
모바일 기기에서 두 개의 선형 공진 진동자를 사용한 합성 진폭 변조의 인지적 특성

Perceptual Characteristics of Superimposed Amplitude Modulation on a Mobile Device with Two Linear Resonant Actuators

홍경표, Kyungpyo Hong*, 서종만, Jongman Seo**, 김현경, Hyunkyung Kim***,
최승문, Seungmoon Choi****

요약 이 논문에서는, 모바일 기기에 두 개의 선형 공진 진동자를 부착하여 합성 진폭 변조를 만들어 낼 때, 진동의 주파수, 진폭, 위상 차이와 같은 진동 특성이 사람의 인지에 어떠한 영향을 미치는지 알아본다. 이를 위해 8 명의 피실험자에게 72 개의 진동 자극을 다수의 그룹으로 분류하도록 하고, 그 결과를 다차원 척도법을 사용하여 분석하였다. 실험 결과 두 개의 선형 공진 진동자가 각각 내는 진동 간의 주파수 차이가 사람의 인지에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 진동 간의 위상 차이가 두 번째로 큰 영향을 미쳤다. 따라서 앞으로 두 개의 선형 공진 진동자를 가진 모바일 기기에서 합성 진폭 변조를 사용한 진동 자극을 설계할 때는 이 두 가지 특성을 고려하여야 할 것이다.

Abstract Our study presents that vibration factors like frequency, amplitude and phase difference would influence the human hand perception when human felt vibration stimuli with superimposed amplitude modulation on a mobile device with two linear resonant actuators. To determine this, eight participants were asked to group 72 different vibration stimuli using Cluster Sorting Multi-Dimensional Scaling. From the results, we found the frequency difference between two vibration actuators influences greatest on human perception, while phase difference influences the second greatest. Therefore, the two factors should be taken into account when designing vibration stimuli of superimposed amplitude modulation for the mobile device with two linear resonant actuators.

핵심어: *Vibration stimulus, Cluster sorting Multi-dimensional scaling, Tactile signal*

본 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 도약연구지원사업(No. 2010-0018454)과 기초연구실육성사업(No. 2010-0019523) 및 정부(지식경제부)의 재원으로 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업(No. NIPA-2010-C1090-1011-0008)의 지원을 받아 수행된 연구임.

*주저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 통합과정 e-mail: hkp1104@postech.ac.kr

**공동저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 통합과정 e-mail: cjman224@postech.ac.kr

***공동저자 : 포항공과대학교 산업경영공학과 통합과정 e-mail: emokubi@postech.ac.kr

****교신저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 교수 e-mail: choism@postech.ac.kr

1. 서론

햅틱 아이콘은 주파수, 세기 등의 진동 특성이나 진동 패턴 등을 변화시켜 다양한 효과를 만들고, 이를 이용해 사람에게 다수의 정보를 효과적으로 제공한다는 개념이다 [1]. 이것의 적용 가능 분야는 많이 있겠지만 특히 모바일 기기 상에서 유용할 것으로 생각된다 [2, 3]. 예를 들어 전화나 메시지가 왔을 때 중요도에 따라 다양한 햅틱 아이콘을 적용하여 구분한다던가, 모바일 게임 상에서 상황에 따라 다양한 피드백을 주는 것 등이 있을 것이다.

최근 모바일 기기에 많이 사용되는 진동자로는 Linear Resonant Actuator (LRA)가 있는데 이것은 인지 가능한 세기를 내는 주파수 범위가 좁아, 하나만 쓸 경우 단지 진폭의 조절만으로 진동을 구분할 수 있으므로 만들 수 있는 햅틱 아이콘의 개수가 제한된다. 따라서 저자들은 두 개의 LRA 를 사용하였을 때 더욱 다양한 효과를 낼 수 있을 것이라 가정하였다.

본 논문에서는 LRA 두 개로 만들 수 있는 다양한 진동 효과 중 합성 진폭 변조에 대한 연구를 진행하였다. 강제로 된 모바일 기기 모형 상에서 두 개의 진동 장치가 동시에 진동을 일으켜 합성 진폭 변조를 형성할 경우, 이를 변화시킬 수 있는 특성은 다양하겠지만 여기서는 각각의 LRA 에서 일으키는 진동의 주파수(f_1 , f_2)와 진폭(A_1 , A_2), 그리고 두 진동 간의 주파수 차이(Δf)와 진폭 차이(ΔA), 위상 차이(ϕ)의 일곱 가지를 고려하였다. 본 논문에서는 이들 중 어떤 특성의 변화가 사용자의 인지에 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

2. 실험 설계

2.1 실험 도구

본 실험에서는 아크릴로 된 모바일 기기 모형의 양 끝에 LRA 하나씩을 각각 달아, 이를 피실험자가 쥐고 진동을 느끼도록 하였다(그림 1). 또한 각각의 LRA 에서 재생되는 진동을 만들기 위해 두 개의 진폭(0.5, 1.0 G), 네 개의 주파수(172, 174, 176, 178 Hz), 두 개의 위상 차이(0° , 180°)를 정하고, 이들을 조합하여 총 72 개의 합성 진동 자극을 생성하였다(그림 2). 그리고 실험을 위해 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) 기반의 실험 프로그램을 만들었다(그림 3). 여기에는 72 개의 아이콘이 있어, 각각의 아이콘을 누르면 해당 아이콘에 할당된 합성 진동 자극을 느낄 수 있도록 하였다. 또한 아이콘을 드래그 하여 박스 안으로 옮겨서 각각의 자극을 분류할 수 있도록 하였다.

