

◆특집◆ Intelligent HCI를 위한 TSI 기술

지능환경에서 인간-환경의 상호작용을 위한
착용형 경량 햅틱 장치의 개발

황창순*, 류동석*, 조창현*

Development of a Wearable and Lightweight Haptic Device
for Man and Environment Interface in the Intelligent Environment

Chang-Soon Hwang*, Dongseok Ryu* and Changhyun Cho*

Key Words : Wearable haptic device (착용형 햅틱 장치), Intelligent environment (지능환경), Man-environment interface (인간-환경 상호작용), Virtual environment (가상환경).

1. 서론

최근에 지능적인 환경을 구현하기 위해서 다양한 연구가 진행되고 있다. 인간이 활동하는 공간에 네트워크로 연결된 다수의 컴퓨터를 배치하면서 집, 사무실, 복도 등과 같은 주변환경 전체를 하나의 지능적인 공간으로 구성함으로써 생활, 업무, 오락 등의 편의를 돕는 수단으로 활용하고자 하는 다양한 시도가 새로운 생활환경의 패러다임을 제시하고 있다^{1,4}. 이러한 지능적인 환경의 성공적인 개발을 위해서 사용자와 환경의 상호작용에 대한 방법을 연구할 필요가 있으며, 인간이 환경의 지각에 사용하는 모든 감각과 수단을 동원하여 환경과 상호작용을 하기 위한 다양한 방법이 연구되고 있다. 특히, 피부의 촉각이나 근육에 작용하는 역감을 이용하는 햅틱 장치를 상호작용에 도입함으로써 보다 직관적인 상호작용의 방법을 추구하는 연구가 진행되고 있다^{5,7}. 하지만 기존

에 개발된 대부분의 햅틱 장치는 이동성을 고려하지 않은 탁상형 장치이므로 지능환경에서 인간-환경의 상호작용을 위한 장치로 사용하기에는 적절하지 않다. 그리고 기존의 이동형 햅틱 장치를 이용하더라도 무게와 크기의 제약 때문에 넓은 공간을 자유롭게 이동하면서 상호작용을 하기에는 많은 어려움이 따른다⁵.



Fig. 1 Wearable & lightweight haptic device

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 fig. 1 과 같이 신체에 착용이 가능한 크기와 무게의 경량 햅틱 장치를 개발했다. 그리고 착용형 경량 햅틱 장치를 위한 전용의 제어기를 햅틱

* 한국과학기술연구원, 지능로봇연구센터
Tel. 02-958-6812, Fax. 02-958-5612
Email cshwang, sayryu, chcho@kist.re.kr
지능 로봇 분야, 특히 로봇 손 및 햅틱 장치의 설계 및 제어에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

장치와 함께 착용이 가능하도록 개발하여 지능환경과 무선으로 접속할 수 있도록 했다. 최종적으로 경량 햅틱 기구, 전용 제어기, 전원 모듈을 통합하여, 착용이 가능한 하나의 시스템이 되도록 제작했다. 따라서 개발한 햅틱 장치는 완전히 독립된 무선 시스템을 이루고, 지능환경의 네트워크에 접속된 하나의 노드로 이용하게 된다. 결과적으로 사용자는 개발한 장치를 착용하고 지능공간의 내부를 자유롭게 이동하면서 햅틱 장치를 통해 직관적으로 환경과 상호작용을 할 수 있다.

2. 경량 기구부의 설계

착용형의 햅틱 장치를 개발하는 주안점은 무게가 가볍고 크기가 작은 장치를 실현하는 것에 있다. 경량화 및 소형화를 위해서 와이어의 장력 구조를 이용한 기구부의 제작과 소형의 수동 액추에이터(passive actuator)의 개발에 중점을 두었다.

개발한 햅틱 장치는 fig. 2 와 같이 손목의 회전 운동 장치, 베이스의 위치 운동 장치, 허리에 착용하기 위한 벨트의 세 부분으로 구성된다. 특히, 베이스 장치의 세 번째 조인트는 세 개의 링크가 구속 운동을 하면서 1 자유도를 갖는 직선 조인트(prismatic joint)의 기능을 한다.

