

# CAVE 환경에서의 문화재 가상협업 환경 구축 - 가상 경복궁 1868

허영주\*, 이종연\*\*, 조민수\*\*\*  
한국과학기술정보연구원(KISTI)  
e-mail : [poepa@kisti.re.kr](mailto:poepa@kisti.re.kr)

## Implementation of Virtual Collaboratory on CAVE Environments – Virtual KyungBok Palace 1868

YoungJu Hur\*, JoongYeon Lee\*\*, MinSu Joh\*\*\*  
Korea Institute of Science and Technology Information

### 요 약

몰입형 가상현실 시스템의 발전은 더욱 현실감 있는 가상 현실의 구현을 가능케 했으며, 이런 몰입형 가상 현실의 현실감으로 인해 자동차 설계나 시뮬레이션 실험 등의 공학 분야에서부터 의료 분야에 이르기까지, 가상 현실은 그 실용 범위를 꾸준히 넓힐 수 있었다. 최근에는 문화재 복원 분야에 몰입형 가상현실 시스템을 사용하는 연구가 활발하게 이뤄지고 있으며, 가상현실과 네트워크 환경을 접목해서 원거리에 있는 시스템 사용자들 간에 콘텐츠를 공유하고 상호작용을 교류하는 가상 협업 시스템도 실용화 단계에 이르렀다.

본 논문에서는 가상협업환경에 가상 문화재 복원이라는 콘텐츠를 접목시킨 소프트웨어의 설계와 구현에 대해 논한다. 복원에 사용된 콘텐츠는 1868년 흥선대원군이 증건했을 당시의 경복궁이며, 경복궁의 3D 모델링 데이터를 몰입형 가상 현실 시스템인 CAVE 환경에서 가시화하고 협업 환경을 구축하는데 구현의 초점을 맞추었다. 몰입형 가상 현실을 사용한 협업 시스템은 협업환경을 필요로 하는 모든 응용 분야를 확장해서 사용자의 이해도와 체험도를 최대한 이끌어낼 수 있으므로, 향후 다양한 분야로 그 범위를 확장해서 적용할 수 있다.

### 1. 서론

가상현실 시스템은 기술의 발전과 함께 비약적인 발전을 거듭해 왔으며, 현재는 다양한 분야에서 그 실용성을 입증, 사용되고 있다. 그 중에서도 투사 기반 몰입형 가상현실 시스템은 실제감을 강조한 가상현실의 구현을 가능케 했으며, 공학 분야의 자동차 설계나 시뮬레이션 실험에서부터 의료 분야의 고소공포증 치료에 이르기까지 다양한 분야에서 사용되고 있다. 이런 가상현실 시스템의 가장 큰 특징은 실제하는 물체를 시뮬레이션할 뿐만 아니라 실제로 존재하지 않는 물체나 상황을 체험할 수 있게 해준다는 것이다[8].

이런 가상현실의 특성을 적극적으로 활용할 수 있는 분야 중 한가지로 디지털 문화재 복원을 들 수 있다. 디지털 문화재 복원이란 가상현실 미디어 기술을

가지고 고대 문화를 재현하는 것으로, 현재 존재하지 않는 문화재, 존재하지만 불완전하게 존재하는 문화재, 혹은 비교적 온전한 모습으로 존재하는 문화재를 3차원 디지털 데이터로 복원[10]하여 가상현실 시스템에서 체험할 수 있게 해주는 것이다.

이렇게 복원된 가상현실 문화재는 문화 유산에 대한 보존 연구라는 학술적인 의의도 크지만, 원거리에 있는 시스템간에 콘텐츠를 공유하고 상호 작용을 교류할 수 있게 해주는 가상 협업 기술을 접목하면 문화 유산에 대한 교육 및 학습 효과도 기대할 수 있다.

본 논문에서는 가상현실 시스템과 문화재 복원이라는 콘텐츠를 결합시키고 가상 협업 기능을 추가한 소프트웨어의 설계와 구현에 대해 논한다. 본 논문에서 사용한 콘텐츠는 조선왕조의 법궁인 경복궁의 전각 일부(근정전, 근정문, 흥례문, 광화문)이며, 현재의 경

복궁 모습이 아닌 흥선대원군의 중건 당시(1868 년)의 경복궁 모습을 고증 작업을 거쳐 복원했다. 가상현실 시스템으로는 투사기반 몰입형 가상현실 시스템인 CAVE[2]를 사용했으며, 가상현실 분야가 아닌 단일 스크린용 소프트웨어도 제작, 그 렌더링 성능을 상호 비교했다. 또, 가상협업 기능을 추가함으로써 원격지의 사용자가 시간과 비용을 들이지 않고도 경복궁의 모습을 직접 경험하고 체험할 수 있게 했다. 여기에 필요한 통신 기능은 ATLAS[7]를 사용하여 구축했다.

