

모바일 기기를 위한 진동촉각 디스플레이와 선호하는 패턴 생성방법

A Vibrotactile Display for Hand-held Devices and Its Preferable Pattern Generation Method

양기훈*, 진연섭, 강성철
(Gi-Hun Yang^{1,*}, Yeonsub Jin², and Sungchul Kang²)

¹Robotics R&BD Group, Korea Institute of Industrial Technology

²Center for Bionics, Korea Institute of Science and Technology

Abstract: In this paper, a vibrotactile pad system, T-mobile, is developed to provide vibrotactile cues for hand-held devices. A grooved and slim design is adapted to the back-side plane of the T-mobile, and the contact part consists of 12 vibrotactile panels which can operate independently and separately. To be isolated among vibrotactile actuators, the surface of the cover is divided into several pieces. Each vibrating module consists of a linear resonant actuator, a section of covering surface, and a vibration isolator. In order to provide spatial and directional information, sensory saltation and phantom sensation are applied to the T-mobile. To evaluate the developed device, two experiments were conducted to test whether directional information and spatial information can be successfully displayed by the device. Additionally, in order to find optimal stimulation by sensory saltation, an empirical test was conducted. As a result, spatial and directional information would be useful for displaying intuitive information for hand-held devices with vibrotactile feedback and reasonable near-optimal value for sensory saltation was obtained.

Keywords: vibrotactile display, hand-held devices, phantom sensation, sensory saltation

I. 서론

진동 촉각 자극은 휴대폰이나 PDA 등의 모바일 기기에 햅틱(haptic) 기술을 적용하기 위한 가장 단순하면서도 효과가 큰 방법이다. 이러한 진동 촉각 자극은 버튼의 유무 뿐 아니라 의도나 정보 전달이 가능하게 해 주며, 다양한 형태의 자극 방식을 통해서 시각과 청각 자극과 함께 사용자에게 전달이 가능하다. 예를 들면, 이제는 거의 일반화된 터치 기반 스마트폰의 경우, 전화 건 사람에게 따라서 울리는 진동의 패턴을 다르게 한다던가 숫자판에 따라서 울림의 세기나 길이 등을 설정하여 화면을 보지 않고도 눌렀는지의 여부와 내가 원하는 버튼인지 아닌지도 판단이 가능하다. 반면에 대부분의 스마트폰들의 진동 자극 장치는 하나의 액추에이터만을 사용하여 진동 촉각 자극을 전달하도록 되어 있다. 복잡한 정보 전달을 위해 배열(array) 형태의 진동 촉각 장치가 개발되었고, 이러한 형태의 장치에는 다수의 액추에이터가 사용되어 여러 자유도의 자극을 전달할 수 있는 장점이 있다. 손목을 포함한 팔에는 array type의 장치가 가장 많이 적용된 신체 부위이며, 진동 촉각 패드 시스템[3]의 경우 모바일 기기에 적용이 가능한 상태로 개발 되었다. 이 연구에서는 잘 알려진 촉 착각(sensory illusion) 현상을 이용하여 자극을

생성하였으며 Sensory saltation과 Phantom sensation 현상을 응용하였다. 또한 이 연구에서는 모바일 기기에 특화된 날개 구조의 진동 촉각 자극 생성 패드 시스템을 함께 개발하였다. MIT에서는 팔과 상체(등) 부위에 적용이 가능한 진동 촉각 array를 개발[1]하여 성능을 비교하였고 이때 상체의 인식 결과가 진동 패턴을 인식하는 데 있어서 더 우수한 결과를 나타낸 것으로 보고 되었다.

등 부위에 적용이 가능한 진동 촉각 array 장치는 Perdue 대학에서도 개발이 되었다. 3x3 형태의 자극 장치는 잘 알려진 촉 착각 현상인 cutaneous rabbit을 이용하였으며 주의 집중과 방향 전달을 목표로 개발되었다. 실제 진동 촉각을 이용한 네비게이션 시스템에도 방향 정보나 유도 차선등의 가상 정보를 촉각화 하는데 적용이 되었으며 시각으로 상황을 인지하기 전에 반응 시간을 줄여주는 데 유용한 것으로 파악되었다. 일본의 Yanagida 등[9]은 3x3 array 시스템을 통해서 알파벳과 숫자를 구분할 수 있는 가능성에 대해서 연구하였으며 등에 적용된 Piatetski와 Jones [1]의 4x4 array 자극 시스템은 정보 전달에 유용하게 사용될 수 있음을 실험을 통해서 확인하였다.

