

만질 수 있는 비디오를 위한 햅틱 렌더링 기술

이환문[†], 김기권^{**}, 성미영^{***}

요 약

본 논문에서는 만질 수 있는 비디오를 위한 햅틱 렌더링 기술을 제안한다. 만질 수 있는 비디오 기술은 사용자로 하여금 햅틱 인터페이스를 이용하여 비디오 장면의 물체를 2D 또는 3D 객체 상태로 직접 조작하며 촉감을 느낄 수 있게 해주는 기술이다. 서버에서는 비디오와 햅틱 데이터, 3D 모델 객체의 정보를 전송한다. 클라이언트에서는 서버로부터 받은 비디오, 햅틱 데이터, 3D 모델을 렌더링 해준다. 또한 화면을 사각형의 작은 셀로 나누어 각각의 셀마다 촉감을 부여하는 방식을 사용한다. 촉감을 부여하기 위하여 각 셀에 고유한 느낌을 주는 경도(stiffness), 제동성(damping), 정적 마찰력(static friction), 동적 마찰력(dynamic friction) 값의 조합을 미리 정의해 놓았다. 본 기술을 이용하면 사용자는 화면을 직접 만지거나 화면 속의 물체를 3D 모델로 불러온 다음 이동, 크기 조절, 회전 등의 기능을 이용하여 사용자가 원하는 위치에서 촉감을 느끼면서 물체를 자세히 관찰할 수도 있다. 본 논문에서 제안하는 만질 수 있는 비디오를 위한 햅틱 렌더링 기술은 영화, 홈쇼핑 등의 비디오 콘텐츠에 대하여 시각적 효과, 청각적 효과와 더불어 촉각적 효과까지 제공하여 사용자 만족감을 극대화할 수 있다.

Haptic Rendering Technology for Touchable Video

Hwanmun Lee[†], Kikwon Kim^{**}, Mee Young Sung^{***}

ABSTRACT

We propose a haptic rendering technology for touchable video. Our touchable video technique allows users for feeling the sense of touch while probing directly on 2D objects in video scenes or manipulating 3D objects brought out from video scenes using haptic devices. In our technique, a server sends video and haptic data as well as the information of 3D model objects. The clients receive video and haptic data from the server and render 3D models. A video scene is divided into small grids, and each cell has its tactile information which corresponds to a specific combination of four attributes: stiffness, damping, static friction, and dynamic friction. Users can feel the sense of touch when they touch directly cells of a scene using a haptic device. Users can also examine objects by touching or manipulating them after bringing out the corresponding 3D objects from the screen. Our touchable video technique proposed in this paper can lead us to feel maximum satisfaction the haptic-audio-visual effects directly on the video scenes of movies or home-shopping video contents.

Key words: Haptics, Touch, Video, Virtual Reality, Realistic Media, Multimedia

※ 교신저자(Corresponding Author): 성미영, 주소: 인천시 연수구 송도동 12-1 인천대학교 정보기술대학 427호(406-772), 전화: 032)835-8496, FAX: 032)835-0780, E-mail: leehwanmun@incheon.ac.kr

접수일: 2010년 2월 12일, 수정일: 2010년 4월 17일

완료일: 2010년 5월 30일

[†] 준회원, 인천대학교 컴퓨터공학 석사과정

(E-mail: leehwanmun@incheon.ac.kr)

^{**} 인천대학교 컴퓨터공학 석사과정

(E-mail: kwon1983@incheon.ac.kr)

^{***} 종신회원, 인천대학교 컴퓨터공학과 교수

(E-mail: mysung@incheon.ac.kr)

※ 이 논문은 인천대학교 2008년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

1. 서 론

방송, 주문형 비디오, 생활정보 등 다양한 멀티미디어 콘텐츠를 사용자에게 제공해 주는 인터넷 프로토콜 텔레비전(Internet Protocol Television)의 등장으로 소비자들은 더욱 새롭고 실감나는 콘텐츠를 요구하게 되었다. 이러한 요구에 맞추어 실감형 컴퓨팅이 대두되고 있다. 실감형 컴퓨팅의 한 예로 실감 방송을 들 수 있다. 이는 다차원 실감 미디어를 이용하여 사용자에게 몰입감을 줄 수 있는 방송 서비스이다. 다차원 실감 미디어란 공간과 시간의 제약을 극복하는 다양한 형태의 요소 정보로 인간의 오감을 통해 보고, 듣고, 느낄 수 있는 통합 미디어이다. 다차원 실감 미디어의 구체적인 예로는 컴퓨터 그래픽스 객체 정보, 다차원/다시점 비디오 정보, 다채널 오디오 정보, 그리고 촉각 정보의 결합을 들 수 있다[1].

다차원 실감 미디어 중 촉각 정보를 생성하고 전달하는 기술이 햅틱스 기술이다. 햅틱스는 인간과 컴퓨터가 촉각정보를 주고받을 수 있도록 하는 컴퓨터 기술이다. 햅틱스는 크게 힘 피드백(force feedback)과 촉각 피드백(tactile feedback)으로 구분된다. 힘 피드백은 기계적 인터페이스를 통해 사용자로 하여금 힘과 운동감을 느낄 수 있게 하고, 촉각 피드백은 물체 표면의 재질을 사실적으로 사용자에게 전달하는 것이다[2]. 햅틱스는 학문의 한 분야로서, 가상환경 혹은 로봇 등을 이용하여 원격으로 물체를 만지는 환경에서 사용자에게 촉각과 힘 정보를 전달하는 방법과 관련된 연구의 총칭이다. 가상환경 속에서 사용자가 물체를 만지고, 옮기고 하는 행동을 가능하게 하는 하드웨어, 소프트웨어 및 심리학적 연구가 모두 햅틱스에 포함된다.

본 논문에서는 실감 컴퓨팅의 한 예인 실감 방송을 더욱 효과적으로 제공할 수 있도록 힘 피드백과 촉각 피드백으로 구성되는 햅틱스 기술을 이용하여 동영상을 만들 수 있게 해주는 방법을 제안한다. 만들 수 있는 동영상은 기존 동영상의 시각 효과와 청각 효과에 촉감을 주어 사용자에게 실감성을 증진시켜준다. 일반적으로 홈쇼핑에서 물건을 구매할 때 사용자는 눈으로만 물건을 보고 구매를 하게 되며 사용자가 원하는 대로 상품을 둘러보거나 만져보지 못하는 단점이 있다. 그러나 본 논문에서 제안하는 만들 수 있는 동영상 기술을 이용하면, 소비자가 원하는 모든

방향에서 삼차원으로 상품을 검토할 수 있으며 상품에 대한 촉각까지 전달하여 보다 사실적인 상품 검토를 통하여 원하는 물건을 정확히 구매할 수 있다.

