 위해 촉각 협업 시스템과 고해상도 tiled-display 시스템의 통합을 수행한다.

고해상도 tiled-display에 기반을 둔 촉각 협업 시스템을 구현 하기 위해서는 각 시스템들의 성능 요구 조건을 고려하여야 한다. 촉각 시스템의 경우, 햅틱 렌더링은 1kHz 의 높은 수행 빈도를 필요로 한다 [5]. 만약 이 조건을 만족시키지 못하면 반환된 피드백 힘은 햅틱 장비를 불안정하게 만들어 장비가 진동하는 문제가 발생한다. 그리고

tiled-display 시스템은 고해상도 지원을 위해서 많은 수의 디스플레이 장비와 고해상도의 데이터가 필요하기 때문에 고해상도 출력물을 각 노드에 전송하기 위해서는 방대한 대역폭뿐만 아니라 전송을 위한 각종 자원들이 소비된다. 이처럼 자원 요구 조건이 매우 높은 햅틱 협업 시스템과 고해상도 tiled-display 시스템을 통합하면 자원의 부족함으로 인하여 사용자의 QoE (quality of experience) 가 크게 감소된다.

따라서 본 논문에서는 이러한 성능 저하 문제를 해결하기 위한 tiled-display 기반 촉각 지원 협업 시스템의 구조를 제안하고 제안된 구조에 기반을 두어 시스템을 구현한다. 또한 사용자의 현실감 측면에서의 중요도 (QoE)를 파악하여, 제안된 하드웨어 자원을 사용자의 QoE에 알맞게 효율적으로 활용하는 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 Tiled-display 기반 촉각 협업 시스템의 적절한 구현 구조와 구현 방법을 제안한다. 3절에서는 QoE 보장의 필요성에 대하여 언급하고, QoE를 높이기 위한 기법을 제안한다. 그리고 제안된 시스템의 구현 결과 및 기법의 성능은 4절의 성능 평가에서 나타내었다. 마지막으로 5절에서는 논문을 결론짓고 향후 연구에 대하여 언급한다.

2. QoE 지원 Tiled-display 기반 촉각 협업 시스템

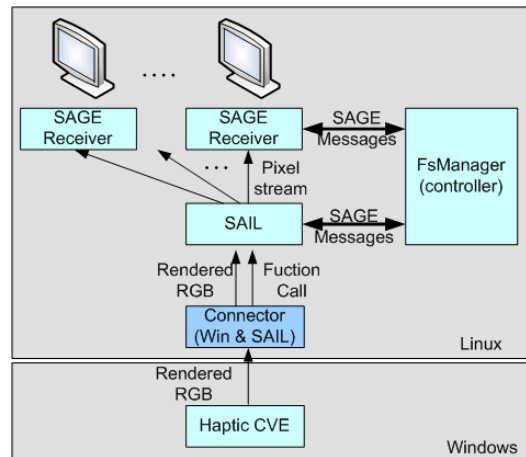


그림 1 촉각 지원 협업 시스템과 tiled-display의 연동 구조.

QoE 지원 Tiled-display 기반 촉각 협업 시스템을 구현하기 위하여, 시스템의 기능적인 구조와 시스템 성능을 고려한 효과적인 프로세스의 흐름에 대하여 제안한다. 그림 1은 햅틱 협업 시스템의 가상 환경을 tiled-display를 통해 디스플레이 하기 위한 구조이다. 이 구조는 크게 haptic CVE

(collaborative virtual environment)와 tiled-display 부분으로 나뉜다. Haptic CVE는 가상 협업 환경과 햅틱의 연결을 지원하고, tiled-display는 다수의 모니터로 구성되기 위한 networked tiled-display로써 고해상도의 디스플레이를 제공한다.

