

단일 PC기반의 역감 및 촉감 제시 시스템 개발

Development of One PC-Based the Haptic Interface and Tactile Apparatus System

김동옥(Dong-Ok Kim)¹⁾ 류재민(Jae-Min Lyu)²⁾ 김영동(Young-Dong Kim)³⁾

요 약

본 논문에서는 초음파 모터 구동형 역감 장치의 말단에 전기 자극 촉각 장치를 부착함으로써 역감과 촉감을 동시에 제시할 수 있는 단일 PC 기반의 역감-촉감 제시 시스템을 제안한다. 인간이 가상 현실 공간에서 가상 물체와 접촉했을 때 동시에 역감과 촉감 정보를 제시받으면 역감 또는 촉감의 한가지 감각만을 제시받은 것 보다 더 큰 몰입감을 느끼게 된다. 또한 다양한 가상 물체를 복잡한 알고리즘 없이 쉽게 표현 또는 인식할 수 있다. 예를 들자면, 사용자가 역감장치를 사용하면 딱딱한 가상 벽과 탄성이 높은 고무공에 대한 차이점을 확실하게 구별할 수는 있으나, 송곳과 같은 날카로운 가상 물체의 경우에는 단지 딱딱함만을 제시하여 가상 벽과의 구별하기가 매우 어렵다. 만약 전기 자극형 촉감장치(The Electric Stimulus Tactile Apparatus System : TESTAS)를 함께 사용한다면 딱딱함과 동시에 송곳에 찔렸을 때의 촉감을 함께 제시할 수 있어 가상 벽과의 차이점을 확실하게 구별할 수 있다.

Abstract

This paper proposes the electric stimulus tactile apparatus system(TESTAS) loaded on the haptic interface using ultrasonic motors(USMs).

To touch the virtual object like wall in graphic, the 6 DOF haptic interface provides force feedback to users as if it is real. But the case of sharp virtual object like a puncture, it could not provided the sense of pain, but only the reaction-force. After the TESTAS had been loaded on this haptic interface, it could provide not only the force but also the pain to users. In this way, when users take the haptic and tactile informations at the same time, they easily have a correct understanding of virtual object.

1) 정회원 : (주)한국에센 기술이사, 동강대학 정보통신과 겸임교수

2) 종신회원 : 동강대학 정보통신과 교수

3) 정회원 : 조선대학교 정보제어계측공학과

1. 서 론

인간은 여러 가지 시간적, 공간적 제한으로 인하여 실세계에서 다양한 경험을 하는 것에 한계가 있다. 이러한 인간의 한계를 극복하고 초월할 수 있는 기술이 가상현실이다. 가상현실(Virtual Reality)은 시각, 청각, 운동감각 및 촉각 등을 인공적으로 사용자인 인간에게 제시하여 직관적으로 사용자가 가상환경에 몰입할 수 있게 하는 기술이다[1]. 가상현실에서 가장 중요한 점은 사용자가 가상세계에 얼마만큼 몰입할 수 있는가에 달려있다. 인간이 외부로부터 받아들이는 정보의 70%정도를 시각에 의존하기 때문에 가상현실은 시각적 표현을 중점으로 발달해 왔다. 실세계와 거의 흡사하게 표현이 가능한 시각적 요소의 발달은 매우 빠른 속도로 발전된 컴퓨터 하드웨어 기술을 토대로 한 3차원 그래픽 기술과 HMD (Head mounted display)와 같은 다양한 가상현실 장치가 가져온 결과이다.

과거에는 이처럼 가상물체와 사용자의 상호작용에 관한 시각적 표현에 주력하였으나, 최근 가상 물체에 대한 더 다양하고 정확한 정보를 사용자에게 전달하기 위해서 역감(force feel) 및 촉감(tactile feel)제시의 필요성이 부각되고 있다. 역감 및 촉감 제시를 위한 연구는 국내·외에서 활발히 진행되고 있으며, 여러 가지 방식의 역감 및 촉감 제시기구가 개발되고 있다.

대표적인 역감 제시 기구는 스투어트 플랫폼을 사용한 이와타의 햅틱 마스터, 토머스 매쉬의 팬텀, 아이오와 주립대의 액조스캐릭터 시스템, 일본 동경공업대 사토교수 등이 개발한 스파이다가 있다[2-5]. 이들은 대부분 소형 DC 서보 모터나 마그네틱 장치를 사용하며 토크의 증가를 위해서 케이블이나 기어를 이용하므로, 백러시나 기구의 부피 및 무게 증가, 작업 공간 축소 등의 단점을 보이기도 한다.

