

시각장애인을 위한 햅틱 네비게이션 시스템

김상연[†], 조성만^{**}

요 약

본 연구에서는 햅틱 정보를 이용하여 시각장애인들이 이동할 방향을 촉각적으로 제시할 수 있는 휴대용 네비게이션 시스템을 제안한다. 시각장애인들에게 촉각정보를 전달하기 위해 솔레노이드, 영구자석 및 탄성 스프링으로 이루어진 촉감 모듈을 개발하고 제안하는 시스템에 탑재한다. 또한 진동모터를 탑재하여 제안한 시스템의 특정 지역에서 진동이 발생하여 시스템의 표면을 타고 다른 곳으로 흘러가는 2D 이동진동과 기법을 제안한다. 촉감모듈과 이동진동과는 제안하는 시스템 내에서 사람의 손가락과 손바닥을 각각 촉각적으로 자극함으로써 방향을 제시한다. 제안한 시스템이 촉각적으로 사용자에게 방향성을 제시할 수 있는가를 증명하기 위하여 실험을 수행한다. 본 연구의 실험 결과로부터 제안하는 시스템은 사용자에게 실시간으로 이동할 방향을 전달함을 알 수 있다.

A Haptic Navigation System for Visually Impaired Persons

Sang-Youn Kim[†], Seong-Man Cho^{**}

ABSTRACT

This paper proposes a mobile navigation system which haptically presents the way to go to visually impaired persons. In order to convey the tactile information to the visually impaired persons, we develop a new tactile module with a solenoid, a permanent magnet and an elastic spring. Furthermore, we suggest 2D vibration flow which originates from one point and gradually propagates to other points on a surface of the haptic navigation system. The tactile module and the vibration flow method are incorporated into the proposed haptic navigation system and they stimulate the user's finger pad and palm, respectively. We conduct experiments to investigate that the proposed navigation system haptically provides the direction to the users. From the experimental results, we verify that the proposed system can generate enough tactile sensation to guide the direction to go in real-time.

Key words: Haptic Rendering(햅틱 렌더링), Tactile Device(촉감제시장치), Haptic Navigation(햅틱 네비게이션)

1. 서 론

최근 들어 고령화와 안질환 및 사고 등 후천적인 원인으로 인하여 시각장애인의 수가 점점 증가하고 있다. 시각장애인들을 위하여 정부는 복지 및 편의

시설들 (예를 들면 횡단보도의 시각장애이용 음향 신호기, 인도의 점자 유도 블록 등)을 많이 설치하고 있으나, 유도 블록들은 공사 중일 경우나 길거리의 사정상 손상되기 쉽고, 시각장애이용 신호기의 경우에는 복잡한 교차로에서 오작동 하여 시각장애인이

* 교신저자(Corresponding Author): 김상연, 주소: 충남 천안시 병천면 가전리 한국기술교육대학교(330-861), 전화: 041)560-1484, FAX: 041)560-1462, E-mail: sykim@kut.ac.kr
접수일: 2010년 8월 1일, 수정일: 2010년 10월 6일
완료일: 2010년 10월 19일

[†] 한국기술교육대학교 조교수 (E-mail: sykim@kut.ac.kr)
^{**} 한국기술교육대학교 첨단기술연구소 인터랙션 연구실 (E-mail: jjokki82@naver.com)
* 본 연구는 2010년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0012455).

가려고하는 방향과 다른 방향을 안내하여 사고가 일어난 사례가 존재하는 등 이런 시설들이 그 역할을 제대로 하지 못하고 있는 경우가 종종 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 시각장애인들을 위한 안내 건들이 보급되고 있으나 안내건을 확보하는데 시간이 오래 걸리며 한 마리 키워내는데 매우 많은 금액이 필요하기 때문에 보급률이 크게 향상되지 못하고 있다. 또한 안내 건을 분양받았다 할지라도 국내 여건상 안내건의 출입이 자유롭지 못한 시설들이 많고 여러 가지 사유로 인하여 안내 건들이 은퇴하게 되는 경우, 그동안 쌓였던 정 때문에 시각장애인들이 스트레스를 받고 이로 인해 우울증이 발생하는 경우도 존재한다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 위치 센싱 모듈을 휴대용 기기에 탑재하여 길을 안내하는 시스템들이 연구/개발되고 있다. H. Makino 등은 시각장애인들에게 주위 사람의 도움 없이 가야할 길을 음성으로 안내하는 시스템을 개발하였으며[1], A. Helal은 사용자의 위치를 DGPS에서 얻고 이를 기반으로 길을 안내하는 시스템을 개발하였다[2]. 이러한 시스템들은 사용자에게 그들이 갈 방향을 시각정보나 청각정보를 이용하여 알려주기 때문에 시각장애인들이 소음이 존재하는 길거리를 걸을 때 문제가 될 수 있다. 또한 소음이 별로 존재하지 않는 곳이라도 길을 찾는 동안 시각장애인들은 휴대용기기에서 나오는 음성에 신경을 집중하고 있으므로 주변의 위험신호(예를 들면 자동차의 경적소리나 주변의 도움소리)들에 취약할 가능성이 충분히 존재한다.

그러므로 시각장애인들의 안전한 이동을 보장해 주기 위해 시각/청각 정보이외의 또 다른 감각정보인 촉각(햅틱) 정보를 제공해 줄 필요가 있다. I. Diaz 등은 햅틱정보를 포함한 네비게이션 시스템의 효율성을 가상환경에서 증명하였다[3]. 그리고 M. Simonnet 등은 시각장애인들을 위한 햅틱/음성 시뮬레이터 시스템을 구축하였다[4]. 그러나 이와 같은 시스템들은 휴대용 기기에 적용되기에는 부피가 다소 커서 주로 등에 매거나 팔을 이용하여 안고 가야한다는 단점이 있다.

