

몰입형 인터페이스를 위한 햅틱 마우스

김다혜[†], 조성만^{**}, 김상연^{***}

요 약

본 논문에서는 PC 상의 가상환경과 사용자간의 몰입형 상호작용 인터페이스로서 햅틱 마우스 시스템을 제안한다. 제안하는 햅틱 마우스는 진동감각 및 온열감을 제공하여 몰입감을 높인다. 진동 모듈은 편심모터와 솔레노이드 액추에이터로 구성하였으며 온열감 모듈은 작은 필름형태의 온도 센서와 펠티어 효과기반의 열 펌프를 이용하여 구축한다. 본 햅틱 마우스 시스템의 효용성을 보이기 위해 레이싱 게임 어플리케이션을 제작한 후 이를 사용하여 실험을 수행한다. 실험 결과로부터 제안하는 햅틱 마우스가 가상환경에서 몰입감을 증가시키며 가상환경과 사용자간의 효과적인 인터페이스로 사용될 수 있음을 증명한다.

A Haptic Mouse for an Immersive Interface

Da-Hye Kim[†], Seong-Man Cho^{**}, Sang-Youn Kim^{***}

ABSTRACT

In this paper, we suggest a haptic mouse system as an immersive interface between virtual environment and a human operator. The proposed haptic mouse creates vibrotactile and thermal sensation to increase the immersion. The vibrotactile module is composed of eccentric motors and a solenoid actuator, and the thermal module consists of a thin-film resistance temperature detector and a Peltier thermoelectric heat pump. In order to evaluate the proposed haptic mouse system, we develop a simple racing game and conduct an experiment. The result of the experiment shows that the proposed haptic mouse system can improve the sense of reality in virtual environment and can be used as an effective interface between virtual environment and a human operator.

Key words: Haptic Mouse(햅틱 마우스), Vibrotactile Sensation(진동 감각), Thermal Sensation(온열 감), Interactive Game(인터랙티브 게임)

1. 서 론

일반적으로 사용자가 물체의 특성을 정확하게 파악하거나 물체를 정교하게 조작하기 위해 촉각정보를 사용한다. 일반적인 PC 환경에서 모니터와 스피커를 통한 시각정보와 청각정보의 전달은 가상환경

에 대한 정보나 상황을 제공해주는데 유용하지만 사용자는 컴퓨터 인터페이스로부터 어떠한 촉각정보도 얻을 수 없기 때문에 사용자가 물체 표면의 거칠기나 딱딱한 정도 또는 온열감 등과 같은 물체의 특성을 정확하게 파악하는 것은 쉽지 않다. 그러므로 촉각정보를 생성하고 촉각 인터페이스를 통하여 사

※ 교신저자(Corresponding Author): 김상연, 주소: 충남 천안시 병천면 가진리 한국기술교육대학교(330-861), 첨단기술연구소, 인터랙션 연구실, 전화: 041)560-1484, FAX: 041)560-1462, E-mail: sykim@kut.ac.kr

접수일: 2011년 2월 16일, 수정일: 2011년 6월 8일

완료일: 2011년 7월 15일

[†] 준회원, 한국기술교육대학교 첨단기술연구소 인터랙션 연구실 (E-mail: morbid@kut.ac.kr)

^{**} 준회원, 한국기술교육대학교 첨단기술연구소 인터랙션 연구실 (E-mail: jjokki82@naver.com)

^{***} 정회원, 한국기술교육대학교 첨단기술연구소 인터랙션 연구실 (E-mail: sykim@kut.ac.kr)

※ 본 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 (기초연구사업-일반연구자지원사업)의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0009757).

용자에게 전달해주는 햅틱스(haptics) 기술이 필요하다.

사람의 햅틱 감각은 크게 근 감각(역감, kinesthetic sensation)과 피부감각(재질감, tactile sensation)으로 나뉜다. 근 감각은 근육을 통해 느껴지는 감각으로 물체의 딱딱하고 부드러운 정도를 파악하며, 피부감각은 피부를 통해 느껴지는 감각으로 물체 표면의 거칠기 또는 온열감 등을 파악한다. 이와 같은 햅틱 감각을 생성하여 사용자에게 전달해 주기 위한 인터페이스로 햅틱 장치 (haptic device)가 널리 연구되어 왔다. 근 감각에 기반을 둔 햅틱 장치 중 현재 가장 많이 사용되고 있는 장치는 SensAble technologies 사의 PHANTOM™ [1]과 Haption 사의 Virtuose가 있다[2]. Novint 사에서는 저가의 햅틱 장치인 3자유도의 Novint Falcon을 개발하였으며[3] EPFL과 Force Dimension 사는 병렬형 구조를 이용하여 중력 가속도 성분을 보상하는 Omega/Delta 장치를 개발하였다[4,5]. 이러한 장치들은 가상 물체의 형태나 굳기(stiffness)를 표현하는데 적합하지만, 물체 표면의 거칠기, 온도 등과 같은 재질감을 표현하는 것은 매우 어렵다. 그러므로 사람의 기계적 수용기들(mechanoreceptors)을 자극하여 물체의 질감을 생성할 수 있는 재질감 제시장치에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다.

S.A. Wall과 S. Brewster는 핀어레이 형식의 질감 제시장치를 개발하였고[6], C. R. Wagner 등은 서보모터를 이용한 핀어레이 장치를 개발하였으며[7], R.Velazquez 등은 형상기억합금(SMA : Shape Memory Alloy)과 영구자석을 이용한 재질감 제시장치를 개발하였다[8]. Makino 등은 촉각 모사(tactile illusion) 및 공압을 기반으로 한 장치를 개발하였고[9] Winfield 등은 세라믹 기반의 피에조 물질을 적층한 액추에이터를 연구하였다[10]. 또한 정종문 등은 테이블 탑 디스플레이 기반의 다중 감각지원 인터페이스를 개발하였다[11]. 이와 같은 장치들은 기계적 수용기들을 선택적으로 직접 자극하여 다양한 촉감(tactile sensation)을 생성하기에 매우 적합하지만, 크기가 다소 커서 휴대용 장치에 쉽게 장착되는 것은 쉽지 않다.

