

촉각장치 구동용 고속 제어기

강원찬*, 김동옥[†], 신석두^{**}, 김영동^{***}

*조선대학교 대학원 제어계측공학과

**조선이공대학 전기과

***조선대학교 전기·제어계측공학부

High Speed Controller for Haptic System

Won-Chan Kang*, Dong-Ok Kim*, Suck-Doo Shin[†], Young-Dong Kim^{***}

*Dept. of Control & Instrumentation Eng., Chosun University

[†]Dept. of Electrical Eng., Chosun College of Science & Technology

^{***}Division of Electrical & Control and Instrumentation Eng., Chosun University

ABSTRACT

In this paper, We have developed the high-speed controller for haptic control. The proposed controller is based on the PCI/FPGA technology, which can calculate the real position and transmit the force data to device rapidly. The haptic system is composed of 6DOF force display device, high-speed controller. The developed system will be used on constructing the dynamical virtual environment. To show the efficiency of our system, we designed simulation program of force-reflecting. As the result of the experiment, we found that the controller has much higher resolution than some other controllers. It is so efficient in a 1 PC-based system with 1[kHz] haptic interrupt cycle.

1. 서론

현재까지 개발된 촉각장치들중 인간에게 가상세계의 반력을 실시간으로 제공하는 전용 제어기가 개발되지 않았다. 이는 표준화된 장치의 미개발과 이의 제어를 위한 방법도 여러 가지로 제안되고 있기 때문이다. 하지만 이들 장치의 공통점은 여러 개의 모터와 여러 개의 엔코더를 동시에 고속으로 처리 가능해야 하며 궁극적으로는 실시간 처리를 이뤄야 하기 때문이다^[1].

본 논문에서 제안되는 고속 제어기는 이들 장치

들의 실시간 제어를 위하여 다중 D/A 출력과 엔코더 카운터, 인터럽트 타이머 1[kHz]이상을 지원하여, A/D 입력도 지원하여야 한다^[2]. 그러므로 이들 기능을 지원할 실시간 촉각장치 제어기가 개발되어야 했다. 기존에 사용하던 방법중 하나는 D/A, A/D, 엔코더 카운터 보드 등을 각각 구매하여 프로그램 상에서 결합하는 방법과 통합 제어기를 개발하여 사용하는 방법 등이 있으나 장치마다 다른 제어방식과 채널수의 제한으로 다른 장치에 응용이 제한되고, 특히 엔코더 카운터는 전용칩인 7166을 사용하여 부피를 늘리고 다양한 기능을 구현하는데 제한을 주었다. 따라서 본 연구에서는 PCI 브리지 칩을 이용 ISA방식의 한계속도를 극복하고, 엔코더 카운터에 여러 기능을 확장해 사용하도록 FPGA기법을 도입 다양한 기능을 갖는 제어기를 개발하였다. 이는 인간이 감지하는 촉각이 1[kHz]까지 분해가 가능하므로 촉각처리에서는 이를 만족하도록 고속의 연산이 필요하다^[3].

본 연구는 PC에서 생성한 가상물체에 여러 가지 재질정보를 부여하고, 이 재질정보를 바탕으로 충돌검출 및 힘 처리를 수행하므로 일반적으로 2대의 PC를 그래픽 제어용, 디바이스제어용으로 분리하여 실현하였지만 개발된 제어기를 사용하므로 PC의 입/출력 속도 개선 및 안정되고 빠른 연산처리로 PC 1대로 데스크탑 가상현실 장치의 구성이 가능해졌다^[4]. 이를 실제 HIR Lab에서 개발된 촉각장치에 적용하여 가상세계와의 실시간 인터페이스를 통해 제어기의 안정성을 증명한다.

2. 제어기 설계

개발된 제어기는 ISA 포트대신 PCI 포트를 사용하므로 기존 제어기에 비해 15배 이상의 속도 향상을 가져왔다. ISA 제어기는 8255를 통해 D/A칩등에 제어신호와 데이터를 전달하므로 데이터 처리중에는 다른 작업에 지연이 발생하였고, 이로 인한 딜레이가 실시간처리에 지장을 주었다. 따라서 이의 개선을 위해 통신속도가 비교적 빠른 방식인 PCI, USB등의 방법이 제안되고, 이를 이용한 제어기의 개발이 대두되었다. 본 연구에서는 현재까지 안정성이 증명된 PCI 브리지 칩인 PLX9050을 이용하여 간편하게 PCI 보드를 구현하고, 주변장치와의 인터페이스를 실현하였다. 제어기의 전체 구성도를 그림 1에 보이고 있다.