만질 수 있는 동영상은 서버에서 동영상 파일, 햅틱 정보, 3D 모델 정보를 동시에 클라이언트로 스트리밍 한다. 클라이언트에서는 이 정보들을 가지고 동영상을 재생한다. 동영상과 함께 전송된 햅틱 정보와 3D 모델을 동시에 렌더링 한다. 사용자가 촉감을 느낄 수 있는 부분은 동영상의 배경과 동영상 안에 있는 객체이며 이들 객체들을 햅틱 장치를 이용하여 조작함으로써 촉감을 느낄 수 있다.

본 논문의 2절에 관련연구를 소개하고, 3절에는 본 논문에서 제안하는 만들 수 있는 동영상에 대하여 자세히 설명하고, 4절에서는 햅틱 재질의 평가 방법 및 평가 결과를 알아보고, 5절에 본 논문의 결론과 향후 계획을 서술한다.

2. 관련연구

2.1 햅틱 렌더링(Haptic Rendering)

햅틱 렌더링은 1995년 K. Salisbury에 의해 처음 제안된 용어로서, 햅틱스 기술이 적용된 환경에서 사용자가 가상의 물체에 접촉하는 동안 가상 물체와의 상호작용을 위해 햅틱 장치로 전달되는 힘을 계산하는 일련의 모든 과정을 말한다[3,4]. 표면의 재질을 표현하기 위한 속성에는 경도, 제동성, 정적 마찰력, 동적 마찰력의 네 가지가 있으며, 이는 각각 표면의 단단함, 객체의 가속도에 비례한 반발력, 정지상태의 마찰력, 운동 상태의 마찰력을 의미한다. 이들 네 가지 값의 조합으로 특정 재질을 정의할 수 있다.

2.1.1 햅틱 장치 (Haptic Device)

햅틱 장치는 컴퓨팅 시스템과 직접적으로 통신을 하며 실시간으로 햅틱 장치의 좌표 및 버튼 클릭 이벤트를 수신한다. 대표적인 햅틱 장치에는 CyberGrasp[5], CyberTouch[6], Novint Falcon[7], Phantom Omni[8] 등이 있는데 자유도와 정밀도, 그리고 제공되는 힘이 다르다. 본 연구에서 사용하는 Phantom Omni는 펜 타입의 햅틱 장치로 6 자유도(degrees of freedom; DoF)를 지원하는데, 3 공간 자유도(spatial degrees of freedom; DoF)와 3 힘자유도(force DoF)로 구성되며 제공되는 힘은 3.3N(뉴턴)이다. Phanto

m Omni를 구동하기 위해서 FreeForm System[9], ClayTools System[10], OpenHaptics[11] 등의 소프트웨어를 사용할 수 있는데, 본 연구에서는 OpenHaptics 툴킷(Toolkit)을 사용하였다[12].

2.1.2 햅틱 렌더링 방법

햅틱 렌더링은 사용자에게 3D 객체의 사실적인 촉각 렌더링을 제공하기 위해서 힘 렌더링(force rendering)을 이용한다. 힘 렌더링은 탄성(spring), 제동자(damper), 마찰(friction), 관성(inertia) 이렇게 네 가지 성질에 대한 힘으로 구성된다[13].

■ 탄성력(spring force): 스프링 햅틱 렌더링에서 공통적으로 사용되는 힘이다. 스프링력은 그림 1처럼 Hook's Law ($F=kx$, k = stiffness, x = 변위벡터)를 적용한 계산법이다 [14].

■ 제동력(damper force): 제동력은 힘의 반대 방향으로 작용하는 힘을 말한다. $F=-bv$ 의 수식을 사용한다. b 는 damping 상수를 의미하며, v 는 말단작동체(end-effector)의 속도를 의미 한다[15].

■ 마찰력(friction force): 마찰력은 쿨롱 마찰(coulombic friction), 점성 마찰(viscous friction), 정적 마찰(static friction), 동적 마찰(dynamic friction)이 포함된다. 쿨롱 마찰과 점성 마찰은 제동자(damper)로 표현되며 제동 상수(damping coefficient)의 값의 차이와 형체력(force clamp, 지지하는 힘) 값의 높고 낮음에 따라서 구분된다[16,17].

■ 관성력(inertia force): 관성은 대량의 힘이 발생했을 때 일어나는 힘을 말한다. 뉴턴의 법칙(Newton's Law) $F=ma$ 에 따라 가속이 클수록 관성의 힘도 커지게 된다.

그림 1은 힘 피드백 방법 중 프록시 위치를 이용한 방법을 나타낸다. 프록시 위치는 만질 수 있는 객체의 표면 바깥쪽에 위치한다. 햅틱 렌더링 엔진이 계속해서 프록시 위치를 업데이트 해주며, 햅틱 장치의 위치와 프록시의 위치를 일치시키는 작업을 수행한다. 햅틱 포인터가 물체의 표면을 뚫고 지나가게 되더라도 프록시 위치는 변함없이 객체의 바깥쪽에 위치한다. 햅틱 포인터가 물체의 안쪽으로 들어오게 되면 햅틱 장치의 위치와 프록시 위치에서 가상의 탄성-제동자(spring-damper)에 따라 힘을 발생시키게 된다. 탄성-제동자에 따른 계산은 OpenHaptics의 응

용 프로그램 인터페이스인 HLAPI(Haptic Library Application Programming Interface)에서 자동으로 계산해준다.

사용자가 3D 객체를 사용자의 화면에 나타내고 그 모양과 촉감을 느낄 수 있게 하려면 그래픽 렌더링과 햅틱 렌더링을 동기화하여 구현해 주어야 한다. 본 연구에서는 OpenGL[18]의 피드백 버퍼를 사용하여 3D 객체를 그래픽 렌더링 하는 동시에 OpenHaptics를 사용하여 햅틱 렌더링 하도록 구현하였다[19,20].

