
초고해상도 네트워크 디스플레이 기반 촉각형 협업 시스템의 구현

Realization of Haptic Collaboration System over Super-high-resolution Networked Tiled Display

손석호*, Seokho Son, 김종원**, JongWon Kim

광주과학기술원 정보통신공학과, 네트워크미디어 연구실

요약 본 논문에서는 가상공간 협업 환경의 현실감을 향상시키는 초고해상도 타일드 디스플레이에 기반한 촉각 협업 시스템을 다룬다. 먼저 고해상도의 화면과 촉각(힘)의 디스플레이를 조율하는 기법을 제안하고, 가시화 측면에서 제안 시스템을 모델링하여 성능 평가하는 기준을 제시한다. 그래픽으로 구성된 가상 환경이 힘에 대한 정보를 반환하기 위해서는 햅틱 렌더링을 처리해야 하고, 이 렌더링은 1kHz 이상의 속도로 반복되어야 한다. 또한 그래픽 환경의 고해상도 화면 출력을 위해서는 적정 수준의 프레임 윌을 제공하여야한다. 하지만 시스템의 하드웨어적 성능은 제한되어 있기 때문에 두 프로세스를 안정적으로 실행하기에는 한계가 있다. 따라서 초고해상도 타일드 디스플레이에 기반한 촉각 협업 시스템의 안정적인 동작을 위해서는 자원의 효율적인 사용이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 통합 시스템의 안정성 향상을 위하여, 효율적인 고해상도 디스플레이 방법을 제안함으로써 고해상도 디스플레이의 자원 요구량을 감소시킨다. 제안된 기법은 가시화 대상 화면을 가상 물체를 기준으로 분할하여 타일드 디스플레이로 전송함으로써 분할된 그래픽들을 독립된 프레임 윌로 조절할 수 있도록 한다. 각 가상 물체 별로 프레임 윌을 조절할 수 있게 하면, 움직이지 않는 물체에 대해서 업데이트를 줄여 전송되는 데이터의 중복성을 효과적으로 줄일 수 있다. 마지막으로 제안된 효율적 디스플레이 방법의 성능을 평가하기 위하여 일반적인 가시화 시스템의 모델링을 제시하고, 제안된 기법과 기존의 다른 가시화 시스템들의 성능을 비교한다.

Abstract This paper introduce a structure of haptic collaboration system over high resolution tiled-display, and proposes a object based efficient display method for high resolution display in integrated system. in addition, a modeling of visualization system is defined to evaluate performance of the proposed method. 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 systeme is frame rate of display. It requires update of 30 frame fer 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. In this paper, therefore, we propose a segmentation-based display method for ultra high resolution display in integrated system. The proposed method reduces redundancy of display data by reducing a display rate of static objects. Finally, a modeling of visualization system is defined to evaluate performance of the proposed method.

핵심어: *haptic display, virtual environment, visualization system, tiled-display, QoE*

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음."
(IITA-2008-C1090-0801-0017)

*주저자 : 광주과학기술원 정보통신공학과; e-mail: shson@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. 본 논문에서는 몰입감 있는 가상환경을 제공하기 위한 시각, 청각, 촉각 등을 지원하는 다양한 감각들을 지원하는 시스템을 구축하는 연구를 진행한다.

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 모아서 하나의 디스플레이 장비처럼 보이게 하는 Tiled-display 시스템을 구축하는데 주안점을 두었고, 이를 통해 사용자에게 저비용으로 더 큰 화면을 즐길 수 있는 시스템을 제공하였다. 그리고 촉각에 대한 몰입감을 높이기 위한 연구로는 촉각 지원 협업 시스템이 있다 [3]. 이 시스템은 CVE (collaborative virtual environment)의 일종이다. CVEs는 공유된 가상환경을 지리적으로 떨어진 사용자들이 협업을 통해 조작하는 종류의 환경을 말한다 [5]. 특히 촉각 지원 협업 시스템에서는 사용자가 햅틱 장비를 통해 가상환경의 공유된 가상물체를 조작하고 그 조작에 대한 힘을 사용자가 피드백 받을 수 있게 지원한다. 논문에서는 가상 환경 사용자가 촉각뿐만 아니라 시각적으로 높은 몰입감을 가질 수 있도록 고해상도 Tiled-display에 기반을 둔 촉각 협업 시스템을 구축하고 시스템에 필요한 기법들을 제안한다.