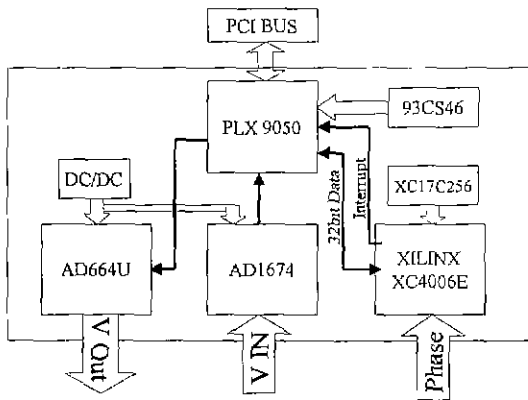


그림 1. 제어기의 구성도
Fig. 1 Diagram of Controller

그림 1에서 여러 측각장치에 응용 가능하도록 12비트 D/A출력 칩인 AD664를 2개 부착하여 8채널을 사용하고, 포텐션미터 사용을 위한 AD입력은 AD1674를 사용 2채널을 얻는다. 이들 칩에 기준전압을 공급하고자 레믹람다사의 DC-DC컨버터인 PPD10-5-1515를 사용하였다. 여기서 불안한 PC의 전압을 안정시키고자 앞단에 LM3276T를 사용하여 기준전압을 안정시켰다. 8채널의 엔코더 카운터를 실현시키고자 전용칩인 7166대신에 FPGA로 8채널 엔코더 카운터 전용 칩을 구현하여 이용하였다. 이는 보드의 크기를 줄이고, 여러 가지 카운터 기능 즉, Z(I)상검출, 채배, 기타기능 등을 쉽게 구현할 수 있기 때문이다.

FPGA의 세부적인 블록의 구성은 그림 2에 보인바와 같고, 컴파일 된 블록의 게이트 수와 속도를 고려하여 XC4006E를 사용하였다. FPGA 작업은 XILINX 파운데이션 시리즈를 이용하여 VHDL을 코딩하고, 롬라이팅은 일반적인 XACT툴을 사

용하는 대신 ALL-11 롬라이터를 이용 ATMEL사의 Serial EPROM인 AT17C256에 직접 프로그램을 써넣은 과정으로 수행되었다.

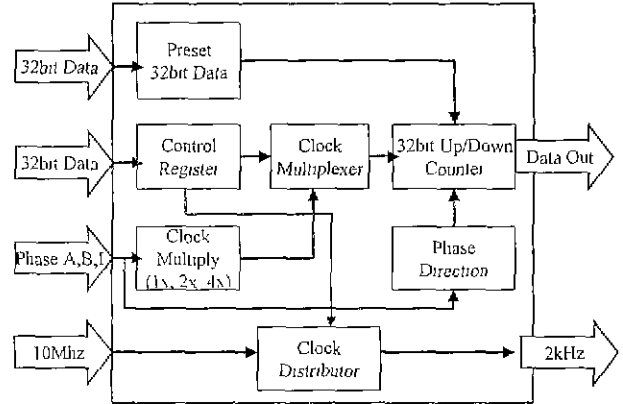


그림 2. FPGA의 구성도
Fig. 2 Diagram of FPGA

FPGA의 구성은 Preset Register, Control Register, Clock Multiply, Clock Multiplexer, Phase Direction, Un/Down Counter, Clock Distributor의 7가지부분으로 구성되어 있으며 사용자에게 의해 VHDL 코딩을 전환함으로써 여러 가지 기능의 추가와 삭제 등이 가능해졌다. 각 블록의 세부적인 기능은 표 1과 같다.

