

가상현실 자전거 시뮬레이터에서 시각화 네트워크

이종환*, 한순홍*

Networked Visualization for a Virtual Bicycle Simulator

Lee, J.H.* and Han, S.H.*

ABSTRACT

This paper presents the visualization method of the KAIST interactive bicycle simulator. The simulator consists of two bicycles of 6 DOF and 4 DOF platforms, force feedback handlebars and pedal resistance systems to generate motion feelings; a real-time visual simulator, a HMD and a beam projection system; and a 3D sound system. The system has an integrating control network with the server-client network structure for multiple simulators. The visual simulator generates dynamic images in real-time while communicating with other modules of the simulator. The operator of the simulator can have realistic visual experience of riding on a velodrome or through the KAIST campus, while being able to watch the other bicycle with an avatar.

Key words : Bicycle Simulator, Multiple participants, Networked visualization, Virtual Reality

1. 서 론

운동감을 동반한 3차원 가상현실 기술은, 실제 비행기나 자동차 등의 탈 것들에 대한 현실감을 그대로 재현하기 위한, 시뮬레이터 기술로써 발전되어 왔다. 군사용 분야에서는 항공기, 탱크, 대포, 전투함 등의 실전 훈련의 대체용으로, 민간분야에서는 차량 주행 시험이나 충돌시험과 같은 산업계 실물 시험의 대체용부터, 게임 시뮬레이터와 같은 여가용까지 그 응용 분야가 확대되고 있다¹⁾.

시뮬레이터는 기계, 전자, 전산, 인간공학과 같은 여러 분야의 기술이 집약되어야 하므로, 많은 전문 인력과 장비가 투입되어 연구가 진행되고 있다. 이중 가상 환경의 시각화를 담당하는 시각 시뮬레이터는 시뮬레이터의 능적 이미지를 재생하며, 사용자가 다니는 가상세계를 시각적으로 표현한다. 시각은 인간으로 하여금 객체를 인식하는 수단이므로, 가상현실 시뮬레이터에서의 시각화 처리는 중요하다²⁾.

본 논문은 한국과학기술원(KAIST)에서 개발한 "다수 참여자를 위한 자전거 시뮬레이터"에 적용된 시각화 처리 기술을 소개하며, 이와 관련하여 이루어진 일

련의 작업과정과 문제해결 방법을 설명한다.

현재 제작된 자전거 시뮬레이터는 6자유도 운동판(스튜워드 플랫폼 매니퓰레이터, Stewart Platform Manipulator, SPM)을 적용한 것과, 4자유도 운동판을 적용한 것 2종류로, 각 시뮬레이터는 자전거를 포함하여, 운동감을 재현하는 운동판, 반력을 구현하는 조향 장치와 페달 장치, 시각을 재현하는 시각 시뮬레이터와 투사장치, 3차원 가상 음향 시스템, 그리고 각 세부 시스템의 제어 모듈과 그들을 연결하는 네트워크로 구성되어 있다³⁾.

각 요소 시스템들은 유기적으로 결합되어 탑승자의 몰입감을 최대한 높이도록 구현되어 있으며, 이 두대의 시뮬레이터는 다수 사용자 참여를 위한 분산 처리 기술이 적용되어, 참여자는 네트워크를 통하여 가상세계를 공유할 수 있다. Fig. 1은 제작되어진 시뮬레이터의 구조를 간략하게 보여준다⁴⁾.

외국에서 자전거 시뮬레이터가 개발된 사례는 다음과 같다. 싱가포르 난양 공과대학교의 자전거 시뮬레이터는 6자유도 운동판 위에 자전거를 얹은 형태로 페달 반력만을 재현하며, HMD(head mounted display)를 이용해 영상을 투영한다⁵⁾. Georgia Institute of Technology의 자전거 시뮬레이터는 1축 Pitch 운동만을 재현하도록 하는 운동판에 자전거가 올려져 있고, 페달 반력만을 재현하며, 역시 HMD를 이용해 실시간

*KAIST 기계공학과

- 논문투고일: 2003. 10. 15

- 심사완료일: 2004. 02. 03

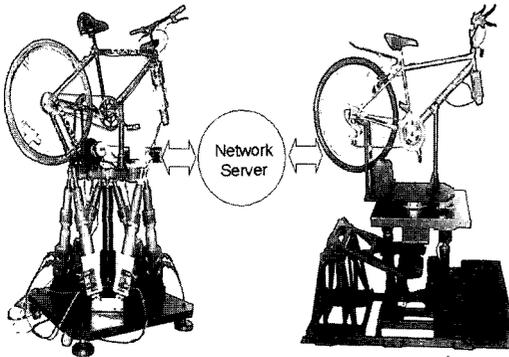


Fig. 1. 다수참여자를 위한 자전거 시뮬레이터의 구조.

이미지를 재생한다¹¹⁾.