고해상도 Tiled-display에 기반을 둔 촉각 협업 시스템을 구현 하기 위해서는 각 시스템들의 성능 요구 조건을 고려하여야 한다. 촉각 시스템의 경우, 햅틱 렌더링은 1kHz의 높은 수행 빈도를 필요로 한다 [4]. 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 프로세싱 자원들이 소비된다. 이처럼 자원 요구 조건이 매우 높은 햅틱 협업 시스템과 고해상도 Tiled-display 시스템을 통합하면 시스템 자원의 부족으로 인하여 사용자의 QoE (quality of experience) [6]가 크게 감소된다. 기존 연구에서는 QoE 지원 Tiled-display 기반 촉각 협업 시스템이 제안되었다 [7]. 이 연구에서는 촉각 협업 시스템과 고해상도 Tiled-display 시스템의 통합을 수행하였다. 하지만 자원이 제한적이기 때문에 자원 할당만으로는 QoE를 만족시키기에 한계가 있다. 본 논문에서는 현

실적으로 사용가능한 초고해상도 지원 촉각 협업 시스템을 구축하기 위한 연구를 진행한다. 햅틱 협업을 위한 네트워크 자체에 관련된 지연, 로스, 지터 등 다양한 문제가 있을 수 있다. 하지만 시스템 자원 부족에 의해서 시스템의 안정성이 보장되지 않으면 사용자의 QoE를 심각하게 저하시킨다. 따라서 본 논문에서는 햅틱과 Tiled-display 인터페이스를 함께 가지는 하나의 공간에서 시스템 자원 문제를 우선적으로 고려한다. 본 논문에서는 통합된 시스템의 성능 향상을 위하여, 효율적인 디스플레이 방법을 제안함으로써 디스플레이에서의 자원 요구량을 줄인다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 Tiled-display 기반 촉각 협업 시스템의 구조와 시스템의 성능 문제를 설명한다. 3절에서는 시스템 성능을 높이기 위해, 객체 단위 분할 디스플레이 기법을 제안한다. 4절에서는 시스템의 구현 결과를 실제 사진을 통하여 보인다. 그리고 5절에서는 가상화 시스템을 모델링하고 제안된 시스템의 성능은 평가하기 위하여 가상화 시스템 모델링을 기반으로 하여 다른 가상화 시스템들과 비교한다. 마지막으로 6절에서는 논문을 결론짓고 향후 연구에 대하여 언급한다.

2. Tiled-display 기반 촉각 협업 시스템

2.1 Tiled-display 기반 촉각 협업 시스템 구조

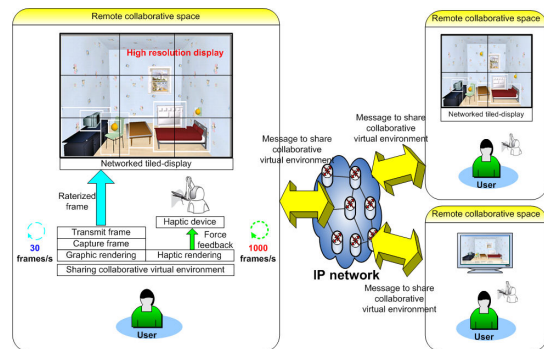


그림 1 Tiled-display 기반 촉각 협업 시스템 구조.

그림 1은 사용자가 Tiled-display를 통해 고해상도 화면을 볼 수 있는 햅틱 협업 시스템의 가상 환경 구조를 보여준다. 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 그래픽 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 픽셀 형식으로 각 디스플레이 클러스터로 전송하고, 동시에 디스플레이 클러스터를 제어하는 컨트롤러에게 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. 이 시스템은 기본적으로 햅틱 렌더링을 1ms의 주기로 실행하여야하고 Tiled-display에 데이터를 전송하기 위한 그래픽 및 디스플레이 렌더링 과정을 필요로 한다. 두 인터페이스 모두 높은 자원 요구치를 가진다.

