



실감형미디어 : 촉감기술

류 제 하¹⁾

목 차

1. 서 론
2. 촉감 인지 메커니즘
3. 촉감 제시 장치
4. 촉감 렌더링 및 제어
5. 적용례
6. 결 론

1. 서 론

우리는 현재 정보화의 혁명 중에 있으며 정보화의 기반 구조인 광대역 초고속 정보통신망의 구축이 유선/무선 인터넷을 중심으로 빠르게 진행되고 있다. 그리고 정보화 사회의 고도화가 진행함에 따라 문자, 영상 및 음성위주의 정보유통은 양적인 발전에서 질적인 발전으로 변화해 가고 있다. 그러나 최근 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어 기술의 획기적 발달 및 가격의 저렴화로 인해 사용자의 오감을 총체적으로 자극하여 사용자에게 몰입감을 줄 수 있는 실감미디어 정보처리기술이 요구되고 있다. 실감미디어란 가상의 환경에서 공간과 시간의 제약을 극복하는 다양한 요소(multi-modal) 정보를 의미하며, 실감미디어의 서비스는 다차원 정보의 생성, 처리, 저장, 전송, 재현 등에 의해 구현될 수 있다. 특히, 이러한 다차원 시각, 촉감/역감, 청각을 포함하는 실감미디어 정보를 사용자에게 현장감과 몰입감을 줄 수 있도록 통합 시스템을 구축하는 것이 필요하다. 본 소고에서는 이러한 실감미디어 정보 중에서 그 동안

특별한 주목을 받지 못하였으나 차츰 그 중요성이 인식되고 있는 촉감기술 전반에 대해 간략히 소개한다. 즉, 사람의 촉감인지 메커니즘, 촉감제시 장치, 촉감제시 알고리즘 (Computer Haptics) 및 제어, 촉감제시 적용례 등에 대해 간단한 요약 소개 및 향후 연구방향에 대해 언급한다.

가상현실(VR) 혹은 가상환경(VE)에서 여러 디스플레이 장치나 스피커를 통한 시각 및 청각의 전달은 사용자에게 정보를 일방적으로 전달하는 반면, 역(힘)/촉감제시 장치(햅틱장치)를 통한 역/촉감의 제시는 조작자가 능동적으로 가상현실에 참여하여 가상세계를 탐험하거나 가상물체들을 조작함으로써 양방향 상호작용을 경험할 수 있는 유일한 방법이다. 가상현실기술 중 시청각제시기술은 컴퓨터 그래픽스, 디스플레이, 삼차원 스피커 기술의 발달로 상당한 수준에 와 있는 반면, 촉각제시 기술은 상대적으로 많이 낙후되어 있다. "Haptics"이라는 단어는 그리스어로 촉감을 뜻하며 Haptic 감각이란 사람의 피부, 근육, 건(Tendon), 및 조인트 등에서 외부의 기계적, 열적, 화학적, 전기적 자극으로부터 느끼는 모든 감각을 의미한다. 촉각은 촉감(Touch Sense or Tactile Sense) 및 힘감(Force Sense)의 두 가

1) 광주과학기술원 기전공학과 교수

지가 있으며 촉감은 손마디, 손바닥 등 피부 내부 및 근처에 퍼져있는 피부감각을 통하여 감지하는데 접촉 표면의 기하형상, 거칠기, 온도, 및 미끄러짐(Slippage) 등에 대한 정보를 주며 반면에 힘감은 손가락, 손목 및 팔 등의 근육 뿐만 아니라 뼈 및 관절의 수용감각(Proprioception)을 통하여 감지되는데 전체 접촉력(Total Contact Force), 유연성(Compliance: Soft or Hard), 및 무게감(Grasped Object's Weight: Heavy or Light) 등에 관한 정보를 제시해 준다. 따라서 시각 및 청각 외에 촉각을 잘 이용하면 여러 분야에서 다양하고 현실감있는 의사소통(Communication)을 할 수 있다.

