

촉감 데이터베이스 개발 및 구현을 위한 연구

윤 한경
한국기술교육대학교
정보통신공학과

송 복희
한국기술교육대학교
산업디자인공학과

A Study for Development and Impelmentation of the Tectail Database

HanKyung Yun
Korea University of Tech. and Edu.
Dept. of Infor. and Comm. Eng.
hkyun@kitenms.kite.ac.kr

BokHee Song
Korea University of Tech. and Edu.
Dept. of Industrial Design Eng.
bhsong@kitenms.kite.ac.kr

ABSTRACT

Virtual Reality(VR) is the process of creating virtual environments that present the illusion of real physical objects, however humans interact with the real world through their auditory, visual and tactile senses. The human perceptions are generally limited in conventional virtual reality system. Recently, several research organizations have been actively studying of haptic perceptions which were known as the force feedback or force display in the human computer interaction. In perception of a tactile sense, the stimulations are force, pressure, position, and stiffness which are varied with the contact area. However it is known that the force of object can be implemented by oscillation of tactile display system or haptic display system which interfaces mechanically between the users and the virtual environment including the handle, linkages, actuators and sensors. The tactile display system represents the force feedback according to the users action with a complicate calculation but it is very important that the VR system with tactile force feedback has to have how the real time response. It was shown that the complicate calculation could be reduced by applying artificial intelligence theory such as neural net and fuzzy inference in the robot research.

This is a preliminary study to develop a texture database which may be utilized by the texture display system for virtual object in the virtual or real environment. The texture database is consist of fuzzified data which represent the surface shape and stiffness and the structure of data is similar to the intensity data of computer graphic rendering. This tactile database will be applied to our previously suggested fuzzy control system to induce a force feedback according to the user's action.

1. 서론

가상현실(Virtual Reality)이나 가상환경(Virtual Environments)을 구현하는 시스템들은 시각적 청각적 효과를 이용하여 사용자로 하여금 가상적 현실감을 느끼도록 하는 것들이 주종을 이루었으며, 사용자의 촉각(tactile perception)은 일반적으로 고려되지 못하였다. 근래에는 원격제어에서 슬레이브 로봇의 상태 또는 태스크와의 상호관계를 감지하여, 마스터 로봇에게 적절한 힘을 feedback하여 사용자에게 현실감을 줌으로써 원활한 과제의 수행을 위한 연구가 활발히 진행되었다¹.

Haptic 인터페이스는 하드웨어와 소프트웨어로 구성되며, haptic display라고 불리우는 물리적인 힘을 사용자에게 케환하여 촉감을 유발시키는 장치의 개발이 요구된다. 최근에는 HCI(Human Computer Interaction)분야에서 가상현실에 접목을 시키기 위한 연구가 진행되고 있으며, 상품화된 힘의 feedback을 구현하는 장치가 선을 보이기도 하였다. Haptic은 인간이 접촉(touch)에 의한 인지를 의미하는 용어로 정신물리학에서 최초로 사용되었으며, 이는 생리학적으로 손과 팔 등의 sensory-motor 시스템을 포함하며, 힘, 압력, 온도 등을 인지하여 환경변화에 적절히 대처한다. Haptic 인터페이스는 3차원 가상 물체의 질감, 경계 및 접촉 등의 느낌을 사용자가 물리적으로 인지할 수 있도록 물리적인 힘의 feedback을 구현하는 시스템으로 위치와 사용자의 손에 작용하는 힘 또는 힘의 변화량을 측정하여 사용자가 접촉력(contact force)과 위치를 가상적으로 느끼도록 하는 것이다. 따라서 이는 원격제어, 손의 섬세한 감각을 요구하는 기술교육 및 장애인 재활교육, 3차원 게임 등에 응용되어 사용자는 힘의 감지를 통하여 가상물체를 현실감 있게 인지할 수 있다.

가상현실 또는 가상환경 시스템들이 시각과 청각 자극을 통하여 현실감을 부여하는 기존의 한계를 극복하고, 사용자의 행위에 대응하는 힘의

케환에 의한 촉각을 자극을 이용하여 질감이나 조작의 현실감을 배가하기 위한 촉감 데이터베이스의 개발이 요구된다. 데이터베이스의 요소를 추출하기 위하여, 촉감을 표현하는 감성어휘의 특징을 분류하고 인간공학적 인지특성 및 인지과정을 적용하여 감성어휘에 적절한 힘의 케환량을 정량화 하여야 한다. 또한, 가상환경에서 사용자의 동작이나 조작분석에 의한 동작분류하고, 분류된 동작에 의한 힘의 케환 요소를 모델화하여 촉감 데이터베이스에 포함시킬 필요가 있다. 따라서 데이터베이스는 가상적인 접촉에 의한 촉감을 유발시켜 물리적인 자극을 현실감 있게 실현하기 위한 haptic display의 구동하는 기반 데이터베이스로 활용될 수 있다.

