

모션 라이더를 위한 시각 시뮬레이션 시스템의 개발

권정훈*, 권영웅⁺

(논문접수일 2005. 4. 8, 심사완료일 2005. 7. 15)

Development of a Visual Simulation System for the Motion Rider

Junghoon Kwon*, Youngwoong Kwon⁺

Abstract

In this paper, we propose the visual simulation system for virtual reality motion rider system. The visual simulation system can apply verity virtual reality system. This paper deals with programs on 3D automatic creation of terrain, road design, and a realtime rendering program for the virtual reality system. For the 3D automatic creation of terrain, DEM data and rectangular grid method are applied. We can make two different road object with the road design program. One of them includes road definition, and the other is obtained by using "NURBS curve." Visual simulation is consisted by additional modeling and real-time rendering. We can apply the programs made in this way to visual system of driving simulator.

Key Words : Virtual reality(가상현실), Road design(도로설계), Visual simulation(시각시뮬레이션), Realtime rendering(실시간렌더링), Driving Simulator(자동차시뮬레이터).

1. 서론

가상현실은 다양한 사람들에 의해 다양하게 정의되고 있다. 가상현실은 컴퓨터 기술을 통해 인간의 5감을 자극하여 현실과 유사한 또 다른 현실을 만들어 낸다. 가상현실의 형태는 탁상형, 투시형 및 몰입형으로 나눌 수 있다. 또한 인간은 시각을 통해 약 70%의 정보를 입수하기 때문에 가상현실감에 미치는 영향도 가장 크다. 가상의 세계의 표현은 컴

퓨터 처리 속도가 빨라지면서 3차원 그래픽스분야가 비약적으로 발달되었다. 시각 시뮬레이션은 3차원의 가상세계를 모델링하고 실시간 탐색이 가능하게 하는 시스템으로 최근 VR(virtual reality) 시스템을 구성하는 중요한 부분이다. VR 시스템은 컴퓨터의 발달로 더불어 활용 범위가 매우 넓어짐과 동시에 그 효율도 또한 굉장히 높아지고 있는 실정이다. 그중에서도 시뮬레이터는 자동차, 항공기, 군사용 장비, 의료 등 많은 분야에서 활용되어지고 있다. 또한 게임 등에도

* 중앙대학교 첨단영상대학원 (ykwon@seoil.ac.kr)
주소: 131-811 서울 중랑구 면목8동 49-3

+ 서울대학 자동차과

많은 활용이 되고 있다. 이 시스템들의 중요요소인 시각 시뮬레이션 시스템에 관한 연구는 가상현실 분야에서도 각종 시뮬레이터와 게임 등의 발전에 많은 영향을 미치게 되었다. 시각 시뮬레이션 시스템은 자동차 시뮬레이터와 게임 등에서 사용할 수 있는 3차원 가상세계를 모델링 하고 실시간 렌더링을 가능하게 하여 사용자와 상호작용을 가능하게 하여 보다 효과적인 시뮬레이션이 이루어 질 수 있게 한다. 가상세계를 모델링하는 것은 그 경제적 및 시간적 비용이 많이 드는 작업이다. 3차원의 지형을 생성하고 각종 오브젝트들을 생성하기 위하여 3차원 모델링 프로그램을 써야하는데 익숙한 작업자에 의해서 작업이 진행되더라도 시간적 비용이 많이 발생되기 때문에 3차원의 지형을 효과적으로 생성하는 것은 여러 가지 이익을 줄 수 있다. 또한 3차원의 가상세계를 자유롭게 탐색할 수 있는 실시간 렌더링 모듈은 가상현실 시스템에서 원활한 사용자와의 상호작용을 가능하게 해준다. 본 논문에서는 위성이나 항공사진에 의한 수치데이터를 이용하여 3차원 자동지형생성과 도로의 생성, 실시간 렌더링 및 모션 라이터와 통합할 수 있는 알고리즘을 제시한다.

2. 시각 시뮬레이션 시스템

사람의 시각은 외부 세계의 상태에 관한 정보를 수집할 때 주로 사용되는 감각기관이다. 그리고 여러 가지 탈것의 운전 행동에서도 일차적 정보원을 거의 전적으로 환경의 시각적 지각에 의존하게 된다. 그러므로 가상현실 시스템에서 사용자가 가장 크게 현실감을 느낄 수 있게 하는 것은 시각 시스템이라고 볼 수 있다.

