

부착을 통해 진동을 제공하는 햅틱 장치와 그 사용자 평가

박 건 혁

Gunhyuk Park

포항공과대학교 컴퓨터공학과
POSTECH, Department of
Computer Science and
Engineering
maharaga@postech.ac.kr

차호준

Hojun Cha

포항공과대학교 컴퓨터공학과
POSTECH, Department of
Computer Science and
Engineering
hersamc@postech.ac.kr

최 승 문

Seungmoon Choi

포항공과대학교 컴퓨터공학과
POSTECH, Department of
Computer Science and
Engineering
choism@postech.ac.kr

요약문

본 논문에서는 작고 휴대 가능한 작은 햅틱 액세서리인 햅틱 인챠터를 제안한다. 이 시스템은 다양한 물체에 부착하여 진동을 전달하도록 고안되었다. 개발된 시제품에는 세 종류의 진동자를 탑재하여 진동을 물체에 전달하거나 햅틱 인챠터만 떨리게 하는 고립 진동을 제공하였다. 본 논문에서는 햅틱 인챠터를 이용하여 사용자가 얻을 수 있는 이득을 알아보기 위해 두 종류의 실험을 수행하였다: 1) 스마트폰의 네 귀퉁이에 고립 진동을 제공하는 햅틱 인챠터 네 개를 부착하여 진동 정보 제시 장치를 구성하였다(측정된 진동 전달은 7.90 비트였으며, 관련 연구 중에서는 가장 높은 값임). 2) 스마트 폰에 네 개의 햅틱 인챠터를 부착하여 모바일 게임 플레이 중 이벤트 발생 지점과 동일한 위치에 진동 피드백을 제공하였으며, 이 때 2D 팬텀 센세이션을 이용한 위치 기반 진동으로 사용자 경험을 증진시킴을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper presents haptic enchanters: small and portable accessories that endow ordinary devices and wearables with the ability of creating programmable haptic stimuli. Our prototypes can house common vibrotactile actuators, be easily attached to and detached from an object, and propagate vibrations to or isolate vibrations from the object. We provide two pieces of evidence for the users' benefits that haptic enchanters offer: 1) A regular smartphone augmented with four haptic enchanters attached to its four corners with vibration isolation can be extended to a private, silent tactile display with a great information transmission capacity (estimated information transfer 7.90 bits; the highest among the literature on tactile communication) and 2) A mobile game that enables the event of interest

and the following vibrotactile feedback to take place at the same location using the 2D phantom sensations produced by four haptic enchanters can improve user experiences.

주제어

Haptics, interface, vibrotactile, localization, attachable, detachable, information transfer

서문

햅틱스 연구는 1920 년대의 음성 의 진동 변환[1]부터 2015 년의 애플 워치에 적용된 햅틱 엔진에 이르기까지 사용자 경험을 증진시켰다. 하지만 아직 햅틱 인터페이스가 적용되는 제품은 많지 않다. 이는 어떤 제품에 햅틱 시스템을 추가하는 비용이 햅틱 인터페이스로 얻을 수 있는 사용자 경험 및 그 이득보다 확연히 크다고 볼 수 없기 때문이다. 햅틱 인터페이스의 일반적인 사용성을 증진시키기 위해, 본 논문에서는 햅틱 인챠터의 개념을 제안한다. 햅틱 인챠터는 작고 휴대 가능한, 탈/부착이 가능한 액세서리이며, 부착된 물체를 햅틱 인터페이스로 만들어준다. 햅틱 피드백 시스템에 대해서는 매우 많은 문헌 자료가 존재하지만, 우리가 아는 한 햅틱 인챠터와 비슷한 접근을 시도했던 연구는 없었다.

본 논문에서는 제안된 햅틱 인챠터의 개념을 이용해 시제품을 제작하고, 두 가지 사용자 실험으로 시제품의 성능을 정량적, 정성적으로 평가했다.

