

Graphic Deformation Algorithm for Haptic Interface System

姜園贊*·金成喆*·金桐玉*·金源培**·金永炯***

(Won-Chan Kang · Sung-Cheol Kim · Dong-Ok Kim · Won-Bae Kim · Young-Dong Kim)

Abstract - In this paper, we propose a new graphic deformation algorithm for haptic interface system. Our deformable model is based on non-linear elasticity, anisotropy behavior and the finite element method. Also we developed controller for high-speed communication. The proposed controller is based on the PCI/FPGA technology, which could progress the capability of the position calculating and the force data transmitting. The haptic system is composed of the 6DOF force display device, the high-speed controller, HIR library for 3D graphic deformation algorithm and the haptic rendering algorithm. The developed system will be used on constructing the dynamical virtual environment. We demonstrate the relevance of this approach for the real-time simulating deformations of elastic objects. To show the efficiency of our system, we programmed the simulation of force reflecting. As the result of experiment, we found that it has high stability and easy to control for deformable object than some other systems.

Key Words : Haptic, Graphic Rendering, Deformation Algorithm, Force-Reflecting.

1. 서 론

가상현실에서 보다 사실적인 그래픽 환경 구축에 많은 연구가 진척되고 있으며 특히 의사에게 수술 훈련을 시키고자 하는 목적의 다양한 수술훈련용 시뮬레이터가 연구되고 있다. 척추 추출훈련 같은 경우에는 손끝의 감각적인 훈련이 필요하므로 촉각장치를 도입해 임상훈련을 실현시키기는 것이 대단히 유용하다. 이에 따라 자연스런 가상환경 구축을 위해서 많은 연구가 진행되었지만 현재까지도 인간의 몸을 구성하는 각종 장기같은 비선형 탄성체의 변형을 시뮬레이션 하는 것이 매우 난해하였다. 그 이유는 자동으로 현실적인 변형을 만들기 위한 정확한 물리 시뮬레이션을 위해서는 고성능의 컴퓨터 하드웨어와 많은 계산 시간을 필요로 하기 때문이다[1,2]. 그러나 그래픽 가속 기능을 지원하는 그래픽카드와 H/W의 성능 향상에 따라 워크스테이션급에서나 가능하던 작업을 PC급에서도 가능하게 되었다. 변형기술은 변형이 가능한 물체를 실시간으로 변형하는 것으로 매우 능률적인 동시에 물리적, 시각적 측면에서 현실적이어야 한다. 이를 가능하도록 가상물체를 변형이 쉬운 형태의 재료 모델로 놓고 변형하는 연구가 다양하게 연구되어 왔다. 즉, Spring-Mass Model[3,4], Free Form Deformation[5], Linear Elasticity with Finite Volume Method[6] 그리고 다양한 유한요소법[7,8] 등이 있다. 본 논문에서는 개선된 방법으로 선형 탄성도

델의 결점을 보완한 비선형 탄성과 유한요소법에 기초를 둔 새로운 실시간으로 변형 가능한 모델을 제안하고 실험하였다. 또한 가상세계의 반력(Reflecting force)을 PC에서 실시간으로 제공하도록 개발된 PCI 제어기를 통해 실시간 가상환경 제어를 하였다. 이는 촉각장치가 여러 개의 모터와 여러 개의 엔코더로 구성되어 있으므로 동시에 고속처리가 가능해야 하기 때문이다. 이를 위해 개발한 고속 제어기는 이들 장치들의 실시간 제어를 위하여 다중 D/A 출력과 여러 기능을 확장해 사용하도록 FPGA 설계된 엔코더 카운터, 인터럽트 타이머(1[kHz]이상)를 지원하며 A/D 입력도 지원한다. 특히 촉각장치의 제어에 있어서 인간이 느낄 수 있는 최대분해능인 1[kHz]를 만족하도록 시스템을 구성해야 한다. 1[kHz]의 인터럽트 타이밍에 맞춰 촉각장치의 끝점을 얻고, 그래픽 좌표계로 옮겨 충돌 검출을 하고, 매 주기마다 현재 상태를 그대로 스테레오 그래픽으로 출력하고, 다시 반향 될 힘을 계산하여 다음 스텝으로 옮기기 전에 출력해야 하기 때문이다. 하지만 본 연구결과 그래픽 모델이 20,000개 이내의 폴리곤으로 구성된 모델이라면 1[kHz]인터럽트 타임 내의 처리가 가능하였으며 고해상도 Direct X를 지원하는 비디오 카드가 장착되었다면 CPU의 계산을 분담하여 충분히 구현가능 함이 PCI제어기를 장착한 시스템의 실험을 통해 증명되었다.