난양 공과대학교의 자전거 시뮬레이터는 KAIST 자전거 시뮬레이터와 상당한 유사점을 가지고 있으나, 자전거 핸들이 아닌 조이스틱을 사용함으로써 그 형태가 자연스럽지 못하며, 음향 시스템이 없다. Georgia Institute of Technology의 자전거 시뮬레이터는 가상환경하의 휴먼 애니메이션 및 근육 시뮬레이션이 목적이어서, 운동관과 같은 여타 다른 시스템의 연구는 무가적이며, 난양 공과대학교의 시뮬레이터와 마찬가지로 핸들 반력 시스템은 없다. 또한, 두 자전거 시뮬레이터 모두 분산 가상환경이 적용되지 않았다.

국내에서는 한국과학기술연구원(KIST)에서 자전거 시뮬레이터를 제작한 사례가 있다¹²⁾. 이 자전거 시뮬레이터는 3차원 시청각 환경 기술을 평가하기 위해 만들어진 것이며, 핸들 및 페달의 회전을 측정하여, 가상환경을 수행한다. 하지만, 이 시뮬레이터는 가상 시청각 환경의 평가를 위하여 만들어졌기 때문에 자전거 운동의 동역학을 고려하지 않았고, 모션 플랫폼을 비롯한 힘 반력 장치의 적용도 없다.

그 외에 자전거를 모사하는 시뮬레이터의 예는 다수 있으나, 동역학 시뮬레이션 후 시각적으로만 재생하는 시뮬레이터들이 대부분이며, 더욱이 분산 가상환경에 시뮬레이터가 적용된 예는 찾아보기 힘들다¹³⁾.

2. 가상환경의 생성 - 모델링

두 개의 3차원 모델이 시각 시뮬레이션에 사용되는데, 하나는 KAIST의 캠퍼스 모델이고, 다른 하나는 사이클 경주를 위한 벨로드롬 모델이다. 캠퍼스 모델은 실제 현존하는 모델을 대상으로 삼았기 때문에, 최대한 현실과 같도록 하는 것이 중요하며, 벨로드롬 모델의 경우, 가상의 경기장을 고려했지만, 자전거 동역

학 시스템이 3차원 모델로부터 그 바닥 정보 및 접촉 정보를 얻어 가상환경 내의 자전거 운동을 모사하기 때문에, 트랙만큼은 자전거 주행을 고려해 모델링 되었다.

모델링은 상용 실시간 3차원 데이터베이스 개발을 위한 툴킷인 MultiGen Creator™를 중심으로 이루어졌는데, 이 툴킷은 일반적인 상용 3차원 모델 편집기와는 달리 각각의 오브젝트별 데이터베이스 기능이 있고, 손쉬운 텍스처 작업이 가능하며, 실시간 렌더링에 사용되는 데이터베이스를 만드는 작업에 용이하다^{14,21)}. 또한 본 연구에 사용된 상업용 3차원 실시간 렌더링 툴인 Vega™와 Open Flight라는 3차원 데이터베이스 포맷을 공유하므로, 추가적인 작업이 불필요하다.

2.1 KAIST 캠퍼스 모델

캠퍼스 모델은 지형과 건물이 분리되어 별도로 모델링되었다. 지형모델은 국립지리원에서 구입한 카이스트의 1:5000 지도를 래스터(Raster) 이미지로 스캔 받은 후, 이 이미지를 바탕으로 도로와 지형을 만들었다. 작업 초기 단계에는 스캔받은 래스터 이미지를 가지고, 상용 CAD인 MicroStation을 기반으로, MGE, I/RAS B, I/GFOVEC 등의 상용 소프트웨어를 이용해 지형의 고도와 위도, 경도 정보까지 담았으나, 구현 목적상 불필요하다고 생각하여 결과물에는 고도 이외의 정보는 포함시키지 않았다²²⁻²⁹⁾.

건물 모델은 Autodesk사의 dxf 포맷으로 이루어진 파일을 상용 3차원 그래픽 편집기인 3ds max™의 3ds 포맷으로 만든 후, 이를 MultiGen Creator™로 읽어 다시 세부적인 추가 작업을 하였다^{14,23,26)}. 실시간 시뮬레이션이 중요하므로 불필요한 면은 제거되었

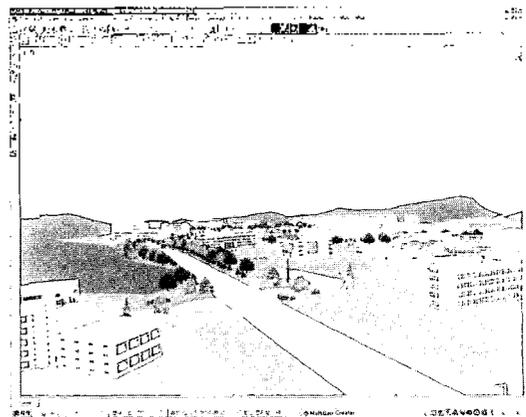


Fig. 2. KAIST 캠퍼스 모델.

