
혼합형 협업을 지원하는 타일드 디스플레이 프레임워크 기술 개발

김민영* · 조용주**

Development of a Tiled Display Framework for Supporting Mixed-Focus Collaboration

Minyoung Kim* · Yongjoo Cho**

본 연구는 2010년도 상명대학교 교내 연구비 지원으로 수행되었음.

요 약

기존 타일드 디스플레이 시스템들이 주로 사람들이 함께 모여 작업하는 공용 작업 모델을 지원한 것과 다르게 본 연구에서는 대형 타일드 디스플레이 시스템에서 혼합형 협업 응용프로그램의 개발을 쉽게 도와주는 ICE 디스플레이 프레임워크 기술을 개발하였다. 혼합형 협업이란 다중 사용자들의 공동 작업과 개인 작업이 동시에 자연스럽게 전환 가능한 협력 모델이다. 본 프레임워크를 사용하면 공동작업 뿐만 아니라 다른 사용자들을 방해하지 않는 개인 작업을 위한 콘텐츠를 제공할 수 있는 프로그램의 개발이 가능하다. 본 논문에서는 ICE 디스플레이 프레임워크를 기존의 연구와 비교하고, 세부 구현 내용을 설명한다. 그리고 이를 적용시켜 개발한 응용 프로그램을 소개하고 프레임워크의 성능을 평가 및 분석한 결과를 보여준다.

ABSTRACT

Most tiled display systems supported a public workspace model where multiple users share the contents and work together on a large public screen. In this research, we developed ICE Display Framework, designed for supporting easy construction of tiled display applications allowing mixed-focus collaboration. Mixed-focus collaboration is a model that allows a number of users to work together as a group or individually on the large workspace. ICE Framework allows users to add personal contents on the tiled display without interrupting other users as well as to put shared works. In this paper, we compare ICE framework with previous research and explain the detail implementation. Then, we introduce the applications built with this framework and discuss the evaluation and analysis of the performance of the new framework.

키워드

타일드 디스플레이 프레임워크, 혼합형 협업, 과학적 가시화, 3차원 컴퓨터 그래픽스

Key word

Tiled Display Framework, Mixed-Focus Collaboration, Scientific Visualization, 3D Computer Graphics

* 상명대학교 대학원 컴퓨터학과
** 상명대학교 디지털미디어학부 (교신저자, ycho@smu.ac.kr)

접수일자 : 2010. 10. 08
심사완료일자 : 2010. 11. 05

I. 서 론

최근 대형 디스플레이나 여러 개의 디스플레이를 묶어서 하나의 화면으로 만든 타일드 디스플레이들이 일반인을 대상으로 광고나 일방적 정보 전달을 위해 많이 활용되고 있다. 그런데 기존의 대형 디스플레이 및 타일드 디스플레이 연구들은 주로 대형 화면에 정보, 동영상, 이미지 등을 제공하여 여러 사람들이 함께 보면서 공유할 수 있도록 개발하였다. 따라서 사용자의 입력에 따른 상호작용을 지원하는 것보다는 고화질의 영상을 효과적으로 보여주는 분산 그래픽스 렌더링의 실현에 대부분이 중점을 두었다[1-4]. 그 밖에 SAGE[5]나 iTILE[6]같은 일부 시스템들은 프로그램 위치를 변경하거나 크기를 조작할 수 있는 등의 간단한 상호작용을 지원하였다. 하지만 더욱 발전하고 있는 디스플레이 기술로 인하여 앞으로 타일드 디스플레이 형태의 환경이 보다 보편화된다면, 현재의 일방적 출력 또는 단일 사용자 입력을 기반으로 한 간단한 수준의 상호작용 지원에서 벗어나 대형 고화질 화면에서의 공동 작업뿐만 아니라 일부 공간을 개인적1인 작업 공간으로 사용할 수 있는 상호작용을 지원할 필요가 있다. 이렇게 다수의 사용자들의 공동 작업과 개인적인 작업 간에 자연스러운 전환이 가능한 협력 방식을 일컬어 CSCW (Computer Supported Collaborative Work) 연구 분야에서는 혼합형 협업 (Mixed-focus Collaboration)[7]이라 부른다. 혼합형 협업을 지원하는 타일드 디스플레이는 확장이 용이하고 다중 사용자에게 개인 작업을 독립적으로 지원할 수 있으며 고품질의 대용량 정보를 효과적으로 표현할 수 있어야 한다.

