
직관적인 3D 인터랙션을 위한 핸드 햅틱 인터페이스

Hand Haptic Interface for Intuitive 3D Interaction

장용석, Yongseok Jang*, 김용완, Yongwan Kim**, 손욱호, Wookho Son***
김경환, Kyunghwan Kim****

요약 3D/가상환경 애플리케이션을 위한 3D 인터랙션에 관한 연구는 이동(navigation), 선택(selection), 조작(manipulation), 시스템 제어(system control)와 같은 기본적인 4가지 형태의 상호작용으로 정의하고 광범위하게 연구되어 왔으며, 일반적으로 현실세계나 가상환경에서 작은 물체라도 상호작용하기에 적합한 기술로 여겨져 왔다. 그러나 이러한 비직관적인 상호작용 방법은 최근 산업계에서 필요시 되고 있는 가상 훈련이나 가상 디자인/사용성 평가 시스템과 같이 사용자가 도구나 장치를 사용하여 간접적으로 물체를 조작해야 하는 비직관적인 상호작용 방법이 아닌, 자신의 손으로 직접 물체를 만지거나 조작할 수 있는 직관적인 상호작용 방법이 필요한 고품질, 고정밀 애플리케이션을 지원하기에는 적합하지 않은 방법이었다. 따라서 본 연구에서는 직관적이며 자연스러운 상호작용을 지원하기 위한 방법으로 고정밀 핸드 조작과 사실적 역 촉감을 제공하는 장갑형 핸드 인터페이스 장치 및 햅틱 장갑 장치와 6자유도 햅틱 장치로 구성된 핸드 햅틱 인터페이스를 제시하고자 한다.

Abstract Several researches in 3D interaction have identified and extensively studied the four basic interaction tasks for 3D/VE applications, namely, navigation, selection, manipulation and system control. These interaction schemes in the real world or VE are generally suitable for interacting with small graspable objects. In some applications, it is important to duplicate real world behavior. For example, a training system for a manual assembly task and usability verification system benefits from a realistic system for object grasping and manipulation. However, it is not appropriate to instantly apply these interaction technologies to such applications, because the quality of simulated grasping and manipulation has been limited. Therefore, we introduce the intuitive and natural 3D interaction haptic interface supporting high-precision hand operations and realistic haptic feedback.

핵심어: *haptic interface, hand interface, intuitive interaction, 3D interaction, virtual reality*

*주저자 : 한국전자통신연구원 가상현실연구팀; e-mail: canfuler@etri.re.kr
**공동저자 : 한국전자통신연구원 가상현실연구팀; e-mail: ywkim@etri.re.kr
***교신저자 : 한국전자통신연구원 가상현실연구팀; e-mail: whson@etri.re.kr
****공동저자 : (주)NT리서치; e-mail: kimk@ntresearch.net

1. 서론

최근 자동차/선박/정보기기 등의 제조업체에서는 고비용, 저효율 문제를 극복하기 위한 방법으로 가상현실 기술을 적용한 가상 훈련, 가상 디자인/사용성 평가 시스템 등과 같은 고품질, 고정밀의 애플리케이션을 개발하려고 하고 있다. 그러나 현재까지의 가상현실 기술은 사실적 가시화를 위한 컴퓨터 그래픽 기술과 디스플레이 기술에 대한 시각적 연구들이 주류를 이루어 많은 연구 성과를 거두었으나, 햅틱 장치나 3D 인터랙션에 관한 연구는 아직 산업 현장에 적용하기에는 문제점이 많은 것이 현실이다.

3D/가상환경 애플리케이션을 위한 3D 인터랙션에 관한 연구는 기본적인 4가지의 상호작용 형태(이동(navigation), 선택(selection), 조작(manipulation), 시스템 제어(system control))로 정의하여 연구되었으나[1], 이러한 방법은 장치나 도구를 사용하여 간접적으로 물체를 조작해야 하는 비직관적인 상호작용 방법으로 사용자가 직접 자신의 손으로 물체를 만지거나 조작해 볼 수 있는 직관적인 상호작용 방법과는 큰 차이가 있다. 그러므로 특히, 산업 현장에서 제품을 생산하는 작업자의 조립 작업을 숙달시키기 위한 가상 훈련 시스템이나 핸드폰과 같은 정보기기의 새로운 모델의 사용성 높은 디자인을 위한 가상 디자인/사용성 평가 시스템 등과 같은 고품질, 고정밀 애플리케이션에서는 이러한 기존의 4가지 형태의 기본적인 상호작용 방법은 적합하지 않은 방법이다. 따라서 최근 가상현실 기술의 중요 이슈 중 하나는 가상환경에서 물체와 사용자의 직접적인 상호작용을 제공하는 방법으로 핸드 인터페이스에 관한 연구이며, 현재 활발히 진행되고 있다.

