

고정밀 핸드 인터페이스

장용석¹, 김용완², 김경환³, 손욱호⁴
한국전자통신연구원 가상현실연구팀^{1 2 3}
{canfuler¹, ywkim², whson⁴}@etri.re.kr
{kimk³}@ntresearch.net

High Precision Hand Interface

Yong Seok Jang¹, Yong Wan Kim², Kyung Hwan Kim³, Wook Ho Son⁴
Virtual Reality Research Team, ETRI^{1 2 4}
NT Research Inc.³

요약

가상 품평 또는 가상 훈련 시스템과 같은 고품질, 고정밀 가상현실 애플리케이션에서는 사용자에게 자연스러운 상호작용을 제공하기 위해 고정밀 핸드 인터페이스 기술을 필요로 하고 있으나, 현재까지 개발된 상호작용 기술은 산업 현장에서 사용하기에는 어려움이 많다.

따라서 본 연구에서는 직관적이고 자연스러운 상호작용을 위한 기술로서 저항이나 광학 방식 등의 센서를 이용한 기존 연구에 비해 높은 해상도와 빠른 갱신율을 제공하는 절대 변위 센서를 사용한 고정밀 장갑형 핸드 인터페이스 장치 개발과 사용자에게 이질감을 주었던 기존의 투박한 실리던형 핸드 모델이 아닌 가변형 스킨매쉬 기법을 적용한 사실적 핸드 모델 가시화 기술 및 복잡하고 잦은 캘리브레이션 과정을 극복하기 위한 2 가지 형태의 간단한 손 동작만으로도 정확하고 신속한 캘리브레이션 작업을 지원하는 매니지먼트 툴의 개발을 제시한다.

Keyword : VR, Hand Interface, Interaction, Glove

1. 서론

최근 자동차/선박 등의 제조 업체에서는 고비용, 저효율 문제를 극복하기 위하여 가상현실 기술을 적용하고 있으나, 현재까지 개발된 가상현실 기술은 사실적 가시화를 위한 CG 기술과 디스플레이 기술에 대한 시각적 연구가 대부분이었고, 촉각기관을 이용한 상호작용에 대한 연구의 필요성은 점차 대두되어가고 있다. 특히, 손을 이용한 상호작용 기술은 가상 환경에서의 사용자에게 직관적이며 자연스러운 상호작용 방법으로 그 연구가 활발히 이루어지고 있다[2][4][6][7].

1987년 Thomas Zimmerman은 광섬유를 이용한 광학 방식의 센서를 이용하여 10 개의 손가락 관절을

추적하여 6 자유도를 갖는 DataGlove 를 개발하였고[3][5] 스탠포드 대학의 James Jramer 는 몸짓 또는 수화(American Sign Language)를 음성 언어로 변환하기 위한 연구를 위하여 저항 센서를 이용한 CyberGlove 를 개발하였다[1][5]. 현재 이들 장치는 상용화되어 가상현실 연구분야의 핸드 인터페이스 장치로 사용되어지고 있으나, 이러한 핸드 인터페이스 장치들은 외부 환경(온도/손의 크기)에 의한 변화가 크고 환경 변화에 민감하여 사용시 마다 보정 작업을 해야 하는 불편함으로 자동차 내외관 품평이나 정보가전 기기 등과 같은 디자인 품평을 위한 가상 품평 시스템 또는 제품의 조립 훈련과 같은 가상 훈련 시스템 등과 같은 산업 현장에 필요한 고품질, 고정밀 시스템에 적용하기에는 적당

하지 않다.

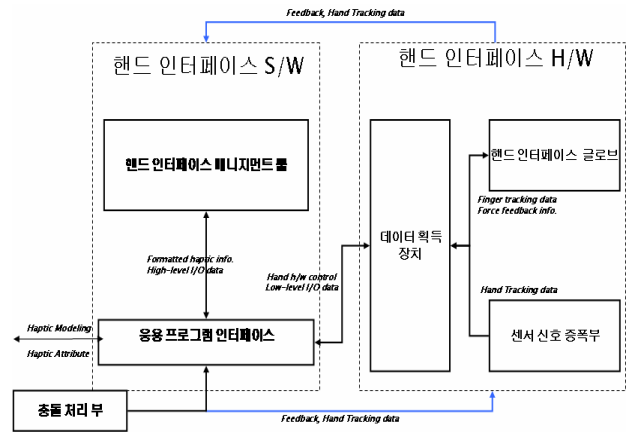
따라서 본 연구에서는 산업 현장에서도 사용이 가능한 고정밀 핸드 인터페이스의 개발을 위하여 기존의 저항이나 광학 방식 등의 센서를 이용한 연구에 비해 높은 해상도와 빠른 갱신율을 제공하는 절대 변위 센서를 사용한 고정밀 장갑형 핸드 인터페이스 장치의 개발과 가변형 스킨매쉬 기법을 적용한 사실적 핸드 모델 가시화 기술 그리고 2 가지 형태의 간단한 손동작만으로도 정확하고 신속한 캘리브레이션 작업이 가능한 매니지먼트 툴의 개발을 제시한다.