그림 1은 본 연구에서 제안하는 다중 사용자의 혼합형 협업을 지원하기 위한 타일드 디스플레이 시스템의 활용에 대한 개념도를 보여준다. 기존의 타일드 디스플레이 연구에서는 그림 1(a)와 (b)과 같이 사용자가 전체 화면을 대용량 정보의 가시화 등의 목적으로 혼자 또는 여러 협력자들이 함께 작업하는 공용 작업공간으로 사용하였다. 그림 1(c)에서 보이는 혼합형 협력 작업 공간 모델은 대형 스크린을 다중 사용자들의 공용 작업 공간으로 사용함과 동시에 다른 사람들을 방해하지 않고 일부 영역을 개인 작업 공간으로 활용할 수 있는 모델이다.

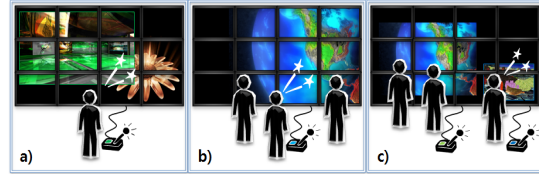


그림 1. 타일드 디스플레이 활용 모델
Fig. 1 Tiled Display Usage Model

본 연구에서는 타일드 디스플레이에서 이처럼 개인 작업과 그룹의 공동 작업 간에 자연스러운 전환이 가능한 3차원 그래픽 응용프로그램의 개발을 지원하기 위하여 ICE 디스플레이 (Interactive, Collaborative, and Extensible Display) 프레임워크를 개발하였다. 이 프레임워크는 분산 컴퓨팅 시스템에서 타일드 디스플레이의 개수나 크기, 다양한 해상도, 사용자 수와 그들의 동시적인 인터랙션을 고려하여 확장 가능하도록 구현되었다. 특히 여기서는 공동 작업 중에 필요시 개인적으로 원하는 콘텐츠를 선택하여 개별 조작하는 것이 가능하다. 그리고 공용 및 개인 작업을 위한 상호작용은 키보드나 마우스 외에 위젯이나 스마트폰 같은 휴대 장치를 이용해서도 가능하며, 또한 컴퓨터나 디스플레이의 개수가 늘어나더라도 프로그램의 수정 없이 사용할 수 있도록 확장성을 염두에 두고 구현하였다.

II. 기존 프레임워크 연구

타일드 디스플레이 시스템을 지원하기 위한 다수의 프레임워크들이 존재한다. 이것들은 대부분 타일드 디스플레이에서의 병렬 렌더링을 통한 고해상도 가시화를 주목적으로 개발되었다. WireGL[1]과 Chromium [2]은 OpenGL 그래픽 라이브러리의 명령어들을 한 개 이상의 서버에서 가로채서 병렬 렌더링 한 후에 그 결과 이미지를 다시 디스플레이의 개수에 맞게 나누어서 재생하는 프레임워크이다. Equalizer[3]도 비슷하게 병렬 렌더링을 목적으로 개발된 프레임워크로 클러스터 컴퓨터를 이용한 병렬 렌더링 기법들을 활용할 수 있으며 기존의 그래픽 사용자 인터페이스 라이브러리들을 쉽게 불러올 수 있도록 개발되었다.

Garuda[4]는 Open Scene Graph (OSG) 3차원 그래픽 라이브러리[8] 기반의 응용프로그램들을 소스 코드의 수정 없이 타일드 디스플레이에서 수행할 목적으로 개발되었다. iTILE[6]은 타일드 디스플레이에서 다수의 OSG 프로그램을 실행시키고 상호작용할 수 있도록 지원한다. iTILE 응용프로그램들은 모든 클러스터 컴퓨터의 렌더링 노드에서 실행되며 모바일 장치로 원하는 응용프로그램을 선택하여 상호작용할 수 있다. SAGE[5]는 타일드 디스플레이 시스템에서 이미지 스트리밍을 통해 렌더링하는 프레임워크이다. SAGE는 특정 컴퓨터의 화면이나 또는 다른 컴퓨터에서 렌더링된 이미지를 스트리밍으로 보여주는 것이 특징이다. 그리고 다중 사용자의 인터랙션을 지원하기 위해 개발한 입력 관리 모듈을 지원한다.

Chromium과 SAGE는 타일드 디스플레이에 나타날 이미지를 다른 서버에서 만들어내고, 결과 이미지만을 잘라서 보여주기 때문에 시스템의 확장이 용이하지만, 결과적으로 더 높은 해상도의 이미지를 만들어내는 작업을 하기 위해서는 고성능 컴퓨터들과 높은 대역폭을 가진 네트워크를 요구한다. 반면, Garuda나 iTILE는 각각의 노드가 전체 화면의 일부를 나누어서 화면에 렌더링하기 때문에 확장이 용이하고 높은 네트워크 대역폭을 요구하지 않는다. 그리고 Equalizer는 이 두 가지 방식을 모두 지원한다.