2.2 시스템 제약 및 성능 문제

축각과 고해상도 디스플레이를 제공하는 시스템은 고해상도 디스플레이와 햅틱 렌더링을 함께 수행시킬 때 자원 부족을 겪는다. Tiled-display에 고해상도 출력물을 제공하기 위해서는 그래픽 렌더링 된 가상환경을 30Hz로 캡처하는 것과 캡처된 고용량의 픽셀을 전송하기 때문에 많은 CPU 자원을 소비한다. 또한 햅틱 시스템은 피드백 힘의 안정성을 제공하기 위하여, 햅틱 렌더링에서 많은 CPU의 자원을 소비한다. CPU는 두 쓰레드를 실행시키기 위해서 CPU time을 사용하는데 이때, 쓰레드에 할당될 수 있는 CPU time이 제한되기 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 동영상이 끊기는 느낌을 준다. 그러므로 축각과 고해상도의 실감적인 디스플레이 두 가지 시스템의 QoE 요구 사항을 만족시킬 필요가 있다. 본 논문에서는 안정적인 시스템을 구성하기 위해서 디스플레이 부분의 자원요구 정도를 줄이는 객체 단위 분할 디스플레이 기법을 제안한다.

3. 객체 단위 분할 디스플레이 기법

레스터화된 프레임을 픽셀 형태로 Tiled-display에서 출력할 경우, 가장 큰 단점은 많은 양의 픽셀을 처리해야하는 것이다. 픽셀로 구성된 프레임을 Tiled-display에서 출력하기 위해서는 그래픽카드의 프레임버퍼에 렌더링된 프레임을

메모리로 복사하고, 복사된 프레임을 다시 네트워크 인터페이스 카드를 이용하여 전송하여야 한다. 이 과정에서 전송 부하에 따른 자원 부족이 나타날 수 있고, Tiled-display와 햅틱 협업 어플리케이션 사이의 네트워크 대역폭에 따라 출력할 수 있는 해상도 또한 제한된다. 따라서 더 높은 해상도로 Tiled-display에 3D 환경을 출력하기 위해서 전송 부하를 줄일 수 있는 기법이 요구된다. 본 논문에서는 고해상도로 햅틱 협업 공간을 가시화하기 위해서, 객체 단위 분할 디스플레이 기법을 제안한다.

객체 단위 분할 디스플레이 기법은 Tiled-display의 영상을 만들어내는 소스 노드에서 사용되는 기법으로써, 소스 노드에서 디스플레이 클러스터로 영상을 전송하기 전에 객체 단위로 화면을 분할하여 데이터양을 줄이는 기법이다. 햅틱 어플리케이션들은 일반적으로 햅틱을 통해 만져지는 가상 물체를 가지고 있다. 이 가상 물체들은 움직이기도 하고, 자신의 모양 자체를 바꿀 수도 있다. 일반적으로 햅틱 기반 협업은 그림 1와 같이 동적 물체가 중요하게 여겨지기 때문에 배경은 움직이지 않는 경우가 많다. 배경이 되지 않은 부분을 항상 업데이트 하는 것은 전송에 필요한 자원만 낭비시킨다. 따라서 제안된 기법에서는 관심 3D 물체의 가시영역을 분할하여 별도의 스트림으로써 전송한다. 별도의 스트림이 된 모든 물체는 화면에 출력되는 프레임 재생률을 지정 받는다. 예를 들어 그림 1에서 가상 환경의 배경은 한번만 업데이트되면 이후에 업데이트하지 않는다. 따라서 움직이는 물체들을 제외한 부분을 전송하기 위한 전송 부하를 획기적으로 줄일 수 있다. 또한 그래픽 환경은 많은 정보들이 내재되어 있기 때문에 움직임 추정과 같은 별도의 기법을 적용하지 않아도 물체들의 움직임을 쉽게 판단할 수 있다.