으며, 자전거를 탄 가상주행에서는 건물에 가까이 다가가게 되는 경우가 많으므로, 가능한 실제 건물과 흡사하도록 디지털 카메라로 찍은 이미지로 텍스처를 입혔다. 물론, 본 연구에서는 실제 물리적으로 구현되는 실시간 시뮬레이션이 목적이므로, 모델의 품질보다는 실시간 렌더링에 더 중점을 두었다. Fig. 2는 제작된 KAIST 캠퍼스 모델을 MultiGen Creator™에서 가시화한 것이다.

2.2 벨로드롬 모델

벨로드롬 모델은 그 특성상 트랙과 외곽으로 나누어져 모델링 되었다. 경기장 트랙의 커브는 Cornu Spiral로 불리는 커브 모델이며, 자전거가 쉽게 커브를 돌 수 있도록 계산된 커브이다. Cornu Spiral은 Fresnel integral에 기반을 두고 계산된다^[15]. 일련의 수식 해석은 상용 수학 해석 툴인 Mathematica를 통해 이루어졌으며, 커브는 dxf 포맷으로 출력되었다. Fig. 3은 계산되어진 커브를 보여준다.

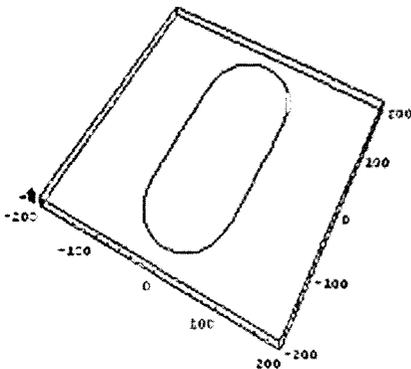


Fig. 3. 벨로드롬의 트랙 커브.

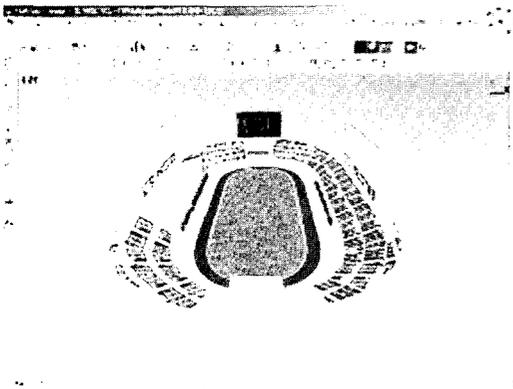


Fig. 4. 벨로드롬 모델.

이 커브를 기반으로 MultiGen Creator™에서 트랙이 모델링 되었으며, 벨로드롬의 다른 부분, 즉, 외곽 관중석이나 전광판과 같은 부분들은 3ds max™로 디자인된 후, 다시 MultiGen Creator™에서 세부적인 작업이 이루어졌다^[22,23]. Fig. 4는 제작된 벨로드롬 모델을 보여준다.

3. 네트워크를 통한 실시간 시각화

한 대의 자전거 시뮬레이터는 크게 운동판을 제어하는 부분, 자전거 동역학을 해석하는 부분, 핸들과 페달의 힘 반향(feedback)을 구현하는 부분, 3차원 입체 음향을 재현하는 부분, 그리고 가상환경을 시각적으로 재현하는 부분으로 나누어진다. 각 요소는 네트워크를 통해 실시간으로 필요한 정보를 공유하며, 높은 정밀도의 해석과 제어, 그리고 실감 재현을 위해 유기적으로 연결되어 있다.

또한, 본 시뮬레이터 시스템은 다수 참여자를 위해 네트워크로 연결된 2대의 자전거로 구성되었는데, 분산 서버를 중심으로 개별 클라이언트는 다양한 객체들이 포함된 하나의 가상환경을 실시간으로 공유한다.

시각 시스템은 자전거가 주행하는 가상환경을 실시간으로 시각화시키는데, 타 구성요소와의 연동을 고려하여 시스템이 설계되었다. 특히, 분산 네트워크 환경에서는 네트워크 딜레이로 인한 문제를 최소화하는 것이 필요하다.

3.1 시뮬레이터의 시각화

모델링된 가상환경을 실시간으로 시뮬레이터에서 구동하기 위해, 실시간 가상환경 생성을 위한 상용 툴인 Vega™를 이용하였다. Vega™는 모델 데이터베이스 포맷인 Open Flight 포맷에 최적화되어 작동하며, 물체(object)의 추가, 장면(scene)의 구성, 그래픽 상태의 변경, 윈도우와 채널의 세팅, 모션의 선택, 비행 경로의 작성, 광원 등의 시뮬레이션에 기본적으로 필요한 요소들을 비교적 쉽게 구성할 수 있도록 지원한다^[16,21]. 실시간 가상환경 시각화를 위한 프로그램은 Vega™의 API(application programming interface)를 이용하여, 기본적으로 설정된 가상환경 재생 조건들에 덧붙여, 시뮬레이터의 각 요소에서 필요한 데이터들을 조작하고, 송수신하도록 구현되었다.