Chromium은 기존의 OpenGL 응용프로그램을 수정하지 않고 병렬 렌더링 하도록 개발되어 OpenGL 기반에서만 사용할 수 있으며 입력에 대한 지원을 고려하지 않았다. Garuda는 OSG 라이브러리를 수정하여 개발되었으므로 OSG에 매우 종속적이며 키보드와 마우스 입력만을 지원한다. SAGE는 비디오 스트리밍 방식을 사용하기 때문에 응용프로그램에 비종속적이고 다수 응용프로그램의 동시 실행 및 윈도우의 이동과 크기 변경과 같은 간단한 상호작용도 가능하다. 그러나 개별 응용프로그램에 대한 복잡한 상호작용은 어렵다. iTILE은 동시에 여러 개의 OSG 응용프로그램을 실행하면서 모바일 장치를 이용한 다중 사용자의 상호작용을 지원할 수 있다. 그러나 윈도우의 키보드와 마우스 이벤트를 발생시켜서 마스터 노드의 OSG 응용프로그램으로 전달하는 형태이기 때문에, 윈도우 이벤트 외에 다양한 상호작용을 지원하기 어렵다.



그림 2. ICE 디스플레이 프레임워크의 구성
Fig. 2 The Architecture of ICE Display Framework

본 연구에서 제안하는 ICE 디스플레이 프레임워크는 다중 사용자의 개인 작업과 공용 작업이 동시에 자연스럽게 이루어 질 수 있도록 다양한 입력 장치를 추가할 수 있는 기능뿐만 아니라, 필요로 하는 다양한 상호작용 명령들을 각 응용프로그램에서 별도로 확장할 수 있는 기능들을 제공하고 있다. 따라서 다양한 응용프로그램들의 요구사항과 입력 장치들의 특성에 맞춰 특화된 기능들을 지원하는 것이 용이하다.

III. 기존 프레임워크 연구

3.1 ICE 디스플레이 프레임워크의 구성

ICE 프레임워크는 확장 가능한 타일드 디스플레이 시스템에서 혼합형 협업 공간 모델을 지원하는 응용프로그램을 쉽게 구현할 수 있도록 개발되었다. 그림 2는 본 프레임워크의 전체적인 시스템 구성을 나타낸다. ICE 디스플레이 기반 응용프로그램은 프레임워크에서 제공하는 3개의 컴포넌트 모듈 (즉, 입력 컨트롤러, 마스터, 슬레이브 뷰어)을 사용해서 개발된다. 이 모듈들은 네트워크 연결 모듈을 통해서 서로 간에 명령 메시지 (Command Message)를 주고받으면서 유기적으로 동작한다.

그리고 이러한 명령 메시지를 만들고, 네트워크를 통해서 전달하고 응답하여 처리하는 것이 ICE 명령 메시지 시스템 모듈이다. 또한 여기에는 타일드 디스플레이 시스템을 구성하는 여러 개의 디스플레이들을 관리하고, 응용프로그램의 데이터 공유, 화면 동기화 기능 등을 제공하는 모듈들도 존재한다. ICE 디스플레이 프레임워크는 화면 렌더링을 위한 OS와 동영상 처리를 위한 마이크로소프트의 DirectShow를 내부적으로 사용하였으며, 네트워킹 모듈은 자체적으로 개발한 ICENet 라이브러리를 활용하였다.

된 렌더링을 수행한다. 3가지 컴포넌트의 상세한 동작 내용은 다음과 같다.

슬라이브 뷰어의 주요한 역할은 타일드 디스플레이 시스템의 화면에 나타나는 3차원 그래픽 장면의 렌더링에 필요한 개체들을 관리하고 출력하는 것이다. ICE 프레임워크에서는 타일드 디스플레이 전체 화면을 한 개의 3차원 공용 작업 공간으로 추상화하고 여기에 표현되는 개별 콘텐츠들을 하위 작업 단위로 간주한다. 따라서 하나의 프로그램 안에서 사용자가 개인의 콘텐츠를 선택하여 다른 사용자의 작업에 영향을 미치지 않고 개별적인 조작을 가하도록 처리할 수 있다. 또한 슬라이브 뷰어는 전체적인 렌더링에서 각 뷰어의 화면에 해당되는 부분만 나누어서 그리기 때문에 분산 렌더링 하는 것과 같이 빠르게 동작한다.

