

음악의 셈여림표를 이용한 모바일 기기용 진동 아이콘의 설계

Tactile Icon Design Using Music Dynamics For Mobile Devices

유용재, 황인욱, 최승문

Yongjae Yoo, Inwook Hwang, Seungmoon Choi

(790-784) 경북 포항시 남구 효자동 산 31 포항공과대학교 컴퓨터공학과 햅틱스 및 가상현실 연구실
{dreamseed, inux, choism} @ postech.ac.kr

요약

이 연구에서는 의미 전달을 위한 진동 신호, 즉 “진동 아이콘”을 설계하는 데 있어서, 음악의 악상 기호 중 셈여림표의 개념을 적용하여, 진동의 세기의 변화를 위주로 하는 16가지의 다양한 진동 아이콘을 설계하였다. 이렇게 설계한 진동 아이콘의 효용성을 확인하기 위하여, 모바일 기기의 모형(Mockup)을 사용하여 왼손과 오른쪽 허벅지에 재생시킬 때의 정보 전달 (Information Transfer, IT)을 구하는 인지 실험을 수행하였으며, 그 결과로 얻어낸 혼동행렬을 이용하여 각각 진동 아이콘의 정확률 및 진동 아이콘간의 유사성을 계산하였다. 실험 결과 왼손과 오른쪽 허벅지에서 평균 3 비트(bit) 이상의 정보 전달을 나타내었으며, 이는 손과 허벅지의 각 부위에서 약 8~9개 정도의 진동 아이콘을 구별할 수 있음을 의미한다. 또한 각 아이콘의 유사성을 확인한 결과를 바탕으로 실제 휴대 전화와 같은 모바일 기기에 적용할 수 있는 시나리오를 설계함으로써 효용성을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we created 16 “tactile icons” for mobile devices with variations of amplitude, which was analogous to dynamics in music. For investigating these icon's usability, we conducted an identification experiment, measuring their information transfer(IT) with a mockup of mobile devices. The two possible locations of a mockup were participants' left hand and right thigh in this experiment. As the results, hit ratio of each tactile icon was calculated and similarities between tactile icons were investigated by building confusion matrices. The average information transfer(IT) was above 3 bits in both stimulus locations of left hand and right thigh. This result says that we can discriminate 8 to 9 tactile icons at human hand or at human thigh. We also derived a scenario which is applicable to current mobile devices in order to verify the usability of these tactile icons.

키워드 : 진동 아이콘, 모바일 기기, 셈여림표, 진동의 세기 조절, 정보 전달(IT), 인지

Keyword : tactile icon, mobile devices, music dynamics, amplitude variation, information transfer(IT), identificatio

1. 서론

이 논문에서는 음악에서의 썸머림표를 이용한 “진동 아이콘(Tactile icon)”의 설계와, 사람의 손과 허벅지 부위에서의 진동 아이콘의 인지 능력을 고찰하며, 이 결과에 기반하여 모바일 기기에서 진동 아이콘의 적용 시나리오를 도출하였다. “진동 아이콘(Tactile Icon)”이란 2003년 MacLean 등에 의하여 제안된 개념으로, 추상적인 의미(Abstract Meaning)를 전달하기 위한 진동 신호(Vibrotactile Signal)이다 [1]. 이 진동 아이콘에 대한 연구는 주로 변별력 (Discriminability)이나 학습가능성 (Learnability), 아이콘의 인식(Identification), 기억 (Memory)과 관련해서 주로 수행되고 있다. 이 논문에서는 진동 아이콘의 변별력과 아이콘의 인식에 대하여 다룰 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2절에서는 진동 아이콘의 개념과 연구 현황, 그리고 진동 아이콘 생성에 사용한 음악의 썸머림표에 대한 배경 지식을 먼저 간략하게 소개한다. 3절에서는 본 논문에서 수행한 실험에 대하여 설명하고 실제로 썸머림표를 사용하여 설계한 진동 아이콘을 소개하고, 실험 절차와 세부 사항들을 소개한다. 4절에서는 3절에서 설계한 실험의 결과에 대하여 서술하고, 5절에서는 결과에 대한 분석 및 토의를 거친다. 6절에서는 본 논문의 결과를 적용 가능한 응용사례를 제시하고, 7절에서 본 논문의 내용을 정리하고 마친다.

2. 배경 지식 및 관련 연구

2.1 진동 아이콘(Tactile Icon)

진동 아이콘이란 추상적인 의미를 전달하기 위하여 만들어진 체계를 갖는 간결한 진동 신호를 말한다. 이 진동 아이콘은 2003년 MacLean에 의해 제안되었으며 [1], Brown 등의 2005년도 연구 [2] 등에 의해 활발하게 연구되고 있다. 이 진동 아이콘은 여러 가지의 구성 요소들을 가질 수 있는데 대표적으로 강도 (Amplitude), 주파수(Frequency), 길이(Duration), 리듬(Rhythm), 강도의 변화 양상(Amplitude Envelope), 신체 부위(Body site)등과 같은 요소들

들 수 있다. 이 진동 아이콘은 단 하나의 요소의 변화로도 인지적으로는 큰 변화가 일어날 수 있으므로 특정한 각 요소에 대한 연구 또한 활발하게 이루어지고 있다. 일례로, 2006년도 Brown 등의 연구에서는 기존에 대표적으로 리듬과 거친 정도(Roughness)로 구성되었던 진동 아이콘에 신체 부위라는 새로운 요소를 찾아내었으며 [3], 두 개 이상의 서로 다른 요소들을 결합하여 다차원의 진동 아이콘(Multidimensional Tactile Icon)을 생성하는 연구가 수행되기도 하였다. 2008년도 Ternes 등의 연구에서는 리듬을 중심으로 84개의 진동 아이콘을 생성하고, 각각을 집단 분류(Cluster Sorting) 및 다차원 척도법(Multi-Dimensional Scaling, MDS) 분석을 통하여 변별력(Discriminability)에 대한 연구를 수행하였고, 그 결과 길이와 불규칙성(Unevenness)이 인지적으로 중요함을 발견하였다 [4].