1987년 Thomas Zimmerman은 광섬유를 이용한 광학 방식의 센서를 이용하여 10개의 손가락 관절의 움직임을 추적하여 6자유도를 갖는 DataGlove를 개발하였고, 스탠포드 대학의 James Jramer는 몸짓 또는 수화(American Sign Language)를 음성 언어로 변환하기 위한 연구를 위하여 저항 센서를 이용한 CyberGlove를 개발하였다[2][3]. 현재 이들 장치는 상용화되어 가상현실 연구 분야의 핸드 인터페이스 장치로 사용되어지고 있으나, 이러한 핸드 인터페이스 장치들은 외부 환경(온도/손의 크기)에 의한 변화가 크고 환경 변화에도 민감하여 사용 시마다 보정 작업을 해야 하는 불편함과 함께 가시화되는 핸드 모델의 저품질로 인하여 사용자의 손가락 움직임을 자연스럽게 표현하기에는 문제가 많았다. 또한 사용자에게 시각적 정보와 함께 촉각 정보인 역·촉감을 제공하기 위한 연구들이 진행되었으며[4][5][6][7], CyberGrasp, Rutgers Master 등과 같은 장갑형 역감 장치들은 물체를 잡는 듯한 느낌을 사용자에게 제공하지만 [8][9], 제한된 자유도(DOF)와 구동기(actuator)의 물리적 특성과 제어의 어려움 등으로 물체의 질감이나 중량감 등을

나타내기에는 어려움이 많았다. 이러한 이유로 지금까지의 핸드 인터페이스 장치들은 제조업체에서 필요시 되고 있는 자동차 내·외관 폼핑이나 정보가전 기기 등의 디자인 폼핑을 위한 가상 폼핑 시스템 또는 제품의 조립 훈련을 위한 가상 훈련 시스템 등과 같은 고품질, 고정밀 시스템에 적용하기에는 적당하지 않았다.

따라서 본 연구에서는 산업 현장에서도 사용 가능한 고정밀 핸드 햅틱 인터페이스의 개발을 위하여 기존의 저항이나 광학 방식 등의 센서를 이용한 연구에 비해 높은 해상도와 빠른 갱신율을 제공하는 절대 변위 센서를 사용한 고정밀 장갑형 핸드 인터페이스 장치의 개발과 사용자에게 사실적 역·촉감을 제공하여 상호작용의 현실감을 증가시키는 햅틱 장비로서 손가락에 역·촉감을 제공하는 햅틱 장갑 장치와 손 전체의 역감을 제공하는 6자유도 햅틱 장치의 개발을 제시한다. 또한 이러한 인터페이스 장치의 효용성을 검증하기 위한 애플리케이션으로 사실적 자동차 내관 폼핑이 가능한 가상 폼핑 시스템을 구현하였다.

본 논문의 2장에서는 핸드 햅틱 인터페이스에 대한 설명으로 2.1장은 손가락 움직임의 정확한 추적을 가능케 하는 고정밀 핸드 인터페이스 장치에 관한 설명과 2.2장의 사실적 역·촉감 제공을 위한 햅틱 장치의 제시로 햅틱 장갑 장치와 6자유도 햅틱 장치를 설명하고, 2.3장은 이러한 핸드 햅틱 장치를 3차원 애플리케이션에 손쉽게 통합할 수 있도록 해주는 핸드 햅틱 API에 대한 설명을 한다. 3장에서는 핸드 햅틱 인터페이스의 효용성을 알아볼 수 있는 응용분야를 예시하고, 마지막으로 4장에서는 결론 및 추후 연구계획에 대해 논한다.

2. 핸드 햅틱 인터페이스

본 연구에서 제시하는 핸드 햅틱 인터페이스는 크게 하드웨어 부분과 소프트웨어 부분으로 구분할 수 있다. 하드웨어 부분은 사용자의 손가락 움직임을 정밀하게 추적할 수 있는 고정밀 핸드 인터페이스 장치와 사용자에게 역·촉감을 제공하는 햅틱 장비로 구성된다. 또한 햅틱 장비는 사용자의 손가락에 역·촉감을 전달하는 햅틱 장갑이 있으며, 손 전체의 구속과 역감을 제공하기 위한 6자유도 햅틱 장치가 있다. 소프트웨어 부분으로는 3D/가상현실 애플리케이션에서 핸드 햅틱 인터페이스 장치를 손쉽게 통합 운용할 수 있도록 해주는 C++ 기반의 라이브러린 핸드 햅틱 API가 있다.

2.1 고정밀 핸드 인터페이스 장치

본 장갑형 핸드 인터페이스 장치는 편안한 착용성과 통풍성을 제공하는 장갑에 장착되어 있는 인간의 손가락 관절과 근육을 모사한 기구부와 초소형 절대 변위 센서를 통하여

사용자의 손가락 동작에 관한 움직임 정보를 입력 받고, 데이터 획득 장치를 통해서 입력된 아날로그 데이터를 디지털 값으로 변환하여 손가락 움직임을 정확히 추적한다.

