

햅틱스와 과학적 데이터 시각화

최 승 문 · 포항공과대학교 컴퓨터공학과, 조교수

_e-mail : choism@postech.ac.kr

이 글에서는 과학적 데이터 시각화의 개념 및 햅틱스(Haptics)가 포함된 활용 예제를 설명하고, 포항공대 가상현실 연구실에서 수행되고 있는 관련 연구에 대해서 간략히 소개하고자 한다.

과학적 데이터 시각화 (scientific data perceptualization)란 복잡하고 방대한 과학적 데이터의 성질을 사용자가 직관적이고 효과적으로 이해할 수 있도록 다중 감각을 활용하여 과학적 데이터를 제시하는 기술을 지칭한다. 기존의 데이터 시각화(visualization)에서 발전하여, 데이터 청각화(sonification) 및 데이터 촉각화(haptization)를 모두 포함하는, 총칭의 개념으로 데이터 시각화라는 용어가 사용되고 있다 (그림 1). 다중 감각을 사용함으로써 정량적인 장점으로는 사용자에게 단위 시간에 전달할 수 있는 정보 전달(information trans-



다중 감각을 사용하는 과학적 데이터 시각화는 사용자에게 단위 시간에 전달할 수 있는 정보 전달의 양을 증가시키고, 주어진 데이터의 성질을 보다 직관적으로 인지할 수 있도록 도와줄 수 있다는 것이 가장 중요한 장점이다.

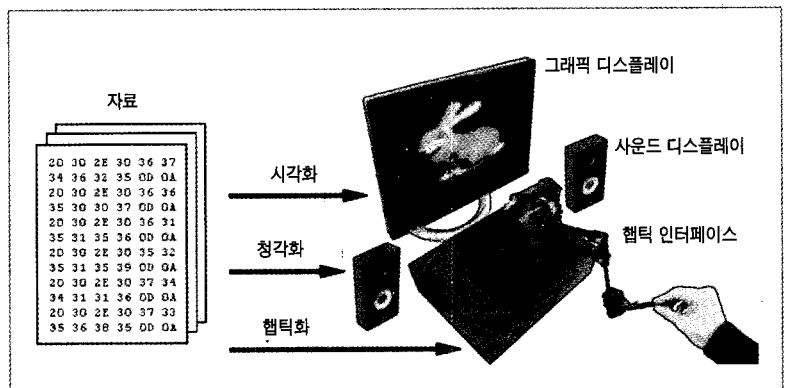


그림 1 다중 감각을 이용한 데이터 시각화의 개념도

햅틱 렌더링은 사용자가 촉감 혹은 역감을 통해 느낄 수 있는 햅틱 자극을 생성해내는 일련의 과정이며, 다중 감각을 이용한 과학적 데이터 시각화를 위한 필수적인 구성요소이다.