마스터 모듈은 네트워크로 전달되는 슬라이브 뷰어와 입력 컨트롤러 간의 모든 데이터 통신을 중계하는 매개체로 동작한다. 즉 입력 컨트롤러나 슬라이브 뷰어 간에 네트워크 주소나 개수, 연결 방법 등을 몰라도 마스터에 연결하기만 하면 통신이 가능하므로 네트워크 구조가 단순화 된다. 또한 다중 사용자가 동시에 같은 콘텐츠를 사용하려 할 때 발생하는 충돌 문제를 마스터 모듈에서 관리할 수 있어 콘텐츠 점유 경쟁에 대한 해결이 수월해진다. ICE 디스플레이 프레임워크에서는 서로 주고받는 데이터의 양을 최소화시켜서 마스터 모듈이 병목현상을 일으키지 않도록 구현하였다.

입력 컨트롤러는 다중 사용자의 상호작용을 추상화하여 처리하는 역할을 담당한다. 본 프레임워크에서 기본적으로 제공되는 입력 컨트롤러는 개체를 추가하고 삭제하거나 화면에 있는 개체들의 위치와 크기를 조작하는 등의 기능을 포함한다. 또한 이밖에도 데스크톱 컴퓨터와 위모트, 아이폰 등과 같은 다양한 장치를 활용하는 입력 컨트롤러들을 미리 구현하여 선택적으로 제공하고 있다. 응용프로그램 개발자는 이러한 입력 컨트롤러를 골라서 그대로 사용하거나 확장하여 새로운 형태의 입력 시스템에 사용할 수 있다.

그림 3에서 보인 것처럼 각 사용자는 자신의 입력 컨트롤러 장치를 가지고 다양한 상호작용을 수행할 수 있다. 사용자들의 상호작용은 입력 컨트롤러의 종류에 따라 버튼, 좌표, 가속도 센서의 측정 값 등의 부가 정보를 포함한 명령 메시지로 구성되며, 슬라이브 뷰어로 전달되어 처리된다. 본 프레임워크에서는 뷰어 초기화, 3차

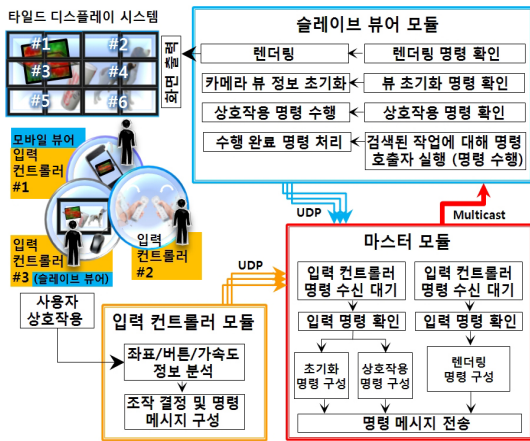


그림 3. ICE 컴포넌트 모듈들의 명령 메시지에 기반 한 다중 입력 처리 방법

Fig. 3 Command Message-based Multi-input Processing Method for ICE Component Modules

3.2 ICE 디스플레이 컴포넌트 모듈

ICE 디스플레이 프레임워크를 사용하여 개발한 응용 프로그램은 단 하나의 마스터와 타일드 디스플레이를 구성하는 화면의 개수 만큼에 해당되는 여러 개의 슬라이브 뷰어, 그리고 개별적으로 입력하고자 하는 사람들의 수와 같은 복수 개의 입력 컨트롤러를 가지는 구조로 작성된다. 그림 3은 ICE 응용프로그램의 내부 구성과 각 모듈 별로 동작하는 방법을 보여준다. 그림 3에서 보듯이 각 슬라이브 뷰어는 마스터 모듈로부터 멀티캐스트 프로토콜을 이용해서 명령들을 수신한 후에 해당 메시지를 발생시킨 입력 컨트롤러의 종류를 확인하고 적절한 처리를 한다. 그리고 뷰어에서는 관리하고 있는 장면의 정보를 갱신하고 다른 슬라이브 뷰어들과 동기화

원 콘텐츠의 추가, 제거 및 조작, 내비게이션 등과 같은 약 30여 개 정도의 자주 사용하는 명령들을 미리 구성하여 제공하며, 그밖에 상호작용 명령에 대해서도 쉽게 확장하여 넣을 수 있도록 지원한다.

3.3 다중 사용자의 개인 작업을 지원하기 위한 상호 작용

ICE 디스플레이 프레임워크에서는 혼합형 협업을 지원하기 위해 다중 사용자가 개인 입력 컨트롤러를 통해서 특정 콘텐츠에 개인 작업을 수행할 수 있도록 지원한다. 이를 위하여 본 프레임워크에서는 타일드 디스플레이에 나타나는 콘텐츠에 대하여 소유자를 지정하거나 공동 작업을 위해 이를 다시 해제할 수도 있다. 그리고 만약 개인 작업을 위해 콘텐츠가 선택되었다면 인가된 사용자의 입력 컨트롤러에 의해서만 해당 작업에 접근할 수 있도록 한다. 또한 슬레이브 뷰어에서는 특정 사용자가 점유한 작업에 시각적 피드백(feedback)을 제공하기 위하여 콘텐츠 주변에 고유 색상으로 강조(Highlight) 효과를 나타낸다.