## 2. 하드웨어

본 프로젝트를 수행하는데 사용된 가상현실 시스템은 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 보유하고 있는 CAVE® 시스템인 SeeMore 다. SeeMore 는 스크린 5 개, 프로젝터 5 개를 갖춘 몰입형 가상현실 시스템으로 렌더링에 SGI 의 Onyx 3400 을 사용한다. 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 보유하고 있는 Onyx 3400 의 사양은 다음과 같다.

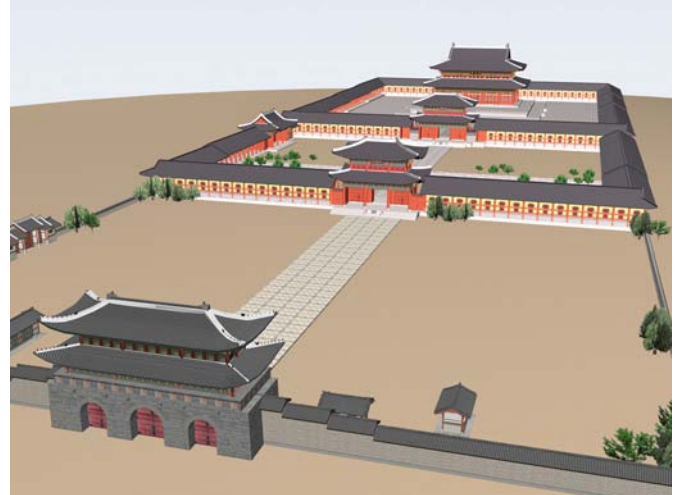


그림 1. 경복궁 모델링 전경

항목	사양
Processors	MIPS R12000 400MHz, 20 CPUs
System Memory	6GB
OS	IRIX 6.5x
Graphics Pipeline	5 InfiniteReality 3
Texture Memory	256MB
Graphic Processing Capability	65,000,000 Poligons/sec 2,240,000,000 Pixels/sec
Frame Buffer	800MB

표 1. KISTI 의 SGI Onyx 3400 사양

CAVE 시스템은 투사 기반 시스템으로써, 기존의 HMD 나 BOOM 과는 달리 사용자의 시야가 가상현실 내로 한정되어 있지 않으므로, 사용자가 현실세계와 가상현실을 동시에 체험할 수 있다[4]. 또, 여러 사용자가 동시에 가상현실을 체험할 수 있게 해주므로, 일단의 그룹이 공동으로 동일한 가상현실을 체험하게 하는데 유리하다.

SeeMore 는 셔터 글래스를 사용, 입체영상을 체험할 수 있으며, 셔터 글래스는 적외선 신호를 사용하여 렌더링 컴퓨터와의 동기를 맞춘다. 또, 주(主) 셔터 글래스에 부착된 트래커를 통해 사용자의 위치와 시선 등의 정보를 주고받음으로써 입체 영상을 사용자에게 최적화시켜서 나타낼 수 있다. 여기에 사용되는 3 차원 위치좌표 검출 및 입력장치로는 Intersense 사의 IS-900 을 사용했다.

## 3. 어플리케이션 구현

### 3.1 모델링 및 장면 구성

가상현실 시스템에서는 수많은 폴리곤이 실시간으로 렌더링되어야 하며, 사용자와의 실시간 상호 작용도 고려해야 한다. 그러므로, 가상현실 시스템에서 사용할 모델링 데이터를 제작할 경우에는 시스템의 성능을 고려해서 모델링 데이터를 제작함으로써, 실시간 렌더링에 어려움이 없게 해야 한다.