한편으로 촉감 제시 기구는 시각을 이용한 방법, 공압 자극을 이용한 방법, 형상기억합금 응용 방식, 진동자극을 이용한 방법, 전기자극을 이용한 방법 등이 있다. 공압 자극 방식의 대표적인 것은 메디컬 로보틱스 Lab에서 개발한 원격 수술용 촉감 제시 기구가 있다. 이것은

여러 공압관 때문에 부착하기 힘들고, 작업 도중 간섭을 일으키는 문제가 있다. 형상기억 합금 응용방식은 칼스루(Karlsruhe) 연구 센터의 피셔가 형상기억 합금을 이용해 개발한 촉감 제시 기구가 있다. 이는 냉각 장치 장착 중 손 끝 마디에 부착하기 힘들고, 응답성이 떨어져서 실시간 작업이 어렵다. 진동 자극 방식은 많은 연구 사례가 발표되고 있다. 이중 미국 하버드 대학의 로버트 휴 교수 등이 개발한 진동 구형 장치가 있다. 그밖에도 철선 다발을 이용한 촉각 장치, 전자석의 흡인력을 이용한 촉감 제시 기구 등이 발표되고 있다[6-7].

촉감은 세밀한 접촉 반발력에 관한 정보를 제공함으로써 물체의 재질과 질감 등을 인식하는데 매우 중요한 감각이다. 그러나 위에서 서술한 촉감 제시 기구가 제시하는 촉감은 한계가 있으며, 미세한 촉감의 표현은 매우 어렵다. 또한 촉감 제시 기구들은 대부분 손가락 끝마디에 부착이 어렵다는 점과 선형제어가 어렵고 응답 속도가 낮으며, 장시간 동작했을 때 피로에 따른 감각 둔화 등의 문제점이 있다.

가상 물체와 접촉했을 때 역감과 촉감을 동시에 제시하면 좀 더 정확하고 다양한 접촉 정보를 사용자에게 제시할 수 있다. 다시 말하면, 역감장치는 딱딱한 가상 벽과 고무와 같은 탄성이 높은 가상물체에 대한 차이점을 제시할 수 있으나 송곳과 같은 가상 물체의 경우는 단지 딱딱함만을 사용자에게 제시하여 가상 벽과의 차이를 느끼기가 어렵다. 만약 촉감장치를 사용한다면 딱딱함과 동시에 송곳에 찔렸을 때의 통증을 제시할 수 있어 가상 벽과의 차이점을 사용자에게 제시할 수 있다. 이를 위해서 본 논문에서는 역감 장치의 말단 장치에 전기 자극 장치를 부착함으로써 역감과 촉감을 동시에 제시할 수 있는 역감-촉감 제시 장치를 제안한다. 실험에 사용한 역감 장치의 액츄에이터는 초음파 모터를 사용하였다. 이는 소형 DC 서보 모터나 마그네틱 장치를 사용으로 인한 고속 저토크의 문제점을 해결하고, 토크 증가를 위해 케이블이나 기어의 이용으로 생기는 백러시나 구조적인 부피 및 무게의 증가 등의 단점을 해결할 수 있기 때문이다. 무게가 크면 인간이 조작 중에 무게감을 느껴 현실감을 제공하기에 많

은 문제점이 따르게 된다. 초음파 모터는 그 구조가 단순하고, 소형 경량이며, 저속-고토크 특성을 지녀 직접구동(Direct Drive)방식에 적합한 모터이다. 따라서 속도변환을 위해 기어나 풀리 등 기계적 장치가 불필요하여 역감장치의 무게를 현저히 줄일 수 있다[8].

특히 본 연구에서는 초음파 모터를 제어하기 위해 2상 고주파 전압, 위상차, 주파수의 3가지 제어 변수를 단일 PC에서 조절이 가능한 디지털 다중 제어기(USM- DMC)를 설계 제작하고 역감장치의 말단 장치 하단에 전기 자극을 이용한 촉감 제시 기구를 부착하였다.

2. 인간의 촉감 및 역감 시스템

2.1 촉감 시스템

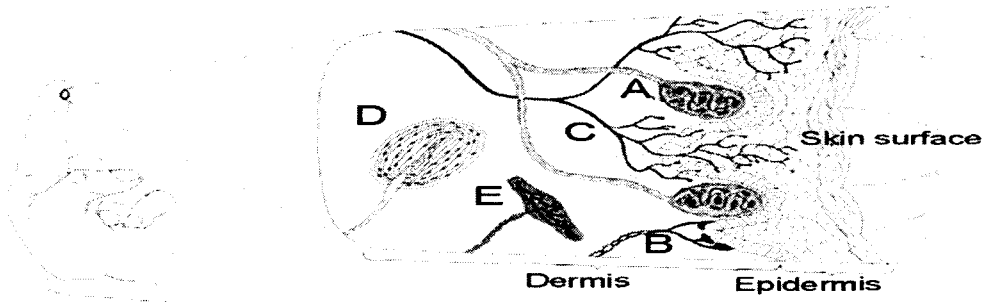
인간의 피부 안쪽에는 여러 가지 센서에 해당되는 기관들이 그림 1과 같이 존재하여 외부로부터 힘, 진동, 압력, 온도 등을 감지하여 촉감을 느끼게 된다. 손바닥과 같이 털이 존재하지 않는 피부는 표피(epidermis), 진피(dermis), 피하조직(subcutaneous fat) 등으로 층을 이루고 있으며 내부에는 마이스너 소체(Tactile meissner's corpuscle), 촉반(Tactile Merkle's corpuscle), 파치니 소체(Pacinian corpuscle), 루피니 소체(Ruffini corpuscle) 등의 센서가 자유