앞선 사례들에서 알 수 있듯이 하나의 액추에이터를 사용하는 현재의 모바일 기기등에서 확실한 방향이나 위치 정보를 촉각으로 전달하기는 쉽지 않다. 가장 큰 이유로써는 진동 촉각 자극 자체가 방향성이 없고 다양한 주파수와 크기가 섞여 있기 때문이다. 또한 여러 개의 액추에이터를 사용할 경우 서로간의 간섭 문제를 해결하는 것이 필수적인데 현재의 디바이스들은 이러한 특성을 반영하지는 못한다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 여러 연구자들이 다수의

* Corresponding Author

Manuscript received June 2, 2014 / revised June 20, 2014 / accepted June 30, 2014

양기훈: 한국생산기술연구원 로봇연구실용화그룹(yanggh@kitech.re.kr)
진연섭, 강성철: 한국과학기술연구원 바이오닉스연구단
(jeong3@naver.com/kasch@kist.re.kr)

※ 본 연구는 한국생산기술연구원과 한국과학기술연구원의 지원을 받아 연구되었음.

액추에이터를 사용하여 촉각각 현상을 적용하는 연구를 수행해 왔다. Cutaneous rabbit이라 불리는 Somatosensory saltation 현상(또는 sensory saltation)은 오래된 촉각각(tactile illusion) 현상 중 하나로 서로 떨어진 하나 이상의 위치에서의 연속적이고 반복적인 촉각 자극이 이러한 점들을 연속적으로 이동하는 것처럼 느껴져서 방향 등을 표시하기에 적합한 현상이다. 마치 토끼가 자극 점에서 뛰어 다닌다고 하여 cutaneous rabbit이라고도 부른다. 이를 통해 우리는 방향 정보를 표시할 수 있다. 또한 연속적인 위치의 표시는 위치와 방향 정보를 표현하면 벡터 정보를 표현할 수 있기 때문에 촉각만으로는 표현이 불가능한 정보들을 표현하는데 결정적이다. 또 다른 촉각각 현상 중에 하나인 Phantom sensation의 경우에 서로 떨어진 위치에서 자극의 세기와 타이밍의 조절을 통해 자극 점의 중간 지점에서 자극이 느껴지는 현상이며, 이를 통해서 직선, 평면 상에 원하는 위치에 자극을 만들어 낼 수 있다. 이렇듯 두 가지의 촉각각 현상을 이용하여 우리는 진동 촉각 장치를 통해서 위치와 방향 정보를 표현할 수 있으며, 도보 안내 시스템이나 정보 전달 단말로써의 모바일 어플리케이션에 활용이 가능한 시스템을 개발할 수 있다.

본 논문의 나머지에서는 개발한 장치에 대한 특징과 진동 촉각 자극의 생성 방법 그리고 이를 이용한 실험들에 대해서 소개한다. II 장에서는 진동 촉각 패드 시스템에 대해서 소개하고, III 장에서는 진동 촉각 자극 생성시 활용한 방법에 대해서 기술한다. 위치와 방향 정보를 표현하고 이를 구분하는 실험과 결과에 대해서 IV 장에서 기술하며 결론부에서는 활용성과 본 논문에서 제시한 방법의 적합성에 대해서 논의한다.

II. T-Mobile: 진동 촉각 패드 시스템

이번 장에서는 본 연구에서 개발된 T-Mobile로 명명된 진동 촉각 입력 장치의 개요에 대해서 소개한다. Tangible 과 Mobile의 합성으로 이름이 결정되었다. 이 장치는 12개의 진동판에서 전달되는 분리된 진동 촉각 cue를 전달할 수 있다.

또 이 장치를 개발하는 데 있어서 Ryu의[15] 연구를 참조하여 디자인에서의 고려사항을 결정 하였으며 다음과 같다.

- 진동 부위를 쉽게 구분이 가능해야 할 것
- 편안한 그림감을 제공하는 사용자 중심의 디자인 적용
- 접촉면에서의 모양 변형 등이 일어나지 않을 것
- 적은 수의 액추에이터로 최대의 효과를 낼 것

위에서 명시된 디자인 요건을 기반으로, T-mobile의 프로토타입을 디자인 하였다. 진동 촉각 표면은 12개의 panel로 이루어져 있으며 접촉면의 뒷부분에만 위치한다. 또한 sensory saltation을 일으키는 최소의 위치점이 3개라는 점을 감안하여 한 줄에 세 개 이상의 진동판이 배치되도록 하였다. 더욱이 일반적인 스마트폰의 경우 LCD 화면 비율은 16:9나 4:3의 비율을 갖기 때문에 가로는 3개의 패널이 세로로는 4개의 패널이 위치되도록 하는 3x4 배열 형태의 디자인을 T-mobile의 뒷면에 차용하였다. 삼성전기의 LRA (Linear Resonant Actuator)를 각각의 패널에 적용하여 진동 촉각을 생성할 수 있도록 하였으며 고유 공진 주파수가 175Hz로 동작하기 때문에 175Hz의 amplitude modulation을 통해서 자극의 세기나 작동 시간 등을 결정하였다. 12개의 패널은 각각 독립적으로 움직



그림 1. 진동 촉각 패드 장치, T-Mobile.