PC에서 생성한 가상물체에 여러 가지 재질정보를 부여하고, 이 재질정보를 바탕으로 충돌검출 및 힘 처리를 수행하므로 일반적으로 2대의 PC를 그래픽 제어용, 디바이스제어용으로 분리하여 실현한 연구가 있었다[9]. 본 연구에서 제안하는 고속제어기는 6자유도 촉각장치, 그래픽 변형 알고리즘으로 구성된 가상현실 시스템을 이용해 다양한 그래픽 변형 실험과 안정된 출력특성의 고찰로 PC베이스 개인형 가상현실 시스템 개발에 기여를 할 것으로 생각되며 다양한 응용을 기대할 수 있다.

* 正 會 員 : 朝鮮大 大學院 制御計測工學科

** 正 會 員 : 松源大 電氣科 助教授 · 工博

*** 正 會 員 : 朝鮮大 情報 · 制御計測工學科 教授 · 工碩

接受日字 : 2002年 7月 16日

最終完了 : 2002年 7月 30日

2. 시스템 설계

2.1 6자유도 촉각장치

제작된 촉각장치는 액츄에이터로 맥슨 DC서보 모터를 사용하였고, 링크는 패럴렐 구조로 안정성 및 토크를 증가 시켰고, 와이어 증폭에 의한 구동방식으로 토크손실이 최소화 되도록 제작하였다[10,11,12]. 와이어 증폭 방식은 정·역의 급속한 변환시 진동을 흡수하며 일정한 와이어 궤적을 따라 모터가 움직이므로 마찰손 및 백러쉬 해결에 가장 알맞은 구조였다. 힘의 제어를 위해 자체 제작한 제어기를 사용하여 최대 8[N]의 힘을 제시할 수 있도록 설계하였다. 이 힘은 완전 구속을 제시하기에는 적은 양이지만 가상물체의 느낌을 제시하는 데는 충분하다. 그림 1은 시험 제작한 촉각장치의 사진이다.

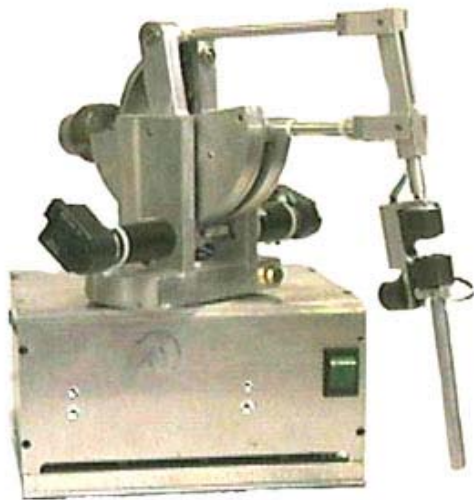


그림 1. 6자유도 촉각장치
Fig. 1. 6DOF haptic interface

2.2 PCI형 제어기

제어기는 ISA 포트 대신 PCI 포트를 사용하므로 기존 제어기에 비해 15배 이상의 속도 향상을 가져왔다. ISA 제어기는 8255를 통해 D/A칩 등에 제어신호와 데이터를 전달하므로 데이터 처리중에는 다른 작업에 지연이 발생하였고, 이로 인한 지연이 실시간 처리에 지장을 주었다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위해 통신속도가 비교적 빠른 방식인 PCI, USB, IEEE 1394등의 방법을 제안하였고, 이를 이용한 제어기의 개발이 대두되었다. 본 연구에서는 안정성이 증명된 PCI 브리지 칩인 PLX 9050(PLX Tech. Co.)을 이용하여 PCI 제어기를 구현하였고, 주변장치와 인터페이스를 통해 실시간 처리를 구현하였다.

제어기는 촉각장치의 출력을 위한 12비트 분해능 D/A출력 칩인 AD664(Analog Device Co.)를 2개 부착하여 8채널로 구현하고, 포텐션미터 사용을 위한 A/D입력은 AD1674(Analog Device Co.)를 이용 2채널로 설계하였다. 이들 칩에 기준전압을 공급하고자 DC-DC컨버터 PPD10-5-1515(Nemic Lambda

Co.)를 사용하여 불안정한 전압을 안정시키고자 앞단에 LM2576T (National Semiconductor Co.)를 사용하여 기준전압을 안정시켰다. 32비트 8채널의 엔코더 카운터를 실현시키고자 FPGA로 엔코더 카운터 전용 칩을 이용하였는데 이는 보드의 크기를 줄이고 여러 가지 카운터 기능인 Z(I)상 검출, 채배, 기타 기능 등을 쉽게 구현할 수 있기 때문이다.