신경종말(Free terminal)에 연결되어 외부적인 자극을 감지하고 있다. 이러한 외부 자극에는 기계적 자극, 전기 자극, 열성 자극, 화학적 자극 등이 있다. 전기 자극은 자극을 쉽게 가하거나 제거하기가 쉽고, 그 펄스 진폭과 주파수, 파형, 통전 시간, 듀티비 등 다양한 자극을 줄 수 있어 가장 많이 사용된다.

주로 전기 자극은 물리 의학에서 치료적 기술로 많이 사용되어 왔으며, 신경근 전기 자극(NMES)과 경피 신경 전기 자극 치료기(TENS) 등으로 알려져 왔다. 본 논문에서는 전기 자극을 통하여 생성할 수 있는 여러 가지 자극 중 통증에 대한 감각, 즉 통각을 이용하였다. 통증이란 신체에 가해지는 자극에 대해 유발되어 감지되는 감각으로 신체 조직의 손상이나 이를 미연에 방지할 수 있는 느낌이다. 인간은 통증을 느낌과 동시에 외상을 받지 않는 조직을 보호하려는 여러 행동을 나타낸다[9].

2.2 역감 시스템

인간의 역감 기관은 근육이나 힘줄, 관절 등에 있는 신장 수용 기관을 말한다. 이 기관에서는 외력에 대한 근육이나 관절의 위치변화를 감지하고 각각의 결합력에 대한 신호를 신경계통을 통해 뇌로 보낸다. 뇌에서는 이 신호를 해석하여 외력에 의해 발생한 접촉력과 수축의 위치



A-마이스너 소체(Tactile meissner's corpuscle) B-촉반(Tactile Merkle's corpuscle)
 C-자유신경종말(Free terminal) D-파치니 소체(Lamellated(Pacinian) corpuscle)
 E-루피니 소체(Ruffini corpuscle)

그림 1. 인간의 피부 감각 기관
 Fig 1. The skin receptor of human

를 추정한다. 가상 물체의 존재 여부와 형상 등에 관한 정보는 이와 같은 역감 기관을 통하여 곧바로 감지된다. 역감 장치는 인간 신체의 일부분에 외력을 제공함으로써 인간의 역감 기관을 자극시킨다. 따라서 근육의 운동감각 및 힘의 감각들을 액츄에이터의 토크로 표현함으로써 가상 물체를 감지 및 조작할 수 있다.

Fingers	Index finger	Middle finger	Ring finger	Total
Force	7N	6N	4.5N	30 ~ 50N

표 1. 손의 힘 감지 능력
Table 1. Forces on the fingers of normal adults

손목 관절을 몸 전체가 지지하는 경우 손목 관절에는 상당히 큰 힘을 발휘할 수 있는데 일반 성인을 기준으로 평균적인 관절의 굴곡작용을 고려했을 때 200[N] 정도의 힘을 발휘한다. 또한 인간의 손 자체가 발휘할 수 있는 힘은 30~50[N] 정도이다. 표 1은 일반 성인이 감지할 수 있는 힘의 범위이다. 손가락은 인간 피부의 어느 부분보다도 예민한 감각 기관으로서 손가락 끝의 1[cm²] 당 약 135개 정도의 감각 세포들이 분포되어 있고, 재질감을 느낄 때는 1,000[Hz] 정도의 진동에도 반응하지만 대략 230[Hz]대에서 가장 민감하게 반응한다. 손가락은 320[Hz]를 넘어선 힘 신호들을 구별할 수 없고 단지 진동만을 느끼게 된다.

2.3 역감의 모델링

2.3.1 점·탄성 모델링

기본적인 역학법칙으로부터 단단한 물체와 상호작용 하였을 때 느낄 수 있는 반응력은 강성 및 점성의 영향이 크게 작용한다.

