

케이브 기반 자동차 시제품 평가

고희동^a, 안희갑^a, 김진욱^a, 김종국^b, 송재복^b,
어홍준^c, 윤명환^d, 우인수^e, 박연동^e

^a한국과학기술연구원, ^b고려대학교,
^c포항공대, ^d서울대학교, ^e리얼타임비주얼

Evaluation of Car Prototpye using CAVE

HeeDong Ko^a, Hee-Kap Ahn^a, Jinwook Kim^a, Jongguk Kim^b, Jaebok Song^b,
Hongjun Eu^c, Myungwhan Yun^d, Insu Woo^e, Yeondong Park^e

^aKorea Institute of Science and Technology(KIST),
^bKorea University, ^cPohang University of Science and Technology,
^dSeoul National University, ^eRealtimeVisual

요 약

범용 가상환경 프레임워크 NAVER를 제안하고, 이를 케이브기반 가상현실환경에 적용하여 자동차 시제품 평가 실험에 활용한 사례를 소개한다.

NAVER는 다양한 가상현실 어플리케이션을 구현하기 위한 가상환경 프레임워크로, 확장성이 뛰어나고 재구성이 가능하다. NAVER는 Render Server, Control Server, 그리고 Device Server로 구성되어 있으며, 각 서버는 네트워크로 상호 통신하여 각각의 기능을 수행한다. NAVER는 XML 기반 스크립팅 언어를 지원하여 사용자가 자유롭게 가상환경의 여러 가지 객체와 인터랙션을 정의할 수 있도록 설계되었다.

NAVER를 케이브 기반 가상현실환경에 적용하여 자동차 시제품평가 실험에 활용하였다. KIST의 케이브 기반 가상현실환경은 4면의 정방형 스테레오 디스플레이 장치, 햅틱 압마스터 장비, 3차원 음향장비 등으로 구성되어 있어, 사용자에서 시각적인 측면에서 뿐만 아니라 촉각, 청각과 같은 여러가지 측면에서 다중현실감을 제시할 수 있다. 자동차 시제품 평가 실험을 통하여 사용자가 실제 자동차가 아닌 가상의 자동차 시제품을 관찰하고, 만져보고, 주행해 봄으로써 더욱 높은 몰입감과 현실감으로 자동차 조작장치의 조작성을 평가할 수 있음을 입증하였다.

Keywords: 가상현실, XML, 케이브, 햅틱 압마스터, 시제품평가

1. 서론

가상현실은 최근 군사, 교육, 의학, 그리고 문화산업[1]과 같은 수많은 응용분야에서 3차원 가상공간을 사용자에게 제시하는 매체로 널리 알려진 용어가 되었다. 개인용 컴퓨터의 성능이 그래픽스 워크스테이션에 비할 정도로 발전하면서 많은 가상환경 어플리케이션들이 개인용 컴퓨터를 기반으로 개발되어질 전망이다. 실시간 상호작용이 만족할 정도로 수행되기 위해서 화면에 제시되는 visual frame rate이 높아지면서 동시에 사용자의 입력에 대해 빠르게 반응해야 한다. 이러한 가상공간을 생성하기 위해 그동안 특별히 개발된 그래픽 워크스테이션이 사용되었다. 그러나 최근 빠르게 향상된 개인용 컴퓨터의 계산능력과 그래픽 처리 속도로 인해, 가상현실 응용 프로그램들을 고가의 워크스테이션 대신 개인용 컴퓨터를 이용하여 구현할 수 있게 되었다. [2]

본 논문에서는 이러한 그래픽스 워크스테이션 뿐만 아니라 여러 대의 개인용 컴퓨터들을 클러스터[3] 형태로 연결하여 구성하는 가상환경 시스템을 위한 가상환경 라이브러리인 NAVER를 제안하고, 이를 케이브 기반 가상현실 환경에 적용하여 자동차 시제품평가에 활용하는 실험 사례를 소개한다. Networked Augmented Virtual Environment aRchitecture의 약자인 NAVER는 가상현실 응용 어플리케이션들의 개발을 용이하게 한다. NAVER는 기능에 따라 Render Server, Control Server, 그리고 Device Server로 구성되어 있다. Render Server는 실시간 3차원 그래픽스 화면을 제시하는 역할을 한다. Device Server는 Render Server에 의해 생성되는 가상환경에 연결된 여러 장치들을 제어하는 역할을 한다. 이들 장치로부터 입력되는 값을 읽어 가상환경에 적용하고, 가상환경에서 입력되는 값을 받아 장치에 반영한다. Control Server는 이외에 가상환경 전체를 제어하고 대용량 데이터베이스를 연결하는 역할을 한다. 이러한 요소들로 구성된 NAVER는 확장성이 뛰어나고 재구성 가능한

가상현실 프레임워크이다.