표 1. FPGA의 구성
Table 1 Composition of FPGA

블록	기능
Preset Register	카운터 초기값 데이터의 임시저장, 동작 시 Up/Down Counter Register로 입력
Control Register	채배기의 동작설정을 소프트웨어로 제어하기 위한 설정값 저장, 분주기 제어
Clock Multiply	엔코더의 신호를 1, 2, 4배 채배시켜 Clock Multiplexer 블록으로 전송
Clock Multiplexer	Control Register의 값을 참조하여 선택된 클럭을 Up/Down Counter register의 클럭으로 전송
Phase Direction	엔코더의 방향성분을 추출하여 카운트 시에 Up/Down을 결정하는 신호를 출력
Un/Down Counter	Clock Multiplexer 블록에서 출력된 클럭을 Phase Direction 블록의 방향신호를 참조하여 16bit 2채널을 동시 출력
Clock Distributor	10MHz OSC의 클럭을 받아 2kHz로 분주시켜 출력

3. 촉각장치와 인터페이스

고속 제어기의 안정적인 동작을 실험하기 위해 조선대학교 HIR Lab의 6자유도 촉각장치를 이용하여 힘 반향 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 촉각장치의 외형은 그림 3에 보인다.

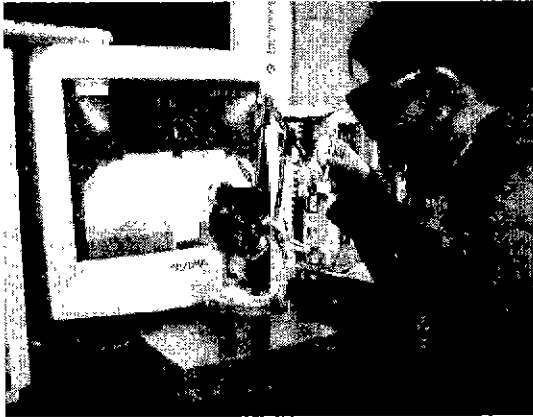


그림 3. 촉각 시스템의 외형
Fig. 3 Prototype of Haptic system

실험에 사용한 촉각장치는 와이어 증폭 메커니즘을 채용 최고 8N의 힘을 내는 6자유도 촉각장치로 15x15x18cm의 가상공간을 제시하며, 재질정보(점성, 탄성, 마찰력 등등)의 변화를 인간에게 각기 다른 반력으로 제공하는데, 반향력은 가상점의 운동에 의해 제시된 가상물체의 재질을 완벽하게 재현해 낸다^[5].

이때 힘 계산 알고리즘은 프락시(proxy)와 God-Object 방법에 의해 계산된다^[6]. 힘 계산을 위해서 충돌 검출이 선행되어야 하는데 기존에 제시된 방법인 바운딩 스피어(Bounding Sphere)방법은 빠른 검출을 이루었지만 충돌점의 정확한 위치는 검출하지 못하여 OBB Tree를 사용하여 정확한 충돌위치를 계산하는 새로운 알고리즘인 PQP알고리즘을 적용하여 PC급에서 충돌위치를 실시간으로 검출하여 안정된 힘 처리를 하도록 개선되었다.

가상환경의 시각정보를 사용자에게 전달하기 위해 여러 방법 중 Crystal Eyes를 사용해 스테레오 그래픽 출력을 하여 가상공간의 입체감 거리감을 사용자 스스로가 감지할 수 있도록 하였으며, 빠른 그래픽 렌더링을 위해 Direct X 그래픽 렌더링 알고리즘을 사용하였다.

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 TIP-41C의 조합방법을 개선하여 LM324와 D526칩의 조합으로 전환, 발열 현상 및 불안전영역을 극복한 안정된 전류 제어를 실현 왜란 및 토크개선에 우수한 특성을 나타냈다. 그림 4에 실험에 사용한 드라이버 회로를 보인다. 정방향 회전신호가 Forward 단자에 전압신호로 전달되면 LM324에서 브리지회로의 D526에 흐르는 부하전류를 조절하게 된다. 그리고 부하에 흐르는 전류를 센싱하여 다시 LM324로 피드백시켜 모터에 흐르는 전류를 일정하게 조절할수 있다. 그림4의 회로는 Maxon 10W 모터에 전류를 1.2[A]내에서 제어하도록 설계되었다.