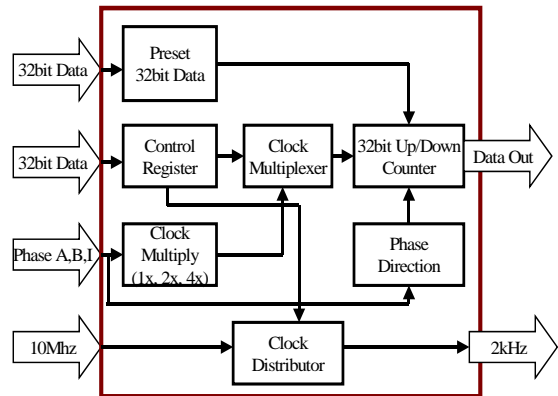


그림 2. FPGA의 블럭선도
Fig. 2 Block diagram of FPGA

FPGA의 세부적인 블록의 구성은 그림 2와 같고, 컴파일된 블록의 게이트 수와 속도를 고려하여 XC4006E (Xilinx Co.)를 사용하였다. FPGA 작업은 XILINX 파운데이션 시리즈를 이용하여 VHDL로 코딩하고, 톨라이팅은 일반적인 XACT툴을 사용하는 대신 ALL-11 톨라이터를 이용 Atmel사의 Serial EPROM인 AT17C256에 직접 프로그램을 입력하는 과정으로 수행하였다. FPGA의 구성은 Preset Register, Control Register, Clock Multiply, Clock Multiplexer, Phase Direction, Up/Down Counter, Clock Distributor 등의 7개 부분으로 구성하였으며 사용자에게 의해 VHDL 코딩을 전환함으로써 여러 가지 기능의 추가와 삭제 등이 가능해졌다.

2.3. 시스템 인터페이스

그림 3의 시스템 구성도에서는 윈도우즈 환경에서 촉각장치를 안정하게 동작시키도록 우선 순위가 높은 가상장치 드라이버(VxD)를 제작하고, 3D 그래픽 출력은 프로젝터에 투사하는 형식을 취하였다. 드라이버는 전류제어기법이 이용되었고, 위치는 엔코더 6개의 출력을 받아 가상장치 드라이버에서 엔드포인트의 위치를 실시간 계산하고, 힘처리 알고리즘을 거쳐 계산된 힘이 다시 디바이스로 피드백 하게되는데 기존 시스템에 비해 PCI 제어기를 사용함으로써 장치들 간의 통신 지연에 의한 오동작이 줄어 안정성이 크게 향상되었다.

촉각장치로 힘을 출력하기 위해서는 제어기에서 부하에 흘릴 전류 값을 전압형태로 출력하므로 이 전압 신호를 받아 모터에 흐르는 전류를 제어하는 드라이버 회로가 필요하다. 전류를 제어하는 칩은 기존에 사용하던 LF356과 TIP41C의 조합방법은 정·역 전환시 히스테리시스 현상으로 전압-전류 제어의 선형특성이 확보되지 못하였다. 따라서 이를 개선한 LM324(National Semiconductor Co.)와 D526(Fairchild Co.) 칩의 조합으로 전환한 결과 발열현상 및 불안정 영역을 극복

해 $-1.2[A] \sim 1.2[A]$ 까지의 선형 영역에서 안정된 전압-전류 제어를 실현함으로써 왜란 및 토크개선에 우수한 특성을 나타내었다.

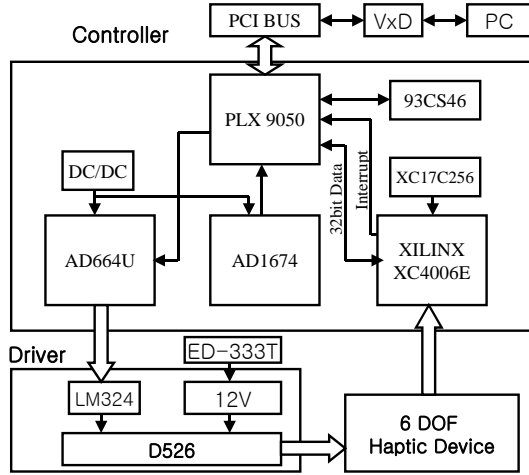


그림 3. 시스템의 블록선도
Fig. 3 Block diagram of system

3. 그래픽 디포메이션

변형 모델링을 작업하는 것은 컴퓨터그래픽을 포함하여 기하학적 모델링, 컴퓨터 비전, 수학적 계산, 의학, 공학과 같은 많은 분야를 연구해야 한다. 특히 물리기반 모델링 기술과 신경이나 근육(Soft tissue)같은 부드러운 조직과 그 밖의 높은 비선형성 물질의 모델링 변형을 위한 역학변형에 초점을 두어 비선형 탄성과 유한요소법에 기초를 둔 새로운 실시간 변형이 가능한 모델을 제안한다. 유한요소법을 통해 선형 탄성 이론과 그것의 실행을 소개하고 특히 작은변위의 전제가 지속되지 않을 때 발생하는 문제의 해결에 주안점을 두었다. 이 문제를 St. Venant-Kirchhoff 탄성과 비압축성 제약에 의해 해결하고자 한다[7,8].