본 논문에서 개발된 시각 시뮬레이션 시스템은 모션 라이터와 같은 가상현실을 위하여 3차원 자동 지형 생성 및 도로 설계 시스템과 모델링 및 인터랙티브 실시간 렌더링 시스템으로 Fig. 1과 같이 구성 되어졌다.

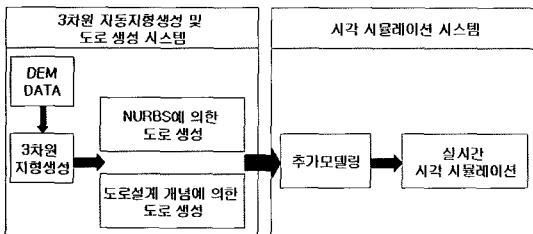


Fig. 1 시각 시뮬레이션 시스템 구성도

2.1 3차원 자동 지형생성

가상현실 시스템에서 사용하는 가상의 공간은 현실감을 높이거나 현실을 시뮬레이션하기 위하여 실제 존재하는 지형을 필요로 한다. 3차원의 실제 지형을 만들기 위해서는 여러 가지 방법들이 사용되고 있으나 본 논문에서는 지형의 고도데이터를 레스터 데이터 형태로 저장한 수치고도모델(DEM) 데이터를 이용하여 생성하였다.

본 논문에서 제시한 지형생성은 DEM데이터를 이용하여 DEM데이터를 읽어 들이고 필요한 범위를 선택한 후 선택 지역을 3차원 폴리곤으로 생성하여 화면에 디스플레이한다.

DEM 데이터는 이진 파일 형식으로 높이의 등급 조절과 위치변환을 위하여 데이터를 입력받을 때 10진수로 변화시켜 배열에 저장한다. 또한 화면에 RGB color의 green grade 값으로 표현하기 위하여 높이 값을 0~255 등급에 맞추어 낮은 곳은 0에 가까운 검은색 그리고 높은 곳은 255에 가까운 녹색으로 1/5 스케일 하는 수정을 한다. 이렇게 DEM 데이터를 로딩하게 되면 3차원 지형을 생성할 수 있는 기반을 마련 할 수 있게 된다.

DEM 데이터는 높이 값인 z 값을 가지고 있기 때문에 DEM 데이터의 정보인 격자형의 크기인 x, y 값을 설정해 주어야 한다. 일반적인 DEM 데이터는 10, 50, 100m의 격자형 크기를 가지고 있다. 이용하려는 DEM 데이터의 격자형 크기를 미리 알아내고 이렇게 하여 얻어진 x, y의 값을 이용하여 3차원 지형을 생성할 수 있게 된다.

마우스를 이용하여 지형을 생성시키고자 하는 부분을 드래그하면 원하는 지역의 지형을 3차원으로 생성할 준비가 된다.

DEM 데이터 로딩과 범위선택을 거치게 되면 3차원 자동 지형생성을 할 준비가 된 데이터가 생성된다. 앞에서 서술한

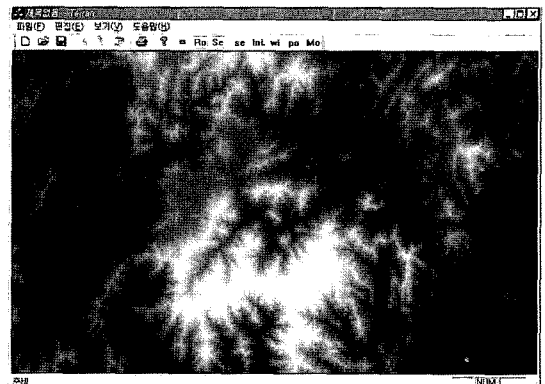


Fig. 2 DEM 데이터 로딩

방법으로 저장되어진 데이터를 이용하여 3차원 지형을 생성하려면 우선 범위 선택에서 저장되어진 데이터를 Fig.3과 같이 삼각형의 각 꼭지점의 좌표값을 지정하여 3차원의 지형을 생성시킨다. 이러한 방법에 의해 생성된 3차원의 실제 지형은 Fig. 4와 같이 화면에 디스플레이된다.