본 연구에 사용된 센서는 정밀 미소 변위를 측정하기 위한 LVDT(Linear Variable Differential Transducer)식 절대 변위 센서로 공장 설비, 공작 기계, 의료 기기, 로봇 등과 같은 직선 변위 측정을 위해 일본 LEVEX 사에 의해서 개발되었다[10]. 이 센서는 4kHz의 갱신율과 12bit의 해상도의 초 정밀성과 반복 특성을 가지며, 극한의 환경에서도 측정이 가능한 장점이 있다. 또한 손가락 관절의 변위를 측정하기에 적당한 크기(25mm)와 초경량으로 본 연구에 적합한 센서로 선정되었다.

LVDT식 센서는 1차 코일을 감은 원통에 두개의 2차 코일을 대칭으로 감은 트랜스 구조로서 코일 속을 코어가 이동하고 1차 코일에 저주파로 자화하면 코어의 위치에 따라 2차 코일에 유기 전압이 변하는 원리를 이용한다[그림 1.(a)].

이를 이용하여 손가락 관절의 움직임 변위(원호의 길이)는 관절의 중심각에 비례($l = r\theta$)하므로 측정된 변위로 현재 관절각을 계산할 수 있다.[그림 1. (b)] 따라서 각 손가락 관절의 최대, 최소 전압값(센서로부터의 측정값은 0V~5V사이의 전압이며, 거리 변위에 대하여 선형적이다.)을 바탕으로 사용자가 임의의 관절각을 다음과 같은 식(1)으로 구할 수 있다.

$$At_{(i)} = \frac{Vt_{(i)} - V \min_{(i)}}{V \max_{(i)} - V \min_{(i)}} \times A \max_{(i)} \quad (1)$$

여기서 $At_{(i)}$ 는 i 번째 관절의 사용자가 임의의 각도로 손가락 관절을 구부렸을 때의 관절각이며, $V \max_{(i)}$ 는 i 번째 관절의 최대로 관절을 폈을 때의 전압값이고 $V \min_{(i)}$ 는 i 번째 관절의 관절을 최대로 구부렸을 때의 전압값이다. 마지막으로 $A \max_{(i)}$ 는 i 번째 관절의 최대 최소 관절각의 범위를 말한다.

이때 시각적으로 가시화되는 가상 핸드 모델은 기존 연구와 같이 사용자에게 이질감을 주었던 저품질의 투박한 실린더형의 핸드 모델이 아닌, 실제 사용자의 손과 유사한 고품질의 가상 핸드 모델을 제공하기 위하여 가변형 스킨매쉬 기법을 적용한 사실적 핸드 모델과 움직임을 가시화하였다[그림 2. (a)].

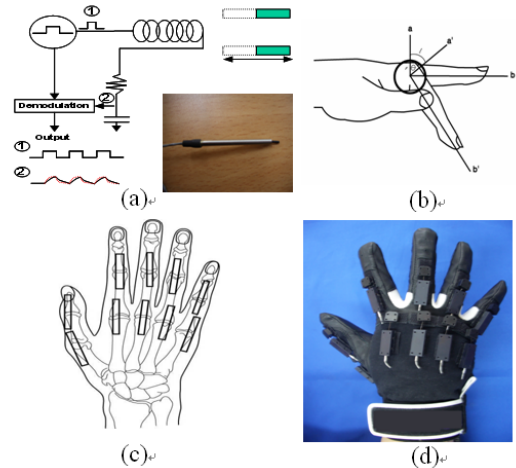


그림 1. 손가락 관절 움직임 추적을 위한 고정밀 핸드 인터페이스 (a) LVDT 센서 (b) 손가락 관절 움직임 측정 (c) 센서 레이아웃 (d) 장갑형 핸드 인터페이스

또한 사용편의를 위하여 2가지 형태의 간단한 손동작만으로도 정확하고 신속한 캘리브레이션 작업이 가능한 매니지먼트 툴을 개발하였다[그림 2. (b)]. 이 2가지 형태의 손동작은 주먹을 쥐 상태에서 엄지만 편 동작과 손가락을 전부 편 상태에서 엄지손가락만 구부린 동작으로 각 손가락 관절의 최대/최소의 구부림 범위를 알 수 있기 위함이다. 여기서 엄지손가락과 나머지 4개의 손가락을 다른 시기에 구부리는 이유는 주먹을 쥐 상태에서는 엄지손가락의 정확한 최대/최소 범위를 알 수 없기 때문이다. 이와 같이 측정된 초기값은 윈도우 시스템의 레지스트리에 저장하여 핸드 인터페이스 장치를 사용할 때마다 보정작업이 필요치 않도록 한다.