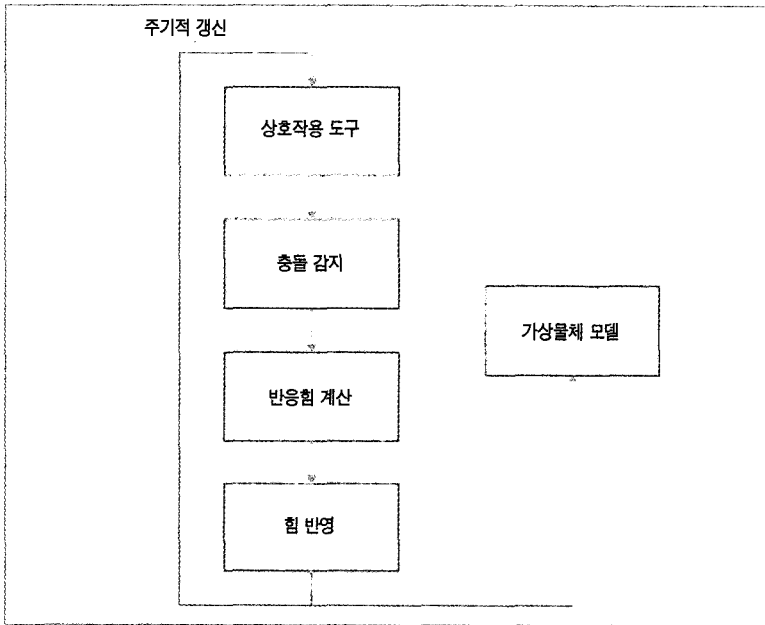


그림 2 햅틱 렌더링의 순서도

mission)의 대역폭을 증가시킬 수 있다는 점을 들 수 있다. 정성적으로는 주어진 데이터의 성질을 직관적으로 인지할 수 있는 감각을 사용하여 보다 효율적인 데이터 성질 전달이 가능한 것이 가장 중요한 장점이다. 1990년대 중반부터 시작된 햅틱스의 발전과 더불어 데이터 시각화도 새로운 연구 분야로 부상하여 활발한 연구가 이루어지고 있다.

햅틱 렌더링

햅틱스가 다중 감각을 이용한

과학적 데이터에 적용되는 과정을 이해하기 위해서는 먼저 햅틱 렌더링이 어떤 것인지 이해할 필요가 있다. 컴퓨터 그래픽스에서는 3차원 물체의 모델을 이용하여 사용자가 눈으로 볼 수 있는 이미지를 만들어 내고 이 과정을 렌더링이라 부른다. 마찬가지로, 여러 가지 다양한 물체의 모델을 기반으로, 사용자가 손으로 만질 수 있는(좀더 일반적으로는 촉감을 통해 느낄 수 있는) 햅틱 자극을 생성해내는 일련의 과정을 햅틱 렌더링이라고 한다.

일반적인 햅틱 렌더링의 과정

을 좀더 자세히 설명하면 다음과 같다. 그림 2에 있는 순서도가 햅틱 렌더링의 5가지 과정을 요약하고 있다. 1단계에서는, 햅틱 인터페이스를 사용하고 있는 사용자의 움직임을 측정한다. 예를 들면, 그림 1에서 볼 수 있는 햅틱 인터페이스의 펜 형태의 도구의 위치를 햅틱 인터페이스에 장치되어 있는 위치 센서 등을 통해서 추정한다. 2단계에서는, 이 도구의 위치를 가상 물체의 정보와 비교하여, 사용자가 쥐고 있는 도구가 가상 물체와 접촉을 하고 있는지의 여부를 판단한다. 3단계에서는, 사용자가 접촉하고 있는 가상 물체의 여러 가지 성질(모양, 경도, 마찰, 질감 등)을 고려하여 햅틱 인터페이스를 이용하여 사용자에게 전달해 주어야 하는 적절한 햅틱 자극(햅틱 인터페이스가 가하는 힘 혹은 움직이는 위치)을 계산한다. 4단계에서는, 3단계에서 계산된 햅틱 자극을 햅틱 인터페이스를 통해서 생성시킨다. 마지막으로, 사용자와 가상 물체와의 접촉으로 인해서 가상 물체의 상태가 갱신되어야 하는 경우(예 : 동적 물체) 이를 적절하게 계산해서 가상 물체의 상태를 변화시킨다. 이러한 5단계의 과정을 매우 빠른 갱신 주기(예 : 1kHz)로 반복한다.