첫째, 물체의 유연성을 결정하는 강성의 반응력은 식(1)과 같이 표현할 수 있는데 이는 물체가 갖는 유연성을 기계적인 스프링 에너지로 변환함으로써 효과적으로 모델링 할 수 있고 강성은 탄성의 역수이다. 따라서 늘려진 물체의 표

면에 의해 발휘된 반응력은

$$f_K = K(x_v - x_h) \tag{1}$$

여기서 $(x_v - x_h)$ 는 이동 변위이고, x_v 는 가상점의 위치, x_h 는 엔드 포인터, K 는 물체의 강성을 말한다. 가상물체를 움직이기 위해서는 그 모델이 압축력이 없는 경우, 즉 강체로 표현함으로써 효과적으로 모델링 할 수 있다.

둘째, 가상물체의 속도 차에 비례하는 점성인자 B 가 있는데, 이것은 가상물체와 작용점이 접촉하였을 때의 에너지 방출효과를 나타낸다. 즉, 댐퍼 요소를 추가함으로써 물체가 갖는 딱딱한 정도를 표현 할 수 있다. 따라서 이때의 반응력은

$$f_B = B((\dot{x}_v - \dot{x}_h) \cdot \bar{N})\bar{N} \tag{2}$$

결국 가상세계를 점·탄성만으로 모델링하면 두 힘의 합력인 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$f_n = f_K + f_B \tag{3}$$

2.3.2 재질감 모델링

점·탄성 모델링의 경우는 마찰을 고려하지 않았지만 표면을 나타내는 경우 대부분의 촉감 효과는 마찰에 있다. 마찰이 없을 때 사용자는 가상환경을 조작하는 것과 만지는 것에 한계가 있다. 마찰이 있다면 사용자는 더 자연스러운 감각을 얻을 수 있다.

이를 실제 프락시(Proxy) 알고리즘에 적용하기 위해 식 (3)을 계산할 때 정마찰과 동마찰력을 추가함으로 가능하다. 여기서 프락시란 구속 표면에 남는 가상점을 말하며 이 가상점과 엔드 포인터와의 거리로 피드백할 힘을 결정한다.

① 정마찰(Static Friction)

식 (1)을 다시 프락시 힘으로 근사화 시키면

$$f = h_b(x_v - x_h) \tag{4}$$

로 되는데 여기서 x_v 는 가상점의 위치이고 x_h 는 엔드포인트의 위치이다. 그리고 h_p 는 제어기에서 주어진 비례항(이득)이다. 주어진 구속면을 위해 가상점의 법선 f_n 과 각각의 구속면에 접하는 요소를 f_t 라 하고 만약 주어진 구속면이 정마찰 계수 μ_s 를 갖고 가상점이 $\|f_t\| \leq \mu_s \|f_n\|$ 인 정적인 접촉이라 할 경우 모든 구속면이 가상점과 정적인 접촉일 때 가상점의 위치는 현재 가상점의 위치와 같은 새로운 목표 위치를 만들어 변화를 방해한다.[10]

② 동마찰(Dynamic Friction)

동마찰이 나타내는 표면 즉 점성 영역에서 움직이는 질량이 m 인 한 물체의 운동방정식은 다음과 같다.

$$f - \mu_d f_n = m \ddot{x} + B \dot{x} \tag{5}$$

여기서 B 는 점성이고, $x = (x_v - x_h)$, μ_d 는 동마찰의 계수이다. 그 물체의 질량이 0으로 접근할 때 그 힘은 빠르게 평형상태에 이른다. 동적 평형에서 그 물체의 속도는

$$\dot{x} = \frac{f - \mu_d f_n}{B} \tag{6}$$

로 주어진다. 이것은 프락시 가상점이 주어진 시간동안 움직일 수 있는 양을 제한하는데 사용되며 가상점의 위치는 변화하지 않는다. 만약 $B=0$ 이면 어떠한 점성 조건도 존재하지 않고 최대 속도도 제한되지 않는다. 주어진 표면의 강성 K 는, $0 < K < 1$ 이고 다음 식을 사용하여 새로운 가상점 P'_v 를 선택함으로써 모든 제어기의 파라미터를 바꾸지 않고 표면강성의 변화를 구현할 수 있다.

$$P'_v = P_v + K(P_v - P_r) \tag{7}$$

단, P'_v : 새로운 가상점, P_v : 가상점, P_r : 엔드포인트의 실제위치이다.

3. 역감 및 촉감 제시 장치

3.1 6자유도 역감 장치

역감 장치는 평형 메커니즘을 응용하여 2개의 액추에이터를 베이스 측면에 고정시킨 병렬 구동형 2자유도(y축, z축)와 베이스 밑면에 하나의 액추에이터를 고정시킨 1자유도(x축), 엔드이펙터에 세 개의 엔코더를 장착한 수동 3자유도로 총 6자유도의 데스크-탑형 디바이스이다. 사용되어진 액추에이터는 엔코더 장착형 초음파 모터를 사용하여 능동 3자유도를 표현했다. 엔드이펙터의 위치는 3개의 엔코더의 출력 펄스를 통하여 계산되어지고, 이 엔드이펙터의 위치 정보에 따라 x, y, z축 방향의 힘을 제어한다. 모터의 토크는 가볍고 단단한 링크에 대해 직접 구동방식으로 전달된다. 이 링크의 끝은 소형 엔코더 3개를 부착시켜 손가락 포인터방향을 3차원으로 제시하였다.