2 장에서는 고정밀 핸드 인터페이스에 대한 설명으로 2-1 장은 핸드 인터페이스의 하드웨어에 관한 설명과 2-2 장의 가변형 스킨매쉬 기법을 사용한 핸드 모델 및 API, 그리고 2-3 장 매니지먼트 툴에 대한 설명을 하며, 3 장에서는 결론 및 추후 연구계획에 대해 논한다.

2. 고정밀 핸드 인터페이스

가상 환경에서의 사용자에게 가장 자연스러운 상호작용을 제공하기 위해서는 현실 세계와 동일한 방식의 입출력 수단을 제공하여야 한다. 즉, 사용자는 양손을 사용하여 가상의 물체를 직접 만져 보고 조작해보며 그 사물을 시각적 인지뿐만 아니라 촉각기관을 통한 감각적 인지도 할 수 있어야 한다. (본 연구는 고정밀 핸드 트래킹에 대한 연구이며, 추후 촉감 제시를 위한 연구를 진행할 계획이다.) 또한 가상 품평이나 가상 훈련 시스템과 같은 사용자의 정확한 움직임이 중요한 애플리케이션에서는 정밀한 움직임 추적이 가능한 고정밀 핸드 인터페이스 기술이 필수적이다.

따라서 본 연구에서 제시하고자 하는 고정밀 핸드 인터페이스는 크게 편안하고 정밀한 움직임 추적이 가능한 장갑형 하드웨어 장치와 시각적으로 사용자에게 이질감을 주지 않는 가변형 피부 변형 3 차원 핸드 모델, 각종 애플리케이션과의 손쉬운 통합이 가능하도록 지원해주는 API 그리고 간편한 캘리브레이션이 가능한 매니지먼트 툴 등의 소프트웨어 부분으로 나누어 볼 수 있다.



[그림 1] 핸드 인터페이스

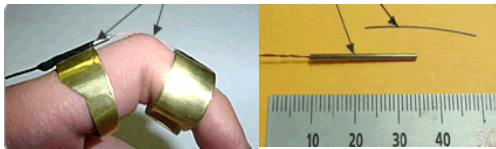
핸드 인터페이스 장치에 의해 사용자의 손 움직임을 획득하고, 이를 핸드 인터페이스 장치의 초기화 및 장치 연결, 디바이스 입출력 데이터 스트리밍을 지원하는 API 를 통하여 실시간 충돌 처리 및 손동작 간의 상호작용을 처리하는 실시간 충돌 처리부에 전달한다. 이때 사실감을 증가시키기 위해서는 약 수백만 폴리곤의 사실적 핸드 모델과 가상 객체 사이의 충돌 이벤트 계산을 실시간에 처리하도록 해야 하며, 이를 위해 대용량 데이터 모델과의 실시간 충돌 처리는 관심되는 부분의 객체만을 미리 선정 분류하는 전처리 과정을 통하여 실시간 작업에 필요한 계산량을 줄이고 계층적 충돌 탐색 기법을 활용한다. 이러한 충돌 처리 정보를 기반으로 사용자의 손과 가장 유사한 3 차원 핸드 모델과 자연스러운 움직임을 가시화할 수 있다.[그림 1]

2-1 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 손의 움직임을 정확히 추적한다.

2-1-1 절대 변위 센서

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 등의 직선 변위 측정을 위해 일본 LEVEX 사에 의해서 개발되었다. 이러한 센서는 4kHz의 갱신율과 12bit의 해상도의 초 정밀성과 반복 특성을 가지며 극한의 환경에서도 측정이 가능하고 손가락 관절의 변위를 측정하기에 적당한 크기 (25mm)와 무게로 본 연구에 적합한 센서로 선정되었다.[그림 2]