그러므로 크기가 작고, 가격이 저렴하며 컴퓨터 작업 환경에서 쉽게 사용가능한 햅틱 장치에 대한 요구에 따라 사용자에게 익숙한 장치인 마우스에 햅

틱 기능을 추가하고자 하는 연구가 진행되어 왔다. 마우스에서 근 감각을 생성하기 위해서는 4절 링크 등의 부가적인 부피가 큰 장치가 필요하며 또한 이러한 링크내의 액추에이터들을 구동하기 위하여 큰 소비전력이 필요하다. 그러므로 부가적인 장치가 없으며 전력소비가 상대적으로 작은 재질감을 생성하기 위한 햅틱 마우스 시스템들이 주로 개발되어 왔다. 경기욱 등은 세라믹 피에조 물질을 기반으로 한 액추에이터를 이용하여 핀어레이 구조의 촉감모듈을 개발하고 이를 기반으로 한 햅틱 마우스를 개발하였다[12]. 양기훈 등은 핀어레이 타입 액추에이터와 펠티어 소자를 사용하여 질감과 온열감을 제공하는 KAT-II를 개발하였고[13], 또한 김종혁, 박명관은 MR 유체를 이용하여 손가락의 움직임에 따라 컴퓨터와 상호작용하는 장치를 개발하였다[14]. Tactile world社は 시각장애인들에게 글자를 점자로 변환하여 알려주는 촉각마우스를 개발하였다[15]. 이러한 연구들은 사용자에게 햅틱 감각을 제공하여 가상환경에서의 사실감 및 몰입감을 증가시키기에 매우 효용성이 큰 장치이지만 부가적인 기계 구조 및 온열감 제공을 위한 쿨러 등이 사용되어 부피가 다소 크다는 단점이 존재하며 소비전력의 문제로 외부전원을 따로 사용해야 한다는 불편함이 있다. 따라서 본 연구에서는 휴대성과 이동성이 좋으며 전력소비가 상대적으로 작은 햅틱 마우스 시스템을 개발한다. 개발한 시스템에서 가상물체의 표면은 솔레노이드 액추에이터와 편심모터를 이용하여 모사되었으며 온도감각의 생성을 위하여 펠티어(peltier) 모듈 및 필름형태의 온도 센서를 사용하였다. 그리고 개발한 햅틱 마우스의 효용성을 검증하기 위하여 자동차 게임을 제작하고 게임 도중 적절한 햅틱감각을 생성하여 가상환경의 상황이 효과적으로 모사됨을 확인한다.

2. 시스템 하드웨어 및 소프트웨어

기존의 마우스는 이동과 선택 등 사용자의 입력을 PC로 전송하는 입력장치 역할만을 수행하여 왔다. 마우스를 입력 장치뿐만 아니라 사용자에게 촉감을 생성해 주는 촉감출력장치(tactile display)로도 사용하기 위해 본 연구에서는 그림 1-a와 같이 기존의 마우스에 4개의 진동 모터, 1개의 솔레노이드 액추에이터 및 펠티어 소자를 이용한 온열감 액추에이터를

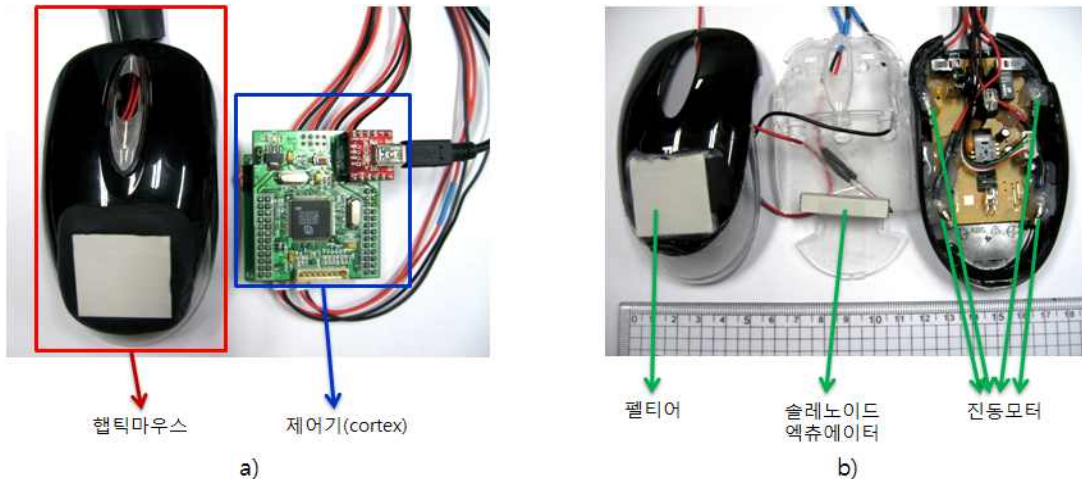


그림 1. a) 햅틱 마우스 시스템 b) 햅틱 마우스 전개도

부착하였으며, 이를 제어할 수 있는 제어기를 제작하였다. 제어기는 32 비트 명령어로 16 비트 명령어의 성능을 보일 수 있는 Thumb-2 명령어를 지원하며 최소화된 핀의 개수를 가지고 있기 때문에 경량화된 시스템에 적합한 ARM Cortex core를 장착한 마이크로프로세서인 LM3S8962에 여러 가지 주변 I/O들을 부착함으로써 개발하였다. 제어 시 발생하는 노이즈 및 외란을 차단 및 제거하기 위해 저역 통과 필터(Lowpass filter)를 설계하여 연결하였으며, 순간적인 과도한 전력 소비로 인한 시스템 정지를 방지하기 위해 여러 개의 커패시터들을 병렬로 연결하여 사용하는 전원 중 일부를 커패시터에 저장하도록 하였다. 제한하는 햅틱 마우스에서 사용자에게 다양한 진동 감각과 온도 감각을 제공하기 위해 사용하는 액추에이터들(진동모터, 솔레노이드 액추에이터, 펠티어 소자 기반 온열감 액추에이터)은 그림 1-b)와 같이 마우스에 부착되었다. 진동모터는 마우스의 4곳의 모서리에 부착되었으며 솔레노이드 액추에이터는 중앙 아래 부분에 부착되어 진동이 마우스에 전체적으로 잘 전달될 수 있게 하였다. 일반적으로 사람의 온도 감각 수용기(thermoreceptor)는 물체와의 접촉면이 넓을수록 물체의 온도감각을 잘 감지하기 때문에[16] 온열감 액추에이터는 사용자가 마우스를 잡았을 때 손바닥이 자연스럽게 넓게 접촉되는 위치(그림 1-b) 참조)에 부착되었다.