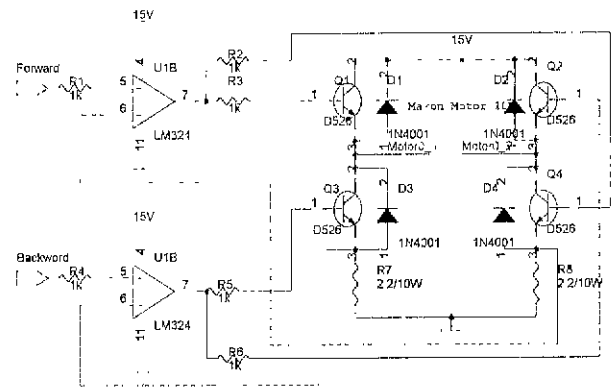


그림 4. 드라이버 회로도
Fig. 4 Circuit of driver

4. 실험

실험은 64M 메모리, 그래픽 카드는 FireGL 1000 Pro를 장착한 펜티엄 II-350 PC로 Windows 98환경에서 동작하도록 구성하였다. 가상객체는 디자인은 LightWave 3D에서 작업하여 Direct X가 읽어들일 수 있는 포맷인 X파일로 변환한 다음 Visual C++6.0에서 불러들여 응용프로그램 상에서 결합하였다.

촉각장치 제어기의 안정적인 동작을 수행하도록 Windows에서 우선 순위가 높은 VxD를 제작하고, 3D 그래픽 출력은 Crystal Eyes로 입체감을 주도록 하였다. 제작된 프로그램은 그림 5와 같다. 그림 5에서 가상객체는 5000폴리곤으로 구성된 X파일이고, 그림 6에서처럼 각각의 객체에 탄성, 점성, 동마찰계수, 정 마찰계수, 질량, 바운딩 특성 등을 부여하고, 스케일로 크기를 조정할 수 있으며, 충돌 검출에서는 여러 가지 충돌 검출 방법을 적용할 수 있도록 하였다. 추가로 운동하는 물체의 경우는 힘 가공 방식을 환경에서 설정할 수 있다. 특히 그래픽과 장치제어주기가 틀리므로 이들 차이를 보상하는 힘의 적분 알고리즘을 사용하도록 하였다. 제작

된 파일은 *.HIR 포맷으로 저장하여 테스트할 수 있다.

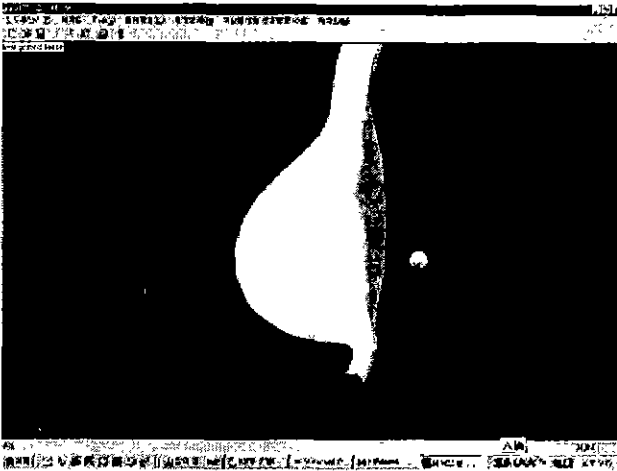


그림 5. 실험 프로그램

Fig. 5 program of experiment

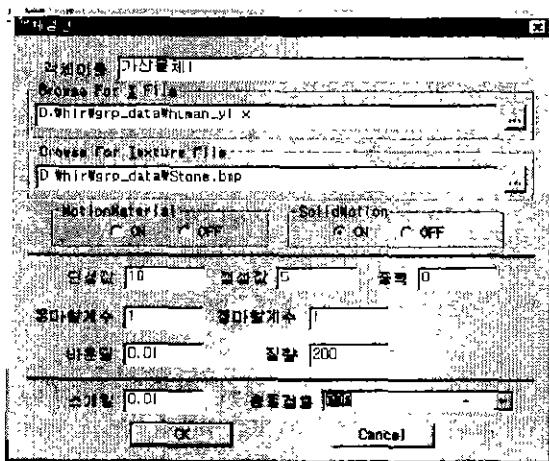


그림 6. 가상객체의 특성 설정

Fig.6 Characteristic setup of Virtual object

가상객체의 재질감 반향은 LeCroy 오실로스코프 9354AM으로 D/A의 전압 출력을 검출하였다. 그림 7은 기존에 제작된 ISA카드를 이용하여 출력을 얻은 것이다. 그림 7에서는 다른 프로그램과 동시에 실행할 때 1[kHz]에 동기를 하지 못해 불안정 영역이 나타남을 알 수 있다. 그림 8에서는 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. 실험한 가상객체는 점성이 약간 있는 딱딱한 물체(강성: 10[N/m], 점성: 2[N/m/s], 동 마찰계수: 1, 정 마찰계수: 1, 바운딩: 0.1, 질량: 200g)로 나타내었기 때문에 중간이후 출력은 가상 벽과 같

은 효과를 나타낸다. 여기에 점성 값을 크게 하면 다른 느낌을 검출할 수 있다.