전체적인 구조는 햅틱 CVE 클라이언트에서 디스플레이 데이터를 생성하고, 이를 tiled-display에 적절한 방법으로 네트워크로 전송하는 구조이다. 햅틱 CVE의 클라이언트는 tiled-display에 가상환경을 디스플레이 할 수 있게 그래픽 렌더링을 통해 RGB 데이터형식의 프레임을 생성시킨다. 그리고 생성된 프레임을 적절한 주기로 캡처해서 bitmap 형식으로 각 tiled 노드 (SAGE receiver)로 전송하고, 동시에 tiled 노드들을 제어하는 컨트롤러 (FsManager)에게 디스플레이 될 데이터의 해상도, 색 비트 수 등에 대한 정보를 제공한다. 출력 정보를 받은 컨트롤러는 tiled-display 장비의 각 노드들을 제어하여 tiled-display에 응용프로그램에서 보내온 출력물을 디스플레이 함으로써 전체 시스템이 완성된다.

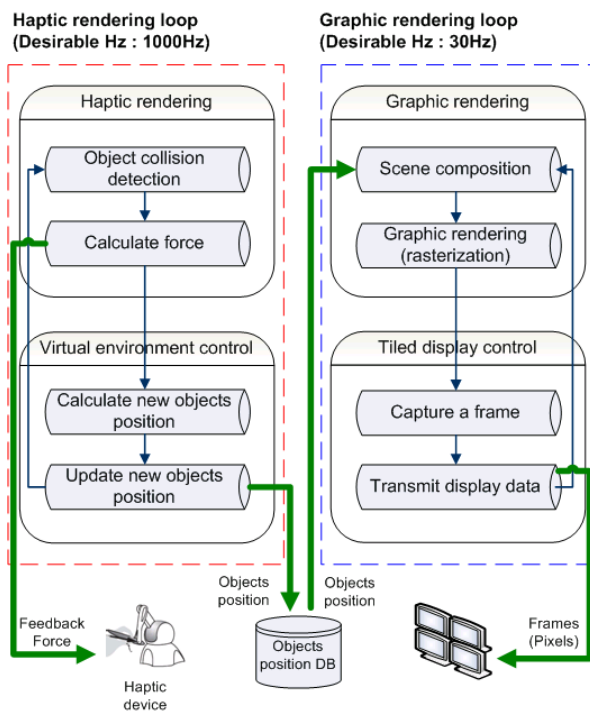


그림 2 시스템의 내부 프로세스 흐름도.

그림 2에서 고해상도 tiled-display 기반 촉감 기반 협업 시스템을 위한 세부 프로세스 흐름을 도시하였다. 제안된 tiled-display 기반 촉감 협업 시스템은 크게 햅틱 렌더링 루프와 그래픽 렌더링 루프로 구성된다.

그림 2의 햅틱 렌더링 루프는 햅틱 장비에 전달할 피드백

힘 생성, 사용자가 조작한 물체의 새로운 위치를 계산한다. 이 루프에서 힘과 물체의 위치를 계산하기 위한 프로세스의 흐름은 다음과 같다. Object collision detection 에서 가상 환경의 물체들과 햅틱의 HIP (haptic interaction point)와의 충돌 여부를 감지하고, 충돌이 감지되면 HIP와 가상 물체 사이의 힘을 계산한다. 계산된 힘은 사용자에게 힘을 피드백 하기위해서 햅틱 장비로 전송시키고, 또한 가상 물체의 새로운 위치를 결정하기 위해 사용된다. Calculate new objects position 프로세스는 물리 엔진을 이용하여 새로운 물체의 위치를 계산하고, 계산된 물체의 위치를 DB에 업데이트 시킨다. 마지막으로 업데이트를 완료 후 에는 다시 충돌을 감지하는 프로세스로 돌아가는 반복 형태의 구조로 구성하였다.

그림 2의 그래픽 렌더링 루프는 크게 가상환경을 래스터화 하는 프로세스와 tiled-display에 래스터화 된 프레임을 전송하는 부분으로 구성된다. 우선 햅틱 렌더링을 통해 변경된 가상 물체의 새로운 위치를 DB에서 읽어와 장면을 새롭게 구성하기 위하여 Scene composition 프로세스를 구성하였다. 다음 과정으로 Graphic rendering 프로세스는 그래픽으로 서술된 장면을 실제 디스플레이 장비에서 출력할 수 있도록 그래픽 장면을 RGB 칼라 형태로 래스터화 한다. 그리고 마지막 단계로, 래스터화된 데이터를 tiled-display에 출력하기 위해서 프레임 버퍼에 저장된 래스터 프레임을 네트워크를 통하여 tiled-display 장비로 전송함으로써 시각적 출력을 수행시킨다.