이와 같이, 햅틱 렌더링은 매우 복잡한 계산을 거치는 일련의 과정이며, 햅틱스 연구에서 가장 중요한 위치를 차지하고 있는 연구

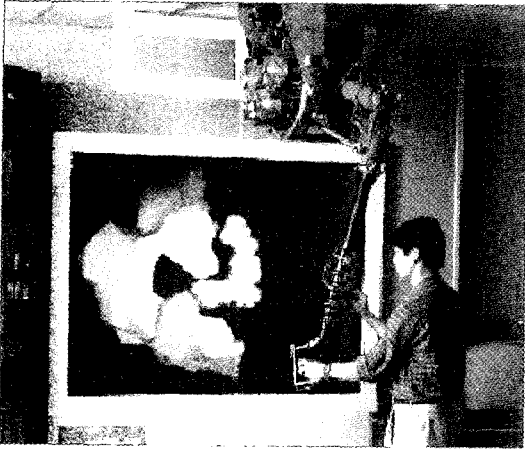


그림 3 GROPE 프로젝트에서 사용된 햅틱 인터페이스와 그 사용 모습

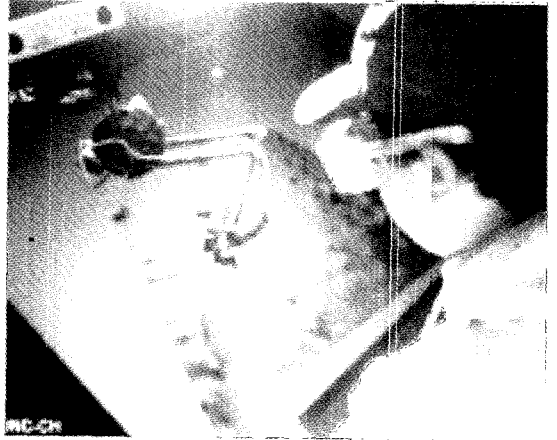


그림 4 나노 매니플레이터의 햅틱 워크 벤치를 이용한 초기 형태

분야 중의 하나이다. 과학적 데이터 지각화에서는 과학적 데이터의 성질에 기반한 적절한 햅틱 렌더링을 통해 사용자가 그 성질을 촉/역감을 통해 인지할 수 있도록 해주어야 한다. 따라서, 햅틱 렌더링은 효과적인 데이터 지각화를 위한 필수적인 부분이라고 할 수 있다.

햅틱스의 데이터 지각화 활용 예

다중 감각, 특히 촉감을 이용한 과학적 데이터의 선구자적인 연구는 미국 노스캐롤라이나 주립대의 F. Brooks 교수 연구팀이 1967년에 시작한 GROPE 프로젝트를 들 수 있다. 이 프로젝트는 관련 기술의 부족으로 인해 오랜 시행착오를 거쳐 1990년에 와서야 완성을 보았다. 그림 3는 GROPE 프로젝트에서 사용된 햅틱 인터페이스와 응용 예제를 보

여 주고 있다. 햅틱 인터페이스로는 천장에 부착된 대형 매니플레이터 타입이 사용되었다. 응용 예로서 복잡한 구조를 가지는 분자간의 결합(molecular docking) 상태를 대형 화면에 보여 주고 사용자가 햅틱 인터페이스를 사용하여 분자를 움직여 가면서 분자간의 반발력 등을 느끼면서 분자간의 결합 구조를 조작할 수 있는 형태의 프로그램을 제공하였다. 또한, 연구 중에 발견된 여러 가지 기술적인 이슈들, 예를 들면 단단한 면의 햅틱 렌더링, 안정성 문제, 갱신 주기 등 현 햅틱스 연구에서 주된 주제가 되고 있는 문제들을 소개한 데도 이 연구의 큰 의의가 있다.

GROPE 프로젝트의 뒤를 이어서 세계적으로 주목을 받은 연구로서는 나노 매니플레이터(Nano Manipulator)라 명명된 연구들을 들 수 있다. 나노 매니플레이터는

기본적으로 주사형 현미경(scanning probe microscope)과 햅틱 인터페이스를 연결하는 일종의 원격조정(teleoperation) 시스템이라고 할 수 있다. 주사형 현미경은 미세한 탐침이 물체의 표면을 스캔하면서 둘 사이에 상호작용하는 힘을 이용하여 미세한 물체의 다양한 성질을 측정하는 기계적 현미경이다. 그 해상도가 원자 하나의 크기에 육박하여 현재 나노 과학 연구에 널리 쓰이고 있다. 나노 매니플레이터는 햅틱 인터페이스를 사용하여 주사형 현미경을 제어하고, 또한 주사형 현미경에서 측정된 데이터에서 3차원 모델을 복원하여 시각과 촉각을 통해 데이터를 인지할 수 있도록 해 준다. 그림 4에 나타난 나노 매니플레이터는 미국 노스캐롤라이나 주립대의 R. Taylor 교수 연구팀에 의해 개발된 햅틱 워크벤치(Haptic Workbench: 입체

햅틱스를 응용한 과학적 데이터 지각화는 바이오 데이터, 나노 데이터 등에 성공적으로 적용되었으며 이를 통한 상용화된 제품도 출시되어 있다.