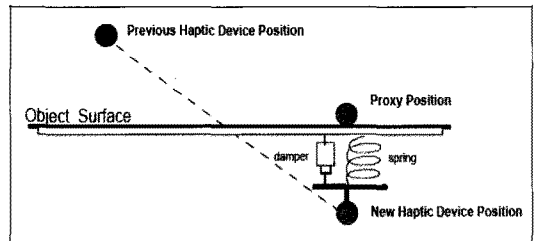


그림 1. 힘 피드백 계산 방식[10]

2.1.3 물체 표면 재질감

물체의 표면에 대한 재질감은 위에서 설명한 네 가지 힘에 따라서 형성된 경도, 제동성, 정적 마찰력, 동적 마찰력의 네 가지 속성의 조합으로 다양한 촉감을 표현한다. 이러한 값의 조합들은 표 1에서 보는 바와 같이 다양한 물질의 촉감 예를 제시할 수 있다.

이전 연구에서 우리는 거친 표면의 햅틱 렌더링 합성방법에 대하여 연구하였고[21], 햅틱 재질 특성을 결정하는 네 개 속성의 조합으로 숲, 바위, 모래, 유리, 오렌지, 모피, 스펀지, 고기, 가죽, 나무 등의 재질을 실제 촉감과 가장 가깝게 표현할 수 있는 속성 조합에 대한 촉각데이터 베이스를 구축하여 다양한 촉감을 구별할 수 있게 하였다.

표 1. 햅틱 속성에 따른 재질감

재질	경도	제동성	정적 마찰력	동적 마찰력
고기	1.0	1.0	0.0	1.0
나무	1.0	1.0	0.2	0.2
바위	1.0	1.0	0.7	0.2
유리	1.0	1.0	0.0	0.0
가죽	1.0	0.0	0.1	0.7
공통	1.0	1.0	0.9	0.3
뽕	1.0	0.7	0.2	0.2

2.2 촉각 방송 시스템

촉각 방송 기술이 개발되기 시작한 초기에는 비디오로 촬영한 사물에 대한 2D 이미지에 깊이 정보를 추가하여 2.5D 그래픽을 만들고 그 2.5D 그래픽과 3D 모델의 정보 그리고 햅틱 데이터를 전송하여 햅틱 비디오에 대한 서비스를 받을 수 있게 하는 개념만 정립하였을 뿐, 실질적으로 비디오에 적용한 사례는 아니었다[22].

실감 방송 개념 정립 이후 XML(Extensible Markup Language)을 이용한 방법으로 햅틱 렌더링 알고리즘을 기반으로 하며 여섯 개의 가상 카메라를 이용하는 K-Touch™ API[23]가 구현되었으며, K-Touch™ API를 이용하여 촉각 콘텐츠를 직관적으로 생성하고 3 자유도를 가진 햅틱 장치를 조작할 수 있는 촉각 상호 작용이 가능한 촉각 모델러가 제안되었다. 이 모델러는 XML 기반의 파일 포맷을 제공함으로써 저장된 콘텐츠를 불러오거나 다른 콘텐츠에 추가할 수 있는 등 확장성을 증가시켰다. 하지만 이는 진동 장치를 통한 단순한 형태의 촉각 제공이었기 때문에 비디오에 미리 코딩된 대로의 진동 느낌만 줄 뿐 실제로 사용자에게 힘 피드백을 통한 정교한 촉감을 제공하지는 못했다[24].

3. 만질 수 있는 동영상

여기서는 본 논문에서 제안하는 만질 수 있는 동영상 기술을 구현하는데 필요한 구성요소들을 정의하고, 각 구성요소들에 대하여 알아본 다음 만질 수 있는 동영상의 핵심 기술인 Haptic Renderer 기술을 구성하는 촉각 렌더링, 촉각 데이터 스트리밍, 3D 객체 정보 전송에 대하여 자세히 설명하겠다.

3.1 만질 수 있는 동영상 구성요소

그림 2는 만질 수 있는 동영상 시스템의 구성 요소를 나타낸다. 본 절에서는 소프트웨어 구성 시 Platform에 해당하는 OpenGL, QUANTA, OpenHaptics의 라이브러리와 Haptic Renderer와 Graphic Renderer의 두 가지 렌더러 사이의 인터페이스 부분에 해당하는 Codec Module, Packet Module, Model Resource에 대하여 간략히 설명하겠다.

■ Open Graphics Library(OpenGL): OpenGL은

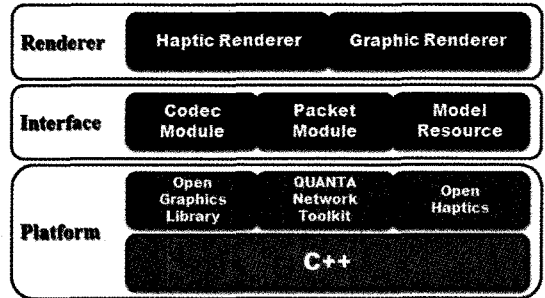


그림 2. 만질 수 있는 동영상 시스템의 소프트웨어 구성 요소

1992년 실리콘 그래픽스에서 만든 2D 및 3D 그래픽 표준 API 사양으로, 프로그래밍 언어 간 플랫폼 간의 교차 응용 프로그래밍을 지원하는 라이브러리이다.

■ QUANTA Network Toolkit: QUANTA는 크로스 플랫폼의 고속데이터 전송을 목표로 하는 네트워크 툴킷이다. TCP(Transmission Control Protocol), UDP(User Datagram Protocol)를 사용하여 Reflector TCP/UDP, Parallel TCP, Reliable Blast UDP 같은 다양한 기능을 지원하며, IPv4, IPv6, thread, mutex 같은 기능들도 지원한다. 또한 CAVE(CAVE Automatic Virtual Environment) 시스템의 CAVERN(CAVE Automatic Virtual Environment Research Network) 라이브러리[25]가 그 전신으로 분산가상환경(Distributed Virtual Environment; DVE) 시스템에 알맞은 구조로 되어 있다. 본 연구에서는 이런 장점을 지닌 QUANTA 라이브러리를 사용하여 Packet Module을 구현하였다[26].

■ OpenHaptics: SensAble사의 OpenHaptics 툴킷은 3D 환경에서 손쉽게 Phantom 촉각 장치를 사용할 수 있도록 해주는 응용 프로그램으로 OpenGL API를 기반으로 한다. OpenHaptics 툴킷은 Haptic Device API(HDAPI), Haptic Library API(HLAPI), Utilities, Source Code Example, PHANTOM Device Drivers의 다섯 부분으로 나뉘어 있다. HDAPI는 촉각 장치의 저수준(하드웨어 계층)의 접근을 지원하며 프로그래머가 햅틱 장치에 직접 힘 피드백 혹은 재질 등의 값들을 적용시킬 수 있다. HLAPI는 고수준(응용계층)의 촉각 렌더링을 지원하며 OpenGL의 피드백 버퍼를 사용하여 햅틱 렌더링을 하기 때문에 촉각 응용을 개발할 때 기존 OpenGL 응용들의 재사용성이 높다. Utilities는 vector/matrix 관련 수학 함수들

과 촉각 장치를 사용하는데 필요한 다양한 기능들을 포함하고 있다.

