韓國精密工學會 2000年度 秋季學術大會論文集 pp.106~109 KSPE 00F025

가상현실 역감구현을 위한 알고리즘과 장치개발

김영호*(전남대 대학원 기계공학과), 이경백(여수공대 자동차과), 김영배(전남대 기계공학과)

The Development of Device and the Algorithm for the Haptic Rendering

Y. H. Kim(Mech. Eng. Dept., CNU), K. B. Lee(Mech. Eng. Dept., YSC), Y. B. Kim(Mech Eng. Dept, CNU)

ABSTRACT

The virtual reality - haptic device is developed for the purpose used in the work that human cannot approach and that need elaborate exercises. To render haptic, the total system is constituted master, haptic device, and slave, remote manipulator. Human operates the remote manipulator relying on the haptic devices and stereo graphic And then the force and scene of the remote manipulator is fed-back from each haptic devices and virtual devices. The feedback information gets system gain exactly. The system gain provides the most exact haptic and scene to human by the location, the graphic rendering and the haptic rendering algorithm on real-time.

In this research, 3D haptic device is developed for common usage and make human feel the haptic when human contacts virtual object rendered by computer graphic. The haptic device is good for tracing location and producing devices because of the row structure. Also, openGL and Visual Basic is utilized to the algorithms for haptic rendering. The haptic device of this research makes the interface possible not only with virtual reality but also with the real remote manipulator.

Key Words : haptic rendnering (역감 구현), proxy point (가상점), penalty method, unipolar (단극성), voltage follower, impedance, master, slave

1. 서론

현재까지 가상현실 분야는 계속해서 그 영역을 넓혀가고 있으며 본 논문에서 다루고자 하는 가상현실 역감(Haptic)장치는 그 중 한 분야이다. 지금까지 상용화된 가상현실 역감장치 중에서 가장 탁월한 성능을 보이는 것은 SensAble사에서 개발한 PHANToM과 Iwata가 개발한 Haptic 장치 등이 있다.

PHANToM은 6자유도의 직렬구조를 가지고 있으며 Iwata가 개발한 Haptic 장치는 6자유도의 병렬구조를 가지고 있다. 지금까지 개발된 Haptic장치들은 대부분 이들 두 가지 형태를 기본으로 취하고 있는 경우가 많다

역감장치의 궁극적인 목표는 실제 상황을 가상환경에서 완벽하게 구현하는데 있지 않다. 그것은 원격지에서 인간을 대신해서 작업할 수 있는 매니퓰레이터의 완벽한 구현에 있다고 할 수 있다. 즉 어떠한 사정에 의해서든 인간이 직접 작업할 수 없는 경우에, 더욱이 로봇의 몇몇 센서만으로는 정교한 작업의 각종 자료들을 스스로 처리할 수 없는 경우에 인간은 원격지 로봇으로부터 얻은 힘 정보를 구현할 수 있는 역감장치와 현장의 모습을 담은 3차원의 영상에 의존하여 작업을 수행할 수 있는 것이다. 이러한 경우 인간이 직접 다루게 되는 역감장치를 Haptic Master라고 하고 원격지의 로봇을 Slave라고 표현한다. 완벽하게 개발된 Haptic Master와 Slave라면 인간의 근육의 미세한 움직임을 그대로 Slave를 통해 묘사해 줄 것이며, 또한 Slave를 통해 얻은 힘 정보를 인간의 감각기관에 그대로 전달해 줄 것이다.

본 연구에서는 가상현실 역감구현을 위한 Haptic Master 장치를 개발하였다. Device 부분은 범용으로 사용할 수 있도록 3자유도를 갖는 병렬구조로 설계하였고, 그래픽은 openGL 라이브러리를 Visual Basic을 사용하여 구현하였다. 본 연구에서 개발한 장치는 작업자의 손끝의 움직임을 가장 효과적으로 추적할 수 있도록 하였고 손끝의 위치가 가상 공간의 물

체와 충돌하였을 경우 역감을 구현할 수 있도록 하였다.