힘 반향 역감 장치의 외형은 그림 2와 같고 역감 장치 링크 파라미터는 표2와 같다.

본 연구에서는 저속, 고토크 특성을 가진 초음파 모터를 사용하였다. 역감 장치의 액추에이터인 초음파 모터는 그 구조가 단순하고, 소형 경량이며, 저속-고토크 특성을 지녀 DD(Direct Drive)방식을 채용하기에 적합한 모터이다. 따라서 속도변환을 위해 기어나 풀리등 기계적 장치가 필요 없어 역감 장치의 무게를 현저히 줄일 수 있었다[8].

역감 장치의 반응력 제공은 초음파 모터의 2상(A상, B상) 입력전원의 위상차 조절에 의한 점단성 제어를 통해서 실현시켰다. 사용된 역감 장치 제어기는 FPGA 칩을 사용하여 제작한 초음파 모터 디지를 다중 제어기를 사용하여 PC로부터 위상차 값을 입력받아 초음파 모터의 B상의 위상을 0°에서 180°까지 변화시킬 수 있도록 설계하였다.

[표 2] 역감 장치의 링크 파라미터

[Table 2] Link parameter of haptic interface

Link parameter Joint	θ_i	a_i	a_i	d_i
1	θ_1	$-\pi/2$	0	d_1
2	θ_2	π	L_1	0
3	θ_3	$\pi/2$	L_2	0
4	θ_4	$\pi/2$	0	0
5	θ_5	$-\pi/2$	0	0
6	θ_6	0	0	0

Denavit-Hartenberg법을 적용하여 기준 좌표계에서 엔드이펙터의 작용점 위치까지 변환 행렬을 구한 후 기준 좌표계에서 엔드이펙터의 작용점 P의 위치를 구하면 식(8)과 같다.

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 C_1 C_2 + L_2 C_1 C_2 - 3 \\ L_1 S_1 C_2 + L_2 S_1 C_2 - 3 \\ -L_1 S_2 - L_2 S_2 - 3 + d_1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서,

$$C_{i-j} = \cos(\theta_i - \theta_j), \quad S_{i-j} = \sin(\theta_i - \theta_j) \text{이다.}$$

가상 객체에 접촉하면 반응력이 계산되고 이것에 비례한 토크를 발생시키도록 식(8)을 편미분하여 자코비안 행렬의 전치 행렬을 구하면 식(9)와 같고 이렇게 계산된 결과는 출력시에 이용된다.

$$J^T = \begin{bmatrix} -L_2 S_1 C_2 - L_1 S_1 C_2 & L_2 C_1 C_2 + L_1 C_1 C_2 & 0 \\ -L_2 C_1 S_2 - L_1 C_1 S_2 & -L_2 S_1 S_2 - L_1 S_1 S_2 & L_2 S_1 S_2 - 3 \\ -L_2 C_1 S_2 - 3 & L_2 S_1 S_2 - 3 & L_2 C_2 - 3 \end{bmatrix} \quad (9)$$

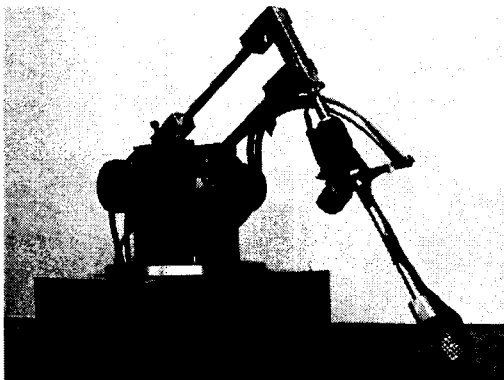


그림 32. TESTAS를 부착한 6자유도 역감 장치
Fig. 2 The 6 DOF haptic interface loaded on TESTAS

역감 장치 제어기의 전원 공급 회로부에서는 pLSI부에서 만든 두 개의 5V의 펄스를 2단 트랜지스터 스위칭 증폭회로와 펄스변압기(pulse transformer)를 통해서 100Vpp를 증폭하여 초음파 모터의 A상과 B상에 각각 공급한다. 엔코더는 1회전당 1000펄스의 분해능을 가지며, 엔코더 신호는 엔코더 어댑터에서 4체배 후 사용한다.

