

촉각 상호작용을 위한 시스템 설계, 제어, 렌더링 기술 개요 및 동향

국내에서는 약 10여 년 전부터 한국과학기술연구원/한국과학기술원/광주과학기술원 등에서 주로 로봇연구자들을 중심으로 역감제시장치 및 촉각제시장치의 기초 설계 및 제어분야에 대한 연구개발에 치중해 왔으며 관련 학회를 통해 몇 개의 시작품들이 보고되어 있다. 한편 대우, 삼성 등의 대기업에서는 촉각기술에 대한 연구동향의 파악에만 주력해 왔고 중소기업에서는 저가의 저성능 촉각장치 시작품개발 등에 대한 활동이 있어 왔다.

■ 류재하
(광주과학기술원 기전공학과)

1. 서론

촉각 기술 (Haptic Technology)은 사용자에게 가상 혹은 실제 환경의 다양한 정보를 역감(근 감각적인 힘), 촉감 혹은 질감(피부가 물체의 표면에 닿아서 느끼는 촉각적 감각) 및 공감각감(놀이기구를 탈 때 전신으로 느끼는 가속도 등) 등을 통해 제공해 주기 위한 하드웨어, 소프트웨어 및 심리학적 연구를 모두 포함하며, 1990년대 가상현실기술의 발전과 더불어 지속적으로 발전되어왔다.[1] 현재 촉각 기술을 사용하는 산업제품으로는 핸드폰 및 각종 컴퓨터 게임에 사용되는 진동촉각전달장치, 자동차의 EPAS (Electronic Power Assist System), Steer-by-Wire 시스템에서의 조향보조반력생성기, 운전/비행모의훈련기 및 컴퓨터게임에서의 조향/제동 반력 생성기[2], 수술훈련시뮬레이터에서의 손가락 힘 반력생성기[3], 로봇 및 차량의 원격제어 힘반영 시스템[4], Micro/Nano 조작시스템[5], COBOT (Cooperative Robot)[6]의 경로계획, 손 발 등의 재활훈련시스템[7] 및 각종 근신경질환의 객관적 진단시스템 등, 수 많은 제품 및 시스템 들 수 있다. 또한 새로운 디지털 제품들 (MP3 Player, PMP, Digital Camera) 및 일반 제품들 (냉장고 여단이, 소파, 옷 등등)의 초기 설계 시 촉각설계가 고려되기 시작하고 있으며 이러한 제품들의 디지털 모델을 실제 생산 전에 소비자의 가상체험 (예를 들

어 가상 MP3 Player 디지털 모델의 각종 버튼을 조작해본다던가 하는 체험)을 통해 품평하고 이를 바탕으로 제품개선이 이루어 지도록 하기 위한 연구가 수행되고 있다.

본 기고에서는 저자가 그 동안 연구개발한 것들을 중심으로 저자가 보는 관점에서 촉각 기술 분야에서 요구되는 핵심 요소 기술인 시스템 설계, 제어 및 렌더링 기술에 대해 그 개요를 정리 하고 국내외 기술동향 및 전망에 대해 간단히 살펴보고자 한다.

2. 핵심 요소 기술의 개요

촉각 기술은 사람의 감각기관을 통해 인지되는 촉각을 여러 촉각센서를 통해 획득하고, 처리 (모델링, 렌더링, 정적/동적 거동 시뮬레이션 등)하며, 촉각장치를 통해 제시하는 원천 및 여러 분야에 적용될 수 있는 핵심기반기술로서 메카트로닉스 공학을 통한 설계 및 제어를 주축으로 기타 정보과학, 인지과학 등의 이해 및 적용이 필요한 다학제적 특징을 가지고 있으며 그림 1에서 보여지는 내용의 기반기술들로 구성된다.