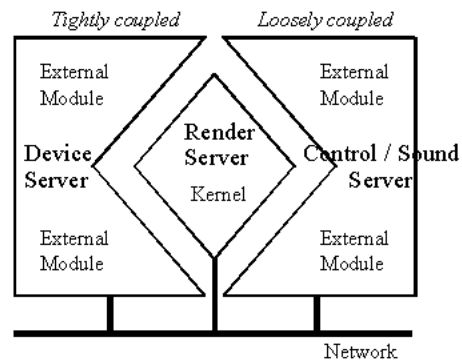


그림 1 NAVER의 기능적 구성

NAVER는 가상시스템과 구성과 가상공간을 사용자가 기술할 수 있도록 하기위하여 XML 기반의 NAVER 스크립팅 언어를 지원한다. XML을 이용한 사용자 스크립트는 사용자가 자유롭게 가상환경상의 객체와 환경, 인터랙션을 정의할 수 있도록 한다.

우리는 NAVER를 케이브 기반 가상현실 환경에 적용하여 자동차 시제품평가 실험에 활용하였다. KIST의 케이브 기반 가상현실 환경은 4면의 정방형 디스플레이 장치, 햅틱 암마스터 장비, 3차원 음향장비로 구성되어 있어, 기존의 시각적인 측면에 초점이 맞추어진 가상현실 환경과 달리, 시각, 촉각, 청각 등의 다중현실감을 제시할 수 있다. 사용자는 케이브 기반 가상현실 환경 안에서 가상의 자동차를 관찰하고 관찰하고, 조작하고, 직접 운행해 봄으로써 더욱 높은 몰입감과 현실감으로 자동차의 인터리어의 조작성을 평가할 수 있다. 이는 고가의 실물 시제품(prototype)을 제작하지 않고도, 가상환경 상에서 자동차의 인터리어의 조작성을 평가할 수 있음을 입증하는 것이다.

2. 관련 연구

본 장에서는 현재 사용되고 있는 몇 가지 가상현실 시스템에 대해 소개한다.

Iowa 주립대학에서 개발된 VR Juggler[4]는 어플리케이션과 라이브러리 모두의 이동성, 확장성, 그리고 유지보수를 모두 고려하여 개발되

었다. 마이크로 커널 구조로 개발된 VR Juggler는 실행시에 추가되거나 재구성가능하고, 또한 제거가능한 어플리케이션의 초기 개발을 위한 방법을 제공한다. 또한 VR Juggler는 어플리케이션 개발을 위한 가상 플랫폼을 제공한다. 이 가상 플랫폼 개념은 그래픽스나 입력장치 같은 영역을 포함한 VR Juggler의 디자인을 통해 확장된다.

Virginia 공대에서 개발된 DIVERSE[5]는 분산 시뮬레이션의 제작을 용이하게 하기 위해 개발된 소프트웨어 패키지의 집합이다. DIVERSE 툴킷은 로컬과 네트워크로 연결된 실제 혹은 시뮬레이션된 상호작용 장치를 접근할 수 있도록 한다. 이 툴킷은 입출력장치와 에뮬레이터의 실시간 교체를 지원하고 장치 독립 어플리케이션의 개발을 가능하게 한다. OpenGL Performer용 DIVERSE 그래픽스 인터페이스는 OpenGL Performer를 시뮬레이션에 추가할 수 있도록 한다.