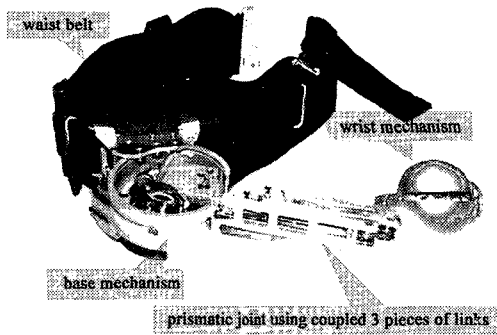


Fig. 2 Design of wearable & lightweight haptic device

베이스의 위치 운동 장치는 직렬 RRP 의 위치 메커니즘으로 구성되어 있고, 3 차원 공간의 위치에 대한 3 자유도의 운동을 구현한다. 베이스 장치의 끝 부분에 손목의 회전 운동 장치를 부착했고, RRR 조인트로 구성된 z-y-z 의 회전 메커니즘으로

회전에 대한 3 자유도의 운동을 구현한다. 장치의 조인트에 대한 구성은 제한된 공간 내에서 기구의 간섭을 최소화 하고 작업영역을 최대로 하면서 무게 중심을 최대한 낮출 수 있도록 설계했다. 첫 번째의 조인트는 회전중심에 구동축을 배치하는 일반적인 구조와 다르며 외륜에서 회전부를 지지하도록 설계함으로써 회전축이 차지하는 공간을 활용하여 액추에이터 및 두 번째의 회전 조인트를 배치했다. 결과적으로 회전축의 지지 및 결합에 필요한 무게가 베이스와 연결되는 외곽으로 이동함으로써 무게 중심을 낮추었고, 회전축을 제거함으로써 기구의 간섭을 최소화 할 수 있도록 했다.

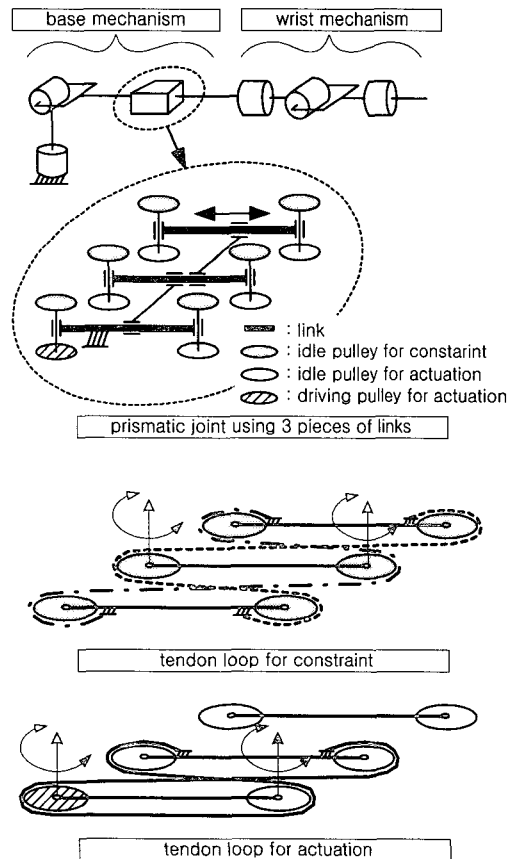


Fig. 3 Prismatic joint using coupled 3 pieces of links and tendon loops

Fig. 3 과 같이 베이스 부를 구성하는 세 번째의 직선 조인트는 직선적인 상대운동이 가능한 세

개의 링크로 구성했다. 이러한 삼단의 슬라이딩 구조를 채용함으로써 접었을 경우에 좁은 공간에 수납할 수 있고, 펼쳤을 경우에 작업공간을 최대로 할 수 있는 장치를 구현할 수 있었다. 제안한 삼단의 슬라이딩 링크는 구동부의 무게를 최소화하고 제한된 공간에 구동부를 배치하기 위해서 장력구동 방식을 사용하여 구동했다. Fig. 3 과 같이 2 개의 장력 루프가 존재하며, 첫 번째는 상대 운동을 구속하여 1 자유도를 유지하는 역할을 하고, 두 번째는 장치를 실제로 구동하는 역할을 한다. 따라서 세 개의 링크가 하나의 자유도를 갖는 직선 조인트로서 동작하게 된다.

3. 기구부의 제작

햅틱 장치의 개발에 있어서 무게의 제한과 기능의 실효성을 고려하여 전체 6 자유도 중에서 3 자유도의 힘 피드백이 가능하도록 설계했다. 고풍력이 가능한 MR 브레이크를 직접 설계 및 제작하여 각 조인트의 액추에이터로 사용했다. 표 1 에는 일반적인 전기 모터, 초음파 모터 및 MR 브레이크의 대략적인 출력 토크를 무게와 비교하여 표시했다.