Fig. 1. Vibrotactile pad device, the T-Mobile.

이며, 그림 1과 같이 액추에이터 배치와 내부 제어기등을 확인할 수 있다. 진동 촉각 액추에이터간의 거리는 18mm이며 세로로는 24mm가 적용되었다.

T-mobile의 제어기는 마이크로컨트롤러와 모터 구동 드라이버로 구성된다. 마이크로 컨트롤러의 역할은 진동의 세기와 길이를 결정하여 장치가 원하는 위치와 방향 정보를 갖는 진동 촉각 자극을 만들어 낸다. 원하는 위치와 방향 정보는 각 진동 셀의 진동 세기와 타이밍으로 변환되며 진동 촉각 패턴 생성에 관한 자세한 내용은 다음 장에서 다룬다. 각 진동 셀의 액추에이션 정보는 PWM (Pulse Width Modulation) 방식으로 인코딩되어 마이크로 컨트롤러의 디지털 입출력 단자(DIO)를 통해서 모터 구동 드라이버로 전달되고 모터 구동 드라이버는 선형 공진 액추에이터를 구동하여 최종적으로 사용자에게 진동 촉각 자극을 전달한다. 이때 8단계의 액추에이터 power level을 설정하고 적용하였으며 이는 8가지의 진동 촉각 자극을 전달할 수 있음을 의미한다. 이를 이용하여 연속적인 위치 정보를 표시하는 방식은 Yang [15]의 논문에서 자세히 다루고 있다.

III. 촉각각 현상에 기반한 진동 촉각 자극 생성

촉각각 현상은 여러 연구자들에 의해 상황에 맞는 자극을 생성하기 위해 적극적으로 활용되어 왔다[2,3,5]. 비록 사람이 손가락 사이사이의 중간 지점에서 ‘실제로’ 느낄 수는 없지만 자극이 거기에 존재하는 것처럼은 착각하도록 할 수 있다. 많은 연구자들이 손등이나 등 부위에 cutaneous rabbit 현상을 일으키기 위해 필요한 최적의 촉각 펄스의 개수나 촉각 펄스 간의 간격에 대해서 보고하였다. Yang [3] 등은 이러한 자극을 손바닥에 집중하여 실험적인 접근을 통해 최적값을 결정하였다. 이번 장에서는 두 가지의 촉각각 현상인 somatosensory saltation과 phantom sensation에 대해서 간단히 알아보기로 한다[3].

1. Sensory saltation

Somatosensory saltation이라 불리는 체감각의 착각 현상은 오래 전부터 익숙한 촉각각 현상 중에 하나로써 두 점 이상의 피부 표면에 반복적이고 빠른 시퀀스의 자극이 특정한 조건에서 자극 점 사이를 연속적으로 움직이는 것 같은 착각을 불러일으키는 현상이다[8,13,14]. 다시 말해 일정한 위치와 시간 간격을 가진 자극이 움직이는 것 같은 착각을 불러일으키는

것이다. Tan [2]등은 이 현상을 그들이 만든 등 자극 햅틱 장치에서 방향 자극을 생성하는 데 활용하였다. 이 연구 결과에 따르면 자극간의 시간 간격은 50ms가 최적값에 근접하는 값이며 실험은 20~300ms의 자극을 실험하였다. 등 부위에 있어서 saltation을 일으키는 촉각 펄스의 개수는 3~6 개이며 이중 3이 등 부위에는 최적이라고 보고하였다. 이 연구에서 흥미로운 점은 saltation 펄스에 있어서 자극의 세기와 길이는 영향력이 상대적으로 적은 것으로 보고 되었다.

Yang [3]등은 이 현상을 촉각 디스플레이 패드 시스템에서 방향 정보를 생성하는 데 활용하였다. 손가락이나 손바닥에 대한 최적값은 보고된 적이 거의 없어 적절한 자극 생성을 위해 실험적인 방법을 사용하였다.

Hirsh와 Sherrick 등[12]이 보고한 바와 같이 사람이 두 개의 자극의 순서를 구분하기 위해서 필요한 최소 시간 간격은 18msec로 알려져 있다. 또한 어떤 자극이 먼저 오는지 알려주지 않은 상태에서 자극의 순서를 구분하는 데는 26msec의 시간이 필요한 것으로 알려져 있다. 따라서 최소 요건을 만족하기 위해서 자극내의 시간 간격을 24msec로 설정하고 자극간의 시간 간격은 30msec로 고정하였다. 또한 임의의 피실험자를 대상으로 3,4,5 tap의 자극을 생성하여 실험자마다 가장 선호하는 자극을 선택하도록 하였는데 이 때 4 tap을 선택하는 경우가 많아서 4 tap의 자극을 방향 정보를 생성하는데 활용하였다. 또한 전체 촉각 자극의 길이가 600msec를 넘어가게 되면 실험자들은 이러한 자극이 하나의 패턴이 아닌 조합된 패턴이라고 인식하는 경향이 강했으며 이를 참고하여 8가지의 방향과 두 개의 회전 자극이 전체 자극 시간 600msec를 넘지 않도록 설정하여 진동 자극을 생성하였다.