햅틱 렌더링 루프와 그래픽 렌더링 루프를 따로 구분하여 구성한 이유는 시스템 전체의 성능문제를 낮추기 위함이다. 앞에서 설명한 햅틱 렌더링 루프와 그래픽 렌더링 루프는 QoE 성능 문제를 낮추기 위하여 각각 독립된 구조로 구성하여야 한다. 만약 두 가지 루프가 독립적으로 운영되지 않는다면 그래픽 렌더링도 햅틱 렌더링과 같이 동작해야 하므로 CPU의 부하는 더욱더 커진다. 이 상황에서는 CPU가 어느 한쪽의 요구 사항도 정상적으로 만족시킬 수 없기 때문에 햅틱도 불안정 상태로 변하고 시각적으로도 사용자를 만족시킬 수 없는 상태가 된다. 이와 같은 문제를 방지하기 위하여 본 시스템에서는 두 렌더링 루프를 각각의 스레드로 나누어 구현함으로써 시스템 전체 성능을 향상 시킨다.

3. QoE 보장을 위한 선택적 자원 활용 기법

3.1 시스템 제약 및 성능 문제

촉감을 지원하고 또한 고해상도 tiled-display를 제공하는 시스템은 각 장비의 특성에 의하여 여러 가지 성능문제를 가지게 된다. 이 중에서도 특히 중요한 문제는 전송 지연

과 CPU 성능 한계이다.

전송지연은 tiled-display에 프레임들을 전송할 때 발생하는 지연 문제이다. tiled-display에 영상 출력을 위해서는 네트워크를 통한 프레임 전송이 필요한데 프레임의 크기와 반복속도가 높아짐에 따라서 더 높은 네트워크의 대역폭을 요구한다. 하지만 네트워크의 대역폭은 제약이 있으므로 높은 영상 데이터를 전송하는데 시간이 더 걸리게 된다. 결과적으로 이러한 제약에 의해서 사용자의 입력에 대해 화면 출력은 더 느린 반응을 보이게 된다.

CPU 성능 한계 문제는 tiled-display와 햅틱 렌더링의 CPU 자원 요구에 의하여 발생한다. tiled-display에 고해상도 출력물을 제공하기 위해서는 그래픽 렌더링 된 가상환경을 30Hz로 캡처하는 것과 캡처된 고용량의 bitmap을 전송하기 때문에 많은 CPU 자원을 소비한다. 또한 햅틱 시스템은 피드백 힘의 안정성을 제공하기 위하여, 햅틱 렌더링에서 많은 CPU의 자원을 소비한다. CPU의 자원은 제한되어 있기 때문에 두 가지 고성능을 요구하는 장비들을 아무런 기법 없이 사용하게 되면 두 장비 모두 불안정한 상태를 보이게 된다. 이 때 사용자는 햅틱에서는 햅틱 장비가 떨리는 안정성 문제와 tiled-display 장비에서는 디스플레이가 사용자에게 동영상처럼 보이지 않고 정지 영상들이 출력된다는 느낌을 주게 된다. 그러므로 제한된 CPU 자원으로 촉각과 고해상도의 실감적인 디스플레이 두 가지 시스템의 QoE 요구사항을 만족시키기 위해서 적절한 기법이 요구된다. 본 논문에서는 전송지연 문제보다 CPU 자원의 효율적인 이용에 주안점을 둔다.