말단 장치의 위치는 이 엔코더 값을 이용하여 계산하며 가상 객체와의 그래픽 렌더링을 거쳐 PC에서 반응력이 구해지면 내부 토크와 선형적인 관계를 가지는 위상차를 초음파 모터의 제어 신호로 입력해서 사용자에게 실제와 같은 반응력을 전달하게 된다. 초음파 모터는 토크센서를 사용하지 않고 위치 변화만을 피드백 신호로 사용하기 때문에 기존의 힘 계환 제어에 비해 제어시스템을 간단히 구성할 수 있을 뿐 아니라 응답이 빠른 장점이 있었다.

3.2 초음파 모터 구동용 디지털 다중 제어기

USM- DMC는 PC로부터 각각 11비트의 디지털 입력을 통해 3가지 제어 변수를 조절할 수 있으며, 주파수는 기준 마스터 클럭이 66[Mhz]일 때 1비트당 최대 16[Hz]까지 세밀하게 조절할 수 있고, 위상차는 1비트당 최대 0.176°까지 분해능을 지닌다. 듀티비 분해능 성능은 시스템에 큰 의미가 없으며 주로 25%에 설정하며 그 크기 역시 PC로부터 11비트의 디지털 제어입력에 따라 실시간으로 조절이 가능하다. 또한 본 제어기를 이용했을 경우, 위상차-주파수, 위상차-전압, 주파수-전압, 주파수-위상차-전압 등 둘 이상의 다중 제어가 가능하다.

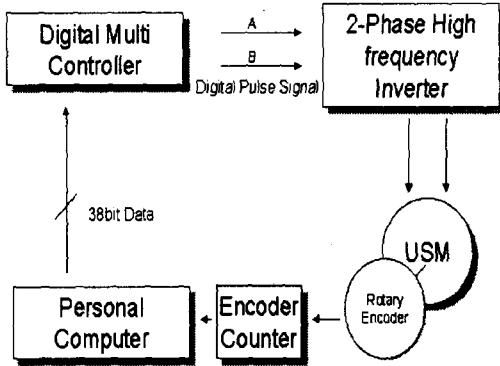


그림 3. 초음파 모터 디지털 다중 제어 시스템 블럭도

Fig. 3. Block diagram of USM digital multi control system

그림 3은 초음파 모터 디지털 다중 제어 시스템의 블럭도이다. 설계 제작한 초음파 모터 다중 제어기는 실시간 처리를 위하여 FPGA를 사용하였고, 최대 4대의 초음파 모터를 제어할 수 있게 설계하였으며, 컴퓨터와는 통신은 ISA 방식을 사용하였다. FPGA는 컴퓨터에서 8255 PPI를 거쳐 디지털 제어 신호를 입력받아 A상과 B상에 각각 입력될 구형파를 발생시키고, 이 구형파는 2단 트랜지스터 스위칭 증폭회로와 펄스 트랜스로 구성된 초음파 모터 전압 변환 회로를 거쳐 초음파 모터 입력 전원이 된다. 초음파 모터 동작 시, 회전 속도 및 위치 검출을 위해서 로터리 엔코더를 사용하였고, LS7166 24비트 다중 카운터 칩을 이용해서 카운터해서 4채배 후 이를 컴퓨터에 입력하게 된다.

3.3 전기 자극 촉감 장치(TESTAS)

본 실험에서 제작한 TESTAS는 자극이 여러 곳에서 동시에 일어났을 때의 촉감 제시를 위해 8개의 채널을 두었으며, 다른 일반적인 역감 장치에도 쉽게 부착될 수 있게 설계하였다.

TESTAS는 파형은 구형 펄스파이며, 주파수는 1[Hz]에서 200[Hz]까지 조절이 가능하다. 이 펄스는 D/A 컨버터와 펄스 트랜스를 통해서 0~100V까지 조절할 수 있다. 또한 전류는 70mA로 고정하고, 듀티비는 LM629를 이용해서 1/128까지 미세 조절이 가능하도록 설계하였다.

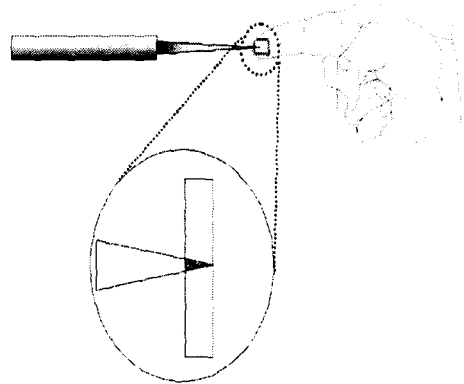


그림 4. 손가락과 가상 송곳의 접촉 모델

Fig. 4 The contact model of virtual puncture

그림 4는 가상 객체와 손가락이 접촉하는 경우의 모델을 나타낸 것이며, 접촉되는 손가락의 포인터를 같은 크기의 사각면으로 정의하고 이 면과 겹치는 순간의 가상 객체의 폴리곤 수를 이용해서 전기 자극 강도를 조절하였다. 전기 자극의 강도는 전압에 의해서 정해지고, 가상 객체 종류에 따라 그 크기를 달리하였다. 또한 듀티비를 조절해서 날카로운 물체와 무딘 물체에 접촉했을 때의 촉감을 상이하게 제시할 수 있다.