■ **Codec Module:** Codec Module은 비디오 재생 시 XVID, Divx, MPEG 등 다양한 코덱을 재생 시킬 수 있는 모듈이다.

■ **Packet Module:** Packet Module은 네트워크 전송을 위한 모듈로 서버 부분과 클라이언트 부분으로 나뉜다. 서버에서는 비디오 파일 전송, 햅틱 파일 전송과 3D 객체 정보 전송을 한다. 비디오 파일은 UDP로 전송하며, 그 외의 파일은 TCP/IP로 전송한다. 클라이언트에서는 서버로부터 전송된 비디오의 재생, 햅틱 렌더링, 그래픽 렌더링 등의 작업을 수행한다.

■ **Model Resource:** Model Resource에서는 3D 객체를 불러오는 역할을 한다. OpenGL에서는 3D 모델을 불러오는 함수가 따로 없기 때문에 만들어서 써야 한다. 필요한 정보를 제거하고 3D 객체를 불러오는 OBJ 파일 로드 부분과 Info(최초로 읽어 들일 때, 전체적으로 가지고 있는 기본정보), Material(재질 정보), Object(메쉬와 본, 바이패드 등의 상세정보) 정보가 담겨 있는 3DS 파일 로드 부분으로 나눌 수 있다. OBJ 파일 로드는 3D 객체의 폴리곤(polygon) 수가 적은 경우(10000개 이하)에 사용하며, 3DS 파일 로드는 폴리곤 수가 많으며 정교한 3D 객체를 표현하는데 사용된다.

■ **Haptic Renderer:** 햅틱 렌더링은 사용자가 객체를 만졌을 때 촉감을 주기 위한 렌더링이다. 렌더링 주기는 1000Hz이며, 그래픽 렌더링과 동시에 햅틱 렌더링 된다. 다음절에서 촉감 렌더링에서 자세히 설명하겠다.

■ **Graphic Renderer:** OpenGL을 사용한 그래픽 렌더링은 스카이 박스, 비디오 재생, 3D 모델 등에 대한 그래픽 렌더링을 실시한다. 렌더링 주기는 30Hz이고 햅틱 렌더링 주기와 비동기적으로 동작한다.

3.2 촉감 렌더링(Tactile-Rendering)

본 연구에서는 촉감렌더링을 위하여 동영상을 40X26 픽셀로 나누었다. 동영상을 40×26 픽셀로 나눈 이유는 원 동영상의 크기가 400×260이었고 구현의 편의성을 위해서 영상의 가로와 세로를 각각 10으로 나누면 40×26 픽셀이 되기 때문이다. 그러나 동영상의 크기는 MPEG(Moving Picture Experts Group)의 기본 단위와 같은 16X16 등 사용자의 임의대로 정할

수 있다. 각각의 픽셀은 촉감을 표현하는 네 가지 속성 정도, 제동성, 정적 마찰력, 동적 마찰력을 가지고 있다. 표 1에 나타나 있는 바와 같이, 이 네 가지 속성의 조합으로 서로 다른 촉감을 생성할 수 있다. 그러므로 각 셀에 해당 촉감의 속성 조합을 정의함으로써 셀마다 다른 촉감을 입힐 수 있다. 그림 3의 예를 들면, 비디오의 한 장면은 그림에서 보듯이 하늘, 숲, 바위, 모래의 세 가지 재질로 구별되며, 구별되는 재질 별로 각기 다른 촉감을 입히는 것이다.

그림 4는 본 논문에서 제안하는 만질 수 있는 동영상의 한 예이다. 서버에서 UDP 방식으로 비디오를 스트리밍하며, 또한 햅틱 데이터도 UDP 방식으로 스트리밍 한다. 클라이언트에서는 비디오와 햅틱 데이터를 받아서 재생시킨다. 3D 모델은 처음 로딩 시 약간의 딜레이 시간을 주어 3D 모델 정보를 전송 후 렌더링하게 한다. 사용자가 Phantom Omni 포인트로 비디오 화면을 터치할 때 발생하는 Material ID를 바탕으로 재질 정보를 대치시킨다. 그림 4의 비디오에서는 주로 등장하는 공룡과 땅, 사람, 풀 등 네 가지 재질의 촉감을 구분하였다. 사용자는 화면에서 공룡을 만지는 느낌과 땅을 만졌을 때의 느낌을 구별할 수 있다. 사용자는 그림 4 (a)와 같은 화면을 만졌을 때도 객체의 촉감을 느낄 수 있고, 그림 4 (b)처럼 3D 공룡 객체를 화면에서 꺼내서 공룡의 부위별로 다른 촉감을 느낄 수도 있다. 그림 4 (c)는 사용자가 Phantom Omni를 이용하여 직접 시연하는 모습이다.