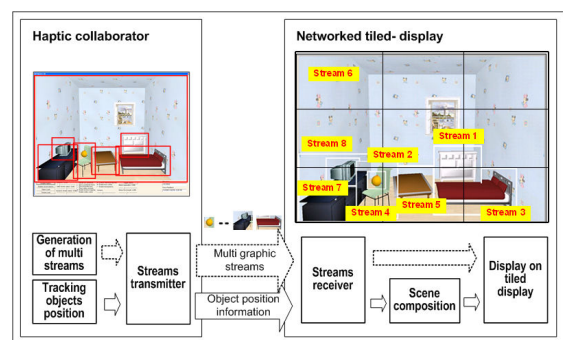


그림 2 제안된 객체 단위 분할 디스플레이 기법.

그림 2는 객체 단위 분할 디스플레이 기법을 보인다. 햅틱 협업 어플리케이션에서 Tiled-display에 출력될 스트림을 전송하고, Tiled-display는 스트림을 받아 디스플레이 클러스터에 출력한다. 제안된 기법의 크게 두 가지 과정으로 나뉜다.

첫 번째는 스트림의 세그먼테이션이다. 이 과정은 소스를 제공하는 협업 클라이언트에서 진행된다. Tiled-display에 전송하기 전에 그래픽의 좌표계에 저장되어 있는 움직이는 물체들의 좌표를 추적하며 데이터베이스에 저장하고, 움직이는 물체들의 각 크기만큼 프레임 버퍼에서 캡처하여 하나의 화면을 분할한다. 그리고 데이터베이스에 저장된 물체들의 위치를 Tiled-display의 좌표계와 동일하게 맞추기 위해서 그림 3과 같이 3D 좌표계에서 2D 좌표계로 프로젝션 시키고, Tiled-display에 출력될 화면의 크기에 따라 스케일링시킨다. 이 후 모든 물체들의 별도 스트림들과 각 물체들의 프로젝션된 위치를 Tiled-display에 전송하면 소스 노드의 과정이 종료된다.

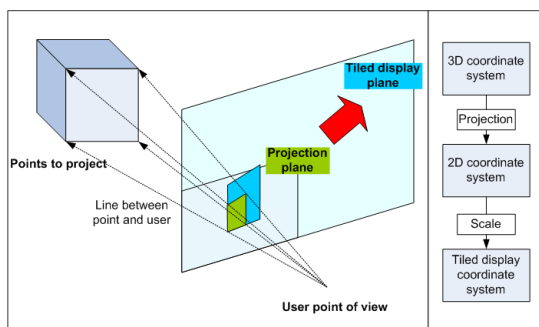


그림 3 물체 스트림의 좌표계 변환.

두 번째로 Tiled-display에서 화면 구성 및 디스플레이 과정이 진행된다. 이 과정에서는 Tiled-display의 컨트롤러가 전송 받은 개별 스트림들을 하나의 화면처럼 재구성한다. 분할된 그래픽들의 화면 구성을 Tiled-display의 화면 구성 능력을 이용하여 기존의 그래픽 화면 구성과 동일한 화면을 재생성할 수 있다. 화면의 재구성을 위해서 컨트롤러는 각 스트림들을 Tiled-display의 좌표계로 변환된 물체의 위치에 따라 디스플레이 한다. 따라서 제안된 객체 단위 분할 디스플레이에서는 세그먼테이션과 화면 재구성 단계를 통하여 중복 영상이 줄어든 그래픽 화면을 Tiled-display의 좌표계에 맞게 출력한다. 제안된 기법은 별도의 영상 압축 기법을 이용 않고 중복 정보를 제거할 수 있기 때문에 압축 기법을 이용하여 전송하는 경우 보다 빨리 디스플레이 할 수 있으며, 고해상도 디스플레이를 햅틱 렌더링과 같이 자원을 많이 소비하는 인터페이스와 함께 동작할 수 있게 한다.

4. 시스템 구현 결과

제안된 시스템은 햅틱 협업 클라이언트 머신, Tiled-display, 그리고 햅틱 장비로 구성된다. 디스플레이는

두 가지 종류의 Tiled-display에서 각각 구현되었다 (10240 × 3200 픽셀의 2×4 Tiled-display, 9600 × 4800 픽셀의 4×6 Tiled-display). 그리고 햅틱 장비로는 Sensable 사의 phantom Omni 장비를 이용한다.



