

수평 및 수직형 프로젝션 시스템을 이용한 건물의 입체 가시화

이 선 민[†]·최 수 미^{††}·김 명 희^{†††}

요 약

본 논문에서는 프로젝션 테이블(the projection table)과 프로젝션 월(the projection wall)을 이용하여 수평 및 수직형 가상 공간을 구축하고, 이러한 가상 환경에서 삼차원 건물을 사용자의 시점에 따라 입체적으로 가시화하는 시스템을 구현하였다. 수평형 디스플레이 장비인 프로젝션 테이블은 위에서 내려다 보는 형태의 뷰잉 프러스텀(viewing frustum)을 갖기 때문에 책상이나 테이블에서의 작업을 재현하거나 bird-eye view가 필요한 응용분야에서 효과적으로 사용되어진다. 반면에 수직형 디스플레이 장비인 대형 프로젝션 월은 정면에서 바라보는 형태의 뷰잉 프러스텀을 갖기 때문에 가상 공간을 네비게이션 할 때 보다 효과적으로 사용되어진다. 본 논문에서는 주요 객체는 세밀한 삼차원 모델로 생성하고 배경은 영상을 이용함으로써 사용자와 가상 객체간의 빠른 상호작용을 제공하도록 하였으며, 모델과 영상이 합성된 결과를 상이한 가상 환경에서 사용자의 위치 및 시점과 연동하여 입체적으로 보여줌으로써 사용자의 현실감을 증진시키도록 하였다.

Stereoscopic Visualization of Buildings Using Horizontal and Vertical Projection Systems

Seon-Min Rhee[†] · Soo-Mi Choi^{††} · Myoung-Hee Kim^{†††}

ABSTRACT

In this paper, we constructed horizontal and vertical virtual spaces using the projection table and the projection wall. We then implemented a system that stereoscopically visualizes three-dimensional (3D) buildings in the virtual environments in accordance with the user's viewing point. The projection table, a kind of horizontal display equipment, is effectively used in reproducing operations on a table or desk as well as in areas that require bird-eye views because its viewing frustum allows to view things from above. On the other hand, the large projection wall, a kind of vertical display equipment, is effectively used in navigating virtual spaces because its viewing frustum allows to take a front view. In this paper, we provided quick interaction between the user and virtual objects by representing major objects as detail 3D models and a background as images. We also augmented the reality by properly integrating models and images with user's locations and viewpoint in different virtual environments.

키워드 : 프로젝션 기반 가상 현실(Projection-based Virtual Reality), 상호 작용(Interactions), 입체 가시화(Stereoscopic Visualization)

1. 서 론

가상 현실(Virtual Reality : VR)은 가상 세계를 보여주기 위해 이용되는 디스플레이 장비에 따라 여러 형태로 구축되어질 수 있다. 초기에는 HMD(Head-Mounted Display)나 BOOM(Binocular Omni Orientation Monitor)과 같은 장비를 이용하여 가상 공간을 구축하는 경우가 주류를 이루었다. 이러한 가상 현실 장비는 사용자를 현실 세계로부터 차단하고 가상 세계로 몰입할 수 있도록 해 준다. 최근에는 프로젝터와 중대형의 스크린을 이용하여 가상 공간을 구축

하는 프로젝션 기반의 가상 현실(Projection-based Virtual Reality)에 관한 연구가 많이 진행되고 있다[1-5]. 프로젝션 기반의 가상 현실은 컴퓨터에 의해 생성된 삼차원 가상 세계를 프로젝터를 이용하여 중대형의 스크린에 투영시키는 방식으로 구현된다. 이와 같이 이차원 평면상으로 투영된 삼차원 객체는 사용자가 착용하고 있는 스테레오 글래스(stereo glasses)를 통하여 입체적으로 보여지게 되며, 대형 스크린에 실물과 유사한 크기로 보여질 수 있어 보다 현실감 있는 가상 공간을 구축할 수 있도록 해준다. 프로젝션 기반의 가상 현실은 투영되는 스크린의 형태 및 방향에 따라 다르게 구축할 수 있으며, 일반적으로 수평형 혹은 수직형 디스플레이 시스템을 사용한다. 수평형 디스플레이 시스템은 테이블이나 책상과 같은 작업 환경에서 수행되던 많은 일들을 자연스럽게 가상 공간상으로 옮겨옴으로써 건축

* 본 논문은 정보통신부 대학 IT연구센터(ITRC) 연구 결과로 수행되었습니다.

† 준 회원 : 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과

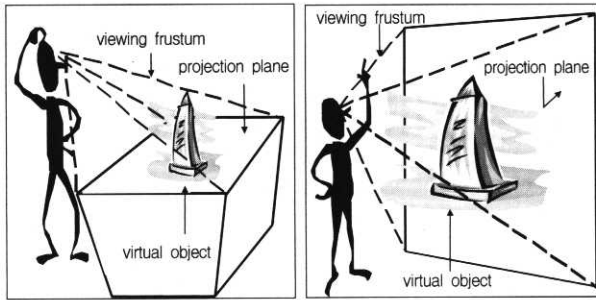
†† 준 회원 : 이화여자대학교 컴퓨터 그래픽스/가상현실 연구센터 연구

전담 교수(현재 세종대학교 소프트웨어공학과 교수)

††† 종신회원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수

논문접수 : 2002년 6월 19일, 심사완료 : 2003년 5월 29일

이나 의료와 같은 분야에 효과적으로 응용될 수 있다. 그러나 (그림 1)(a)에서 보는 것과 같이 수평형 디스플레이 시스템의 뷰잉 프리스텀(viewing frustum)은 위에서 내려다 보는 형태이기 때문에 가상 공간을 네비게이션 하기에는 적합하지 않다. 네비게이션을 위해서는 (그림 1)(b)와 같이 앞에서 보는 형태의 뷰잉 프리스텀을 갖는 수직형 대형 디스플레이 시스템을 이용하는 것이 보다 효과적이다.