그림 4. 아이폰 입력 컨트롤러(왼쪽)와 데스크톱 입력 컨트롤러(오른쪽)
Fig. 4 iPhone Input Controller (left) and Desktop Input Controller (right)

다중 사용자의 혼합형 협력을 지원하기 위해 ICE 프레임워크에서는 입력 컨트롤러가 생성될 때 마스터에서 고유 식별자 (즉, 입력 컨트롤러를 구별하기 위한 식별자)를 생성해서 부여한다. 그리고 사용자가 개인 작업을 위해 콘텐츠를 추가하거나 선택하면 그 정보는 입력 컨트롤러의 식별자와 함께 마스터를 통해 슬레이브 뷰어에 전달되어 관리된다. 그 밖에도 사용자의 작업 처리를 위해 입력 컨트롤러에서 명령 메시지를 보낼 때에도

식별자를 함께 보내고, 슬레이브 뷰어에서는 이를 확인하여 해당 콘텐츠에 적용시킴으로써 다중 사용자의 입력을 처리한다.

타일드 디스플레이에서 다중 사용자의 개인 작업을 효과적으로 지원하기 위해서는 사용자가 한 곳에 앉아서 작업을 하는 것뿐만 아니라 여러 사람들이 대형 화면 앞에서 자유롭게 이동하면서 작업하는 것이 가능해야 한다. 그림 4에서 보이는 데스크톱 입력 컨트롤러는 타일드 디스플레이의 전체 화면을 축소해서 보여주는 뷰어를 내장하고 있다. 이 뷰어에서 사용자는 직접 본인이 작업하고자 하는 콘텐츠를 선택해서 조작 명령을 가할 수 있다. 또한, 그림 4의 아이폰(iPhone) 입력 컨트롤러를 통해서 사용자가 실시간으로 타일드 디스플레이에 접속하여 그 화면에 있는 개체에 대해 상호작용하는 것도 가능하다.

컨트롤러 뷰어를 내장한 데스크톱이나 모바일 단말기 외에도 닌텐도사의 위모트를 이용해서 콘텐츠의 제어를 지원할 수 있도록 개발된 위모트 입력 컨트롤러가 제공된다. 위모트 입력 컨트롤러는 사용자가 대형 타일드 디스플레이 앞에서 직접 콘텐츠를 보면서 조작할 수 있도록 기본적인 명령 메시지들을 처리해 준다. 이러한 모든 입력 컨트롤러들은 응용프로그램 개발자가 필요로 하는 새로운 기능들을 쉽게 추가할 수 있도록 기본 클래스에 대한 확장 인터페이스를 포함하여 구현되었다.

IV. 응용프로그램

본 절에서는 ICE 프레임워크를 활용하여 개발된 두 개의 응용프로그램을 소개한다. 이것들은 다중 사용자의 혼합형 협업 작업 공간 모델의 예시를 보여준다.

4.1 타일드 디스플레이 통합 뷰어

타일드 디스플레이 통합 뷰어는 ICE 디스플레이 프레임워크에서 제공하는 입력 컨트롤러와 마스터 그리고 슬레이브 뷰어 구조를 사용하여, 다중 사용자들이 타일드 디스플레이에서 임의의 3차원 모델과 초고해상도 이미지, Full HD급 동영상을 자유롭게 띄우고 조작할 수 있는 기능을 제공한다[9]. 그림 5는 타일드 디스플레이 통합 뷰어를 사용하여 웨이더 효과가 적용된 3차원 모델

과 여러 개의 이미지 및 동영상을 다른 사람들과 함께 보면서 또한 각자 가지고 있는 다양한 입력 장치들을 사용하여 원하는 객체에 대하여 서로 영향을 받지 않고 독립적으로 제어하고 있는 모습을 보여주고 있다.