이러한 진동의 여러 요소 중에서, 진동의 강도에 대한 연구는 비교적 최근에 주목받기 시작하였다. 대표적으로 휴대 전화나 기타 진동 패턴을 설계함에 있어서 인지적으로 왜곡없이 전달되는 진동 강도 척도의 설계와 효용성에 대한 연구가 류종현 등에 의해 이루어졌다 [5] [6].

또, 다양한 진동 아이콘을 실제로 사용하기 위해서는 사용자들이 진동 아이콘을 학습하기 용이하여야 한다. 이를 위하여 진동 아이콘의 학습가능성(Learnability)을 알아보기 위한 연구가 수행되기도 하였다 [7].

그러나 진동 아이콘의 인지와 학습에 관련된 연구는 아직까지 초기 단계에 있어 많은 부분이 밝혀지지 않았으므로 추가적인 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

이러한 진동 아이콘들은 운전이나 비행기 조종과 같이 시각과 청각 채널이 이미 점유되어 있는 상황에서도 사용자의 주의집중을 흐트러뜨리지 않고도 추가적으로 정보를 제공할 수 있으며, 소방관의 소화 작업, 특수부대원의 작전 수행과 같은 극한 상황에서 외부 소음으로 인해 청각 자극을 통한 정보 전달이 어려울 때 효율적으로 사용될 수 있다. 또한 모바일 기기에서는 Immersion 사의 TouchSense[®]와 같이 휴대 전화의 진동 벨, 터치스크린 폰에서의 사용자의 입력에 대한 진동 반응 등 다양한 분야에 진동 아이콘

이 응용될 수 있다 [8].

2.2 음악의 썸어림표(Dynamics)

일반적으로 음악의 썸어림표(Dynamics)는 각 음표의 음량(Volume)과 관련된 용어나 표현, 기법들을 의미한다. 그러나 넓은 의미에서의 썸어림표는 악기의 연주기법이나, 음 하나 하나의 기능적인 면도 포함한다. 또한 썸어림표는 어떤 음이 정확히 어느 정도의 음량이라고 정의하는 것이 아니라, 상대적인 음의 크기를 의미한다. 예를 들면, 메조피아노(*mp*, mezzopiano)는 단순히 피아노 (*p*, piano)보다 다소 강하고 메조포르테 (*mf*, mezzoforte)보다 다소 약하게 연주하라는 의미이다.

음악에서는 썸어림표의 등장에 따라 음량이 커질 수도 있고 작아질 수도 있는데, 이러한 변화는 갑자기 또는 천천히 일어난다. 갑자기 변화하는 예로는 스포르찬도 (*sfz*, sforzando)가 있는데, 이는 한 음의 음량을 유난히 크게 하고 다시 원래대로 돌아옴으로써 한 음에 대하여 강하게 악센트를 주는 것이다. 또, 포르테피아노 (*fp*, fortepiano)의 경우는 해당 기호 앞까지는 강하게(forte), 해당 기호 뒤부터는 약하게(piano) 연주하라는 의미이다. 서서히 변화하는 예로는 crescendo, decrescendo가 있는데, 이는 각각 서서히 강하게, 서서히 약하게 연주하라는 의미이다. 마찬가지로 모두 상대적인 음량의 변화를 위해 사용된다.

이러한 음악의 썸어림표들은 음량의 조절만을 이용하여 다양한 표현 효과를 얻을 수 있으므로 음악 내에서도 자주 사용된다. 진동은 소리와 유사한 특성을 가지고 있으므로, 진동에서도 이러한 음악의 썸어림표를 이용하여 동일한 효과를 얻을 것으로 기대할 수 있다. 이 논문에서는 음악에서의 음량에 해당하는 진동의 세기(Amplitude)를 조절하여 진동 아이콘을 생성하고 정보를 전달하는 방법의 이용과 그 효용성에 대하여 고찰하였다.

2.3 정보 전달(Information Transfer, IT)

정보 전달(Information Transfer, IT)이란 C. Shannon 이 정립한 정보 이론(Information Theory)

에서, 2개의 무작위 변수 사이의 정보의 양을 의미한다 [9]. 흔히 비트(bit) 단위로 나타내어지며, 얼마나 많은 정보를 상호 전달하고 있는지를 로그 단위로 나타내준다. 이 정보 전달의 증가는 정보 이론에 의하면 불확실성(Uncertainty)의 감소와 동일한 의미를 지닌다.

이를 사람의 자극 인지와 반응에 대하여 적용해보면, 자극이 가지고 있는 정보량을 IS (Information in Stimuli)라고 하였을 때, 항상 $IT \leq IS$ 의 관계식을 만족하며, 사람의 응답과 자극의 정보가 100% 일치할 때, $IT = IS$ 로 같다.