시각 시뮬레이터는 동역학 모듈로부터, 영상 생성을 위한 사용자의 위치 정보와 자전거 앞 뒤 바퀴의 위치 정보를 입력 받고, 이를 이용하여 바퀴와 지형의 접촉점과 법선 벡터, 지형 정보 등을 계산하여 동역학

모듈에 넘겨주면서 영상을 생성한다. 이와 동시에 가상환경의 현실감을 향상시키고 사용자의 관심을 유발시키기 위하여 보행자나 참새와 같은 다양한 객체와 이벤트를 추가하였다. 시각 시뮬레이터 내부에서 발생하는 이벤트에 따라 가상환경을 동적으로 변화시켜 주고, 발생하는 이벤트에 효과적으로 현실감을 증가시켜주기 위하여, 필요한 음향 정보를 입체음향 모듈로 넘겨준다. 네트워크를 통하여 음향 모듈로 넘겨주는 정보는, 음향 객체의 ID(identification), 탑승자의 시각에 대한 상대방의 위치와 속도, 자전거의 현재 속도와 도로정보 등으로, 입체음향을 구성하기 위하여 필요한 정보이다.

동역학 시스템이나 음향 시스템, 그리고 시각 시스템은 그 구현목적과 시스템의 성능에 따라 그 계산속도가 서로 다르다. 따라서 각 시스템에서 송수신하는 정보의 양이 다르기 마련인데, 필요 이상의 정보가 수신되거나, 부족한 양의 정보가 존재하게 되면, 시뮬레이터 시스템의 동기화가 이루어지지 않는다¹¹⁾. 동역학 시스템에서는 평균 초당 1,000번 이상의 계산 속도로 정보를 처리해 전송하는 것에 비해, 시각시스템에서 이 정보를 처리하여 다시 동역학 시스템으로 가공된 정보를 전송할 수 있는 속도는 평균 초당 20회 정도이다. 시각 시스템의 정보 전송속도에 동기화를 맞추면, 동역학 시스템의 동역학 방정식이 발산하는 문제점이 있으며, 반대로 동역학 시스템의 속도에 동기화시키면, 시각 시스템이 아주 느려져 시각 이미지의 재생이 부자연스러워지는 문제점이 발생한다.

이를 해결하기 위해 시각 시스템은 10분에 한번 꼴로 동역학 시스템에서 전송된 정보를 가공하도록 조정하였다. 즉, 1회 시각화를 하는 동안 동역학 시스템과는 10분의 송수신 통신이 일어나며, 그 결과 동역학 방정식의 해는 언제나 수렴하며, 자연스러운 시각 이미지를 재생할 수 있다. 시각 시뮬레이터는 동역학 모듈과 입체음향 모듈 사이에서, 이와 같은 데이터 교환을 하면서 동작한다.

3.2 분산 가상환경에서의 시각화

3.1절에서 언급한 네트워크화된 시각화 시스템은 단일 시뮬레이터에서만 유효하며, 다른 시뮬레이터와 정보를 공유할 수 없다. 다수의 자전거 시뮬레이터가 하나의 공동 가상환경을 공유할 수 있도록 하기 위해서는 효율적인 통신 메시지 처리와 데이터 분배를 할 수 있어야 한다. 이를 위한 네트워크 환경 기반의 분산 처리 구조로써, 크게 서버-클라이언트(Server-Client) 구조, 대등관계(Peer to Peer) 구조 방식이 있다¹²⁾. 서

버-클라이언트 구조는 중앙의 서버가 네트워크를 통과하는 모든 정보를 처리하는 방식으로, 일관성을 유지하기 쉬운 장점이 있는 반면, 모든 정보가 서버를 매개함으로 인해 병목현상이 발생하게 된다. 대등관계 구조는 필요한 정보를 모든 참여자에게 다중전송(multicast)하는 방식으로, 서버-클라이언트 구조의 계산부담과 병목현상을 덜 수 있지만, 각 사용자가 각각의 정보를 일치시켜야 하기 때문에 일관성을 유지하기 힘들다.

본 연구에서는 다수의 소규모 시뮬레이터를 지원하기 위하여, 서버-클라이언트 구조 방식을 채택하였다. 대등관계 구조를 사용할 경우, 가상세계를 일관성 있게 관리하기 위해서 각 참여자의 시스템이 처리해야 할 작업이 많아지게 되어서 실시간 처리가 중요한 기존의 단위 시스템에 부하를 주게 될 가능성이 크다. 서버-클라이언트 구조는 일관성을 유지하기 위한 추가부하가 서버에만 걸리게 되어, 클라이언트, 즉 단위 시뮬레이터에서 분산 네트워크를 위한 작업에 필요한 부하를 최소화시킬 수 있다. 또한, 서버-클라이언트 구조는 현재 가장 많이 쓰고 있는 TCP/IP를 이용하므로, 다중전송을 위한 전용 프로토콜이 필요한 대등관계 구조에 비하여, 추가비용도 줄일 수 있다.