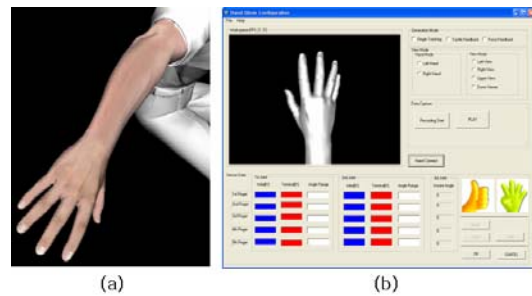


그림 2. (a) 가변형 스킨매쉬의 사실적 핸드 모델 (b) 정확하고 신속한 캘리브레이션이 가능한 매니지먼트 툴

2.2 햅틱 인터페이스 장치

2.2.1 햅틱 장갑 장치

지금까지 사용자에게 역감을 제공하기 위한 방법으로는 전자기 모터를 사용하는 방식(예: CyberGrasp, SAFiRE)과 유압 또는 공압 방식(예: Rutgers Master II, Salford glove) 그리고 압전기를 이용하는 방식 등의 다양한 형태의 구동기 연구가 있었다.

본 연구에서 사용될 방식은 전자기 모터를 이용한 텐던 구

동식 햅틱 장갑 장치(tendon-driven haptic glove device)로 각 손가락에 대하여 최대 약 8~9N의 힘을 제공할 수 있다[그림 3]. 이 장치의 구동부인 스텝 모터는 가상환경에서 물체와 사용자의 실제 손이 닿았을 경우 가상 물체 안으로 손이 뚫고 들어가지 않도록 손가락 끝에 걸려있는 골무 형태의 주머니와 연결되어 있는 와이어를 당기게 된다. 이때 발생하는 역감의 효율성을 위하여 그림 3에서 보는 것과 같이 기구부를 사용하여 와이어가 당겨지는 힘이 손가락의 손등 방향과 수직으로 작용할 수 있도록 하였다. 또한 무저항 상태의 자유로운 손가락 움직임을 제공하기 위하여 손을 쥐거나 펴는 동작을 감지하여 스텝 모터에 감겨있는 와이어를 풀어주거나 감아줌으로써 스텝 모터에서 발생할 수 있는 저항감을 최소한으로 줄였다.

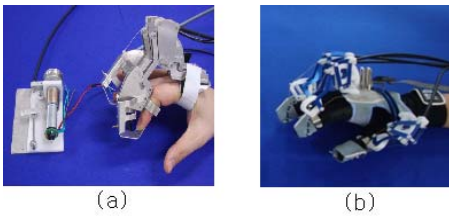


그림 3. 햅틱 장갑 장치 (a) 역감 구동장치 (b) 핸드 인터페이스 장치에 장착한 햅틱 장갑 장치

그러나 이러한 햅틱 장갑 장치로는 손가락이 가상 물체를 뚫고 들어가는 것을 방지할 수 있으나, 손 전체가 가상 물체를 뚫고 들어가는 현상은 막지 못 한다. 따라서 손 전체를 구속할 수 있는 장치가 필요로 하게 된다.

2.2.2 6자유도 햅틱 장치

6자유도 햅틱 장치(6DOF whole-hand force feedback device)는 손 전체에 역감을 제공하여 손의 움직임을 구속할 수 있다[그림 4]. 이 6자유도 햅틱 장치는 3자유도의 위치 피드백(3DOF positional feedback)과 3자유도의 자세 피드백(3DOF orientational feedback)을 최대 10N의 힘으로 역감을 제공할 수 있다.

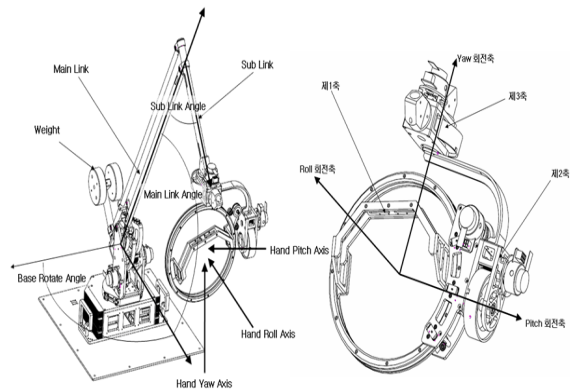


그림 4. 6자유도 햅틱 장치 상세설계

6자유도 햅틱 장치는 그림 5에서 보는 것과 같이 6개 회전

관절로 구성되어 있으며, 이중 관절3과 관절4의 좌표계가 D-H 규약의 전제조건을 충족하지 못한다. 따라서 3관절과 4관절의 관계식은 일반 좌표계의 변환행렬을 이용하여 구하고, 나머지 관절에 대해서는 D-H(Denavit-Hartenberg)규약에 따라 동차행렬을 구할 수 있다.