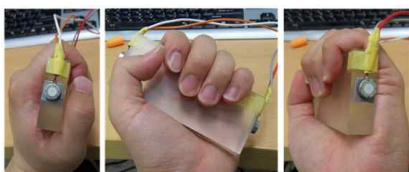


그림 1. 모바일 기기 모형에 LRA 를 부착한 모습

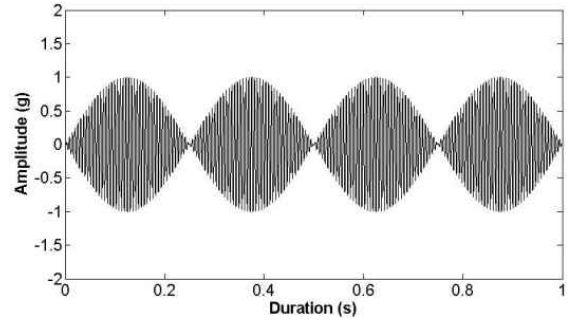


그림 2. 합성 진폭 변조를 이용한 합성 진동 자극의 예

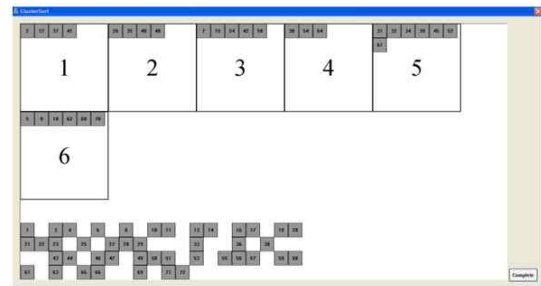


그림 3. 그래픽 사용자 인터페이스 기반의 실험 프로그램

2.2 실험 방법

저자의 학교에 재학 중인 피실험자 8 명을 대상으로 실험하였다. 피실험자의 연령대는 23~34 세였으며 모두 남자였다. 이들은 모두 왼손에 모형을 쥐어 진동을 느끼고, 오른손으로 마우스를 쥐어 GUI 를 조작하도록 하였다. 또한 이들은 필요한 경우 언제든지 실험을 중단할 수 있었다.

실험은 Cluster-Sorting 기법을 사용하였는데 이것은 유사성 행렬을 생성하는 하나의 기법이다 [4]. 이에 따라 전체 실험은 세 개의 스테이지를 가지고 있으며 첫 번째 스테이지에서는 72 개의 아이콘을 세 개의 그룹으로, 두 번째 스테이지에서는 여섯 개의 그룹으로, 세 번째 스테이지에서는 아홉 개의 그룹으로 분류하도록 하였다. 이때 각 스테이지가 시작할 때 합성 진동 자극이 각각의 아이콘에 무작위로 하나씩 할당되도록 하였다. 한 스테이지에서 다음 스테이지로 넘어가기 위해서는 모든 아이콘이 반드시 어떠한 박스 안에 있고, 모든 박스는 반드시 하나 이상의 아이콘을 가지고 있어야 했다.

2.3 실험 분석

실험 분석은 어떤 인지 공간(Perceptual Space)을 가장 잘 나타낼 수 있는 차원의 수를 찾는 다차원 척도법(Multi-Dimensional Scaling; MDS) 기법을 사용하였다 [4]. 이를 위해 피실험자당 하나씩의 비유사성 행렬(Dissimilarity Matrix)을 생성하였고, 이것을 종합적으로 피실험자에 대해 평균을 내어 전체 비유사성 행렬을 생성하였다. 이 전체 비유사성 행렬에 MDS 를 적용하였다.

3. 실험 결과 및 분석

72×72 비유사성 행렬에 MDS 를 적용한 결과 각각 24 개의 자극으로 이루어진 합성 진동 자극 그룹 세 개가 형성되었다(그림 4). 이 그룹들은 $\Delta f=0$ Hz, $\Delta f=2$ Hz, $\Delta f \geq 4$ Hz 으로 각각 구분되었다. 이는 주파수 차이가 사람의 인지에 가장 큰 영향을 미친다는 것이다. 각각의 그룹을 구성하는 합성 자극들이 너무 밀집되어 있어 그룹별로 다시 MDS 를 적용하였다.