4. 실험 및 고찰

역감 프리미티브(primitive)라고도 하는 가상 물체는 실제의 물체와 같은 감각을 시뮬레이트 하기 위해 컴퓨터에서 생성된 기하학적인 도형에 재질 정보를 입힌다. 이를 위해 라이트웨이브(Light Wave 3D)로 프리미티브를 제작하고, 프로그램에서 읽어 들이면서 점성 및 탄성, 자극 정보들을 포함시키도록 하였으며, 실시간 처리에 있어서 촉각 주기는 1[kHz], 그래픽 주기는 20[Hz]의 조건으로 설정하였다.

실험은 단일 접촉과 연속 접촉 두 가지의 경우에 대해서 행하였고, 단일 접촉 실험은 가상 객체의 끝이 날카로운 것과, 무딘 경우의 객체에 대해서 행하였다. 그리고 이에 따른 결과를

가상 객체의 끝점에 접촉했을 때의 펄스 파형을 도시하였다.

점탄성 특성이 다른 가상 객체에 대한 접촉 실험은 이미 검증하였으므로 가상 객체의 점탄성 변화는 주지 않고, 벽과 같은 딱딱한 물체에 대한 실험만을 행하였다[9].

날카로운 가상 객체이었을 때 전기 자극 강도가 높았으며 보다 더 날카롭고 강한 자극을 위해서는 듀티비를 상대적으로 매우 작게 설정해야만 했다.

전원은 Tektronix PS2521G를 사용하였고, 파형 측정은 500[Mhz] Storage Oscilloscope (Lecroy 93542)를 사용하였다.