최근 들어 휴대용 기기는 시각장애를 가지고 있는 사람들에게 주요한 통신 수단으로 활용되고 있다. 이에, 작은 크기를 갖는 휴대용 기기에서 햅틱 정보를 이한 안내 시스템을 구축하기 위해 진동모터

들을 휴대용기기에 장착하고 이를 기반으로 시각장애인들에게 가야할 방향을 알려주는 길 안내 시스템이 개발되었다[5,6]. 이러한 시스템을 구축하기 위하여 여러 개의 진동모터들이 시스템 내에 탑재되어 있으며 위쪽 방향으로 길 안내를 하고자 할 때는 위쪽에 위치한 진동모터가 동작하며 왼쪽 방향으로 인도하기 위해서는 왼쪽 진동 모터 만 동작하여 왼쪽편에 진동 자극만을 전달한다. 그러나 이러한 시스템은 진동모터가 동작할 때 발생하는 진동과 시스템 전체적으로 떨리게 하므로 작은 크기를 갖는 휴대용 기기에서는 어느 곳에서 진동이 발생하는지 파악하는 것이 쉽지 않으며, 방향 정보 이외에 다른 정보를 얻는 것도 쉽지 않다. 그러므로 본 연구에서는 진동이 한 곳에 발생하여 원하는 방향으로 이동하는 2D 이동 진동과 의 개념 및 이를 이용한 햅틱 렌더링 기법을 제안하고 이를 이용하여 촉각적으로 시각장애인들에게 길을 안내 할 수 있는 햅틱 네비게이션 시스템을 개발한다. 제안하는 방법은 작은 휴대용 기기에 쉽게 적용이 가능하며 또한 진동이 좌측에서 우측, 위에서 아래, 우측에서 좌측, 그리고 아래에서 위로 이동하므로 방향을 보다 더 자세하게 느낄 수 있으며 흘러가는 속도를 제어함으로써 좀 더 풍부한 감각을 생성할 수 있다. 예를 들어 전방에 사거리가 존재하고 시각 장애인인 사거리에서 좌회전을 해야 한다고 가정해 보자. 이때 이동진동과는 우측에서 좌측으로 손바닥을 통하여 전달된다. 사거리에 가까워질수록 진동이 이동하는 속도는 점점 빨라져 사거리가 얼마나 가까워 졌는지를 촉각적으로 전달할 수 있다. 또한 본 연구에서는 진동자극에 매우 둔감하거나 매우 민감한 사용자들을 위해 사용자의 손가락에 있는 기계적 수용기를 직접 자극하여 피안내자에게 이동할 방향을 제시할 수 있는 핀 어레이 형식의 촉감 모듈을 개발하고 이를 햅틱 네비게이션 시스템에 적용하여 보다 효율적으로 길을 안내할 수 있게 한다.

제안하는 햅틱 네비게이션 시스템을 소개하기 위해 2장에서는 시스템의 전체적인 구성에 대하여 소개하고 3장에서는 햅틱 네비게이션 시스템에서 소개된 2차원 이동 진동과의 생성기법과 소형 핀 어레이 타입의 핀 자극모듈에 대하여 자세히 설명한다. 그리고 4장에서는 제안하는 시스템이 방향을 촉각적으로 전달해 줄 수 있는지를 실험을 통하여 검증한다.

2. 햅틱 네비게이션 시스템

제한하는 시각장애인을 위한 휴대용 햅틱 네비게이션 시스템은 GPS/DGPS에 의해 자신의 위치 및 움직임에 확실하게 파악하고 있다는 전제하에 구축되었다. 본 시스템의 특징은 표 1에 정리한 것과 같이 휴대용 단말기에 적용될 수 있는 기존의 연구들은 방향을 제시하기 위하여 주로 음성을 사용한 것에 비하여 진동파를 사용하였다. 기존의 진동파를 사용하여 방향을 제시하려는 시도가 있었지만 본 연구에서는 기존의 연구와는 달리 진동파의 방향을 제어하여 사용자에게 전달해 줌으로 좀더 직관적으로 사용자가 가려고 하는 방향을 촉각적으로 제시할 수 있다. 그리고 제안하는 시스템은 손바닥 뿐 아니라 손가락 끝에도 자극을 전달할 수 있으므로 좀더 직관적으로 방향을 제시할 수 있다는 장점이 있다.

그림 1은 개발된 햅틱 네비게이션 시스템을 보여준다. 그림 1의 왼쪽 부분은 개발한 햅틱 네비게이션 시스템의 외형을 보여주고 있고 오른쪽 부분은 개발한 시스템을 위하여 개발한 제어기와 핀 자극부와 진동모터들을 보여주고 있다. 핀 자극부는 사용자의 손가락에 직접 자극을 주어야 하므로 밖으로 약간 돌출되도록 구성하였으며 동작 및 크기 제어를 위한 버튼들을 가지고 있다. 또한 진동파를 생성하기 위하여 사용된 진동모터들은 시스템의 안에 설치하여 시스템 내에서 진동파를 생성할 수 있도록 하였다. 개발된 햅틱 네비게이션 시스템은 루미너리 마이크로(LuminaryMicro)사의 LM3S8962 마이크로프로세서에 여러 가지 클럭, 메모리등 주변 I/O들을 부착함으로써 개발하였다. LM3S8962 프로세서에 적용된 ARM사의 Cortex-M3 코어는 32 비트 명령어로 16 비트 명령어의 성능을 보일 수 있는 Thumb-2 명령어를 지원하며 최소화된 핀의 개수를 가지고 있기 때문에 경량화 된 임베디드 시스템의 구축에 효과적