즉, 모델링을 상세하게 표현할수록 가상현실 시스템에서의 성능 저하를 나타나게 되어 가상현실의 현실감을 저하시키는 역할을 하게 된다. 이런 현실감 저하를 방지하기 위해, 모델링 데이터의 전체 폴리곤 개수는 15 만개 이하로 제한했으며, 각 전각과 행랑의 모델링 데이터를 서로 분리해서 제작함으로써 사용자의 위치와 시선 방향에 따른 영역 관리 기법을 적용, 렌더링 성능을 안정화했다.

모델링 데이터를 구현하는 방법에는 스프라인, 폴리곤, 솔리드 방식이 있는데, 가상 경복궁에서 사용한 방식은 폴리곤 방식이다. 모델링 데이터는 Maya 3.0 과 3D studio MAX 3.0, 그리고 Softimage 를 사용하였으며, PolyTrans 를 사용해서 모델링 데이터를 멀티젠(.flt) 과 일로 변환했다.

### 3.2 어플리케이션 구현

어플리케이션 구현에는 기본적으로 C++ 프로그래밍 언어를 사용했다. 그래픽 렌더링 기능 구현에는 SGI 의 OpenGL Performer[1]를 사용해서 모델링 데이터를 가시화했으며, 가상현실 시스템의 제어와 사용자와의 상호 작용은 CAVELib™으로 구현했다(그림 2). 또, 협업에 사용되는 통신 기능은 ATLAS[7]를 사용해서 구현함으로써 모델링 데이터를 가시화하는 그래픽 렌더링 기능과는 독립적으로 사용할 수 있도록 했다.

경복궁의 모델링 데이터는 3D studio Max 3.0 으로 제작한 후, 멀티젠(.flt) 양식에서의 변환을 거쳐서 최

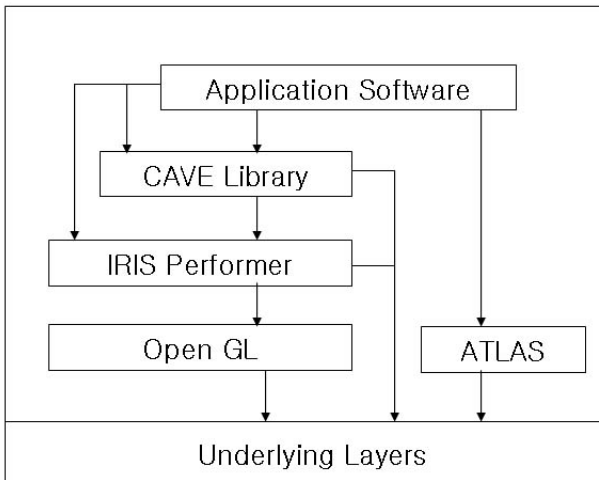


그림 2. 소프트웨어 프레임워크

종적으로 퍼포머(.pfb) 양식으로 변환해서 사용함으로써 OpenGL Performer 에서 최적의 성능을 낼 수 있도록 했다. 또, 가상현실 환경 및 사용자와의 상호 작용은 CAVELib™ 으로 구현했다. 이런 구조의 어플리케이션은 가상현실 응용 프로그램에서는 많이 사용되는 형태로, 콘텐츠의 용도에 따라 여러 형태로 기능을 확장할 수 있다는 장점을 가진다.

3.3 영역 관리

어플리케이션에 사용되는 모델링 데이터를 한꺼번에 모두 로딩하는 경우에는 렌더링해야 하는 폴리곤의 개수가 상당히 때문에, 실시간 탐색시 프레임 레이트가 떨어질 수밖에 없다. 이 어플리케이션에서는 영역 관리 기법을 사용, 프레임 레이트를 일정하게 유지할 수 있게 했으며, 사용자의 움직임에 제약을 두어서 전체 데이터를 로딩해야하는 경우가 발생하지 않도록 했다.

건물을 모델링하는 경우에는 모델링 데이터를 조망하는 시야가 벽에 의해 가로막혀 있는 경우가 많다. 이런 경우, 벽 너머로 보이지 않는 구조물까지 렌더링