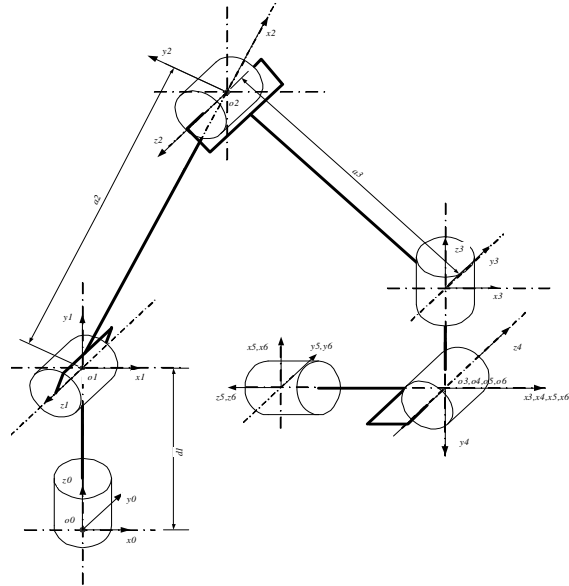


그림 5. 6자유도 햅틱 장치의 좌표계

표 1은 D-H의 규약에 따른 관절의 파라미터 값들을 나타내며, 여기에서 각 관절이 모두 회전관절이기 때문에 θ_i 는 변수이고 나머지 파라미터 값들은 상수이다.

표 1. 6자유도 햅틱 장치의 D-H 파라미터

Link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	$\frac{1}{2}\pi$	d_1	θ_1
2	a_2	0	0	θ_2
3				
4	0	$-\frac{1}{2}\pi$	0	θ_4
5	0	$\frac{1}{2}\pi$	0	θ_5
6	0	0	0	θ_6

따라서 이 D-H 파라미터 값을 이용하여 각 축의 동차변환행렬을 구할 수 있다. 또한 역기구학(Inverse Kinematics) 문제는 기구의 끝단의 위치와 방향을 관절변수로 나타내는 전기기구학(Forward kinematics) 문제보다 더 까다롭다. 그러나 그림 5의 장치 구조를 잘 살펴보면, 기구학적으로 1~3축과 4~6축으로 나눌 수 있다. 즉, 4~6축의 중심은 모두 한 점에서 만나며, 전형적인 구형 손목구조를 가지고 있다. 따라서 4~6축의 관절각은 햅틱 장치의 자세에만 영향을 미치

고 위치에는 영향을 미치지 않는다. 결론적으로 햅틱 장치의 위치계산을 위해서는 1~3축의 관계를 이용하여 관절각을 구하고, 역방향을 계산하기 위해서는 4~6축의 관계식을 이용한다.

3자유도의 자세 제어를 위하여 그림 6과 같은 형태의 원형의 기구부를 이용하여 Roll, Pitch, Yaw의 자세에 대한 역감을 제공한다. 자세 제어의 1축(roll axis)에 해당되는 원형 기구부는 타이밍 벨트를 사용하여 좌우 방향으로 무한 회전이 가능하며, 다른 축들은 와이어를 이용한 텐던 구동 방식(tendon-driven structure)을 사용하고 있다. 또한 동작범위는 400mm×600mm×700mm의 작업공간을 제공한다.

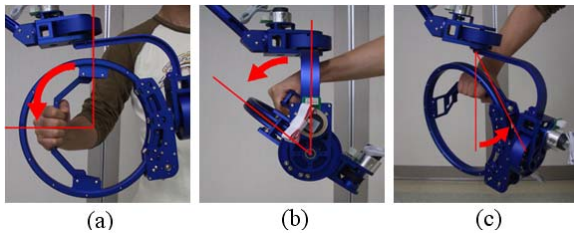


그림 6. 3자유도 위치 역감 제어 (a) Roll (b) Pitch (c) Yaw

그러나 이러한 제한된 동작범위는 작업대 위에서만 제품을 조립하는 협소한 공간의 작업이 아닌 조립을 위해 부품을 이동시켜야 하는 넓은 작업공간이 필요한 훈련 시나리오에서는 사용할 수가 없는 문제점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 그림 7의 (c)에서 보는 것과 같은 6자유도 햅틱 장치를 이동시킬 수 있는 모바일 베이스를 사용하여 햅틱 장치의 동작범위를 벗어날 경우 모바일 베이스가 이동하여 작업공간을 확장시키는 역할을 하게 된다.

