

가상현경 제어에서 실시간 그래픽 변형에 관한 연구

김영수*, 배철*, 김아현*, 박경석*, 강원찬**, 김영동**
 조선대학교 대학원 제어계측공학과
 조선대학교 전자정보공과대학 정보제어계측공학부**

A Study of the real-time graphic deformation algorithm with virtual environment control

*Young-Su Kim, *Chul Bae, *A-Hyun Kim, *Kyung-Seok Park, **Won-Chan Kang, **Young-Dong Kim
 *Dept. of Control & Instrumentation Eng. Chosun Univ.
 **School of Information Control & Instrumentation Eng. chosun Univ.

Abstract - In this paper, the virtual reality system is tried to developed, which controls not only the sense of sight and hearing but also the sense of touch. In order to develop the sense of touch in this study, the stable tactual transaction system, based on summing up the basic algorithm and theory, is embodied. Especially, the graphic deformation algorithm is developed in realtime with using the deformed FEM. To apply the FEM, a deformed material model is produced and then the graphic deformation with this model is able to force. Finally, the graphic transaction algorithm is deduced by the realtime calculation and simplification because the purpose of this system is to transact in real time. The result of this study is that the proposed system is possible to deform the graphics and transact the haptic in real time in PC. The simulation program has been made to prove this result.

Key Words : Haptic, Graphic Deformation, FEM, ForceDisplay System, Haptic Rendering, Wire Tension, Virtual Reality

려움 등으로 가상현실 연구의 제한이 있었다. 따라서 본 연구에서는 촉각 및 역감을 실시간으로 제시하기 위해 필요한 인터페이스 장치의 설계와 함께 새로운 힘처리 알고리즘인 프락시(proxy) 알고리즘을 적용하고[4-5], 가장 문제시되었던 실시간 그래픽 처리를 위해 계산량은 줄이고, 현실성은 향상시키도록 유한요소법을 도입한 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 USB 제어를 사용했는데 인간의 촉각 인식범위인 320[Hz]의 주파수 대역이 구현되었고, 상업화에 그 목적을 두어 안정성, 실용성, 저 비용화가 가능한 시스템이다.[7,8].

연구결과 실시간 처리의 장애를 일으키는 그래픽처리에서 유한요소법을 이용한 그래픽 변형알고리즘은 가상객체의 폴리곤수가 증가하더라도 작업영역으로 설정된 부분만을 가지고 처리함으로써 가상객체의 크기에 영향을 거의 받지 않고 처리가 가능함으로, 실시간 처리가 가능함을 시뮬레이션을 통해 증명하였다. 마지막으로, 제안된 시스템을 통한 가상물체 제작 실험에서 촉각이 지워지는 환경하에서 3차원 그래픽 모델을 제작하는 것이 시간상으로는 2배 이상의 제작시간을 단축하였고, 눈에 보이지 않는 부분이 촉각이 보완해 줌으로 인해 보다 효과적으로 가상물체를 제작할 수 있었다.[6,7,8].

1. 서 론

인간이 받아들이는 외부의 수많은 정보들의 약 70% 정도가 시각을 통해 흡수되기 때문에 가상현실 연구에서는 시각화 시스템에 치우쳐 연구되었다. 하지만, 현실세계에서의 모든 작업들은 시각뿐만 아니라 인간이 손가락 끝에서 느껴지는 역학적인 입피턴스의 변화 즉, 접촉감각에 의해 이뤄진다. 따라서 이러한 감각정보는 인간이 어떤 복잡한 조작을 하는데 있어서 시간과 오차를 감소 시켜준다. 인간이 가상공간에서 작업을 행할 때 사용자의 위치 및 힘 정보를 가상세계에 반영하고, 그에 따른 작업환경의 감각정보를 인간에게 제공하는 연구가 필요하게 되었다[1,2]. 가상현실에서 역감요소를 추가하게 되면 뇌에 의해서 처리되는 정보가 증가하고, 이런 정보의 증가는 특정 작업을 수행하는 데 걸리는 시간과 오차를 감소시킬 수 있음을 의미한다[3]. 따라서 가상현실에서 보다 실제에 가까운 현실감을 제공하기 위해서는 인간에게 다양한 힘 관련 정보를 제시할 수 있는 시스템에 대한 연구가 필요하게 되었다.