(a) 수평형 디스플레이 시스템 (b) 수직형 디스플레이 시스템
(그림 1) 가상현실 디스플레이 장비에 따른 뷰잉 프리스텀

수평형 및 수직형 디스플레이 시스템은 각 시스템의 장점을 충분히 살릴 수 있는 분야에 적용하는 것이 바람직하지만, 응용분야에 따라서는 이들 두 시스템을 함께 사용하는 것이 더 효과적이다. 예를 들어, 가상 공간상에서 건축물을 디자인 할 경우, 수평형 디스플레이 시스템을 이용하여 설계 단계의 도면 작업을 수행하고, 수직형 디스플레이 시스템을 이용하여 디자인 된 건물의 외관 및 내부를 네비게이션 할 수 있도록 하면 두 시스템의 장점을 동시에 살릴 수 있을 뿐만 아니라 각 시스템의 단점을 상호 보완할 수 있기 때문에 보다 효과적이다. 본 논문에서는 조감도에 효과적인 수평형 디스플레이와 입면도 및 실물과 유사한 크기의 시물레이션에 효과적인 수직형 디스플레이 시스템을 사용하여 상이한 가상 환경을 각각 구축하여 추후 두 가지 환경을 연동한 복합가상 환경을 구축하기 위한 토대를 마련하였다. 또한 이러한 환경에서 사용자와 가상 객체

간의 빠른 상호작용을 위하여 이차원 배경 영상과 삼차원 그래픽스 객체를 합성하고 사용자의 위치 및 시점에 따라 가시화하였다.

이어지는 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 살펴보고, 3장에서는 프로젝션 기반 가상 현실 시스템의 특징 및 종류에 대하여 기술한다. 4장에서는 프로젝션 시스템을 이용하여 반몰입적인(semi-immersive) 가상 공간을 구축하는 방법에 대해 설명한다. 5장에서는 구축된 가상 공간상에서 배경영상과 삼차원 객체를 합성하여 사용자의 시점에 따라 건물을 입체적으로 가시화한 결과를 제시한다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구를 제시한다.

2. 관련 연구

여러 유형의 디스플레이 장비들을 이용하여 응용 분야에 보다 적합할 뿐만 아니라 직관적이고 자연스러운 가상 공간을 구축하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. <표 1>은 가상 공간을 구축하기 위해 사용하는 시스템의 유형과 주로 적용분야를 보여준다[3, 4, 7-9].

건축 분야에서는 건축물 네비게이션, 건축물 복원, 건축 디자인, 대지계획 등의 어플리케이션에 가상 현실 기술이 이용되고 있으며 각각의 특성에 따라 서로 다른 디스플레이 장비가 이용되고 있다. 건축물 내외부를 네비게이션 하거나 유명 문화재나 고건축물을 복원하고 이를 감상하는 응용에서는 대형의 수직형 디스플레이 장비나 HMD를 이용하는 경우가 일반적이다[3, 10]. 예를 들어, The Design Virtual Environment(DVE)[11]은 HMD를 이용하여 삼차원 모델을 디자인하기 위하여 서로의 아이디어를 교환하고 디자인 된 모델을 가시화하여 건물의 내부 혹은 외부를 네비게이션 하기 위한 툴로 이용되고 있다. 또한 월과 같이 대형 화면을 이용하는 수직형 가상 환경은 실물과 유사한 크기로 삼차원 그래픽스 모델을 가시화하고 이를 관찰할 수 있기 때문에 디자인된 건물을 정면이나 측면에서 바라보면서 시물레이션 및 네비게이션 어플리케이션에 효과적으로

<표 1> 가상 공간 구축을 위한 디스플레이 장비의 유형에 따른 분류

Type	System	Applications	Immersion
Projection based VR	Tables	Responsive Workbench™ ImmersaDesk™	Medical visualization, Architectural Design, Scientific visualization
	Walls	Projection Wall(single projector) Power Wall (multiple projectors)	Architectural walkthrough, Exhibition
	Cylinder emispheres	CONE™ Dome Visionarium	Virtual studio, Entertainment
	Room	CAVE-like™ System	Scientific visualization, Information visualization, Cultural heritage, Exhibition
HMD-based VR	HMD BOOM	Architectural walkthrough	Immersive

이용되고 있다. 반면, 건물의 외관, 형태, 건물에 어울리는 창문이나 지붕 등의 건물 요소를 디자인 하는 경우에는 수평형 디스플레이 장비나 HMD가 많이 이용되고 있다[20]. 특히, 테이블 형태의 수평형 가상 환경은 Bird-Eye View를 보다 효과적으로 제공해 주기 때문에 가상 세계 전체를 위에서 내려 보면서 주변 환경 혹은 다른 건물과의 관계를 고려하여 새로운 건물을 배치하는 대지계획[17]이나, 건물의 외관 장식을 다양하게 바꾸어 시뮬레이션 할 수 있도록 해주는 건축 디자인 어플리케이션[20]에 이용되고 있다. 또한 수평형 디스플레이 시스템이나 서라운드형 디스플레이 시스템은 건축 디자인 작업을 수행할 때 여러 사용자가 서로의 의견을 교환하면서 디자인할 수 있는 협업 환경을 제공하는데 매우 효과적인 것으로 나타났다[12]. 예를 들어 The Virtual Architectural Design Tool(VADeT)[12]은 몰입형 가상 환경인 CAVE-like 시스템에서의 인터랙티브 건축 디자인 프로토타입으로서 여러 사람이 함께 의견을 나누면서 건축 요소의 생성 및 수정, 디자인 프로세스의 애니메이션 등을 수행할 수 있도록 해준다.