그림 2는 햅틱 마우스 시스템의 구조도이다. 사용자가 햅틱 마우스를 조작하면 사용자의 입력이 PC

상의 가상환경으로 전달된다. 가상환경의 상황과 사용자 입력에 따라 컨트롤러는 햅틱 마우스 내부의 액추에이터를 구동하여 상황에 맞는 진동감각이나 온열감각을 생성하고 마우스를 잡고 있는 사용자는 생성된 진동감각과 온열감을 전달받을 수 있다.

그림 3은 햅틱 마우스와 PC 가상환경 사이의 신호 흐름도를 보여준다. 사용자가 가상의 물체와 인터랙션 할 때 사용자의 입력 정보는 햅틱 마우스를 통하여 가상의 환경에 전달된다. 사실적인 시각정보와 촉각정보를 생성하기 위해 가상환경으로 전달된 입력 정보와 가상환경의 속성을 기반으로 하여 그래픽 렌

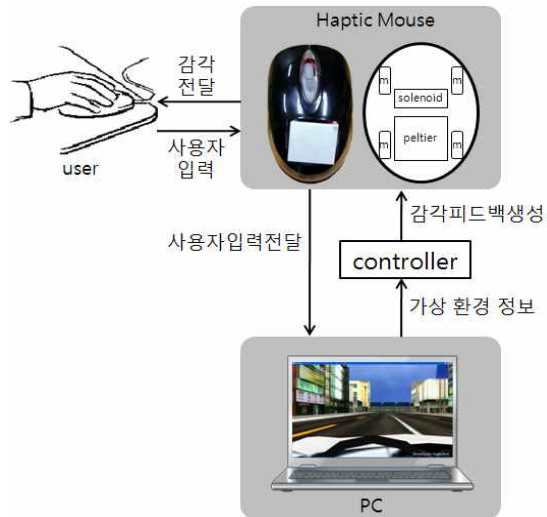


그림 2. 햅틱 마우스 시스템 구조도

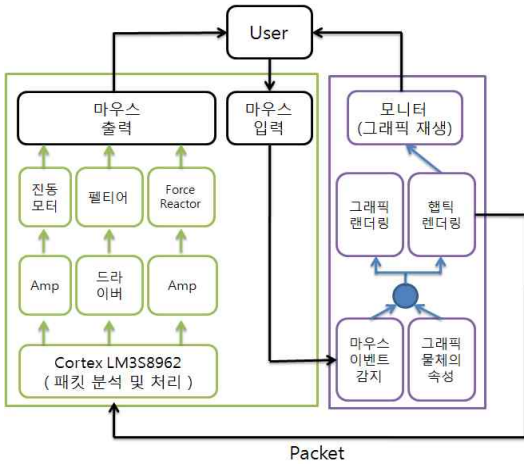


그림 3. 햅틱 마우스와 PC 가상환경 사이의 신호 흐름도

더링과 햅틱 렌더링이 수행된다. 그래픽 렌더링 결과는 모니터를 통하여 전달되고 햅틱 렌더링 결과는 햅틱 마우스를 통하여 사용자에게 전달된다. 따라서 사용자는 햅틱 마우스를 통하여 입력한 정보에 따른 사실적인 햅틱 감각을 그래픽 정보와 함께 전달 받을 수 있다.

기존의 햅틱 마우스는 다양한 주파수에서 다양한 햅틱 감각을 생성하기 위해서 주로 핀 어레이 방식을

이용하였다. 핀을 구동하기 위해 주로 바이모프 타입의 세라믹 기반의 피에조 액추에이터를 이용하였다. 그러나 이 방식의 경우 피에조 액추에이터를 구동하기 위해 고전압이 필요하며 액추에이터의 크기가 커서 작게 만드는 것은 한계가 있다. 본 연구에서는 크기가 작은 진동모터를 사용하여 경량/소형화 된 햅틱 마우스를 제공하며 온열감까지 제공한다. 또한 소형 솔레노이드 액추에이터를 사용한 진동렌더링을 통해 다양한 주파수에서 다양한 햅틱 감각을 생성하였다.

3. 햅틱 마우스를 이용한 어플리케이션

제안하는 햅틱 마우스의 기능을 효과적으로 검증하기 위해 게임 어플리케이션을 개발하였다. 개발한 게임 어플리케이션에서 사용자는 자동차를 타고 다양한 노면을 달리며 노면에 따른 감각 및 주변의 온도 등을 제안한 햅틱 마우스를 통해 느낄 수 있다.

3.1 둔덕과의 충돌감 생성

그림 4-a), 4-b), 4-c)들은 각기 다른 노면을 보여 주고 있다. 그림 4-a)는 매우 거친 노면을, 4-b)는 아스팔트로 포장된 매끄러운 노면, 그리고 4-c)는 차

표 1. 제안하는 햅틱 마우스와 기존의 햅틱 마우스들의 특징 요약

	이스라엘	KATII	제안하는 햅틱 마우스
액추에이터 타입	피에조 방식의 핀 어레이	피에조 방식의 핀 어레이	진동모터
진동감각	0~300Hz	0~350Hz	0~300Hz
온 열 감	X	0~50℃	0~50℃
구동 전압	5V (DC-DC 컨버터로 고전압으로 승압)	60V	3.3V



그림 4. 어플리케이션 상의 각기 다른 노면들 a) 자갈길의 거친 노면 b) 아스팔트의 부드러운 노면 c) 차도와 인도 사이의 둔덕

도와 인도사이의 둔턱을 보이고 있다.