2. 역감장치의 기초이론

2.1 역감의 원리

실제 인간 경우에는 손가락 끝에서 느껴지는 동역학적 임피던스(impedance)에 비례하도록 근력을 발생시켜 물체를 움직이거나 만질 수 있도록 되어있다. 그래서 단순화시킨 가상 벽면과 역감과의 관계를 Fig. 2(a)와 같이 표현하였다. 즉 사람의 손끝이 가상의 벽면에 접촉하기 이전에는 손가락에 어떤 역감도 느껴지지 않는다. 그러나 가상 벽면과 접촉하였을 경우 벽면의 강성(K_w)과 점성(B_w)에 의해서 역감을 느낄 수 있도록 되어 있다.[1]

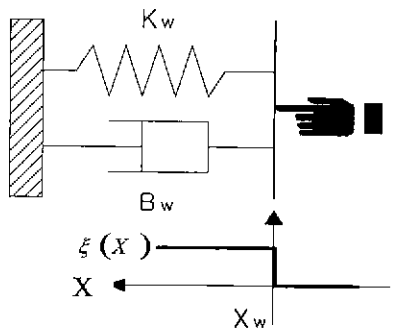

Fig. 2(a) virtual wall modeling

여기에서 가상의 벽과 접촉하기 이전과 이후의 상황을 다음의 식에서 보여주고 있으며 이것들은 각각 강성에 의한 힘과 점성에 의한 힘으로 표현될 수 있다

$$\zeta(x)=0 \qquad (x< x_w)$$
$$\zeta(x)=1 \qquad (x\geq x_w)$$

$$F_K= K_w(x- x_w)\zeta(x)$$
$$F_B= B_w\dot{x}\zeta(x)$$

그리고 최종적으로 인간의 손끝이 벽면에 접촉하는 느낌은 다음의 식으로 표현될 수 있다.

$$F_T= F_K+ F_B= \zeta(x)(K_w(x- x_w)+ B_w\dot{x})$$

가상 벽 모델링과 함께 역감장치의 모델링을 통해서 강성과 점성을 구하고 장치가 가지고 있는 마찰과 관성에 대한 보상을 고려함으로써 최종적으로 다음의 Fig. 2(b)와 같은 모델링이 된다.[3]

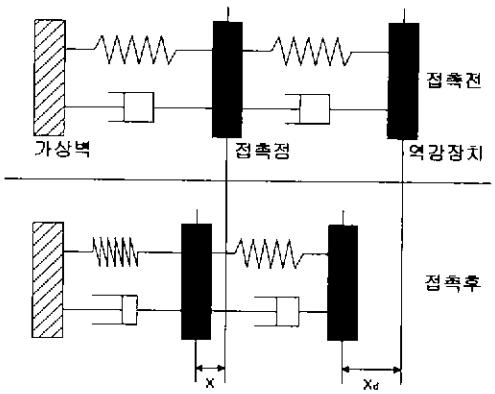

Fig. 2(b) virtual wall & device modeling

2.2 시스템 모델링

본 논문에서는 역감구현을 위한 장치로 Master와 함께 원격지의 Slave 시스템이 아닌 Master와 그래픽으로 처리한 Slave로 Fig. 2(c)와 같은 블록 다이어그램으로 표현할 수 있다.

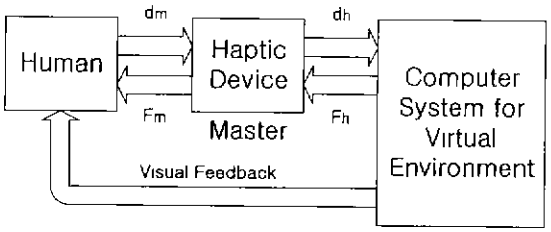

Fig. 2(c) virtual reality haptic system

가상현실을 모델링 할 때 가상세계를 실세계에서와 같은 물리적 환경으로 꾸며야 한다는 것이 중요하다. 컴퓨터에 의해 창출된 가상 물체는 실세계의 정해진 공간에 매핑되고 실세계의 작용점, 즉 작업자의 손 끝이 이 물체와 만나는 상황이 되면 작용점이 가상물체를 얼마나 관통했는지를 계산하고 역시 얼마만큼의 액츄에이터 출력으로 내 보낼 것인지 계산한 후 역감장치로 출력시켜야 한다. 컴퓨터에 의해 창출된 가상물체가 실세계 좌표에 매핑시키는 과정은 작용점, 즉 proxy와 기상물체와의 충돌시에 각각의 좌표를 검출해야 하므로 아주 중요한 요소이다 본 연구에서는 작용점이 가상물체를 얼마나 관통했는지를 계산할 때에 proxy point의 위치와 초기 접촉점과의 거리를 계산하는 방법으로 처리하기로 하였다 한편 역감장치로 내보낼 출력은 가상물체의 질량과 강성, 점성을 고려하여야 하고 모터의 출력

특성을 고려하여야 한다.