2. Phantom sensation

촉각 자극 현상 중에는 Phantom sensation이라 불리는 흥미로운 지각 현상이 존재해 왔다. 서로 같은 크기를 같은 자극이 피부 표면에서 근접한 두 개의 위치에서 동시에 자극이 되면 특정한 조건 하에서 두 개의 자극이 아닌 중간 지점의 하나의 자극처럼 인지되는 현상을 의미한다. Phantom sensation은 1절의 sensory saltation과 서로 연관성이 있다. 실제로 자극의 위치보다 더 많은 중간 지점들을 촉각 자극으로 표현하기 위해서는 phantom sensation 현상을 활용하여 임의의 위치를 표현할 수 있도록 해야 한다. 시간에 따라 변하는 phantom sensation을 활용한 연구도 있으며[10] apparent movement로 불리기도 한다. Phantom sensation에 영향을 주는 요소들로는 자극간의 거리, 상대적인 자극의 크기, 시간적 순서 등이 있다. 이 중에 자극간의 상대적인 크기가 가장 큰 영향 요소로 알려져 있다.

Alles [4]가 자신의 연구에서 언급했듯이 자극의 세기 변화와 시간 지연을 통해서 phantom sensation을 만들어 낼 수 있음을 확인하였다. 두가지 방법 중 자극의 세기 변화 방식이 더 효과적임을 확인하였다. 위치 변화 자극 생성시에 자극의 세기를 일정하게 유지시키기 위해서는 로그함수 프로파일을 갖도록 자극의 세기를 조정해 주어야 한다. 이러한 사전 연구 결과를 활용하여 임의의 위치에 대한 자극을 생성하였다. 촉각 렌더링 방법은 저자들의 기존 연구[15]에 자세히 나와 있다. 요약하자면 한정된 개수(3x4)의 액추에이터로 연속적인 임의의 위치에 대한 자극을 표현한 것이 핵심이 될 것이다.

IV. T-Mobile의 실험적인 평가

1. 방향 정보 표현

KIST에 소속된 열명의 건강한 피실험자(7명의 남자와 3명의 여자, 나이 25~35)가 방향 정보 표시 평가 실험에 참여하였다. 피실험자들은 신체가 불편하거나 감각 자극에 있어서 평범한 사람들이며 말초환경계 질환을 앓았던 경력이 없다고 보고하였다. 촉각 자극 장치인 T-mobile이 이 실험에 활용되었으며 방향 정보를 표시하는 용도로 사용되었다.

방향 정보는 III 장에서 논의된 촉각 제시 파라미터를 활용하여 생성이 되었으며 진동 자극시 소리로 판단하는 경우를 배제하기 위해 pink noise를 헤드폰을 통해 전달하여 소리로 자극을 구분하는 데 영향이 없도록 하였다.

그림 2에서와 같이 동서남북의 여덟 방위 정보와 2개의 회전 정보(시계방향, 반시계 방향)로 이루어진 총 열 개의 방향 정보를 생성하였으며 피 실험자들은 임의로 생성된 방향 정보를 10개중에서 하나로 지정하는 실험(10 AFC)을 수행한다. 총 80회의 반복 실험을 수행하며 실험 수행 전에 피 실험자들이 자극에 대해서 간단하게 자가 테스트 형식으로 자극을 체험할 수 있도록 하였다. 실험 과정 중에는 피실험자는 원할 경우 자극을 다시 느껴볼 수 있도록 하였다. 자극을 전달 받은 이후에 피 실험자는 열 개의 자극 중에 하나를 고르게 되고 컴퓨터 프로그램이 자동적으로 답안을 기록한다. 피 실험자들은 실험 중간에는 고른 자극이 정답인지 아닌지 확인이 불가능하며 자극에 대한 답을 할 때 무제한의 시간을 주었으나 대부분의 피실험자들은 10초 이내에 자극에 대한 답을 하였다. 10개의 자극으로 이루어진 한 세트의 실험을 끝내면 3분의 휴식시간을 주었고 이후에 실험을 진행하였다.