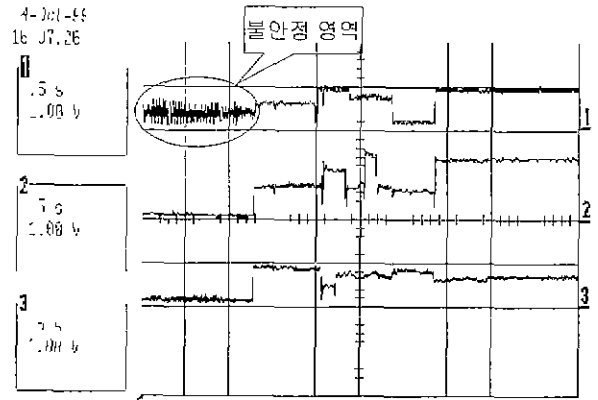


그림 7. ISA 카드를 사용할 때의 출력

Fig. 7 Output of using ISA card

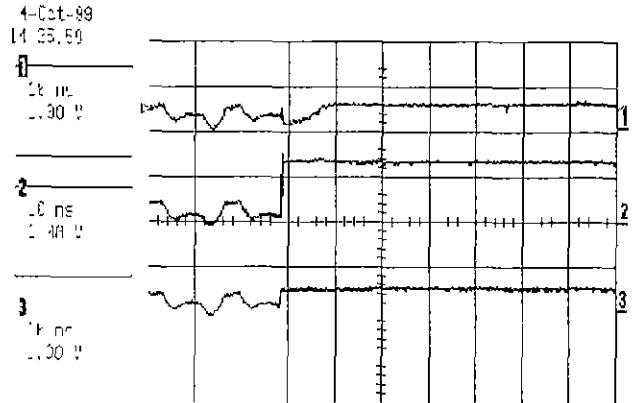


그림 8. PCI 카드 사용시의 출력

Fig. 8 Output of using PCI card

5. 결 론

촉각장치의 제어에 있어서 인간이 느낄 수 있는 최대해능인 1[kHz]를 만족하도록 시스템을 구성해야 한다. 하지만 PC급에서의 구현은 그래픽 처리와 장치제어를 동시에 구현하기는 매우 어렵다. 이는 게임과 달리 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 스템으로 옮기기 전에 출력해야 하기 때문이다. 하지만 현재까지의 연구결과 그래픽 모델이 20,000개 이내의 폴리곤으로 구성된 모델이라면 1[kHz] 인터럽트 타임 내의 처리가 가능하였으며 해상도를 640x 480에 Direct X를 지원하는 비디오 카드가 장착되었다면 CPU의 계산을 분담하

여 충분히 구현가능 함이 PCI제어기를 장착한 시스템의 실험을 통해 증명되었다.

앞으로는 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.

참 고 문 헌

- [1] Thomas Massie and J. Kenneth Salisbury, "The PHANToM haptic interface A device for probing virtual objects. In Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Tele operator Systems," *Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting*. IL, 1994, November.
- [2] R. E. Ellis, O. M. Ismael, and M. G. Lipsett, "Design and Evaluation of a High Performance Haptic Interface," *Robotica*. Vol 4, pp. 321-327, 1996.
- [3] Diego C. Ruspini, Krasimir K., Oussama K., "Haptic Interaction in Virtual Environments", Proc. of the *IROS97*, pp. 128-133, 1997.
- [4] S. Hasegawa, M. Ishii, M. Sato, Y. Koike, "Haptic Interface protocol for complex dynamic virtual world", *ICAT98*, pp. 83-89, 1998.
- [5] Thomas H. Massie, "Virtual Touch Through Point Interaction," *The 6th Int. Conf. on Artificial Reality and Tele-Existence*. JAPAN, pp. 19-38, 1996, November.
- [6] Zilles C., Salisbury J. K., "A constraint based god-object method for haptic display," Proc. of the *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and System*, 1995.
- [7] Craig Zille, "Haptic Rendering with the Toolhandle Haptic Interface," *Master's thesis Massachusetts Institute of Technology*, Dept. of Mechanical Eng, 1995, May