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 보고, 또한 Tiled-display 장비 앞에 있는 햅틱 장비를 이용하여 촉감도 함께 느낄 수 있다.



그림 5 객체 단위 분할 디스플레이 기법을 통한 화면 재구성.

그림 5는 객체 단위 분할 디스플레이 기법을 통해서 2×4 Tiled-display 위에서 재구성된 화면을 보여준다. 그림에서의 결과와 같이 Tiled-display가 객체 단위로 분할된 가상 물체의 가시영역을 적절한 위치에 다시 출력함으로써 초고해상도 그래픽 화면을 안정적으로 출력할 수 있도록 구현되었다. 본 논문에서는 제안된 시스템 및 안정성을 제공하는 디스플레이 기법을 구현함으로써 사용자에게 몰입형 미디어를 통한 협업 환경을 제공하였다.

5. 가시화 시스템의 모델링을 통한 성능 분석

5.1 Network tiled-display를 사용하는 가시화 시스템의 분류

본 논문에서는 제안된 Tiled-display 기반 헵틱 협업 환경의 성능을 평가하기 위해서, 일반적인 가시화 시스템들을 이용하여 그래픽 환경을 출력하는 경우를 비교한다. 우선 소스 노드가 네트워크 Tiled-display의 디스플레이 클러스터에 데이터를 전송할 때 데이터 자료형에 따라 기존의 가시화 시스템들을 분류하고, 특징적인 가시화 시스템들과 제안된 헵틱 협업 환경을 비교한다.

네트워크 Tiled-display의 기능을 제공하기 위해서 SAGE (scalable and adaptive graphics environment) [1]와 CGLX (cross-platform cluster graphic library) [8] 등의 미들웨어들이 많이 이용되어 왔다. SAGE는 기본적인 Tiled-display 기능 및 원격 디스플레이, GUI 등 다양한 기능을 가지고 있다. 이 밖에도 SAGE와 관련하여 JuxtaView, Vol-a-Tile, Raintable 등의 시스템들도 만들어진 바 있다. JuxtaView [9]는 분산 메모리를 이용하여 초고해상도의 이미지를 Tiled-display에 출력하기 위한 툴이다. Vol-a-Tile [10]은 OpenGL 기반 그래픽 환경을 병렬 렌더링하여 가시화하기 위한 툴이다. 그리고 Raintable [11]은 어플리케이션 자체가 Tiled-display에서 실행되도록 구성하여서 고속 디스플레이 및 고속 인터랙션이 가능한 특정 어플리케이션이다. 마지막으로, CGLX는 OpenGL 어플리케이션을 Tiled-display에 출력하기 위한 미들웨어로서, OpenGL 스트림을 각 디스플레이 클러스터에 전송하여 그들이 모두 그래픽을 다시 렌더링 하도록 한다. CGLX는 이러한 방법을 이용하여 고해상도 OpenGL 어플리케이션을 고속으로 가시화 하였다.

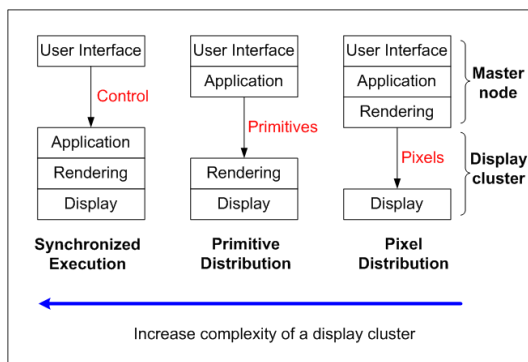


그림 6 전송 데이터 종류에 따른 Networked tiled-display의 그래픽 출력 방식.

그림 6은 네트워크 Tiled-display에 데이터 전송하는 방

법에 따라 분류된 그래픽 가시화 방법들을 구조화한 그림이다 [12]. 가시화 시스템은 크게 동기화된 실행, 그래픽 요소 분배, 그리고 픽셀 분배로 나뉜다. 픽셀 분배는 소스를 생성하는 마스터 노드에서 픽셀을 만드는 작업까지 진행한 후 Tiled-display에 픽셀을 전송한다. 그래픽 요소 분배는 마스터 노드가 그래픽 요소를 전송하고, Tiled-display는 전송받은 그래픽 요소를 직접 렌더링 후 출력한다. 마지막으로 동기화된 실행은 실제 어플리케이션이 디스플레이 클러스터에서 실행되고, 마스터 노드는 단순히 제어와 사용자 입력만 제공한다.