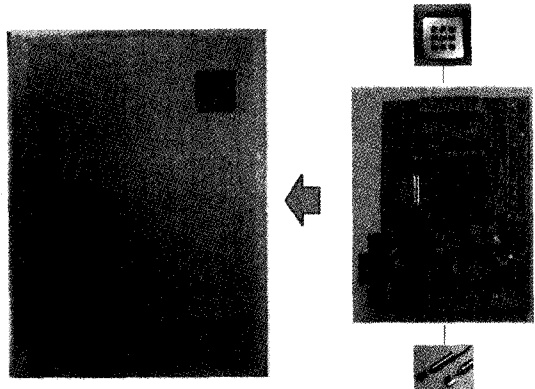


그림 1. 햅틱 네비게이션 시스템의 하드웨어

이다. 노이즈를 차단하기 위하여 커패시터와 저항을 이용하여 저역 통과 필터(Lowpass filter)를 설계하여 연결하였으며, 만일 건전지에서 순간적으로 갑작스럽게 많은 전원을 소비할 경우에 회로부가 정지되는 것을 방지하기 위해 여러 개의 커패시터들을 병렬로 연결하여 사용하는 전원 중 일부를 커패시터에 저장하도록 하였다. 또한 프로그램을 동작시키는 도중 마이크로프로세서 유닛(MPU)이 정지할 경우 재시동을 위해 푸쉬(Push) 스위치를 연결하였다. LM3S8962는 외부장치와 인터렉션하기 위한 여러 가지 주변 I/O(PWM, GPIO, A/D 컨버터)들을 내장하고 있으므로 다양한 기능을 수행하는 여러 개의 핀들을 따로 빼내어 주변 장치와의 연결이 용이하도록 하였다.

개발한 시스템은 이동진동파를 생성하기 위한 진동 렌더링 부, 무선 통신 및 제어 부, 그리고 핀 자극 모듈 부로 구성되어 있다. 진동 렌더링 부에서는 시각장애인이 가야할 방향에 따라 진동의 흐름을 계산하고 생성하여 사용자의 손에 전달해 주며, 핀 자극 모듈 부는 역시 시각장애인이 가야할 방향에 따라 어느 핀이 동작해야 할지를 결정하고 이를 기반으로 사용자의 손가락에 있는 기계적 수용기를 핀으로 직

표 1. 기존의 관련연구와의 비교

	기존 시스템	제안하는 시스템
방향제시 기능	주로 음성이용 정적인 진동감각 제공	음성뿐 아니라 목적지 방향으로 흘러가는 이동진동감각 제공
진동파 방향 제어	×	○
자극 부위	손바닥	손바닥/손가락 선택적 자극가능
휴대용기기 적용가능성	○	○

접 자극한다. 또한 무선 통신 모듈 부 및 제어 부는 PC에서 결정된 사용자의 위치를 무선으로 전달받아 진동 렌더링 부 및 핀 자극 모듈 부에 전달해 준다.

그림 2는 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 앞서 기술한 것처럼 휴대용 햅틱 네비게이션 시스템은 사용자의 위치를 장착한 지도에서 정확히 파악하고 있다고 가정하였다. 파악된 사용자의 위치는 서버에서 무선 통신모듈인 지그비(Zigbee)를 통하여 제안하는 네비게이션 시스템에 전달하며 사용자의 위치와 목적지를 기반으로 진동렌더링(vibrotactile rendering)을 통해 모터 제어신호가 생성된다. 그리고 이 신호들은 모터 드라이버들을 통하여 각각의 진동모터들을 구동하고 그 결과 2D 평면상에서의 이동 진동파가 생성된다. 또한 사용자의 이동할 방향은 컨택터 드라이버를 통하여 핀 자극장치로 전달되어 사용자의 손가락에 촉각적으로 전달된다. 이와 같이 손바닥에 전달되는 이동진동파와 손가락으로 전달되는 핀 자극을 통하여 시각장애인들을 원하는 곳까지 안내할 수 있다.

3. 2D 이동진동파를 이용한 촉각 렌더링 및 촉각 모듈

3.1 진동 렌더링

시각장애인을 위한 대부분의 햅틱 시스템들은 그

들이 가야할 길의 방향을 촉각적으로 전달하기 위해 진동모터를 주로 사용한다. 그러나 진동 모터는 그 구조의 특성상 생성되는 진동 신호의 크기(Amplitude)와 주파수(Frequency)가 상호 연결되어 있기 때문에 진동 신호의 크기와 주파수를 독립적으로 제어할 수 없으므로 다양한 감각의 생성이 어렵다. 또한 다른 곳으로 퍼져나가는 진동파를 제어하기 쉽지 않기 때문에 정적인 감각생성에만 초점을 맞춰연구/개발이 되어 왔다. 동적인 진동감각을 생성하기 위해 진동파의 흐름을 제어하여 한곳에서 다른 곳으로 이동하는 진동을 사람이 느끼게 해 주는 이동진동파의 개념이 소개 되었다[7]. 본 연구에서는 이를 확장한 2차원 이동진동파의 생성기법을 제시하고 이를 이용하여 휴대용 햅틱 네비게이션 시스템을 구축한다.

이동진동파의 개념을 설명하기 위해 그림 3과 같이 두 개의 진동 장치가 부착되어 있는 장치를 생각해 보자. 두 개의 진동 장치는 각각의 진동 장치 제어 입력 신호에 따라서 구동되며, 각 진동 장치로부터 생성된 기본 진동 신호는 디바이스의 표면을 타고 전파된 후 임의의 위치에서 조합된다. 이때 진동신호가 조합되는 위치를 적절히 바꾸어 주면 이동하는 진동신호인 이동 진동파를 생성할 수 있다.

이동 진동파는 진동 장치의 제어 입력 신호와 그에 따라 생성되는 기본 진동 신호의 여러 변수들(입력 신호 대기 시간, 진폭, 위상)을 조작하여 다양하게