건축 어플리케이션 이외에도 본 논문에서 다루고자 하는 수평 및 수직형 프로젝션 시스템 기반 가상 환경을 이용하고 있는 어플리케이션은 다음과 같다. 수평 형태의 가상 환경은 의학 데이터나 과학데이터를 가시화하고[8, 22], 건축 모델링을 포함한 일반적인 삼차원 객체를 모델링 하는데 이용되고 있다. 예를 들어, Encarnação[18] 등은 프로젝션 테이블 상에서 제품을 미리 디자인해 볼 수 있도록 하는 CADesk를 개발하였고 Stork, Schmalstieg[19]등은 프로젝션 테이블 상에서 삼차원 객체를 생성하고 다양한 오퍼레이션을 적용하여 형태를 변형할 수 있도록 해주는 3D CAD 시스템인 ARCADE를 개발하였다. 수평형 가상 환경은 책상이나 테이블과 같이 실제 생활에서의 작업 공간과 유사한 환경을 제공하기 때문에 이와 같은 환경에 적합할 뿐만 아니라, 입체 디스플레이에 의해 더 좋은 효과를 보여줄 수 있는, 삼차원 객체 디자인이나 가시화를 위한 어플리케이션에 주로 이용된다. 그러나 정면에서 바라 보거나 실물 크기의 디스플레이를 필요로 하는 어플리케이션에는 적합하지 않다. 수직 형태의 가상 환경은 이와 반대로 대형 화면에서의 삼차원적인 디스플레이가 가능하기 때문에 삼차원 인터랙션을 이용한 인터랙티브 프리젠테이션이[21]나 자동차를 디자인하고 이를 실물 크기로 시뮬레이션 하기 위한 어플리케이션[23]을 위해 이용되고 있다.

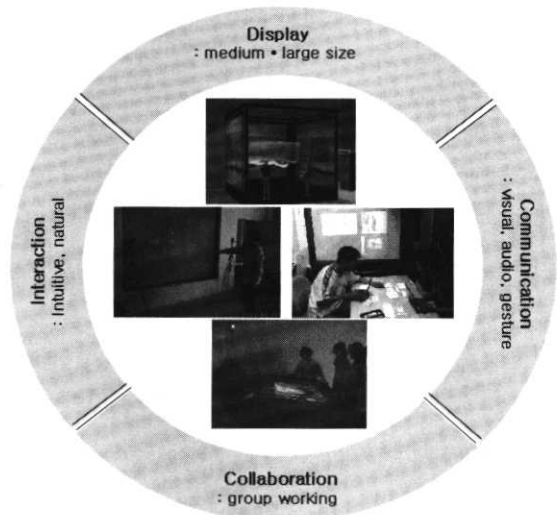
이와 같이 가상현실 어플리케이션은 그 특성에 따라 사용하는 디스플레이 시스템이 달라지지만, 건축 어플리케이션과 같이 다양한 특성(디자인, 네비게이션 등)을 동시에 필요로 하는 경우에는 수평형 및 수직형 디스플레이 시스템을 함께 이용하는 것이 효과적이다. 그러나 수평형 및 수직형의 복합 기능을 동시에 갖춘 응용 시스템 개발에 대한 연구는 아직 부족한 실정이며 본 연구에서는 수평형 프로젝션 테이블과 수직형 프로젝션 월을 이용한 가상공간을

각각 구축하고, 건축물을 포함하는 가상 세계를 서로 다른 시점에서 디스플레이할 수 있도록 하여, 이들 두 시스템이 상호 보완적인 역할을 수행할 수 있도록 하였다.

3. 프로젝션 기반 가상 현실 시스템

3.1 특 징

프로젝션 기반 가상 현실 시스템의 다양한 특징들은 가상 세계를 커다란 화면상에 보여주는 데서 기인한다. 우선, HMD나 BOOM과 같은 closed-view 형식의 가상 현실 시스템에 비하여 고해상도의 디스플레이 장비를 이용할 수 있으며 다수의 사용자가 협업할 수 있는 환경을 제공해 주기 때문에 공동 작업이 용이하다[3]. 특히 물리적으로 동일한 공간상에서 이루어지는 face to face VR은 프로젝션 장비를 통해 스크린상에 투사된 가상 세계를 동시에 관찰하고 서로의 의견을 교환할 수 있기 때문에 별도의 장비나 노력 없이 시각적, 청각적인 커뮤니케이션을 수행할 수 있으므로 매우 효율적이다. 뿐만 아니라 네트워크를 통하여 원격으로 수행되는 remote VR을 구축할 경우에는 서로 다른 공간상에 있는 사용자들 간의 공동작업을 가능하게 해주므로 그룹 간의 공동 작업이 필요한 경우에도 유용하게 사용될 수 있다. 인터랙션 측면에서 살펴보면, 프로젝션 기반 가상 현실은 대부분이 반몰입형 혹은 몰입형 가상 공간이기 때문에 모니터 기반의 비몰입형 가상 공간에서의 사용자 인터랙션에 비하여 일상적인 동작을 통하여 가상 객체와 상호작용 할 수 있다. 따라서 보다 자연스럽게 인간 중심적인 인터랙션을 수행할 수 있는 환경을 제공한다.



(그림 2) 프로젝션 기반 가상 현실 시스템의 특징

3.2 종 류

프로젝션 기반의 가상 환경은 사용하는 스테레오 모드, 프로젝션 방향, 프로젝터 개수, 사용자의 위치 추적 여부에

따라 다양하게 구축되어질 수 있다.