본 연구에 사용된 서버-클라이언트 구조의 분산 가상환경에서 시각화 방법은 다음과 같다. 네트워크 클라이언트는 시각 시뮬레이터에 설치되어 각 클라이언트의 가상 객체가 움직이면, 미리 정의한 데이터 형식에 맞게 통신 메시지를 작성하여 서버에게 보낸다. 서버는 상대방의 데이터가 오면 네트워크 클라이언트의 메시지를 해석을 한 후, 개별 시뮬레이터의 데이터를 저장한다. 또한 서버가 제어하고 있는 객체들에 대해서도 다른 시뮬레이터와 마찬가지로 저장한다. 이 객체들은 서버에서 공동으로 가지고 있는 객체로, 공동의 가상세계에서 공유하고 있는 일반적 인 동적 개체들(예: 새, 사람, 헬리콥터)에 대한 위치 데이터이다.

저장해 둔 이러한 데이터들은 서버에 접속해 있는 다른 시뮬레이터 클라이언트에 다시 전송되어, 클라이언트들은 하나의 가상환경을 공유하게 된다. 전송되는 주요 데이터는 앞/뒤 마커의 위치와 그 법선 벡터, 탑승자가 보고 있는 시점(View Point), 자전거 핸들의 방향, 접촉 바닥의 상태 정보, 자전거의 속도 등으로, 각 클라이언트의 시각 시뮬레이터가 동역학 모듈, 음향 모듈과 연동하면서 실시간으로 화면을 재생하기 위한 최소한의 정보들이다.

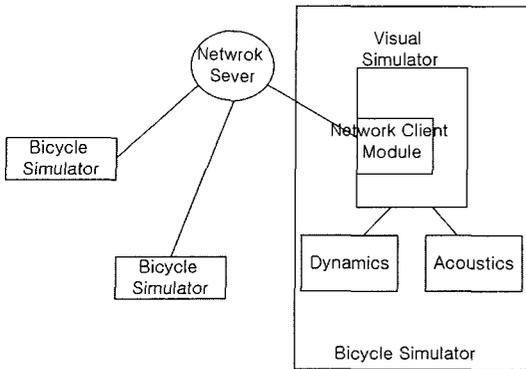


Fig. 5. 다수 참여자를 위한 서버-클라이언트 구조.

시각 시뮬레이터의 전체적인 구조는 Fig. 5와 같은데, 크게 영상 자체를 실시간으로 시각화하는 부분 외에, 개별 시뮬레이터 단위에서 각 요소 시스템들 간에 통신하는 부분과, 2대의 자전거 시뮬레이터를 네트워크 상에서 엮어주도록 하는, 서버/클라이언트 구조 상에서 통신하는 부분으로 나누어진다.

분산 네트워크 상에서 여러 대의 시뮬레이터가 하나의 가상공간을 동시에 공유할 때 생기는 가장 큰 문제는 네트워크 딜레이 문제이다. 실시간 제어가 이루어지는 시뮬레이터의 각 요소의 특성을 고려하여, 기계적인 고 정밀도의 실시간 제어가 필요 없는 시각화 시스템에서만, 분산 네트워크 상의 정보를 주고받도록 한 것도 이러한 이유 때문이다. 하지만, 결국 각 단위 시뮬레이터에서 시각화 시스템을 제외한 다른 제어 시스템에 네트워크 딜레이의 영향을 주지 않을 뿐이고, 엄연히 시각 시스템에서는 네트워크 딜레이가 존재하게 된다. 이는 여러 대의 시뮬레이터가 하나의 가상환경 상에서 완벽하게 동기화 될 수 없음을 의미한다.

일반적으로 시각만을 다루는 분산네트워크 환경일 경우 여러 가지 기법이 적용되고 있으나, 시뮬레이터의 시각 시스템과 같이 여러 기계적인 제어 시스템과 실시간으로 연동하는 시각 시스템일 경우, 이러한 기법을 바로 적용하기 힘들다. 이러한 문제를 최소화하기 위해 클라이언트는 기존의 시각 시뮬레이터와 별개로 동적을 할 수 있도록 스레드(thread)방식을 사용하였는데, 데이터를 받는 스레드와 이 데이터를 처리하는 스레드를 따로 두어서, 데이터 메시지를 받을 때 병목이 발생하는 것을 막았다. 또한, 시각 시뮬레이터는 많은 자원을 소비하기 때문에, 네트워크 클라이언트 모듈이 컴퓨터의 CPU 자원을 많이 사용하지 않도록, 메시지의 수신 시에 sleep & wakeup 방식을

사용하였다. 이와 동시에 데이터 송수신 빈도를 시각의 재생이 느려지지 않는 한도 내에서 조정하는 작업도 이루어졌다.

또, 네트워크 부하에 의한 딜레이 외에도 시스템의 성능차이로 인한 정보 전송 속도 차이도 있을 수 있는데, 이는 각 단위 시뮬레이터 중 우수한 시스템에서 전송하는 정보를 성능이 떨어지는 시스템이 받을 때 생기는 문제이다. 본 연구의 시뮬레이터 시각 시스템은 일단 그 성능을 동일하게 유지시킴으로써 이 문제를 최소화 하였다.