NAVER의 전체적 목적은 위에 설명된 두 시스템과 유사하다. 그러나 NAVER는 분산 마이크로 커널 구조로 설계되었고, XML기반의 스크립트 언어로 가상환경을 시스템과 가상공간을 기술할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 가상현실 시스템은 단순히 3차원 가상공간을 다중화면에 제시하는 데 그치지 않고 다양한 상호작용을 지원해야 한다. NAVER는 분산 마이크로 커널로 구성되어 네트워크 상의 다수의 컴퓨터들을 연결하여 3차원 가상공간이 많은 다양한 형태의 인터페이스 장치들과 통합하여 가상환경을 구성한다. 이러한 구조는 가상환경 시스템을 확장가능하고 재구성 가능하도록 한다. 개발자는 커널의 수정 없이 새로운 함수나 인터페이스를 단지 외부모듈을 추가함으로써 확장할 수 있다. 또한 외부모듈을 재구성함으로써 특정 어플리케이션이나 콘텐츠를 위해 시스템이 재구성될 수 있다. 클러스터 환경에 서버를 추가하여 전체 시스템의 성능 또한 향상시킬 수 있다. 스크립트는 사용자가 가상공간뿐만 아니라 시스템 구성과 외부모듈에 대해 기술할 수 있도

록 한다. 만약 외부 모듈이 참여자들과의 실제 인터페이스를 표현한다면 가상공간과 현실공간과의 다양한 연결이 스크립트파일에 기술될 수 있다. 따라서 가상공간에서 생성된 어떠한 이벤트도 현실공간상에 반영되고 그 반대방향으로도 반영된다.

3. NAVER

본 장에서는 NAVER 커널의 주 구성요소인, Scenario Manager, Command Manager, Event Manager, Interaction Manager, 그리고 Sync Manager에 대하여 설명한다.

커널의 작동순서에 따라 사용자가 제공한 XML 스크립트 파일이 Scenario Manager에 의해 유효성이 검증된 후 Command Manager에게 전달된다. Command Manager는 스크립트에 따라 scenegraph 구성, 환경 설정, 그리고 네트워크 준비작업 등과 같은 적합한 작업을 수행한다. 실행 시에 수행되어야 하는 작업은 Event Manager에 의해 Command Manager로 전달되어 수행된다. 아래 그림2 에서 보는바와 같이 Event Manager는 Control Server와 연결되어 있고, Interaction Manager는 Device Server와 Network를 통해 연결된다.

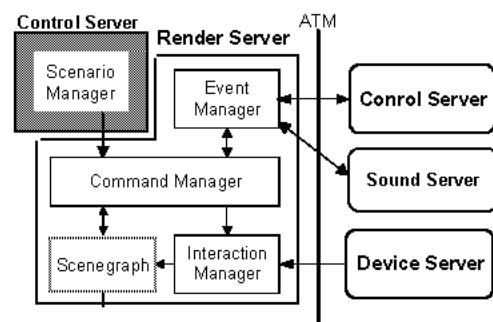


그림 2 NAVER 커널과 외부 서버와의 연결

Scenario Manager는 가상환경과 다양한 인터페이스와 그들의 상호작용을 기술하는 XML기반

의 NAVER 스크립트 파일을 읽어 유효성을 검증한 후, Command Manager에게 전달한다. 사용자가 쉽게 읽고, 수정하며, 확장 가능한 기술방법을 제시하기 위해 NAVER의 Scenario Manager는 XML을 기반으로 한 스크립트 기술을 지원한다. NAVER 스크립팅 언어는 가상환경 변수들의 초기화, scenegraph의 계층적인 구성, 가상공간상의 가상물체와 현실공간의 상호작용 장치와의 상호작용에 대한 정의, 그리고 가상환경 시나리오에 대한 기술이 가능하도록 한다.

그림 3은 NAVER 스크립팅 언어의 DTD를 다이어그램으로 보여준다.

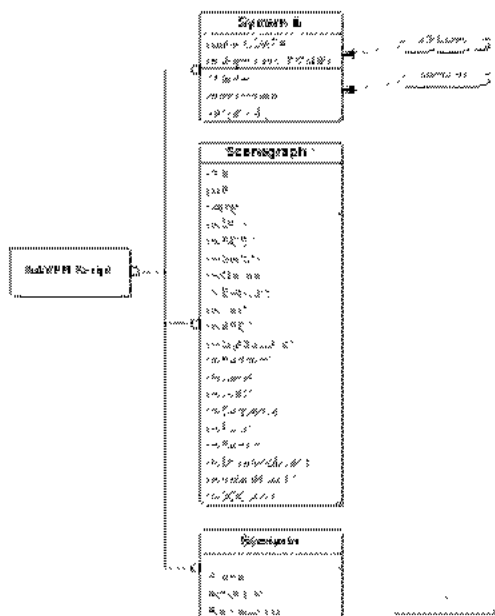


그림 3 NAVER 스크립트의 구조

그림 3에서 보는 바와 같이 NAVER 스크립트는 크게 시스템 설정과 관련한 System 구성요소, 가상공간을 차지하게 될 물체들을 정의하는 Scenegraph 구성요소, 그리고 가상현실의 흐름을 제어하는 Scenario 구성요소로 구성된다. 먼저 System 구성요소에서는 제시될 화면 설정과 관련한 여러 가지 변수들(파이프와 채널의 개수, 시야각, 3차원 화면제시 여부, 충돌검사 여부 등)의 값을 설정한다. 또한 가상공간 체험자