2.2 도로설계

실제와 같은 가상세계를 모델링하기 위해서는 도로 오브젝트의 생성이 매우 중요하다. 도로는 규범에 의해 설계된다.

2.2.1 도로설계 개념에 의한 오브젝트 생성

도로는 계획시 지형, 지질, 기상, 및 교통 상황을 감안하여야 하며, 안전하고 일정 수준의 교통용량이 확보되도록 설계되어야 한다.

도로의 평면선형은 설계속도에 따라 직선, 원곡선, 완화곡

선으로 구성한다. 이 세가지 요소는 적절한 길이 및 크기로 연속적이며 일관성 있는 흐름을 갖도록 하여야 하며, 특히 평면곡선부인 원곡선과 완화곡선 구간에서는 설계속도와 평면곡선반경의 관계는 물론 횡방향 미끄럼 마찰계수, 편경사, 확폭 등의 설계요소들이 조화를 이루어야 한다.

곡선부 도로의 최소곡선반경은 자동차가 곡선부를 안전하고 원활하게 주행할 수 있도록 규정해야한다. 최소 평면곡선반경은 평면곡선부를 주행할 때 발생하는 원심력으로 인하여 곡선부의 바깥쪽으로 미끄러지거나 전도할 위험을 방지할 수 있도록 타이어와 포장면 사이의 횡방향 마찰력이 원심력보다 크도록 하여야 하며, 동시에 주행의 쾌적을 확보할 수 있도록 하여 크기를 산정하여야 한다.

일반적으로 원심력에 의하여 자동차는 전도보다는 횡방향 미끄럼의 영향을 먼저 받게 되므로 횡방향 미끄럼에 안전할 수 있는 한계치의 평면곡선반경을 최소 평면곡선반경으로 결정하게되며 식 (1)을 이용하여 구한다.

$$R = \frac{V^2}{127(i+f)} \quad (1)$$

- R : 평면곡선반경(m)
- V : 차량속도(km/h)
- i : 편경사(tan θ)
- f : 횡방향마찰계수

평면곡선의 최소길이는 운전자가 핸들조작에 곤란을 느끼지 않고 도로 교각이 작은 경우에는 평면곡선반경이 실제의 크기보다 작게 보이는 착각이 발생하지 않도록 설계해야한다.

최소 평면곡선길이는 식 (2)를 이용하여 산정한다.

$$L = t \cdot v = \frac{t}{3.6} V \quad (2)$$

- L : 평면곡선의 길이
- t : 주행시간(sec)
- v, V : 자동차속도(m/sec, km/h)

도로 오브젝트는 직선과 원곡선의 조합으로 생성한다. 도로 오브젝트의 생성 절차는 우선 3차원 자동지형생성 모듈에 의해 생성된 3차원 지형 위에서 마우스의 클릭으로 도로 오브젝트를 생성한다. 생성된 지형위에 원하는 지점을 지나는 도로를 생성하기 위하여 마우스로 필요한 위치를 클릭하게 되고 마우스를 두번째 클릭하면 직선이 생기고 세번째 지점을 클릭하게 되면 두번째 클릭한 지점은 원곡선의 IP가 된다.