3.2 선택적 자원 활용 기법

사용자는 자신이 더 집중하고 있는 감각에 더 높은 QoE 우선순위를 부과하기 때문에 QoE의 기준은 사용자의 행동에 따라 변하게 된다. 이러한 점에 착안하여, 사용자의 행동에 따라 더 크게 인지하는 감각을 분류함으로써 햅틱 렌더링과 tiled-display 업데이트 주기를 적절하게 선택한다. 사용자가 햅틱을 사용하여 힘을 느끼고 있을 때는 시각적인 부분보다 힘에 더 민감하게 반응하며, 힘의 피드백을 기대하지 않을 때에는 햅틱에서 느껴지는 힘보다 시각에 더 의존하게 된다. 그러므로 사용자가 햅틱을 이용하여 힘을 느끼는 순간은 촉각에 더 높은 우선순위를 부가하여, CPU 자원을 햅틱 렌더링에 집중시킨다. 반대로 피드백 힘을 느낄 필요가 없을 때는 사용자가 시각에 더 민감하기 때문에 햅틱 장비에 힘을 반환할 필요할 필요가 없고, 1kHz의 업데이트 주기를 만족시켜줄 필요성은 줄어들어진다. 그러므로 이때는 CPU 자원을 디스플레이에 집중하여 시각적 QoE를 만족시킨다.

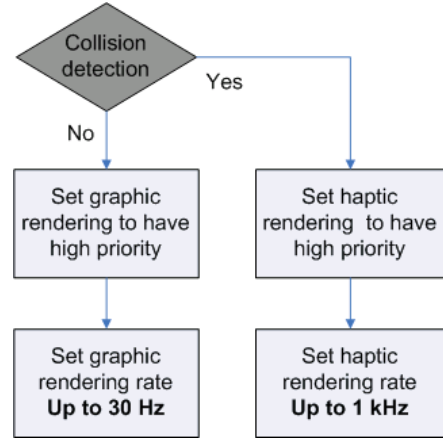


그림 3 선택적 자원 활용 알고리즘.

그림 3은 선택적 자원 활용 알고리즘을 나타낸다. 햅틱 장비에 피드백 힘의 반환 여부는 햅틱 렌더링 중 충돌 검사 과정에서 판정됨으로 알고리즘은 충돌 감지(collision detection)로부터 시작된다. 충돌 검사는 HIP와 가상 물체 사이의 충돌 여부를 검사해서 사용자의 햅틱 장비의 조작 의도를 파악한다. 충돌 검사에서 HIP와 가상물체 사이의 충돌이 발생하면 햅틱 장비에 피드백 힘 정보를 전송해야한다. 이때는 사용자가 촉각에 더 민감한 시기 이므로, 사용자에게 촉각에 대한 QoE를 제공하기 위해 tiled-display로의 프레임 전송 빈도를 낮추고 이에 사용되던 자원을 햅틱 렌더링 쪽으로 사용하여 1kHz로 햅틱 렌더링을 수행한다. 반대로 HIP와 가상 물체사이의 충돌이 발생하지 않았을 때는 사용자는 촉각 보다 시각에 더 민감해 지게 된다. 그러므로 이때는 고해상도 tiled-display의 화면 갱신주기를 만족시키기 위해서 컴퓨터의 자원을 집중시킨다. 이와 같이 상황에 따라 선택적으로 각 모듈의 업데이트 빈도를 변경하는 기법을 이용함으로써 고성능을 요구하는 두 가지 시스템의 QoE를 상승시킬 수 있다.

4. 구현 및 실험 결과

4.1 시스템 환경

시스템의 구성 및 실험 환경은 다음과 같이 구성된다. 햅틱 협업 클라이언트 머신, tiled-display 컨트롤러, 4개의 모니터와 각 모니터에 연결된 머신 4대, 그리고 햅틱 장비로 구성된다. 햅틱 협업용 클라이언트 머신에서 햅틱 가상환경을 제공하는 어플리케이션, 햅틱 렌더링, tiled-display에 프레임 전송 등이 이루어진다. 이 머신의 중요 하드웨어 구성은 다음과 같다. CPU : Intel Pentium 4 3.2GHz, Graphic card : NVIDIA Quadro FX 1400, Memory size :

1G Byte. Tiled-display 를 위한 각 모니터들은 고해상도를 지원하는 와이드 모니터이고 본 연구에서는 각 모니터의 해상도를 1280×1024로 설정하였다. 그러므로 Tiled-display 는 4×6의 모니터로 구성되고 전체 해상도는 1280×1024×4×6로 설정된다. 그리고 햅틱 장비로는 Sensable 사의 phantom Omni 장비를 이용하여, 사용자가 촉감을 느낄 수 있게 구성하였다 [6].