주어진 자극과 이에 대한 사람의 응답에 대하여, i 번째 진동과 j 번째 응답을 (S_i, R_j)의 순서쌍으로 나타낼 경우, 이 순서쌍 하나의 정보 전달 IT는 아래 [수식 1]을 통하여 얻을 수 있다.

$$IT(S_i, R_j) = \log_2 \frac{P(S_i | R_j)}{P(S_i)} \quad [1]$$

※ $P(S_i) = S_i$ 가 제시될 확률,

$P(S_i | R_j) =$ 응답이 R_j 일 때, S_i 가 제시되었을 조건부확률

주어진 모든 자극과, 각각 자극에 대한 응답에 대하여 IT를 구한 다음, 이것의 평균을 내면 평균 정보 전달(Average IT)이 되며, 실제로는 최대 우도 추정(Maximum-likelihood estimation)을 거쳐서 추정값 IT_{est} 를 구하게 된다. k가지 종류의 자극이 제시될 때, n을 자극이 재생된 총 횟수, s_i 를 i번째의 자극이 제시된 횟수, r_j 를 j번째 자극이라고 응답한 횟수, n_{ij} 는 i번째의 자극에 j번째 응답이라고 응답한 횟수라고 할 때, 위 [수식 1]에서 $P(S_i)$ 는 S_i 가 제시될 확률이므로 $\frac{s_i}{n}$ 이고, 조건부확률 $P(S_i | R_j)$ 는 $\frac{n_{ij}}{r_j}$ 이므로 확률 부분을 풀어 쓰면

$$IT(S_i, R_j) = \log_2 \frac{n_{ij} \cdot n}{s_i \cdot r_j} \text{이며, } \sum_{i=1}^k s_i = n,$$

$\sum_{j=1}^k r_j = n$ 을 만족한다. 이 때, 최대 우도 추정을

통하여 모든 IT들의 가중 평균을 구하면 IT_{est} 를 구할 수 있다. 이는 아래 [수식 2]와 같다.

$$IT_{est} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k \left(\frac{n_{ij}}{n} \right) \log_2 \frac{n_{ij} \cdot n}{s_i \cdot r_j} \quad [2]$$

2.4 혼동행렬(Confusion matrix)

2.3 절에서 언급한 정보 전달을 구하기 위해 흔히 사용되는 방법 중 하나로 혼동행렬(Confusion Matrix)을 구하는 방법이 있다. 혼동행렬이란 i 번째 자극과 j 번째 응답을 순서쌍으로 하여, 이를 행렬의 (i, j) 번째의 성분으로 표현하는 것이며, 이를 이용하면 전체 자극과 응답의 수를 이용하여 각각의 경우에 대한 피험자의 정확률(hit rate)과 정보 전달(IT)을 쉽게 구할 수 있게 된다. 예를 들어, 아래 <표 1>과 같은 혼동 행렬의 경우를 살펴보면, 세로 줄의 S_i 는 5가지의 자극 중 i 번째 자극이 제시된 횟수를 의미하며, 가로줄의 R_i 는 피험자가 i 번째 자극이라고 응답한 횟수를 의미한다. <표 1>에서 S_2 자극은 총 19번 나타났으며, 전체 100개의 자극에 대하여 피험자가 S_2 자극이라고 응답한 횟수는 22회이다. 또, S_1 자극에 대하여 피험자가 S_1 자극이라고 응답한 횟수 (R_1 과 S_1 의 교차점)는 14회이며, S_1 자극을 S_3 자극이라고 잘못 응답한 횟수(R_3 과 S_1 의 교차점)는 2회임을 확인할 수 있다. 또, S_1 자극이 제시된 횟수는 20회임을 알 수 있다.

<표 1> 5개의 진동 자극에 대한 혼동행렬의 예

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	
S_1	14	3	2	0	1	20
S_2	0	13	2	3	1	19
S_3	4	3	11	1	0	19
S_4	2	0	2	15	1	20
S_5	5	3	2	0	12	22
	25	22	19	19	15	100

3. 실험 설계 및 방법

실험에서는 이러한 음악의 썸어림표 개념을 이용한 진동 아이콘의 효용성을 알아보기 위하여, 썸어림표 개념을 이용하여 16개의 진동 아이콘을 생성하고, 실 사용 환경과 유사한 조건에서의 인지(Identification) 실험을 통하여 정보 전달(IT)을 측정하였으며 이에 기반한 사용 시나리오 제작이 이루어졌다.

3.1 진동 아이콘 설계

앞서 2절에서 언급한 음악의 썸어림표를 이용하여, 강도(Amplitude)의 변화를 위주로 하는 16개의 진동 아이콘을 생성하였다(IS : 4 bit). 강도의 변화 이외에 다른 변인을 최대한 통제하기 위하여 리듬은 4분 음표 4개로 통일하였으며, 주파수는 진동자의 공진 주파수인 175 Hz로 통일되었다. 본 실험에서는 <표 2>에 나타난 썸어림표와 MIDI volume, 실제 소리 크기의 대응 관계를 참고하여 썸어림표에 해당하는 진동 자극의 강도를 대응시켰다. 진동의 강도는 진동자에 인가하는 전압을 통하여 조절하는데, 사용할 강도의 범위는 <표 3>과 같이 가장 약한 진동(음악의 pianissimo(*pp*))에 대응이 전압 0.5 V, 가장 강한 진동이 전압 2.5 V(음악의 fortissimo(*ff*))에 대응)가 되도록 하였다. 이 결과 만들어진 진동 아이콘의 파형은 <표 4>와 같다. 각각의 진동 아이콘의 전체 자극 길이는 2초이며, 4분 음표 1개는 0.4초간 재생되었고 음표 사이의 간격은 0.1초로 정해졌다.