- **스테레오 모드** : 이차원 평면 모니터상에 투영된 삼차원 객체를 입체적으로 가시화하기 위해서는 사용자에게 깊이감을 제공하는 메커니즘을 필요로 한다. 즉, 왼쪽 눈과 오른쪽 눈을 위한 각각의 영상을 스크린상에 보여주어야 하며, 사용자가 착용하고 있는 스테레오 글래스를 이용하여 각 눈에 해당하는 영상을 볼 수 있도록 해주어야 한다. 이러한 메커니즘을 제공하기 위한 방법은 크게 액티브(active)와 패시브(passive) 형태로 나누어 볼 수 있다. 액티브 스테레오는 하나의 시스템에서 양쪽 눈을 위한 두 개의 영상을 생성하며 이를 단일 프로젝터를 통하여 스크린 상에 투영시키고, 셔터글래스를 이용하여 각 눈에 해당하는 영상을 볼 수 있도록 동기화 시켜줌으로써 사용자가 입체감을 느낄 수 있도록 해 주는 방식이다. 패시브 스테레오 방식은 왼쪽과 오른쪽 눈에 해당하는 영상을 각기 다른 시스템에서 생성하고, 서로 다른 프로젝터를 통하여 각각의 영상을 스크린상에 투사시키는 방식이다. 패시브 스테레오 방식에서는 각 눈에 해당하는 영상을 제공하기 위하여 프로젝터에서 투사되는 영상을 폴로라이즈화 시키고 사용자가 폴로라이즈 글래스를 착용하는 방식이 많이 사용된다.
- **프로젝터 투사 방향** : 프로젝터의 투사 방향에 따라서 후방투사형(back projection 또는 rear projection)과 전방투사형(front projection)으로 분류된다. 후방투사형은 프로젝터가 스크린 뒤에 있기 때문에 가상 공간상에 있는 사용자의 위치나 움직임에 따라 간섭을 받지 않고, 상대적으로 조명의 영향을 덜 받는다는 장점이 있다. 반면에 프로젝션 투사 거리가 보장되어야 하기 때문에 가상 공간을 구축하기 위하여 전방투사형보다 더 많은 공간이 필요하다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 거울을 이용하여 투사거리를 좁히는 방법이 많이 사용되고 있으나 이 경우에는 프로젝터와 거울간의 각도를 정확히 유지해야 하기 때문에 상대적으로 관리하기가 어렵다. 전방투사형은 스크린 앞쪽에 프로젝터와 사용자가 존재하는 경우이다. 이는 가상 공간 안에 프로젝터가 위치하기 때문에 후방투사형보다 적은 공간을 필요로 하지만, 사용자의 위치에 따라 프로젝터에서 투사하는 영상이 가려지는 경우가 있기 때문에 사용자의 움직임에 제약이 가해질 수 있다.
- **프로젝터 개수** : 가상 공간을 구축하기 위하여 사용하는 프로젝터의 개수에 따라 단일채널(single channel)과 다중채널(multi channel)로 나누어 볼 수 있다. 대형의 스크린을 이용하거나 스크린이 서로 다른 방향에 존재하는 경우에는 여러 대의 프로젝터를 사용하는 다중채널 방식이 이용된다. 사용되는 프로젝터의 개수는 스크린의 크기나 형태와 매우 밀접한 관계가 있으며 프로젝터간의

동기화가 매우 중요하다.

- **사용자 위치추적 여부** : 사용자의 움직임에 따라 적절하게 변화하는 가상 공간을 구축하기 위해서는 위치추적이 필수적이다. 그러나 프로젝션 기반의 가상 공간 안에서 보여지는 가상 세계는 여러 사람이 공유하고 있는 경우가 대부분이기 때문에 모든 사용자의 위치와 방향에 따라 영상을 달리 제공해 주기는 어렵다. 따라서 일반적으로 한 사용자의 위치와 방향만 추적되며, 생성된 가상 공간을 다수의 사용자가 공동으로 체험할 수 있도록 해준다. 그러나 이러한 방식을 사용하게 될 경우, 위치추적이 수행되지 않는 사용자는 왜곡된 영상을 보게 되는 문제가 발생하기 때문에 고정된 카메라 뷰로부터 가상 세계를 생성하는 방식을 사용하기도 한다.

4. 수평 및 수직형태의 프로젝션 기반 반몰입 가상 공간 구축

본 논문에서는 프로젝션 기반 가상 공간을 구축하기 위하여 프로젝션 테이블과 대형 프로젝션 월을 이용하였다. 수평형 디스플레이 장비인 프로젝션 테이블은 위에서 내려다보는 형태의 가상 공간을 구축하는데 보다 효과적이기 때문에 건물들의 배치 상태나 주변 환경과의 조화를 시뮬레이션 해 보는데 이용한다. 수직형 디스플레이 장비인 프로젝션 월은 가상 객체를 실물과 유사한 정도의 크기로 보여줄 수 있기 때문에 건물의 내부 혹은 외부를 네비게이션 하는데 이용될 수 있으며, 본 연구에서는 사용자와 가상 객체간의 삼차원 인터랙션은 고려하지 않고 건물의 입면을 시각화 하여 프로젝션 테이블과 상호보완 할 수 있도록 하였다.

4.1 디스플레이 시스템

수평형 프로젝션 기반의 반몰입 가상 공간은 BARCO사의 Baron projection table(BARCOGRAPHICS 808s 내장 : 액티브 스테레오, 후방투사형, 단일채널, 사용자 위치추적)을 이용하여 구축하였다. 프로젝션 스크린의 대각선 길이는 67inch(가로×세로 : 1610mm×1580mm)이고, 스크린 표면까지의 높이는 1300mm이다. 스크린의 경사도는 풋패달에 의해 0°~45°까지 조절할 수 있기 때문에 응용 분야에 따라 수평면 혹은 경사면 디스플레이가 가능하다. 렌더링 서버로는 SGI Octane(R12000 300MHz, 512MB RAM, 4MB Texture Memory)을 사용하였으며 splitting box를 통하여 렌더링 결과를 컴퓨터 모니터와 가상워크벤치에 동시에 보여질 수 있도록 하였다.

수직형 프로젝션 기반의 반몰입 가상 공간을 구축하기 위한 프로젝션 월은 BARCO사의 BARCOGRAPHICS 1209s(액티브 스테레오, 후방 투사형, 단일채널) 프로젝터와 대형의 프로젝션 스크린(가로×세로 : 2400mm×1800mm)을 사용하였으며, 렌더링 서버로는 스테레오 디스플레이를 지원해

주는 그래픽 보드인 Wildcat 4210이 장착된 SGI Workstation(1GHz-dual processor, 1GB RAM)을 사용하였다.

프로젝터로부터 투사된 스테레오 영상을 사용자가 삼차원적으로 인식할 수 있도록 하기 위하여 사용한 스테레오 글래스는 Stereographics사의 CrystalEyes 3 또는 NuVision사의 60GX이며 Infrared Emitter를 통하여 스크린 상에 투사된 영상과 스테레오 글래스 사이의 동기화가 이루어지도록 하였다.