3.3 촉각 데이터 스트리밍

만질 수 있는 동영상에서는 비디오 프레임(Video Frame)을 전송하는 동시에 햅틱 프레임(Haptic

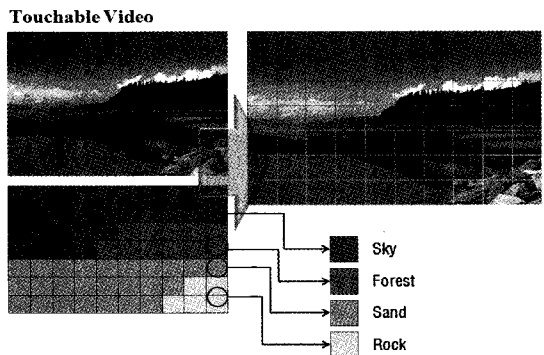


그림 3. 촉각프레임과 촉각 셀

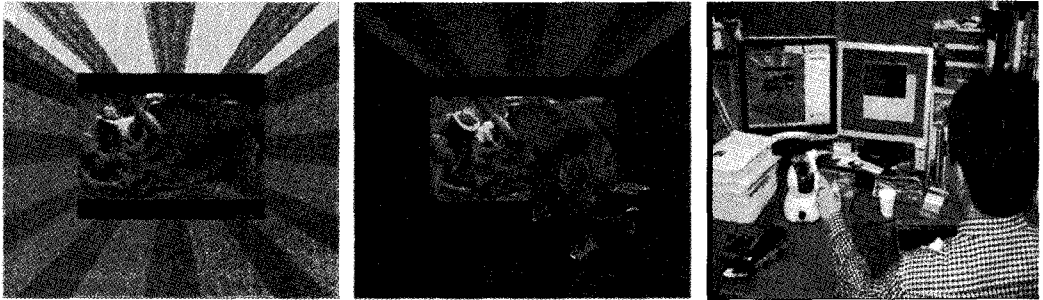


그림 4. 만질 수 있는 동영상 기술 시연 예

Frame)도 전송한다. 비디오의 매 프레임이 전송될 때마다 서버에서는 각 프레임에 해당하는 촉각 프레임 전송한다. 그림 5에서 보는 바와 같이 서버에서는 비디오 프레임의 각 프레임마다 햅틱 프레임도 동시에 전송한다. 프레임에 따라서 재질을 입히는 방법으로 비디오 프레임과 햅틱 프레임 사이의 동기화를 해준다. 비디오 프레임의 전송이 시작되면, 스트리밍 분석기는 비디오의 수신 및 햅틱 정보(Haptic Info)를 초기화 한다. 초기화 과정은 촉각 ID 및 햅틱 속성 값의 매핑 테이블의 초기화를 포함한다. Phantom Omni로 비디오 프레임 화면속의 객체를 만졌을 경우, 객체에 따라서 각기 다른 촉각 ID를 발생시킨다. 객체의 촉각 ID에 따라서 촉각 ID에 매핑된 햅틱 속성 값을 렌더링 하여 해당 촉감을 표현한다. 이 과정은 비디오 스트리밍이 완료 될 때까지 계속된다.

그림 6은 햅틱 데이터 파일 구조를 나타낸다. 클라이언트는 서버에서 전송한 비디오 데이터와 햅틱 데이터를 받아 재생 시킨다. 비디오의 각 프레임에는 영상 정보에 해당하는 햅틱 프레임 정보가 담겨 있다. 햅틱 프레임에는 비디오 화면에서 보여주는 영상에 해당하는 Material ID 정보를 가지고 있다. 사용자가 Phantom Omni로 비디오 화면을 터치하였을 때 발생하는 햅틱 정보의 Material ID에 해당하는 경도,

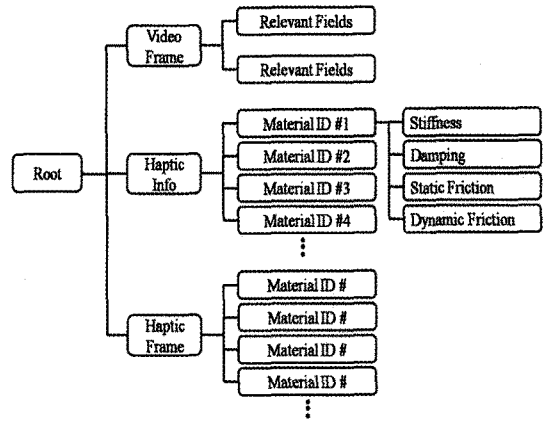


그림 6. 햅틱 데이터 파일 구조도

제동성, 정적 마찰력, 동적 마찰력의 속성 값(표 1 참조)으로 대체시킨다. 이들 네 가지 속성 값들의 조합이 달라짐에 따라 사용자는 다른 촉감을 느낄 수 있다.

하나의 동영상에서 사용할 수 있는 햅틱 재질의 개수는 제한이 필요하다. 햅틱 재질의 개수에 제한이 필요한 이유는 사용되는 PC의 처리 능력과 관련이 있다. 재질의 속성 값인 경도, 제동성, 정적 마찰력, 동적 마찰력이 바뀔 때마다 새로운 햅틱 객체를 생성해야 하는데 이를 무한대로 생성하게 한다면 PC는 햅틱 데이터 처리를 위해서 모든 CPU 사이클을 소모하게 된다. 이 때문에 컴퓨터의 사양에 따라 적절한 햅틱 재질의 개수를 정의하는 것이 좋다. 본 연구에서는 40개의 햅틱 재질 조합을 생성하였을 때 안정적으로 동작하였다. 40개라는 수치는 절대적인 수치가 아니며 본 연구에 사용된 컴퓨터의 사양에 의해 결정되었다. 컴퓨터의 성능에 따라 더 많은 햅틱 재질 조합을 생성할 수 있을 것이므로 최대 개수를 제한하기 보다는 유동적으로 변동될 수 있도록 하였다.

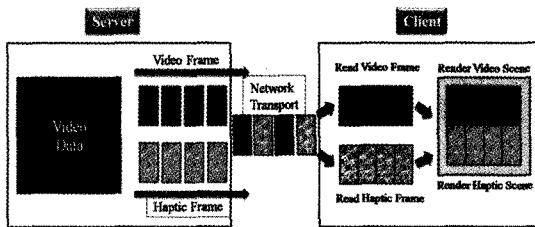


그림 5. 비디오 스트리밍의 구조

3.4 비디오 데이터 스트리밍에 연관된 3D 객체 정보 전송

서버에서 비디오 프레임, 촉각 프레임뿐 아니라 3D 객체 정보도 함께 스트리밍 한다. 동영상의 영상에 따라서 3D 객체를 불러오게 되면 많은 수의 3D 객체가 필요하게 된다. 기존의 3D 파일 전부를 전송하게 되면 네트워크에 상당한 부하를 줄 수 있다. 따라서 비디오가 끊기거나 햅틱 데이터 전송의 오류가 발생하여 촉감이 제대로 전달되지 않을 수가 있다. 이를 방지하기 위하여 3D 모델에서 필요한 정보만 추출하여 그림 7과 같은 OBJ 파일로 변환해 주는 프로그램을 제작하였다.

OBJ 파일은 3D 모델 정보에서 필요한 요소만 골라내 만든 파일이다. 파일의 구성은 그림 8과 같다. 첫 번째 필드는 3D 객체의 버텍스(vertex)의 개수와 좌표를 나타내고, 두 번째 필드는 그려질 객체의 페이스(face)의 개수, 페이스를 구성하는 버텍스의 인덱스 번호(index number) 그리고 각 버텍스의 정규화된 버텍스(normalized vertex)로 구성된다. 마지막

으로 세 번째 필드는 텍스처(texture)가 되는 이미지 파일의 이름과 텍스처 매핑(texture mapping) 값을 지정한다. 이러한 정보를 스트리밍 하고 클라이언트에서는 이들 정보를 종합하여 완벽한 3D 객체를 완성한다.