기존의 연구에서는 단일 PC에서 역감 및 그래픽 처리가 가능한 시스템도 있지만, 계산량이 많아 가상물체를 강제로만 취급하였고, 가상물체의 폴리곤수도 제한이 있었다. 또한 가상물체의 실시간 변형을 위해서 2대 이상의 워크스테이션 또는 슈퍼컴퓨터에서 처리하는 형태를 취하고 있으므로, 장비의 구성 가격이나 프로그램상의 어

2. 본 론

2.1 촉각처리 시스템의 제어기 설계

가장 최근에 주목받고 있는 통신 방식으로는 IEEE 1394와 USB로, 이들 통신 방식을 통해 고속 데이터 처리가 가능한 시스템의 개발이 대두되고 있다. 물론 IEEE 1394 방식이 전송 속도가 400[Mbps]이고, USB v2.0 규격의 경우는 480[Mbps]의 전송 속도를 보이고 있다. 하지만 본 연구에서는 상업화를 위해 USB v1.1 벌크 모드로 제작하였다.

그림 1에서 엔코더 카운터부터는 앞서 제시한 것처럼 8비트 2채널을 갖는 LS7266R1을 병렬로 연결하여 16비트 분해능을 얻고, D/A부는 12비트 4채널을 갖는 DAC7724를 사용하였다. 여기서 DC 모터의 정·역출 전환을 위해 D/A의 출력이 -10~0[V]는 역방향 회전, 0~10[V]는 정방향 회전을 하도록 설정을 하였다.

기존 연구에서는 PC의 ISA포트를 통해서 각 장치들을 직접 제어했지만, USB 방식이나 PCI 방식은 불가능함으로 USB 포트로 전송된 패킷을 처리하여 원하는 동작을 하도록 16비트 마이크로 프로세서인 히다치사의 H8-3048을 사용하였다. 차후 USB 브리지 칩을 2.0 버전으로 업그레이드할 경우 1[kHz]의 처리가 가능할 것으로 판단된다. 그러나 현재 1.1 벌크 모드는 500[Hz]로 처리 가능함으로 재질감 표현에서 일반 사용자의 감각을 속이는 것이 가능하였다.

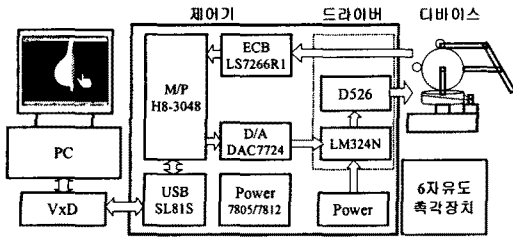


그림 1 USB 제어기의 블록 다이어그램
Fig. 1 Block diagram of USB controller

2.2 실시간 그래픽 변형 알고리즘

그래픽 처리에서 강체의 변형은 유한요소법에 기초를 두고 만들었다. 이 방법은 계산량이 많은 각종 파라미터 행렬과 그 역행렬을 미리 구해놓고, 실행시 강체와 노드의 이동에 적용된 스트레스 사이의 선형 관계를 찾는 것이다. 이 과정은 응용프로그램의 초기화 단계에서 처리되고, 이 선형관계는 행렬로 표현하여 파일로 저장된다 [9,10]. 로딩시 파일에서 행렬을 추출해 분석하고, 실행시 충돌발생을 힘 벡터로 변환한다. 이 힘 벡터의 곱은 적재된 행렬이 응용 프로그램에서 높은 정밀도의 강체의 변형을 찾는 것이 가능하다.