그림 5. 타일드 디스플레이 통합 뷰어
Fig. 5 Tiled Display Integrated Viewer



그림 6. 지진 데이터 과학적 가시화
Fig. 6 Earthquake Data Scientific Visualization

본 응용프로그램은 주로 고해상도 이미지나 동영상을 함께 보면서 관찰하고 실물 크기의 제품을 3차원 모델로 만들어서 시연하고 평가하는 용도로 개발되었다. 여기서는 여러 사용자들이 함께 이미지와 모델, 동영상 등을 움직이거나 회전시키면서 서로 확인하고 관찰할 수 있도록 위모트 입력 컨트롤러의 사용을 지원한다. 또한 데스크톱 입력 컨트롤러나 아이폰 컨트롤러를 사용해서 부가적으로 개체를 개인 단말기의 화면에 올려서 살펴보거나 따로 조작하는 것도 가능하다. 만약 개인적으로 선택하여 작업하던 콘텐츠를 다른 사용자와 함께 공유해서 작업해야 한다면 해당 콘텐츠에 대한 점유를

해제하고 더 많은 사람들이 볼 수 있는 위치로 이동시켜 확대하는 방식으로 협업할 수 있다.

4.2.3차원 지진 과학적 가시화 프로그램

본 연구에서는 ICE 디스플레이 프레임워크를 활용하여 타일드 디스플레이에서 전 지구에서 발생한 지진들을 관찰하고 분석할 수 있도록 3차원 지진 과학적 가시화 프로그램을 개발하였다. 본 응용프로그램은 기후 및 지진 등의 데이터를 수집 관리하는 미국 지질 조사국 (U.S. Geological Survey)[10] 사이트의 검색 기능을 활용하여 1970년도부터 2000년도까지 강도 3 이상으로 나타났던 전 세계의 지진 데이터들을 가시화시킨다. 이것은 지진이 일어난 위치에 지진의 발생 강도에 따라 다른 모양의 3차원 개체를 구성하여 대량의 정보를 표현한다. 그림 6에서 보인 것처럼, 왼쪽에 두 명의 사용자들은 함께 전 세계에서 발생한 지진 정보를 보면서 논의하고 있고, 오른쪽에 사용자는 남미 칠레 지역에서 발생했던 지진 데이터만을 개인적으로 추출하여 조작 및 관찰하고 있다.

본 응용프로그램에서는 ICE 디스플레이 프레임워크의 기본 데스크톱 입력 컨트롤러의 기능을 상속받아 제공하며 사용자가 위도와 경도의 범위를 지정하여 특정 지역의 지진 데이터만을 가시화시킬 수 있도록 추가적인 상호작용 기능을 새롭게 확장 개발하였다. 이러한 기능을 통해서 사용자들은 원하는 지역의 지진 정보를 실시간으로 구성해서 타일드 디스플레이에 추가적으로 나타낼 수 있다. 만약 프로그램이 이러한 특화된 상호작용의 지원을 요구하지 않는다면, 별도의 구현 없이 프레임워크에서 제공하는 기본 상호작용 명령들을 그대로 이용하면 된다.

V. 평 가

본 연구에서는 ICE 프레임워크의 확장성 및 다중 사용자의 상호작용 지원에 대한 성능 평가를 위하여 실험을 진행하였다. 먼저 타일드 디스플레이의 개수를 두 개씩 늘려가면서 그래픽스 렌더링 성능(즉, Frame rate)을 비교하였다. 그리고 본 프레임워크에서 허용하는 다중 사용자의 상호작용 기술을 평가하기 위해서 입력 컨트롤러의 개수와 상호작용의 횟수를 늘려가면서 그래픽

스 렌더링 성능을 측정하였다.

평가 실험을 위해 사용된 타일드 디스플레이 시스템은 인텔 i7 920 CPU와 NVIDIA GTS250 그래픽 카드를 사용한 마스터 컴퓨터 1대와 인텔 Q6600 CPU와 GTS250 그래픽 카드를 장착한 슬레이브 컴퓨터 6대로 구성되었다. 각 슬레이브 컴퓨터는 1920×1200 해상도의 24인치 LCD 2대와 연결되며, 총 12대의 모니터를 이용한 초고 해상도 타일드 디스플레이가 구축되었다. 그리고 시스템 확장성 평가를 위하여 Q6600 CPU와 NVIDIA Quadro FX3500를 장착한 컴퓨터 1대, Q6600 CPU와 GeForce 7900GS를 장착한 컴퓨터 1대 및 모니터 4대를 추가적으로 더 사용하였다.