<표 2> 썸어림표와 MIDI Volume, 실제 소리 크기와의 대응관계

썸어림	MIDI volume	소리 크기의 예
<i>ppp</i>	16	속삭임
<i>pp</i>	33	중얼거림
<i>pp</i>	49	작은 소리로 말하기
<i>mp</i>	64	평범한 말하기
<i>mf</i>	80	
<i>f</i>	96	약간 크게 말하기
<i>ff</i>	112	큰소리로 떠들기
<i>fff</i>	126	크게 소리지르기

<표 3> 셈여림표에 해당하는 진동자 인가 전압

셈여림표	<i>pp</i>	<i>p</i>	<i>mp</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>ff</i>
전압(V)	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	2.5

3.2 실험 장비 및 피험자

악보와 악상 기호를 온전히 읽을 수 있으며, 왼손과 하반신의 감각에 이상이 없는 20 ~ 27세의 남자 피험자(평균 : 22.1세) 10명에 대하여 실험을 수행했다. 실험 참가 시 반드시 주머니가 있는 긴 바지를 입고 오도록 미리 공지하였다. 실험 후 피험자들에 대해서 균등한 피험자 수고비가 지급되었다.

실험 장비는 모바일 기기(iPhone, Apple Inc. [10])의 아크릴 모형(Mockup: 크기 110 mm × 60 mm × 10 mm) 측면에, 소형 진동자로 현재 모바일 기기에서 가장 많이 이용되는 선형공진모터 (LRA, Linear Resonance Actuator, 공진주파수 175 Hz, 정격전압 2.8 V, LG이노텍)를 부착하여 사용하였다.

3.3 실험 방법 및 설계



(그림 1) 피험자가 모형을 쥐는 방법



(그림 2) 피험자 허벅지에서의 모형의 위치

<표 4> 16개의 진동 아이콘 디자인(파형, 악보, 이름)

1. No Dynamics	2. Crescendo	3. Decrescendo	4. Hairpin
5. Reverse Hairpin	6. 1 st beat sforzando	7. 4 th beat sforzando	8. 1 st beat <i>pf</i>
9. 3 rd Beat <i>pf</i>	10. 2 nd Beat <i>fp</i>	11. 3 rd Beat <i>fp</i>	12. <i>fp</i> - <i>pf</i>
13. <i>pf</i> - <i>fp</i>	14. Double hairpin	15. Cresc. - <i>fp</i>	16. Decresc. - <i>pf</i>



(그림 3) 실험에 사용된 GUI 프로그램

피험자는 손에서의 측정을 위해 (그림 1)과 같이 휴대 전화를 잡는 것과 유사하도록 모바일 기기 모형을 쥐고 실험을 수행하도록 하였으며, 허벅지 부위의 측정을 위해서는 (그림 2)와 같이 오른쪽 바지 주머니에 모바일 기기의 모형을 넣은 상태로 실험을 수행하도록 하였다. 진동의 생성과 피험자의 응답을 수집하기 위해 (그림 3)과 같은 GUI 프로그램이 사용되었다. 또한 실험에 참가하는 피험자는 귀마개를 끼고 실험을 진행함으로써 진동자에서 발생하는 소리 등의 영향을 최소화하도록 하였다.

실험은 왼손과 오른쪽 허벅지에 대하여 각각 연습 세션과 2회의 본 실험 세션으로 구성되므로, 총 연습 세션 2회, 본 실험 세션 4회로 이루어지게 된다. 연습 세션에서는 피험자에게 16종의 진동 자극을 제시하고, 5분간 익숙해지도록 자유롭게 느껴보고 기억하도록 하였다. 본 실험의 1개 세션에서는 무작위로 선택된 진동 아이콘을 한 개씩 제시하고 제시된 아이콘이 각각 어떤 것인지 맞추는 과정을 32회 반복하였다. 각 세션 사이에는 5분간의 휴식 시간을 주어 손이나 허벅지 등에 피로가 생기지 않도록 하였다. 또한 피험자의 요청이 있을 경우 언제든지 5분 이내의 휴식시간이 주어졌다. 2개 세션에서 총 16개의 진동 아이콘이 무작위 순서로 4회 재생되어 64개의 진동 아이콘이 피험자에게 자극으로 주어졌다.

실험에는 평균적으로 피험자 1명 당 약 1시간 10분 정도가 소요되었으며, 실험의 순서는 각각 왼손과 오른쪽 허벅지에 대하여 연습 세션 - 본 세션1 - 본

세션2 순으로 이루어졌다.

4. 실험 결과

4.1 신체 부위에 따른 정보 전달(IT)

<표 5>는 전체 피험자 10명을 대상으로 한 정보 전달(IT)의 값을 계산해 낸 결과이다. 각 부위에서 최대, 최소값을 기록한 피험자는 모두 달랐다.

일반적으로, 몸통이나 다리 부위에 비해 손이 더 진동 자극에 가장 민감한 부분으로 알려져 있으므로 손에서의 정보 전달이 허벅지 부위에 비해 더 높을 것이라는 예상을 할 수 있다. 그러나 실험에서의 결과는 두 부위에서의 정보 전달이 큰 차이가 없으며, 오히려 허벅지에서의 정보 전달이 약간 더 큰 정보 전달 수치를 보여주었다. 이는 허벅지 부위에서의 최소 자극역치(Absolute Threshold(Limen), AL)값이 손보다 훨씬 크기 때문에 발생하는 피험자의 판단 기준 변화에 기인한 것으로 생각해볼 수 있으며, 제 5.2절에서 이와 관련된 내용을 더 자세히 기술하였다.

<표 5> 신체 각 부위에서의 정보 전달(IT) 비교

	왼손	허벅지
평균	3.133 bit(8.77개)	3.194 bit(9.15개)
최대	3.559 bit(11.78개)	3.680 bit(12.82개)
최소	2.660 bit(6.32개)	2.902 bit(7.48개)

실험에서 주어진 16개의 진동 아이콘에 대하여 각각의 피험자의 정보전달은 왼손에서 2.660 ~ 3.559 bit, 허벅지에서 2.902 ~ 3.680 bit으로 나타났다. 이는 각각 6.32 ~ 11.78개, 7.48 ~ 12.82개의 진동 아이콘에 해당한다. 평균적으로 왼손에서의 평균 정보 전달이 3.133bit, 허벅지 부위에서의 평균 정보 전달이 약 3.194 bit이므로, 인간의 왼손에서 구별해낼 수 있는 진동 아이콘의 최대 개수는 약 8 ~ 9개이며, 허벅지에서는 약 9개 정도임을 알 수 있다.