네트워크 Tiled-display를 이용하여 가시화하는 시스템들은 모두 데이터 전송 방법에 따라 분류가 가능하다. SAGE, JuxtaView, 그리고 제안된 기법은 픽셀 분배 방식으로 분류되고 Vol-a-Tile과 CGLX는 그래픽 요소 분배 방식으로 분류될 수 있다. 그리고 어플리케이션 자체가 디스플레이 클러스터에서 실행되는 Raintable은 동기화된 실행으로 분류된다. 그림 6에서 왼쪽 모델로 갈수록 디스플레이 클러스터의 높은 성능을 요구한다. 따라서 디스플레이 클러스터를 저렴하게 구성하기 위해서는 SAGE나 제안된 시스템과 같은 픽셀 분배 방법이 선호된다.

5.2 Networked tiled display를 사용하는 가시화 시스템의 모델링

본 논문에서는 제안된 Tiled display 기반 헵틱 협업 환경의 성능을 명확하게 평가하기 위해서, 가시화 시스템 모델링에 기반을 두어 제안된 기법과 Tiled-display를 사용하는 다른 가시화 시스템들과 비교한다.

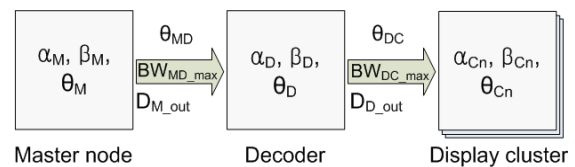


그림 7 가시화 시스템의 모델링.

그림 7은 가시화 시스템 모델의 구조를 보여준다. 이 모델링에서는 머신의 역할에 따라 가시화 시스템의 구조가 마스터 노드, 디코딩 노드, 디스플레이 클러스터로 나뉜다. 마스터 노드는 Tiled-display에 출력될 이미지를 만들어내는 소스를 제공한다. 디코딩 노드는 압축된 영상을 받을 경우 디코딩해주는 역할을 한다. 그리고 디스플레이 클러스터는 Tiled-display의 각 모니터에 연결된 머신으로, 출력될 화면을 분산해서 디스플레이하는 역할을 가진다. 가시화 시스템 모델링에서의 모듈들은 자신을 정의하는 자원요소와 성능요

소를 가진다. 가상화 시스템의 모델링에서 고려되는 자원요소와 성능요소는 표 1에 정의한다. 각 모듈의 자원은 CPU 연산 처리율, 그래픽 처리율, 그리고 네트워크 대역폭 등으로 정리된다. 시스템의 성능요소는 마스터 노드에서 전송해야 하는 출력 데이터의 양, 영상 프레임 재생률, 햅틱 프레임 재생률, 그리고 최대 지원 해상도로 정의된다. 최대 지원 해상도는 30 frames/sec를 만족하는 경우의 해상도를 말하며, 성능을 분석할 때 출력 데이터양과 동일한 의미를 지닌다.

표 1. 가상화 시스템 모델의 자원요소 정리표

Expression	Meaning
	CPU를 이용한 데이터 처리율
	Rendering 처리율
	지연 시간
BW_max	최대 지원 대역폭
D_out	출력 데이터양
F _D	영상 프레임 재생률
F _H	햅틱 프레임 재생률
R_max	최대 지원 해상도 (30frames/sec 만족시)

5.3 성능 평가

제안된 기법은 가상화 시스템 모델을 기준으로 평가된다. 이 때 가상화 시스템 모델에 적용되는 시스템은 햅틱 협업 환경이다. 이 환경은 기본적으로 햅틱 인터페이스를 지원하고, OpenGL 기반의 그래픽환경으로 구성되어 있으며 Tiled-display에 고해상도로 화면이 출력되는 것을 요구한다. 제안된 시스템의 성능을 비교하기 위해서 3가지 특징적인 가상화 시스템을 선정하였다. 디스플레이를 위해서 픽셀 스트림을 보내는 SAGE, 픽셀 스트림을 압축해서 전송하는 경우, 그리고 그래픽 요소들을 전송하고 디스플레이 클러스터가 다시 렌더링 하는 CGLX에 대한 비교가 진행된다.