햅틱 인챠터

햅틱 인챠터는 작고 휴대가 가능한 액세서리로, 일상적으로 들고 다니거나 입을 수 있는 장치에 부착하거나 탈착할 수 있도록 고안되었다. 이 장치는 손가락에 부착할 수 있는 반지 타입, 끈과 같은 휘어지는 의복에 착용 가능한 클립 타입, 그리고 평평한 표면에 부착 가능한 박스 타입으로 시제품이 제작되었다. 반지와 클립 타입은 부착 위치에 진동을 전달하는 목적으로 사용되기 때문에 진동의 감쇄를

고려하지 않았고, 박스 타입의 경우에는 진동 고립층이 부착된 것과 부착되지 않은 두 종류로 제작되었다. 네 종류의 햅틱 인첸터에 동전 타입, 막대 타입, 그리고 햅츠티어 2 의 세 종류의 진동자를 탑재하여 총 12 종류의 시제품을 제작하였다.

진동 고립층에 사용되는 실리콘은 9000 가지의 조건에 대해 진동의 감쇄율을 측정하여 결정되었으며, 200 Hz 이상의 진동에 대해 90% 이상의 진동을 감쇄시키는 것을 확인하였다 (그림 2). 이 시제품들을 이용하여 햅틱 인첸터는 상황에 따라 진동의 지역화를 선택적으로 제공할 수 있다. 그림 1 은 네 개의 코인 타입의 진동 감쇄 햅틱 인첸터를 이용한 예시 및 햅틱 인첸터의 구조이다.

진동 감쇄가 적용되지 않은 햅틱 인첸터는 한 장치에 여러 개를 부착하여 전체적인 진동의 크기를 증가시키거나 손가락, 손목 등에 착용하여 부가적인 햅틱 인터페이스로 사용될 수 있다. 진동 감쇄층을 사용한 햅틱 인첸터는 여러 개를 사용하여 한 장치의 서로 다른 위치에 부착하여 지역화된 진동을 제공할 수 있다. 전자의 경우에는 이미 수많은 연구 결과가 존재하므로, 우리는 진동 감쇄층을 사용한 햅틱 인첸터가 사용자에게 가져오는 이득이 어느 정도인지를 두 가지 사용자 실험을 통해 측정하였다. 첫 번째 사용자 실험은 정량적인 요소와 관련이 있으며, 정보 전달 (information transfer; IT)을 이용하여 그 성능을 측정하였다. 이론적으로, IT 는 해당 시스템이 제공할 수 있는 서로 완벽히 구분되는 신호의 개수를 나타낸다. 이 IT 는 수행하는 작업과 무관한 측정치이기 때문에 서로 다른 디스플레이들의 정보 전달 성능을 비교하는데 적합하다[3]. 두 번째 사용자 실험은 햅틱 인첸터를 이용하여 제공되는 진동 피드백이 모바일 게임에 적용되어 주관적인 사용자 경험을 얼마나 증진시키는지 알아보았다.

사용자 실험 1: INFORMATION TRANSFER

햅틱 인첸터의 정량적인 성능을 보이기 위해, 우리는 그림 1 의 상단과 비슷한 시스템을 구성하여 정보 전달(IT)을 측정하였다. 여기에 사용된 햅틱 인첸터에는 Haptuator (Mark II; 주파수 범위 90-1000 Hz)가 탑재되어 있으며 진동 감쇄층을 사용하여 고립된 진동을 제공하도록 구성되어 있었다. 4 개의 햅틱 인첸터는 스마트폰(넥서스 5; 구글)의 뒷면에 부착되었다.