본 연구는 촉감 데이터베이스의 설계를 위한 기초연구로서 질감의 정량적 표현 및 특징에 관하여 연구한다.

2. Haptic Display

2.1 Haptic Display System의 기구학적 조건

대부분의 동적인 과제수행에 있어 인간은 힘의 케환이 존재하면 더 적절히 대처할 수 있다고 알려 졌다¹. 예를 들면 극지방이나 해저표면과 같이 혹독한 환경이나 원자로와 같은 위험한 환경 내에서 원격로봇의 원격제어 또는 가상환경에서의 외과 수술 등을 들 수 있다. 사용자에게 적절한 힘의 케환 또는 힘의 발생을 위하여 컴퓨터로 제어되는 장치가 요구된다. 이 장치는 촉감 데이터베이스로부터 정보와 사용자의 동작 정보를 이용하여 사용자에게 적절한 힘을 부여하며, 다음과 같은 특성과 제한을 만족하여야 효과적으로 촉감을 유발할 수 있다.²

- 가볍고 낮은 관성(Low apparent mass/inertia)
- 적은 마찰력(Low friction)
- 고도의 구조적 견고성(High structural stiffness)
- 역제어력(Backdriveability)
- 낮은 반동(Zero or very low backlash)
- 넓은 힘의 대역폭(High force bandwidth)
- 넓은 힘의 동적범위(High force dynamic range)
- 동작영역내의 무극점화(Absence of mechanical singularities)
- 사용자의 접근성 보장(Accessibility to the operator)
- 간결성(Compactness)

2.2 Haptic 인지의 인간공학적 조건

손의 감각기관과 근육운동을 포함하는 인간의 촉각인지 메커니즘에 관한 우리의 지식은 시각과 청각에 비해 매우 제한적이며, 그 이유의 하나는 제어할 수 있는 자극을 부여하기가 실험적으로 어렵기 때문이다³. 예를 들면, 촉각인지 시스템은 인지와 동시에 환경변화에 대한 반응을 보이는 양방향성을 보이기 때문이다. 그럼에도 불구하고 촉각인지 시스템의 설계과정에서 고려하여야 할 중요한 요소는 준 정적 혹은 동적 조건하에서 힘의 감지문제, 압력의 인지, 위치 식별의 분해능, 단단한 물체의 시뮬레이션에서 요구되는 강성의 정도 등이며, 이들을 결정하기

위해서는 인간이 낼 수 있는 힘의 최대치, 인간이 힘을 제어하는 능력의 정밀도와 힘의 제어폭 등을 고려하여야 한다.

힘의 변화에 대한 인간의 감지능력은 저속에서 변화분이 약 7%일 때부터 감지가 가능하다. 또한 팔꿈치를 구부리는 관절 근육의 힘은 25에서 410N이며, 엄지손가락과 집게손가락의 찌는 힘은 2.5에서 10N으로 알려졌다⁴.

진동자극에 대한 촉각의 감지능력의 문턱치는 30Hz이하에서 28dB이며, 30에서 300Hz 범위에서는 -12dB/oct로 감소하다가 300Hz이상에서는 다시 증가한다⁵.

접촉면적이 감소하였을 때 압력의 변화분에 대한 감지가 힘의 변화 감지능력보다 낮은 감도를 보였으며, 관절각의 분해능은 신체중양에 가까운 관절이 먼 관절 보다 높다. 또한 가상적인 벽은 적어도 242N/cm 이상 이여야 한다².

인간이 제어할 수 있는 힘의 범위는 대략 16.5에서 102.3N이며, 힘을 제어하는 분해능은 손가락 관절에서 1.96%이며 어깨에서는 0.87%로 감소한다².