표 1은 실험 결과의 요약을 보여주고 있다. 실험 결과는 전체 참여 실험자에 대해서 평균을 내었으며 대각선의 결과가 정답률을 나타내고 있다. T-mobile의 방향 정보 표시에 대한 전체 평균 정답률은 92.1%로 준수한 수준이며 각각의 방향에 대해서 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다 (F(9,81)=1.686, p=0.106). 이는 피 실험자들이 방향정보를 별 어려움 없이 인식할 수 있었음을 의미한다. 손가락이나 손바닥은 형상 등이 사람마다 쉽게 변할 수 있고 지속적인 접촉이 어려운 부위로 방향 정보를 전달하는데 있어서 선호되는 신체 부위가 아니었다. Piatetski와 Jones등이 언급했듯이 등은

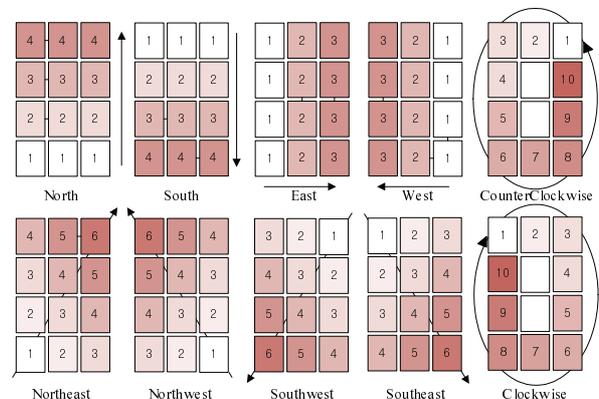


그림 2. 방향 정보 표시 방법.

Fig. 2. Representation of directional informations.

표 1. 위치 정보 인식 결과.

Table 1. Experimental results for directional informations.

Presented directional pattern	Subject Response									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	97.6	1.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3.8	92.5	1.3	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	7.5	5.0	87.5	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
4	3.8	3.8	0.0	82.5	2.5	5.0	1.3	0.0	1.3	0.0
5	0.0	5.0	0.0	0.0	88.8	0.0	2.4	3.8	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.0	6.3	2.4	0.0	1.3
7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.3	95.0	2.4	0.0	0.0
8	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	1.2	2.6	93.8	0.0	1.2
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.3	3.7
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.2	97.6

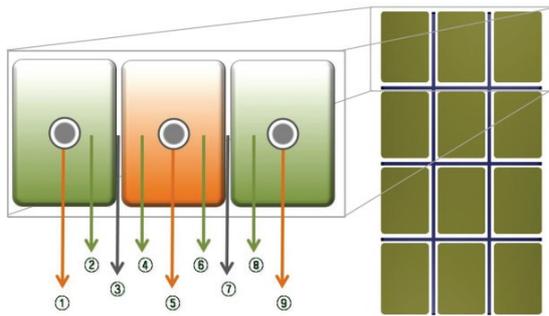


그림 3. 9개의 위치 정보를 표시하는 방법의 개념도.
Fig. 3. Schematic diagram of presenting nine-locations using three factors.

팔목 등에 비해서 더 인식률이 높음을 주장했었다(99-100%). 92%의 결과는 충분히 좋은 결과임을 알 수 있으며, Schatzle 등이 수행했던 손목이나, 팔꿈치, 팔뚝 등에 대한 실험과 비교해서도 상당히 좋은 결과임을 확인할 수 있었다. 또, 조작성이나 민감도가 상체에 비해서 손이 가지는 이점을 생각한다면 모바일 기기 등에 적용이 가능한 진동 촉각 장치는 충분히 경쟁력이 있다고 생각된다. 진동 촉각판을 분리함으로써 비슷한 task에 대해서 개발되었던 일체형 장치[17]에 비해 활용성이 더 높은 것을 확인하였다.

2. 위치 정보 표현

위치 정보 표현 실험을 위해서 KIST에 소속된 열명의 건강한 피실험자(6명의 남자와 4명의 여자, 나이 25~32)가 참여하였다. 피실험자들은 신체가 불편하거나 감각 자극에 있어서 평범한 사람들이며 말초환경계 질환을 앓았던 경력이 없다고 보고하였다. 촉각 자극 장치인 T-mobile이 이 실험에 활용되었으며 위치 정보를 표시하는 용도로 사용되었다.

이 실험에서는 12개의 자극 지점 중 일렬로 놓인 3개의 자극 지점만이 사용되었다. T-mobile은 이 세 개의 자극 포인트에서 총 9개의 위치를 그림 3과 같이 표현하게 된다.