4.2 시스템 구현 결과



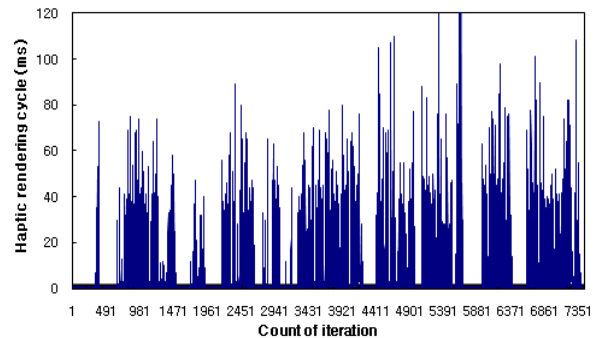
그림 4 촉감 지원 협업 시스템과 tiled-display의 연동 결과.

그림 4는 촉감 기반 협업 시스템의 가상환경을 고해상도 tiled-display 장비를 통한 디스플레이를 구현 결과의 실제 사진이다. 사진은 한 가상환경의 사용자가 햅틱 장비를 통해 다른 사용자와 함께 물체를 조작하는 모습이다. 사진에서 볼 수 있듯이 사용자는 4×6 tiled-display 장비를 통해서 기존의 모니터 한대에서 보는 것 보다 시각적으로 더 크고 효율적으로 볼 수 있고, 또한 tiled-display 장비 앞에 있는 햅틱 장비를 이용하여 촉감을 느끼면서 가상환경의 물체들을 조작하는 협업을 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 시스템을 구현함으로써 사용자에게 몰입형 미디어를 통한 협업 환경을 제공하였다.

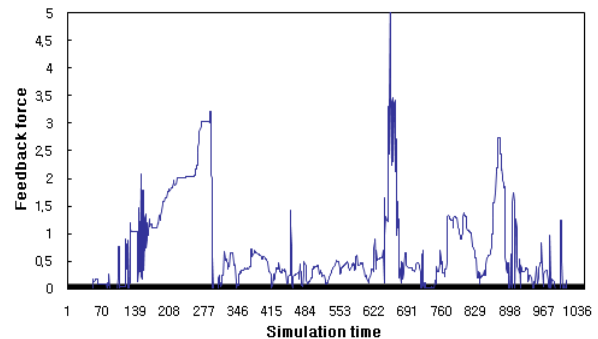
4.3 성능 평가

본 논문에서는 QoE 보장 기법의 효율성을 검증하기 위하여 햅틱 어플리케이션 디스플레이의 두 가지 요소를 QoE 성능 요소로 설정하고 실험한다. 실험에서 사용된 첫 번째 요소는 햅틱 피드백 힘의 안정성이고, 두 번째 성능 요소는 디스플레이의 프레임 재생률이다. 두 가지 요소를 측정하기 위해 햅틱 어플리케이션의 화면을 1920×1200의 해상도로 설정하고 이를 tiled-display에 전송한다. 이 때 CPU 이용률

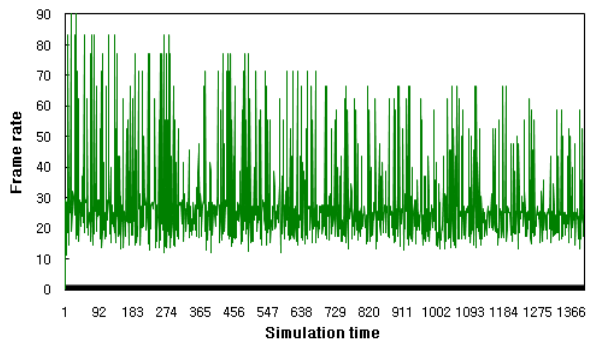
은 평균 90% 이상을 유지하므로 CPU 성능에 의하여 자원이 제한되었다.