촉감제시기술에 대한 연구는 로봇틱스의 한 분야인 원격제어기술에서 시작하여 1990년대의 가상현실기술의 발전과 더불어 발전하여 왔다[1]. 즉 제 2 장에서 언급될 사람의 촉감인지기능에 대한 이해를 바탕으로 사람의 손, 손목, 팔, 다리 등 신체의 일부 혹은 전부에 가상현실에서 여러 가상 물체들을 조작(조립, 이동 등)하거나 탐색할 때 발생하는 힘, 혹은 촉감을 제 3 장에서 언급될 여러 다양한 제시장치(기본적으로 로봇 메커니즘)를 통하여 제시하는 시스템들이 속속 개발되어왔다. 이러한 하드웨어의 개발은 마침내 상업적으로도 초기시장이 어느 정도 형성되어 1990년대 중반 MIT의 박사학위논문의 일환으로 개발된 Phantom™[2]같은 Stylus를 장착한 햅틱장치가 출현되어 다양한 분야에 쓰이게 되었다. 이와 맞추어 제 4 장에서 언급될 햅틱 제시 알고리즘(Haptic Rendering Techniques: Computer Haptics)이 여러 다양한 분야에 적용되기 위하여 MIT AI 및 Touch 실험실을 중심으로 연구개발되기 시작하였으며 한편으로는 과학/공학적 다차원 데이터의 Visualization에 기존의 시각제시와 더불어 중요한 공헌을 하게 되었다[3]. 더 나아가서는 이러한 촉감제시를 한 사용자에게 뿐만 아니

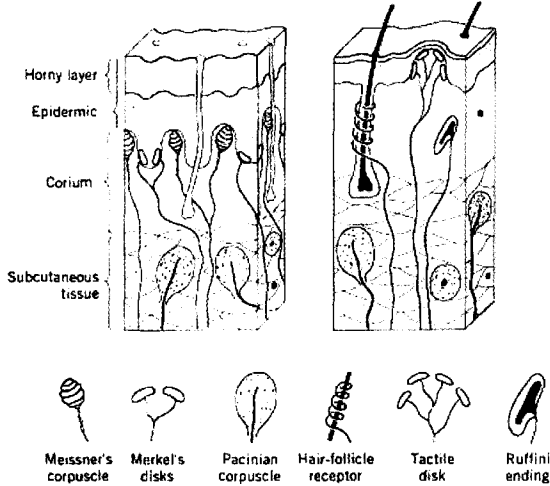
라 인터넷 등에 연결된 수많은 다중사용자들이 서로 인터랙션하거나 공유하도록 하는 기술로 발전되고 있으며[4], 이러한 촉감제시에 관련된 하드웨어 및 소프트웨어의 발달은 제 5 장에서 요약 정리되었듯이 의학적 촉진, 수술, 재활치료, 군사 훈련, 비행모의 훈련, 로봇 프로그래밍, 복잡한 기계시스템에서의 접근성 및 조립성 분석, 과학데이터의 가시화 등 실생활 및 엔지니어링 전반에 걸쳐 폭 넓게 사용되어지고 있는 추세이다.

2. 촉감 인지 메커니즘

인간의 촉감인식은 외부의 자극으로부터 시작하는데 자극의 종류, 크기, 위치에 따라 각각 다른 감각기관(Receptor)의 반응을 만들어 낸다. 만약 자극이 해당 감각기관의 인지한계를 넘으면 수감 신경망에 전기방전이 발생하고 이 신호는 중추신경을 통해 뇌에 전달되어 해당하는 감각(압력, 온도, 아픔 등)을 느끼게 되는 것이다. 피부에는(그림 1)에 보여지는 것과 같은 여러 종류의 감각신경들이 있는데 이것들은 분포 밀도, 피부표면으로부터의 깊이, 반응속도 등의 특성이 틀리며 따라서 속도감, 압력감, 가속도감, 온도감을 각기 다른 감각기관에서 느끼는 것이다[5]. 예를 들어 Meissner corpuscle은 손에 약 40% 이상 폭 넓게 퍼져있고 피부 바로 밑에 위치하여 피부와 같이 움직임으로 속도감을 느끼게 해준다.

피부에 널려있는 감각기관을 통하여 온도/압력 등의 촉감을 인지하는 메커니즘외에도 건(Tendon) 및 근육을 통한 힘감을 통하여 자기 자신의 위치 및 운동에 대한 인지를 할 수 있다(Proprioception). 예를 들어 근육/건의 감각기관에 팔의 운동에 의한 압력변화가 감지되어 뇌에 의해 관절 각으로 인지되며 임펄스 주파수의 변화는 관절 속도로 인지된다.