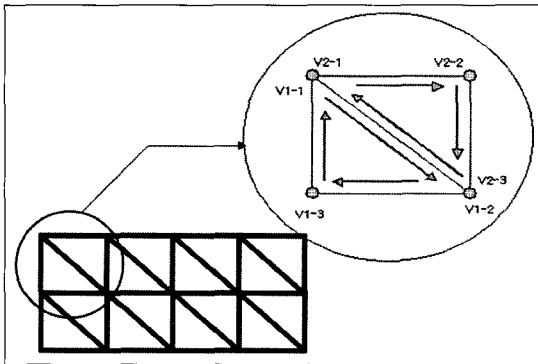


Fig. 3 폴리곤화 방법

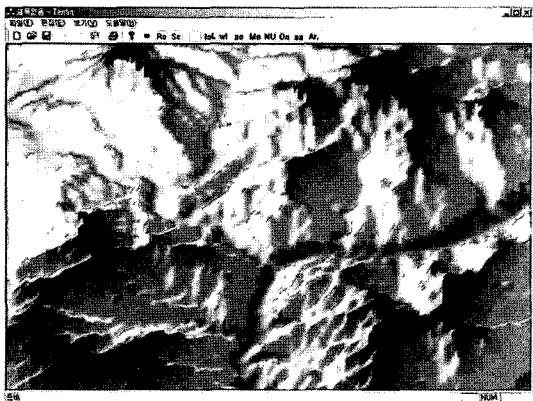


Fig. 4 3차원 지형 생성

IP가 지정되면 원곡선이 생기는 BC와 원곡선이 끝나는 EC를 계산하고 점 BC와IP, EC와 IP사이의 교각 θ 를 계산하게 된다. 또한 미리 지정한 곡선의 반경을 참조하여 원곡선의 중심점을 찾게 된다. 원곡선의 중심점은 BC점을 이용하여 벡터 크로스 프로덕트 성질에 의해 계산되어 진다. 원곡선의 중심점을 찾게 되면 원곡선의 시작점인 BC에서부터 원곡선이 끝나는 EC까지 원의 방정식을 이용하여 원곡선을 생성한다. Fig. 6과 같이 첫번째 점과 BC사이에는 정해놓은 폭을 가지는 직선의 도로가 생성되고 BC와 EC사이에는 원곡선이 생성되게 된다.

Fig. 7은 3차원 지형 위에 도로 오브젝트를 생성하는 장면이다. 도로가 지나가길 원하는 지점을 마우스로 클릭하여 도로를 원곡선과 직선으로 생성하게 되며, 만약 원하는 지점을 마우스로 클릭할 때 정해진 곡선의 반경이 나오지 않을 경우 Fig. 7과 같이 "Try Again!"이라는 메시지 박스가 생기게 되고 도로 오브젝트가 생성이 되지 않는다. 그러므로 도로설계 지침에 충실한 도로를 생성 할 수 있게 된다. 또한 원곡선이 생성된 부분은 편경사가 적용되는데, 이는 도로설계 지침에 따라 정확히 계산되어 도로 오브젝트가 생성되도록 하였다.

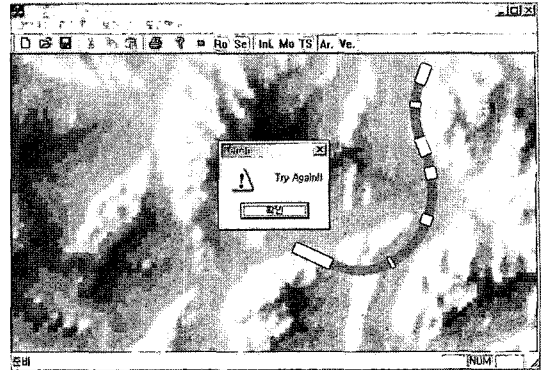


Fig. 7 원곡선과 직선으로 이루어진 도로생성

2.2.2 NURBS 곡선에 의한 도로 생성

기존의 도로설계 개념에 의한 도로 오브젝트 생성 외에 오락용 드라이빙 시뮬레이터를 위한 도로설계 개념과는 관계가 먼 아주 급격한 커브를 그리는 도로 오브젝트를 생성할 필요성이 있다. 이러한 경우에는 드라이빙 시뮬레이터를 이용하는 조작자가 오락적인 긴박감을 얻어 낼 수 있어야 하는데 기존의 도로 설계 개념으로 설계된 도로 오브젝트는 주행 안정성 및 쾌적성 그리고 도로의 연속성을 고려 하여 설계된 것이기 때문에 오락적 긴박감을 얻어 낼 수 없다. 그러므로 기존 도로 설계의 개념이 들어가지 않는 도로 오브젝트를 생성할 필요성이 있는 것이다. 이러한 도로 오브젝트를 만드는 데에는 곡선의 형상을 자유롭게 생성할 수 있는NURBS 곡선을 이용하였다.