선형 탄성모델에서 단지 작은 변형과 변형을 발생을 실시간 응용프로그램에서 성공적으로 사용한 예도 있다. Spring-Mass 모델을 이용한 시스템은 단순한 이유만으로도 모델의 변형에 널리 이용되었다[3,4]. 그러나 강성 파라미터와 모델링 비압축성을 결정하는 어려움 등이 실시간 구현에는 많은 제약이 따른다. 이에 비해 유한요소법은 연속체 모델의 이산화를 위한 정밀하고 다양한 효과를 처리할 수 있는 기술이므로 비선형 탄력성을 모델링 하기에 적합하다. 물론 자주 응용프로그램에 응용되고 있기는 하지만 수학적인 복잡성으로 인한 계산 때문에 컴퓨터그래픽과 애니메이션 등으로 제한되고 있다.

3.1 재료모델

탄성 재료의 속성은 응력과 변형률간의 구성법칙사이의 관계로 정의된다. 생체실험으로부터 얻은 응력-변형률데이터를 기초로 제안한 몇몇 모델과 생물역학으로 유기적인 조직의 속성이 활발하게 연구되어지고 있다. 그러나 측정기술의 한계로 인해 그 모델들이 엄밀하게 유효하다고 할 수는 없으나,

본 연구에서는 세 개의 서로 다른 다양한 물질적인 모델을 함축하여 나열한다. 첫째 모델은 Mooney Rivlin 재료[13,14]이다.

$$\psi(F) = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_2 - 3) + a(I_3 - 1) - (C_1 + 2C_2 + a)\ln I_3 \quad (1)$$

여기서, C_1 과 C_2 는 경직성을 제어하는 상수, a 는 압축성을 결정하는 상수이다. 이 모델은 상대적인 선형 응력-변형률 커브를 보인다. 더 높은 비선형성에 의해 종종 생물학적인 조직의 특징이 나타난다. 이러한 재료가 늘어날 때 극단적으로 경직성이 증가한다. 본 연구에서 사용하는 두 번째 모델인 Veronda재료[14,15]는 지수함수를 가지고 이 비선형성을 나타낸다.

$$\Psi(F) = 2\alpha \exp(I_1 - 3) + \alpha\beta(I_2 - 3) + \alpha I_3 - \alpha \ln I_3 \quad (2)$$

여기서, α 는 전체적인 경직성이고, β 는 경직성 증가율을 제어한다. 비선형 외에 많은 조직은 그들의 미세한 섬유 구조 때문에 이방성을 보인다. 따라서 여기서는 섬유 보강 모델을 사용한다.

$$\lambda_f^2 = f^T C f \quad (3)$$

$$\Psi(F) = \alpha \exp(\beta(\lambda_f^2 - 1)) - \alpha\beta\lambda_f^2 \quad (4)$$

여기에 비선형성을 추가하면 λ_f 는 섬유방향 f 를 따르는 섬유 신축성, α 와 β 는 Veronda 모델과 유사한 물질적인 상수이다. 단독으로 그것을 사용하는 것보다 보정을 위해 Veronda나 Mooney Rivlin 재료 위에 이 모델을 첨가한다. 사용하는 모든 모델에서 에너지는 I_3 가 0에 대한 볼륨 압축율을 무한대로 진행시킬 수 있다. 이것은 요소 반전 현상을 막는 필수적인 속성이다. 또한 위의 모델은 거의 압축할 수 없도록 실행될 수도 있다.

3.2 유한 요소 모델링

앞에서 소개된 유한 요소 이론을 가지고 St. Venant-Kirchhoff 탄성 모델을 나타내면 식 (5)와 같다.

$$W(T_i) = \sum_{j,k} U_j^T [B_{jk}^{T_i}] U_k + \sum_{j,k,l} (U_j C_{jkl}^{T_i})(U_k \cdot U_l) + \sum_{j,k,l,m} D_{jklm}^{T_i} (U_j \cdot U_k)(U_l \cdot U_m) \quad (5)$$

여기서, 식 $B_{jk}^{T_i}$, $C_{jkl}^{T_i}$, $D_{jklm}^{T_i}$ 는 강성 파라미터라고 부르고, 다음과 같이 주어진다. $B_{jk}^{T_i}$ 는 (3x3) 대칭 행렬(어떤 것은 에너지의 선형 성분에 해당한다)로

$$B_{jk}^{T_i} = \frac{\lambda}{2} (\alpha_j \otimes \alpha_k) + \frac{\mu}{2} [(\alpha_k \otimes \alpha_j) + (\alpha_j \cdot \alpha_k) Id_3] + \left(\frac{\lambda - \mu}{2} + \mu^L - \mu \right) (\alpha_0 \otimes \alpha_0) (\alpha_j \otimes \alpha_k) (\alpha_0 \otimes \alpha_0) \quad (6)$$