Table 1 Comparison of torque /weight ratio

	Torque/weight ratio (N mm/g)
Electric motor	0.2
Ultrasonic motor	2.2
MR brake	7.0

MR 브레이크는 비슷한 크기의 일반적인 전기 모터와 비교하여 같은 무게에 대해서 약 35 배의 출력 토크를 얻을 수 있게 제작했다. 수동 액추에이터의 특성 때문에 능동적인 힘을 표현할 수 없는 한계가 있지만, 신체에 착용이 가능하도록 소형의 MR 브레이크를 제작하여 큰 힘을 반영할 수 있도록 했다.

수동 액추에이터를 이용한 3 자유도의 힘 반영을 실현하기 위해서 인간이 가하는 토크의 방향을 감지할 필요가 있다. 기계적인 접촉식 스위치를 사용하게 되면 스위치의 동작을 위한 접점까지의 간극 때문에 백래시를 허용할 수 밖에 없고, 장치의 정확성도 저하된다. 백래시를 최소화 하기 위

해서 스트레인 게이지 등을 이용하여 구동축의 변형량을 측정할 수 있지만, 복잡한 배선과 부가적인 회로가 필요하므로 공간 및 무게의 제약을 받게 된다. 본 논문에서는 압력에 따라서 저항치가 변화하는 소형의 감압 도전성 고무⁸를 센서로 이용했고, 제한된 공간과 무게의 범위 안에서 백래시를 최소화 하고 배선의 어려움도 해결했다. 제작된 햅틱 장치의 사양을 Table 2에 정리했다.

Table 2 Specification of wearable haptic device

Degree of freedom	6 (3) ^a
Max. continuous feedback force	10 N
Workspace	550mm hemisphere
Weight	2.2 kg (3.8 Kg) ^b
Operation time	1.5 hour

^a for force feed-back

^b including standalone controller and battery

4. 제어기의 구성

본 논문에서 햅틱 제어기의 설계는 착용이 가능하도록 가벼워야 한다는 것과 지능환경과 쉽게 연결하여 햅틱 장치의 사용성을 최대로 해야 한다는 것을 목표로 했다. 햅틱 장치의 역할은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫째는 사용자의 신체적인 움직임에 대한 위치 및 회전 정보를 취득하여 햅틱 장치와 연동하는 상위 시스템에 전달하는 것이고, 둘째는 상위 시스템에서 그 상황에 따라서 적절한 명령을 지시하면 사용자에게 힘 및 촉각의 느낌을 제시하는 것이다. 상위 시스템에서 햅틱 장치의 사용을 용이하게 하기 위해서는 전용의 제어기로 기구학을 해석하고 3 차원 공간에서의 위치 및 회전 정보를 전달할 수 있어야 한다. 그리고 힘 반영에 있어서도 상위 시스템의 명령에 따라서 다양한 힘 피드백의 명령을 쉽게 전달할 수 있어야 한다.

fig. 4 는 제어기의 소프트웨어 구조를 나타낸 것이다. 지능환경 내에서 사용자는 햅틱 장치의 손잡이를 잡고 움직임으로써 상호작용을 할 수 있다. 사용자의 손의 운동은 햅틱 장치의 기구부에 전달되고, 링크의 변화는 각 조인트에 장착된 센서로 감지된다. 센서의 정보는 fig. 4 의 하단에 표시된 하드웨어 인터페이스 레이어를 통해서 제어

기에 전달된다.