5.1 시스템 확장성의 평가

프레임워크의 시스템 확장성을 평가하기 위하여, 슬레이브 뷰어의 개수를 4, 8, 12, 16로 늘려가면서 3개의 다른 응용프로그램을 사용하여 타일드 디스플레이 시스템에서 렌더링 속도(Frame rate)를 비교하였다. 평가에 사용된 응용프로그램은 각각 5,804개, 37,145,600개, 그리고 58,040,000개의 폴리곤을 보여주는 3차원 그래픽스 모델 뷰어이다. 표 1과 그림 7에서 보인 것처럼 ICE 디스플레이 프레임워크는 슬레이브의 개수가 늘어나더라도 프레임율에 큰 변화가 나타나지 않았다. 특히 폴리곤 개수가 적어서 그래픽 카드에 부하가 걸리지 않을 때에는 LCD의 재생율인 60Hz에 근접한 렌더링 성능을 보였다. 그리고 응용프로그램의 폴리곤 개수가 많아질수록 그래픽 성능 저하되었지만, 이 경우에는 디스플레이의 개수가 많아질수록 렌더링 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

표 1. ICE 프레임워크 확장성 평가 결과
Table 1. Evaluation Results of the ICE Framework's Scalability

디스플레이 구성(개수) 폴리곤 구분(개수)	4x1 (4개)	4x2 (8개)	4x3 (12개)	4x4 (16개)
Low polygon (5,804)	59.07	59.07	59.07	59.07
High polygon (37,145,600)	13.02	13.56	15.39	15.90
Very high polygon (58,040,000)	8.48	8.54	11.04	12.14

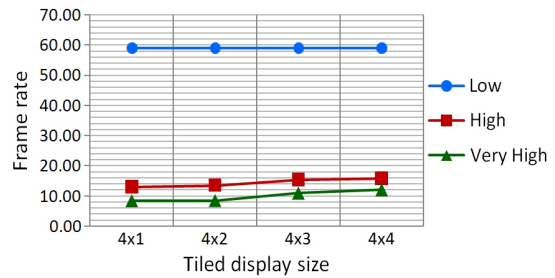


그림 7. ICE 프레임워크 확장성 평가 결과
Fig. 7 Evaluation Results of the ICE Framework's Scalability

이는 같은 양의 폴리곤에 대하여 여러 대의 컴퓨터에서 나누어 처리하는 분산 렌더링이 일어나기 때문으로 분석되었다.

5.2 상호작용 확장성의 평가

ICE 디스플레이 프레임워크는 다중 사용자의 개별 콘텐츠에 대한 동시 작업을 지원하는데, 본 평가에서는 이러한 사용자의 상호작용에 대한 확장성을 실험하였다. 여기서는 6대의 슬레이브 뷰어로 구성된 4×3 규모의 타일드 디스플레이와 191,532 개의 폴리곤으로 구성된 응용프로그램을 사용하였다. 그리고 입력 컨트롤러의 개수를 1, 2, 4, 8, 16개로 증가시키면서 각각에 대해서 다시 1초당 상호작용 횟수를 10부터 60회까지 늘려가면서 그래픽 성능을 측정하였다.

표 2. 다중 사용자 상호작용 확장성 평가 결과
Table 2. Evaluation Results of the Multi-user Interaction Scalability

입력 컨트롤러 초당 상호작용	입력 컨트롤러				
	1	2	4	8	16
10	58.42	57.72	56.97	54.12	52.92
20	57.34	57.04	53.97	51.21	48.86
30	56.29	55.94	52.89	47.96	45.07
40	55.98	55.58	51.67	45.97	42.02
50	55.84	55.32	50.46	43.37	37.04
60	55.16	54.74	48.02	41.31	32.91

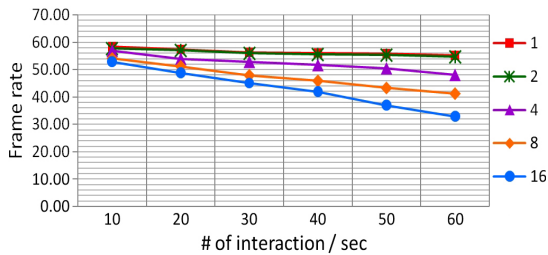


그림 8. 다중 사용자 상호작용 확장성 평가 결과
Fig. 8 Evaluation Results of the Multi-user Interaction Scalability

표 2와 그림 8에 보인 것과 같이 ICE 디스플레이 프레임워크에서는 입력 컨트롤러의 개수가 늘어날수록 낮은 프레임율을 나타냈다. 특히 입력 컨트롤러의 개수가 증가하면서 초당 상호작용의 횟수가 많아지면 렌더링 속도가 더욱 감소하였다. 가령, 최소 1개의 컨트롤러에서 초당 10번의 상호작용을 할 때 58.42 frame rate이었던 반면, 최대 16개의 컨트롤러에서 1초 동안 각기 60번의 상호작용이 발생할 때는 32 frame rate 정도까지 재생율이 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 사용자의 수와 상호작용의 횟수가 늘어남에 따라 성능의 하락이 불가피함을 알려준다. 그러나 평균 30 frame rate 이상일 경우, 실시간 상호작용 지원이 충분하고 일반적으로 사용자가 초당 10~20회 이상 상호작용하는 것이 불가능함을 고려할 때, 본 프레임워크를 다중 사용자의 응용프로그램 개발에 적용하는데 큰 무리가 없을 것으로 분석되었다.