렌더링을 위한 툴킷으로는 AVALON[13]을 사용하였다. AVALON은 ISO/IEC 14772에 의해 표준으로 지정된 VRML 97에 정의된 모든 노드들을 사용할 수 있도록 해 줄 뿐만 아니라 새로운 노드를 정의하거나 기존 노드에 새로운 필드와 이벤트를 추가함으로써 그 기능을 확장할 수 있도록 설계된 툴킷이다. 따라서 가상위크벤치와 프로젝션 월에 적합한 새로운 형태의 인터랙션과 그에 따른 렌더링 효과를 쉽게 추가할 수 있다.

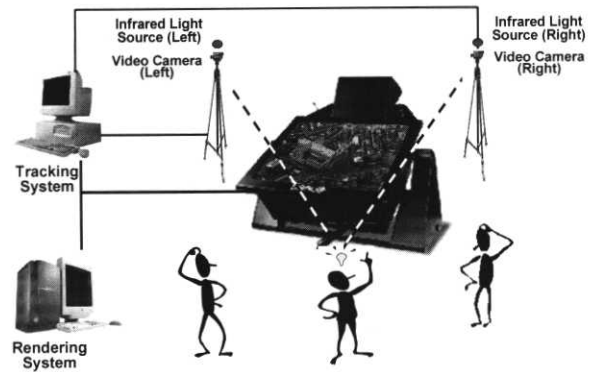
4.2 사용자 위치추적 및 인터랙션

본 연구에서 이용한 비전기반 트래킹 방식은 마그네틱이나 기계식 트래킹 방식과 달리 케이블을 필요로 하지 않기 때문에 사용자 이동에 대한 제약이 상대적으로 적다. 또한 카메라를 추가함으로써 트래킹 영역을 쉽게 확장할 수 있기 때문에 넓은 트래킹 영역을 필요로 하는 프로젝션 기반의 가상 공간을 구축할 때 유용하게 사용될 수 있다[14].

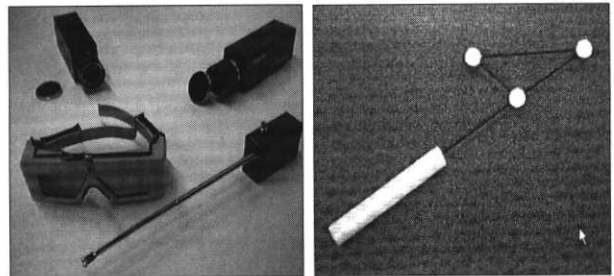
두 대의 비디오 카메라로부터 입력된 영상을 분석하여 사용자의 위치를 나타내는 랜드마크를 식별하고, 그 위치와 변화된 값을 계산하여 삼차원 공간상에서 사용자의 위치 추적이 가능하다. 랜드마크는 적외선 반사체를 이용하여 만들었으며 사용자가 착용하고 있는 셔터 글래스의 중앙에 부착하였다. 비디오 카메라는 Sony사의 XC55(30frame/sec)를 사용하였으며 보다 넓은 트래킹 영역을 확보 하기 위하여 광각렌즈를 사용하였다. 또한 카메라로 입력되는 가시광선을 차단하고 적외선 라이트 소스(파장 940nm)에 의해 반사되는 랜드마크만 추적할 수 있도록 하기 위하여 카메라 렌즈 앞에 적외선 필터(약 750nm이하의 광선 차단)를 부착하였으며 디지털화 된 스테레오 카메라 영상을 실시간으로 획득하기 위하여 Metrox사의 Meteor2-MC/4 frame-grabber card를 트래킹 서버에 장착하였다. 트래킹을 위한 툴킷으로는 Squint[15]를 이용하였다. 즉, 입력 받은 카메라 영상으로부터 삼차원 공간상의 사용자 위치를 계산하여 렌더링 서버로 보내줌으로써(12~14frame/sec) 사용자의 위치를 고려하여 가상 객체들을 렌더링 해준다.

(그림 3)(a)는 수평형태의 프로젝션 기반 반물입 가상 공간을 구축하기 위한 여러 장비들의 연결도와 주사용자의 위치가 비디오 카메라에 의해 추적되고 있는 구조이다. (그림 3)(b)와 (그림 3)(c)는 이러한 가상 환경에서 사용되

는 사용자 인터랙션 장비들을 보여준다. (그림 3)(b)는 셔터글래스에 부착되어 있는 랜드마크를 식별하여 사용자의 위치를 파악하는데 사용되는 비디오 카메라, 입체 디스플레이를 제공받기 위한 셔터글래스, 카메라 캘리브레이션을 수행하기 위한 캘리브레이션 스틱을 보여주고 있다. (그림 3)(c)는 사용자의 행위를 가상 세계에 전달하기 위한 입력 도구인 삼차원 포인터로써 삼각형을 이루고 있는 작은 구들은 적외선에 반사되는 반사 테이프를 사용하여 만들어진 것이다.