본 실험에서 사용된 진동 패턴은 총 328 가지 (최대 8.36 bits)였으며, 다음과 같은 변수로 만들어졌다: 주파수-100, 250 Hz; 진동 펄스의 개수-1, 2, 3; 진동 간격-200, 500 ms; 진동의 위치-스마트 폰의

네 귀퉁이. 각각의 진동 신호는 위의 네 변수를 다음과 같이 조합하여 만들어졌다: 1 진동 펄스 - 4 진동 위치 \times 2 주파수 = 8 패턴; 2 진동 펄스 - 4 진동 위치 \times 4 진동 위치 \times 2 진동 간격 \times 2 주파수 = 64 패턴; 3 진동 펄스 - 4 진동 위치 \times 4 진동 위치 \times 4 진동 위치 \times 2 진동 간격 \times 2 주파수 = 256 패턴. 모든 진동 펄스는 250 ms 의 짧은 진동 시간과 60 dB SL (진동 역치는 [4]의 자료를 이용함)의 크기를 가지도록 디자인되었다. 각 신호는 무작위로 제시되었다.

실험은 1 번의 연습 세션과 2 번의 본 실험 세션으로 구성되었으며, 본 실험 세션의 결과만을 사용하여 IT 를 측정하였다. 총 10 명의 피실험자를 이용한 측정 결과로 각 신호-응답에 대해 Confusion Matrix 를 계산하여 7.90 비트의 IT 가 측정되었다. 이 값은 238 가지의 패턴이 오류 없이 인식되었다는 것을 의미하며, 최대 IT(8.36 비트)의 94.5%에 해당한다. 이 값은 진동 정보 전달과 관련된 문헌에서 보고된 그 어떤 값보다 높은 값이다.

사용자 실험 2: USER EXPERIENCE

두 번째 사용자 실험은 게임에서 사용자가 경험하는 즐거움에 더하여, 네 개의 햅틱 인첸터를 이용해

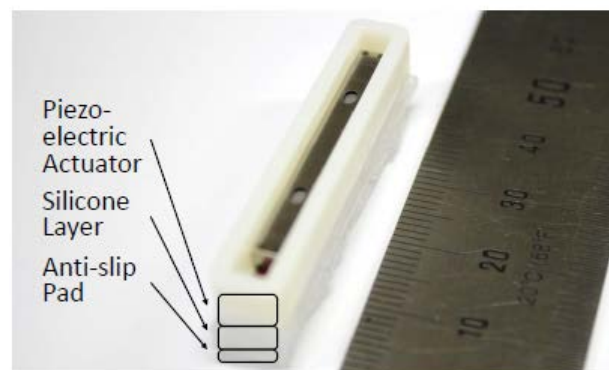


그림 1. 네 개의 코인 타입 햅틱 인첸터로 고립 진동을 제공하는 스마트폰 시스템(상)과 피에조 진동자를 탑재한 막대 타입의 햅틱 인첸터의 구조(하, 덮개 제거).

고립화된 위치 기반 진동을 제공할 경우 사용자 경험을 얼마나 더 증진시킬 수 있는지 알아보기 위한 것이다. 이 실험에서 사용한 하드웨어는 사용자 실험 1에서 사용한 것과 같으며, 오직 탑재된 진동자만 LRA로 바뀌었다. 실험을 위해 두더지 잡기 게임을 구입하여 두 종류의 진동 피드백을 제공하도록 확장하였다. 첫 번째 진동 피드백 제공 방법은 현재 스마트폰에서 사용하는 진동 피드백과 유사하게 네 개의 햅틱 인첸터를 동일한 강도(0.3G)로 구동하는 방법이다. 두 번째 방법은 터치된 두더지의 위치와 동일한 부분에 진동 피드백을 제공하는 것이며, 이를 위해 여러 개의 진동 감쇄 햅틱 인첸터를 사용하여 2D 팬텀 센세이션을 적용하였다[5]. 팬텀 센세이션은 피부 위의 두 개의 떨어진 위치에 진동을 가할 시 그 사이에 하나의 진동이 느껴지는 것을 말하며, 인지된 위치는 두 진동의 강도의 비율에 따라 결정된다.