표 2. SAGE와 성능 비교

Factor	Proposed method (A) with SAGE (B)
출력 데이터양	검검검 << 검검검
영상 출력 지연 시간	검검검 \cong 검검검
햅틱 프레임 재생률	>=
영상 프레임 재생률	\cong

표 2는 제안된 기법과 SAGE와 성능을 비교한 표이다. 제안된 기법과 SAGE는 모두 픽셀 전송을 기반으로 하고 있기 때문에 영상 출력 지연 시간에 대한 장점을 지닌다. 하지만 제안된 기법은 중복된 데이터를 줄였기 때문에 모든 데이터

를 다시 보내는 SAGE에 비해서 네트워크 대역폭을 적게 사용한다. 다시 말하면 제안된 기법은 제한된 네트워크 대역폭에서 SAGE에 비해 더 높은 해상도를 지원한다. 가상환경의 가상 해상도를 1920×1080픽셀로 지정하고, 가상환경이 100×100픽셀의 크기를 가지는 동적인 가상 물체가 6개로 구성되어있을 경우, SAGE로 출력될 때는 약 1.5 Gbit/sec의 대역폭 및 프로세싱 파워를 요구한다. 하지만 제안된 기법을 이용하면 동적인 물체만 실제로 전송하기 때문에 43 Mbit/sec의 대역폭으로 줄일 수 있고, 동시에 프로세싱 자원을 조금 소모하기 때문에 햅틱이 더 안정적으로 동작된다.

표 3. 압축 기법과 성능 비교

Factor	Proposed method (A) with Compression (B)
출력 데이터양	검검검 >> 검검검
영상 출력 지연 시간	검검검 \cong 검검검
햅틱 프레임 재생률	>=
영상 프레임 재생률	>=

표 3은 제안된 기법과 압축 기법을 비교한 표이다. 압축을 하면 인코딩과 디코딩 시간이 해상도가 클수록 증가한다. 일반적으로 MPEG2로 압축된 HD급 동영상은 압축과정에 의해서 1000ms에서 2000ms의 지연을 가진다. 비압축 형태의 HD급 동영상을 출력하기 위해서는 100ms의 지연이 발생한다 [13]. 제안된 기법은 압축 기법을 이용하지 않고 비압축 형태로 중복영상을 제거한다. 따라서 제안된 기법은 압축 기법에 비해서 영상 출력 지연 시간이 짧다. 이 성능 요소는 압축 기법이 햅틱 협업 시스템의 가상화에 사용되기 힘든 가장 큰 이유 중에 하나이다. 햅틱 협업은 인터랙션이 중요한 어플리케이션이기 때문에 영상 출력 지연에 큰 영향을 받는다. 그리고 압축 기법은 인코딩을 하기 위해서 CPU 자원을 사용해야하는데 햅틱과 같은 높은 자원을 소비하는 인터페이스가 있을 때는 자원 부족에 의해서 햅틱 프레임 재생률이 떨어질 수 있다. 따라서 제안된 기법은 압축 기법에 비해 햅틱 협업 공간의 가상화에 훨씬 더 효율적임을 알 수 있다.

표 4. CGLX와 성능 비교

Factor	Proposed method (A) with CGLX (B)
출력 데이터양	검검검 >> 검검검
영상 출력 지연 시간	검검검 \cong 검검검
햅틱 프레임 재생률	\cong
영상 프레임 재생률	>>

마지막으로 표 4에서는 CGLX와의 성능을 비교하였다. CGLX는 출력 데이터양에 있어서는 제안된 기법보다 월등히 좋은 모습을 보인다. CGLX는 픽셀을 보내지 않고 그래픽 요소들만 전송하고 그래픽 요소들은 디스플레이 클러스터에서 픽셀 데이터로 다시 처리되기 때문이다. 하지만 CGLX를 이용하기 위해서는 디스플레이 클러스터 전체에 고성능 렌더링 장비가 필요하다. 만약 그런 장비가 만족되지 않으면, CGLX의 디스플레이 클러스터는 렌더링을 정상적인 속도로 수행하지 못하기 때문에 영상의 프레임 재생률을 만족시키지 못한다. 반면, 제안된 기법은 디스플레이 클러스터의 렌더링 능력을 요구하지 않기 때문에 비교적 저렴한 구성으로 햅틱 협업 환경을 고해상도로 가시화 할 수 있는 장점이 있다.