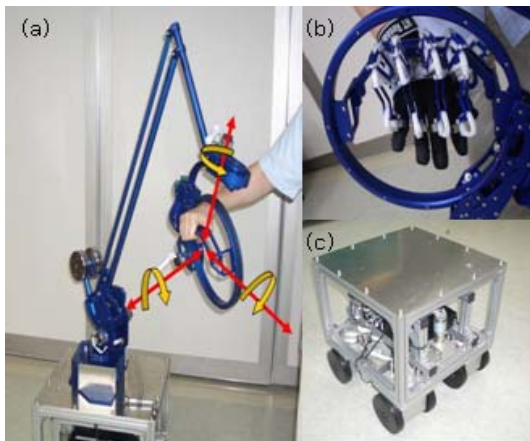


그림 7. 햅틱 인터페이스 장치 (a) 6자유도 햅틱 장치 (b) 6자유도 햅틱 장치에 햅틱 장갑을 장착한 모습 (c) 넓은 작업공간을 제공하기 위한 모바일 베이스

2.3 핸드 햅틱 API

핸드 햅틱 API는 3차원/가상현실 애플리케이션에서 핸드 햅

틱 인터페이스 장치를 손쉽게 통합 운용할 수 있도록 장치의 초기화 및 제어, 데이터 입출력, 가상 핸드 모델 제어, 충돌 처리, 햅틱 렌더링 등의 기능을 지원하며, 각종 애플리케이션에 손쉽게 통합이 가능한 C++ 기반의 라이브러리이다.[그림 8].

장치 드라이버 계층은 핸드 햅틱 인터페이스 장치를 관리하기 위해 손가락 움직임 데이터 획득 장치 및 역·촉감 제시 구동기의 초기화 등을 수행하여 올바른 장치의 기능을 보장한다. 저수준 장치 제어 API 계층은 데이터 획득 장치로부터의 핸드 인터페이스 센서 데이터들을 버퍼로부터 가져오는 역할과 상위 계층인 고수준 햅틱 렌더링 API에서 계산되거나 직접 입력된 힘·토크 데이터를 역·촉감 제시 구동기 장치로 보내어 구동기를 제어하게 된다. 그리고 마지막 상위 계층인 고수준 햅틱 렌더링 API 계층은 가상 핸드 모델 제어, 핸드 모델 운동학 처리, 충돌 처리, 사실적 역·촉감 제시를 위한 동역학 처리와 힘·토크 데이터를 생성하는 역감 렌더링 등의 역할을 한다.

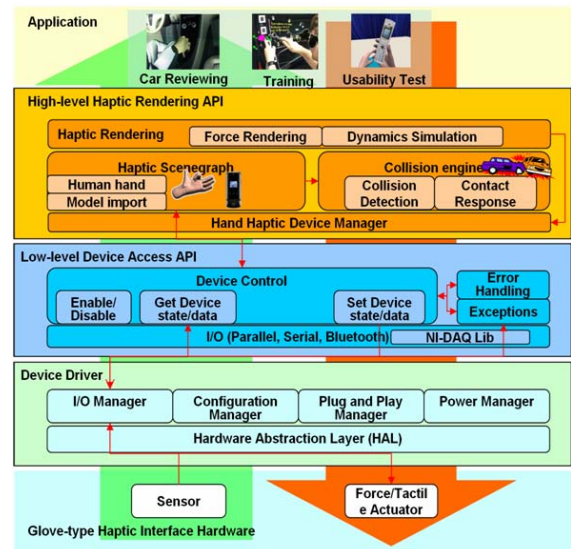


그림 8. 핸드 햅틱 API

가상 객체와의 상호작용을 위한 실시간 충돌처리는 가상 핸드 모델과 객체 간의 폴리곤 단위의 계층적 처리를 통하여 정확하고 신속한 처리가 가능하다. 정확한 충돌처리를 위하여 수백만 폴리곤의 대용량 모델을 대상으로 폴리곤 대 폴리곤의 충돌검사를 하게 되며, 수백만 폴리곤 대상의 충돌검사 시 실시간 충돌처리를 위하여 전처리 단계로 충돌검사 관심 대상의 부분 객체만을 선택적으로 분류하여 단계적으로 충돌여부를 검사하는 계층적 충돌검사 기법과 3차원 그래픽 가시화 프로세스와는 독립된 충돌처리 프로세스로 분리하는 멀티쓰레드 기법을 사용한다. 이때 발생된 충돌 이벤트는 사용자에게 2가지 형태의 느낌으로 전달될 수 있다. 첫째는 압력을 감지하는 피부의 압감으로부터 느끼는 촉감으로 물체

를 만지거나 잡았을 경우 손가락 끝 또는 손바닥 전체에서 느껴지는 압력감이다. 둘째는 각 관절의 꺾임 정도와 이와 관련된 근육들의 이완 정도로 느끼는 역감으로 우리가 어떤 물체를 밀었을 때 발생하는 작용반작용에 의한 힘이 우리 몸에 전달되었을 때 느껴지는 반력감이다.