4. 평가 방법 및 결과

4.1 사용자 재질감 평가

객체의 표면을 Phantom Omni로 만졌을 때, 실제 객체와 가상 객체의 촉감을 느낀 후 촉감의 유사성 정도에 대해서 컴퓨터공학과 학생 남녀 구분 없이 30명을 대상으로 설문 조사를 실시하였다. 설문 조사 방법은 아래와 같은 방법으로 진행 되었다. 평가지의 점수는 1~5점으로 하며, 5점에 가까울수록 실 객체와의 촉감이 유사하다는 것을 의미한다.

- 1단계: 실제 객체를 손으로 만지면서 촉감을 느끼게 한다.
- 2단계: Phantom Omni의 햅틱 장치에 대해서 설명한다.
- 3단계: 객체를 3D 객체로 로드하여 재질 표면에 촉감을 준 후 Phantom Omni 장치를 통하여 촉감을 느끼게 한다.
- 4단계: 1단계에서의 촉감과 3단계에서 촉감의 유사성을 평가지에 기입한다.

재질표면의 사실감 설문 조사결과는 그림 8과 같았다. 재질의 사실감 평가결과 고기 2.6, 나무 3.6, 바위 4.1, 유리 2.7, 가죽 3.0, 트리케라톱스 3.2, 뽕 2.8의 결과를 얻을 수 있었다. 바위를 만졌을 때 가장 사실감 있는 객체로 나왔다. 그 다음으로는 나무, 가죽, 유리, 고기 순으로 사실감이 나왔다. 사용자가 느끼기에 바위나 나무 같은 꺼칠꺼칠한 감을 주는 객체들이 실감성이 높다는 결과를 얻을 수 있었다. 이 설문의 유효성을 위해서 ANOVA(분산분석, analysis of value)를 실시하였다[27]. 일반적으로 'p-값(p-xvalue) ≤ α이면 H₀를 기각한다'라는 규칙으로 귀무가설 기각 여부를 결정 할 수 있다. '객체에 따른 재질감의 차이는 없다'라고 귀무가설을 세우고 ANOVA 분석 결과 유의 수준 5%(α = 0.05)로 하였다. 그 결과 표 2와 같은 값을 얻을 수 있었다. p-값이 2.38×10⁻¹¹으로 α값 0.05보다 작기 때문에 귀무가설을 기각할 수

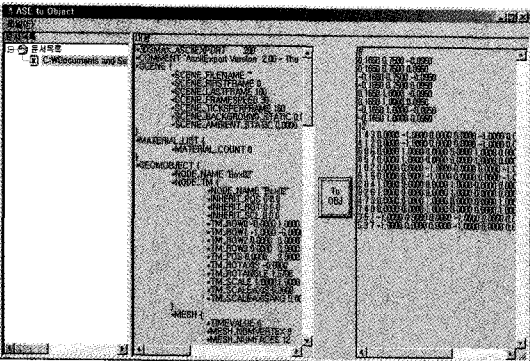


그림 7. OBJ 파일 컨버터

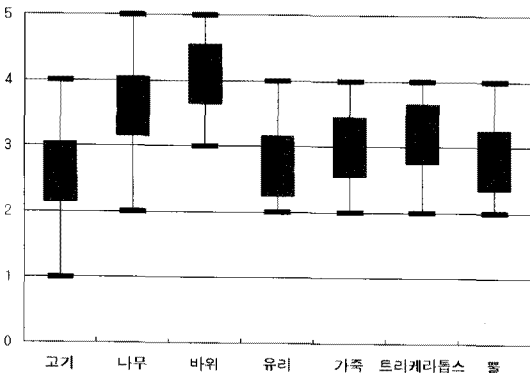


그림 8. 재질 표면의 사실감 설문 결과

표 2. ANOVA 결과

재 질	고기	나무	바위	유리	가죽	공통	빨
사실감	2.6	3.6	4.1	2.7	3.0	3.2	2.8
분 산	0.674	0.976	0.516	0.221	0.471	0.303	0.197
ANOVA 결과							
자유도	F비	P-값	F기각치				
6	12.76594	2.38E-11	2.167423				

있었다. 이에 따라서 ‘객체에 따른 재질감의 차이는 있다’라고 말할 수 있으며 이 설문결과도 신뢰할 수 있었다.

4.2 비디오 렌더링 속도에 따른 재질 평가

우선 비디오 렌더링에 따른 헵틱 재질 데이터의 오차율을 알아보았다. 렌더링 속도에 따라서 화면에 매핑 되는 재질감의 오차율을 측정하였다. 실험 대상 장면은 본 연구에서 사용한 쥬라기 공원 장면 중 트리케라톱스 공룡이 나오는 장면으로 동영상의 1초부터 5초 사이의 장면으로 그림 9의 (a)는 그 첫 프레임이고 (b)는 그 마지막 프레임이다. 헵틱 데이터는 양이 방대하기 때문에 영상 출력 시간을 5초로 하여



(a) 첫 프레임



(b) 마지막 프레임

그림 9. 오차율 실험에 사용한 영상 장면

실험하였다. 실험은 그림 10과 같이 시간에 따라서 각기 다른 재질 데이터를 스트리밍하여 재질감의 오차를 측정하였다. 비디오 렌더링 속도를 30, 25, 20, 15, 10, 5 fps로 낮추면서 동일한 재질 데이터를 매칭시켰다. 30fps 렌더링 시 비디오의 헵틱 데이터와 fps를 변경 하였을 때 나타나는 헵틱 데이터를 비교하여 오차율을 측정하였다. 오차율 계산은 렌더링 속도에 따른 프레임별 재질 데이터 출력 인덱스 수 / 30fps에서의 재질 데이터 출력 인덱스 수 * 100으로 계산하였다. 실험결과는 그림 11과 같았다. 정상적으로 동작하는 30fps에서의 오차율은 0% 이었다. 그러나 렌더링 속도가 느려지는 25fps에서의 오차율이 16%, 20fps에서 37%, 15fps에서 48%, 10fps에서 66%, 5fps에서 74%의 오차율을 보였다. 비디오 렌더링 속도가 느려질수록 오차율이 비교적 선형적으로 커지는 것을 알 수 있었다.