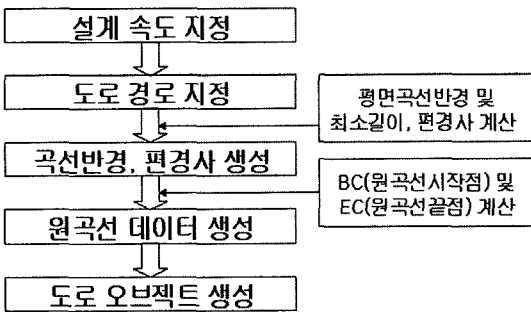


Fig. 5 도로 생성 흐름도

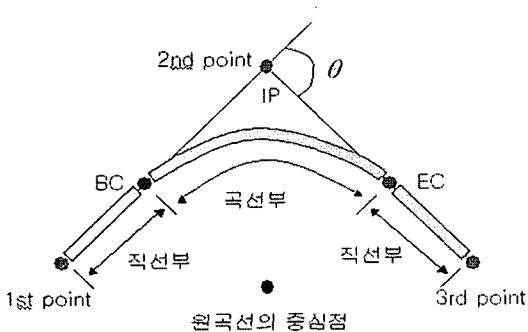


Fig. 6 도로 오브젝트의 생성

$$C(u) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u)w_i P_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u)w_i} \quad a \leq u \leq b \quad (3)$$

P_i : control points

w_i : weights

$N_{i,p}(u)$: basis function

NURBS 곡선은 그 형상을 자유로이 설계 할 수 있으므로 향후 도로설계 개념에 의한 도로 오브젝트의 생성시 직선과 원곡선, 그리고 완화곡선을 NURBS 곡선에 적용시켜서 생성할 수 있다. 이러한 이유로 NURBS 곡선에 의한 도로 오브젝트 생성 모듈이 필요하다. 식 (3)은 pth-degree NURBS 곡선 정의이다.

앞에서 설명한 바와 같은 방법으로 필요한 위치를 지나가

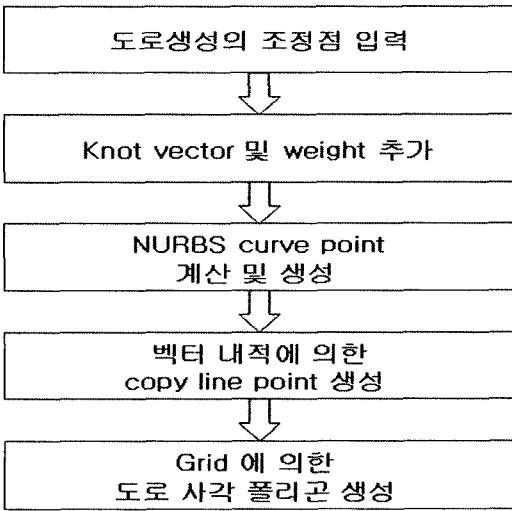
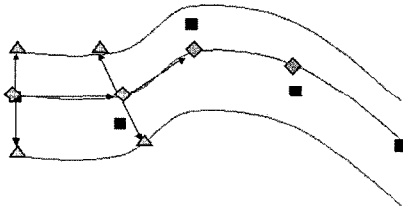


Fig. 8 NURBS 의한 도로 생성



■ CONTROL POINT ◆ NURBS LINE POINT ▲ COPY LINE POINT

Fig. 9 NURBS 곡선 Copy line 생성

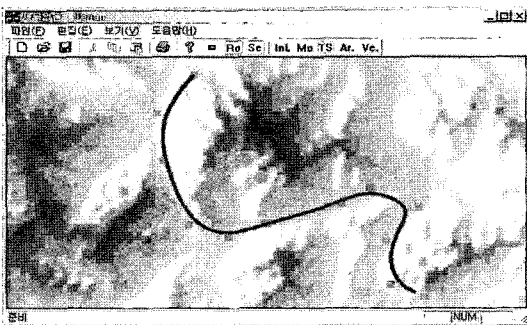


Fig. 10 NURBS 곡선에 의한 도로생성

는 NURBS 곡선을 생성시키고 Fig. 9와 같은 방법으로 곡선에 필요한 너비를 가지게 하여 도로 오브젝트를 생성하였다. 우선은 조정점(control point)을 원하는 위치에 지정하여 NURBS 곡선을 생성하고 벡터 내적의 성질을 이용하여 NURBS 곡선상의 개별 point에서 원하는 너비를 갖게하고

그것을 폴리곤화 하여 도로 오브젝트를 생성한다.