2.3.1 조작 시뮬레이션 및 역감 렌더링

자동차 내관 폼핑에서의 핸들을 조작하거나 문이나 서랍을 열어보고, 기어스틱을 조작해보는 등의 조작 시뮬레이션을 위하여 핸들, 문, 서랍, 기어스틱 등과 같은 가상 객체의 운동성 정보(회전, 이동)는 핸드 햅틱 API의 충돌처리 모듈에 의해 계층적 OBB 충돌검사를 통해 이루어진 손가락 2개(중지와 검지)의 위치 정보로 결정할 수 있다. 충돌시점에서의 2개의 손가락을 잇는 벡터와 현재 위치에서의 새로운 벡터의 위치를 계산하여 객체의 회전 방향이나 이동의 거리를 알 수 있게 된다. 이때 가상 핸드 모델의 위치는 사전에 정의된 자세로 가상 객체의 외부로 프로젝션 되어 가상 객체를 뚫고 들어가지 않도록 하였다. 따라서 이때 나타날 수 있는 실제 손의 위치와 가상 핸드 모델의 위치의 차이는 사용자에게 제공되는 역감의 방향과 크기로 계산되어지며, 다음과 같은 식(5)로 구할 수 있다.

$$f_{(i)} = k(X_t - X_v) + b(V_t - V_v) + u \quad (5)$$

여기서 k 와 b 는 강성도(stiffness)과 점성도(viscosity)를 나타내는 상수이며, X_t 와 X_v 는 실제 손과 가상 핸드 모델의 위치로 가상 객체와의 충돌시 거리차가 발생한다. 그리고 V_t 와 V_v 는 움직임 속도를 나타내며, u 는 적용될 힘을 조절하는 오프셋이다.



그림 9. 자동차 내관 폼핑 시스템에서의 핸들 조작

3. 응용 분야 구별

본 연구에서는 제시한 핸드 햅틱 인터페이스의 효율성을 검

증하기 위하여 자동차 내관 폼핑 시스템을 구현하였다. 이 시스템은 직경 3m의 몰입형 반구형 화면과 4096×1536의 고해상도를 지원하는 디스플레이 장치[11]를 이용하여 실제 자동차에 승차하여 내관을 보는 듯한 몰입감과 현실감을 제공한다. 또한 사용자에게 사실적 역·촉감을 제공하여 현실감이 더욱 증가된 상호작용이 가능하다[그림 10].

구현된 시스템은 펜티엄 4 3.2Ghz의 CPU와 GeForce 8800 그래픽스 하드웨어를 기반으로 햅틱 시뮬레이션 시스템을 구현하였고, 손의 위치를 추적하기 위한 장비로는 초음파 방식의 IS-900 위치추적 장치[12]를 사용하고 있으며, 손가락 움직임 추적을 본 연구에서 제시한 고정밀 핸드 인터페이스 장치를 사용하였다. 또한 사용자에게 역·촉감을 제공하기 위해서 햅틱 장비로는 앞에서 설명한 햅틱 장갑 장치와 6자유도 햅틱 장치가 사용되었다. 이 자동차 내관 폼핑 시스템에 사용된 자동차 모델은 100만 폴리곤의 고품질 모델로서 핸들, 서랍, 문, 기어스틱, CD 플레이어, 네비게이션 장치 등을 조작해 볼 수 있는 상호작용을 제공한다. 사용자는 좌석에 앉아 핸드 인터페이스 장치와 햅틱 장치들을 착용하고, 스테레오 안경을 통하여 입체로 보이는 자동차 핸들을 실제와 같이 만져보거나 돌려 볼 수 있으며, 기어스틱을 앞뒤로 조작해 볼 수 있다. 또한 CD 플레이어에 CD를 밀어서 삽입하거나 열림 버튼을 눌러 CD를 나오게도 할 수도 있다. 데쉬보드에 있는 여러 개의 버튼을 조작하여 네비게이션 장치에 나오는 화면을 변경할 수 있으며, 조수석 앞에 있는 서랍을 잡고 열거나 닫을 수 있는 등의 사실적 상호작용이 가능하다.

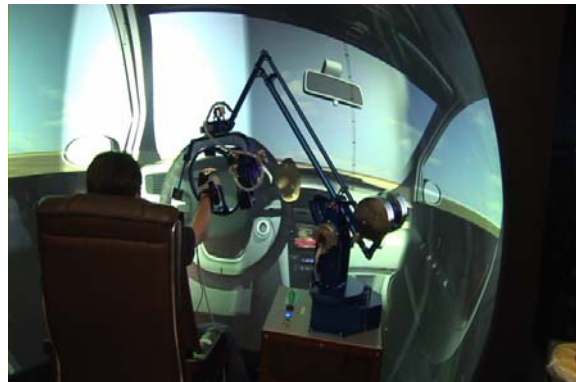


그림 10. 핸드 햅틱 인터페이스를 이용한 자동차 내관 폼핑 시스템

4. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 직관적이며 자연스러운 상호작용을 위하여 편안하고 정밀 핸드 조작이 가능한 고정밀 장갑형 핸드 인터페이스 장치와 사실적 역·촉감을 제공을 위한 햅틱 장갑 및 6자유도 햅틱 장치의 개발과 함께 각종 애플리케이션과의 손쉬운 통합을 지원하는 햅틱 API를 제시하였다. 또한