예와 같이, 바이오 혹은 나노 데이터에 관한 적용 연구, 또는 의학 데이터에 대한 적용 연구가 보다 활발하다고 할 수 있다.

포항공대 가상현실 연구실의 데이터 지각화 관련 연구

포항공과대학교 가상현실 연구실(<http://vr.postech.ac.kr>)에서는 과학적 데이터 지각화와 관련하여 두 가지 방향의 연구를 진행하고 있다. 한 가지는 과학적 데이터 지각화에 적합한 가상 환경을 구축하는 것에 대한 연구이다. 구축하고 있는 가상 환경은 CAVE(Cave-like Automatic Virtual Environment: 가장 발전된 형태의 가상환경으로서 사용자가 위치하고 있는 방의 모든 면에서 입체 영상을 투사하여 사용자가 마치 가상환경 내에 완전히 몰입되어 있는 것과 같은 효과를 주는 환경) 내에 햅틱 인터페이스를 설치하고 CAVE와 햅틱 인터페이스를 제어하는 컴퓨터들을 네트워크로 연결한 분산형 가상 환경이다(그림 6). 특히 이와 같은 대형 가상 환경에 적합한 햅틱 인터페이스로서 이동형 햅틱 디스플레이를 포항공과대학교 전자전기공학과 이진수 교수 연구팀과 함께 연구 개발 중이다. 이동형 햅틱 디스플레이는 고성능 데스크탑 햅틱 디스플레이를 이동 로봇 위에 탑재한

영상을 제공하면서 내부에 햅틱 인터페이스를 장착하여 영상 모델과 햅틱 모델과의 위치를 정확히 일치시켜 시각, 촉각 정보를 제공하는 형태의 가상환경)를 사용한 형태이다. 나노 매니플레이터는 미국 3rd Tech(<http://www.3rdtech.com/>)이라는 회사에서 상용화했고, 현재는 PHANTOM (Sensable Technology: <http://www.sensable.com>; 햅틱스의 발전에 크게 기여한 범용 데스크탑 햅틱 인터페이스)을 햅틱 인터페이스로 사용하는 형태로 해서 일반 컴퓨터와 같이 사용하도록 판매되고 있다.(그림 5)

지금까지 소개한 두 개의 성공

적인 예 이외에도, 햅틱스를 이용한 과학적 데이터에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 연구 방향은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 일반적으로 과학적 데이터 모델링에 많이 쓰이는 모델에 대한 햅틱 렌더링 기법을 연구하는 분야이다. 예를 들면 볼륨 데이터(volumetric data)로 정의된 상수, 벡터, 텐서 등의 값에 대한 효과적인 햅틱 렌더링 기법이나 두 개 이상의 볼륨 데이터 사이의 상호 작용 힘을 계산하는 방식 등의 연구를 들 수 있다. 특히, 근래에는 컴퓨터 그래픽스 카드 내의 GPU를 이용하여 햅틱 렌더링 계산 속도를 올리는 방식

에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 다른 연구 방향은, 실제 과학적 데이터에 햅틱스를 포함하여 지각화를 시도하는 응용 연구이다. 이 부분은 실제로 데이터를 제공하고 개발된 지각화 시스템을 사용하는 각 분야 전문가와의 밀접한 공동 연구가 필요하다. 앞에서 소개된



그림 5 상용화된 나노 매니플레이터 시스템. (PHANTOM이라고 불리는 상용 햅틱 인터페이스를 사용한다)

형태이다. 이 경우 데스크탑 햅틱 디스플레이의 가장 큰 단점인 워크 스페이스의 제한을 해결할 수 있어 가상 물체의 크기에 제한없이 햅틱 렌더링이 가능하다는 큰 장점이 있다. 이동 로봇의 전방향성 주행을 위하여 전방향 바퀴(omnidirectional wheels)를 사용하고 있으며, 사용자의 위치 추적을 통한 이동 로봇의 자동 동작 계획, 여유 자유도를 고려한 햅틱 렌더링 기법 등이 주요한 연구 주제이다.