생성된 지형과 도로 오브젝트는 각각 wavefront사의 object 파일 형식인 *.obj로 저장되도록 하였다.

2.3 추가 모델링

2.3.1 데이터 Import 및 추가 모델링

3차원 자동 지형 생성 및 도로설계프로그램에서 생성된 3차원지형데이터와 도로 오브젝트는 주변의 지형만을 데이터화 한 것일 뿐이지 건물이나 도로의 구조물, 그리고 표지판 등은 생성 하지 않는다. 이것을 위하여 추가적인 오브젝트들을 멀티젠(MultiGen Creator)에서 모델링 하였다.

3차원 자동 지형생성 및 도로설계 프로그램에서 생성된 3차원 지형 오브젝트와 도로 오브젝트를 멀티젠에서 Import하고 필요한 지점 즉 시각 시뮬레이션을 시작할 위치를 선정한다.

추가 모델링에서는 중앙분리대나 가드레일 등과 같은 도로의 부속 시설물과 주변 환경의 건물 등을 모델링 작업이 이루어진다. 또한 도로 및 도로의 부속시설 그리고 주변 지형과 지물 등에 텍스처 맵핑 등을 하게 된다.

2.3.2 Level of Detail

방대한 크기의 DEM 데이터를 가지고 지형을 생성하고 또한 도로 오브젝트, 도로 부속시설, 주변 건물 등을 모델링 하였기 때문에 실시간 시각 시뮬레이션을 할 때 원하는 프레임 레이트를 얻기가 어려워 지게 된다. 그러므로 시각 시뮬레이션을 원하는 성능을 얻기 위하여 추가 모델링에서 폴리곤 단순화를 하여야 한다. 폴리곤 단순화의 방법에는 여러가지가 있으며 본 연구에서는 가장 간편하고 쉬운 Level of Detail 작업을 멀티젠에서 이용하였다.

Fig. 12의 왼쪽은 원래의 지형 오브젝트이고 오른쪽은 원래의 지형에서 폴리곤 단순화한 지형 오브젝트이다. 왼쪽의 오브젝트는 삼각망의 수가 809개이고 vertex의 수는 2427개 이다. 폴리곤 단순화한 오른쪽의 지형 오브젝트는 삼각형 수가 171개, vertex의 수는 513개로 줄어들었다. 이렇게 여

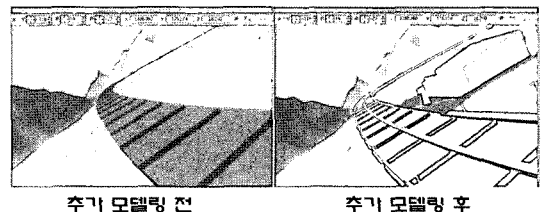


Fig. 11 추가 모델링

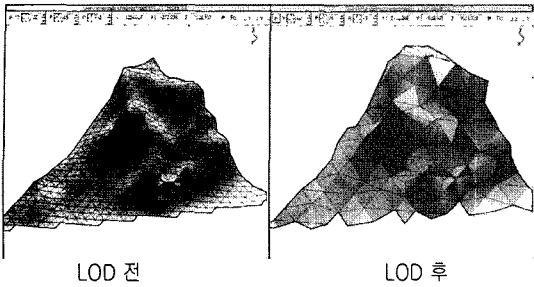


Fig. 12 LOD모델링

러 개의 오브젝트를 LOD 지정하여 렌더링시 좀더 효과적으로 성능을 높일 수 있다.

3. 실시간 렌더링 프로그램 개발

시각 시뮬레이션은 드라이빙 시뮬레이터에서 꼭 필요한 구성요소 중에 하나이다. 특히 드라이빙 시뮬레이터에서 고도의 현실감을 느끼게 하는 요소 중에 가장 많은 부분을 차지한다. 시각 시뮬레이션은 실시간 렌더링을 통하여 구현된다. 렌더링 부분은 장면의 복잡도가 높아지더라도 일정한 성능을 보여야 사용자가 원하는 분야에 사용할 수 있다.