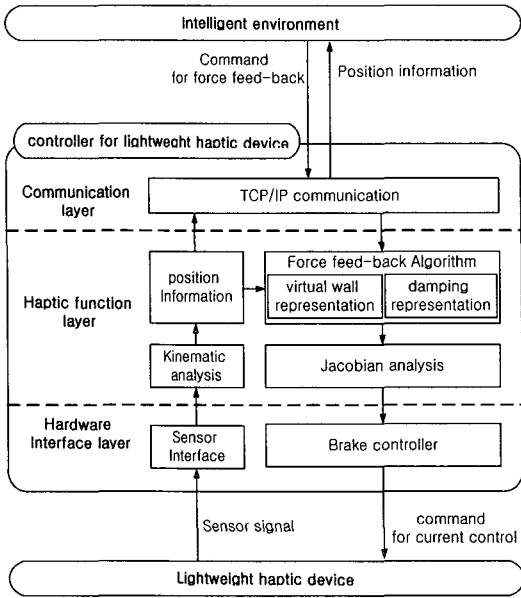


Fig. 4 Software architecture of haptic controller

햅틱 평선 레이어에서 로봇의 기구학을 해석하여 손잡이의 위치 및 방향을 계산하고, 계산된 값을 상위 층에 보내면 네트워크를 통해서 햅틱 제어기의 커뮤니케이션 레이어에 접속한 외부 노드에서 이러한 정보를 사용할 수 있다. 지능환경의 상황에 따라서 환경 내의 특정 노드에서 사용자에게 힘의 느낌을 전달하고자 하는 경우에 네트워크를 통해서 햅틱 제어기의 커뮤니케이션 레이어에 접속하여 벽의 제시 또는 댐핑의 제시 등과 같은 힘반응을 위한 명령을 전달한다. 이러한 명령은 햅틱 평선 레이어에서 손잡이의 위치를 고려하여 이러한 느낌을 주기 위한 적절한 힘의 명령으로 변환되고, 역학적 계산을 통해 조인트 토크 명령이 생성된다. 계산된 토크 명령에 따라서 각 축의 브레이크에 흐르는 전류를 제어하면 사용자에게 다양한 힘의 느낌을 제시할 수 있게 된다.

fig. 5 는 실제로 제작된 제어기의 모습이다. 산업용 PC 를 메인 컨트롤러로 이용하여 처리 성능을 높였다. 각 축의 브레이크를 제어하기 위해서 마이크로 프로세서를 이용한 위성 제어기를 제작했고, 샘플링 타임은 1.0 msec 이다.

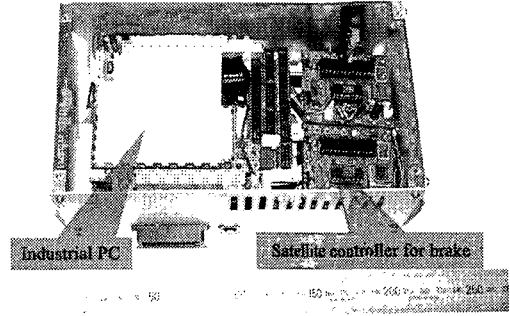


Fig. 5 Controller for lightweight haptic device

5. 착용형 경량 햅틱 장치를 적용한 지능환경의 구성

본 논문에서 개발한 햅틱 장치의 사용성과 가능성을 검증하기 위해서 fig. 6 과 같이 사용자와 상호작용을 할 수 있는 통합적인 지능환경 시스템의 예로서 Tangible studio 를 구축했다. 사용자가 가상환경 내에서 신라시대의 유적을 체험할 수 있는 교육 및 오락용 콘텐츠를 제공한다.

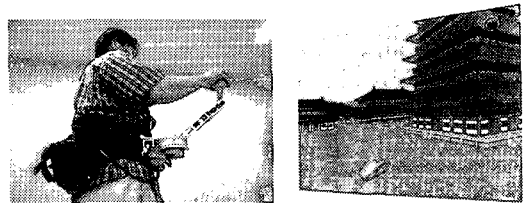


Fig. 6 Tangible studio system

사용자는 스튜디오의 전면에 배치된 대화면 디스플레이를 통해서 몰입감을 가지고 가상환경과 상호작용을 하게 된다. 가상환경의 모델은 대화면 디스플레이를 담당하는 비주얼 서버에 저장되어 있고, 사용자의 위치와 시점에 따라서 실시간으로 화면을 갱신한다. 사용자는 개발된 착용형 경량 햅틱 장치로 비주얼 서버와 접속 할 수 있고, 가상환경 내에서 원하는 위치를 포인팅하거나 물체와의 상호작용이 가능하다. 예를 들면 fig. 7 과 같이 가상환경 내의 문을 열어서 다른 공간으로 이동할 수 있으며, 문을 여는 느낌을 적절한 힘으로 제시할 수 있다. 그리고 가상환경을 탐험하다가

돌탑의 표면을 만져보면서 딱딱한 느낌을 받을 수 있고, 종각에서 묵직한 느낌을 주는 당목으로 종을 칠 수도 있다.