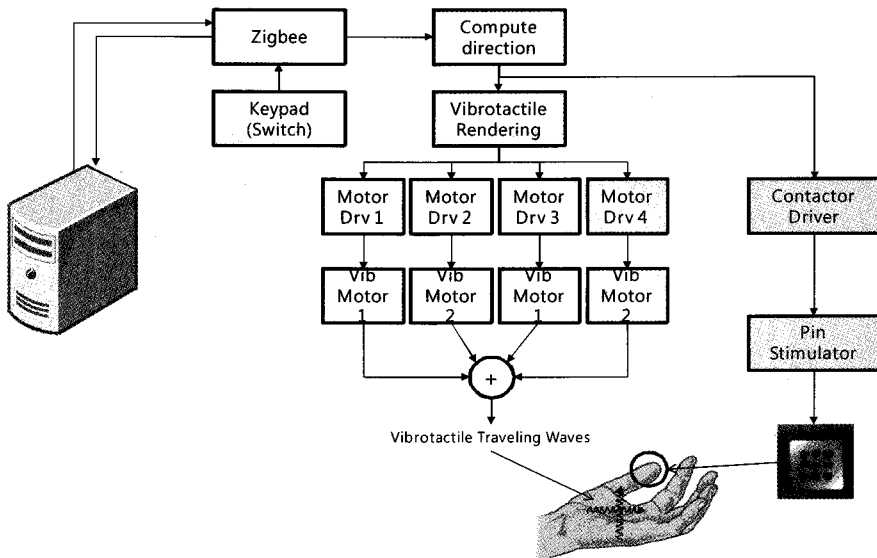


그림 2. 시스템 구성도

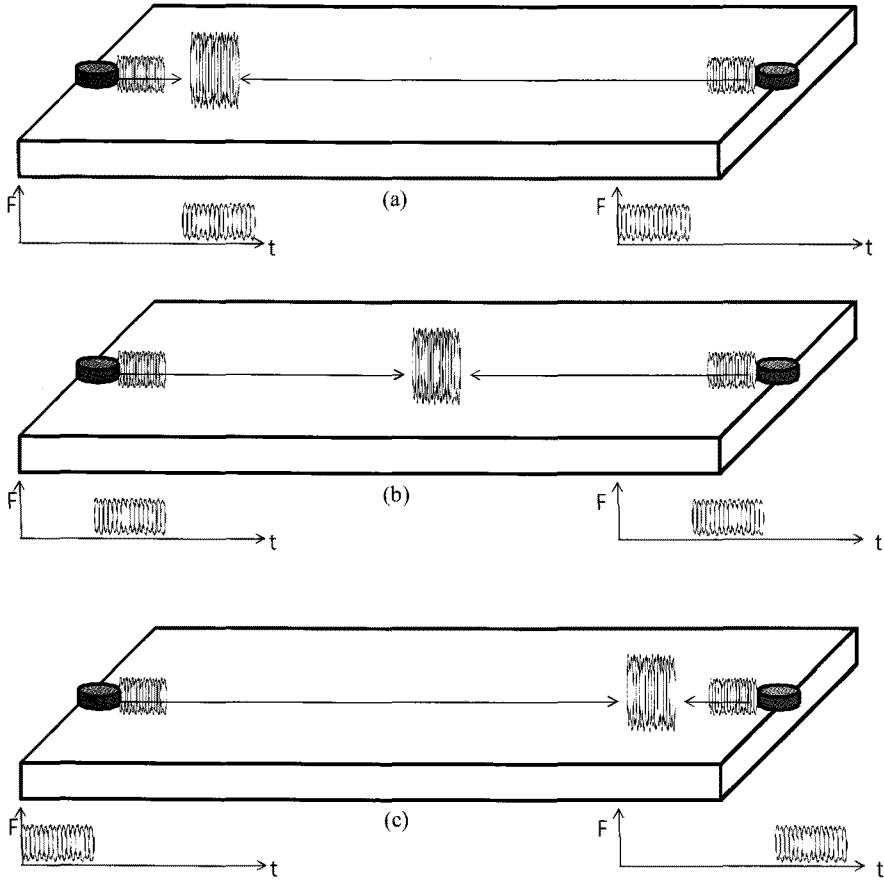


그림 3. 이동진동파의 개념도

생성 가능하다. 그림 3(a)는 오른쪽 진동자가 먼저 동작하고 일정시간 후에 왼쪽 진동자가 동작하는 경우의 예이다. 이때 진동의 합성은 왼쪽에서 발생한다. 그림 3(b)는 두 개의 진동자가 동시에 짧은 시간 동안 동작하여 장치의 중앙에서 진폭이 합성되는 경우이다. 또한 그림 3(c)는 왼쪽 진동자가 먼저 동작한 이후 일정 시간간격 후에 오른쪽 진동자가 동작하는 경우로 진동의 합성은 오른쪽에서 발생한다. 이와 같이 진동의 합성되는 위치를 연속적으로 바꾸어 주면 이동진동파가 생성된다. 이때 각각의 진동자에서 생성되는 진동신호는 사람이 느끼기에 매우 미약하며 합성된 진동신호는 각각의 진동자에 의해 발생한 진동신호보다 크게 사람을 자극한다. 일반적으로 사람의 기계적 수용기 (mechanoreceptor)에 큰 자극과 작은 자극이 동시에 들어오면 기계적 수용기는 작은 자극에는 거의 반응하지 않으므로 사용자는 진동이 이동하는 느낌을 전달 받을 수 있다.

본 연구에서 제안하는 시각장애인을 위한 휴대용 햅틱 네비게이션 시스템은 시각장애인이 디바이스의 도움을 받아 원하는 목적지까지 촉각적으로 길을 안내해 주는 것을 목표로 한다. 그러므로 휴대용 햅틱 안내시스템이란 목표에 도달하기 위해서는 좌우 또는 상하로 진동이 이동하는 느낌을 생성하여 사용자에게 전달할 수 있는 2자유도 이상의 이동진동파 렌더링 기법이 필요하다. 일반적으로 진동감각은 진동모터들을 제어하기 위해 사용되는 입력 전압에 따라 달라진다. 그러므로 적절한 입력전압의 파형을 알아보기 위해 그림 4와 같은 네 개의 이동진동파 생성 패턴을 생성하고 사용자들이 입력 패턴에 따라 생성되는 이동진동파의 감각을 구분할 수 있는가에 대한 실험을 수행하였다. 8명의 사용자들이 본 실험에 참가하였다. 각 실험 참가자들에게 어떤 패턴들이 실험 중에 전달되는 지를 충분히 설명한 후에 실험을 수행하였다. 실험에서는 각 4개의 패턴들 중에서 두개를

랜덤하게 전달한 후 구별 가능한지를 대담하게 하였다. 실험 참가자들 중 어느 누구도 정확히 제시된 패턴들을 구분할 수 없었다. 그 이유는 진동모터는 고유의 상승시간 (rising time)을 가지고 있으므로 삼각파와 구형파들을 구별할 수 없기 때문이다. 그러므로 본 연구에서는 마이크로 프로세서의 디지털 출력 포트 (GPIO)에 의해 쉽게 생성할 수 있는 그림 4의 세 번째 패턴인 구형파를 입력전압으로 사용하였다.