한편 컴퓨터의 성능에 따라 비디오 렌더링 시간은 늦어질 수 있지만 헵틱 데이터 전송률은 최적의 상태를 유지한다는 조건에서 비디오와 헵틱 데이터의 동기화에 대해서도 실험하였다. 실험의 비디오 렌더링 조건은 위 실험에서와 마찬가지로 30, 25, 20, 15, 10,

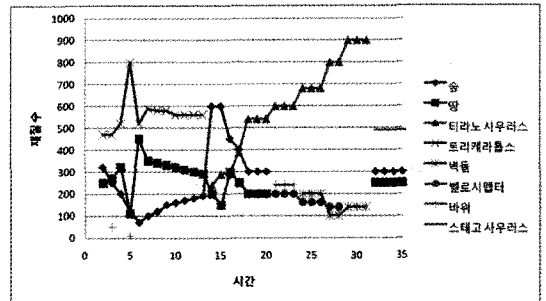


그림 10. 시간에 따른 재질 수

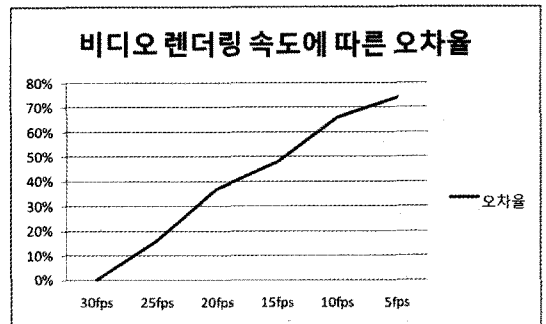


그림 11. 비디오 렌더링 속도에 따른 재질 오차율

5 fps로 설정하였다. 햅틱 데이터는 양이 방대하기 때문에 영상 출력 시간을 5초로 하여 실험하였다. 오차율 평가 시 사용되었던 영상은 정적이기 때문에 그림 12처럼 동적 이미지가 많은 14초부터 19까지의 영상을 사용하였다. 재질 인덱스 번호로 사용한 1~7번의 인덱스는 각각 숲, 트리케라톱스, 티라노 사우로스, 벨로시렙터, 나무, 스테고 사우러스, 모래를 의미한다. 사용자가 영상에 나오는 숲, 티라노 사우로스, 잔디, 나무 부분을 터치하면서 이 때 발생하는 재질 인덱스를 저장하였다. 비디오 렌더링 속도를 낮추면서 동일한 부분을 터치하여 재질 인덱스를 저장하였다. 실험 결과는 그림 13과 같았다. 비디오의 렌더링 속도가 25fps 일 때는 잔디 부분을 터치하였을 경우를 제외하고는 대체적으로 동기화가 잘 이루어졌다. 하지만 15fps 부터는 처음 숲속을 터치하였을 때 재질감이 티라노 사우로스로 나오는 등 동기화가 잘 되지 않았다는 것을 알 수 있었다. 5fps 일 때 0초에서 1초 사이에 재질감 일치 부분이 나타나는데 이 부분은 우연의 일치로 큰 의미가 있는 것은 아니다. 이로써 컴퓨터 성능에 따라서 비디오 렌더링이 속도가 달라지며 그에 따라서 햅틱 데이터와의 동기화가 잘 이루어지지 않는다는 것을 알 수 있었다. 향후 연구로 비디오 렌더링이 느리더라도 햅틱 데이터와 동기화 시키는 연구가 진행되어야 된다고 생각한다.



(a) 첫 프레임



(b) 마지막 프레임

그림 12. 동기화 실험에 사용한 영상 장면

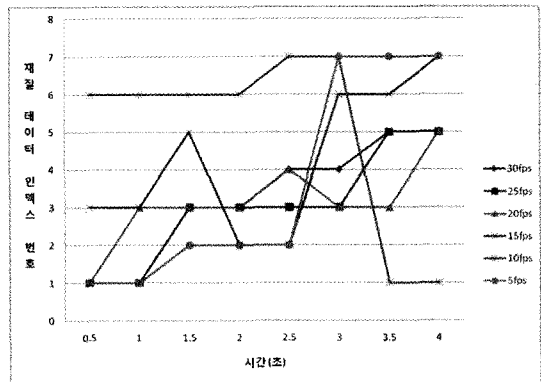


그림 13. 영상 데이터와 햅틱 데이터의 동기화

5. 결 론

기존의 연구에서는 영상에 따라서 미리 진동패턴을 입히는 방식과 영상의 깊이(depth) 값을 이용하여 촉감을 주는 연구가 이루어졌다. 단지 진동만으로 촉감을 느끼는 기술은 극히 제한적인 촉감만을 제공하는 햅틱 기술이었으며, 영상의 깊이를 이용하여 촉감을 느끼는 방식은 한 화면에 여러 가지 촉감을 느낄 수 없는 단점이 있었다.

이러한 단점들을 극복하고자 본 연구에서 제시하는 만질 수 있는 비디오를 위한 햅틱 렌더링 기술을 제시하였다. 만질 수 있는 비디오를 위한 햅틱 렌더링 기술을 이용하여 사용자는 화면을 직접 만져보면서 즉각적으로 촉감을 느낄 수 있다. 또한 화면속의 객체를 3D 객체로 꺼내서 크기 조절, 이동, 회전 기능을 적용하여 객체를 다양하고 인터랙티브하게 조사하거나 다루어 볼 수 있으며, 화면을 만졌을 때와의 동일한 촉감을 3D 객체에서도 느낄 수 있다. 만질 수 있는 비디오를 교육적 콘텐츠에 활용하여 학습자에게 3D 모델을 통한 입체적인 가상객체와 촉감을 제공하여 감각적 몰입감을 높이게 된다. 이런 높은 몰입감으로 학습자의 학습에 대한 만족도를 높이게 되고 학습의 효과를 높이는 결과를 가져올 수 있다.

만질 수 있는 비디오에 대한 실험으로 사용자 재질감 평가와 비디오 렌더링 속도에 따른 오차율, 영상과 재질 표현 동기화에 대하여 실험 하였다. 실험 결과 재질감 평가에서는 거친 느낌을 주는 바위 같은 재질의 사실감이 높다는 것을 알 수 있었다. 비디오 렌더링 속도에 따른 재질감은 렌더링 속도가 낮을수록 오차가 크다는 것을 알 수 있었다. 마지막으로 영

상과 재질 표현의 동기화 실험에서는 컴퓨터 성능이 낮아짐에 따라서 영상과 햅틱 데이터와의 동기화가 잘 이루어지지 않는다는 것을 알 수 있었다.