(a) 비전기반 트래킹 방식을 이용한 프로젝션 테이블 가상 환경 구성도

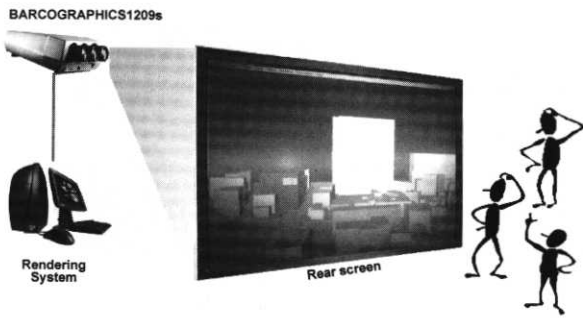


(b) 카메라, 스테레오 글래스, 캘리브레이션 스틱

(c) 삼차원 포인터

(그림 3) 수평형 프로젝션 시스템을 이용한 반물입 가상환경 구성도 및 삼차원 인터랙션 도구

(그림 4)는 후방투사형 프로젝션 월을 이용하여 실물과 유사한 크기로 건물의 정면 혹은 측면을 가시화할 수 있도록 해주는 반물입형 가상 환경을 보여준다. 구축된 가상 환경은 그림에서 보는 것과 같이 사용자와의 인터랙티브한 상호작용 보다는 가상테이블 상에서의 디자인 된 결과를 관찰할 수 있는 형태로 사용하였다. 현재는 마우스 조작을 통해 다양한 뷰를 대형 화면에 디스플레이하거나 가상 세계를 네비게이션 하는 장면을 여러 사람들이 함께 볼 수 있도록 하였다. 프로젝션 월은 프로젝션 테이블과 다른 뷰잉 시스템을 갖기 때문에 프로젝션 테이블에서 효과적으로 나타내기 어려운 시점을 가시화하여 여러 사람들이 함께 볼 수 있기 때문에 프로젝션 테이블을 이용한 가상 환경과 상호 보완적인 역할을 수행할 수 있다.



(그림 4) 수직형 프로젝션 시스템을 이용한 반물입 가상 환경 구성도

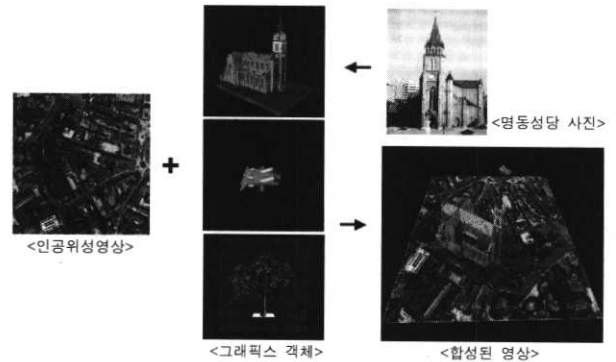
5. 객체와 배경 영상의 합성 및 주사용자 시점에 따른 가시화

사용자와 가상 객체간의 실시간 상호작용은 가상 현실 시스템의 필수 요건 중 하나이다. 이를 위하여 사용자 위치를 지속적으로 추적하여 사용자의 움직임에 따른 시점 변화 및 사용자의 행위에 따라 변화하는 가상 객체의 상태를 매순간 반영하여 가상 세계 전체를 다시 렌더링 하는 작업이 지연 없이 수행 되어야 한다. 이와 같이 빈번하게 발생하는 변화를 가상 세계에 실시간으로 반영하기 위하여 대부분의 경우 고성능고비용의 렌더링 시스템을 사용하게 되지만 가상 세계를 구성하는 삼차원 객체의 데이터 양이 방대해지면 이러한 시스템을 이용하더라도 사용자와의 상호작용에 따른 빈번한 변화를 재계산하여 렌더링 하기에는 여전히 오랜 시간이 소요된다. 이와 같은 사용자의 행위와 행위에 따른 가상세계의 변화 사이에 발생하는 시간적 지연은 가상현실의 주요 요소 중 하나인 현실감을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다.

이와 같이 문제점을 보완하기 위하여 그림이나 사진 등의 영상을 입력 받아 모델링이나 렌더링에 필요한 정보를 얻게 되는 영상기반 모델링이 널리 이용되고 있다. 그러나 이 방법을 이용하여 가상 세계를 구축하였을 경우에는 가상 세계와 사용자간의 상호작용을 수행하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 영상 기반 모델링을 이용한 가상 환경은 사용자와의 인터랙션이 필요하지 않은 어플리케이션에 주로 이용되고 있다.

본 논문에서는 가상 세계 내에서 사용자와의 상호작용을 필요로 하거나 가까운 곳에 위치하기 때문에 사용자가 느끼는 현실감에 큰 영향을 미치는 주요 객체들은 사실적으로 보여지도록 하기 위하여 입체 디스플레이가 가능한 삼차원 모델로 생성하고, 사용자와의 상호작용이 이루어지지 않을 뿐만 아니라 먼 거리에 있기 때문에 자세한 표현을 필요로 하지 않는 배경 영상은 실영상인 위성 영상으로 대체한 후 이들을 합성하였다. 특히 주객체인 명동 성당은 삼차원 스캐너(CyRax)를 이용함으로써 보다 정확하고 사실적

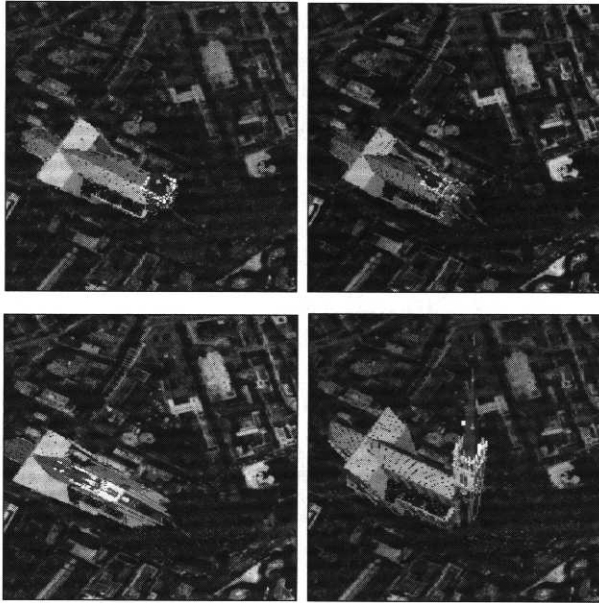
인 삼차원 객체를 생성[16] 하였다. 이와 같은 방법을 이용하면, 가상 객체와 함께 실제 영상을 보여줌으로써 삼차원 그래픽스 객체로만 이루어진 가상 공간보다 증대된 현실감을 느낄 수 있고 사용자와의 상호작용을 보다 빠르게 수행할 수 있기 때문에 효율적이다. 합성된 결과는 4장에서 기술한 수평 및 수직형 프로젝션 시스템인 프로젝션 테이블과 프로젝션 월의 각 특성을 살릴 수 있도록 디스플레이되었다. (그림 5)는 사용자와 근거리에 위치하는 명동 성당과 주변의 나무 및 비행기의 삼차원 그래픽스 모델과 위성 영상을 혼합하는 과정을 보여주고 있다.