에게 시각적으로 영향을 미칠 환경에 대해 기술할 수 있다. 그리고 여러 가지 입출력 장치들을 통합·제어하는 Device Server, 가상환경의 흐름을 제어하는 Control Server 등 가상환경에 통합되어 다양한 형태의 상호작용을 제시해 줄 외부 서버들에 대해 정의한다. 그림 4는 System의 구성에 대해 다이어그램으로 보여준다

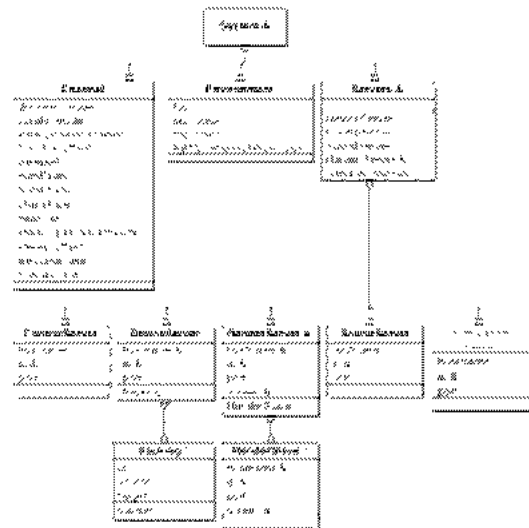


그림 4 NAVER 스크립트의 System 정의

가상환경의 시스템 구성에 대한 설정과 동시에 가상공간을 구성하게 될 가상의 물체들이 그림 5와 같이 Scenegraph 구성요소에 의해 기술된다. Scenegraph 구성요소는 크게 OpenGL Performer에서 정의된 노드들과 NAVER에서 별도로 정의한 노드들로 구성된다. OpenGL Performer에서 정의된 노드들은 그림 5의 두 번째 계층에 있는 것과 같이 그룹의 형태로 자식 노드들을 가질 수 있는 종류(nvDCS, nvSCS, nvLayer 등)와 첫 번째 계층에 있는 노드들과 같이 그 자체로 자식 노드가 되는 종류(nvGeode, nvBillboard, nvText 등)로 분류된다. NAVER에서 자체 정의한 노드들로는 3차원 가상공간상의 물체들과 상호작용, 충돌검사 및 애니메이션을 위한 nv3DCursor와 nvSensor 노드가 있고, 실시간 비디오로 촬영된 영상을 가상공간상에 제시하기 위한 Video Board, 그

리고 가상환경 체험자에게 시각적 피드백을 제시하기 위한 nvVisualBoard가 있다.

니메이션을 기술한다.