포항공대 가상현실 연구실에서 진행되는 데이터 지각화의 다른 방향의 연구는 데이터 지각화에 필요한 햅틱 렌더링 알고리즘을 연구 개발하는 분야이다. 인간이 촉감을 통하여 인지하는 물리적 성질은 매우 다양하다. 이 중 햅틱 렌더링에서 필요한 가장 기본적인 성질은 물체의 모양과 경도이다. 기존의 햅틱 렌더링 알고리즘은 실제 물체와 유사한 가상 물체를 렌더링하는 것을 목적으로 하므로 대부분 균일한 경도를 가지는 물체를 가정한다. 하지만, 과학적 데이터에서는 물체의 경도도 변하는 경우가 많으므로 이를 고려한 햅틱 렌더링 알고리즘이 필요하다. 실제로, 주사형 현미경을 사용하여 측정된 균일하지 않은 경도를 가지는 데이터의 예가 그림 7에 제시되어 있다. 이러한 데이터를 기존의 햅틱 렌더링 알고리즘을 사용할 경우 높이가 낮게 측정된 부분이 높게 측



이동형 햅틱 디스플레이는 대형 가상 환경에 적합한 형태의 햅틱 인터페이스이며, 사용자의 위치를 추적하여 움직임으로써 고정형 햅틱 인터페이스의 작업 공간보다 큰 물체도 자유롭게 렌더링 할 수 있다는 장점이 있다.

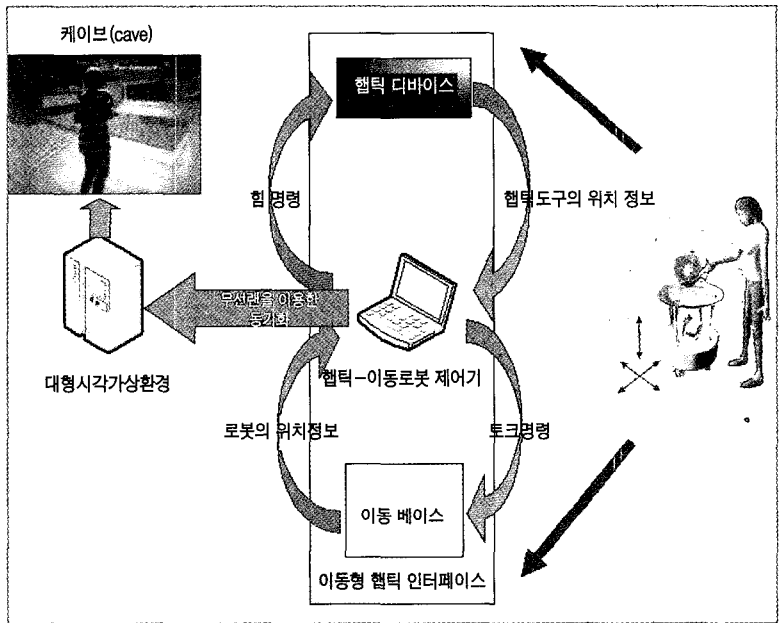


그림 6 이동형 햅틱디스플레이를 이용한 분산형 가상환경의 개념도

정된 부분보다 사용자가 인지하기에는 더 높게 느껴지는 현상이 발생한다.

본 연구팀은 위와 같은 문제점이 생기는 원인을 사용자가 물체를 만질 때 사용하는 생체역학적 특징에서 찾았다. 사용자가 물체의 표면 모양을 인지하게 위해서 물체를 만질 때, 일정한 크기의 접촉힘을 유지한다는 사실을 심물리학적 실험(psychophysical experiment)을 사용하여 밝혀내었고, 이를 힘 유지 이론(For-

ce Constancy Theory)라 명명하고 이를 설명하기 위한 간단한 수학적 모델을 제시하였다. 이 힘 유지 이론에 근거하여 사용자가 가하는 접촉힘에 대하여 물체 모델의 높이 정보를 적응적으로 변화시키는 햅틱 렌더링 알고리즘을 개발하고 이를 모양 보상 알고리즘(TCA : Topography Compensation Algorithm) 라고 명명하였다. 이 알고리즘은 매우 효율적이고 데이터의 전처리 과정을 필요로 하지

데이터 지각화를 위한 햅틱 렌더링을 위해서는 물체의 모양과 경도가 동시에 변하는 경우에 대한 고려가 필요하다. 포항공대 가상현실 연구실에서는 이를 위한 햅틱 렌더링 알고리즘을 개발하고 있다.