(그림 5) 배경영상(인공위성영상)과 삼차원 그래픽스 객체(명동성당, 비행기, 나무)들의 혼합과정 및 합성된 결과영상

(그림 6)은 위에서 제시된 방법에 의하여 이차원 배경 영상과 삼차원 그래픽스 모델들을 합성하여 제작한 가상 세계를 프로젝션 테이블과 프로젝션 월에 디스플레이하기 위한 결과 화면들이다. (그림 1)에서 보는 것과 같이 프로젝션 테이블과 프로젝션 월은 서로 다른 형태의 뷰잉 프러스트럼을 갖기 때문에 각 디스플레이 장비의 특성에 따라 가상 세계가 효과적으로 보여지도록 시점을 지정해 주었다. 즉, 수평형의 프로젝션 테이블에서는 위에서 내려다보는 시점에서 가상 세계를 렌더링 하였으며 수직형의 프로젝션 월에서는 사용자가 건물의 앞에 서서 건물의 정면이나 측면을 바라보는 시점을 갖도록 하였다. (그림 6)(a)는 (그림 3)(a)와 같이 구성되어 있는 프로젝션 테이블을 이용한 가상 환경 시스템에서 헤드 트랙터를 착용하고 있는 주 사용자의 움직임에 따라 변화되는 가상 세계를 차례로 보여주고 있다. 이와 같이 프로젝션 테이블 상에서는 Bird-Eye View를 효과적으로 보여줄 수 있기 때문에 건축 어플리케이션에서는 건물의 조감도나 건물을 포함한 주변 환경을 한눈에 보는데 유용하게 이용될 수 있다. (그림 6)(b)는 (그림 4)와 같이 구성되어 있는 수직형 프로젝션 월에서 건물의 측면을 디스플레이하고 있는 결과 화면이다. 이와 같은 환경에서는 실물과 유사한 크기의 모델을 디스플레이할 수 있기 때문에 디자인 된 건축물의 실제 모습을 시뮬레이션 해 볼 수 있고 주변을 돌아보면서 네비게이션하는 건축

어플리케이션에 효과적으로 이용될 수 있다.



(a) 주 사용자의 움직임에 따라 변화하는 프로젝션 테이블 상에서의 결과 영상

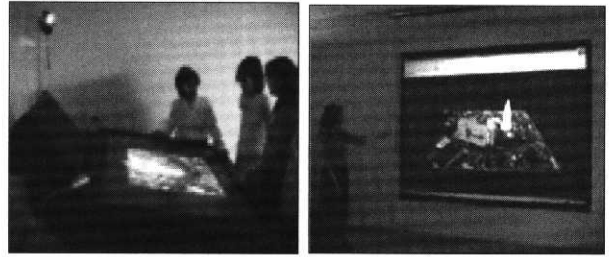


(b) 프로젝션 월에서의 건물 측면 디스플레이

(그림 6) 프로젝션 테이블과 프로젝션 월에 디스플레이 하기 위한 상이한 시점의 가상 세계

(그림 7)은 (그림 6)의 결과 화면을 실제로 프로젝션 테이블과 프로젝션 월에 각각 디스플레이하고 이를 입체적으로 인식하기 위하여 서터 글래스를 쓰고 가상 세계를 경험하고 있는 사용자들의 모습이다. (그림 7)(a)는 프로젝션 테이블을 이용하여 배경 영상을 포함하는 명동 성당을 위에서 내려다보는 시점으로 관찰하고 있는 장면이고, (그림 7)(b)는 동일 가상 환경을 시점만 전환하여 대형 프로젝션 월에서 명동 성당의 측면 및 그 주변 환경을 실제와 유사한 상황에서 관찰하고 있는 모습이다. 프로젝션 테이블에서는 사용자의 위치에 따른 시점의 변환이 이루어지지만, 프로젝션 월은 수동적인 가상 환경으로 구축하였기 때문에 사용자와의 직접적인 인터랙션은 배제하였고 다수의 사용자가 동시에 커다란 화면을 공유하면서 가상 세계를 경험할 수 있도록 하였다. 따라서 두 대의 시스템을 함께 사용하여 동일한 모델을 서로 다른 시점에서 관찰할 수 있도록 함으로써 두

시스템이 상호 보완적인 역할을 수행할 수 있다.



(a) 가상테이블에서의 결과화면 디스플레이

(b) 프로젝션 월에서의 결과화면 디스플레이

(그림 7) 수평 및 수직형 가상 환경 상에서 배경 영상과 건축 모델의 합성 결과 시각화 및 이를 관찰하는 사용자

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 프로젝션 기반 가상 현실 시스템의 특징과 종류를 살펴보고, 프로젝션 테이블과 프로젝션 월을 이용하여 수평 및 수직 형태의 가상 공간을 구축하는 방법에 대하여 기술하였다. 수평형 디스플레이 장비를 이용한 가상 환경은 책상이나 테이블 형태의 작업을 재현하는데 적합하며, 수직형 디스플레이 장비를 이용하여 구축한 가상 환경은 가상 네비게이션에 유용하였다. 또한 가상 공간을 구성하는 데이터 양을 줄이기 위해 배경영상과 삼차원 건물 모델을 합성함으로써 사용자와 가상 객체간의 상호작용을 보다 빠르게 하였다. 프로젝션 테이블에서는 주사용자의 위치와 시점에 연동하여 렌더링하는 방식으로 건물을 입체적으로 가시화 하였으며, 프로젝션 월에서는 사용자의 인터랙션이 반영되지 않는 수동적인 가상공간을 구축하였고 건물을 실물과 유사한 크기로 입체 가시화하고 이를 여러 사용자가 함께 관찰할 수 있도록 하였다. 이와 같이 서로 다른 뷰잉 프러스텀을 갖는 수평 및 수직형 프로젝션 시스템을 이용하여 동일 모델을 각 시스템의 특성에 맞도록 서로 다른 시점으로 보여지도록 하여 상호 보완적인 역할을 수행할 수 있도록 하였다.