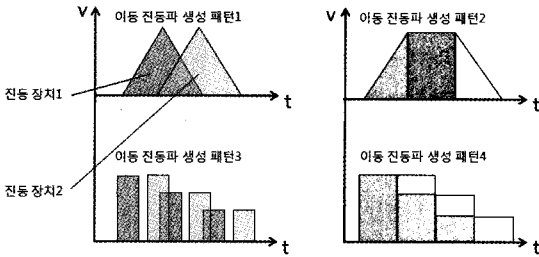


그림 4. 이동 진동파의 생성

앞서 설명한 것과 같이 휴대용 햅틱 네비게이션 시스템은 사용자의 위치를 서버나 기타 장치로부터 이미 전달 받았다는 가정 하에 개발되었다. 사용자의 위치와 목적지 정보를 바탕으로 제안하는 방법에서는 목적지로 가야할 길을 계산하고 이동할 방향을 진동의 흐름으로 표현하기 위하여 진동모터를 구동하기 위한 입력 전압, 모터의 구동시간 등을 계산하였다. 이동진동파를 생성하기 위한 제어 입력신호들 (V_{1D} 과 V_{2D})는 다음 수식 1과 2로 표현 될 수 있으며 그림 5는 수직방향으로의 진동신호를 생성하기 위한 두 개를 액추에이터를 구동하는데 필요한 제어 입력 신호 (전압)를 보여주고 있다.

$$V_{1}(t) = [h_v v_a + (1-h_v)v_c] \times \sum_{k=1}^{n-1} [u(t - ((k-1)t_p + (k-1)t_n)) - u(t - (kt_p + (k-1)t_n))] \quad (1)$$

$$V_{2}(t) = [h_v v_b - (1-h_v)v_d] \times \sum_{k=1}^{n-1} [u(t - ((k-1)t_p + (k-1)t_n) + t_a) - u(t - (kt_p + (k-1)t_n) + t_a)] \quad (2)$$

그림 5와 수식 1과 2에서 t_p 는 입력전압의 지속시간, t_n 은 입력전압의 (n-1)번째 하강에지(falling edge)와 n 번째 상승에지(rising edge) 사이의 시간차, 그리고 t_a 는 첫 번째 액추에이터와 두 번째 액추에이터의 동작 시간의 차이를 의미한다. v_a 와 v_b 는 각각 좌측과 우측에 배치한 모터의 세기를 제어하

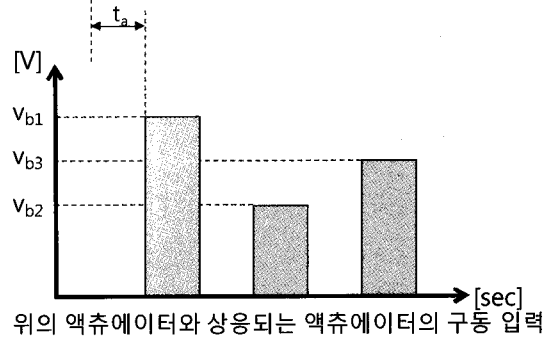
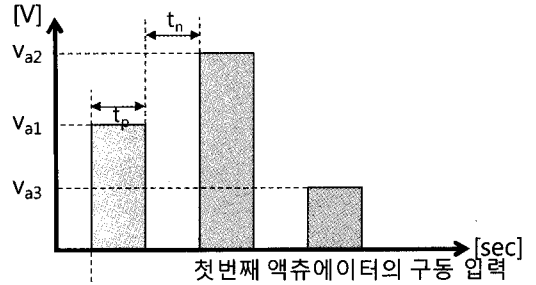


그림 5. 제어입력 신호의 예

기 위한 상수이며 v_c 와 v_d 는 위와 아래에 배치한 모터의 세기를 제어하기 위한 상수가 된다. 또한 h_v 는 상수로 수평방향 동작에서는 1이 되고 수직 방향 동작에서는 0이 된다.

3.2 핀 자극 모듈

진동의 흐름과 더불어 방향성 촉각정보를 더욱 확실하게 전달하고자 소형 핀 어레이 타입의 택타일 모듈을 소개한다. 솔레노이드 액추에이터는 힘, 변위, 그리고 작동주파수를 고려할 때 사람의 촉감을 자극하기에 적합하기 때문에 이를 이용한 다양한 촉감제시모듈이 개발되어 왔다. [8,9] 특히 양태현 등은 탄성스프링과 솔레노이드를 이용한 촉감제시용 액추에이터를 개발하고 개발한 액추에이터들의 탄성스프링을 다층으로 배열/조립하여 소형 핀 어레이 촉감 모듈을 개발하였다 [10]. 개발된 소형 핀 어레이 촉감모듈은 작동주파수, 크기 및 전력 소모 면에서 우수하지만 작은 체적을 위해 소형 솔레노이드 코일들과 영구자석들을 사용함으로 핀들의 컨택터 각각에서 발생하는 힘의 크기가 사용자에게 다양한 촉감을 자극하는데 한계가 있었다. 그러므로 본 논문에서는 기존의 소형 핀 어레이 촉감 모듈에서 모듈크기의 축소없이 발생하는 힘을 효과적으로 증가시키기 위

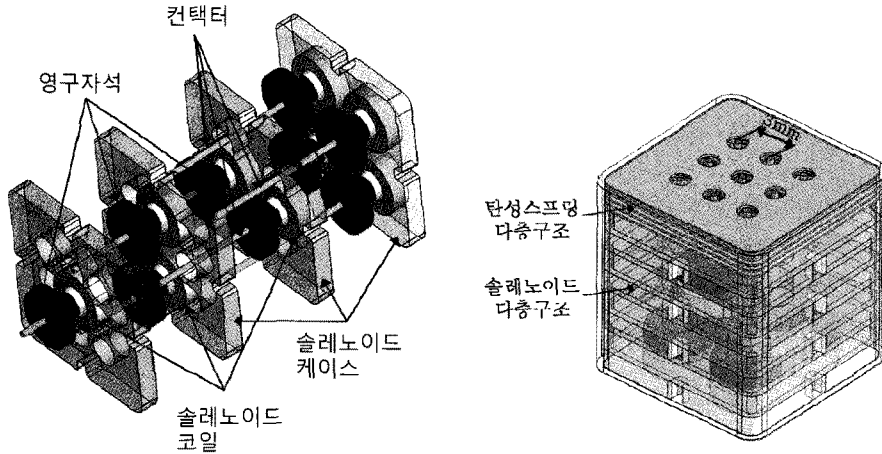


그림 6. 핀 자극을 위한 햅틱 모듈

해, 상대적으로 사이즈가 큰 솔레노이드 코일과 영구자석을 다층으로 배열한 새로운 구조를 제안하였다.