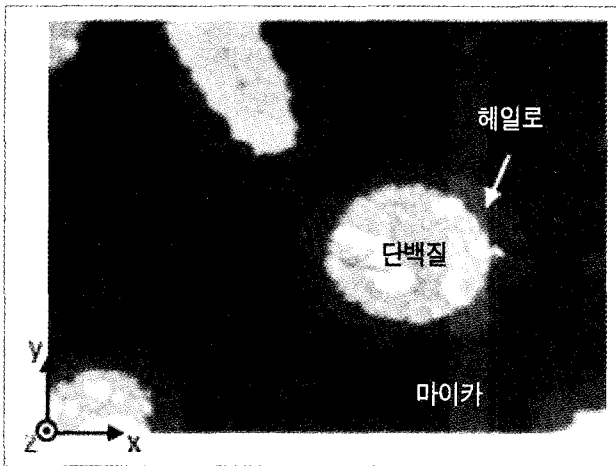


그림 7 주사형 현미경(Scanning Probe Microscope)으로 측정된 박테리아 단백질 데이터 밝은(부분의 높이가 높다. 경도는 Mica > Protein > Halo 순)

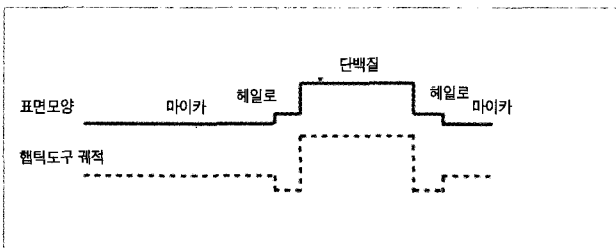


그림 8 현존하는 햅틱 렌더링 알고리즘을 사용할 경우 발생하는 표면 모양 정보의 왜곡(Halo 부분이 Mica 부분보다 햅틱 채널을 통하여서는 낮게 인지된다)

현재는 개발된 TCA를 보다 일반적인 경우에 적용될 수 있도록 확장하는 연구에 집중하고 있다. 이러한 햅틱 렌더링 방법의 가장 큰 의의는 물체의 다중 성질을 렌더링하기 위하여 물체의 성질을 인지하기 위한 사용자의 운동 패턴(Exploratory Pattern) 및 방식을 적극적으로 고려한다는 데 있다. 기존의 햅틱 렌더링 방법의 대부분은 상대적으로 보다 발전된 분야인 로봇픽스나 컴퓨터 그래픽스의 알고리즘을 차용하는 경우가 많았다. 하지만, 햅틱 상호작용은 근본적으로 양방향의 정보전달이 가능하므로, 물체의 성질을 렌더링하는데 사용자의 운동 패턴을 적극적으로 고려할 경우에서 보여진 것 같이 많은 장점을 가질 수 있다. 이러한 방향의 연구가 보다 햅틱스에 적합한 렌더링 알고리즘을 탄생시킬 것이라고 예상하고 있으며, TCA는 이를 위한 첫 출발이라고 할 수 있다. 또한, 개발된 햅틱 렌더링 알고리즘의 실제 적용을 위하여 KAIST 바이오시스템학과 예종철 교수 연구실과 실제 의학 데이터 다중 감각 지각화를 위한 협의를 진행하고 있다.