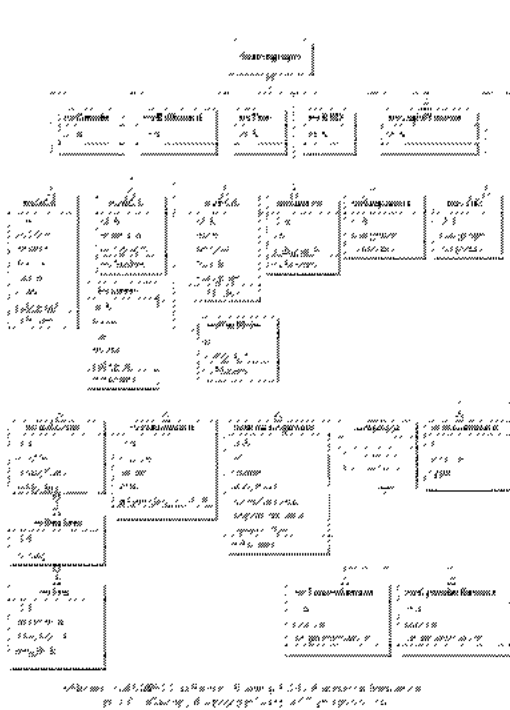


그림 5 NAVER 스크립트의 Scenegraph 정의 부분

다음으로는 가상환경의 흐름을 제어하기 위한 Scenario 구성요소는 여러개의 Scene과 ActionList, 그리고 AnimationList로 구성된다. Scene은 영화촬영에 사용되는 용어로 영화에서와 같이 동일한 Scenegraph가 제시되는 가상공간에서 연출되거나 체험자의 상호작용이 이루어지는 단위를 말한다. 각 Scene은 고유 id와 다음 Scene의 id를 가진다. Scene의 구성요소에는 카메라의 움직임에 해당하는 Cut, 가상공간상의 물체를 움직이거나 조작하기 위한 Manipulation, 기본 값으로 정의된 다음 Scene 대신 실시간 상호작용에 의한 결과에 따라 정의된 다음 Scene으로 전이하기 위한 Condition, 그리고 Scene사이의 전이 종류를 기술하는 Transition으로 구성된다. Scene과 그 상위계층인 Scenario 들 다 가질 수 있는 ActionList와 AnimationList는 정의된 조건을 만족할 때, NAVER가 가상공간상에 제시하는 Action과 에

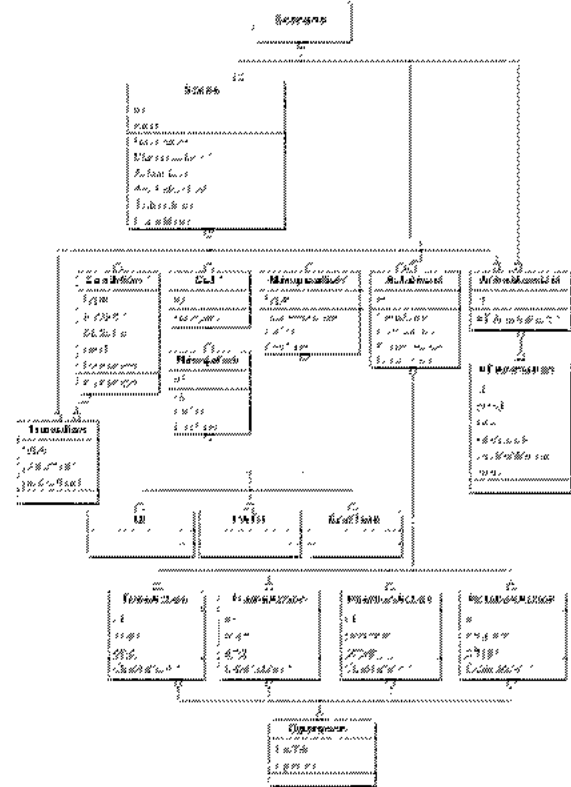


그림 6 NAVER 스크립트의 Scenario 정의 부분

위에 정의된 DTD를 따라 XML기반의 NAVER 스크립트를 작성한 후, NAVER 라이브러리를 실행하면, 원하는 가상공간과 다양한 형태의 상호작용을 제공받을 수 있다. 현재 위의 정의된 DTD의 대부분은 구현이 완료되어 감성공학 실험과 경주 가상극장에서 사용되었고, Scenario 구성요소에 대한 구현은 진행 중에 있다.

4. KIST 케이브 기반 가상현실환경

케이브 기반 가상현실환경에 NAVER를 적용하였다. KIST 케이브 기반 가상현실환경은 4면의 정방형 스테레오 디스플레이 장치와 햅틱 압마스터 장비, 3차원 음향장비 등으로 구성되어 있으며, 스테레오 디스플레이 장치의 각 채널은 체험자의 눈 위치에 따라 사용자를 둘러싼 화면제시용 벽면 각각에 해당하는 화면을 입체

적으로 제시한다. 정면, 좌우면, 그리고 바닥면으로 4 화면으로 구성되어 있고 각각의 화면은 고성능 워크스테이션을 사용하였을 경우, 4개의 그래픽 파이프라인을 각 화면에 할당하거나, 클러스터 시스템을 사용하였을 경우, 네 대의 PC가 서로 네트워크를 통하여 동기화되어 각각의 PC가 한 화면을 담당하도록 설계되었다. 각각의 화면은 가로, 세로, 높이 각각 2.2 미터로 정육면체를 형성하며, 자기장의 영향을 최소화하기 위해 알루미늄 기둥을 사용하였다. 또한 BARCO 프로젝터를 사용해 좌우면과 정면은 체험자를 기준으로 벽 뒷면에서 화면을 프로젝션했다. 그림 7은 KIST의 케이브 기반 가상현실환경에 NAVER를 사용하여 체험자에게 몰입적 화면을 제시한 그림이다.