2.2.1 실시간 그래픽 렌더링

그래픽 처리에 사용된 알고리즘의 처리 절차는 그림 2에 나타내었다. 하이패리온 프로젝트에서는 전처리와 후처리로 나누어서 처리를 해야 함으로써 사용자에게 매우 불편함을 야기 시켰다[11]. 따라서 본 연구에서는 이 알고리즘을 개선해 전처리와 후처리를 포함해 전처리에서 작성된 가상물체에 대한 재질정보를 바탕으로 각종 행렬을 계산하여 저장하고, 후처리에서 다시 불러 표시하는 형식으로 진행되었다.

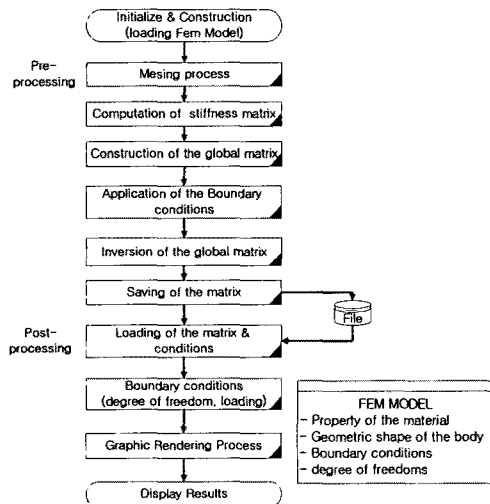


그림 2 실시간 그래픽 변형의 절차
Fig. 2 A procedure of realtime graphic deformation

하이패리온 프로젝트는 그래픽 위주의 처리로 제한되었지만, 본 연구에서는 햅틱 렌더링이 주목적이고 그래픽은 이차적인 목적이었다. 그렇지만 실험 부분에서 제시하는 시뮬레이션에서처럼 제한된 폴리곤 내에서는 실

시간 촉각 처리와 그래픽 변형을 이룰 수 있음을 확인할 수 있었다. 다만 행렬의 역변환시의 시간 지연으로 인해 발생하는 지연을 보상하기 위해 임시 파일로 작성하여 한번 사용한 가상물체는 그 재질행렬을 유지하고, 처음 사용한 행렬도 전처리 부분에서 파일로 저장하여 사용하였고, 후처리시의 처리속도 향상을 위해 메모리에서 각종 행렬과 조건행렬들을 임시 저장하여 속도향상을 기하였다.

다만 변형 영역의 크기에 따라 속도차가 있으므로 전체적으로 조건을 적용하는 것은 앞서의 알고리즘에서 제시했듯이 실시간 처리에 제한을 주게된다. 따라서 본 연구에서처럼 촉각이 수반된 그래픽 변형에서는 제한적인 범위[변형영역으로 선택된 영역] 내에서 사용해야 하는 문제도 있다. 마찬가지로 역감의 제시에서도 실제와 같은 힘을 묘사하기 위해서는 그에 상응하는 출력을 낼 수 있는 촉각장치가 필요하나 본 촉각장치의 최대 힘인 10[Nm]로 제한하여 사용하였다.

2.3 실험 및 고찰

본 연구에서 사용한 실험 시스템은 오퍼레이터가 촉각 장치의 엔드이펙터를 잡고 컴퓨터에서 생성된 가상의 물체를 시각적으로 인식하면서 가상물체와 상호작용 하기 위해 가상환경 내에서 작용점을 움직인다. 이 때 로터리 엔코더에서 관찰각을 검출하고 이 위치정보를 엔코더 카운터에서 읽어들이어 순기구학 해석에 의해 작용점의 위치 좌표를 계산한다. 그리고 햅틱 렌더러에서 계산된 정보를 가지고 가상물체와의 접촉여부를 검출하게 되며, 충돌시 접촉방향에 따라 프락시 알고리즘을 사용해 x, y, z축 방향의 힘을 출력한다. 만약 가상물체와 엔드이펙터가 충돌하게 되면 가상물체를 관통한 거리에 비례한 힘이 알고리즘들에 의해 값을 계산하여 드라이버를 통해 모터에 구동 토크를 제공하고, 다시 이를 30[Hz]마다 그래픽 변형 처리를 통해 가상세계를 보여주도록 하고 있다.