둔턱을 넘는 느낌에 가장 적합한 진동감각을 찾기 위해 예비실험을 실시하였다. 예비 실험에 앞서 가상 공간 상에 있는 자동차의 바퀴 4개와 햅틱 마우스 상에 있는 진동 모터 4개의 위치가 대응되는 것에 착안하여 왼쪽 둔턱과 오른쪽 둔턱 각각에 대해 그림 5와 그림 6과 같은 예시감각을 생성하였다. 왼쪽 갓길로 차가 진입하는 대부분의 경우, 왼쪽 앞바퀴가 먼저 둔턱을 지나며, 반대로 오른쪽 갓길로 차가 진입하는 경우에는 오른쪽 앞바퀴가 먼저 둔턱을 지난다. 사용자는 운전 시 앞쪽 바퀴에 신경이 더 집중되어 있을 수도 있고, 뒷바퀴에서 오는 감각 역시 중요할 수 있다. 그러므로 이러한 사항을 고려하여 왼쪽 둔턱과 오른쪽 둔턱 각각에 대해 5개의 예시감각을 고안하여 예비실험을 수행하였다.

첫 번째 예시감각은 둔턱과 충돌 시 둔턱과 먼저 만나는 자동차 앞바퀴의 충돌 감각만을 제시하는 것으로, 그림 5-a)는 자동차가 왼쪽 편에 위치한 둔턱을 넘는 상황으로 둔턱과 처음 충돌하는 바퀴인 왼쪽

앞바퀴에 해당하는 진동감각만을 생성하였다. 그리고 자동차가 오른쪽에 위치한 둔턱을 넘는 상황에서 둔턱과 처음 충돌하는 바퀴는 오른쪽 앞바퀴가 되므로 그림 6-a)와 같은 예시감각을 생성하였다. 두 번째 예시감각으로는 둔턱과 만나는 두 앞바퀴들의 감각이 모두 중요할 수 있으므로 그림 5-b), 그림 6-b)와 같은 예시감각을 제시하였다. 또한 실제적으로 게임에서 자동차가 둔턱을 넘을 때 두 앞바퀴가 똑같이 둔턱을 넘지 않고 시간차를 두고 둔턱을 올라가기 때문에 이를 촉각적으로 표현하기 위하여 그림 5-c), 그림 6-c)와 같은 예시감각을 결정하였다. 그리고 사용자는 앞바퀴 뿐 아니라 뒤쪽 바퀴의 느낌까지 중요시 할 가능성이 존재하기 때문에 그림 5-d), 그림 6-d)와 같은 후보를 결정하였다. 마지막 예시감각으로, 실제 게임에서 모든 바퀴들이 시간차를 두고 둔턱을 만나고 이 느낌을 중요하게 생각할 수 있으므로 바퀴가 둔턱에 닿는 순서대로 진동을 생성하는 예시감각을 결정하였다. 그림 5-e)는 시간차를 둔 모든 바퀴의 느낌을 생성하는 하나의 예로 왼쪽 앞바퀴,

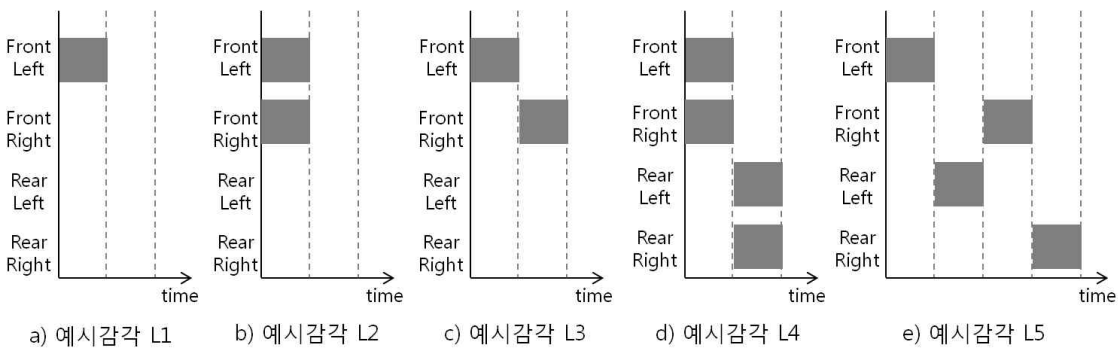


그림 5. 자동차가 왼쪽에 위치한 둔턱을 지나는 것에 대한 다섯 가지 예시감각

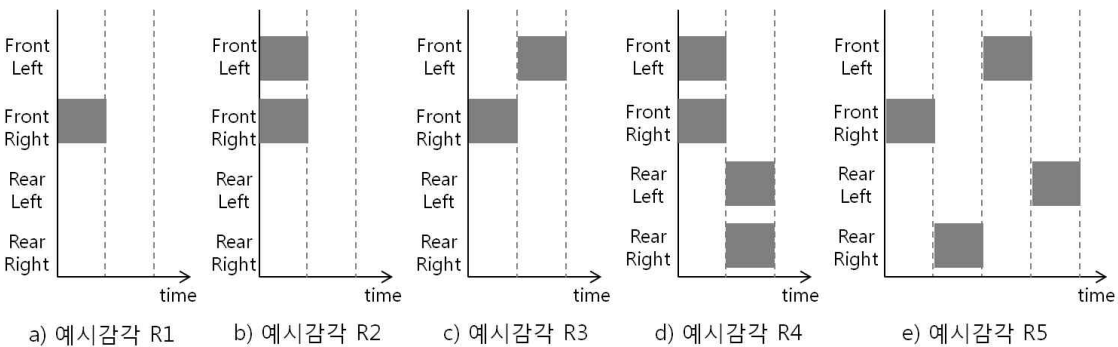


그림 6. 자동차가 오른쪽에 위치한 둔턱을 지나는 것에 대한 다섯 가지 예시감각

왼쪽 뒷바퀴, 오른쪽 앞바퀴, 오른쪽 뒷바퀴의 순서로 둔턱을 넘는 상황을 모사하고 있다.

실험은 총 9명(남 8명, 여 1명, 평균연령 26.3세)의 피 실험자를 대상으로 수행되었으며, 5개의 예시감각을 각각 3번씩(총 15번) 무작위순으로 피 실험자에게 시각정보와 함께 제공하여 피 실험자가 시각정보와 촉각정보가 어울리는 지를 ‘예’ 또는 ‘아니요’로 대답하게 하였다.