단, $C_{jkl}^{T_i}$ 는 벡터로 다음과 같다.

$$C_{jkl}^{T_i} = \frac{\lambda}{2} \alpha_j (\alpha_k \cdot \alpha_l) + \frac{\mu}{2} [\alpha_l (\alpha_j \cdot \alpha_k) + \alpha_k (\alpha_j \cdot \alpha_l)] \quad (7)$$

$$+ \left(\frac{\lambda^L - \lambda}{2} + \mu^L - \mu \right) (a_0 \otimes a_0) (\alpha_j \otimes \alpha_k) (a_0 \otimes a_0) \alpha_l$$

그리고, $D_{ijkl}^{T_i}$ 는 스칼라로서 다음과 같다.

$$D_{jklm}^{T_i} = \frac{\lambda}{8} (\alpha_j \cdot \alpha_k) (\alpha_l \cdot \alpha_m) + \frac{\mu}{4} (\alpha_j \cdot \alpha_m) (\alpha_k \cdot \alpha_l) \quad (8)$$

$$+ \left(\frac{\lambda^L - \lambda}{8} + \frac{\mu^L - \mu}{4} \right) (a_0 \cdot \alpha_j) (a_0 \cdot \alpha_k) (a_0 \cdot \alpha_l) (a_0 \cdot \alpha_m)$$

마지막 식은 재료의 이방성 행동을 나타내는 각각의 강성 파라미터이다. 이 동 U_p 에 대해서 탄성 에너지 $W(T_i)$ 로 유도된 4면체 내부의 각 P_p 점에 적용된 힘을 얻으면 식 (9)와 같다.

$$F^P(T_i) = 2 \sum_j [B_{Pj}^{T_i}] U_j + \sum_{j,k} 2 (U_k \otimes U_j) C_{jkl}^{T_i} \quad (9)$$

$$+ (U_j \cdot U_k) C_{jkl}^{T_i} + 4 \sum_{j,k,l} D_{ijkl}^{T_i} U_i U_k U_l$$

탄성 힘을 나타내는 $F_l^P(T_i)$ 의 첫째 식은 선형 탄성 경우와 일치하고, 다음 부분은 큰 이동을 위한 Tensor-Mass 모델의 일반화를 이루어 객체변형에 이용한다.

3.3 가상환경 모델링 알고리즘

힘 계산 알고리즘은 프락시(proxy)와 God-Object 방법에 의해 계산된다[11,12,16]. 힘 계산을 위해서 충돌 검출이 선행되어야 하는데 기존에 제시된 방법인 바운딩 스피어(Bounding Sphere)방법은 빠른 검출은 이루어지나 충돌점의 정확한 위치는 검출하지 못하여 OBB(Oriented Bounding Box) Tree를 사용하여 정확한 충돌위치를 계산하는 새로운 알고리즘인 PQP(A Proximity Query Package)알고리즘을 적용하여 PC급에서 충돌위치를 실시간으로 검출하여 안정된 힘 처리를 하도록 개선되었다.

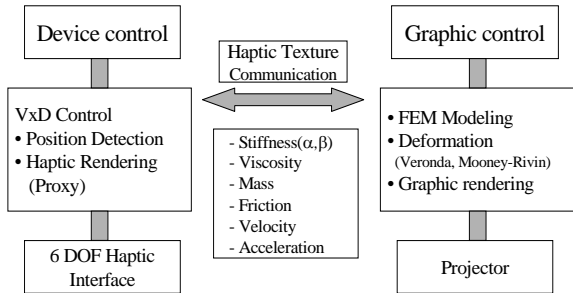
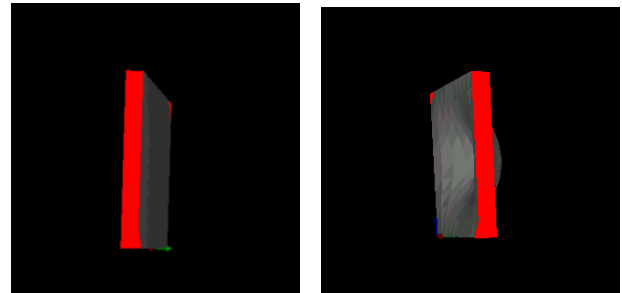