제어기는 원격조정 제어 시스템에 일반적으로 이용하는 bilateral controller를 사용하는데, 이는 작업자가 역감장치를 통하여 움직임을 가상공간에 전달하는 *feedforward pathway*와 작업 중에 발생하는 접촉 힘이 역감장치를 통해 작업자에게 전달되도록 하는 feedback pathway의 두 가지 pathway로 구성된다. 따라서 본 연구에서는 역감장치 제어를 위해서 폐루프(closed loop)를 구성하지 않고 Fig. 2(d)에서와 같이 개루프(open loop)로 구성하였다. 물론 Slave 쪽에는 위치정보의 feedback을 위한 폐루프(closed loop)가 구성되어 있다.[4]

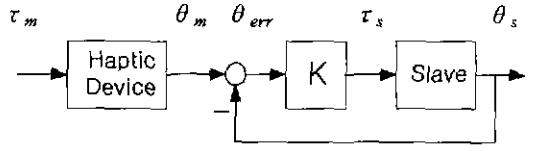

Fig. 2(d) open loop haptic device & closed loop slave

3. 역감장치의 설계

3.1 역감장치 설계를 위한 요구사항

역감장치를 설계하기 이전에 고려해야 할 사항은 시스템의 성능을 결정하는 것이다. 수술시뮬레이션과 같이 정교하고 국지적인 작업을 할 것인지 아니면 반대로 육중한 작업을 수행할 것인지에 따라 액츄에이터의 용량과 회로의 구성이 달라지게 될 것이다. 본 연구에서는 가상공간상의 작은 물체를 손가락으로 감지할 수 있도록 시스템을 구축할 것이므로 대략 30~50[N] 이하의 토크를 발생할 수 있도록 설계하였다. 또한 연속 동작에서 사실적인 역감 구현이 가능하도록 역감 갱신 주기를 500~1000[Hz]로 주었다.[3]

3.2 회로의 구성

역감장치의 회로는 우선 PC와의 인터페이스를 위해서 8255 I/O Card를 제작하였다. 다음으로 소형의 DC 모터를 구동하기 위해 8 비트의 DAC08을 사용하고 741 OP-Amp를 통하여 전류 제어형 모터 드라이버를 제작하였다 다음 식을 통해서 DAC08의 출력 특성을 알 수 있다 V_{out}은 전압출력, I_{ref}는 레퍼런스 입력전류 값, x는 8 비트 입력전압의 10진수 값을 의미한다.

$$V_{out} = I_o \times R_L = ((x/256) \times I_{ref}) \times R_L$$

여기에서 $I_{ref} = V_{ref}/R_{ref}$로 구하고, V_{ref}는 12[V], R_{ref}는 4.7[kΩ], R_L은 4.7[kΩ]으로 사용하였다. DC 모터의 제어방법에는 voltage follow 방식과 PWM 방식이 있는데 고속동작이 필요 없고 회로가 비교적 간단한 전자의 경우를 선택하였다.

또한 인크리멘탈 방식의 엔코더를 사용하기 위해서 74LS193을 이용한 8 비트의 엔코더 카운터를 제작하였다.

3.3 DC 모터를 이용한 역감장치 메커니즘

본 연구에 사용한 역감장치는 와이어를 이용해서 모터의 출력을 감속시키고 또 다른 와이어를 작업자의 손 끝에 연결하여 역감을 구현할 수 있도록 설계하였다 DC 모터와 엔코더는 직렬로 결합하여 서보모터로 이용하였다. 설계된 장치의 개요는 Fig. 3(a), 장치의 실제 제작 사진은 Fig. 3(b)에 제시하였다.