그림 7은 예비실험의 결과를 정리한 그래프이다. 그래프의 가로축은 그림 5와 6에서 제시한 예시감각 L1~L5와 R1~R5를 나타낸다. 그리고 그래프의 세로축은 피 실험자들이 해당 예시감각이 둔턱을 지나가는 시각정보와 어울린다고 대답한 횟수를 나타낸다. 즉 예시감각 L1의 경우 피 실험자가 예시감각 L1이 둔턱을 지나가는 시각정보와 어울린다고 대답한 횟수는 각각 1, 1, 3, 1, 1, 3, 3, 0, 2번으로 총 15번의 ‘예’가 나왔다. 자동차가 왼편에 위치한 둔턱을 지나가는 경우(그림 7-a)에는 예시감각 L3과 L5가 상황을 잘 표현하고 있다는 대답이 총 18번으로 가장 높은 수치가 나왔으며, 자동차가 오른편에 위치한 둔턱을 지나가는 경우(그림 7-b)에는 예시감각 R2와 R5가 총 횟수 15로 동일하게 가장 높은 수치가 나왔다. 그러나 결과에서 보듯이 가장 높은 수치를 보인 예시감각의 수치가 다른 예시감각들이 받은 수치와 크게 차이가 나지 않았기 때문에 자동차와 둔턱과의 충돌을 나타내는 가장 적합한 감각을 결정하는 것이 쉽지 않았다. 그러므로 해당 5가지의 예시감각 중에서 자동차가 둔턱과 충돌하는 상황에 적합한 예시감각을 찾을 수 있는가에 대한 여부를 검증하기 위해서 또 다른 예비실험을 수행하였다.

실험에서 피 실험자는 예시감각 5가지를 무작위

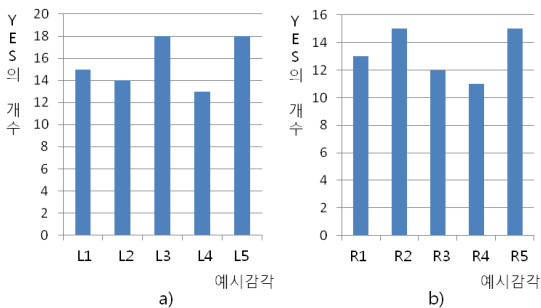


그림 7. 차도와 인도 사이의 턱에 대한 예비실험1 결과 a) 왼쪽 둔턱, b) 오른쪽 둔턱

의 순으로 모두 느껴본 후 둔턱과 가장 잘 어울리는 것을 선택하였다. 본 예비실험은 자동차가 도로의 왼쪽에 존재하는 둔턱을 넘을 때와 오른쪽 둔턱을 넘을 때에 대하여 각각 5번씩 총 10번을 수행하였다. 총 5명의 피 실험자(남 4명, 여 1명, 평균연령 25.8세)가 본 예비실험에 참가하였으며 실험 결과는 그림 8과 같다.

그림 8-a)와 8-b)는 각각 자동차가 도로 왼편에 존재하는 둔턱을 넘을 때와 도로 오른편에 존재하는 둔턱을 넘을 때의 결과이며 그래프의 x축은 예시감각 L1~L5와 R1~R5를, y축은 해당 예시감각을 선택한 비율을 의미한다. 총 5명의 피 실험자들이 각각 5번의 실험을 수행하였으므로 하나의 예시감각은 최대 25번 선택될 수 있다. 왼쪽 둔턱에 대한 실험에서 예시감각 L4가 9번 선택되어 예시감각 5가지 중 최대인 36%의 선택률을 보였다. 오른쪽 둔턱에 대한 실험에서는 예시감각 R1이 25번 중 총 8번 선택되어 예시감각 5가지 중 최대인 32%의 선택률을 보였다. 그러나 사용자가 5개 중 한 개를 임의로 선택하여 맞출 확률이 20%임을 고려하면 36%와 32%라는 선택률은 예시감각 L4와 R1이 최상을 아님을 알 수 있다. 그러므로 본 논문에서 구현한 게임 어플리케이션에서는 5가지의 예시감각 중 가장 쉽게 구현될 수 있는 예시감각 L1과 R1을 사용하였다.

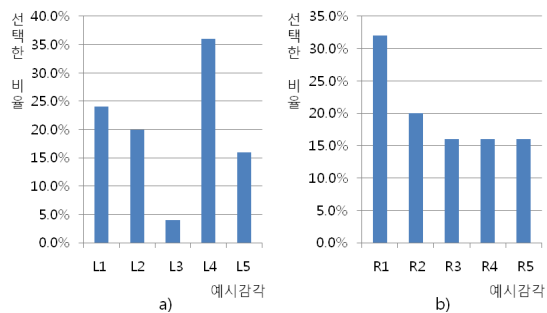


그림 8. 차도와 인도 사이의 턱에 대한 예비실험2 결과. a) 왼쪽 둔턱, b) 오른쪽 둔턱

3.2 자동차의 속도감 생성

본 연구에서는 그림 4-b)와 같이 자동차가 아스팔트 위를 달릴 때, 솔레노이드 액추에이터를 사용하여 자동차의 속도감을 생성하였다. 자동차의 속도감을

촉각적으로 모사하기 위하여 도로를 구성하는 기본 요소로 단위 트랙(unit track)을 정의하였고, 각각의 단위 트랙들이 만나는 곳에 가상블럭(virtual block)이 있다고 정의하였다(그림 9). 가상블럭(virtual block)은 실제로 화면에 보이는 물체가 아니라 진동 감각을 생성하기 위한 가상의 개념이다. 가상블럭을 통한 진동 감각 렌더링에 대한 기본 원리는 자동차가 가상블럭을 지날 때 마다 펄스 입력을 액추에이터에 가하여 덜컹하는 느낌을 생성하는 것이다. 이와 같은 순간적인 진동을 자동차가 가상블럭을 지날 때 마다 약하게 발생시킨다면 자동차의 속도에 따른 진동 감각을 촉각적으로 모사할 수 있다.