이러한 감각들의 전기/기계적 성격 및 특성을



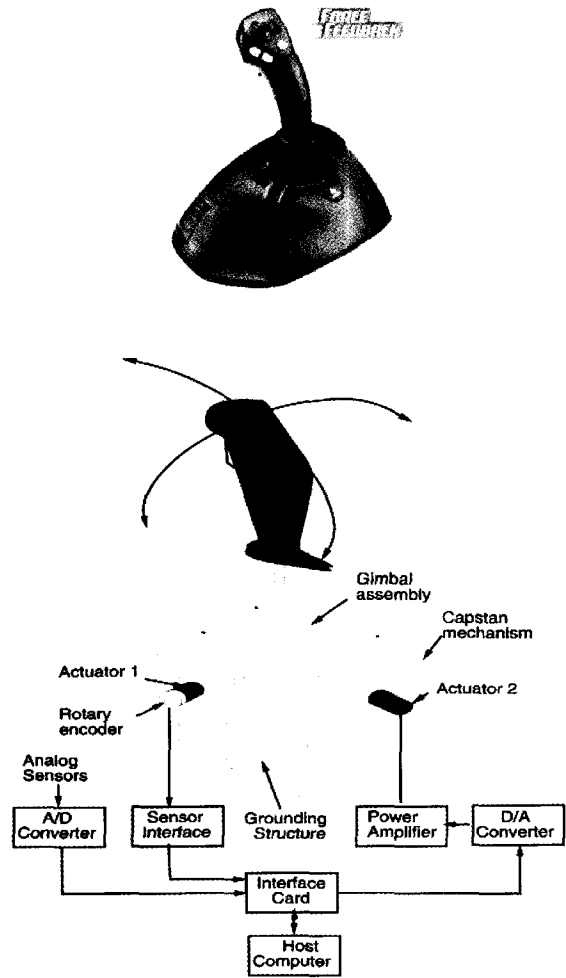
(그림 1) 피부의 촉각각 기관들의 구조 및 위치

충분히 이해해야 하는 이유는 햅틱장치를 설계 및 제어할 때 기초자료로 사용할 수 있기 때문이다. 예를 들어, 손가락 끝은 80mg의 무게이하는 감지하지 못하며(Absolute Threshold) 이 값은 온도변화에 대해 영향을 받는다. 그리고 약 2.5 mm 거리 안에서는 바늘로 찔러도 그 공간적 위치 차이를 느끼지 못하며(Spatial Resolution), 약 5 msec (200 Hz) 이내의 시간 간격으로 자극을 주면 하나의 감각으로 느낀다(Temporal Resolution). 이러한 특성은 Tactile Array같은 촉각제시장치의 설계 및 제어 시에 너무 빠른 자극 및 너무 조밀한 배치를 불필요하게 한다.

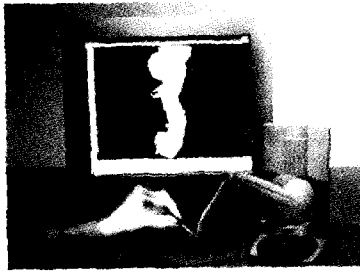
3. 촉각 제시 장치

1990년대 이후 많은 종류의 촉각제시장치(햅틱장치)가 여러 대학의 연구실 혹은 벤처기업들에서 개발되고 있다(1). 햅틱장치는 크게 힘감(Force) 제시 장치 및 촉감(Tactile) 제시 장치로 대별된다. (그림 2)에 여러 다양한 햅틱장치를 보여준다. 이 중 가장 상업적으로 많이 팔린 것은 힘감을 시뮬레이션 해주는 SensAble사의 PHANTOM

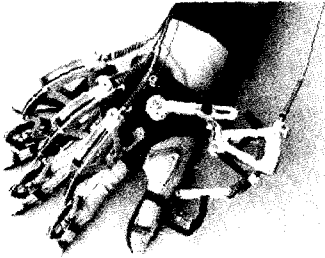
시리즈이다. 이것은 탁상용 햅틱장치로 펜을 쥐고 가상물체와 인터랙션할 때를 상정한 장치이다. 이 장치를 가지고 조각을 하거나 Free Form모델링을 할 때 디자이너가 실제와 같이 힘을 느낄 수 있다. 촉감의 경우는 iFEEL 마우스나 Cyber-Touch Glove처럼 단순히 진동을 발생시켜서 손가락 혹은 손 바닥에 간단한 정보를 전달해 주는 장치가 대부분이다. 앞으로 핸드폰의 진동을 보내 주고자 하는 정보의 성격에 따라 모듈레이션 시켜 주는 제품이 개발되어 시판될 것이라고 생각된다.