이 장에서는 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해서 제안된 기법을 대표적인 가시화 시스템인 SAGE, CGLX, 그리고 픽셀을 압축해서 디스플레이하는 기법과 비교하였다. 제안된 기법은 햅틱 협업 시스템을 가시화할 때 있어서 고해상도 지원, 짧은 영상 출력 지연 시간, 안정적인 햅틱 프레임 재생률, 그리고 안정적인 영상 프레임 재생률에 대해서 다른 시스템들보다 더 높은 성능을 보여주었다.

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 협업 가상 환경이 보다 더 높은 현실감을 제공하도록 초고해상도 Tiled-display 에 기반을 둔 촉각 협업 시스템의 구성을 소개하고, 이 시스템이 초고해상도 화면 디스플레이와 햅틱의 디스플레이를 현실적으로 수행할 수 있도록 객체 단위 분할 디스플레이 기법을 제안하였다. 또한 가시화 시스템 측면에서 시스템을 모델링하여 제안된 기법의 성능을 평가할 수 있는 기준을 제시하였다. 제시된 가시화 시스템 모델링을 통하여 기존의 다른 시스템들과 제안된 기법을 비교하여 제안된 기법이 햅틱 및 초고해상도 디스플레이 인터페이스를 함께 제공하는 형태의 시스템들에서 기존의 다른 가시화 시스템이 단순히 연결된 경우에 비해 더 좋은 성능 및 특성을 가짐을 검증하였다.

향후 연구로서는 제안된 기법의 유용성을 더 명확히 검증하기 위하여 다른 가시화 시스템들의 실제 성능을 제안된 시스템에 적용시켜 알아보는 것을 고려중이다. 또한 분할된 스트림들의 개별적인 프레임율을 적용하여 더 효율적인 시스템을 구성에 대한 연구가 진행될 예정이다.

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] 이석희, Le Hai Dao, 김종원, "촉각지원 네트워크 협업 테스트베드의 구현," in Proc. HCI, pp. 244-250, 2006.
- [4] 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.
- [5] A. Boukerche, S. Shirmohammadi, and A. Hossain, "A Prediction Algorithm for Haptic Collaboration", in Proc. HAVE 2005 - IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and their Applications, Oct. 2005.
- [6] Alben and L., "Defining the criteria for effective interaction design: Quality of experience", Interactions 1996, pp. 11-15, 1996.
- [7] 손석호, 이석희, 김종원, "QoE 지원 Tiled-display 기반 촉각 협업 시스템," in Proc. HCI, 2008.
- [8] CGLX Project: <http://vis.ucsd.edu/~cglx/>.
- [9] N. K. Krishnaprasad et. al., "JuxtaView - a tool for interactive visualization of large imagery on scalable tiled displays," in Proc. IEEE Cluster 2004, San Diego, Sep. 2004.
- [10] N. Schwarz et. al., "Vol-a-Tile - a tool for interactive exploration of large volumetric data on scalable tiled displays," in Proc. IEEE Visualization 2004, Austin, Oct. 2004.
- [11] Rain Table: <http://www.evl.uic.edu/cavern/mc/rain-table/>.
- [12] H. Chen et. al., "Data distribution strategies for high-resolution displays", Computers & Graphics, vol. 25, issue 5, pp. 811-818, Oct. 2001.
- [13] J. Lee and K. Chon, "Compressed high definition television (HDTV) over IPv6", in Proc. International Symposium on Applications and the Internet Workshops 2006 (SAINT Workshops 2006), pp. 23-27, Jan. 2006.