2.3.1 알고리즘의 구성

실제 좌표계를 그래픽 좌표계로 변환하는 어핀인(affine)변환, 촉각장치의 엔드 포인터, 가상물체와 가상물체간의 충돌을 감지하는 충돌검출 알고리즘, 가상세계의 현상을 그래픽으로 보여주는 그래픽 변형 알고리즘, 가상물체에서 촉각장치로 되돌려줄 힘을 계산하는 프락시 역감 렌더링 알고리즘, 모니터 상에 가상물체의 변형을 표현해주는 유한요소법을 이용한 그래픽 렌더링 알고리즘 등으로 구성하였다.

2.3.2 그래픽 변형 처리 실험결과 및 고찰

실험에 사용한 컴파일러는 마이크로소프트사의 Visual C++ enterprise v6.0으로 그래픽 라이브러리는 OpenGL (GLUT v3.7.3)을 사용하였다. 운영체제는 Windows 2000 advanced server (P-III 800E Dual, 768M 메모리)를 이용하여 작성되었다.

그래픽 처리에 있어서 단순한 변형을 위한 일반적인 방법은 폴리곤수가 작으면 작을수록 효과적이거나 반대로 폴리곤수가 증가하면 할수록 지수적으로 증가함을 알 수 있다. 따라서 유한요소법을 이용한 경우도 전체적인 계산량 면에서 선형증가 함을 나타내고 있다. 하이패리온 프로젝트에서 제시한 것처럼 계산량을 대폭 줄이기 위해, 전처리 과정에서 필요한 파라미터 행렬들을 구하고, 실험 상태에서 필요한 부분만의 계산을 수행함으로써 폴리곤수의 영향을 대폭 줄일 수 있었다. 그림 4에서처럼 변형된 방법을 통해서 30,000개 이상의 폴리곤에서도 실시간 처리가 가능함을 나타내고 있지만 PC의 성능이 나날이 증가함에 따라 단일 프리미티브가 아닌 복수의 프리미티브들에 대해서도 실시간 처리가 가능할 것으로 기대된다.

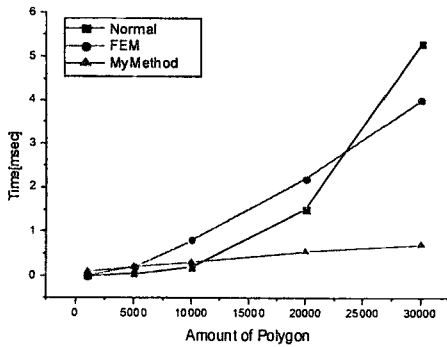


그림 4 그래픽 알고리즘의 결과
Fig. 4 Result of graphic algorithm

2.3.3 촉각이 지원되는 가상환경실험

가상물체를 촉각이 부여된 상태와 부여되지 않는 상태에서의 작업효과를 10명이 1주일간 테스트 프로그램으로 훈련한 후 힘 반영이 없는 경우, 점·탄성 반력만 있는 경우, 점·탄성외에 마찰력 등 현 연구에서 제시할 수 있는 가장 자연스러운 느낌을 가공 후, 가상물체에 부여하여 힘 반력이 있는 경우에 작업자가 얼마나 빨리 작업을 완료할 수 있는가를 테스트 한 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서처럼 반력이 없는 경우에 비해 반력이 있을 경우 2~3배정도 빠른 작업 효과가 있음을 입증할 수 있었다. 그림 6에 실험에 사용된 가상객체를 나타내었다.