Logitech Force Feedback Joystick



PHANTOM for 3D Sculpting



Cyber Grasp Glove

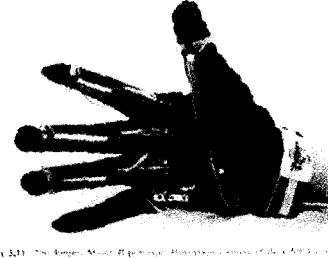
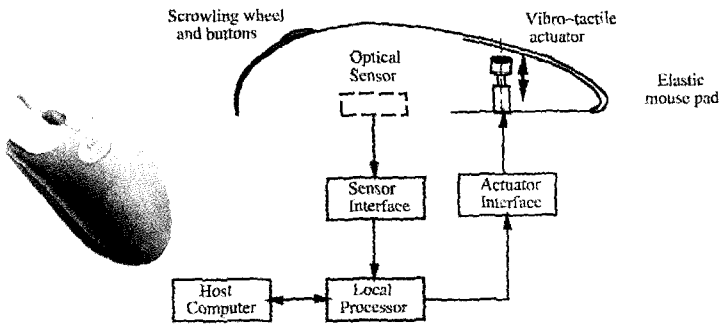


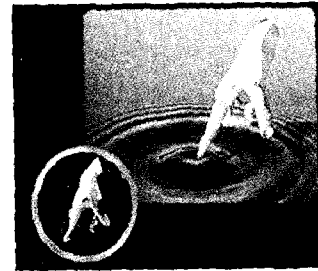
Figure 3.11 The Rutgers Master II glove. Photograph courtesy of Dr. Robert A. Cutler, Rutgers University.

Rutgers Master II

(a)



iFEEL Mouse



CyberTouch Glove

(b)

(그림 2) 햅틱장치의 예: (a) 힘감제시장치 (b) 촉감제시장치

이러한 햅틱장치를 설계할 때 만족시켜야 할 기본요구사항으로는 자유공간을 움직일 때(즉, 가상 물체와 충돌이 전혀 없이 공간을 움직일 때) 아무런 저항을 느끼지 말아야 하며(즉 기구부의 관성력, 구동기/조인트 등에 있는 마찰력이 거의 없어야 한다). 동시에 강체 벽에 충돌할 때는 무한대의 저항(임피던스)을 만들어 주어야 한다(왜냐하면 가상 벽을 뚫고 지나가서는 안되므로). 따라서 기구부/구동부 설계 시 가장 가벼운 재료를 써서 관성력을 줄여야 하고 조인트는 마찰력이 가장 적게 선택해야 하며 만약 미세 수술같은 조그만 힘을 느끼고자 원한다면 구동기 제어시 마찰보상제어를 설계해 주어야 한다. 그러나 이러한 이

상적인 햅틱장치는 구동기의 현실적 제약으로 말미암아 불가능하다. 다행히 인간의 촉감은 어느 임피던스 이하 혹은 이상은 제 2 장에서도 언급하였듯이 느끼는 데 아무런 차이를 가지지 못하므로 햅틱장치를 부착하는 신체 부위가 느낄 수 있는 임피던스 범위를 가지고 햅틱 장치를 설계 및 제어하면 된다.

시각이나 청각의 실감미디어 경우 디스플레이 장치 자체가 다량생산품목인 데 반해 햅틱 디스플레이 장치는 사람마다 각기 틀린 다양한 종류의 디스플레이(하드웨어)를 가지므로 다품종 소량 생산 품목이며 따라서 생산자는 컴퓨터에 연결할 때, 가상환경 시뮬레이션 프로그램과 인터페이스

(드라이브 프로그램)할 때, 그리고 사용자의 신체에 부착할 때 등이 손 쉽게 되도록 캘리브레이션이나 드라이브 프로그램을 개발할 필요가 있다.