총 22명의 피실험자를 모집하여 두 진동 방법에 대해 어울림(진동과 이벤트 사이의 어울리는 정도), 즐거움(진동으로 인한 즐거움), 몰입감(진동을 통한 게임에의 몰입감), 편안함(진동을 느끼는 데 있어서 사용자의 편안함 정도), 그리고 선호도(피실험자가 해당 진동에 대해 느끼는 선호도)를 막대 기반의 그래프에 평가하도록 하였다. 그 결과, 위치 기반 진동 피드백은 어울림, 즐거움, 선호도 면에서 통계적으로 유의하게 더 나은 평가를 받았다. 전체를 구동시키는 경우에는 편안함 면에서 통계적으로 유의하게 더 나았다. 두 진동 제공 방법 모두 사용자가 인지한 몰입감에서는 비슷한 평가를 받았다. 정리하면, 이 결과는 위치 기반의 진동이 이미 즐거운 게임의 사용자 경험을 더욱 증진시킬 수 있음을 보여준다.

결론

본 논문에서 우리는 다양한 인터페이스에 적용되어 햅틱 피드백의 사용성을 증진시켜줄 효율적인 장치인 햅틱 인첸터를 제안했다. 시제품에서는 세 종류의 진동자를 네 타입으로 구현해 총 12가지의 시제품을 만들었다. 두 번의 사용자 실험을 통하여 우리는 일반적인 스마트폰을 뛰어난 성능의 위치 기반 진동 디스플레이로 바꿀 수 있음을 보였으며, 또한 게이밍 디바이스의 경험을 더욱 증진시킬 수 있는 가능성을 보였다. 이 결과는 관련 문헌에서 바라볼 때 과학적으로도 중요한 가치를 가진다. 사용자 실험 1에서 찾아낸 정보 전달의 값은 관련 연구 중에서도 가장 높고, 사용자 실험 2에서는 집중이 필요한 게임에서 시각과 청각을 모두 사용하는 도중에도 진동을 통해 위치를 비교적 명확하게 느낄 수 있었음을 보여주었다

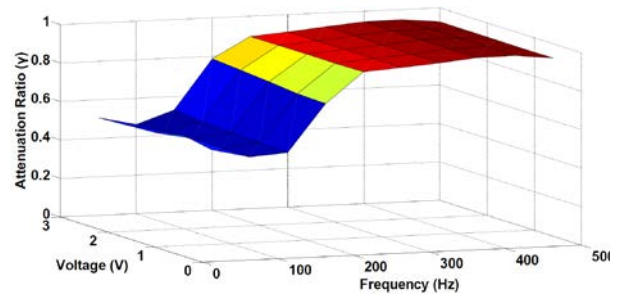


그림 2. 진동 감쇄층을 사용해 측정된 진동 감쇄율(y).

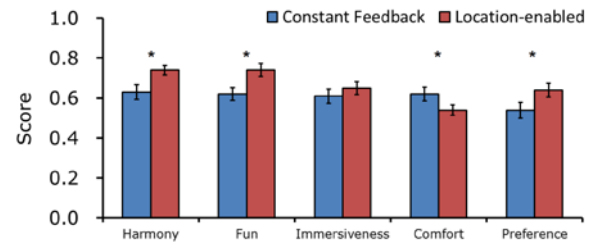


그림 3. 사용자 실험 2에서 측정된 주관적 평가 점수. 오류 막대는 표준 오차를 나타낸다. 통계적으로 유의하게 다른 그룹인 항목은 별(*)로 표시되었다.

사사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 미래유망 융합기술 파이오니어 사업과 중견연구자 지원사업의 지원을 받아서 수행되었음 (2011-0027994, 2013R1A2A2A01016907).

참고 문헌

- Gault, R. H. Progress in experiments on tactual interpretation of oral speech. *Journal of Abnormal Psychology and Social Psychology* 19, 2 (1924), 155-159.
- Tan, H. Z., Reed, C. M., and Durlach, N. I. Optimum information-transfer rates for communication through haptic and other sensor modalities. *IEEE Transactions on Haptics* 3, 2 (2010), 98-108.
- Ryu, J., Jung J., Park G., and Choi S.. Psychophysical model for vibrotactile in mobile devices. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 19, 4 (2010), 1-24.
- David S. Alles. 1970. Information transmission by phantom sensations. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems* MMS-11, 1 (1970), 85-91.