[그림 2] 절대 변위 센서

[표 1] 절대 변위 센서의 사양

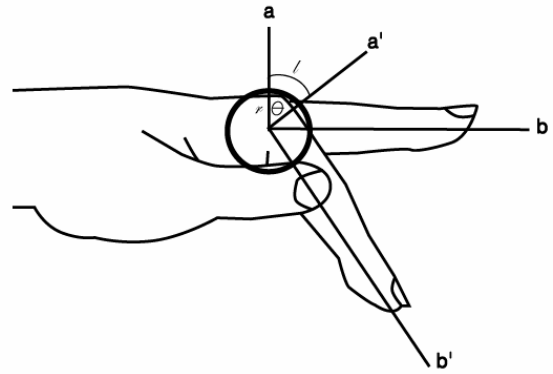
분해능	영역의 1/2000
직선성	(표준)0.8%이하(고정밀도 0.1%)
온도 특성	(표준)1% 이하(0℃~60℃)
응답성	(표준)4 KHz(-3 dB)
내온도	(표준)-20℃~80℃
내압	35 Mpa 까지 대응가능

2-1-2 손가락 관절 변위의 직접 측정 방식

기존의 장갑형 입력장치에서 사용되었던 저항이나 광학 센서 방식의 휘어짐 정도를 측정하는 것이 아니라 사용자의 손가락 관절 움직임 변위를 직접 측정하는 방식으로 손가락 관절과 근육의 움직임을 모사하여 기구부와 센서를 사용한 설계로 정확도를 향상시켰다.

* 본 연구는 ETRI/Fraunhofer IGD/(재)IGI 국제공동연구의 지원으로 수행되었음.

** LEVEX : <http://www.levex.co.jp>



[그림 3] 손가락 관절 변위의 측정

손가락 관절의 움직임 변위(원호의 길이)는 관절의 중심각에 비례($l = r\theta$)하므로 측정된 변위로 현재 관절각을 계산할 수 있다[그림 3]. 따라서 각 손가락 관절의 최대, 최소 전압값(센서로부터의 측정값은 0V~5V 사이의 전압으로 거리 변위에 대하여 선형적이다.)을 바탕으로 사용자가 임의의 관절각을 다음과 같은 식(1)으로 구할 수 있다.

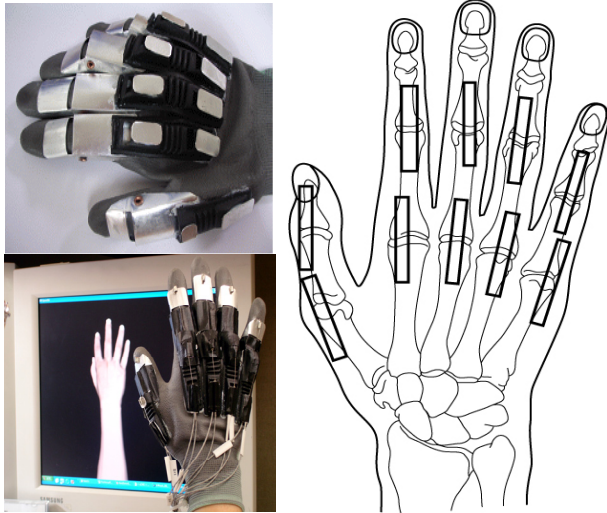
$$At_{(i)} = \frac{Vt_{(i)} - V \min_{(i)}}{V \max_{(i)} - V \min_{(i)}} \times A \max_{(i)} \dots\dots\dots(1)$$

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.

2-1-3 정확한 측정을 위한 기구부

신축성이 강한 천 재질의 장갑 표면 위에 항상 정확한 관절의 움직임 변위를 측정하기 위해서는 초소형 절대 변위 센서를 정확한 위치에 고정하기 위한 기계적 관절 기구부가 필요하다. 관절 기구부는 [그림 4]와 같이 센서의 파이프와 와이어를 고정시키는 역할을 하며, 크게 2 가지 형태를 사용한다. 첫째, 손가락의 위쪽 관절에 사용되는 금속 힌지(경첩) 구조와 둘째, 아래 관절에 사용되는 연질 플라스틱 가이드 구조이다. 금속 힌지 구조는

손가락 관절각의 변화에 정밀하게 대응할 수 있고, 연결 플라스틱 가이드 구조는 플라스틱 재질의 특징인 신축성으로 인해 체형에 따른 설정 작업이 불필요한 장점을 가진다.