3. 촉각을 고려한 가상환경 모델

조형에서 공간의식은 시각, 촉각 및 운동감각을 내재하고 이러한 감각이 공간의식의 성립에 관여하므로 가상현실이나 가상환경 시스템들도 이 감각들이 조화를 이루어야 가상공간의 내용을 효과적으로 전달할 수 있다. 촉공간은 먼저 촉각에 의한 사물의 2차원적인 펼침, 즉 면의 개관적인 느낌이 있으며 이는 약간의 3차원의 느낌도 수반 될 수 있다. 다시 말해서 촉공간은

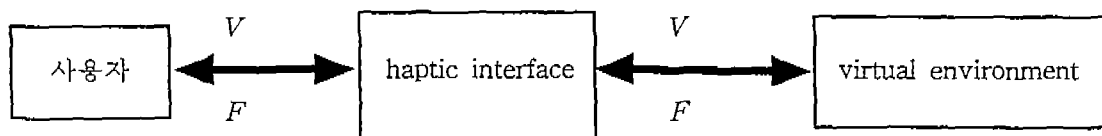


그림 1. VR환경에서 사용자와 haptic interface의 상호관계

다소 두께가 있는 2차원이라고 생각 할 수 있다. 또한 손으로 사물을 만지거나 피부로 사물의 전체를 감할 때에는 부피적인 느낌이 생기기도 한다. 여기에서는 문제를 간단히 하기 위하여 다소 두께가 있는 2차원으로 한정하며 이 두께는 미세 진동에 의하여 구현된다.

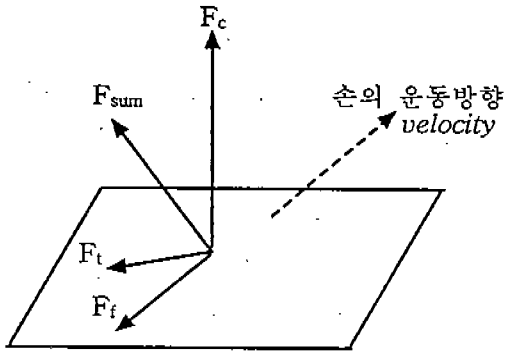


그림 2. 촉감을 유발하는 힘

따라서 질감의 촉각적 표현을 하기 위하여 가상 물체는 이차원인 면으로 구성되며 질감은 면의 미세 두께에 의하여 표현되며, 이 질감은 시각적 촉각적으로 표현이 된다. 촉각적 표현은 haptic 장치에 의해 수행되며 시각적으로도 피험자에게 동질감을 갖도록 하여야한다. 따라서 2.1절과 2.2절을 고려한 시스템을 설계하여야 하며 이상의 모든 조건들은 상충되는 경우도 있으므로 전체적인 조화가 필요하다. 시스템의 블록 다이어그램을 그림 1에 보인 바와 같이 haptic interface의 입력은 사용자의 손동작을 감지한 결과로써 손의 힘, 자세, 위치, 속도 등이 되며 출력은 haptic display를 구동시킨 결과로 접촉면에서의 손의 운동을 저항하는 형태로 나타나므로 그림 2에 접촉면에서의 손의 동작에 관련된 힘들을 보였으며 이들의 합이 촉감을 유발하게 된다.

3.1. 표면 질감의 구현

손가락으로 쓰다듬어서 느끼는 물질의 질감은 표면의 상대적인 거칠기로 표현되며 이는 진동을 유발한다⁶. 촉각적 질감의 시각적 질감과는 다르게 국지적 특성을 가지므로 접촉면 주위의 촉각적 정보가 필요하다. 따라서 촉감의 표현은 그림 2에 보인 것처럼 질감에 의한 힘(F_t)과 마찰력(F_f) 그리고 표면에 수직인 수직항력(F_c)성분이 존재하며 작용하는 총힘은 $F_s = F_c + F_t + F_f$ 이 된다. 또한 사용자의 움직임 혹은 손가락의 움직임에 저항하는 힘은 $F_r = k \Delta h / \Delta r$ 이며 여기에서 r 는 손의 이동방향과 같고 h 와 k 는 각각 표면의 높이와 비례상수이다. $\Delta h / \Delta r$ 는 국지적 구배이며 진동의 형태로 구현되어 촉감을 생성할 수 있다.

3.2. 표면형상에 따른 질감측정

앞 절의 이론적 해석을 검증하기 위한 실험이 행하여졌으며, 문제를 간단히 하기 위하여 주기적인 격자와 무늬를 갖는 가상적 표면(rigid surface)들을 구현하여, 가속도를 측정하므로 표면의 질감에 따른 변화를 알아보았다.