맺음말

이 글에서는 햅틱스의 응용 분야 중의 하나인 다중감각을 이용한 데이터 지각화에 대해서, 그 개념을 소개하고 성공적인 활용

않으며 매우 강건한 성능을 보였다. 그림 9에서 나타낸 바와 같이, 기존의 햅틱 렌더링 알고리즘을 사용할 경우 사용자가 느끼는 햅틱 도구의 궤적(파란 실선으로 표현)이 물체 표면의 모델(빨간 점선으로 표현)을 적절히 따라

가지 못하고 오히려 떨어지는 현상이 나타난다. 같은 데이터를 TCA를 사용하여 렌더링할 경우 그림 10에서 나타낸 것과 같이 햅틱 도구의 궤적이 물체 표면의 높이 모델을 충실하게 따라가는 것을 알 수 있다.

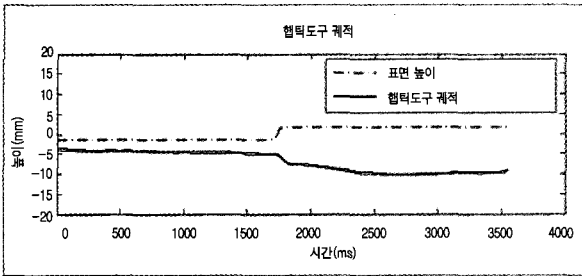


그림 9 기존의 햅틱 렌더링 방법을 사용할 경우 햅틱 모서리 렌더링의 결과

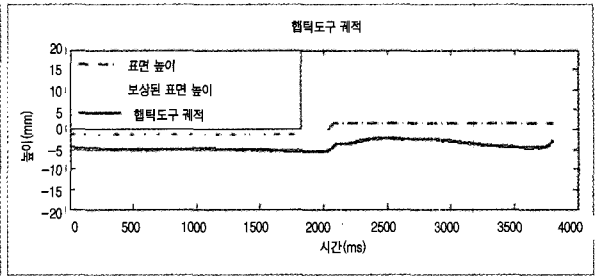


그림 10 포항공대 가상현실 연구실에서 개발된 TCA를 사용할 경우의 결과

에제에 대해서 서술했다. 또한, 포항공대 가상현실연구실에서 수행되고 있는 과학적 데이터 시각화와 관련된 연구를 소개했다. 사용자의 다중 감각을 이용한 과학적 데이터 시각화는 복잡해지고 방대해져 가는 과학적 데이터의 성질을 연구자가 보다 쉽고 빠르게 이해할 수 있도록 해주는 필수불가결한 기술이다. 또한, 각기 다른 분야의 연구자의 필요성을 충족시켜주어야 하므로 밀접한 공동연구가 필요한 분야이기도

하다. 이 소고가 아직 과학적 데이터 시각화 연구의 상대적 불모지인 국내에서 이 분야에 대한 필요성을 인식하고 관심을 증대시키는 데 기여할 수 있기를 기대한다. 마지막으로 햅틱스를 이용한 과학적 데이터에 대한 최신 연구에 대한 자료를 얻을 수 있는 곳을 소개하면서 이 글을 맺고자 한다.

• Symposium on Haptic Interfaces for Virtual

- Environments and Teleoperator Systems(<http://www.hapticsymposium.org>)
- Eurohaptics (<http://www.eurohaptics.net>)
- IEEE Visualization Conference(<http://vis.computer.org/vis2006>)
- IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics(<http://www.computer.org>)

기계용어해설

직교스프링(Orthogonal Springs)
직교하면서 한 점에서 만나는 3개의 스프링

쌍안정성(Bistability)

쌍안정성을 가지는 구조체는 일반적으로 변형이나 구동 중에 두 위치나 형상에서 탄성 변형 에너지의 최소점을 가진다. 따라서, 구조체의 변위-하중 선도에는 음의 강성과 음의 구동력 부분이 나타난다. 이때, 이 선도를 적분하면 변형에 대한 포텐셜 에너지를 얻게 된다.

외연적분(Explicit Integration)

일정 시간 스텝 적분식의 경우 그 전 스텝의 정보들로 다음 스텝의 정보를 명확하게 알 수 있도록 나타나는 식.

분할 적분 기법(Splitting Time Integrator)

보존되는 어떤 양을 여러 개의 작은 단위로 나누어 그 단위 양 역시 보존됨을 착안하여 각각의 단위 양들을 적분하여 식을 얻어내는 방법