2.1 촉각정보의 획득기술

촉각 상호작용을 위한 촉각정보는 인체의 촉각 인지 메커니즘에 대한 이해를 바탕으로 실제 다양한 물체의 물성치 (탄성,

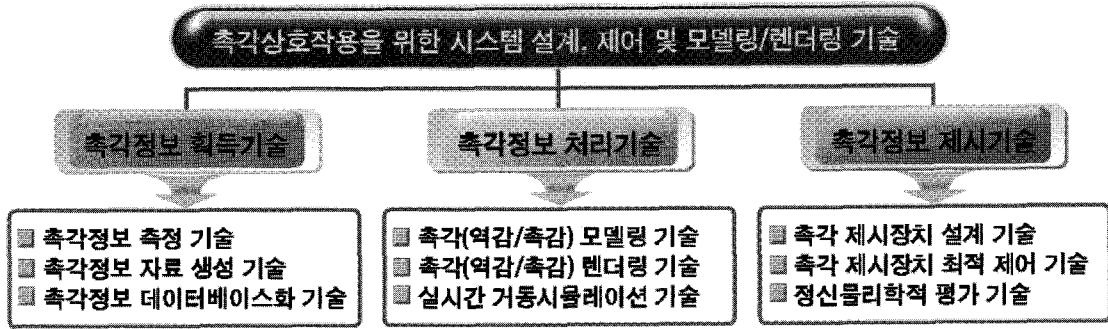


그림 1. 촉각 상호작용을 위한 기반 기술

거칠기, 마찰, 온도) 등을 측정센서 및 촉각제시장치의 특성 및 한계를 고려하여 획득할 필요가 있다. 이 기술은 압력/온도 센서 및 힘/토크 센서 등을 통해 사람의 손가락이 물체와 접촉할 때 느끼는 물체의 재질감 및 역감(힘/토크)에 대한 정보의 획득, 그리고 이후 이를 분류하여 적절한 데이터 처리를 거쳐 자료구조화(생성과정)하고 역감/촉감 데이터베이스를 구축하는 것을 포함한다. 이 기술의 대표적인 예로는, 수술훈련시뮬레이터를 개발할 때 인체장치의 물체 특성을 측정하거나 여러 물체의 미세한 표면 거칠기, 인체의 피부 탄성 측정 및 측정된 데이터의 자료구조화 기술들이 있다.

2.2 촉각정보의 처리기술

획득된 촉각정보는 가상객체의 역감 혹은 촉감의 형태로 사용자에게 제시될 수 있다. 이를 위해, 가상객체를 만지고 조작하기 위해서는 첫째, 획득된 혹은 계산된 역감 및 촉감을 가상객체에 입혀주는 모델링[8] 작업이 필요하고 (촉각모델링), 둘째, 모델된 촉각객체를 촉각제시장치의 말단부인 촉각프로브를 통하여 접촉할 때의 표면질감 및 역감을 실시간으로 계산해 주어야 하며 (촉각렌더링[9][10], 셋째, 실제 가상객체의 정적/동적 거동을 실시간으로 시뮬레이션하는(거동 시뮬레이션) 처리과정이 필요하다.

이러한 촉각정보의 처리는 제어시스템 입장에서 보면 상위제어기 (High Level Control) 기능을 가지며, 인체의 촉각인지 특성상 시각정보 제시 (30Hz)보다 훨씬 빠르게 실시간으로 (대체로 1 msec, 즉 1 KHz 이상. 가급적 하드웨어 (CPU/GPU, AD/DA Converter)가 허락하는 한 최대의 속도) 처리해주어야 사실적인 촉각상호작용이 가능하다. 따라서 역감 및 촉감 정보를 빠르고 효과적으로 제시하기 위한 매우 효율적인 알고리즘의 개발이 필요하다. 하지만 가상객체가 아주 복잡하거나 동적으로 움직이는

경우 등에는 그 효율이 현저하게 저하되어 사용자에게 질 높은 촉각정보를 제시할 수 없는 문제점이 있다. 이런 핵심적인 문제를 해결하기 위해 기존의 폴리곤/복셀 자료구조 기반에서 벗어나 다양한 자료구조의 대용량 가상객체모델에 대해 최근 그 성능이 매우 빠르게 성장하는 그래픽스 하드웨어 (GPU)를 이용한 촉각처리 (충돌검지 및 접촉반력계산)기술 및 멀티태이트로 구현된 물리기반 거동시뮬레이션 기술 등의 개발이 필요하다.