그림 6은 다층 솔레노이드 구조를 사용하여 개발한 햅틱 모듈이다. 전자기력을 이용한 액츄에이터에서 발생하는 힘의 크기는 사이즈에 매우 의존적이기 때문에, 솔레노이드 코일과 영구자석의 크기를 증가시키기 위해 각각 9개씩을 4개의 층으로 나눠 배열하여 콘택터 간의 간격을 파치니언 소체를 자극하기 적합한 3 mm로 유지하였다. 또한 영구자석과 솔레노이드사이에서 발생하는 힘에 탄성력을 추가하여 힘을 더욱 증폭시켰다. 제안된 촉각 계시 모듈은 탄성스프링 (탄성플레이트 + 나선형패턴), 스페이서 (스프링간의 간섭 없음), 영구자석과 이에 고정된 콘택터, 솔레노이드 코일과 솔레노이드케이스로 구성되었다.

4. 실험 및 평가

본 시스템이 진동의 흐름 및 핀 자극을 통하여 사용자에게 방향감각을 전달해 줄 수 있는 지를 알아보기 위하여 실험을 수행하였다. 그림 7은 실험을 하고 있는 장면을 보여주고 있다. 본 연구에서 수행한 모든 실험에 총 8명(남자7명 여자1명)의 촉각장애도 가지고 있지 않은 오른손잡이인 피 실험자들이 참여하였다.

일반적으로 사람들의 피부에 존재하는 기계적 수용기들(mechanoreceptor)들의 민감도는 많이 다르기 때문에 많은 사람을 대상으로 실험을 하면 편차가

커지게 된다. 그러므로 본 연구에서는 8명의 피 실험자들이 12번씩 실험에 참여하여 결과를 얻어 제안한 시스템의 성능을 전체적으로 파악하는 방법을 채택하였다. 본 실험에서 순수하게 촉각정보만을 활용하여 실험을 실시하기 위해 시각정보는 8명의 피 실험자들에게 전달되지 않았으며 음악이 나오는 헤드셋을 착용함으로 청각정보도 배제하였다. 사용자는 제안한 햅틱 네비게이션 시스템을 손으로 잡고 랜덤하게 들어오는 햅틱 자극(이동진동과 또는 핀 자극)을 전달받고 즉시 왼쪽, 오른쪽, 위쪽, 아래쪽의 4개중 하나를 대답하였다. 실험은 3단계로 나누어 진행하였다. 첫 번째 실험은 이동진동과만을 이용한 실험으로, 사용자가 제안한 햅틱 네비게이션 시스템을 잡고 있을 때 핀 자극모듈은 동작하지 않고 이동진동과만 생성되어 사용자에게 전달된다. 두 번째 실험은 이동진동과 자극은 전달되지 않으며 핀 자극모듈만 동작하는 경우이다. 세 번째 실험에서는 이동진동과와 핀 자극 모듈 모두가 동작하여 사용자에게 전달되게 하



그림 7. 실험 환경

였다.

4.1 실험 I. 이동진동파를 사용자가 정확히 구분할 수 있는가에 대한 평가

첫 실험은 실험 참가자들이 손바닥으로 휴대용 햅틱 네비게이션 기기를 자연스럽게 잡은 상태에서 이동진동파에 의해 전달되는 진동이 흐르는 방향을 촉각정보만으로 정확하게 구분할 수 있는가를 파악할 수 있는지를 조사하기 위하여 수행되었다. 이때 햅틱 네비게이션 기기를 잡은 손은 움직이지 않은 상태에서 햅틱 자극(이동진동파)가 생성되어 피 실험자를 자극하는 passive touch 상태에서 실험을 진행하였다. 또한 본 실험에서 이동진동파는 상황에 따라 특정방향으로 휴대용 기기의 표면에 생성되었다. 실험 중 학습되는 것을 차단하기 위해 파일럿 테스트는 이루어지지 않았다.

피 실험자들은 실험 중에 총 4개의 자극(아래에서 위(상), 위에서 아래(하), 오른쪽에서 왼쪽(좌), 왼쪽에서 오른쪽(우))을 3번씩 랜덤하게 제시받은 후 즉시 진동흐름의 방향을 ‘상’, ‘하’, ‘좌’, ‘우’ 중 하나로 대답하였다. 매 실험마다 자극 사이에는 1초간 촉감을 회복하는 시간이 주어졌다. 표 1은 본 실험에 대한 정답률을 수치적으로 보여준다. 8명중 2명을 제외한 6명의 피 실험자들은 12개 중 9개 이상의 방향을 파악하였고 3명의 피 실험자들이 12개의 자극을 모두 파악하였다. 평균 정답률은 $(78/96) \times 100 =$ 약 81.3% 정도였다. 일반적으로 사람이 4개의 문항 중 정답을 확실히 파악하지 못하고 하나를 임의로 선택하였을 때 맞출 수 있는 확률은 약 25%에 불과하다. 그러므

로 이와 비교할 때 81.3%라는 정답률은 사용자가 충분히 자극들을 구별할 수 있음을 알 수 있다.