속도에 따른 진동감각을 생성하는 기본원리는 위에서 언급한 것과 같이 자동차가 가상블럭을 지날 때 마다 액추에이터로 들어가는 펄스 신호(V_T)를 생성하는 것이다. 펄스 신호는 수식 (1)을 이용하여 생성할 수 있으며 수식 (1)에서 L 은 자동차의 초기위치에서 현재 위치사이의 거리를 나타내며, h_n 은 자동차의 현재위치에서의 단위트랙과 바로 전 위치에서의 단위 트랙 사이의 높이 차를, $u(\cdot)$ 는 단위 계단함수(unit step function)를 나타낸다. 그리고 p_n 은 자동차 초기 위치에서 n 번째(현재 위치) 가상블럭의 시작지점까지의 거리이며, q_n 은 초기위치에서 n 번째 (현재 위치) 가상블럭의 종료지점까지의 거리를 나타낸다.

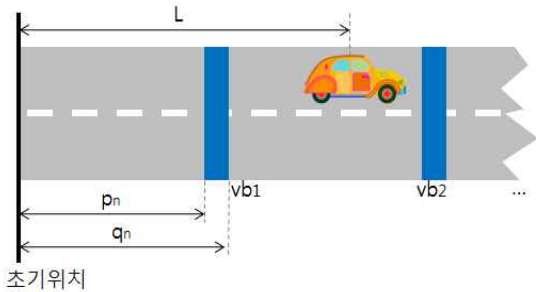


그림 9. 레이싱 트랙과 가상 블럭

$$V_T(L) = \sum_{n=1} h_n [u(L-p_n) - u(L-q_n)] \quad (1)$$

수식 (1)에 의하면 액추에이터로 들어가는 펄스 신호의 세기는 h_n 에 비례한다. 즉, 자동차의 현재위치에서의 단위트랙과 바로 전 위치에서의 단위 트랙 사이의 높이 차에 따라 펄스신호의 세기가 결정되며, 펄스 신호의 주파수는 자동차의 속도에 비례한다. 그

러므로 사용자는 노면의 거칠기와 자동차의 속도감을 동시에 촉각적으로 감지할 수 있다.

3.3 온열감 생성

본 게임 시스템에서는 한 개의 열전 소자 기반의 액추에이터(Peltier actuator)를 사용하였으며 피드백 제어를 통해 그래픽환경에 따라 온열감을 사용자에게 제시해 주었다. 펠티어 액추에이터는 냉매가스를 사용하지 않으며 +, -의 변환으로 냉각과 가열이 변환되는 장치이다. 별도의 쿨러를 위한 장비가 필요 없으며 소형이고 가볍기 때문에 소형화된 햅틱 마우스에서 사용하기 용이하다. 펠티어 액추에이터를 제어하기 위해 TA8050P를 이용하여 흡열면과 방열면이 교체 제어 될 수 있도록 하였으며 생성한 온도를 감지하기 위하여 매우 작은 크기(1.60×0.80mm)의 온도 센서(NCP18WM154J03RB)를 이용하였다. 2장에서 기술한 바와 같이 사람의 온도 감각 수용기(thermoreceptor)는 물체와의 접촉면이 넓을수록 물체의 온도 변화에 더 예민해지기 때문에 온열감 액추에이터는 3×3cm 크기로 제작되어 사용자가 마우스를 잡았을 때 손바닥이 닿는 위치에 부착되었다.

본 연구에서는 자동차 내부에 그림 10과 같이 온도조절기를 두어 사용자가 온열감을 전달받을 수 있도록 하였다. 그림 10-a)는 온도조절기가 작동하지 않는 상태로 이 상태에서는 사용자는 어떠한 온열감도 전달받을 수 없다. 그림 10-b)와 같이 냉방 상태일

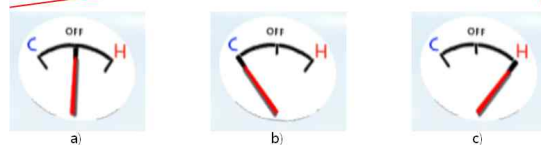


그림 10. 어플리케이션 상에서의 온도 변화 a) 온도조절기 꺼짐 b) 온도조절기 냉방 모드 c) 온도조절기 온방 모드

때는 햅틱 마우스를 통하여 시원한 감각을 전달하였고, 그림 10-c)와 같이 온도조절기가 온방 상태일 때 사용자는 햅틱 마우스를 통하여 따뜻한 감각을 전달 받을 수 있다.

4. 실험 및 평가

연구 결과를 비교 분석 하기위해 정량적/정성적 평가를 수행하였다. 사람의 손바닥, 손가락 끝과 같이 털이 없는 피부에는 4가지의 주요한 기계적 수용기 (mechanoreceptor)가 존재한다. 각 기계적 수용기들은 0~300 Hz 의 범위 내에서 각각 고유한 동작 주파수를 가지고 있다. 그러므로 정량적 실험으로는 본 시스템이 모든 기계적 수용기를 자극하는 지를 알아보기 위한 주파수에 따라 진동력의 세기의 변화 측정을 수행하였다. 그리고 정성적 평가를 위하여 본 논문에서 제안한 햅틱 마우스 시스템의 효용성을 검증하기 위해 레이스 게임 어플리케이션을 제작하였으며 이를 기반으로 하여 실험을 수행하였다.

4.1 정량적 평가

앞서 설명한 것과 같이 다양한 촉감을 사용자에게 전달하기 위해서는 각각의 기계적 수용기(mechanoreceptor)들을 모두 자극해야 한다. 저주파 (약 0~50Hz)에서 동작하는 merkel's disk, 중간 주파수 대역(약 50~100Hz)에서 동작하는 Meissner corpuscle, 고주파(100Hz~300Hz)에서 동작하는 Pacinian corpuscle을 모두 각각 자극하여 다양한 촉감을 전달하기 위한 주파수 특성 실험을 수행하였고 이를 비교 분석하였다. 진동력의 세기는 가속도 센서를 통해 가속도 값 (g) 으로 측정하였다. 그림 11 은 측정된 진동력의 크기를 보여주고 있다. 진동력은 200Hz 내에서는 거의 균일하게 약 1g 정도가 사용자에게 전달됨을 알 수 있다. 그러므로 본 시스템은 사용자의 모든 기계적 수용기를 선택적으로 자극하여 다양한 촉감을 생성함을 알 수 있다.