VI. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 공동 작업과 개인 작업을 동시에 지원하는 혼합형 협업 모델 기반의 타일드 디스플레이 응용프로그램의 구축을 돕는 ICE 디스플레이 프레임워크 기술을 개발하였다. ICE 디스플레이 프레임워크는 다수의 사용자들이 동시에 고해상도 대형 화면에서 협업 콘텐츠와 개인용 콘텐츠를 구성한 후에 각자의 모바일 장치나 키보드 등을 통해 서로의 간섭 없이 독립적으로 상호작용하는 것을 가능하게 한다.

본 논문에서는 이러한 프레임워크 기술을 기존의 타일드 디스플레이 기술들과 비교하고 세부 모듈 구성 및

기능 구현에 대하여 설명하였다. 그리고 본 프레임워크를 활용해서 개발한 타일드 디스플레이 통합 뷰어와 3차원 지진 과학적 가시화 프로그램에 대해 소개하였다. 또한 시스템의 규모적인 확장성 및 다중 사용자의 동시적 입력 증가에 따른 실험을 바탕으로 본 프레임워크의 성능 평가 및 분석 결과를 기술하였다.

추후 연구에서는 본 프레임워크 기술을 확장하여 원격지 간의 협업 지원 모델에서도 활용할 수 있도록 개선할 것이다. 그리고 현재 개발 중인 원격 컴퓨팅을 지원하는 VNC(Virtual Network Computing) 기반 작업 화면에서 3차원 그래픽 환경뿐만 아니라, 일반적인 컴퓨팅 환경을 제공할 수 있도록 계획하고 있다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 상명대학교 교내 연구비 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] G. Humphreys, M. Eldridge, I. Buck, G. Stoll, M. Everett, P. Hanrahan, "WireGL: A Scalable Graphics System for Clusters," In Proc. of the Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 129-140, 2001.
- [2] G. Humphreys, M. Houston, R. Ng, R. Frank, S. Ahern, P. D. Kirchner, J. T. Klosowski, "Chromium: a stream-processing framework for interactive rendering on clusters," In Proc. of the Conference on Computer graphics and Interactive techniques, pp. 693-702, 2002.
- [3] S. Eilemann, M. Makhinya, R. Pajarola, "Equalizer: A Scalable Parallel Rendering Framework," IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, Vol. 15, No. 3, pp. 436-452, 2009.
- [4] N. Harish, P. Narayanan, "Garuda: A Scalable Tiled Display Wall Using Commodity PCs, IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics," Vol. 13, No. 5, pp. 864-877, 2007.
- [5] B. Jeong, J. Leigh, A. Jhonson, L. Renambot, M. Brown, R. Jagodic, S. Nam, H. Hur, "Ultrascale

- Collaborative Visualization Using a Display-Rich Global Cyberinfrastructure,” *Computer Graphics and Applications*, Vol. 30, No. 3, 2010.
- [6] 박경신, 서기영, 한석희, “모바일 인터페이스를 사용한 타일드 디스플레이 기반의 가상현실 게임 플랫폼 개발,” *한국컴퓨터게임학회논문지*, 제21호, pp. 79-88, 2010.
- [7] P. Dewan, P. Agarwal, G. Shroff, R. Hegde, “Mixed-focus collaboration without compromising individual or group work,” in *Proc. of Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, pp. 225-234, 2010.
- [8] Open Scene Graph, <http://www.openscenegraph.org> (Accessed: Dec. 13, 2010).
- [9] 김민영, 이빛나라, 조용주, “확장형 초고해상도 타일드 디스플레이 시스템에서 동작하는 협업용 뷰어 시스템 기술 개발,” *한국해양정보통신학회논문지*, 제 14권, 제4호, pp. 841-848, 2010.
- [10] U.S. Geological Survey, <http://earthquake.usgs.gov> (Accessed: Dec. 13, 2010).

저자소개



김민영 (Minyoung Kim)

2009년 상명대학교
디지털미디어학부 학사
2009년 ~ 현재 상명대학교 대학원
컴퓨터과학과 석사과정

※관심분야: 가상현실, 인터페이스, 타일드 디스플레이



조용주 (Yongjoo Cho)

1993년 일리노이대학
컴퓨터과학과 학사
1997년 일리노이대학 전기전자
컴퓨터과학과 공학석사

2003년 일리노이대학 컴퓨터과학과 공학 박사
2004년 ~ 현재 상명대학교 디지털미디어학부 부교수
※관심분야: 가상현실, 인터랙티브 컴퓨팅, 인터랙티브
학습 환경