피실험자는 T-mobile의 뒷면에 손을 접촉하고 실험 방법에 대해서 듣게 된다. 9개의 위치 정보는 실험 전에 미리 테스트해 볼 수 있도록 하였으며 실험이 시작되면 컴퓨터 프로그램은 9가지의 자극을 랜덤하게 생성하며 피실험자가 하나의 위치 정보를 선택하면 컴퓨터가 자동으로 기록하고 다음 자극으로 넘어가도록 되어 있다. 각 자극마다 9번의 실험을 하게 되어 총 81개의 자극에 대해서 피실험자가 실험을 하게

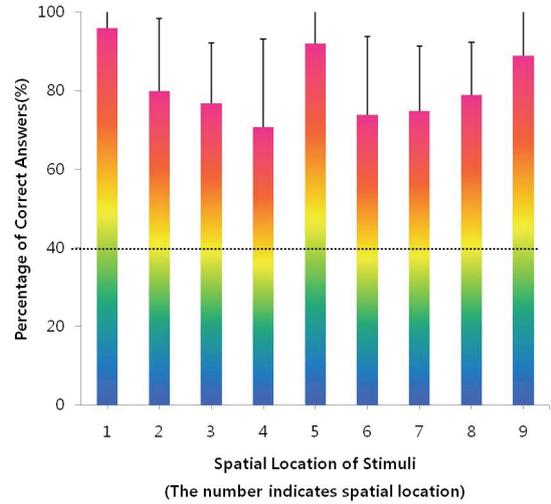


그림 4. 9개의 위치 정보에 대한 실험 결과.
Fig. 4. Experimental results of spatial location identification.

되며, 원할 경우 3번까지 자극을 다시 느껴볼 수 있도록 하였다. 이 실험에서도 역시 자극을 소리로 판단하는 경우를 배제하기 위해서 pink noise를 헤드폰을 통해 적용하였으며 9개의 자극으로 이뤄진 한 세트의 실험을 끝내면 촉각 자극의 적응을 방지하기 위해서 3분의 휴식 시간을 부여하였다.

그림 4는 이 실험에 대한 결과를 보여준다. 평균 정답률은 81.2%를 보여주고 있다. 1,5,9의 위치에는 액추에이터가 직결되어 있는 위치이며 하나의 액추에이터만 진동하기 때문에 상당히 높은 정답률을 보여주고 있으며, 가장 낮은 정답률을 보이는 위치도 최소 71% 이상의 정답률을 보였다. 1,5,9의 위치의 정답률에 대해서 유의미한 차이는 없음을 확인하였으며($F(2,18)=1.713, p=0.206$) 9AFC의 실험 조건이었음에도 하나의 액추에이터에 대한 결과는 92.2%의 높은 정답률을 기록하였음을 알 수 있다. 이를 제외하면 실험의 난이도는 5AFC와 유사함을 유추할 수 있으며 여전히 71% 이상의 정답률 (평균 75.8%)로 의 피실험자들이 비교적 수월하게 위치 정보를 구별할 수 있음을 확인할 수 있다. 다시 말해 피실험자들이 위치 정보를 구분하는 데 있어서 비교적 신뢰도 있게 자극을 받아들였음을 의미한다. Phantom sensation을 활용한 자극 생성 방법은 실제 액추에이터의 개수보다 3배나 더 많은 위치를 안정적으로 생성할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

3. 방향 정보 표시에 대한 최적 자극 방법

방향 정보를 생성하는데 있어서 최적의 자극 설정값을 찾기 위해서 하나의 방향 정보를 생성시 사용하는 진동판의 수와 액추에이터의 탭 횟수, 그리고 전체 자극 시간에 대해서 실험적인 방법이 사용되었다. 이 설정값을 조합하여 하나의 방향을 표시하는 데 총 9가지의 샘플 자극을 생성하였고 이에 대해서 가장 선호하는 자극을 선택하는 실험을 하였다. KIST에 소속된 열명의 건강한 피실험자(6명의 남자와 4명의 여자, 나이 25~32)가 참여하였다. 피실험자들은 신체가 불편하거나 손에 대한 감각 자극에 있어서 평범한 사람들이며 말초환경계 질환을 앓았던 경력이 없다고 보고하였다. 4-1절에서 사용했던 총 10가지의 방향 정보(여덟 방위와 두 회전)에 대해서 7번씩의 반복 실험을 수행하였고 10개의 자극으로

표 2. 방향 정보 표시에 최적 자극에 대한 실험 결과.
Table 2. Experimental results for optimal value of presenting directional informations.

Order of Priority	Kind of Stimulation							
	3 Factors		4 Factors		6 Factors		10 Factors	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
Percentage of Selection (%)	86	6	68	13	58	20	51	28
Total Stimulation Time(ms)	309	189	492	412	515	615	630	430

이뤄진 한 세트의 실험을 수행하면 3분간의 휴식 시간을 제 공한 후 실험을 수행하였다.