(a)



(b)

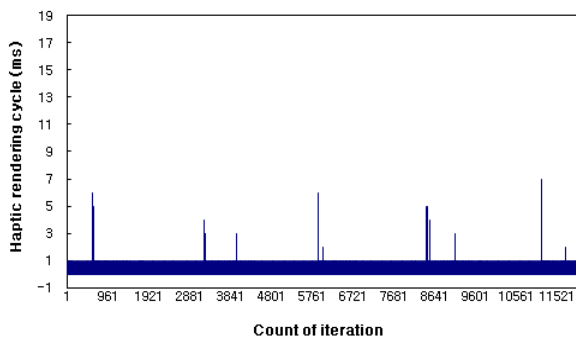


(c)

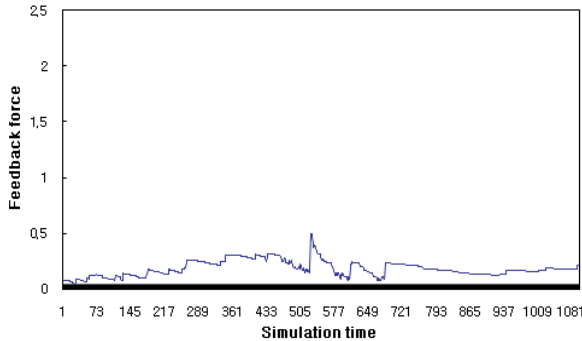
그림 5 기법 미 적용 시 성능 평가 : (a)햅틱 렌더링 반복주기, (b)햅틱 피드백 힘, 그리고 (c)프레임 재생률

그림 5에서는 제안된 QoE 향상 기법을 적용하지 않았을 때의 햅틱 렌더링 주기, 햅틱 피드백 힘, 그리고 프레임 재생률의 결과이다. 그림 5. (a)와 그림 5. (c)의 그래프는 햅틱 렌더링 주기와 디스플레이 프레임 재생률을 보여준다. 두 그래프에서 확인 할 수 있듯이 두 가지 루프가 서로 자원을 사용하기 위해서 경쟁한다. 그 결과 두 가지 루프 모두 안정적인 재생률을 생성해 내지 못한다. 또한 햅틱 렌더링의 경

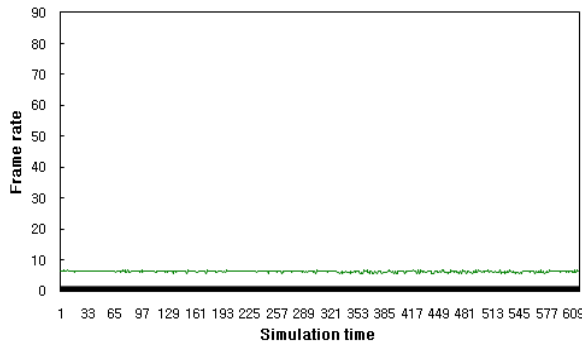
우는 1ms의 반복 주기를 만족시켜야 햅틱 장비가 안정성을 제공하지만, 그림 5. (a)의 결과에서는 햅틱 렌더링이 평균 30ms의 반복 주기 밖에 만족 시키지 못한다. 이러한 안정성의 문제를 그림 5. (b)의 그래프를 통하여 확인 할 수 있다. 그림 5. (b)는 햅틱 장비로 가상 물체를 밀고 있을 때 햅틱 피드백 힘을 나타낸 것으로, 피드백 힘이 오르락내리락 하는 모습은 사용자가 물체를 조작하는데 문제가 있었음을 나타낸다. 또한 그래프가 진동하는 이유는 햅틱 렌더링의 주기가 안정성을 제공하는 수준이 못되기 때문이다. 결론적으로 제안된 기법이 적용되지 않았을 때는 촉감과 시각 모두 안정적인 재생률을 만족시키지 못한다.



(a)



(b)



(c)

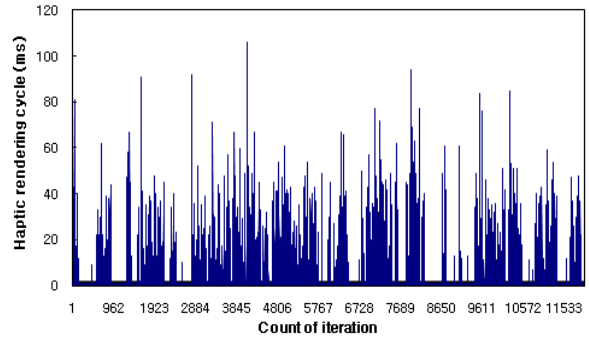
그림 6 제안된 기법 적용 시 성능 평가 (촉감을 우선 할 때) : (a)햅틱 렌더링 반복주기, (b)햅틱 피드백 힘, 그리고 (c)프레임 재생률.