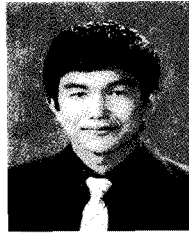
본 연구에서 현재 비디오에 촉감을 입히는 방식이 아직 완전히 자동화되어 있지 않아서, 사용자는 픽셀 영역을 대상으로 하는 촉감 편집기를 이용하여 수작업으로 각 픽셀에 촉감을 입히고 있다. 향후에는, 영상 이진화와 레이블링 기법 등 영상처리 기술을 이용하여 비디오의 객체들을 자동으로 인식하고 인식된 객체에 촉감을 편집할 수 있는 객체 기반 촉감 편집기를 제작할 예정이다. 촉감 편집기 개발과 동시에 컴퓨터 성능에 따라서 영상과 햅틱 데이터와의 동기화가 잘 이루어지지 않는 문제의 해법에 대해 연구할 계획이다. 또한 시각적 효과 및 청각적 효과와 더불어 촉각적 효과까지도 함께 편집할 수 있는 통합적 실감 콘텐츠 편집기를 제작하여 그 활용 효과를 극대화 할 수 있는 실감형 교육 콘텐츠, 실감형 홈쇼형 콘텐츠 등을 쉽게 제작할 수 있게 하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 호요성 and 김성열, “다차원 실감 미디어와 실감 방송 기술의 이해,” 방송과 기술 Vol.108, pp. 90-97, 2004.
- [2] <http://www.naver.com>
- [3] Emanuele Ruffaldi, Dan Morris, Timothy Edmunds, Federico Barbagli, Dinesh K. Pai “Standardized Evaluation of Haptic Rendering Systems,” Proceedings of the Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems Vol.0, 2006.
- [4] Mark, W., Randolph, S., Finch, M., Verth, J. V., Taylor R. M., “Adding force feedback to graphics systems: Issues and solutions,”. SIGGRAPH 96 Conference Proceedings, pp. 447-452, 1996.
- [5] <http://www.vrealities.com/cybergrasp.html>
- [6] <http://www.vrealities.com/cybertouch.html>
- [7] <http://home.novint.com/>
- [8] <http://www.sensable.com/haptic-phantom-omni.htm>
- [9] <http://www.sensable.com/products-freeform-systems.htm>
- [10] <http://www.sensable.com/products-claytools-system.htm>
- [11] <http://www.sensable.com/products-openhaptics-toolkit.htm>.
- [12] V. Hayward and O. Astley, “Performance Measures for Haptic Interfaces,” Robotics Research: 7th Int’l Symposium, Springer Verlag,, pp. 195-207, 1996.
- [13] H.B. Morgenbesser and M.A. Srinivasan, “Force Shading for Haptic Perception,” Proceedings ASME Dynamic Systems and Control Division, vol.58, pp407-412, 1996.
- [14] U.Gudukbay, B.Ozguç and Y.Tokad, “A Spring Force Formulation For Elastically Deformable Models,” *Computer & Graphics*, vol.21(3), pp.335-346, 1997.
- [15] F. Tasai, “On the Damping Force and Added Mass of Ships Heaving and Pitching,” *Research Institute for Applied Mechanics*, Vol.VII, 1960.
- [16] I2S. J. Bennison and B. R. Lawn, “Role of Interfacial Grain-Bridging Sliding Friction in the Crack-Resistance and Strength Properties of Nontransforming Ceramics,” *Acta Metall.*, pp.2659-2671, 1989.
- [17] V. Hayward and B. Armstrong, “A New Computational Model of Friction Applied to Haptic Rendering,” *Experimental Robotics VI*, Vol.250, pp. 403-412, 2000.
- [18] <http://www.openg1.org/>
- [19] Z.L. Cai, J. Dill, and S. Payandeh, “Haptic Rendering: Practical Modeling and Collision Detection,” Proceedings of the ASME Virtual Environment and Teleoperator System symposium, pp. 81- 86, 1999.
- [20] M.C. Lin, Ming C. Lin and D. Manocha, “Collision and Proximity Queries,” Handbook of Discrete and Computational Geometry, 2003.
- [21] Mee Young Sung, Kyung Koo Jun, Dongju Ji, Hwanmun Lee, Kikwon Kim, “Touchable

Video and Tactile Audio," 2009 11th IEEE International Symposium on Multimedia, pp. 425-431, 2009

- [22] Jongeun Cha., Jeha Ryu., Seungjun Kim., Byungha Ahn., "A Haptically Enhanced Broadcasting System," Proceedings of the First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp.515-516, 2005.
- [23] 이범찬, 김종필 and 류제하, "역/촉감 햅틱 상호 작용을 위한 K-Touch API 개발," 한국HCI학회 논문지, Vol.1, No.2, pp. 1-8, 2006.
- [24] 서용원, 이범찬, 차중은, 김종필, 류제하, "촉감 모델링 및 편집 툴 개발," HCI2007 학술대회, 1권, pp.373-378, 2007.
- [25] C. Cruz-Neira, D. Sandin, and T. A. DeFanti. "Virtual Reality : The Design and Implementation of the CAVE," 93 Computer Graphics Conference, pp. 135-142, 1993.
- [26] <http://www.ev.luc.edu/cavern/quanta/index.html>
- [27] W. Pugh and D. Wonnacott, "An Exact Method for Analysis of Value-Based Array Data Dependences," Proceedings Sixth Ann. Workshop Programming Languages and Compilers for Parallel Computing, pp. 546-566, 1993.



이 환 문

2009년 인천대학교 컴퓨터공학과
학사
2009년~현재 인천대학교 컴퓨터
공학 석사과정
관심분야: 멀티미디어, 가상현실,
햅틱스



김 기 권

2009년 인천대학교 컴퓨터공학과
학사
2009년~현재 인천대학교 컴퓨터
공학 석사과정
관심분야: 멀티미디어, 컴퓨터 비
전, 햅틱스



성 미 영

1982년 서울대학교 학사
1987년 프랑스 INSA de Lyon 컴
퓨터공학 석사
1990년 프랑스 INSA de Lyon 컴
퓨터공학 박사
1990년~1993년 한국전자통신연
구소 인공지능연구실 선
임연구원
1993년~현재 인천대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 멀티미디어, 가상현실, 햅틱스