4.2 실험 II. 핀 자극을 사용자가 정확히 구분할 수 있는가에 대한 평가

본 실험은 햅틱 네비게이션 장치에 탑재되어 있는 핀 어레이 촉감 모듈만을 이용하여 손가락을 자극할 때, 사용자가 그림 8과 같이 제시된 4방향을 정확하게 구분할 수 있는가를 조사하기 위해 수행되었다. 본 실험에서도 이동진동파를 이용한 실험과 마찬가지로 시각 및 청각 정보 없이 단지 촉각정보만을 전달하였고 4.1 절에서 참가한 피 실험자들이 그대로 참가하였다. 실험을 위하여 제안한 햅틱 네비게이션 장치의 촉감모듈에 피 실험자들의 엄지손가락을 올려 놓도록 요청하였다. 그리고 피 실험자들은 3번씩 랜덤하게 제시되는 총 4개의 핀 자극(위, 아래, 왼쪽, 오른쪽)에 대하여 ‘상’, ‘하’, ‘좌’, ‘우’ 중 하나를 선택하여 대답하였다. 사람의 기계적 수용기 중에서 메르켈 디스크(Merkel's Disk)는 1-3 Hz에서 가장 민감하게 반응한다. 그러므로 핀 어레이 촉감 모듈에서

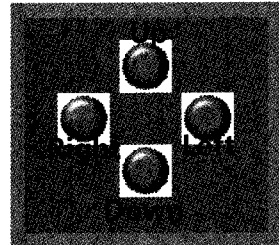


그림 8. 각각의 핀 들이 가리키고 있는 방향.

표 2. 이동진동파에 따른 진동의 방향 결과

피실험자 \ 실험횟수	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	11회	12회	정답 횟수
1	0	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	10
2	0	0	0	×	0	0	0	0	0	0	×	0	10
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
6	×	0	×	0	0	0	×	0	0	×	0	×	7
7	0	×	×	×	0	0	×	×	0	0	0	×	6
8	0	0	0	0	0	×	×	0	0	0	×	0	9
총 정답 횟수	7	6	6	6	8	7	5	7	8	7	6	5	78

각 핀들은 메르켈 디스크를 충분히 자극할 수 있도록 2Hz 로 작동되었다. 기계적 수용기가 촉감을 완전히 회복하기 위하여 3초정도의 여유를 두는 것이 좋지 만 길 안내의 특성상 3초의 여유시간동안 사용자는 몇 걸음을 더 나아갈 수 있기 때문에 자극 사이에는 1초간 촉감을 회복하는 시간을 주었다. 표 3은 핀 자극을 전달 받았을때 사용자의 정답률을 보여주고 있다. 실험 결과 1명을 제외한 모든 피 실험자들이 9개 이상의 정답을 파악하였으며 2명의 피 실험자들은 제시된 모든 자극들을 완벽하게 구분하였다. 실험결과 평균 정답률은 약 $(80/96)*100 = 83.3\%$ 였다. 이 결과는 이동진동파만 제시하였을 때의 정답률과 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 이 결과 역시 일반적으로 사람이 4개의 문항 중 정답을 확실히 파악하지 못하고 하나를 임의로 선택하였을 때 맞출 수 있는 확률이 약 25%인 것을 고려하면 사용자가 방향을 감지하지 못해서 임의로 대답하지 않고 충분히 자극들을

구별하여 대답하였음을 알 수 있다.

4.3 실험 III. 이동진동파 및 핀 자극을 동시에 주었을 때 사용자가 정확히 구분할 수 있는가에 대한 평가

본 실험은 햅틱 네비게이션 장치에서 사람의 손바닥을 통해 전달되는 이동진동파와 손가락을 자극하는 핀 자극을 동시에 주었을 때 방향을 정확하게 구분하는 가에 대한 결과를 얻기 위해 수행하였다. 본 실험에서도 앞서 두 실험처럼 시각 및 청각 정보 없이 단지 촉각정보만을 이용하여 수행하였으며 동일한 피 실험자들이 참가하였으며 피 실험자들은 3번 씩 랜덤하게 제시되는 총 4개의 자극(위, 아래, 왼쪽, 오른쪽)에 대하여 ‘상’, ‘하’, ‘좌’, ‘우’ 중 하나를 선택하여 대답하였다. 표 4는 표시된 방향을 맞추는 것에 대한 평균 정답률($(63/96)*100 = 65.6\%$)을 보여주고 있으며 이로부터 두 개의 자극을 동시에 주면 사용자는 혼란을 받아 오히려 정답률이 낮아짐을 알 수 있

표 3. 핀 자극에 따른 방향구별 실험 결과

피실험자 \ 실험횟수	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	11회	12회	맞춘 갯수
1	0	0	×	0	×	0	×	0	0	0	0	0	9
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
3	0	0	0	0	×	0	0	0	0	0	0	0	11
4	0	0	0	×	0	×	0	0	×	0	×	×	7
5	0	0	0	×	0	0	0	×	0	×	0	0	9
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	×	11
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
8	×	0	0	0	0	0	0	×	×	0	0	0	9
총 정답 횟수	7	8	7	6	6	7	7	6	6	7	7	6	80

표 4. 이동진동파와 핀 자극을 모두 전달하였을 때의 방향구별 실험 결과

피실험자 \ 실험횟수	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	11회	12회	맞춘 갯수
1	0	0	×	0	×	0	×	×	0	0	0	0	8
2	0	0	0	×	×	×	0	×	×	×	0	0	6
3	0	0	0	0	0	×	0	0	0	×	0	0	10
4	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
5	0	×	0	0	0	0	×	0	0	0	×	0	9
6	0	×	0	×	×	0	×	0	0	0	0	×	7
7	×	×	0	0	×	0	0	0	0	×	0	0	8
8	0	×	0	×	0	×	×	×	×	×	0	×	4
총 정답횟수	6	4	7	7	5	5	5	5	6	5	7	7	63