2.3 촉각정보의 제시기술

처리된 촉각정보는 촉각 제시장치 (햅만영 게임용 조이스틱, 진동촉감제시장치 등)를 통하여 사람에게 전달되어야 하는데, 촉각 정보를 사용자에게 전달하기 위한 기술의 핵심은 로보틱스/메카트로닉스 기술을 바탕으로 촉각제시장치의 기계적/전기전자적 설계 및 제어 기술이다. 고품질의 촉각 정보를 효과적으로 사용자에게 전달하기 위해서는 높은 성능을 가지고 있는 촉각제시장치 설계 및 제어기술이 반드시 필요하며, 또한, 촉각제시장치의 설계 및 제어는 사람과 떨어져서 동작하는 일반 로봇시스템과는 달리 사람과 직접 접촉하고 있는 상태에서 동작하므로 기존의 로봇제어기술로는 해결하지 못하는 여러 문제들을 가지고 있다.

예를 들어, 기계설계면에서는 무한소에서 무한대의 임피던스를 만들기 위해 경량/저마찰조인트 설계와 더불어 중력/마찰보상 설계 혹은 제어가 필요하며 제어측면에서는 촉각상호작용시의 시스템 안정성이 절대적으로 확보되고 동시에 제시하고자 하는 임피던스를 충분히 출력해주어야 한다. 특히 불안정한 제어출력은 사용자에게 원하지 않는 힘이나 자극을 전달하므로 이러한 불안정한 요소를 제어하는 것이 매우 중요하다.[11]

또한, 촉각제시의 시스템 측면에서는 제시된 역감/촉감을 사람에게 최대로 잘 인지시키기 위한 부착방법의 설계 및 실제 사



그림 2. 촉각상호작용을 위한 핵심 요소 기술

람들이 어떻게 느꼈는가를 정신물리학적으로 평가하여 설계 및 제어에 반영하는 기술이 요구된다. 또한 직관적인 상호작용을 제공하기 위해서 눈으로 보는 물체와 손으로 만지는 물체가 같은 장소에 위치하여 Hand-Eye Coordination이 자연스럽게 이루어지도록 하는 Haptic-Visual Co-location System 설계 기술[12]이 필요한 데 Co-location 정확도를 높이기 위해서는 정교한 캘리브레이션 기술이 필요하다.

촉각 상호작용을 위한 시스템 설계, 제어 및 렌더링기술은 새로운 고품질의 오감을 체험하는 산업제품을 창출하는 데 핵심적으로 필요한 기술이다. 위에서 제시한 촉각정보의 획득/처리/제시 기술은 다양한 차세대 제품의 설계 및 평가에서의 생산성 증대뿐만 아니라 교육/문화/미디어 콘텐츠의 체험[13]을 통한 학습효율의 증대, 문화체험의 현장화, 엔터테인먼트의 새로운 장을 연다는 측면에서 미래 핵심 기술로 부상하고 있다. (그림2)는 촉각상호작용에 필요한 핵심 요소기술들을 유기적으로 결합한 실시간 촉각상호작용 시스템을 보여주며 이러한 핵심기술개발을 통하여 다양한 분야에 효과적/효율적으로 응용될 수 있다.