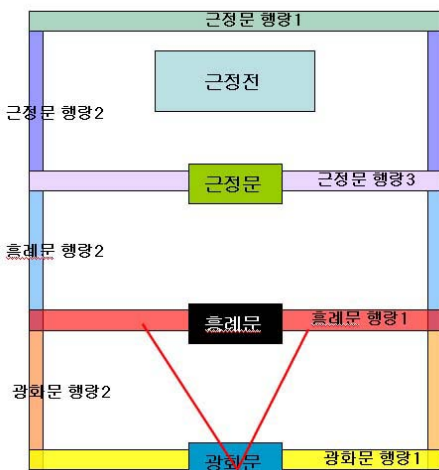


그림 3. 영역 관리 기법

하는 것은 의미없는 성능 저하를 초래한다. 본 어플리케이션에서 전체 폴리곤 데이터를 모두 렌더링했을 때, Onyx 3400 의 경우 15 만개 폴리곤 렌더링에 초당 9frame 정도의 성능을 내는데 그쳤다. 그러나, 모델링 데이터를 적절한 크기로 분리하고, 사용자의 시선 방향과 위치를 적절히 이용해서 불필요한 폴리곤의 렌더링을 방지하면 성능을 훨씬 향상시킬 수 있다.

예를 들어, 그림 3 에서와 같이 사용자가 광화문에서 근정전 쪽을 바라보고 있을 때, 광화문, 광화문 행랑 1 을 비롯해서 흥례문 행랑 2, 근정문 행랑 1, 근정문 행랑 2 는 모두 사용자의 시야에서 벗어나 있는 데이터다. 이 때, 신 그래프(scene graph)에서 불필요한 모델링 데이터를 제거하면, 프레임 레이트를 향상시킬 수 있다. 즉, 사용자의 위치와 시선 방향에 따라 신 그래프를 조절하는 영역 관리 기법을 사용, 프레임 레이트를 향상시켰다.

3.4 통신 모듈

본 어플리케이션에서는 협업 기능 구현을 위한 통신을 위해 ATLAS[7]를 사용했다. ATLAS 는 한국정보통신대학교에서 개발한 분산 가상환경을 위한 확장성 있는 네트워크 프레임워크이며, 피어간에 멀티캐스트를 통한 그룹 통신 및 서버와의 일대일 통신도 가능한 피어/서버 모델을 기본 통신 구조를 채택하고 있다. 그림 4 는 ATLAS 의 전체 구조를 나타내며, ATLAS 는 세션 관리 모듈, 영역 관리 모듈, 네트워크 관리 모듈로 구성되어 있다.

협업 기능은 피어와 서버간 통신은 안전한 프로토콜인 TCP 를 사용했고, 피어들 간의 통신에서는 피어의 수가 많아질 경우에 대비, 멀티캐스트를 사용해서 구현했다. 단, 현재 많은 네트워크에서 멀티캐스트를 지원하지 않기 때문에, UDP 방식의 유니캐스트도 병용하도록 했다.

또, 접속하고자 하는 서버의 주소, 포트 번호, 로그

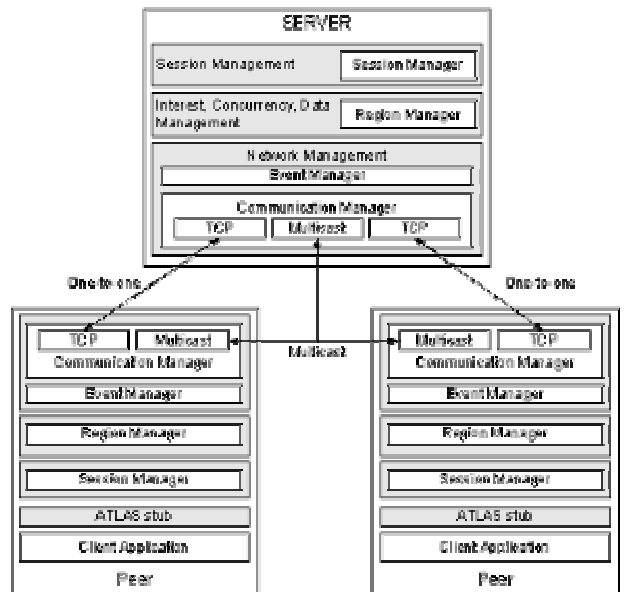


그림 4. ATLAS 구조

인 이름, 세션 이름 등과 같은 정보를 매번 입력시키지 않아도 자동으로 접속할 수 있도록 atlas.conf 라는 설정 파일을 두어 사용의 편리성을 향상시켰다.

기본적으로 ATLAS 라이브러리는 Windows 와 Linux 버전만 제공되기 때문에, 본 어플리케이션에서는 IRIX 버전으로 포팅해서 사용했다.