후 기

본 논문은 한국과학기술연구원의 기관고유연구사업인 “Tangible Space Initiative 기술개발” 연구과제의 연구결과임을 밝힌다.

참고문헌

1. Lee, Joo-Ho and Hashimoto, Hideki, "Intelligent space, Its past and future," Proc. of IECON '99, Vol. 1, pp. 126 - 131, 1999
2. Trivedi, M., Huang, Kohsia and Mikic, I., "Intelligent environments and active camera networks," Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 2, pp. 804 - 809, 2000.
3. Eng, Kynan, Babler, Andreas, Bernardet, Ulysses, Blanchard, Mark, Costa, o Marci, Delbruck, Tobi, Douglas, J Rodney, Hepp, Klaus, Klein, David, Manzolli, Jonatas, Mintz, Matti, Roth, Fabian, Klaus, UeliRutishauser, Adrian, Wassermann, Aaron, M Whatley, RetoWyss, Wittmann and Verschure, F M J paul, "Ada-Intelligent space: An artificial creature for the swiss expo.02," Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 4154 - 4159, 2003.
4. Holmquist, L.E., Gellersen, H.W., Kortuem, G., Antifakos, S., Michahelles, F., Schiele, B., Beigl, M. and Maze, R., "Building intelligent environments with Smart-Its," Computer Graphics and Applications, Vol. 24, pp. 56 - 64, 2004.
5. Nakai, Akito, Ohashi, Toshiyuki and Hashimoto, Hideki, "7DOF Arm type haptic interface for teleoperation and virtual reality systems," Proc. of IEEE/RSJ Intl. conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1266 - 1271, 1998.
6. Ryu, Dongseok, Cho, Changhyun, Kim, Munsang and Song, Jae-Bok, "Design of a 6-DOF Haptic Master for Teleoperating a Mobile Manipulator," Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3243 - 3248, 2003.
7. Howe, Robert, D., Dimitrios A. Kontarinis and William J. Peine, "Shape Memory Alloy Actuator Controller Design for Tactile Displays," Proc. of

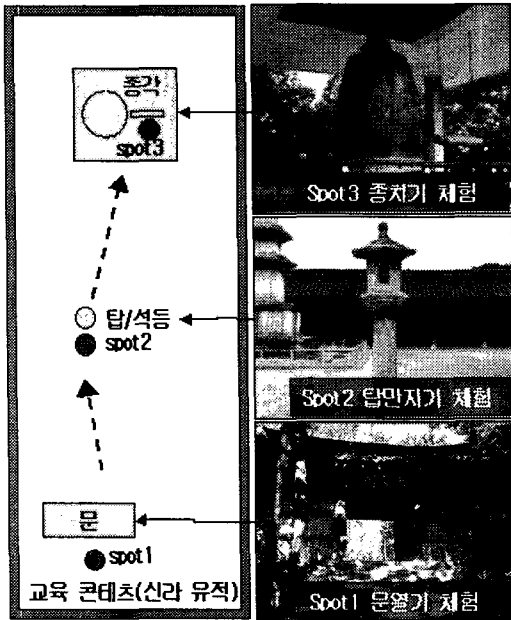


Fig. 7 Contents of tangible studio

6. 결론

본 논문에서 지능환경을 자유롭게 이동하면서 사용할 수 있는 착용형 경량 햅틱 장치를 개발했다. 개발한 장치는 장력 구동 방식과 수동 액추에이터를 사용하여 기구부를 가볍게 했고, 세 개의 링크가 1 자유도로 구속된 상태에서 직선 운동을 할 수 있도록 조인트를 설계하여 불필요한 간섭을 없애고 작업공간을 최대한 넓게 할 수 있었다. 그리고 개발된 전용의 제어기는 기구부의 센서 및 액추에이터를 제어하고, 무선 네트워크를 통해서 외부의 노드와 통신이 가능하도록 했다. 기구부, 제어기, 전원 모듈을 하나의 시스템으로 구성하여 착용이 가능하도록 함으로써, 넓은 공간을 자유롭게 이동하면서 사용할 수 있도록 했다. 그리고 실험을 위한 통합 환경으로서 Tangible studio 를 구성하여 주변 시스템과 연동함으로써 장치의 기능성과 사용성을 검증했다.

IEEE International Conference on Decision and
Control, pp. 3540 - 3544, 1995.

8. <http://www.inaba-rubber.co.jp>