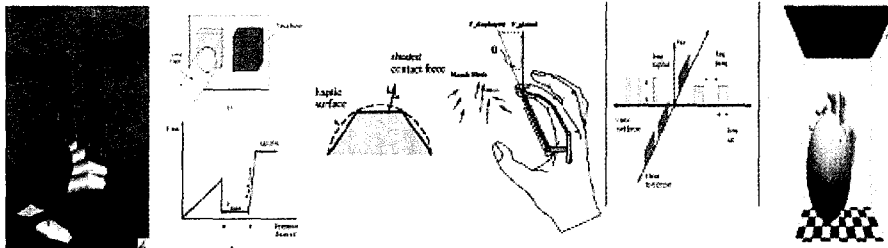
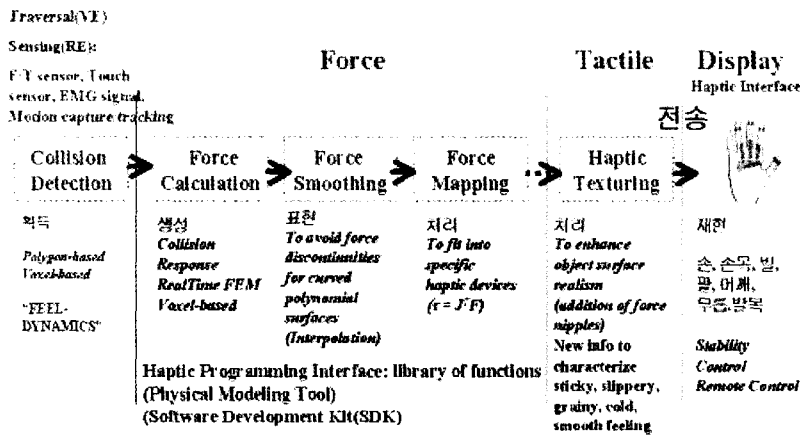
4. 촉각 렌더링 및 제어

촉각렌더링은 햅틱장치로부터 촉감을 제시할 신체 부위의 동작(운동) 정보를 읽어 들인 뒤 가상 환경에서 (그림 3)이 보여주는 바와 같이 신체부위와 가상물체간의 충돌 감지, 충돌 반응 계산(충돌 시의 힘 계산), 가상물체의 기하모델이 폴리곤으로 이루어진 경우 힘을 연속적으로 부드럽

게 하는 연산(Force Smoothing), 그리고 햅틱장치에 매핑시키는 연산, 마지막으로 필요한 경우 촉감 텍스처를 덧붙이는 연산을 포함한다. 이러한 일련의 알고리즘은 일반성을 가질 수도 있으나 대개는 실시간으로 처리되어야 하기 때문에 응용케에 따라 특별한 알고리즘으로 개발되는 경향이며 따라서 실제 물리법칙에 맞게 정확한 결과를 얻기 보다는 빠른 처리를 위한 근사해를 얻는 것이 중요하다. 예를 들어, 수술도구로 장기를 바느질하는 등의 시뮬레이션에서 유한요소법을 주로 사용하는 데 이 때는 해의 정확성보다는 근사해를 데이터처리를 효율적으로 하여 빨리 구하는 알고리

다차원 촉각 정보 생성 및 재현기술 (Computer Haptics): Overview

for Virtual Object Manipulation and Complex Data Haptic Presentation



(그림 3) 다차원 촉각 정보 생성 및 재현 (Haptic Rendering and Display)

음을 사용한다. 주목할 것은 이러한 일련의 처리 과정은 컴퓨터 그래픽스(Computer Graphics)의 일련의 처리과정과 매우 흡사하며 따라서 컴퓨터 햅틱스(Computer Haptics)라고 불린다. 현재 그래픽스보드가 그래픽처리를 빠르게 하기 위해 전용 DSP를 쓰는 것처럼 미래에는 햅틱스 처리 전용 보드가 출현하리라 기대된다.