표 5. 이동진동파 또는 핀 자극을 선택적으로 전달하였을 때의 방향구별 실험 결과

자극종류 피 실험자	이동진동파	핀 자극	이동진동파+핀 자극	이동진동파 또는 핀 자극
1	10/12 = 83.3%	9/12 = 75%	8/12 = 66.7%	11/12 = 91.7%
2	10/12 = 83.3%	12/12 = 100%	8/12 = 66.7%	12/12 = 100%
3	12/12 = 100%	11/12 = 91.7%	10/12 = 83.3%	12/12 = 100%
4	12/12 = 100%	7/12 = 58.3%	11/12 = 91.7%	11/12 = 91.7%
5	12/12 = 100%	9/12 = 75%	10/12 = 83.3%	12/12 = 100%
6	7/12 = 58.3%	11/12 = 91.7%	7/12 = 58.3%	11/12 = 91.7%
7	6/12 = 50.0%	12/12 = 100%	9/12 = 75.0%	11/12 = 91.7%
8	9/12 = 75%	9/12 = 75%	6/12 = 50.0%	10/12 = 83.3%
평균	81.3%	83.3%	71.9%	93.8%

다. 65.6%라는 확률은 25%의 확률보다는 높지만 하나의 자극만을 (이동진동파의 자극 또는 핀 자극) 전달하였을 때의 확률 보다 상당히 낮아짐을 알 수 있다.

표 2과 표 3의 결과를 보면 핀 자극에 민감한 사람이 있고, 진동자극에 민감한 사람이 있음을 파악할 수 있다. 그러므로 같은 피 실험자를 다시 선택하여, 핀 자극에 민감한 사람에게는 핀 자극만 제시하고 진동 자극에 민감한 실험자에게는 진동자극만 주어서 실험을 다시 수행하였다. 실험 결과 (표 5)에서 보듯이 모든 피 실험자들이 총 12개 중 10개 이상의 자극을 구분하였으며 1명을 제외한 모든 피 실험자들의 정답률은 90% 이상이었으며 평균 정답률은 약 93.8% (90/96) 로 방향을 매우 정확하게 구별함을 알 수 있었다. 그러므로 본 햅틱 네비게이션 시스템을 이용하여 사용자에게 선택적으로 자극을 가하는 경우 길을 확실히 안내할 수 있으므로 시각장애인들에게 유용하게 사용될 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 시각장애인들에게 촉각적으로 길을 안내할 수 있는 휴대용 햅틱 네비게이션 시스템을 제안하였다. 이동해야 할 방향을 확실히 파악하고자 한곳에서 진동이 발생하여 다른 곳으로 휴대용 네비게이션 시스템의 표면을 타고 반대편으로 이동하는 이동진동파를 사용하였으며, 사람의 엄지손가락에 핀 자극을 주어 방향을 표현하기 위해 핀 자극을 위한 텍타일 모듈을 제작하여 휴대용 네비게이션 시스템에 장착하였다. 그리고 실험을 통해 개발한 휴대용

햅틱 네비게이션 시스템이 사용자가 갈 방향을 정확히 인지하게 해 줌을 알 수 있었다. 본 연구에서 제안한 기법 및 장치들은 네비게이션 시스템 뿐 아니라 휴대폰에도 적용하여 직관적인 조작을 가능하게 할 수 있다. 또한 제안하는 장치는 오감을 이용한 게임 및 유아 교육용 도구 등에 사용하여 몰입감 있는 시스템을 구축하는데 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] H. Makino, I. Ishii and M. Nakashizuka, "Development of Navigation System for the Blind Using GPS and Mobile Phone Combination," *18th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Amsterdam 1996, pp. 506-507, 1996.

[2] A. Helal, S. Moore, and B. Ramachandran, "Drishti: An Integrated Navigation System for Visually Impaired and Disabled," *Proceedings of the 5th International Symposium on Wearable Computer*, October 2001, Zurich, Switzerland, 2001.

[3] I. Diaz, J. Hernantes, and J.J. Gil, "Combining Sensorial Modalities in Haptic Navigation Tasks for Blind People," *9th European Conference for the Advancement of Assistive Technology in Europe (AAATE 2007)*, pp. 315-319, 2007.

[4] M. Simonnet, J.Y. Guinard and J. Tisseau, "Preliminary work for vocal and haptic navigation software for blind sailors," *International Journal Of Disability and Human Development*, Vol.52 No.2, pp. 61-67, 2006.

[5] N. Henze, W. Heuten, and S.Boll, "Non-Intrusive Somatosensory Navigation Support for Blind Pedestrians," *Eurohaptics 2006*, pp. 459-464, 2006.

[6] S. Ertan, C. Lee, A. Willets, H. Tan. and A. Pentland, "A Wearable Haptic Navigation Guidance System," *The Second International Symposium on Wearable Computer*, pp 164-165,

[7] S. Y. Kim, J. O. Kim and K. Y. Kim, "Vibrotactile Traveling Waves - A New Vibrotactile Rendering Method for Mobile Devices," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.55 No.3, August, pp.1032-1038, 2009.

[8] T. Fukuda, H. Morita, F. Arai, H. Ishihara and H. Matsuura, "Micro Resonator Using Electromagnetic Actuator for Tactile Display," *IEEE International Symposium of Micro mechatronics and Science*, Nagoya, Japan, pp. 143-148, October, 1997.

[9] M. B. Khoudja, M. Hafez, J. M. Alexandre, A. Kheddar, and V. Moreau, "VITAL: A New Low-Cost Vibro-TActiLe Display System," *IEEE International Conf. Robotics & Automation*, New Orleans, LA, pp.721-726, April, 2004.

[10] T. H. Yang, S.Y. Kim, C. H. Kim, D.S. Kwon and W. J. Book, "Development of A Miniature Pin-Array Tactile Module using Elastic and Electromagnetic Force for Mobile Devices," *Third Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, Salt Lake City, UT, USA, pp. 13-17, March, 2009.



김 상 연

1997년 2월 KAIST 석사
 2002년~2003년 4월 가상현실 연구센터 연구원
 2005년 2월 KAIST 박사
 2005년 2월~2006년 2월 삼성 중합기술원 책임 연구원

2007년 3월~현재 한국기술교육대학교 조교수
 관심분야: Haptic Rendering, Tactile Display, Virtual Reality, HCI



조 성 만

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

관심분야: Haptic Rendering, Haptic Interface, Computer Graphics, Embedded System