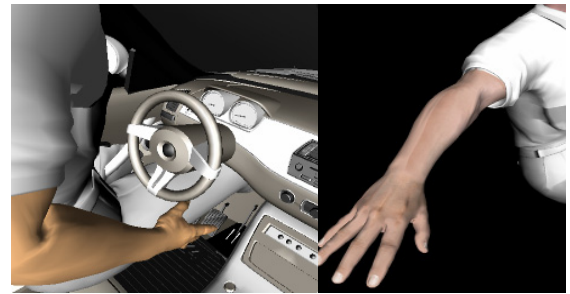
[그림 4] 기구부 및 센서 장착 위치와 핸드 인터페이스 장치

손가락의 마지막 끝 관절은 인체공학적 움직임 상 독립적으로 움직이는 경우가 거의 없으므로 두번째 관절에 중속적으로 움직임을 가정하여 한 손가락 당 2 개의 센서를 부착하였다. 이는 센서의 개수를 최대한 줄여 충분한 데이터 대역폭의 확보와 제작 단가를 낮출 수 있는 장점이 있다. 따라서 [그림 4]와 같이 한 손 당 10 개의 센서를 적용하여 정확한 손 움직임을 추적한다.

2-2 가변형 스킨매쉬 기반 핸드 모델 및 API

기존의 여러 핸드 인터페이스 장치에서 제공하는 시각적 3 차원 모델은 여러 개의 실린더 조합으로 만들어진 투박한 실린더형 핸드 모델로 손의 움직임을 표현할 때 관절 부분의 피부가 깨지는 등의 부자연스러운 모습으로 자동차의 내외관 품평이나 정보가전 기기 등의 디자인 품평을 위한 가상 품평 시스템과 같은 고품질 애플리케이션에서 사용하기에는 적당하지 않았다. 그러나 이러한 문제를 해결하기 위하여 고품질의 텍스처와 가변형 스킨매쉬 기법을 사용함으로써 사용자의 손과

가장 유사하며 자연스러운 시각 정보를 제공한다 [그림 5]. 또한 이러한 사실적이고 정확한 핸드 모델 가시화는 핸드 인터페이스 보정 작업 시 자연스러운 가상 핸드 모델과 다양한 방향의 정확한 시각 정보를 제공할 수 있어 실제 핸드 인터페이스 장치와 관절각을 비교하면서 더욱 세밀히 조정이 가능하다.



[그림 5] 가변형 스킨매쉬의 사실적 핸드 모델

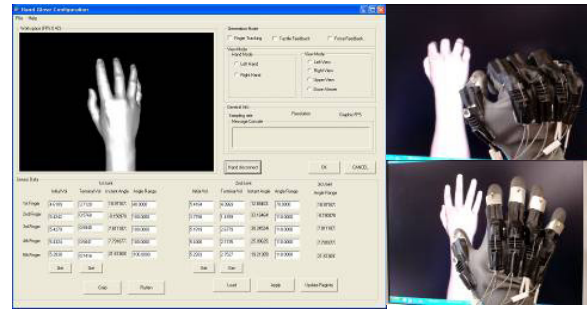
핸드 인터페이스 API 부는 가상현실 애플리케이션에서 핸드 인터페이스 장치를 손쉽게 통합 운용할 수 있도록 장치의 초기화 및 장치 연결, 디바이스 입출력 데이터 스트리밍을 지원하며, 각종 애플리케이션에 손쉽게 통합이 가능한 PC 기반의 라이브러리이다. 핸드 인터페이스 API 부는 센서의 초기값과 손가락 관절 범위의 초기값을 저장되어 있는 레지스트리에서 로딩하고 데이터 획득 장치를 통해 측정된 각 손가락 관절의 전압 값을 바탕으로 손가락 관절각을 계산하는 등의 모든 기능을 함수 레벨로 제공한다. 또한 핸드 인터페이스 API 부는 프로그래밍 라이브러리 형태로 제공함으로써 응용 프로그램에 해당되는 가상현실 애플리케이션에서 함수 호출을 사용할 수 있도록 컴파일링시에 링크시켜 사용하게 된다. 이러한 핸드 인터페이스 API 는 세부적으로 장치 클래스 계층과 입출력 데이터 스트리밍 계층, 손 모델 제어 계층 및 개발 환경 인터페이스 계층으로 구성된다. 장치 클래스 계층은 핸드 인터페이스의 장치를 관리하기 위해 데이터 획득 장치 및 센서 데이터의 초기화 등을 수행하여 올바른 장치의 기동을 보장한다. 입출력 데이터 스트리밍 계층은 데이터 획득 장치로부터의 핸드 인터페이스 센서 데이터를 버퍼로부터 가져오는 역할을 하며, 원하는 상

하한 값의 저항값과 해상도로 가져올 수 있게 한다. 손 모델 제어 계층은 손 모델 운동학 정보 서버 계층, 충돌 처리 서버 계층, 레지스트리 서버 계층으로 정보를 입력 받아 가상 손 모델의 제어를 위한 변환 매트릭스를 업데이트 한다.