그림 4. 알고리즘
Fig. 4 Algorithm

그림 4는 전체적인 알고리즘의 흐름을 나타내는데, 시뮬레이터는 크게 3개 영역으로 구성되었고, 디바이스를 제어하는 부분은 가상장치 드라이버에서 관리한다. 여기서는 위치검출과 충돌 검출 알고리즘에 의해 계산된 힘은 디바이스에서 출력할 힘으로 변환해 디바이스를 관리한다. 그래픽 제어부에서는 얻어진 가상점과 가상객체를 유한요소법에 의한 모델링을 통해 자연스러운 그래픽을 구현하고 이를 프로젝터에 30[Hz]간격으로 투사한다. 두 제어기를 관리하는 중앙제어부에서는 양쪽에서 필요한 각종 재질정보(강성, 점성, 질량, 등)를 관리하여 자연스러운 그래픽 묘사와 즉각렌더링을 구현하도록 한다.

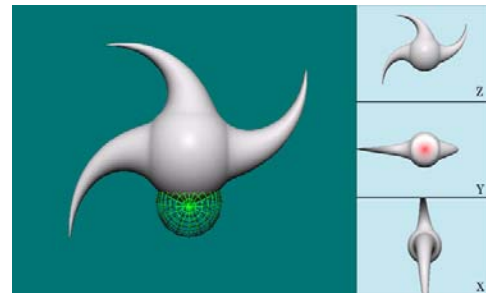
3.4 그래픽 변형

그림 5는 유한요소법에 의한 가상객체의 실시간 변형을 보여주는 그림으로 (a)는 변형전의 평평한 가상객체이고, (b)는 적당한 힘을 주어 실시간 변형한 예를 나타낸 것이다.

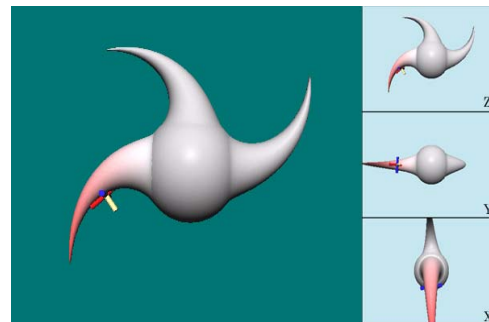


(a) 변형전 (b) 변형후

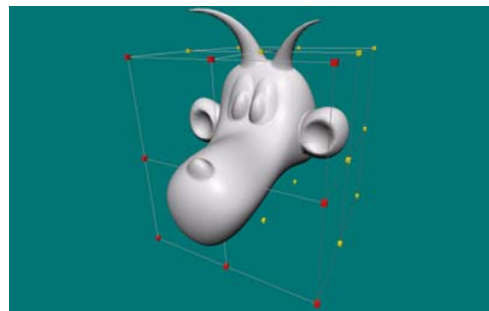
그림 5. 유한요소법에 의한 그래픽 변형
Fig. 5 Graphic deformation with FEM



(a) 작업영역 선택



(b) 변형의 강도



(c) 완성된 가상객체

그림 6. 그래픽 변형

Fig. 6 Graphic deformation

그림 6은 촉각장치를 이용해 3차원 가상객체를 생성/편집하는 과정을 보여준다. (a)는 변형을 발생시킬 영역을 선택하고, (b)는 선택된 영역을 신장시켜 새로운 형태를 만드는 과정이다. (c)는 원하는 3차원 가상객체를 완성한 그림이다.

3.5 출력 특성 실험

가상물체의 3차원 그래픽 구현을 위해 Direct X 그래픽 라이브러리를 사용하였으며, 그래픽 시뮬레이션은 Visual C++ v6.0으로 작성하였다. 본 연구에서는 폴리곤의 수를 20,000개 이내로 제한하였다. 이는 PC를 가지고 계산을 수행할 때 1[kHz]의 햅틱 렌더링 계산에 대응시키기 위해서 제한을 해야했다. 그림 7은 가상환경 내에 위장 모양의 그래픽을 만들고 변형 및 힘반영 실험을 하는 시뮬레이션 화면이다. 사용자는 촉각장치 끝을 잡고(그림의 작은 원) 가상 위장을 인터페이스 한다.

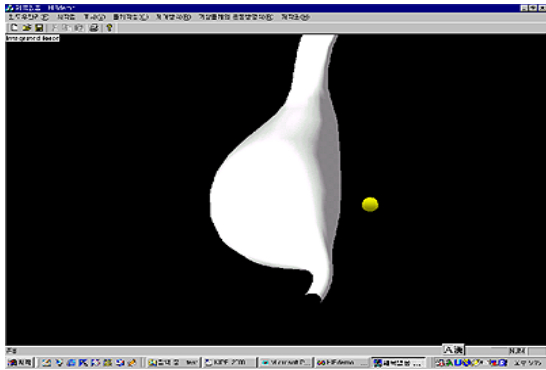


그림 7. 실험 프로그램
Fig. 7 Program of experiment

그림 8은 먼저 폴리곤 형태의 객체를 로딩하여, FEM 모델링하기 위한 다이얼로그 박스이다. 텍스처 파일을 지정하여 비주얼한 질감을 표현하고 입력된 모델을 확장자 *.nff인 전용 파일 포맷형태로 지정된 파라미터에 따라 계산과정을 거쳐 보관을 하고 이를 변형을 하는 초기 구동화면이다.

