

사실적인 충돌 효과를 위한 진동 및 임팩트 햅틱 피드백

Vibration and Impact Haptic Feedback for Realistic Collision Effect

박채용	이지완	오송이	최승문
Chaeyong Park	Jiwan Lee	Songyi Oh	Seungmoon Choi
포항공과대학교	포항공과대학교	포항공과대학교	포항공과대학교
POSTECH	POSTECH	POSTECH	POSTECH
pcy8201@postech.ac.kr	jiwan@postech.ac.kr	songyi@postech.ac.kr	choism@postech.ac.kr

요약문

본 연구는 진동을 통해 햅틱 피드백을 제공하는 햅츠티에이터 (Haptuator)와, 임팩트를 통해 햅틱 피드백을 제공하는 임팩트 햅츠티에이터 (Impact Actuator)를 결합하여 다중 효과를 동시에 전달하는 햅틱 햅츠티에이터를 만들어, 새로운 방식의 렌더링 효율성을 알아보았다. 본 연구에서 제안하는 렌더링 방식의 효율성을 테스트하기 위해서, 물리적 성질이 다른 세 가지 가상 물체를 선정하여 충돌 시뮬레이션이 가능한 가상 환경을 구현하였다. 가상 환경에서의 물체 충돌의 햅틱 피드백 렌더링으로는 진동을 통한 효과, 진동과 임팩트를 동시에 이용한 효과의 두 가지 조건을 제공하였으며, 사용자 평가를 진행하였다. 실험을 통해 외형의 변형이 작은 강체의 경우 진동만을 통한 햅틱 피드백에 비해 임팩트가 결합된 햅틱 피드백이 더 높은 실재감을 제공한다는 것을 알 수 있었다.

주제어

햅틱스(Haptics), 촉감 인지(Tactile Perception), 임팩트 햅츠티에이터(Impact Actuator)

1. 서론

햅틱이란 사람이 물체의 인식이나 조작성을 목적으로 물체와 접촉 상호작용하는 것을 일컫는 말이다. 사람과 햅틱 기기 간의 의사 소통을 햅틱 피드백이라 하며, 사람들은 햅틱 피드백을 통해 물체의 고유한 특성 및 형태와 같은 물리적인 정보를 얻을 수 있다 [1],

가상 환경의 햅틱 피드백을 통하여 가상 물체의 존재 뿐만 아니라, 물체의 충돌 및 물체 사이의 관계를 느낄 수 있다 [2]. 햅틱 피드백 장치들 중 하나로 진동 햅츠티에이터가 있으며, 사람과 가상 물체의 충돌에 진동 피드백을 제공함으로써 실제 물체가 갖는 물리적인 성질을 전달하는 연구가 있다 [4].

일반적인 진동 햅츠티에이터는 진동 형태의 움직임만 만들어 내며, 진동을 만들어 내는 방법에 따라 크게 선형 전자기 햅츠티에이터(Linear Electromagnetic Actuator), 회전 전자기 햅츠티에이터(Rotary Electromagnetic Actuator) 그리고 비 전자기 햅츠티에이터 (Non-electromagnetic Actuator)로 분류할 수 있다 [1]. 그중 선형 전자기 햅츠티에이터는 회전 전자기 햅츠티에이터와는 달리 진폭과 주파수를 독립적으로 조작할 수 있는 것이 특징이다. 하지만 진동 햅츠티에이터의 경우 일반적으로 최소 50Hz 에서 최대 1000Hz 의 주파수 대역폭을 갖으며, 더 낮은 주파수대역의 진동의 경우 불안정한 양상을 보이는 경우가 있다.

진동 형태의 움직임을 만들어 내는 진동 햅츠티에이터와 달리 물리적인 충격 형태의 타격감을 제공하는 임팩트 (Impact)타입의 햅츠티에이터가 존재한다. 임팩트를 만들어내는 방법에는 압전기 (Piezoelectric), 전자기 (Electromagnetic), 정전기 (Electrostatic) 방법이 있으며, 각각의 햅츠티에이터는 모두 일정한 타격감을 제공한다 [3, 6]. 이는 모두 질량 물체 (Mass)를 이동시킴으로써 임팩트를 만들며, 이로부터 사용자는 진동과 다른 큰 타격감을 느낄 수 있다.

하지만 진동을 통한 햅틱 피드백은 강한 충돌의 타격감을 주기에는 부족한 느낌을 제공하며, 임팩트를 통한 햅틱 피드백은 다양한 충돌 효과를 낼 수 없다. 이에 본 연구는 진동 형태의 햅틱 피드백과, 임팩트 형태의 햅틱 피드백을 합친 렌더링 효과를 제안하고, 이 방법이 가상 환경에서의 물체의 충돌 인지에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 진동과 임팩트를 결합한 햅틱 피드백을 위한 기기로, 보이스 코일 형태의 햅츠티에이터와, 임팩트 타입의 햅츠티에이터를 하나로 합쳐 두 햅틱 피드백을 동시에 발생시키는 햅틱 햅츠티에이터를 이용하였다. 또한 진동과 임팩트가 결합된 햅틱 피드백의 효율성을 알아보기 위해 충돌 효과의 실재감 및 시각과의 조화로우에 대한 사용자 실험을 하였다.