$\Delta f=0$ Hz 그룹의 비유사성 행렬에 MDS 를 적용한 결과 $\phi=0^\circ$, $\phi=180^\circ$ 그룹으로 구분되었다(그림 5). $\Delta f=2$ Hz 그룹은 먼저 $\phi=0^\circ$, $\phi=180^\circ$ 그룹으로 구분되었고, 그 안에서 $\Delta A=0$ G, $\Delta A=0.5$ G 그룹으로 구분되었다(그림 6). $\Delta f \geq 4$ Hz 그룹은 $\Delta f=4$ Hz, $\Delta f=8$ Hz 그룹으로 나뉘며, 그 안에서 ϕ 에 따라 구분되는 경향을 보였다(그림 7). 즉 모든 그룹은 위상 차이에 의해 다시 한번 구분되었으며, 이는 사람의 인지에 두 번째로 큰 영향을 미친다는 것이다. 각 그림에서 괄호 안의 숫자들은 두 진동의 주파수에서 170 씩을 뺀 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 두 개의 LRA 를 가진 모바일 기기 상에서 합성 진폭 변조를 발생시킬 때 이를 변화시킬 수 있는 진동 특성으로 다섯 가지를 가정하고 그 중 어떤 것이 사람의 인지에 영향을 미치는지 알아보았다. 이 중 진동 간의 주파수 차이가 가장 큰 영향을 미쳤고, 진동 간의 위상 차이가 그 다음으로 영향을 미쳤다. 따라서 앞으로 두 개의 LRA 를 가진 모바일 기기 상에서 합성 진폭 변조를 사용한 진동 자극을 설계할 때에는 이 두 가지 특성을 고려해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] K. MacLean and M. Enriquez, "Perceptual design of haptic icons", In Proceedings of the Eurohaptics 2003, pp. 351-363, 2003.
- [2] E. Hoggan, S. Brewster, "Designing audio and tactile crossmodal icons for mobile devices", In Proceedings of the 9th ICMI, pp. 162-169, 2007.
- [3] D. Ternes and K. MacLean, "Designing Large Sets of Haptic Icons with Rhythm", In Proceedings of the Eurohaptics 2008, pp. 199-208, 2008.
- [4] T. Cox, "Multidimensional Scaling", Chapman & Hall, 1988.

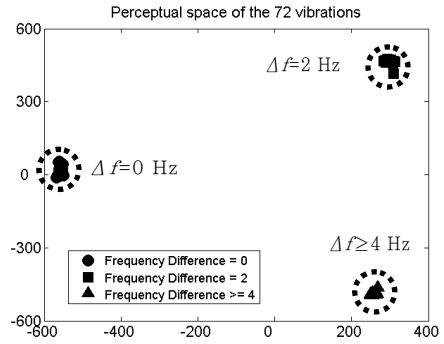


그림 4. 전체 합성 진동 자극에 대한 인지 공간

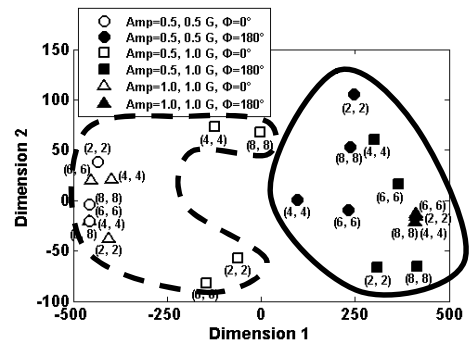


그림 5. $\Delta f=0$ Hz 일 때의 인지 공간

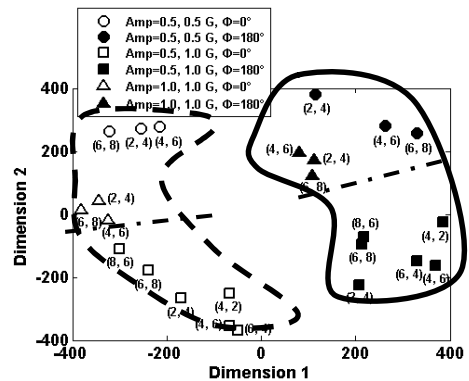


그림 6. $\Delta f=2$ Hz 일 때의 인지 공간

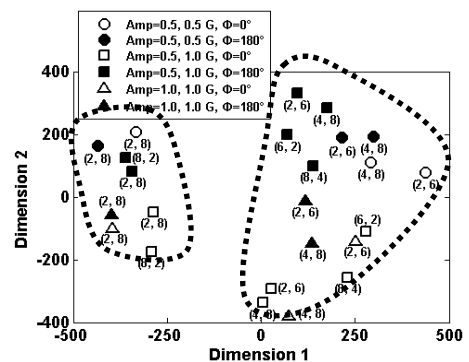


그림 7. $\Delta f \geq 4$ Hz 일 때의 인지 공간