실시간 렌더링은 매우 많은 연산과정을 거치기 때문에 사용자가 현실감을 느끼게 하기 위해서는 매우 성능이 좋은 컴퓨터의 사양이 필요하게 된다. 그러나 컴퓨터 하드웨어의 사양을 높이는 데에는 한계가 있기 때문에 렌더링 프로그램의 개발은 매우 중요한 부분이 되고 있다. 본 논문에서 구현한 실시간 렌더링 프로그램은 IRIS Performer 라이브러리를 이용하여 개발되었다. 렌더링 프로그램은 동역학 데이터를 입력 받는 모듈과 모델링 된 데이터를 로딩하는 모듈, 그리고 시뮬레이션 루프를 실행 시키는 부분으로 되어있다. 또한 본 프로그램은 가상 도로주행의 시각 시뮬레이션을 담당하게 된다.

실시간 렌더링이 자연스럽게 이루어지게 하기 위하여 IPC 기법 중 가장 효율적인 공유메모리를 사용함으로써 두 개의 프로세스가 물리적 메모리의 일부를 공유하여 데이터 교환 없이 빠른 액세스를 할 수 있도록 구성하였다. 또한 공유메모리를 사용할 경우 하나의 프로세스가 공유메모리 데이터를 수정하고 있을 때 다른 프로세스가 공유메모리 데이터를 읽는 경우와 또는 반대의 경우에서도 수정된 데이터와 수정되지 않은 데이터를 사용하게 되는 문제가 발생되어 세마포어를 사용하였다.

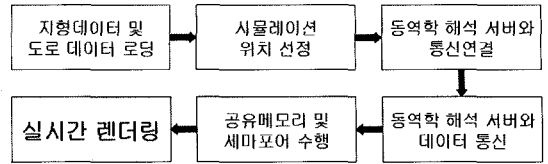


Fig. 13 실시간 렌더링

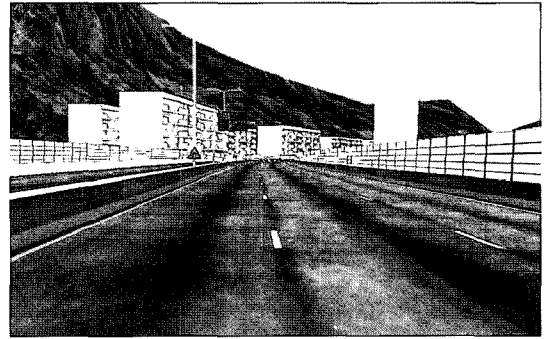


Fig. 14 실시간 렌더링 화면

4. 모션라이더 시스템

본 논문에서 사용된 드라이빙 시뮬레이터는 크게 3개의 시스템으로 나누어져 있다. 첫번째는 차량 동역학 해석과 각각의 시스템으로 데이터 전송하는 시스템과 두번째 모션 베이스를 제어하는 시스템, 그리고 세번째로 시각 시뮬레이션을 담당하는 시스템이다.

차량동역학 해석 시스템의 주요 기능은 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 조작하는 조향 휠, 액셀 레이터 및 브레이크 페달 등으로부터 검출된 신호를 입력 받아 실시간으로 차량 동역학을 해석 하고, 그 결과를 시각 및 운동시스템에 전달하여 운전자에게 피드백 하는 것이다. 차량 무게 중심에 질량이 집중되어 있다고 가정하고 6자유도의 차량모델에 대한 운동 방정식을 유도하고 실시간으로 해석된 차량의 위치, 회전 성분 데이터를 시각시스템으로 전송하고, 동시에 차량의 병진 가속도, 회전 각속도 데이터를 운동시스템으로 전송한다.

모션 베이스 시스템은 모션 플랫폼의 운동과 모션 플랫폼의 다리길이 모니터, 차량 동역학 해석 시스템에서 각종 명령들을 전송 받아 해석하고 그에 따라 모션 베이스에 적절한 구동명령을 수행시킨다.