향후 연구로는 본 연구에서 서로 다른 특성을 갖는 복합적인 성격을 갖는 어플리케이션에 적합하도록 각각의 시스템을 연동하여 프로젝션 테이블 상에서는 인터랙티브하게 빌딩을 모델링하면서 프로젝션 월에서는 모델링 된 빌딩을 네비게이션할 수 있도록 할 예정이다. 나아가 서로 다른 작업 단계를 진행하면서 협동작업을 할 수 있는 시스템으로 확장하고자 한다.

참고 문헌

- [1] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin and T. A. DeFanti, Surround-screen projection-based virtual reality : The design and implementation of the CAVE, Proceedings of ACM SIG

GRAPH '93, pp.135-142, 1993.

[2] Dave Page, Dan Sandin, "Quality Evaluation of Projection-Based VR Displays," IPT 2000 : Immersive Projection Technology, Amer IA, June, 2000.

[3] Rosenblum, L. J., J. Durbin and R. Doyle, The Virtual Reality Responsive Workbench : Applications and Experiences, Proceedings of British Computer Society Conference on Virtual Worlds on the WWW, Internet, and Networks, Bradford, UK, April, 1997.

[4] Kreuger, W. and B. Froehlich, "The Responsive Workbench," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.14, No.3, pp.12-15, May, 1994.

[5] Kreuger, W. and C. Bohn, B. Froehlich, H. Schueth, W. Strauss and G. Wesche, "The Responsive Workbench : A Virtual Work Environment," IEEE Computer, Vol.28, No.7, pp.42-48, July, 1995.

[6] M. Koutek and F. Post, A Software Environment for the Responsive Workbench, Proceedings of the seventh annual conference of the Advanced School for Computing and Imaging, ASCI, pp.428-435, May/June, 2001.

[7] Murali Paranandi, Tina Sarawgi, VR in Architecture vs. Architecture in VR : A Critique.

[8] R. Lagendijk, J. Heijndijk, A. Pimentel, M. Wilkinson, eds., Immersive VR for Scientific Visualization : A Progress Report, ASCI 2001-Proceedings of the seventh annual conference of the Advanced School for Computing and Imaging, ASCI, pp.26-52, May/June, 2001.

[9] Medical Readiness Trainer MRT, <http://www-vr1.umich.edu/mrt/>, 2002.

[10] The Temenos Project, <http://www.reconstructions.org/frames.html>, 2002.

[11] Conceptual Design Space, <http://www.cc.gatech.edu/gvu/virtual/DVE/DVE.html>, 2002.

[12] Virtual Architecture Design Tool, <http://www.vrac.iastate.edu/research/architecture/VADeT/index.html>, 2002.

[13] J. Behr and A. Frohlich, "AVALON, an Open VRML VR/AR System for Dynamic Application," Computer Graphics Topics, Vol.10, No.1, pp.28-30, 1998.

[14] 김효선, 프로젝션 월 환경에서의 카메라를 이용한 실시간 헤드 트래킹, 이화여자대학교 컴퓨터학과 석사학위논문, 2002.

[15] K. Dorfmueller and H. Wirth, "Real-Time Hand and Head Tracking for Virtual Environments using infrared Beacons," *International Workshop on Modelling and Motion Capture Techniques for Virtual Environments*, CAPTECH '98, Geneva, Switzerland, Nov., 1998.

[16] WIPCO, <http://www.wipco.co.kr>, 2002.

[17] <http://www.cg.tuwien.ac.at/research/vr/studierstube/vt/landscaping/>.

[18] L. M. Encarnaço, A. Stork, D. Schmalstieg, R. Barton III "The Virtual Table - A Future CAD Workspace," Proceedings of Computer Technology Solutions conference, Michigan, Detroit, USA, September, 1999.

[19] ARCADE : <http://www.cg.tuwien.ac.at/research/vr/studierstube/arcade/>.

[20] Responsive Workbench : Roof-gutter assembly sequence, <http://graphics.stanford.edu/projects/RWB/roof/>.

[21] Anton. L. Fuhrmann, Jan Prikryl and Robert. F. Tobler, "Interactive Content for Presentations in Virtual Reality," Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, Baniff, Alberta, Canada, 2001.

[22] Russell K. Pearl, M. D., Ray Evenhouse, Mary Rasmussen, Fred Dech, Jonathan C. Silverstein, M. D., Sean Prokasy, Walter B. Panko, "The Virtual Pelvic Floor, a Tele-Immersive Educational Environment," American Medical Informatics Associations(AMIA), 1999.

[23] 류용효, "자동차회사 VR 활용사례연구", 제12회 HCI 2003 HCI CG VR DESIGN 학술대회논문집2, pp.131-136.

이 선 민



e-mail : blue@ewha.ac.kr
 1999년 이화여자대학교 컴퓨터학과(학사)
 2001년 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과(공학석사)
 2001년~현재 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과 박사과정

관심분야 : 가상및증강현실, 사용자 인터랙션, 영상가시화 등

최 수 미



e-mail : smchoi@sejong.ac.kr
 1993년 이화여자대학교 전자계산학과(학사)
 1995년 이화여자대학교 대학원 전자계산학과(이학석사)
 2001년 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과(공학박사)

2001년~2002년 이화여자대학교 컴퓨터 그래픽스/가상현실 연구센터 연구 전담 교수

2002년~현재 세종대학교 소프트웨어공학과 전임강사

관심분야 : 형상 모델링, 영상 가시화, 가상현실 등

김 명 희



e-mail : mhkim@ewha.ac.kr
 1979년 서울대학교 계산통계학과(석사)
 1986년 독일 괴팅겐대학교 전자계산학과(박사)
 1987년~현재 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수

1998년~현재 이화여자대학교 컴퓨터 그래픽스/가상현실 연구센터 센터장

관심분야 : 영상가시화, 시뮬레이션 및 가상현실 등