표 2는 방향 정보 표시에 따른 최적 자극에 대한 실험 결과를 보여주고 있다. 모든 피실험자에 대해서 결과 값은 평균을 내었으며 1위와 2위를 한 자극에 대해서 선호도와 전체 자극 시간을 따로 표기하였다. 선호도의 경우 개인간의 차이가 있기 때문에 상대적으로 큰 편차가 존재하나 가장 많이 선택한 값을 최적값이라 간주하였다. 이 실험적인 방법의 흥미로운 점 중 하나는 factor의 수가 늘어남에 따라 전체 자극 시간도 늘어나는 것을 볼 수 있다. 또한 6개의 factor까지는 선형적인 움직임은 보이는 반면, 10개의 자극에서는 더 이상 증가하지 않는 것으로 판단할 수 있다. 이것은 전체 자극 길이가 무한정 증가하는 것이 패턴을 파악하는 데 있어서 유리한 것은 아님을 의미한다. 하나의 패턴이라고 인식하는 시간적 한계가 있음을 의미하는 것으로 해석이 가능하고, 이는 기존의 sensory saltation의 실험적인 연구 결과[15]와도 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이 연구 결과를 토대로 손바닥과 손가락을 통해 방향 정보를 전달하는 데 있어서 전체 자극 시간을 일정 시간 이내로 설정해야 한다는 결론을 얻었다.

4. 실험 결과에 대한 고찰

일련의 실험들의 주 목적은 촉 착각 현상 기반의 진동 촉 각 자극이 적절한 위치와 방향 정보를 표현할 수 있는지에 대한 여부를 실험하기 위한 것이다. 새로운 진동 촉각 디스플레이 장치로써 T-mobile은 방향정보를 거의 완벽하게 표현 가능했고 인지적 특성을 활용한 위치 정보는 충분히 직관적으로 사용할 수 있음을 확인하였다. 본 연구의 가장 핵심적인 기여는 진동 촉각 장치에서 위치와 방향 정보를 함께 생성 할 수 있는 가능성을 확인한 것이다. 더욱이 Phantom sensation을 이용하여 실제 액추에이터의 수보다 더 많은 지점에 대한 표현이 가능하였던 점이다. 실험상으로는 실제 액추에이터의 표현 가능 지점보다 3배 향상된 세밀함을 구현하였다. Loomis [6] 등이 언급하였듯이 순차적 자극이 동시 자극보다 우수하다고 하였으며, 이는 sensory saltation 현상을 응용하는 방식이 방향 표현을 위한 진동 촉각 자극을 생성하는 데 있어서 유리한지를 단적으로 보여주는 사례가 된다 하겠다.

또한 최적의 자극 시간에 대한 실험으로부터, 진동 자극을 생성하는 데 있어서 자극점의 개수와 시간의 관계에 대해서 어느 정도의 비례관계에 있음을 확인하였으며, 자극 생성시 에 하나의 패턴으로 인식되기 위한 시간적 제한이 존재하는

것도 실험적으로 확인하였다. 분리가 되지 않은 진동면을 사용했던 Yang의 연구 결과[17]와 비교하면 본 개발된 장치와 같이 굴곡이 진 면에 대해서 진동면이 분리되었을 경우 정답률이 더 높게 나온점을 감안할 때 saltation이 적절하게 전달되기 위해 유리하다는 것을 확인 하였다. 개발된 장치를 이용하여 모바일 기기 기반의 네비게이션이나 진동 촉각을 활용한 정보 전달이 가능할 수 있을 것으로 기대한다.

V. 결론

본 연구에서는 add-on 형태의 위치와 방향 정보 표현이 가능한 진동 촉각 패드 시스템을 개발하였다. 개발된 장치는 12개의 진동 촉각 셀로 이루어져 있으며 하나의 셀은 진동 절연부, 선형 공진 액추에이터, 커버로 이루어져 있다. 위치와 방향 정보를 축 착각 현상을 기반으로 생성하였으며 크기와 방향을 갖는 벡터 성분을 개발된 장치로 표현할 수 있는 가능성을 확인하였다.

여덟 방위와 두 가지의 회전에 대한 직관적인 방향 정보를 개발된 장치로 표현할 수 있었으며, 실험을 통해 진동 촉각 자극이 적절히 생성되고 인식될 수 있음을 확인하였다. 실험 결과에 따르면 초보자들의 경우에도 92%의 방향 정보 인식 률을 나타내었고 상당히 직관적임을 확인하였다. 더욱이 액 추에이터가 위치하지 않는 지점에서의 자극 생성이 Phantom sensation 현상을 이용하여 가능함을 확인하였으며 이는 제한 된 수의 액추에이터를 활용하여 더 세밀한 진동 촉각 기반 자극 생성이 가능함을 의미한다. 최적의 진동 촉각 자극을 생성하기 위한 파라미터 선택 실험 또한 수행되었으며 임의 의 진동 자극을 생성할 때 기준이 되는 자료로써 활용이 가능할 것으로 기대한다.