Fig. 15는 모션 라이더의 구성도를 보여주고 있다. 각각의 시스템은 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 데이터 통신을 하게 된다. 차량동역학 해석 시스템 으로부터 차량의 위치 좌표

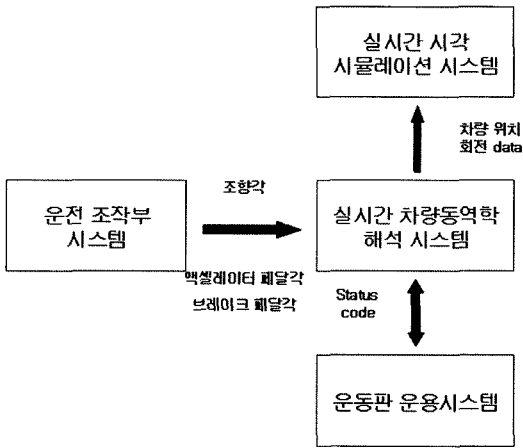


Fig. 15 모션라이더 시스템 구성도

인 x, y, z와 roll, pitch, yaw의 데이터를 1/30초에 한번씩 전송 받아 공유 메모리에 저장하고 렌더링 머신의 성능에 따라 사용자의 입력신호에 시간 지연 없이 렌더링 할 수 있게 하였다.

5. 결론

본 논문에서는 가상현실 시스템을 위한 시각 시뮬레이션 시스템인 3차원 자동 지형 생성 모듈과 도로설계 개념에 의한 도로 오브젝트의 생성, NURBS 곡선을 적용한 도로 오브젝트 생성 모듈이 있는 모델링 프로그램과 인터랙티브한 실시간 렌더링 프로그램을 개발하였다. 또한 모션라이더와 연결이 가능하도록 하였다.

시각 시뮬레이션 시스템은 최근 그 활용범위가 급격히 늘어나고 있는 가상현실 시스템에서 사용될 수 있다. 3차원 자동지형 모듈은 3차원 가상세계를 손쉽게 빠르게 생성할 수 있으며, 도로 오브젝트 생성 모듈은 기존의 도로설계 프로그램의 한계성을 뛰어 넘어 가상현실 시스템에 적용할 수 있으므로 도로설계 및 도로주행 시뮬레이션, 또한 자동차 시뮬레이터와 같은 여러 가지 가상현실 시스템의 시각 시뮬레이션

에 적용 될 수 있으므로 그 적용 범위를 넓힐 수 있을 것이다.

특히 도로를 설계할 때 미리 파악하기 어려운 문제점, 즉 도로가 완공되고 난 후에 도로 관리 및 운영에서 나타나는 운전자 성향에 따른 도로의 선형 문제와 교통 흐름에서 발생하는 여러 가지 설계단계에서 예측 못했던 문제점들을 가상 도로주행을 통해서 미리 파악하고 도로 설계 단계에 이를 반영하여 보다 효과적으로 도로의 안정성과 쾌적성을 갖춘 도로를 시공할 수 있으므로 시간과 비용을 절감할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 기존의 VR 시스템의 시각 시뮬레이션에서 필요로 하는 시각 데이터베이스 구축 시간이 효과적으로 줄어들 것이다.

후기

본 연구는 2004년도 서울대학교 학술연구비에 의해 연구되었음.

참고 문헌

- (1) Ryu, S. T., 1997, *The study of 3-D Geographical Modeling for flight simulation*, Thesis of Master, Chungang university.
- (2) Nam, Y. G., and Choi, H. J., 1997, *Advanced Engineering of Road*, Chungmungak.
- (3) Min, W., 1998, *Engineering of Road*, Gumiseokwan.
- (4) Ministry of construction & transportation, 2000, *Explanation & guideline for structural facility of road*, Gimundang.
- (5) Sanders, M. S., and McCormick, E. J., 1993, *Human Factors in Engineering and Design*, McGraw-Hill, Inc.
- (6) Bryson, S., 1994, *Approaches to the successful design and implementation of VR applications*, SIGGRAPH Course Note 2, SIGGRAPH94, pp. 9.1~9.11. *KSMTE*, Vol. 12, No. 1, pp. 78~83.