4.2 정성적 평가

총 10명(남자 9명, 여자 1명, 평균연령 26.8세)의 촉감에 이상이 없는 사람들이 본 실험에 참가하였으며 실험을 위하여 다음과 같은 설문조사를 수행하였다.

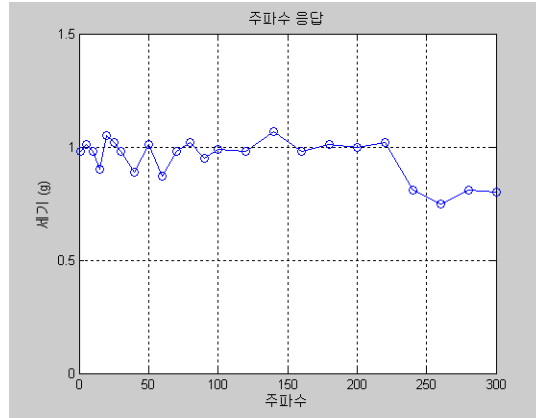


그림 11. 주파수 응답특성

- ① 자갈길과 같은 비포장도로와 포장도로 위를 자동차가 달릴 때 거칠기의 차이를 구별하였습니까?
- ② 자동차가 빠르게 달릴 때와 천천히 달릴 때의 차이를 구별하였습니까?
- ③ 자동차의 속도의 증감(즉 가속도)을 감지하였습니까?
- ④ 자동차 내부의 온도가 높아질 때, 촉각적으로 따뜻한 느낌을 실시간으로 전달 받았습니까?
- ⑤ 자동차 내부의 온도가 낮아질 때, 촉각적으로 시원한 느낌을 실시간으로 전달 받았습니까?
- ⑥ 제안한 시스템을 이용한 게임이 얼마만큼 현실적인 느낌을 제공한다고 생각하는지를 10점 척도로 표현해주시시오.

표 2. 만족도 평가 참고표

만족도	평가
10	완벽함
9	매우 만족
7	만족
5	보통
3	불만족
1	매우 불만족
0	쓸모없음

①~③ 항목은 제안한 햅틱 마우스가 가상환경 상에서의 서로 다른 노면, 자동차의 속도(저속과 고속), 그리고 가속도(가속과 감속)를 각각 제공할 수 있는지를 알아보기 위한 질문으로 피 실험자의 대답은

‘예’ 또는 ‘아니요’로 제한하였으며 피 실험자가 ‘예’라고 답한 경우 촉각과 시각 둘 중에 어느 것의 영향이 더 컸는지를 추가적으로 질문하였다. ④와 ⑤ 항목은 햅틱 마우스가 온도감각을 제공할 수 있는가를 알아보기 위한 질문으로 피 실험자의 대답은 ①~③ 항목과 마찬가지로 ‘예’ 또는 ‘아니요’로 제한하였다. 그리고 ⑥ 항목은 제안한 시스템의 사용자 만족도를 알아보기 위한 질문으로 촉각정보를 피 실험자에게 전달하지 않았을 때와 전달하였을 때로 나누어 진행하였으며 사용자의 만족도는 만족도 평가 참고표(표 2)를 참고하여 10점 만점으로 평가하도록 하였다.

4.3 실험 결과

그림 12-a)는 ①~⑤ 항목에 대한 사용자 응답에 대한 결과를 보여주고 있다. 실험 결과에서 보듯이 10명 중 9명의 피 실험자들이 비포장도로와 포장도로 위를 자동차가 달릴 때의 느낌을 구분하였으며 모든 피 실험자들이 자동차의 속도, 가속도 및 온열감을 제공받았다고 대답하였다. 앞서 기술한 것과 같이 ①~⑤ 항목에 대하여 ‘예’라고 대답한 피 실험자들에게 “거칠기, 속도, 가속도, 온열감의 차이를 구분하였다면 시각정보와 촉각정보 중 어느 것의 영향이 더 크게 작용하였습니까?”라고 질문하였으며 이때 피 실험자의 대답을 촉각(H), 시각(V), 잘 모르겠다(I)로 제한하였다. 그림 12-b)는 그 결과를 보여주고 있다. 노면 정보의 경우 잘 모르겠다(I)고 대답한 피 실험자가 5명, 촉각 3명 시각 1명으로 시각과 촉각이 거의 비슷하게 작용하였음을 알 수 있었으며 속도와 가속도의 경우 시각보다는 촉각이 더 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 그리고 온열감의 경우 피 실험자 10명 모두가 “촉각이 우세하다”고 대답하였다.

질문 문항 ⑥에서 피 실험자들이 시각정보만을 제공하였을 때 본 시스템이 얼마만큼의 현실적인 느낌을 제공하는지에 대해 사용자가 평가한 점수는 각각 5, 5, 3, 4, 1, 7, 5, 3, 7, 7이었고, 시각과 촉각 정보를 모두 제공하였을 때 매긴 점수는 각각 7, 7, 9, 9, 9, 9, 10, 5, 9, 9이었다. 시각정보만을 전달하는 시스템을 기준으로 시각정보와 촉각정보를 동시에 전달하는 시스템이 얼마나 향상되었는지를 수치적으로 나타내기 위하여 향상된 정도를 수식 2를 이용하여 표현하였다. 수식 2에서 r_{im} 은 향상율을 S_{wh} 는 시각과 촉각정보를 모두 전달하였을 때의 점수이고 S_{woh} 는 시각정보만을 전달하였을 때의 점수이다.