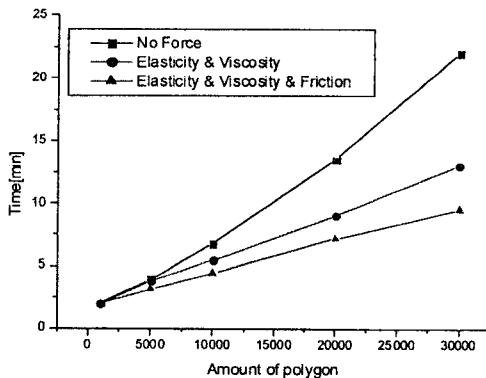


그림 5 작업 능력 특성
Fig. 5 Characteristics of work ability

3. 결 론

본 논문에서는 실시간 그래픽 변형이 가능한 알고리즘을 적용한 프로그램을 이용하여 가상물체 인터페이스 실험을 하였다. 실험에서 증명된 것처럼 촉각이 지원되는 환경하에서 3차원 그래픽 모델을 제작하는 것이 시간상으로는 2배 이상의 제작시간을 단축하였고, 눈에 보이지 않는 부분도 촉각이 보완해 줌으로 인해 보다 효과적으로 가상물체를 제작할 수 있었다. 차세대 O/S가 그래픽 위주로 발전한다고 할 때 3차원 인터페이스가 가능하고, 물체의 재질감 반응을 통한 도구의 조작 및 소멸 등에서 개발된 시스템이 매우 효과적이라고 판단된다.

향후 연구과제는 하나의 가상 객체를 대상으로 한 변형의 한계를 벗어나 가상환경 전체에 대해 액세스가

능하도록 개발이 이뤄져야 한다. USB 버전 2.0 방식의 제어기의 도입과, 능동적 6자유도인 디바이스 제작, 현재 사용하는 엔드이펙터는 1개이므로 회전 및 병진 운동을 수행할 수 없는 한계점을 극복하기 위해 2대의 디바이스를 적용하여 회전 및 병진 운동할 수 있는 시스템을 구축할 필요가 있다. 물론 이 시스템은 PC급에서 구현되어야 하며 동시에 두 대의 디바이스를 실시간으로 제어가 가능하게 하여 수술 시뮬레이터에 적용할 수 있도록 해야 하며, 보다 높은 몰입감 배가를 위해 HMD와 VRD 등 새로운 시각장치들을 구동 가능한 라이브러리 제작을 통해 보다 사실적인 가상공간을 구축하고, 이를 이용해 다양한 시뮬레이터를 제작하는 데 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] 강원찬, "실시간 촉각처리를 위한 프락시 및 그래픽 디폼레이션 알고리즘," 朝鮮大學校 工學博士學位論文, 2003. 2.
- [2] C. Ziles, "Haptic Rendering with the Tool handle Haptic Interface," Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Mechanical Eng., 1995, May
- [3] D. C. Ruspini, et al., "The Haptic Display of Complex Graphical Environments," SIGGRAPH 97, Los Angeles, 1997.
- [4] 강원찬, 신석두, 김영동, "PC 기반의 6자유도 촉각장치의 개발," 대한전기학회 논문지, 제50D권, 제5호, pp.211 217, 2001.
- [5] 강원찬, 신석두, 김영동, "실의 장력을 이용한 역감장치," 대한전기학회 논문지, 제50P권, 제4호, pp. 192 198, 2001.
- [6] S. Fisher, M. C. Lin, "Fast Penetration for elastic bodies using deformed distance fields," IROS2001.
- [7] T. Yoshikawa, T. Okamoto, "Display of Operating Feel of Virtual Tools in Rigid Frictional Contact with Environment," 日本計測自動制御學會論文誌 Vol. 32, No. 5, pp. 741 749, 1996.
- [8] J. K. Salisbury, et al., "Constraint based God Object Method for haptic Display," Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and System, 1995.
- [9] M. B. Nielsen, S. Cotin, "Real time Volumetric Deformable Models for Surgery Simulation using Finite Elements and Condensation," Euro graphics '96, ISSN 1067 7055, pp. 57 66, 1996.
- [10] G. Picinbono, H. Delingette, N. Ayache, "Non linear Anisotropic Elasticity for Real Time Surgery Simulation," INRIA report de recherche No. 4028, October, 2000. <<http://www.inria.fr/rrrt/rr-4028.html>>
- [11] P. Rebours, "Real time deformation of solids," <<http://membres.lycos.fr/lagrandeporte/hyperion>>