본 논문에서 제안한 QoE 향상 기법은 햅틱 렌더링에서 충돌 감지가 있을 때와 없을 때에 대하여 선택적으로 자원 할당을 한다. 그림 6에서는 충돌감지가 있을 때 촉감에 대한 자원 할당의 우선순위를 높이고, 이 때 각 성능 요소를 그래프에 나타내었다. 그리고 그림 7에서는 충돌감지가 없을 때, CPU의 자원 할당의 우선순위를 시각에 두고, 이 때 각 성능 요소를 그래프에 나타내었다.

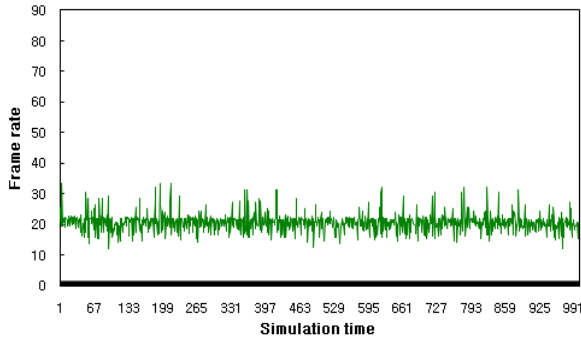
그림 6은 제안된 QoE 향상 기법이 적용되고 햅틱에서 충돌을 감지하였을 때 두 가지 성능요소를 나타낸 것이다. 햅틱에서 충돌을 감지하였을 때는, 사용자가 피드백 힘에 대한 감각을 우선시키기 때문에 제안된 기법은 그림 6. (c)에서와 같이 프레임 재생률을 떨어뜨려 CPU의 자원을 햅틱 렌더링에 더 부가한다.

그림 6. (a)에서 CPU의 자원이 햅틱 렌더링에 더 할당된 것을 볼 수 있다. 이 결과에서 햅틱 렌더링의 주기가 0과 1ms 사이에 이루어지기 때문에 햅틱의 안정성 요건인 1ms의 주기를 만족시켰다. 하지만 그래프에서와 같이 가끔 햅틱 렌더링의 주기가 상승하는 모습을 보였다. 이 문제는 다른 쓰레드의 동작에 영향을 받은 것으로 보인다. 하지만 기법이 적용되지 않은 그림 5. (a)의 햅틱 렌더링 주기가 약 40ms에서 진동하는 것을 고려해 볼 때 이 문제는 극히 작은 문제라고 볼 수 있다.

그림 6. (b)의 햅틱 피드백 힘에 대한 그래프는 그림 5. (b)의 햅틱 피드백 힘에 대한 그래프에 비하여 월등히 완만한 그래프를 보여준다. 또한 그래프의 진동도 월등히 줄어든 모습을 보여준다. 따라서 그림 6. (b)의 결과는 사용자가 물체를 조작함에 있어서 무리가 없었고, 진동에 대한 안정성도 만족됨을 보여주는 것이다. 결과적으로 그림 6의 그래프들은 QoE 향상 기법이 적용되지 않은 그림 5에 비해서 촉감에 관하여 월등한 결과를 보여준다.



(a)



(b)

그림 7 제안된 기법 적용 시 성능 평가 (시각을 우선 할 때) :
(a)햅틱 렌더링 반복주기 그리고 (b)프레임 재생률.