$$r_{im} = \frac{S_{wh} - S_{woh}}{S_{woh}} \quad (2)$$

그림 12-c)는 수식 2를 통해 계산된 시스템의 향상률을 보여주고 있다. 향상된 정도는 최소 28.6%에서 최대 800.0%로 평가되었다. 향상된 정도를 좀 더 객관적으로 보이기 위해 도출된 최대값과 최소값을 제외한 평균 향상율은 78.6%로 나타났다. 즉 제안하는 햅틱 시스템이 시각정보만을 전달한 시스템보다 현실감을 약 78.6% 증가시켰음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 PC 상의 가상환경과 사용자 간의 인터랙션을 위한 인터페이스로서 햅틱 마우스 시스템을 제안하고 햅틱 마우스 시스템의 효용성을 보이기 위해 레이싱 게임 어플리케이션을 제작하였다. 또한 제안하는 햅틱 마우스 시스템을 사용하여 사용자가 가상환경의 상황을 쉽게 파악할 수 있음을 실험을 통하여 알 수 있었으며 이를 기반으로 사용자의 현실

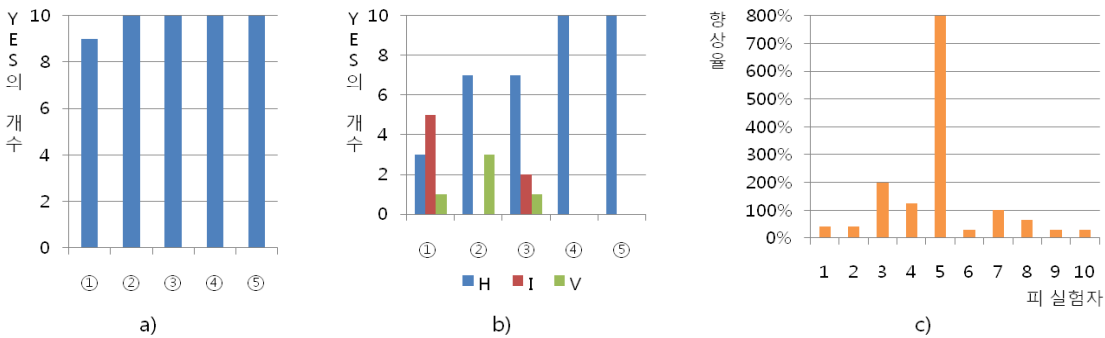


그림 12. 햅틱 마우스의 효과에 대한 실험 결과

감이 증가됨을 확인하였다.

현재 PC는 널리 이용되고 있고 햅틱 기술도 나날이 발전하고 있지만 일반 PC 사용자들이 PC 환경에서 접할 수 있는 햅틱 인터페이스는 가격이 비싸거나 접근성이 좋지 않다. 본 논문에서 제안하는 햅틱 마우스는 기존의 마우스에 익숙한 사용자들이 거부감을 가지지 않고 쉽게 사용할 수 있어 접근성이 좋고 가격이 저렴하며 PC 환경에 바로 적용 가능한 햅틱 인터페이스로서 게임 어플리케이션뿐만 아니라 다양한 응용으로의 활용이 가능하리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] <http://www.sensible.com>
- [2] <http://www.haption.com>
- [3] <http://home.novint.com>
- [4] <http://www.epfl.ch>
- [5] <http://www.forcedimension.com>
- [6] S. A. Wall and S. Brewster, "Sensory Substitution using Tactile Pin Arrays: Human Factors, Technology and Applications," *Signal Processing*, Vol.86, No.12, pp. 3674-3695, 2006.
- [7] C. R. Wagner, S. J. Lederman, and R. D. Howe, "Design and Performance of a Tactile Shape Display Using RC Servomotors," *The Electronic Journal of Haptic Research*, Vol.3, No.4, pp. 1-6, 2004.
- [8] R. Velázquez, E. Pissaloux, M. Hafez, and J. Szewczyk, "A Low-Cost Highly-Portable Tactile Display Based on Shape Memory Alloy Micro-Actuators," IEEE International Conference on Virtual Environments Human-Computer interfaces and Measurement Systems, 2005.
- [9] Y. Makino, N. Asamura, and H. Shinoda, "A Whole Palm Tactile Display Using Suction Pressure," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1524-1529, 2004.
- [10] L. Winfield, J. Glassmire, E. Colgate, and M. Peshkin, "TPaD: Tactile Pattern Display through Variable Friction Reduction," World Haptics Conference, 2007.
- [11] 정중문, 양형정, 김선희, "테이블 탑 디스플레이 기반 증강현실 구현을 위한 다중감각지원 인터페이스," 한국멀티미디어 학회 논문지, Vol.12, No.5, pp. 708-716, 2009.
- [12] K. U. Kyung, G. H. Yang, and D. S. Kwon, "A Novel Interactive Computer Interface: Enabling Tangible Interaction Using a Tactile Feedback Mouse," Next Generation PC International Conference, pp. 119-124, 2005.
- [13] G. H. Yang and D. S. Kwon, "KAT II : Tactile Display Mouse for Providing Tactile and Thermal Feedback," *Advanced Robotics*, Vol. 22, pp. 851-865, 2008.
- [14] 김종혁, 남윤주, 박종제, 박명관, "MR 유체 작동기를 이용한 햅틱 마우스," 대한기계학회 추계 학술대회 논문집, pp. 52-57, 2007.
- [15] <http://www.tactile-world.com>
- [16] G. H. Yang, L. A. Jones, and D. S. Kwon, "Use of Simulated Thermal Cues for Material Discrimination and Identification with a Multi-Fingered Display," *The Massachusetts Institute of Technology Presence*, Vol.17, No.1, pp. 29-42, 2008.



김 다 혜
 2010년 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 학사
 2010년 3월~현재 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 석사 과정
 관심분야: Haptic Rendering, HCI



김 상 연
 1997년 2월 KAIST 석사
 2002년~2003년 가상현실 연구센터 연구원
 2005년 2월 KAIST 박사
 2005년 2월~2006년 2월 : 삼성중합기술원 책임연구원

2006년 3월~현재 한국기술교육대학교 조교수
 관심분야: Haptic Rendering, Haptic Actuator, Tactile display, Virtual Reality.



조 성 만
 2008년 2월 한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부 학사
 2008년 3월~2010년 8월 한국기술교육대학교 정보미디어공학부 석사

2011년 1월~현재 LG CNS 정보기술연구원 R&D Analyst