이러한 결과로 네트워크 클라이언트 모듈의 CPU 사용 점유율은 0~5% 정도로 시각 시뮬레이터의 동작에 영향이 거의 없었으며, 각 시뮬레이터에서 초당 10~20번의 데이터를 서버에 전송시켰을 때, 실시간 시각 재생에 지장이 없음을 확인하였다. 또한, 실제 2대의 시뮬레이터를 분산 서버에 접속하여 KAIST 교내 네트워크 상에서 경주를 시켜본 결과, 실시간으로 상대방을 표현할 수 있었다.

단, 서버-클라이언트 구조의 문제점인 대규모 클라이언트가 참여할 경우 생길 수 있는 병목 현상은 피할 수 없는데, 본 연구에서 고려한 정도의 소규모 분산 가상환경 하의 시뮬레이터 네트워크 상에서는 문제점이 발생하지 않았고, 실제 가상의 클라이언트를 작동시켜 테스트 해본 결과, 200여개의 클라이언트까지는 서버에서 무리 없이 수용할 수 있었다.

Fig. 6과 Fig. 7은 이와 같은 과정을 거쳐서 재생되는 가상환경을 보여준다. Fig. 6은 가상 KAIST 캠퍼스를, Fig. 7은 사이클 경주를 위한 가상 벨로드롬을 실시간에 시각화한 것이다.

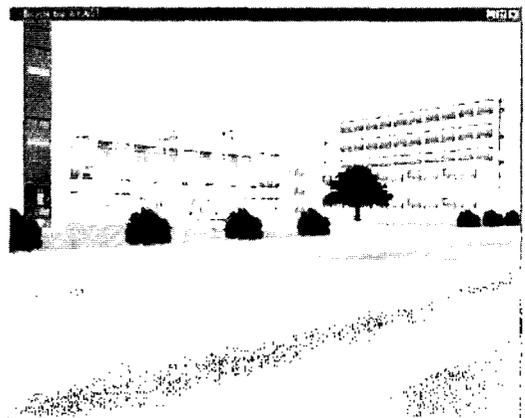


Fig. 6. 가상 KAIST 캠퍼스의 실시간 시각화.

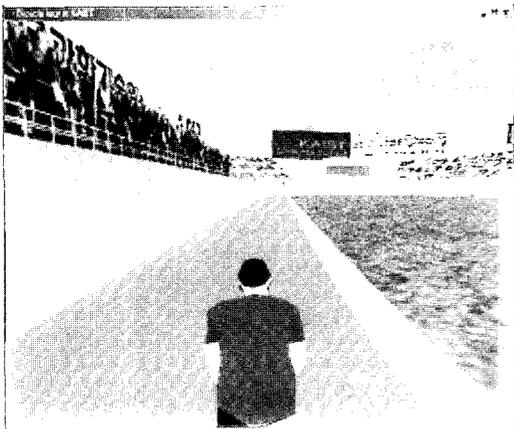


Fig. 7. 가상 벨로드롬의 실시간 시각화.

4. 디스플레이

생성된 이미지는 빔 프로젝터나 HMD(Head Mounted Display)를 통하여 사용자에게 보여진다. 빔 프로젝터는 사용자 앞에 세워진 스크린에 영상을 투사하고, HMD는 머리의 트래킹 신호에 따라 영상이 재생되어, 사용자가 가상세계에 몰입감을 갖도록 한다. 제작된 두 대의 자전거 시뮬레이터는 두가지 방식으로 각각 영상을 투사한다. 현재 6자유도 운동관을 채용한 시뮬레이터는 빔 프로젝터를 이용한 투사 방식, 4자유도 운동관을 적용한 시뮬레이터는 HMD를 이용한 디스플레이 방식을 이용하고 있으며, 이들 두 자전거의 탑승자는 네트워크로 연결되어 서로 상대방을 보면서 경주를 한다.

4.1 빔 프로젝터를 이용한 영상 투사

본 연구에서는 시뮬레이터가 위치할 공간과 비용의 측면에서 많은 제약이 있었기 때문에, 다양한 투사방법 중에서 전면 모노 프로젝션으로 영상을 표현하였다. 초기에는 스테레오 프로젝션을 고려하였으나, 스크린의 광학적 특성과 공간적 제약으로 불가능하였다. 전방 투사시 반드시 고려하여야 할 것은 프로젝션과 시뮬레이터의 간섭이다^{18,20}. 설치 장소가 넓고 천장이 높은 경우에는 프로젝터를 높은 곳에 설치하여 시뮬레이터와의 간섭을 피하는 것이 가능하지만, 일반적인 건물 내부에서는 간섭이 일어나지 않을 정도로 프로젝터를 높이 설치하는 것이 불가능하기 때문에, Fig. 8과 같이 간섭을 피하기 위하여 비스듬하게 프로젝션을 하였다. 이 경우 스크린과 투사각의 불일치로 인하여 화면에 왜곡이 발생하는데, 시뮬레이터