REFERENCES

- [1] E. Piatetski and L. A. Jones, "Vibrotactile pattern recognition on the arm and torso," *Proc. of Worldhaptics*, Mar. 2005.
- [2] H. Z. Tan, R. Gray, J. Jay Young, and R. Traylor, "A haptic back display for attentional and directional cueing," *Haptics-e.*, vol. 3, no. 1, Jun. 2003.
- [3] G. Yang, M. Jin, Y. Jin, and S. Kang, "T-Mobile: Vibrotactile display pad with spatial and directional information for hand-held device," *The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 5245-5250, Oct. 18-22, 2010, Taipei, Taiwan
- [4] D. S. Alles, "Information transmission by phantom sensation," *IEEE Transaction on Man-Machine Systems*, vol. MMS-11, no. 1, Mar. 1970.
- [5] L. Rahal, J. Kammerl, J. Cha, E. Steinbach, and A. E. Saddik, "Investigating the influence of temporal intensity changes on apparent movement phenomenon," *IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems (VECIMS)*, pp. 310-313, Hong Kong, China, May 2009.
- [6] J. M. Loomis, "Tactile pattern perception," *Perception*, vol. 10, pp. 5-27, 1981.
- [7] S. Schatzle, T. Hulin, C. Preusche, and G. Hirzinger, "Evaluation of vibrotactile feedback to the human arm," *Proc. of EuroHaptics 2006*.
- [8] F. A. Geldard and C. E. Sherrick, "The cutaneous rabbit: a

perceptual illusion," *Science*, vol. 178, pp. 178-179, 1972.

- [9] Y. Yanagida, M. Kakita, R. W. Linderman, Y. Kume, and N. Tetsutani, "Vibrotactile letter reading using a low-resolution tactor array," *Proc. of the 12th International Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, Chicago, Mar. 2004.
- [10] M. Niwa, R. W. Linderman, Y. Itoh, and F. Kishino, "Determining appropriate parameters to elicit linear and circular apparent motion using vibrotactile cues," *World Haptics 2009 - Third Joint EuroHaptics conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp. 75-78, Mar. 2009.
- [11] F. A. Geldard, "The saltatory effect in vision," *Sensory Processes*, vol. 1, pp. 77-86, 1976.
- [12] C. E. Sherrick, Auditory Saltation in Princeton Cutaneous Research Reports, vol. 26, pp. 8-9, 1975.
- [13] R. W. Cholewiak, A. A. Collins, and J. C. Brill, "Spatial factors in vibrotactile pattern perception," *Proc. of Eurohaptics 2001 Conference*, Jul. 2001.
- [14] F. Blankenburg, C. C. Ruff, R. Deichmann, G. Rees, and J. Driver, "The cutaneous rabbit illusion affects human primary sensory cortex somatotopically," *PLOS Biology*, vol. 4, no. 3, e69, Mar. 2006.
- [15] D. Ryu, G-H. Yang, and S. Kang, "T-Hive: Vibrotactile interface presenting spatial information on handle surface," *IEEE 2009 International Conference on Robotics and Automation*. Kobe, Japan, pp. 683-688, May 2009.
- [16] J. W. Hill and J. C. Bliss, "Perception of sequentially presented tactile point stimuli," *Perception & Psychophysics*, vol. 4, pp. 91-101, 1968.
- [17] G-H. Yang, Y. Jin, M. Jin, and S. Kang, "Vibrotactile cradle for smart cell-phone providing spatial and directional cues," *The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, Phuket, Thailand, pp. 938-944, 2011.



양기훈

2000년 KAIST 기계공학과 졸업. 2002년 KAIST 기계공학과 석사 졸업. 2008년 KAIST 기계공학 박사 졸업. 2008년~2010년 KIST 박사후 연구원. 2010년~현재 한국생산기술연구원 로봇연구실 융화 그룹 선임연구원 재직중. 관심분야는 생체모방로봇, 원격 제어, 햅틱스, 촉각 디스플레이.



진연섭

2009년 서울시립대 컴퓨터 공학과 졸업. 2014년 연세대학교 전자공학과 졸업. 2009년~현재 한국과학기술연구원 바이오닉스연구단 위촉연구원 재직. 관심분야는 모바일 매니플레이션, 우주 로봇, 원격 제어, 햅틱스 등.



강성철

1989년 서울대학교 기계설계학과 졸업. 1991년 서울대학교 기계설계학과 석사 졸업. 1998년 서울대학교 기계설계학과 박사 졸업. 1991년~현재 한국과학기술연구원 바이오닉스 연구단 책임연구원 재직. 관심분야는 로봇 매니플레이션, 햅틱스, 수술로봇, 필드 로봇 등.