또한 이러한 여러 알고리즘을 사용자의 응용례에 맞게 빠르고 쉽게 프로그래밍해주기 위하여 각 햅틱장치마다 SDK(Software Development Kit)을 제공하고 있는데 이 부분은 Computer Haptics와 관련지어 표준화가 일정부분 필요하다고 생각되며 많은 사용자들이 쉽게 쓰게 하기 위한 환경을 개발하는 것이 아주 필요하다.

이러한 일련의 연산을 거친 힘/촉각 정보는 인터넷을 통해 전송되어지거나하여 햅틱장치의 D/A Converter를 통해 햅틱장치의 제어기에 성취되어야 할 명령신호로 보내진다. 또한 가상환경 뿐만 아니라 실제의 세계에서 일어나는 여러 과학적/공학적 정보(데이터)를 실제 센서를 통해 획득한 후 햅틱장치에 매핑하여 신체의 일부(손 등)에 제시해 줄 수도 있다(Scientific Visualization)[3]. 이 경우 시각은 기본적으로 눈에 보일 수 있는 삼차원 정보만을 제시해 줄 수 있는 반면 촉각정보는 눈에 보이지 않는 다차원 정보를 제공해 줄 수 있어 데이터의 특성을 쉽게 파악할 수 있게 할 수 있고, 핸드폰의 진동모드처럼 다른 사람들에게 해를 주지 않으면서 사용자 본인에게만 정보를 전달해 줄 수 있는 잇점이 있다.

촉각정보는 사람의 신체에 직접 부착된 햅틱장치를 통하여 전달되므로 이러한 시스템의 안전성(Safety)이 중요한 문제가 된다. 또한 사람-기계(햅틱장치)-컴퓨터(가상환경 그래픽 시뮬레이션 및 햅틱렌더링, 그리고 통신)로 구성되는 시스템(Human-Machine-Computer System)의 제어 시 인터넷을 통한 촉각전달에 걸리는 불확실한 시

간지연, 햅틱장치 제어기 내의 능동요소들(예를 들어 중력보상제어나 마찰보상 제어 등의 경우)[6], 가상환경 시뮬레이션이 디지털컴퓨터에 의해 이루어짐으로써 발생하는 에너지 생성요소[7] 등에 의해 시스템이 불안정해지거나 햅틱장치가 원치 않는 진동(실제로 딱딱한 벽을 만질 때 진동이 수반될 수 있음)이 수반될 수 있으므로 안정적인 제어를 함과 동시에 최대의 성능을 발휘할 수 있는 제어기의 설계가 매우 중요하다.

햅틱장치의 제어 및 전체 가상환경 시뮬레이션과 관련지어 또 하나 중요한 것은 그래픽스는 약 30 Frames/Second(fps)로 Update해주면 우리 눈에 충분하나 햅틱스는 약 1,000 Hz로 Update해 주어야 안정적이고 부드러운(혹은 시뮬레이션 해 줄 수 있는 가상환경의 임피던스 범위를 크게 해 주는) 힘의 반력을 느낄 수 있다. 따라서 하나의 프로세서가 두 가지를 모두 담당할 경우 다중 Thread를 써야 하며 많은 경우 각각의 프로세서를 따로 두어 두 프로세서간의 통신으로 전체 가상환경 시뮬레이션을 수행하고 있다.

5. 적용례

촉각제시를 적용하여 교육, 훈련, 오락 등의 과정을 혁신한 예는 수 없이 많다. 특히 의료수술사의 손 떨림을 필터링해주는 역할, MIS (Minimally Invasive Surgery)에서 시각적으로 잘 안 보이는 부분의 접촉 시 촉감의 도움으로 쉽고 안전하게 도움을 주는 것, 촉각에 의한 진단(촉진), 손/발의 재활 도구로서의 사용을 들 수 있다. 또한 전통적으로는 군사적 목적의 가상훈련 시뮬레이션 시 Haptic Joystick을 써서 비행모의 시뮬레이션이 실제와 같은 느낌을 갖게 한다든가, 자동차운전 시뮬레이터에서 조향 핸들에 실제 운전과 비슷한 조향감을 느끼게 해주는 것 등의 예가 있다. 최근에는 Haptic Museum[8],