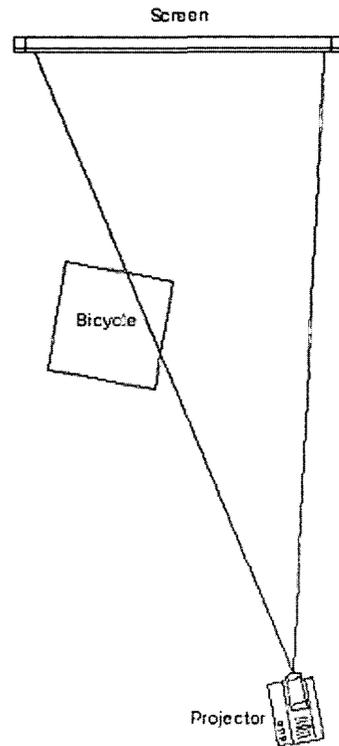


Fig. 8. 빔 프로젝터를 이용한 영상 투사 구조.

의 위치와 각도를 Fig. 8과 같이 조절하여 간섭을 제거함과 동시에 왜곡을 보정하였다.

4.2 HMD(Head Mounted Display)를 이용한 시각화

HMD의 가장 큰 특징은 두 눈에 직접 영상을 투사할 수 있다는 점과, 트래킹 센서를 설치함으로써 머리의 운동을 탐지할 수 있다는 점인데, 이 방식을 사용하면 두 눈에 서로 다른 영상을 투사함으로써 입체영상을 구현할 수 있고, 프로젝터와 달리 공간의 제약을 덜 받음과 동시에, 사용자의 머리의 움직임에 따라 사용자 주위의 가상세계 영상을 투사할 수 있다^{19,21}. 사용된 장비는 Virtual Research사의 HMD인 V6와

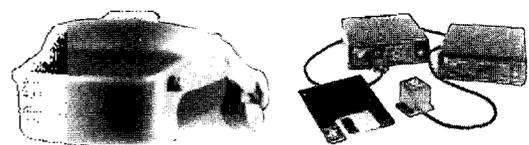


Fig. 9. Virtual Research사의 V6 HMD와 Intersense사의 IS300Pro Tracker.

Intersense사의 3자유도 트래커인 IS300Pro이다^(24,25). Fig. 9는 이 장비들의 사진을 보여준다. 본 장비의 사용 시에는 프로젝터의 사용이 불필요하며, 사용자는 자전거를 타면서 머리를 돌려봄으로써 가상세계의 전부를 돌아볼 수 있다.

5. 결 론

구현된 시각화 시스템은 MS Windows2000 Professional을 OS로, Intel Pentium3 866MHz CPU, 256MB RAM, 그리고 NVidia사의 GeForce3 칩을 쓴 그래픽카드를 장착한 PC 상에서 동작한다. 개별 시각 시뮬레이터는 최소 15 frame/sec 이상의 속도로 렌더링하며, 탑승자는 무리 없이 가상환경을 시각적으로 경험할 수 있다. 물론, 이러한 과정은 운동판을 포함한 전체 시뮬레이터가 작동하는 상태에서의 결과이다.

개별 단위 시뮬레이터에서 시각 시스템은, 동역학 시스템, 음향 시스템과 필요한 정보를 주고 받으면서, 3차원 가상세계를 시각적으로 표현한다. 또한, 분산 네트워크 상에서 여러 대의 시뮬레이터가 엮여짐으로써, 탑승자는 원격의 다른 탑승자와 하나의 가상환경을 공유한다.

본 시각화 연구를 통해서 실용적인 양방향 시뮬레이터의 시각화를 위하여 필요한 기술과 개발 경험을 축적할 수 있었으며, 구현된 시각 시뮬레이터는 현재 자전거 시뮬레이터에서 탑승자로 하여금 증강된 현실감을 경험하도록 지원한다.

본 연구팀은 좀 더 증강된 몰입감과 현실감을 위하여, 향상된 디스플레이 기법과 렌더링 기법을 연구하고 있다. 시뮬레이터는 시각화 자체만이 중요한 것이 아니라, 인간이 받아들이는 모든 감각기관에 대한 상호작용 모두가 중요하므로, 이와 연동되는 각 요소 시스템들 간의 유기적인 통합이 필수적이다. 이를 위해서는 각 요소 시스템들에 대한 이해뿐만 아니라, 그 요소 기술들의 습득도 중요하다.

또한, 다수 참여자를 위하여 네트워크 상에서 여러 개의 시뮬레이터를 연동하므로, 네트워크의 딜레이를 고려한 실시간 제어 및 시각화를 최적화하는 연구도 필요하다. 특히, 일반 분산 네트워크 상의 동기화에서 보다 시뮬레이터에서의 동기화는, 단위 시뮬레이터에 대한 실시간 제어를 간과할 수 없으므로, 네트워크 딜레이에 대한 연구는 필수적이다. 또한 본 시뮬레이터의 개발로 축적된 기술은 향후에 다른 종류의 주행 시뮬레이터에 응용되고 개선될 것이다.