3. 국내의 기술 동향

선진국들은 1990년대 초반 가상현실기술의 출현과 함께 촉각 인터페이스로서 촉각기술을 촉각인지에 관련된 기초 심리학 및 의학지식을 바탕으로 비약적으로 발전시키기 시작하였다. 특히 미국 MIT/Stanford/Univ. of North Carolina (UNC) 대학을 중심으로 Human Haptics (사람의 촉각인지메커니즘의 규명 및 촉각제시처리 및 장치 개발에 필요한 요구사항 등을 추출하기 위한 기초 연구), Computer Haptics (가상객체와의 접촉판단 및 접

촉력의 실시간 계산 등), Machine Haptics (촉각제시장치의 설계 및 제어 등) 등의 분야에 대한 기초연구가 다학제적으로 이루어져 왔다. 이러한 연구개발의 성과로 MIT 기술의 Spin-Off로 Sensible Tech. Co.가 출시한 Phantom/OMNI 모델[14]의 촉각제시장치가 세계적으로 약 3천대 정도 주로 연구실/회사 등에 판매되는 성과를 보이고 있다. 최근 다른 선진국에서도 OMEGA 등의 경쟁제품을 출하하고 있는 추세이며, 촉각처리프로그램 (컴퓨터그래픽 처리 프로그램과 같은 성격)으로 OpenHaptics[14], ReachIn[12] 등의 API가 출현하고 있다.

국내에서는 약 10여 년 전부터 한국과학기술연구원/한국과학기술원/광주과학기술원 등에서 주로 로봇연구자들을 중심으로 역감제시장치 및 촉각제시장치의 기초 설계 및 제어분야에 대한 연구개발에 치중해 왔으며 관련 학회를 통해 몇 개의 시작품들이 보고되어 있다. 한편 대우, 삼성 등의 대기업에서는 촉각 기술에 대한 연구동향의 파악에만 주력해 왔고 중소기업에서는 저가의 저성능 촉각장치 시작품개발 등에 대한 활동이 있어 왔다. 최근 34년 동안에는 촉각렌더링 및 촉각의 정신물리학적 평가 기술 등에 대한 기초연구가 진행되고 있고 광주과학기술원/전자통신연구원/한국과학기술원 등의 공동연구를 통하여 차세대 스마트 햅틱인터페이스에 대한 연구가 있었다.

4. 결론

촉각 기술은 2006년 경제전문지 포브스지로부터 향후 우리 삶을 바꿀 가장 유망한 10대 기술 중 하나로 선정되었으며, 우리나라 주요 미래 기술이자 10대 신성장동력인 로봇기술 및 디지털콘텐츠에 필요한 핵심 기반 기술이다. 현재 촉각기술은 아직

은 산업 진입 초기 단계로서 핸드폰, 게임산업, 컴퓨터산업에서의 조이스틱, 컴퓨터 촉각마우스, 그리고 디자인 및 설계관련부서에서의 촉각인터페이스 및 촉각 모델링 소프트웨어 등의 제품으로 일부 사용되고 있다. 그러나 향후 촉각기술은 여러 방면으로 그 응용범위가 확장되면서 관련된 신제품들이 출현하고 새로운 오감미디어의 연관되어 더욱 다양한 콘텐츠와 맞물리면서 그 이용성이 확대되는 방향으로 발전할 것으로 기대된다. 예를 들어 첨단자동차 및 실제 주행 운전을 일부 대체할 자동차 운전 시뮬레이터에 사용될 Steer-by-Wire 시스템, Brake-by-Wire 시스템에 고성능의 힘반영 제어시스템이 사용되고, 고난이도의 수술훈련을 하기 위한 힘반영 수술훈련도구가 고가로 개발되고, 전장에서의 로봇 및 차량의 원격제어 및 운용에 힘 반영 양방향 제어시스템으로, 게임에서의 고성능 촉각상호작용 시스템, 그리고 촉각방송용[15][16] 엔터테인먼트 및 교육콘텐츠 등으로 개발될 것으로 생각된다.

참고문헌

[1] Grigore C. Burdea and Philippe Coiffet, "Virtual Reality Technology 2/e", Wiley InterScience, 2003.