그림 7 KIST 케이브 기반 가상현실환경

KIST 케이브 기반 가상현실환경은 시각적인 측면뿐만 아니라, 촉각, 청각 등의 다중현실감을 제시하기 위하여 햅틱 암마스터와 3차원 음향장치 등을 포함한다. 햅틱 암마스터 장치는 3차원 공간상에서 5자유도 운동이 가능하며, 관절 엔코더를 통하여 팔과 손목의 위치를 감지한다. 또한 모터를 이용하여 힘 피드백을 구현하였으며, 팔 및 어깨에 가해지는 중량을 최소화하기 위하여 외부고정식 구조를 채택하였다.

햅틱 암마스터는 NAVER device 서버와 연결되어 햅틱 암마스터의 관절값을 보고하고, device 서버로부터 구속조건을 부여받아, 지정된 구속조건에 따라 각 관절을 내부 DSP 컨트롤러를 통해 피드백 제어한다.

이를 통해 사용자는 가상현실공간상의 촉감을 느낄 수 있어, 복합적인 몰입감과 현실감을 전달받는다.



그림 8 햅틱 암마스터

3차원 음향장비는 NAVER 사운드 서버와 연결되고, 케이브의 각 모서리에 장착된 4채널 스피커로 구성되어있다. NAVER 사운드 서버는 NAVER 커널 Event manager의 이벤트 발생에 따라 미리 정의된 음향과 음악을 인터랙티브하게 발생시킨다.

5. 자동차 시제품 평가 실험

NAVER를 KIST 케이브 기반 가상현실환경에 적용하여 자동차 시제품 평가실험을 수행하였다. 본 실험은 자동차 인테리어의 조작성을 평가하기 위하여 고가의 실물 자동차를 제작하지 않고, 가상현실기법을 이용하여 수행할 수 있음을 입증하였다.(그림 9)

피실험자는 KIST 케이브 기반 가상현실환경 안에서 햅틱 암마스터를 착용하고 가상의 자동차를 관찰하고, 조작장치들을 조작해보고, 가상 도시를 주행함으로써 실물 자동차와 근접한 경험을 할 수 있다. 자동차의 조작 장치는 스티어링 휠, 기어 쉬프트, 비상등, 라디오 조작버튼 등을 조작할 수 있다. 예를 들어 사용자는 햅틱 암마스터를 착용한 상태에서 가상 아바타의 우완을 움직여 스티어링 휠에 가까이 접근한다. 스티어링 휠을 잡고 조향을 하고 싶다면 햅틱 암마스터의 손잡이에 장착되어있는 그림버튼



그림 9 가상 운전 환경에서 운전조작장치의 조작성 평가 실험

(grip button)을 눌러 스티어링 휠을 잡았음을 표현한다. 햅틱 암마스터로부터 획득된 가상 아바타의 손과 스티어링 휠이 충분히 가깝게 위치하고 있고, 그립버튼이 눌러졌다면, 가상현실 환경은 사용자가 가상적으로 스티어링 휠을 잡았다고 인식하고, 스티어링 휠에 정의된 구속조건인 원 구속 명령을 햅틱 암마스터에 전달한다. 햅틱 암마스터는 원 구속조건에 맞는 힘 피드백 제어를 하여, 사용자는 마치 실제 스티어링 휠을 통해 자동차를 조향하는 듯한 촉감을 느낄 수 있다. 기어 쉬프트에는 직선 구속조건이 정의되었으며, 사용자가 기어를 조작함에 있어 햅틱암마스터로부터 가상의 구속을 받아, 실제 기어 쉬프트를 조작하는 느낌을 받는다. 비상등과 라디오 조작단추를 작동하였을 경우에는 비상등이 깜빡이고, 라디오 정보가 디스플레이되어 사용자는 시각적인 피드백을 받는다. 그림 10은 실험에서 사용된 조작장치들을 나타낸다.