사용자의 손과 가장 유사하며 자연스러운 움직임의 가상 핸드 모델을 제공하기 위하여 가변형 스킨매쉬 기법을 이용한 3차원 핸드 모델과 움직임을 가시화하였고, 간편한 캘리브레이션이 가능한 매니지먼트 툴 등도 제시하였다. 이를 이용하여 핸드 햅틱 인터페이스의 적용 애플리케이션으로 자동차 내관 폼핑을 위한 가상 폼핑 시스템을 구현하였다. 이는 구현된 자동차의 내관 폼핑을 위한 가상 폼핑 시스템뿐만 아니라 정보가전 기기의 디자인/기능성 폼핑과 같은 고품질 애플리케이션 분야와 게임과 같은 엔터테인먼트 분야에서도 직관적이며 자연스러운 상호작용 도구로 사용될 것으로 기대한다.

추후 연구로는 더욱 실감나는 상호작용을 위한 물리엔진 기반의 상호작용 기법을 제공하여 더욱 일반적이고 다양한 상황에서도 사실적 상호작용이 가능한 핸드 햅틱 인터페이스를 제공할 예정이다.

참고문헌

[1] D. Bowman, E. Kruijff, J. LaViola and I. Poupyrev, "The Art and Science of 3D Interaction", IEEE VR Tutorial 2, IEEE, 1999.

[2] D. J. Sturman and D. Zeltzer, "A Survey of Glove-Based Input", IEEE Computer Graphics and Applications. pp. 30-39, 1994.

[3] L. Fabiani and G. Burdea, "Human Performance Using the Rutgers Master II Force Feedback Interface", presented at IEEE Virtual Reality Annul International Symposium, 1996.

[4] G. C. Burdea,, "Force and touch feedback for virtual reality", John Wiley & Sons, Inc., 1996.

[5] P. Wellman and R. D. Howe, "Towards realistic vibrotactile display in virtual environments", proceedings of ASME Dynamic Systems and Control Division, vol. DSC-57, no. 2, pp. 713-718, 1995

[6] T. H. Massie and J. K. Salisbury, "The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects", C. J. Radcliffe (Ed.), Dynamic Systems and Control, ASME,DSC-55, Vol. 1, pp. 295-301, 1994.

[7] C. B. Zilles and J. K. Salisbury, "A Constraint-based God-object Method for Haptic Display", ASME Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, Dynamic Systems and Control, pp. 146-150, 1994.

[8] D. Gomez, G. Burdea, and N. Langrana, "Integration of the Rutgers Master II in a Virtual Reality Simulation", Proceedings VRAIS'95, pp. 198-202, 1995.

[9] Immersion Co., The CyberGrasp: Groundbreaking haptic interface for the entire hand, http://www.immersion.com/3d/products/cyber_grasp.php,

[10] LEVEX, <http://www.levex.co.jp>

[11] Dongsik Jo, Hyun Kang, Gun A. Lee and Wookho Son, "Xphere: A PC Cluster based Hemispherical Display System", Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference, pp. 58-59, 2006.

[12] InterSense, Inc., IS-900, <http://www.isense.com/>



장용석

1999년 연세대학교 컴퓨터과학과 졸업(학사). 2003년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사). 현재 한국전자통신연구원 가상현실연구팀 연구원. 관심분야는 가상현실, haptics, HCI,

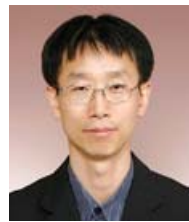
computer graphics임.



김용완

1996년 인하대학교 전자공학과 졸업(학사). 1998년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(석사). 현재 한국전자통신연구원 가상현실연구팀 선임연구원. 관심분야는 가상현실, haptics, HCI,

computer graphics임.



손옥호

1987년 연세대학교 컴퓨터과학과 졸업(학사). 1996년 미국 Texas A&M University 컴퓨터과학과 졸업(석사). 2001년 미국 Texas A&M University 컴퓨터과학과 졸업(박사). 현재 한국전

자통신연구원 가상현실연구팀 팀장. 관심분야는 가상현실, haptic interaction, robotics임.



김경환

1992년 연세대학교 전기공학과 졸업(학사). 1994년 일본 도쿄대학교 전기공학과 졸업(석사), 1997년 일본 도쿄대학교 전기공학과 졸업(박사). 현재 (주)NT리서치 CEO. 관심분야는 robotics, HCI,

micro/nano robotics임.