4.2 피험자의 혼동행렬(Confusion Matrix) 및 응답성향

피험자 10명 전체에 대한 혼동행렬을 구한 결과는

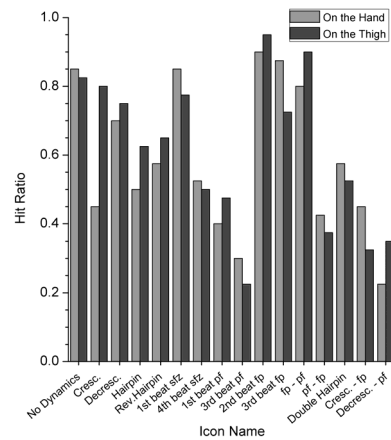
각각 <표 6>, <표 7>과 같다. 여기서의 혼동행렬은 실제 피험자 개인의 정보전달을 구하는 데 사용된 것이 아니라, 피험자가 구별하기 어려운 자극의 조합들을 알아내어 적용 시나리오를 구성하는 데 사용되었다.

피험자 10명에 대하여 각 진동 자극이 모두 4회씩 재생되었으므로 모든 진동은 40회씩 재생되었으며, 총 진동 자극의 재생 횟수는 640회가 된다. 응답 비율에 따라 표의 해당 칸에 음영으로 표시하였으며, 색상이 짙을수록 응답 비중이 높음을 의미한다. 또, i 번째 자극을 i 번째 자극이라고 응답한 경우(hit)는 칸 테두리를 굵은 선으로 표시하였으며, 이 숫자가 높을수록 높은 정확률을 의미한다. 정확률은 굵은 선 안의 숫자를 전체 재생 횟수인 40으로 나눔으로써 구할 수 있으며, 이는 4.3 절에 기술하였다.

4.3 피험자의 진동 아이콘에 대한 정확률 (Hit ratio)조사

앞서 구한 혼동행렬에서의 대각선 성분을 이용하여 (그림 4)와 같이 피험자의 정확률을 구할 수 있다. 정확률이 높을수록 구별이 잘 되는 진동 아이콘이라고 할 수 있다.

큰을 꼽을 수 있으며, 허벅지에서는 1, 2, 3, 6, 10, 11, 12번 아이콘을 꼽을 수 있다. 대부분의 경우 손과 허벅지에서의 정확률이 큰 차이가 나지는 않았으나 2번 아이콘의 경우 허벅지에서 80%의 높은 정확률을 보인 반면, 손에서는 정확률이 45%로 낮은 편이었으며, 11번 아이콘의 경우에는 손에서 정확률이 매우 높았으나 허벅지에서는 상대적으로 낮은 정확률을 보이는 등 진동 아이콘별로 정확률은 차이를 나타내었다. 이는 진동 아이콘의 설계 시 신체 부위 또한 중요한 요소가 될 수 있음을 의미한다고 할 수 있다.



(그림 4) 진동 아이콘 별 피험자의 정확률 (Hit Ratio)

<표 6> 전체 피험자 왼손에서의 혼동행렬

	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	R ₁₅	R ₁₆	
S ₁	34	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	40
S ₂	10	18	0	0	1	0	1	7	1	0	1	0	0	1	0	0	40
S ₃	0	0	28	3	0	2	0	1	0	0	2	0	1	1	1	1	40
S ₄	3	1	1	20	1	0	0	8	0	0	0	0	3	1	2	0	40
S ₅	0	0	0	0	23	1	0	0	0	0	0	7	0	1	0	8	40
S ₆	0	0	4	0	1	34	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	40
S ₇	0	0	0	0	8	0	21	0	1	0	0	1	0	1	0	8	40
S ₈	17	2	0	0	0	1	0	16	0	0	0	0	0	3	0	1	40
S ₉	3	1	0	1	9	1	3	1	12	0	1	1	0	1	0	6	40
S ₁₀	0	0	2	0	0	0	0	0	0	36	0	0	1	0	1	0	40
S ₁₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	1	4	0	40
S ₁₂	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	3	40
S ₁₃	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	5	0	17	0	14	0	40
S ₁₄	4	0	0	1	3	0	1	0	3	1	1	0	1	23	1	1	40
S ₁₅	0	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	18	0	40
S ₁₆	1	0	0	0	15	4	0	0	0	0	0	7	0	4	0	9	40
	72	22	39	33	66	45	26	34	17	38	45	48	37	40	41	37	640

정확률 결과를 살펴보면, 70% 이상의 높은 정확률을 보이는 아이콘은 손에서 1, 3, 6, 10, 11, 12번 아이

<표 7> 전체 피험자 오른쪽 허벅지에서의 혼동행렬

	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	R ₁₅	R ₁₆	
S ₁	33	0	1	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	40
S ₂	0	32	0	0	0	0	1	4	2	0	0	0	0	0	0	1	40
S ₃	0	0	30	0	0	1	0	0	0	0	2	0	4	0	3	0	40
S ₄	2	0	0	25	0	0	0	6	0	0	1	0	2	0	4	0	40
S ₅	0	0	0	0	26	3	0	0	0	0	0	3	0	1	0	7	40
S ₆	2	0	7	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
S ₇	4	3	0	1	5	2	20	0	4	0	0	0	0	0	0	1	40
S ₈	13	3	0	2	0	1	1	19	0	0	0	0	0	1	0	0	40
S ₉	5	3	0	0	7	1	7	0	9	0	0	3	0	1	0	4	40
S ₁₀	0	1	0	1	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0	0	0	40
S ₁₁	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	29	0	3	0	7	0	40
	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	2	40
S ₁₃	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	9	0	15	0	15	0	40
S ₁₄	4	0	1	2	5	0	1	3	2	0	0	0	0	21	0	1	40
S ₁₅	1	1	0	2	0	0	0	0	0	2	1	0	20	0	13	0	40
S ₁₆	0	0	0	0	15	5	0	1	1	0	0	3	0	1	0	14	40
	64	43	39	36	60	46	31	34	18	40	42	45	44	25	42	31	640