4.1 단일 접촉의 경우

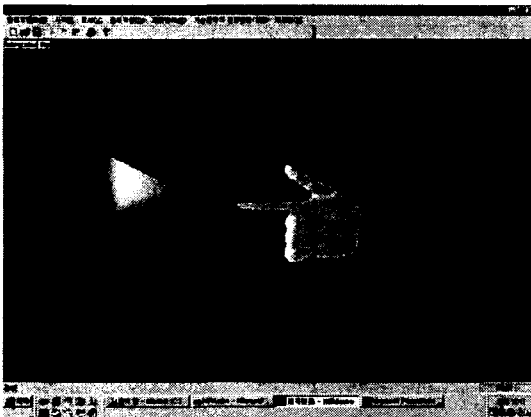


그림 4. 날카로운 가상 객체와의 접촉 모델
Fig. 4 Contact model of virtual object to be sharp

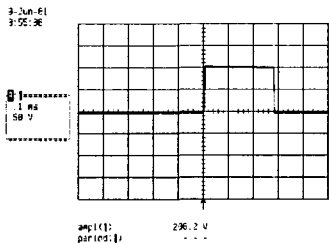


그림 5. 그림 4 실험의 출력 파형
Fig. 5 Output waveform of Fig. 4

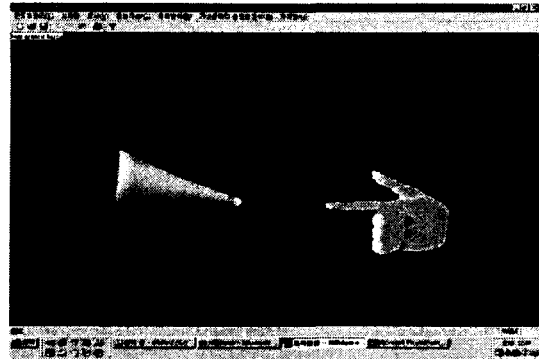


그림 6. 무딘 가상 객체와의 접촉 모델
Fig. 6 Contact model of virtual object to be dull

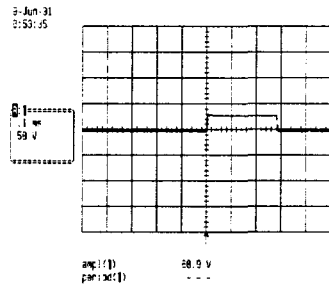


그림 7. 그림 6 실험의 출력 파형
Fig. 7 Output waveform of Fig. 6

4.2 연속 접촉의 경우

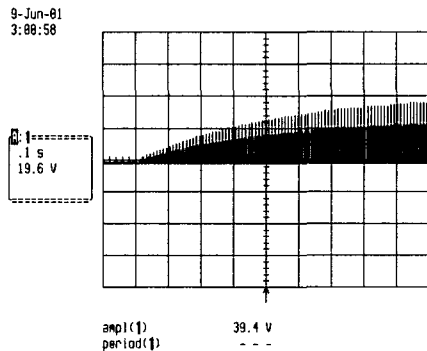


그림 8. 연속 접촉의 출력 파형
Fig. 8 Output waveform of continuative contact

4.3 고찰

단일 접촉 실험에서 날카로운 가상 객체에 접촉했을 시 전기 자극의 크기는 100V이었고, 주기는 약 0.28ms이었으며, 실제로 송곳에 찔렸을 때와 유사한 통증을 사용자에게 제시할 수 있었다. 무딘 가상 객체의 경우에는 같은 주기에 20V이었으며, 사용자는 미세한 자극을 제시받아서 전기 자극에 의한 촉감보다는 역감에 의한 딱딱한 느낌을 제시받았다. 연속적인 접촉 실험에서는 가상 객체에 접촉했을 때 바로 매지 않고 계속해서 밀었을 때 점점 자극이 커짐을 알 수 있다. 처음에는 미세한 자극에서 40V까지 연속적으로 증가하였다.

5. 결 론

가상현실 장비가 고가라는 점을 감안할 때 앞으로 개인용 가상 현실의 보급은 절대적으로 단일 PC 기반이어야 한다. 본 논문에서는 단일 PC 기반에서 초음파 모터 구동 6자유도 역감 장치의 딸단 장치에 전기 자극을 이용한 통증을 제시할 수 있는 TESTAS를 부착시킨 후 역감과 촉감을 동시에 제시할 수 있는 시스템을 설계하였다.

역감과 촉감을 동시에 제시했을 때 사용자는 역감만을 제시받았을 때 보다 가상 객체에 대한 다양하고 정확한 정보를 얻을 수 있다. 다시 말하자면, 역감 장치만을 이용해서 가상 송곳과 같은 날카로운 객체와 접촉했을 때는 단순히 송곳의 재질에 따른 점탄성 특성만을 제시할 뿐이다. 하지만 TESTAS를 부착해 사용하면 역감 뿐만 아니라 마치 실제로 송곳에 찔리는 듯한 촉감을 동시에 제시할 수 있었다.

본 논문에서는 실제 손가락이 받을 수 있는 여러 가지 자극중 단순히 통각을 이용했을 뿐이다. 또한 단순한 가상 객체만을 설계했지만 좀 더 다양하고 복잡한 가상 객체를 만들어 접촉했을 때 생기는 여러 가지 자극에 대한 연구와 냉·온각등의 촉각 제시에 대한 연구가 앞으로 이루어질 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Gradecki, J. : The Virtual Reality, New York : John Wiley & Sons, 1994
- [2] Iwata, H.: Pen Based Haptic Virtual Environment. VRAIS '93. pp. 287-292, 1993.
- [3] Massie, T. H. and Salisbury, J. K., "The PHAN- ToM Haptic Interface : A Device for Probing Virtual Objects," Proc. of ASME Winter Annual Meeting, Chicago, 1994.
- [4] Sarcos, Inc. : Manufacturers of the Sarcos Exoskeleton. Salt Lake City, Utah.
- [5] S. Kim, W. Somsak, M. Ishii, M. Sato, "Personal VR system for rehabilitation to hand movement." IACT 98, pp. 102-108, Tokyo, 1998.
- [6] 김희국의 5인, "철선을 이용한 표면 제시 시스템의 구현" 제어 자동화 시스템 공학회지 제6권 제 6호 2000. 6
- [7] 이정훈외 4인, "전자식 흡인력 방식의 촉각 제한 장치" PRO. of the 12th, KACC. 1997. 10
- [8] 김동욱, "초음파 모터의 속도, 토크 및 위치 제어를 위한 디지털 다중 제어기에 관한 연구", 조선대학교 박사학위 논문, 2002
- [9] J. Vander, H. Sherman, S. Luciano "Human Physiology" 6th edition, McGraw-Hill, 1994
- [10] 김동욱외 4인, "PC기반의 6자유도 촉각 장치의 개발", 전기학회논문지, 50권 5호, pp.211-217, 2001. 5

김동욱



1994년 조선대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)

1996년 조선대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사)

2002년 조선대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박사)

2000년~현재 (주)한국에센 기술이사

2002년~현재 동강대학 정보통신과 겸임교수

관심분야 : 가상현실, 자동제어, 재활공학시스템, 지능형시스템

류재민



1981년 조선대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1986년 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1997년 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1985 ~ 현재 동강대학 정보통신과 교수

관심분야 : 멀티미디어컨텐츠 개발, 지식경영시스템, 영상처리

김영동



1968년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학사).

1984년 명지대학교 대학원 졸업(공학석사)

1993년 일본 애지 공업대학교 객원 연구원

1988~현재 조선대학교 전자정보공과대학 정보제어계측공학과 교수

관심분야 : 가상현실, MEMS, 자동제어, 의용생체