[2] Adil Ansari, "Vehicle Steering System Having Master/Slave Configuration and Method", U.S Patent, US 6,176,341 B1, 2001.

[3] B "A Review of Robotics in Surgery", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine, Volume 214, Number 1/2000, pp. 129-140.

[4] Terrence Fong and Charles Thorpe, "Vehicle Teleoperation Interfaces", Journal: Autonomous Robots, Volume 11, Number 1, pp. 9-18, 2001.

[5] Metin Sitti and Hideki Hashimoto, "Teleoperated Touch Feedback From the Surfaces at the Nanoscale: Modeling and Experiments", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 8, No.2, 2003.

[6] Carl A. Moore, Jr., Michael A. Peshkin and J. Edward Colgate, "Cobot Implementation of Virtual Paths and 3D Virtual Surfaces", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 19, No.2, 2003.

[7] Jungwon Yoon, Jeha Ryu, Kil-Byung Lim, " Reconfigurable Ankle Rehabilitations Robot for Various Exercises", Journal of Robotic Systems, vol.22(supplement), No.S1, pp.S15-S33, September 2006.

[8] 서용원, 이범찬, 차종은, 김종필, 류제하, "촉각 모델링 및 편집 툴 개발", HCI 2007, pp. 373-378, 2007.

[9] Jong-Phil Kim, Beom-Chan Lee, Jeha Ryu, "Haptic Rendering with Six Virtual Cameras", HCI international 2005, 22-27 July 2005 Las Vegas, CD No. 467, Nevada USA.

[10] Beom-Chan Lee, Jong-Phil Kim, Jeha Ryu, "Development of K-Touch™ Haptic API for Various Datasets", EuroHaptics 2006, 3-6 July 2006, pp. 537-541, Paris France.

[11] Jong-Phil Kim, Jeha Ryu, "Stable Haptic Interaction Control Using Energy Bounding Algorithm," IEEE/RSJ Inter. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2004), pp 351-357, Sep. 28-Oct. 2, Sendai, Japan, 2004.

[12] Reachin Technologies AB, "http://www.reachin.se"

[13] Jong-Phil Kim, Jeung-Chul Park, Beom-Chan Lee, Kwan H. Lee, Jeha Ryu, "Digital Buddhist Image Creation by Haptic Deformation", Edutainment 2006, LNCS 3942, pp. 989-998, 2006.

[14] SensAble Technologies, "http://www.sensable.com"

[15] Jongeun Cha, Seung-Man Kim, Sung-Yeol Kim, Sehwan Kim, Seung-Uk Yoon, Ian Oakley, Jeha Ryu, Kwan H. Lee, Woontack Woo, Yo-Sung Ho, "Client System for Realistic Broadcasting : A First Prototype", Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Proc. of 6th Pacific-Rim Conf. Multimedia, (PCM 2005), Part II, LNCS 3768, pp. 176-186, Jeju, Korea, Nov. 13-16, 2005.

[16] Jongeun Cha, Jeha Ryu, Seungjun Kim, Seongeun Eom, Byungha Ahn, "Haptic Interaction in Realistic Multimedia Broadcasting," Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Proc. of 5th Pacific-Rim Conf. Multimedia (PCM 2004), Part III, LNCS 3333, pp. 482-490, Tokyo Waterfront City, Japan, Nov. 30-Dec. 3, 2004.

저자약력



류제하

- 1982년 서울대학교 기계공학과(공학사).
- 1984년 한국과학기술원 기계공학과(공학석사).
- 1991년 The University of Iowa, PhD, 기계공학박사.
- 1994년~현재 광주과학기술원 정보기전공학부(기전공학과) 교수.

· 관심분야 : 촉각방송, Haptic Device for VR Interface, Computer Haptics/VR Dynamic Simulation, Parallel Manipulator Kinematics/Dynamics/Control/Optimal Design, Vehicle Dynamics/Control, Hardware-In-the-Loop.