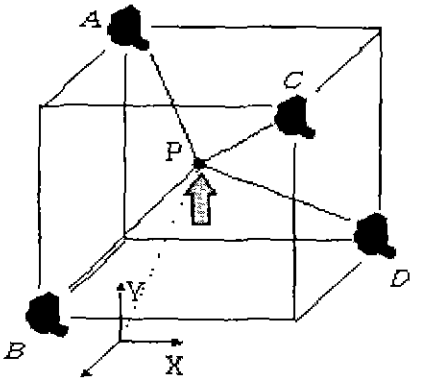

Fig. 3(b) an abstract of the device

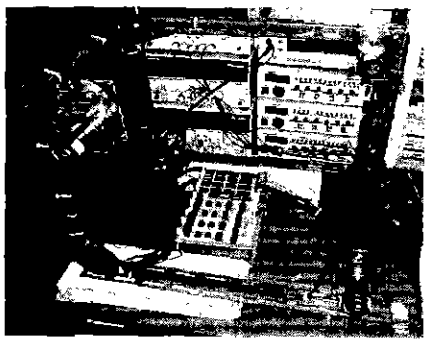

Fig. 3(c) the picture of the device

4. 알고리즘 구성 및 적용

4.1 알고리즘의 구성

본 연구에서 개발한 역감장치는 openGL 그래픽

라이브러리를 사용하여 Visual Basic에서 구현하였다. 역감 알고리즘에는 가상물체를 관통한 proxy point와 가장 가까운 가상물체의 표면과의 거리 만큼을 힘으로 환산하여 구현하는 penalty method를 사용하였다. 그러나 penalty method는 가상물체의 형상이 박막이거나 관통한 표면보다 가까운 표면이 있을 경우에는 역감 구현이 잘못되는 오류가 있다. 이런 오류를 해결하기 위해서 proxy의 크기를 적절한 반경을 가진 구형으로 만듦으로써 실제 손가락과 같은 효과를 내도록 하거나(proxy algorithm), proxy가 처음 관통한 표면을 활성화시켜서 역감을 구현할 때 활성화된 표면의 방향을 향하도록 하는 알고리즘(god-object algorithm) 등이 있다.[2][3]

4.2 실험결과 및 고찰

본 연구에 사용한 DC 모터의 8 비트 입력에 대한 출력 성능과 가상 벽면 모델링에 대한 실험결과를 각각 Fig. 4(a), Fig. 4(b)에 나타냈다 Fig. 4(b)에서는 proxy가 가상의 벽면($B=0$)에 3회 충돌하고 있음을 알 수 있다.

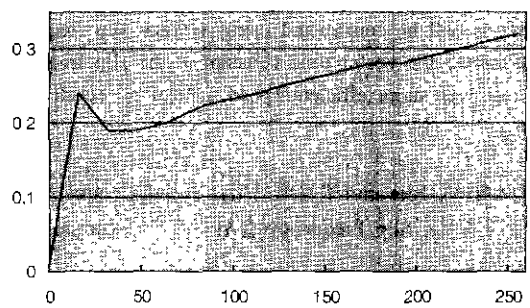

Fig. 4(a) output current of the DC motor
(X : 8 bit output, Y : current[A])

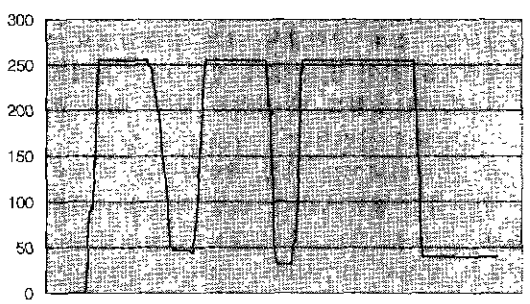

Fig. 4(b) the test of virtual wall modeling
(X : time, Y : 8 bit output)

실험결과 8 비트 출력이 255가 되면 DC 모터 공회전시 최대 0.32[A]가 출력되었고 역감장치 구동시에는 0.48[A]가 출력되었다.

4. 결론

본 연구에서는 범용으로 사용 가능한 3 차원의 가상현실 역감장치를 개발하였다. 본 장치는 기존의 병렬구조보다 제작이 용이하며 와이어의 장력을 통해 역감이 전달되기 때문에 정교한 역감구현이 가능하다. 그래픽 처리를 위해서 openGL 라이브러리를 사용하였고 Visual Basic을 이용하여 실시간으로 역감을 구현하였다. 그러나 보다 향상된 알고리즘과 마찰 및 관성에 의한 외란을 최소화할 수 있는 장치의 개발이 필요하게 되었다.

참고문헌

1. R. J. Adams and B. Hannaford, "A Two-Port Framework for the Design of the Unconditionally Stable Haptic Interfaces", Proceedings of the IEEE, Washington Univ , 1998.
2. C. B. Zilles, J. K. Salisbury, "A Constraint-based God-obhect Method For Haptic Display", Proceedings of the IEEE, 1995.
3. 강원찬, "프락시 알고리즘을 적용한 역감장치의 개발", 석사학위논문, 1999, 조선대학교.
4. 구태오, "가상현실 대화용 2자유도 햅틱 디바이스 개발", 석사학위논문, 2000, 광주과학기술원.
5. D. C. Ruspini, K. Kolarov and O. Khatib, "Haptic Interaction in Virtual Environments", Proceedings of the IEEE International Conference on Robots and System, Stanford Univ , 1997.
6. D. C. Ruspini, K. Kolarov and O. Khatib, "The Haptic Display of Complex Graphical Environments", Proceedings of the SIGGRAPH, Stanford Univ., 1997.
7. T. Massie and K. Salisbury, "The PHANToM Haptic Interface : A Device for Probing Virtual Objects", ASME Winter Annual Meeting, 1994.