Virtual LEGO같은 장난감을 만들어서 실제 박물관에 가지 않아도 집에서 유물을 만지거나 아이들이 갖고 놀게 하는 시스템이 개발되고 있고, 자동차/비행기 등의 복잡한 기계시스템의 조립성, 접근성 등을 실제 프로토타입을 하드웨어로 하지 않고 Virtual Prototyping하는 시스템에서 가능하게 하는 시스템이 자동차회사 등을 중심으로 활발히 연구개발 중이다. 또한 앞에서도 언급한 과학적 데이터의 햅틱정보화(예를 들어 석유 매장량과 관련된 복잡한 지질학적 데이터를 햅틱정보로 바꾸어 쉽게 보이지 않는 데이터의 성격 혹은 특질을 촉감으로 파악하는 것), 그리고 Animation 형성시 햅틱장치를 써서 그 과정을 쉽고 빠르게 하는 것 등의 응용례가 출현하고 있다. 더 나아가 인터넷을 통해 다중 참여자가 가상물체를 서로 만지면서 Collaboration하거나 악수를 나누는 등의 실험 및 연구가 지속되고 있다.

이러한 다양한 적용례들은 촉감정보가 실감미디어로서 여러 분야에서 얼마나 유효하게 쓰일 수 있는지를 보여주는 것이며 기존의 시청각 미디어 중심에서 인간의 오감을 총체적으로 활용하는 실감 미디어 시스템으로의 연구 개발이 필요함을 나타낸다.

6. 결 론

앞에서 개괄적으로 살펴본 바에 의하면 촉감제 시기술은 가상현실 및 로봇틱스 기술을 이용하여 실감미디어 환경에 이용될 몰입형 실감 다차원 촉각정보 획득, 생성, 처리 및 재현 기술이라고 포괄적으로 정의할 수 있다. 그러나 실감미디어기술로서의 촉감기술은 아직 초기 개발 및 적용단계이며 또한 여러 다양한 요소 및 시스템기술이 필요하다. 따라서 실제 시스템 개발 시에는 기계공학, 컴퓨터 공학, 전자공학 등의 공학자 외에도 게임개발자, 교육자, 훈련자 등 모든 분야에서 사람의 촉

감을 이용하여 현재의 여러 교육/훈련/탐색 과정을 혁신하고자 하는 사람들이 앞에서 요약된 기초 배경을 충분히 이해하여 여러 다양한 배경을 가진 사람들이 협동하여 다양한 응용시스템을 구축할 수 있기를 희망한다.

참고문헌

- [1] G. C. Burdea, Force and Touch Feedback for Virtual Reality, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [2] SensAble Technologies, <http://www.sensable.com>
- [3] G. Nielson, H. Hagen, and H. Muller, editors, Scientific Visualization: Overviews, Methodologies, and Techniques, IEEE Computer Society Press, 1997.
- [4] C. Basdogan, C. Ho, M. Slator, and M. A. Srinivasan, "The Role of Haptic Communication in Shared Virtual Environments," PHANTOM Users Group, 1998
- [5] K. Seow, "Physiology of Touch, Grip and Gait," in J. Webster Ed., Tactile Sensing for Robotics and Medicine, John Wiley & Sons, New York, pp. 13-40, 1988.
- [6] B. Hannaford and J-H Ryu, "Time Domain Passivity Control of Haptic Interfaces," Proc. of the 2001 IEEE International Conf. on Robotics and Automation, Seoul.
- [7] J. E. Colgate, M. C. Stanley, and J. M. Brown, "Issues in the Haptic Display of

Tool Use.” Proc. of the 1995 IEEE International Conf. on Robotics and Automation.

- [8] M. L. McLaughlin, G. Sukhatm, et al., “The Haptic Museum,” Proc. EVA 2000 Conf. on Electronic Imaging and Visual Arts, 2000.

저자약력



류 제 하

1982년 서울대학교 기계공학과 (공학사)

1984년 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)

1991년 The University of Iowa, 기계공학과 (공학박사)

1994년 United Defense, LP, 선임연구원

1994년-현재 광주과학기술원 기전공학과 교수

(Human-Machine-Computer(HuManCom)
Interface Lab 운영)

2001년-2002년 The Rutgers University, Human-
Machine Interface Lab (VR Lab) 방문교수

관심분야 : 역/촉감제시장치 설계 및 제어, 컴퓨터 햅틱스,
교육 및 재활 훈련에의 적용

이 메 일 : ryu@kjist.ac.kr