5. 분석 및 토의

5.1 정보 전달이 허벅지 부위에서 높은 이유

일반적으로 사람의 진동에 대한 최소 자극 역치(AL) 값은 손끝에서 가장 작으며 등, 허벅지와 같은 신체 부위의 경우는 역치 값이 매우 크다고 알려져 있다 [11]. 이는 강도가 약한 진동에 대하여 손끝이 가장 민감하고 허벅지 같은 부위는 다소 둔감하다는 의미이다. 그러나 이번 실험에서는 오히려 손끝에서의 정보전달 능력이 더 좋지 않았다. 허벅지 부위에서의 정보 전달이 비교적 높게 나타난 것은 피험자들이 진동 아이콘을 인식하는 데 사용한 판단 기준과 관련이 있다고 생각해 볼 수 있다. 진동 생성에 사용한 선형 공진모터(LRA)는 소형으로 출력이 크지 않아 제한적인 강도 변화만을 표현할 수 있으므로, 비록 손의 진동 인지 역치가 작더라도 진동 아이콘의 시간에 따른 연속적인 강도 변화를 기억하고 이를 기준으로 16종의 아이콘을 정확히 서로 구별해 내기에는 다소 어려웠던 것으로 보인다.

< 표 8 > { $S_5, S_9, S_{12}, S_{14}, S_{16}$ } 자극의 혼동행렬(원손)

	R_6	R_9	R_{12}	R_{14}	R_{16}	R_{etc}	
S_5	23	0	7	1	8	1	40
S_9	9	12	1	1	6	11	40
S_{12}	5	0	32	3	0	0	40
S_{14}	3	3	0	23	1	10	40
S_{16}	15	0	7	4	9	5	40
	55	15	47	32	24	27	200

반면, 허벅지의 경우는 진동 자극의 역치 값이 상당히 높아서, 손에서 느낄 수 있는 작은 강도의 진동은 느끼지 못할 가능성이 높으며, 실제로 피험자들은 약한 강도(pp, p)에 해당하는 진동이 거의 느껴지지 않는다고 응답하였다. 피험자들은 이러한 상태에서 강한 진동이 발생한 타이밍을 기준으로 실험에서의 진동 아이콘을 판단하고 선택하였다고 응답하였다.

즉, 손을 대상으로 할 때는 진동이 충분히 강하게

인지되므로 피험자들의 판단 기준이 오직 진동의 강도 변화 한 가지로 집중되었으나, 진동의 위치를 허벅지로 옮길 경우에는 상대적으로 진동이 약하게 느껴지게 되므로, 피험자들은 정확률을 높이기 위하여 차이를 구분하고 기억하기 어려운 강도의 연속적인 변화 대신에 판단에 보다 유리한 요소를 찾아내어 구분 기준으로 포함시키는 경향을 보였다. 결과적으로 거의 느껴지지 않는 약한 진동을 음악에서의 쉼표와 유사하게 취급하여, 기억하고 구분하기에 손쉬운 리듬과 같이 익숙한 평가 기준으로 대체함으로써 정확도를 높일 수 있었던 것으로 추정된다.

5.2 쉼여림표를 이용한 진동 아이콘의 효용성

강도 변화를 중심으로 진동 아이콘을 생성할 경우의 가장 큰 문제점은 손에서의 정보 전달이 3.13 bit에 불과하다는 점이다. 진동 아이콘 16개의 총 정보량은 4 bit 이나 거의 절반에 가까운 정보가 전달 과정에서 손실되는 것으로, 이는 진동 아이콘의 실제 적용에 분명한 한계점으로 작용할 수 있다. 이러한 정보의 손실은 간단하고 쉬운 패턴 보다는 복잡한 패턴을 가지는 경우, 또 강도 변화가 빠르게 일어나는 경우 주로 일어남을 확인할 수 있었으며, 이로 미루어 보아 사람의 진동 자극의 강도 인지 능력은 실험에서 사용된 모바일 기기용 진동자의 강도 범위에서는 리듬이나 지속시간 등의 인지 능력에 비해 상대적으로 떨어지는 것으로 보인다. 따라서 모바일 기기에서의 진동 아이콘을 설계할 때에 이러한 강도의 변화는 제한적으로 사용 가능하다고 할 수 있다.

그러나 감각 지점을 손에서 허벅지로 바꿔, 바지 주머니에 모바일 기기가 들어가 있는 상황이라면 이 강도 변화를 이용한 진동 아이콘의 장점은 분명해진다. 특히 강한 진동의 배치를 위주로 허벅지에 가해지는 진동 아이콘을 설계하여 손을 사용할 수 없을 때나, 모바일 기기 등을 꺼낼 수 없는 환경에서 사용한다면 정보 전달에 매우 유용하게 사용할 수 있다. 몇 가지 예로, 소방관의 소화 작업 시 응급상황 전달, 또는 산악 관련 구조 요원이나 특수부대원에게 중요한 메시지를 전달해야 할 경우나, 중요한 회의나 공공장소에서 휴대전화를 꺼내지 않고도 보낸 사람, 간략한 내용 등 대략적인 정보를 파악하도록 할 수 있다.