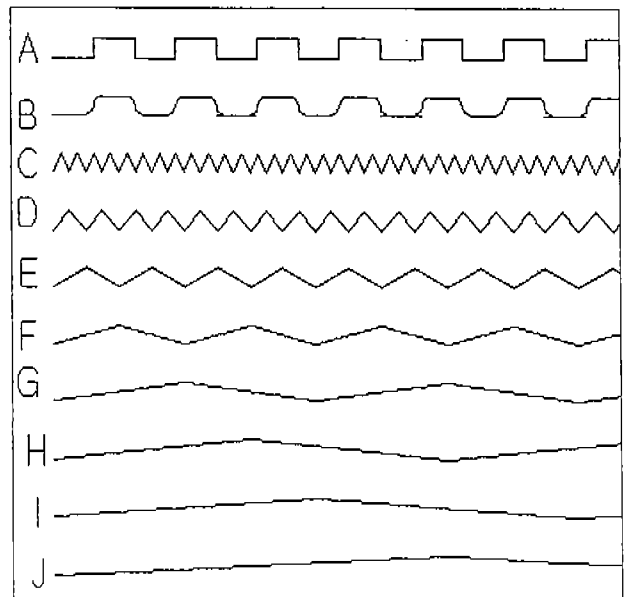


그림 3. 질감표현을 위한 표면의 단면

표면 형상	Amplitude (mm)	width (mm)	shape	가속도(m/s ²)
A	0.4	2	rect.	0.6±0.1
B	0.4	2	rounded rect.	0.9±0.1
C	0.2	0.2	tri.	1.2±0.1
D	0.2	0.4	tri.	1.1±0.1
E	0.2	0.8	tri.	1.2±0.1
F	0.2	1.6	tri.	1.2±0.1
G	0.2	2.4	tri.	2.2±0.1
H	0.2	3.2	tri.	1.1±0.1
I	0.2	4.8	tri.	2.0±0.1
J	0.2	6.4	tri.	1.7±0.1

표 1. 표면형상에 의한 질감측정

2차원의 가상표면을 손이 움직이는 방향만으로 제한하여 그림 3과 같이 변환하였으며 수직 방향의 가속도를 측정하기 위하여 X-Y 레코더(Model: ED Eng. Gxy-24502)의 하드웨어를 개조하여 haptic 장치를 구현하고 진동계(Model: Riovibro vm-63)와 진동계의 출력을 스크프에 연결하였다. 표면의 형상에 따른 힘을 가속도의 향으로 측정하여 표 1에 보였다.

4. 결론 및 향후 연구방향

표 1에 실험결과를 보인바와 같이 표면의 형상(그림 3)에 따른 가속도는 접촉면에 대하여 힘(촉감)을 유발시키며 형태에 따라 변화됨을 알 수 있었다. 실험하는데 있어 haptic 장치의 정밀도의 한계가 시각적인 분해능력을 초과하는 문제점이 발견되었으며 이는 고도의 정밀한 장치의 개발로 어느 정도 해소되리라 사료된다. 현재에는 제시된 추론모델⁷을 이용하기 위하여 표면의 질감과 손가락의 운동속도 및 압력의 상관관계를 규명하고 있으며, 또한 촉감을 자연스럽게 표현하기 위하여 표면의 질감을 잡음(noise)의 생성으로 구현하기 위하여 2차원 평면에 적절한 잡음을 생성시켜 측정하는 연구가 진행되고 있다. 본 방법을 이용하여 가상환경에서 시각적으

로 표현되는 표면의 형상에 일치하는 촉각적 질감의 표현이 가능할 것이다. 차후 연구의 목표는 인간의 감성을 고려한 촉감에 관한 데이터베이스의 설계와 구현이며, 구축된 촉감 데이터베이스를 이용하면 가상환경 안에서 가상물체의 촉각적 질감 및 부피감을 표현하는데 있어 경제적이고도 효율적인 방법이 될 것이다. 이를 위하여 범용적인 질감의 모델을 개발하기 위한 질감에 대한 감성형용사의 추출에 관한 연구가 요구된다.

5. 참고문헌

1. Gregory L. Long, Curtis L. Collins, A pantograph Linkage Parallel Platform Master Hand Controller for Force-Reflection, Proc. of the IEEE, International Conference on Robotics and Automation, 390-395, 1992.
2. R. E. Ellis, et al, Design and Evaluation of a High-Performance Haptic Interface, Robotica, vol. 4, 321-327, 1996.
3. Hong Z. Tan, et al, Human Factors for the Design of Force-Reflecting Haptic Interfaces, Dynamic Systems and Control, DSC-vol.55-1, The American Society of Mechanical Engineering, 1994.
4. Jones L. A., Matching Forces : Constant Errors and Differential Thresholds, Perception, 18(5), 681-687, 1989.
5. Bolanowski Jr., et al, Four Channels Mediate the Mechanical Aspects of Touch, the Journal of the Acoustical Society of America, 84(5), 1680-1694, 1988.
6. Allison M. Okamura, et al, Vibration

Feedback Models for Virtual Environment,
IEEE Inter. Conference on Robotics and
Automation, 1998.

7. 윤한경, Haptic Devices 구동을 위한 퍼지제
어 모델, 대한인간공학회 추계학술대회, 1998.