그림 7은 제안된 QoE 향상 기법이 적용되어 햅틱에서 충돌을 감지하지 못하였을 때, 시각에 CPU 자원의 우선순위를 준 경우이다. 이 시점에는 사용자는 햅틱 사용에 대한 피드백을 기대하지 않기 때문에 피드백 힘을 제공할 필요가 없다. 따라서 그림 7. (a)와 같이 햅틱 렌더링의 주기를 높여서 CPU의 자원을 프레임 재생률을 올리기 위해 사용한다. 그림 7 (b)에서 확인 할 수 있듯이 프레임 재생률이 초당 약 20프레임 정도 디스플레이 가능함을 볼 수 있다. 이 결과를 통하여 제안된 기법은 사용자가 시각에 민감할 때 프레임 재생률을 만족시켜서 사용자의 QoE를 올릴 수 있음을 보여주었다.

결론적으로 본 실험을 통하여 햅틱의 힘이 사용자에게 영향을 가장 크게 미칠 때(충돌감지 이후)는 햅틱 렌더링에 제한된 자원을 활용하여 피드백 힘이 안정적으로 유지가 됨을 볼 수 있고, 반면 충돌이 감지되지 않을 때는 햅틱 피드백 힘 보다 시각에 대한 QoE 우선순위가 더 높으므로 이때는 우선순위에 따라 프레임 재생률이 증가되는 효과를 실험을 통해 결과를 확인 할 수 있었다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 촉감 기반 협업 시스템의 가상환경을 고해상도 tiled-display를 통해 디스플레이를 구현함으로써 촉감을 제공할 뿐만 아니라 시각적으로도 실감적인 가상환경을 제공하였다. 또한 tiled-display 기반 촉감 협업 시스템의 성능을 올리기 위한 구조를 제안하였고, 사용자의 QoE의 측면에서 제한된 자원을 이용하여 두 시스템의 요구 조건을 동시에 만족시키기 위해 사용자의 관점에서 사용자의 행동에 따른 중요한 감각을 고찰하고 그에 따라 적절히 자원을

활용하는 기법을 제안하였다.

향후 연구로써는 더 높은 수준의 QoE를 제공하기 위하여 시스템의 각종 성능을 향상 시킬 수 있는 연구가 진행되어야 한다. 3.1 절에서 tiled-display 기반 촉각 협업 시스템은 각 장비의 특성에 의하여 여러 가지 성능문제를 가지게 된다. 이 중에서도 특히 전송 지연과 CPU 성능 한계에 의한 문제가 있다고 밝혔다.

본 논문에서는 제안된 기법을 통하여 한정된 자원으로 더 높은 수준의 QoE를 제공하고, CPU성능문제를 완화하였다. 하지만 네트워크 대역폭 등 여러 가지 제한된 자원들에 의하여 여전히 전송 지연문제가 발생하고, 햅틱은 전송 지연에 매우 민감하므로, 전송 지연문제가 해결되지 않으면 시스템이 완벽한 수준의 QoE를 제공하기 힘들다. 따라서 향후 연구로써 사용자에게 촉각, 시각적으로 더 좋은 협업 환경을 제공하기 위하여 미디어의 각종 특성을 고려한 네트워크 기법들을 이용하여 전송 지연 문제를 해결하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] R. Luc, R. Arun, S. Rajvikram, B. Jeong, K., Naveen, V., Venkatram, C. Vaidya, S. Nicholas, S. Allan, Z. Charles, G. Gideon, L. Jason, J., and Andrew, "SAGE: the scalable adaptive graphics environment," in Proc. WACE 2004, Sep. 2004.
- [2] J. Springer, C. Sladeczek, M. Scheffler, J. Hochstrate, B. Frohlich, and F. Melchior, "Survey of large high-resolution display technologies, Techniques, and Applications," in Proc. Virtual Reality Conference (VR 2006), pp. 31, 2006
- [3] C. Cruz-Neira, D. Sandin, T. DeFanti, R. Kenyon, and J. Hart, "The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment," in Proc. ACM Communications, 1992.
- [4] 이석희, Le Hai Dao, 김종원, "촉각지원 네트워크 협업 테스트베드의 구현," in Proc. HCI, pp. 244-250, 2006.
- [5] M. Minsky, M. Ouh-Young, and O. Steele, "Feeling and seeing: Issue in force display," in Proc. ACM SIGGRAPH, vol. 24-2, pp. 235-243, 1990.
- [6] S. Technologies, "PHANTOM omni haptic device," <http://www.sensable.com/haptic-phantom-omni.htm>.