**4. 결과**

Onyx 3400 에서 5 면으로 CAVE 시스템에 모델링을 투사해서 탐색한 결과, 모델링 데이터의 폴리곤 개수에 대해 측정된 프레임 레이트는 표 2 와 같다.

폴리곤 개수	프레임 레이트
27000	19.6 frames/s
62000	15.5 frames/s
81000	12.6 frames/s
101000	11.3 frames/s
140000	10.1 frames/s
147000	9.3 frames/s

표 2.5 면 투사시 렌더링 성능

반면, 같은 Onyx 3400 으로 렌더링했을 때, 스크린 한 면에 투사하는 경우, 그 렌더링 성능에 있어 큰 차이를 확인할 수 있다.

폴리곤 개수	프레임 레이트
27000	29.5 frames/s
62000	27.4 frames/s
81000	24.6 frames/s
101000	21.2 frames/s
140000	20.3 frames/s
147000	19.5 frames/s

표 3. 단면 투사시 렌더링 성능

표의 수치를 비교하면 알 수 있듯이, 5 면 CAVE 환경을 사용할 경우, 렌더링 성능이 저하되는 현상을 볼 수 있다. 이는 CAVE 환경의 특수성 때문인데, 각 면에 대한 동기를 맞추는 등의 렌더링 이외의 부하가 가중되기 때문에 발생하는 현상이다.

일반적으로, 인간은 10frames/s 이상의 속도에서 자연스러운 움직임을 체험할 수 있다[8]. 이를 위해, 3.3 절에서 설명한 영역관리 기법을 채용, 사용했으며, 이 기법으로 프레임 레이트를 15 만개 폴리곤 데이터에서 12.5 frames/s 까지 향상시킬 수 있었다.

또, ATLAS 를 사용, 통신 기능을 추가해서 서로 상대방의 아바타를 보면서 상호 작용을 할 수 있게 했으며, 서로 상대방이 내비게이션하는 장면을 볼 수 있게 해주는 협업 기능을 구현했다.



그림 5. 협업기능을 추가한 경복궁

**참고문헌**

[1] John Rohlf, James Helman. IRIS Performer: A High Performance Multiprocessing Toolkit for Real-Time 3D Graphics. In Proceedings of SIGGRAPH '94 Computer Graphics Conference, ACM SIGGRAPH, August 1994, pp.381-395.

[2] Marek Czernuszenko, et al. The ImmersaDesk and Infinity Wall Projection-Based Virtual Reality Displays. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, May 1997, pp.46-49.

[3] Jason Leigh, Andrew E.Johnson, Thomas A. Defanti. Issues in the Design of a Flexible Distributed Architecture for Supporting Persistence and Interoperability in Collaborative Virtual Environments, In Proceedings of the 1997 ACM/IEEE conference on Supercomputing, Nov 1997, pp.1-14.

[4] Athanasios Gaitatzes, et al. Reviving the past: Cultural Heritage meets Virtual Reality, In Proceedings of the 2001 conference on virtual reality, archeology, and cultural heritage, Nov 2001, pp.103-110.

[5] Alonzo C. Addison, et al. Virtual Heritage – Technology in the Service of Culture, In Proceedings of the 2001 conference on virtual reality, archeology and cultural heritage, Nov 2001, pp.343-354.

[6] J.Willmott, D.B.Arnold. Rendering of Large and Complex Urban Environments for Real time Heritage Reconstructions, In Proceedings of the 2001 conference on virtual reality, archeology, and cultural heritage, Nov 2001, pp.111-120.

[7] Dongman Lee, et al. ATLAS-A Scalable Network Framework for Distributed Virtual Environments, In Proceedings of ACM Collaborative Virtual Environments(CVE 2002), Sep 2002, pp.47-54

[8] William R.Sherman, Alan B.Craig. Understanding Virtual Reality. Morgan Kaufmann, 2003

[9] 허영주, 이종연, 김대엽, 조민수. CAVE 환경에서의 문화재 복원과 가상협업환경의 설계 및 구현 - 가상 경복궁 1868, HCI 학술대회, 2004

[10] 박소연, 박진호. 3 차원 아카이브(archive) 기술과 로우 폴리곤(low-polygon) 모델링을 이용한 CAVE 용 VR 콘텐츠 개발, HCI 학술대회, 2004