그림 10 “가상 운전환경에서 운전조작장치의 조작성 평가” 실험에서 사용된 조작장치(스티어링 휠, 기어 쉬프트, 비상등, 라디오 버튼)

열거된 조작장치들의 평가속성이 실험계획에 의해 설계되어, 피실험자당 8회 실시하였다. 조작장치의 평가 속성은 표1과 같다.

variables	state1	state2
스티어링휠의 조작임	작은 힘(5N)	큰 힘(15N)
기어 쉬프트의 위치	기어쉬프트패널	스티어링휠 옆
비상등 위치	센터 페시아	기어쉬프트패널
라디오버튼 위치	센터 페시아	스티어링휠

표 1 조작성실험의 독립변수

실험이 종료한 후에는 사운드 서버를 통하여 설문문항이 재생되고, 사용자는 음성인식을 통하여 100점 만점으로 조작성을 평가하고 결과가 실험데이터베이스에 저장된다.

본 실험을 위한 가상현실환경은 NAVER XML 스크립트 언어를 이용하여 가상현실환경을 구성하고 있는 가상개체들을 신그래프(scene graph) 표기법에 따라 정의함으로써 구성되었다. 가상도시, 자동차, 조작장치, 가상 아바타 등이 계층적으로 정의되었으며, 이중 가상 아바타의 오른손에 nv3DCursor 노드를 부착하였고, 인터랙션이 필요한 스티어링휠 등의 조작장치에 nvSensor 노드를 부착하였다(그림 5 참조). NAVER는 매 프레임 이들 노드들의 위치를 계산하여 충돌 검출시 콜백함수(callback function)을 실행하도록 설계되었다. 우리는 이들 노드의 충돌 이벤트의 콜백함수를 이용하여 조작시 필요한 햅틱 암마스터 구동, 애니메이션 등을 구현하였다.

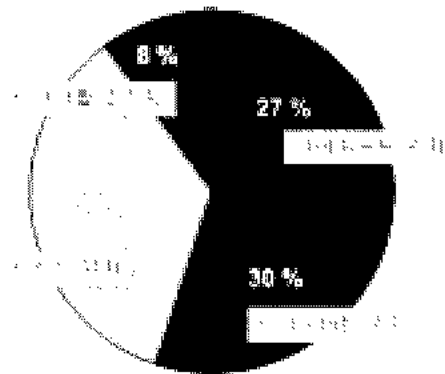


그림 11 설계요소의 중요도

2명의 파일럿 테스트를 포함하여 총 12명의 피실험자를 통해 얻은 조작성에 대한 각 설계 요소의 중요도 결과는 그림 11과 같다.

6. 결론

범용 가상환경 프레임 워크 NAVER를 제안하였다. NAVER는 XML 스크립트를 통해 사용자가 자유롭게 가상환경의 여러 가지 객체와 인터랙션을 정의할 수 있도록 설계되었다. NAVER를 4면의 정방형 스테레오 디스플레이 장치, 햅틱 암마스터 장비, 3차원 음향장비 등으로 구성된 KIST 케이브 기반 가상현실환경에 적용하여 자동차 시제품 평가 실험을 수행하였다. 사용자에게 시각적인 측면에서 뿐만 아니라 촉각, 청각과 같은 여러가지 측면에서 다중현실감을 제시할 수 있어, 실제 자동차가 아닌 가상의 자동차 시제품을 관찰하고, 만져보고, 직접 운행해 봄으로써 더욱 높은 몰입감과 현실감으로 자동차의 인테리어 조작성을 평가할 수 있음을 입증하였다.

References

1. B. MacIntyre and S. Feiner, "A Distributed 3D Graphics Library", *ACM SIGGRAPH '98*, pp. 361-370, 1998.
2. K. Watsen and Mike Zyda. "Bamboo: A Portable System for Dynamically Extensible, Real time, Networked, Virtual Environments", *IEEE Virtual Reality*, pp. 252-259, 1998.
3. G. Humphreys and P. Hanrahan. "A Distributed Graphics System for Large Tiled Displays". *IEEE Visualization '99*, pp.215-223, 1999.
4. John Kelso, Lance E. Arsenault, "DIVERSE: A Framework for building Extensible and Reconfigurable Device Independent Virtual Environments", Technical Paper.
5. Allen Bierbaum, "VR Juggler: A Virtual Platform For Virtual Reality Application Development". *IEEE Virtual Reality*, pp. 89-96, 2001.
6. DeFanti T. A., "Surround screen projection based virtual reality : the design and implementation of the CAVE", *ACM SIGGRAPH 93*, pp. 135-142, 1993.