6. 응용 시나리오 - 휴대폰 진동의 설계

< 표 9> $\{S_5, S_9, S_{12}, S_{14}, S_{16}\}$

자극의 혼동행렬(허벅지)

	R_5	R_9	R_{12}	R_{14}	R_{16}	R_{etc}	
S_5	26	0	3	1	7	3	37
S_9	7	9	3	1	4	16	24
S_{12}	2	0	36	0	2	0	40
S_{14}	5	2	0	21	1	11	29
S_{16}	15	1	3	1	14	7	33
	55	12	45	23	28	37	200

6.1 진동 아이콘의 그룹화 및 단일화

진동 아이콘의 그룹화 및 단일화란, 위 4.2절의 혼동행렬을 바탕으로 서로 혼동될 소지가 있는 진동 아이콘들을 하나의 그룹으로 묶어 대표 진동 하나만을 이용하도록 하여 정확률을 높이고자 하기 위한 시도이다. 이를 위하여 진동 아이콘을 몇 가지의 구분 가능한 집단으로 분류할 필요가 있다.

우선 실험에서 사용된 진동 아이콘 중에서 Hit ratio가 매우 높게 나타난(피험자가 대부분 구별해낸) S_1, S_{10}, S_{11} 은 서로 잘못 받아들여질 경우가 매우 적다고 할 수 있으므로, 이 각각을 하나의 그룹으로 생각할 수 있으며, 각각을 대표 진동으로 사용해도 문제가 없다.

그러나 앞서 4.2절의 혼동행렬에서 피험자가 상당수의 진동을 서로 오인한 경우, 예를 들어 $\{S_5, S_9, S_{12}, S_{14}, S_{16}\}$ 이나 $\{S_{13}, S_{15}\}$ 의 경우를 살펴보면, 이들은 오인식율이 매우 높으므로 그룹으로 묶어내어 대표 진동을 이용한 단일화를 거쳐 정확률을 조금 더 높일 수 있다. 특히, $\{S_5, S_9, S_{12}, S_{14}, S_{16}\}$ 그룹에서 $S_9, S_{12}, S_{14}, S_{16}$ 진동은 S_5 자극에 비해 비교적 급격한 변화로 구성되어 있는데, 이 급격한 변화를 S_5 와 같이 비교적 천천히 변하는 것으로 느끼는 것을 확인할 수 있었으므로 이 그룹에서는

S_5 진동 하나만을 사용하는 것이 사용성 및 정확률 면에서 더 효과적이라 할 수 있다. 이는 <표 8>과 <표 9>에 나타난 것처럼 왼손과 허벅지에 대한 부분적 혼동행렬을 구함으로써 확인할 수 있다.*

<표 10> $\{S_{13}, S_{15}\}$ 자극의 혼동행렬(왼손)

	R_{13}	R_{15}	R_{etc}	
S_{13}	17	14	9	40
S_{15}	14	18	8	40
	31	32	17	80

<표 11> $\{S_{13}, S_{15}\}$ 자극의 혼동행렬(허벅지)

	R_{13}	R_{15}	R_{etc}	
S_{13}	15	15	10	40
S_{15}	20	13	7	40
	35	28	17	80

<표 12> 4개의 최적 그룹으로 나타난 진동 벨의 분류 예

	진동 1	진동 2	진동 3	진동 4
아이콘	S_1	S_{10}	S_5	S_{13}

이외에도 S_{13} (*pf-fp*)와 S_{15} (*Cresc.-fp*)와 같이, 짧은 시간의 변화와 긴 시간의 변화가 유사한 양상을 나타내게 되는 경우 거의 구별하지 못함을 확인할 수 있었다. 또한, <표 10>, <표 11>에서 보듯, 두 자극을 거의 구별하지 못한다고 할 수 있으며, 한 가지만을 사용하는 것이 정확률을 높이는 데 도움이 된다고 할 수 있다.

이들 혼동 행렬의 결과를 종합하여, 정확률이 높은 진동 아이콘들을 묶어낼 수 있으며, 4개의 진동 아이콘을 사용하는 경우에는 <표 12>과 같은 예를 이용할 수 있다. 앞서 5.1절에서 손과 허벅지를 통틀어 정보 전달의 최솟값이 2.660 bit이었으며, 이는 약 6.32개의 정보에 해당하므로 정확률이 높은 6개의 진동까지는 대부분의 경우 무리 없이 사용할 수 있음을 의미한다.

* [표 10] ~ [표 13]에서 R_{etc} 는 그룹 외의 자극이 재생되었다고 응답한 경우이다. 예를 들어, [표 10]에서 $S_5 - R_{etc}$ 칸의 값이 1이므로 S_5 자극은 단 1번만 $\{S_5, S_9, S_{12}, S_{14}, S_{16}\}$ 이 아닌 다른 진동이라는 응답이 나타났으며, S_9 는 11번 오인되었다.

6.2 휴대전화 진동의 설계

이 연구에서 설계한 진동 아이콘을 휴대 전화의 진동 벨에 적용할 수 있으며, 이를 통하여 휴대 전화의 진동 벨의 정보량을 늘릴 수 있다. 이는 진동 벨 자체 만으로도 다양한 의미를 전달할 수 있게 됨을 의미한다.

현재 시판되고 있는 대부분의 휴대 전화에서 채택하고 있는 진동 신호의 종류는 전화벨, 문자, 기타 알림 등으로 2 ~ 3가지를 넘기지 못하는 경우가 대부분이다. 만약 이를 세분화하여 더 많은 진동 아이콘으로 의미 전달을 수행하게 된다면, 휴대폰을 꺼내지 않은 상태에서도 어떠한 정보가 전달되었는지 알 수 있을 것이며, 이는 영화 관람과 같이 시, 청각 자극 전달 통로가 사용되기 어려운 상황이거나, 공공장소 내에서나 중요한 회의 등과 같이 휴대폰을 사용할 수 없는 환경에서도 사용자에게 대략의 정보를 전달해 줄 수 있는 역할을 수행할 수 있다.