참고문헌

1. 이종환, 한순홍, "1족 운동의자를 이용한 가상현실 시뮬레이터에서의 그래픽과 운동의 통합," 정보과학회 2001년 가을학술발표 논문집, pp. 262-264, 2001년 10월.
2. 원광연, 박재희, "감성공학과 가상현실," 한국정밀공학회지, Vol. 18, No. 2, pp. 40-45, 2001.
3. 유병현, 한순홍, "버행 시뮬레이션을 위한 실시간 지형 데이터의 구축," 2002 한국 CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, 2002년 2월.
4. 이종환, 유병현, 한순홍, "비행 VR 시뮬레이터를 위한 가상환경 구축과 MR," HCI학회, 2003, 2.
5. 이경노 외 13인, "자전거 가상현실 시뮬레이터," HCI2001, pp. 725-730, 2001년 2월.
6. Kwon, D. S. et al., "KAIST interactive bicycle simulator," *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Seoul, Korea, pp. 2313-2318, May 21-26, 2001.
7. Kwon, D. S. et al., "KAIST interactive bicycle racing simulator: The 2nd version with advanced features," *Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems*, EPFL, Lausanne, Switzerland, pp. 2961-2966, October 2002."
8. 한순홍 외, "한국과학기술원 자전거 주행 시뮬레이터 개발," 한국과학기술원 기본연구 사업 보고서, 1999년.
9. 박영진, 한순홍 외, "다수참여자를 위한 Vehicle 시뮬레이터 기술 개발: 자전거 응용," 한국과학기술원 기관공유사업 보고서, 2001년 12월.
10. Wang Yu, Tian Minghui, Yap Fook Fah, "A true bicycle simulator," http://www.drc.ntu.edu.sg/groups/drc_www/projects_vr/bicycle_simulator/enter.cpl, 2000.
11. Brogan, D. C., McToyer, R. A. and Hodgins, J. K., "Dynamically simulated characters in virtual environments," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 15, No. 5, pp. 58-69, 1998.
12. 고희봉 외, "감성측정평가 시뮬레이터개발(3차원 시청각 환경제시 기술 개발) 보고서," 한국과학기술연구원, 1997년.
13. 원광연, 한순홍 외, "2001년도 우수연구센터 연차보고서," 가상현실연구센터 연차보고서, 2002년 4월.
14. Multigen-Paradigm, "MultiGen creator user's guide," 1998.
15. Chris Nadovich, "1996 olympic velodrome curve design," <http://library.wolfman.com/demos/v3/OlympicVelodrome.nb>
16. Multigen-Paradigm, "Vega on-line user's guide," 2000.
17. 이경노, 이두용, "자전거 시뮬레이터에서 블록 시간을 최소화하기 위한 통신 프로토콜의 설계," 제이자동화시스템공학 논문지, Vol. 6, No. 12, pp. 1099-1105, 2000.
18. Roy S. Kalawsky, "The science of virtual reality and virtual environment," Addison-wesley, 1993
19. Lenny Lipton, "Stereo-vision formats for video and

- computer_graphics," http://www.stereographics.com/html/body_stereo_formats.html
20. Woodrow Barfield, Thomas A. Furness, "Virtual environments and advanced interface design." Oxford University Press, pp. 145-257, 1995.
 21. National Research Council, "Virtual reality scientific and technological challenges." National Academy Press, 1995.
 22. MutiGen-Paragidm Inc., <http://www.multigen.com>
 23. Discreet, <http://www.discreet.com>
 24. Virtual Research System Inc., <http://www.virtualresearch.com>
 25. InterSense Inc., <http://www.isense.com/>
 26. AutoCAD 2000 DXF Reference, <http://www.autodesk.com/techpubs/autocad/acad2000/dxf/index.htm>
 27. Bentley Systems Inc., <http://www.bentley.com>
 28. Intergraph Co., <http://img.intergaph.com>
 29. Z/I Imaging Co., <http://www.ziimaging.com>



이 종 환

1999년 한국과학기술원 기계공학과 학사
 2001년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 2001년~현재 한국과학기술원 기계공학과
 박사과정
 관심분야: 가상현실, 혼합현실 응용, 컴퓨터
 그래픽스



한 순 홍

한국과학기술원 기계공학과 교수이며, 웹
 서널인 International Journal of CAD/
 CAM(www.ijcc.org)의 편집장으로 활동
 하고 있다.
 2003년까지 STEP센터(www.kstep.or.kr)
 의 회장과 전자기래학회(www.calsec.or.kr)의 회장을 맡았으며, 관심분야는
 STEP, 가상현실 응용, 지능형 CAD이다.
 연락처는 shhan@kaist.ac.kr. 홈페이지
<http://cad.kaist.ac.kr>. 미국 미시건 대학에
 서 1990년 박사학위를 취득하였다.