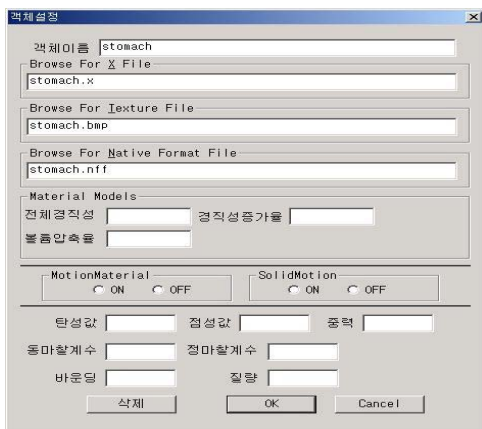


그림 8. 파라미터 입력용 다이얼로그 박스
Fig. 8 Dialog box for parameter input

가상객체의 재질감 반향은 LeCroy 오실로스코프 9354AM으로 D/A의 전압 출력을 검출하였다. 그림 9는 PCI제어기를 사용할 때의 출력을 나타낸 것으로 X,Y,Z축으로의 힘 분배와 출력의 안정성이 있는 것을 증명해 주고 있다. 1번 채널은 X축, 2번 채널은 Y축, 3번 채널은 Z축으로 Y축에 대한 힘이 크게 나타나고 있다. 여기서 그림의 격자는 각 10[V]로 1번 채널은 약 7[V]가 출력되고 있다. 실험한 가상객체는 점성이 약간 있는 딱딱한 물체(강성: 10[N/m], 점성: 2[N/m/s], 동마찰계수: 1, 정 마찰계수: 1, 마운딩: 0.1, 질량: 200g)로 나타내었기 때문에 중간 이후의 출력은 Y축 출력이 큰 가상 벽과 같은 효과를 나타낸다. 여기에 점성 값을 크게 하면 다른 느낌을 검출할 수 있다.

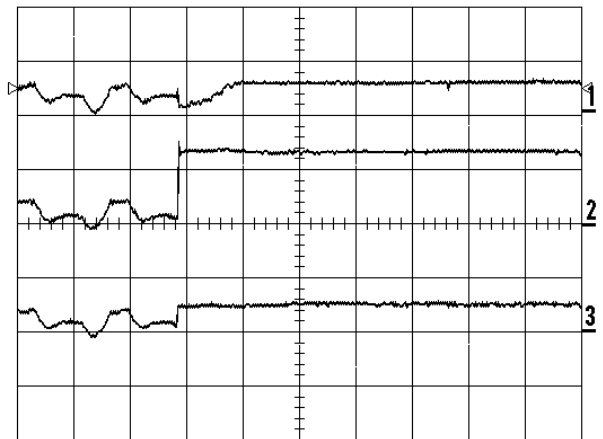


그림 9. 제어기의 출력 특성
Fig. 9 Output characteristic of controller

4. 결 론

본 논문에서는 기존 장치의 출력속도 및 안정성을 향상시키기 위해 PCI 제어기를 적용해 하드웨어적인 안정성을 향상시켜 실시간 처리할 수 있는 가상객체의 크기를 20,000 폴리곤 모델까지 향상 시켰고, 아울러 의료용 시뮬레이터를 위한 변형 가능한 모델의 제시를 통해 실시간 그래픽 변형이 가능하였다. 이는 Spring-Mass 모델이 갖는 특성상, 변형 및 복원에서 계산량이 증가됨으로 수만개의 폴리곤으로 이루어진 가상객체를 모델링하는 것은 그만큼 계산 시간이 증가함으로 PC에서 처리하기는 힘들었다. 따라서 본 연구에서 제시한 변형 가능한 재료모델은 탄성, 점성, 질량 외 다양한 동역학적 요소를 추가할 수 있고, 아울러 가상세계에서 가상객체가 실시간 변형이 가능하도록 유한요소법을 적용하여 계산량 감소를 통해 PC형 가상현실 시스템의 개발이 가능하였다.

앞으로 PCI제어기에 실제 인간이 느끼는 감각을 데이터베이스화하여 여러 시뮬레이터 즉, 수술이나 원격제어, 스포츠 시뮬레이터, 재활기구 등에 응용함으로써 보다 완벽한 가상세계의 느낌을 사용자에게 제공할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 조선대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] T. Massie and J. K. Salisbury, "The PHANToM haptic interface A device for probing virtual objects", Proc. of the ASME Winter Annual Meeting. II, November, 1994.