간단한 예를 들면, <표 12>와 같이 전화가 왔을 때의 진동 벨이 총 4가지의 종류로 구성되어 있을 때, 각각을 가족, 친구, 동료, 직장상사와 같이 특정 그룹이나 인물에 배정할 수 있으며, 가족에게 전화가 오면 1번 진동 벨을, 직장 상사에게 전화가 오면 4번 진동 벨을 울리게 함으로써 휴대 전화를 꺼내지 않고도 구별할 수 있게 된다. 문자 메시지의 경우도 마찬가지로 생각할 수 있으며, 시간 알림의 경우에는 중요도에 따라 서로 다른 진동 벨을 울리게 함으로써, 음악 벨을 사용할 수 없을 때 이를 충분히 대체할 수 있다. 이러한 활용 예는 최근 시판되는 휴대폰에 대부분 포함되어 있는 기능인, 전화번호부에 저장되어 있는 각각의 사람에 대하여 벨 소리 지정이 가능한 것과 유사하다고 할 수 있다.

7. 결론

본 논문에서는 음악의 썸머림표를 이용하여 핸드폰 등의 모바일 기기에 적용할 수 있는 진동 아이콘에 대한 설계를 수행하였다. 그 결과 썸머림표를 이용한 진동 아이콘은 바지 주머니와 맞닿는 허벅지 부위에 대하여 손에 비해 낮은 자극 민감도에도 불구하고 상대적으로 높은 정보전달(IT)을 나타내었다. 이러한

정보전달 능력을 바탕으로, 휴대폰의 진동 벨의 설계와 같은 실제 응용 가능한 시나리오를 작성할 수 있었으며, 앞으로 진동 아이콘에 대한 연구가 수행될 때 본 연구의 결과 또한 응용될 수 있으리라 기대된다. 조금 더 나아가서, 음악의 썸머림표 개념을 이용한 진동 아이콘은 MacLean 등이나 Ternes 등에 의하여 연구된 리듬의 변화를 이용하여 구성된 진동 아이콘 [1][4]과 결합하여 더 높은 구분능력과 함께 풍부한 표현이 가능할 것으로 기대되며, 차후 이러한 썸머림표와 리듬이 결합된 진동 아이콘의 대한 연구를 통하여 진동 렌더링의 효용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

■ Acknowledgement

본 연구는 2011년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원과(No. 2010-0018454), 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

(NIPA-2011-C1090-1111-0008) 또, 본 논문의 제 1 저자는 2011년도 한국과학재단의 Global Ph. D Fellowship의 지원을 받아 연구를 수행하였음.

■ 참고문헌

- [1] K. E. MacLean and M. Enriquez, "Perceptual Design of Haptic Icons", Proceedings of Eurohaptics, pp. 351-363, 2003.
- [2] L. M. Brown, S. A. Brewster, and H. C. Purchase, "A First Investigation into the Effectiveness of Tactons", Proceedings of the First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environments and Teleoperator Systems (World Haptics Conference), pp.167-176, 2005.
- [3] L. M. Brown, S. A. Brewster, H. C. Purchase, "Multidimensional Tactons for Non-Visual Information Presentation in Mobile Device", Proceedings of International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI), pp. 231-238, 2006.

[4] D. Ternes, K. E. MacLean, "Designing Large Sets of Haptic Icons with Rhythm", Proceedings of Eurohaptics 2008, pp. 199-208, 2008.

[5] J. Ryu, J. Jung, S. Kim, and S. Choi, "Perceptually Transparent Vibration Rendering Using a Vibration Motor for Haptic Interaction", Proceedings of the IEEE International Symposium on Robot & Human Interactive Communication (RO-MAN), pp. 310-315, 2007.

[6] J. Ryu and S. Choi, "Benefits of Perceptually Transparent Vibration Rendering in Mobile Device", Lecture Notes on Computer Science (EuroHaptics 2008), vol. 5024, pp. 706-711, 2008.

[7] B. Swerdfeger, A First and Second Longitudinal Study of Haptic Icon Learnability. Master's thesis, Univ. of British Columbia, 2009.

[8] Immersion Corp., TouchSense tactile feedback system.
<http://www.immersion.com/products/touchsense-tactile-feedback/>

[9] C. E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication", Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379-423 & 623-656, July & October, 1948.

[10] Appie Inc., iPhone Spec.:
<http://www.apple.com/kr/iphone/specs.html>

[11] E. B. Goldstein, "Sensation and Perception, 7th Ed", Thomson Wadsworth, Ch 14. "The cutaneous sense", pp. 303-325, 2007.

■ 저자소개

◆ 유 용 재



- 포항공과대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정(2011.3~)
- IEEE Student Member (2010~) Global Ph.D Fellowship 수혜(2011.3 ~)
- 관심분야 : 햅틱스, 인지심리학, HCI, 가상현실 등

◆ 황 인 옥



- 포항공과대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정(2006.3~)
- IEEE Student Member (2010~)
- 관심분야 : 햅틱스, 가상현실, HCI, 로보틱스 등

◆ 최 승 문



- 포항공과대학교 컴퓨터공학과 부교수(2010.3~)
- IEEE Technical Community on Haptics 공동의장(2010.3~)
- 한국차세대컴퓨팅학회 이사, 한국로봇학회 이사 등(2009.3~)
- 관심분야 : 햅틱스, 가상현실, HCI, 로보틱스 등