2-3 핸드 인터페이스 매니지먼트 툴

핸드 인터페이스 매니지먼트 부는 센서의 손가락 구부림의 전압 값을 선형 변환을 하기 위한 측정 최소 전압과 측정 최대 전압을 저장하고 각 손가락의 최대 구부림 영역을 윈도우 레지스트리에 저장하는 역할을 한다.[그림 6]

핸드 인터페이스 매니지먼트 부는 핸드 인터페이스 핸드 인터페이스 API 와는 별도로 독립적으로 존재하는 소프트웨어 도구로서 상기의 구성요소와는 별개의 독립적인 컴포넌트로 존재한다. 핸드 인터페이스 매니지먼트 부는 핸드 인터페이스 장치 정보, 상태 모니터링 및 보정 과정 기능을 담당한다. 핸드 인터페이스의 핸드 인터페이스 API 버전 정보, 갱신율, 센서 해상도 등의 장치 정보를 표시한다. 장치 연결 상태, 각 센서 상태 체크 등의 상태 모니터링을 수행하며, 두 가지의 간단한 손동작만으로 간편히 장갑의 센서 초기치 보정 과정이 가능하다. 간단한 두 손동작은 주먹을 쥔 상태에서 엄지만을 편 동작과 손바닥을 전부 편 상태에서 엄지만을 구부린 동작의 두 동작이다. 이 두 동작을 통해 손가락 관절의 최소와 최대 구부림 범위를 전압 값으로 얻을 수 있다. 여기서 엄지 손가락과 나머지 4 개의 손가락이 다른 시기에 구부러지는 이유는 주먹을 쥔 상태에서 엄지 손가락의 정확한 최대, 최소 변위 값을 얻을 수 없기 때문이다. 이와 같이 측정되어진 초기값은 윈도우 시스템의 레지스트리에 저장하여 핸드 인터페이스 사용시 매번 보정 작업을 하지 않도록 한다.



[그림 6] 매니지먼트 툴과 캘리브레이션 동작

3. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 편안하고 정밀하게 손가락 움직임 추적이 가능한 장갑형 핸드 인터페이스 장치와 사용자의 손과 가장 유사하며 자연스러운 가변형 피부 변형 3 차원 핸드 모델, 각종 애플리케이션과의 손쉬운 통합을 지원하는 API 그리고 간편한 캘리브레이션이 가능한 매니지먼트 툴 등을 제시하였다. 이를 이용하여 자동차의 내외관 품평 및 정보가전 기기의 디자인/기능성 품평과 같은 고품질 애플리케이션과 게임 등의 엔터테인먼트 분야에서 직관적이며 자연스러운 상호작용 도구로 사용될 것으로 기대한다.

추후 연구로는 촉감 제시를 위한 햅틱 인터페이스 부분의 추가로 사용자에게 더욱 실감나는 상호작용을 제공할 예정이다.

4. 참고문헌

- [1] Kessler GD, Hodges L, Walker N. Evaluation of the Cyber Glove as a whole hand input device. ACM Trans Computer Human Interact 1995;2(4):263-83.
- [2] Mentzel M, Hofmann F, Ebinger T, Jatzol B, Kinzl L, Wachter NJ. Reproducibility of measuring the finger joint angle with a sensory glove. Handchirurgie, Mikrochirurgie, Plastische Chirurgie 2001;33(1):63-64.
- [3] Quam D, Williams G, Agnew J, Browne P. An experimental determination of human hand accuracy with a Data Glove. Proceedings of the Human Factors Society 33rd Annual Meeting 1989; vol. 1. p.

315-19.

- [4] Stuman, D.: Whole-hand input, Ph.D. thesis, Media Arts and Sciences, MIT, Cambridge, Mass.
- [5] Sturman, D. and Zeltzer, D.: A Survey of Glove-based Input, IEEE Computer Graphics & Applications 1994, 14:30-39
- [6] Wise S, Gardner W, Sabelman E, Valainis E, Wong Y, Glass K, Drace J, and Rosen J. Evaluation of a Fiber Optic Glove for Semiautomated Goniometric Measurements. Journal of Rehabilitation Research and Development, 27(4): 411-424, 1990.
- [7] Zimmerman T. G. et al., "A Hand Gesture Interface Device," Proc. Human Factors in Computing Systems and Graphics. Interface, ACM Press, New York, April 1987, pp. 189.192.