[2] D. C. Ruspini, K. Krasimir, K. Oussama, "Haptic Interaction in Virtual Environments", Proc. of the IROS97, pp. 128-133, 1997.

[3] F. B. Casson and C. Laugier, "Modeling the Dynamics of a Human Liver for a Minimally Invasive Surgery Simulator", MICCAI'99, Cambridge UK, 1999.

[4] D. Lamy and C. Chaillou, "Design, Implementation and Evaluation of an Haptic Interface for Surgical Gestures Training", Int. Scientific Workshop on Virtual Reality and Prototyping, pp. 107-116, Laval, France, June, 1999.

[5] C. Basdogan, et al, "Force Interaction in Laparoscopic Simulation: Haptic Rendering Soft Tissues", Medicine Meets Virtual Reality (MMVR'6), pp. 28-31, San Diego CA, January, 1998.

[6] G. Debunne, M. Desbrun, A. Barr, and M. P. Cani, "Interactive multiresolution animation of deformable models", 10th Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation (CAS'99), September, 1999.

[7] M. B. Nielsen and S. Cotin, "Real-time Volumetric Deformable Models for Surgery Simulation using Finite Elements and Condensation", Eurographics '96. ISSN 1067- 7055, pp. 57-66. Blackwell Publishers, 1996.

[8] S. Cotin, H. Delingette, and N. Ayache, "Realtime elastic deformations of soft tissues for surgery simulation", IEEE Transactions On Visualization and Computer Graphics, Vol. 5, No. 1, pp. 62-73, Jan-Mar, 1999.

[9] S. Kim, W. Somsak, M. Ishii, and M. Sato, "Personal VR system for rehabilitation to hand movement." ICAT 98, pp. 102-108, Tokyo, 1998.

[10] 윤정원, 유제하, "병렬구조를 이용한 6자유도 역감제시 장치의 제어 및 평가", 제어자동화시스템공학 논문지, 제7권, 제2호, pp. 160-167, 2001.

[11] 강원찬, 신석두, 김영동, "PC 기반의 6자유도 촉각장치의 개발", 대한전기학회논문지, 제50D권, 제5호, pp.211-217, 2001.

[12] 강원찬, 신석두, 김영동, "실의 장력을 이용한 역감장치", 대한전기학회논문지, 제50P권, 제4호, pp. 192-198, 2001.

[13] P. G. Ciarlet, "Mathematical Elasticity", North-Holland, 1998.

[14] 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/tr-4028.html>>

[15] D. P. Pioletti, L. R. Rakotomanana, J. F. Benvenuti, P. F. Leyvraz, "Viscoelastic constitutive law in large deformations: application to human knee ligaments and tendons", Journal of Biomechanics Vol. 31 pp. 753-757, 1998.

[16] C. Zilles, J. K. Salisbury, "A constraint based god-object method for haptic display," Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and System, 1995.

저 자 소 개



강원찬 (姜園贊)

1970년 12월 23일생. 1993년 조선대학교 공대 제어계측공학과 졸업(학사). 2000년 동대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2000년~현재 동 대학원 제어계측공학과 박사과정
 Tel : 062)230-7764
 Fax : 062)230-7106
 E-mail : kwc89@shinbiro.com



김성철 (金成喆)

1971년 10월 19일생. 1993년 조선대학교 공대 제어계측공학과 졸업(학사). 1995년 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 2002 동 대학원 제어계측공학과 졸업(박사)
 Tel : 062)230-7766
 Fax : 062)224-1987
 E-mail : ksc1019@shinbiro.com



김동옥 (金桐玉)

1971년 5월 1일생. 1994년 조선대학교 공대 제어계측공학과 졸업(학사). 1996년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2002 동 대학원 동 학과 졸업(박사)
 Tel : 062)230-7764
 Fax : 062)230-7106
 E-mail : dongok7@netian.com



김원배 (金源培)

1958년 7월 15일생. 1982년 조선대학교(학사). 1989년 동 대학원 (석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993~현재 송원대학 전기과 교수
 Tel : 062)360-5831
 Fax : 062) 360-5831
 E-mail : mokit@songwon.ac.kr



김영동 (金永炯)

1944년 11월 28일생. 1968년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업(학사). 1984년 명지대학교 대학원 졸업(석사). 1993년 일본 애지 공업대학교 객원 연구원, 현재 조선대학교 전자정보공과대학 정보제어계측공학과 교수
 Tel : 062)230-7032
 Fax : 062)230-7032
 E-mail : ydkim@mail.chosun.ac.kr