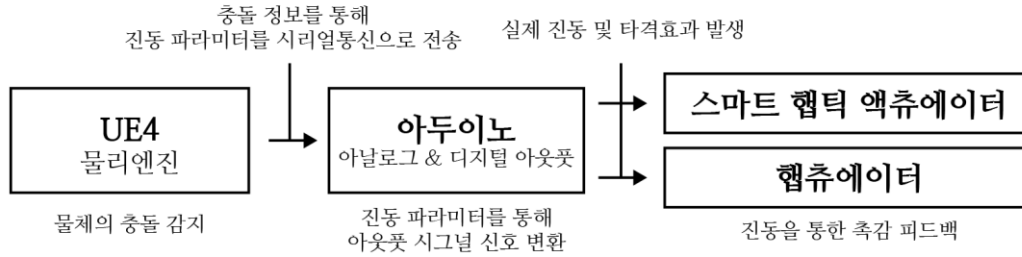


그림 1. 본 시스템의 블록 다이어그램

2. 시스템 구성

본 연구의 햅틱 액추에이터는 진동 피드백을 렌더링하는 BM3C 햅츠크에이터 (Tactile Labs) 와 임팩트 피드백을 렌더링하는 스마트 햅틱 액추에이터 (액츄로닉스)를 이용하였다. 사용자 평가를 위한 가상 충돌 실험은 게임 제작 툴인 언리얼엔진 4(UE4)를 이용하였으며, 아두이노 DUE 를 이용 두 액추에이터를 제어하였다.

이에 본 시스템의 블록 다이어그램은 그림 1 과 같다. 가상의 물체로부터 물체의 충돌이 발생하면, 물체가 지닌 물리적 변수들을 시리얼 통신을 통해 아두이노에 전달한다. 충돌한 물체의 물리적 성질을 기반으로 한, 진동 변수들을 이용하여 아두이노는 진동 신호의 아날로그 값을 계산하고, 해당 신호를 두 액추에이터에 각각 전달한다.

2.1 진동 신호의 생성

충돌 시 물리 엔진으로부터 전달받은 진동 변수들을 다음의 두 식 (1, 2)를 이용하여 아날로그 진동 신호로 변환하였다 [2].

$$x(t) = A \sin(2\pi ft) e^{-\tau t} \quad (1)$$

$$A_t = A^* \frac{\|F\|}{m_1 + m_2} \quad (2)$$

$x(t)$ 는 시간 t 일때의 진동 신호, A 는 표준화된 진동의 진폭, m_1, m_2, F 는 각각 충돌하는 물체의 질량 및 힘을 나타내며, f, τ 는 각각 물체가 지닌 물체의 고유 주파수 및 감쇠율을 나타낸다.

물체의 충돌에 있어 철, 나무, 고무 총 세가지의 물질을 이용하였으며, 고유 주파수와 감쇠율은 [5]의 연구의 수치를 차용하였고, 이는 표 1 로 나타내었다.

표 1. 세 물질에 대한 고유주파수와 감쇠율

물질	철	나무	고무
고유 주파수	430	349	80
감쇠율	11.97	106.99	34.13

2.2 스마트 햅틱 액추에이터 (SHA)

SHA 는 일반적인 진동 액추에이터와는 다르게 타격 효과 (Impact effect)를 줄 수 있는 임팩트타입의 액추에이터이다. 기존의 진동 액추에이터와는 다른 방식인 Impact Haptic Generator (IHG)를 통해 오직 한번의 타격이 발생함으로써 큰 힘을 낼 수 있다. 1DOF 의 방향성을 가진 SHA 는 기기의 양방향으로 타격 효과를 낼 수 있으며, 인가하는 전압의 양을 조절함으로 임팩트의 세기를 조절 할 수 있다. (그림 2)

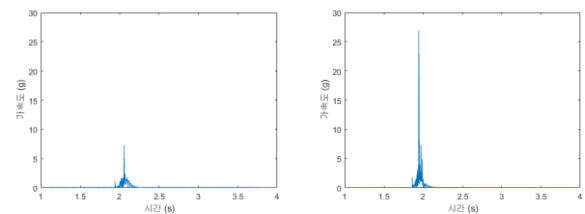


그림 2. 전압에 따른 SHA의 가속도 값 3V(좌), 5V(우)

그림 2는 전압에 따른 SHA의 가속도 값을 나타낸다. SHA에 3V를 인가한 경우 5g의 가속도 값을 보이며, 최대 전압인 5V를 인가한 경우 30g 미만의 가속도 값을 보인다. 따라서 본 연구는 전압의 세기를 조절하여 5g에서 30g 사이의 가속도 값을 이용하였다.

2.3 햅틱 액추에이터

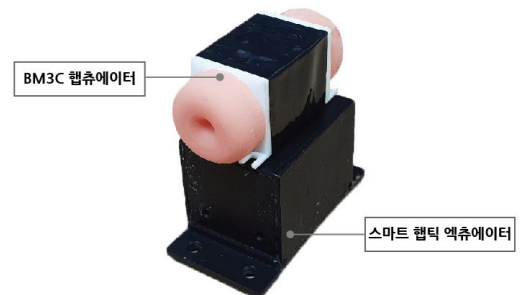


그림 3. 햅틱 액추에이터

그림 3은 본 연구에서 제안하는 진동 효과 및 타격 효과를 모두 지닌 햅틱 액추에이터를 나타낸다.

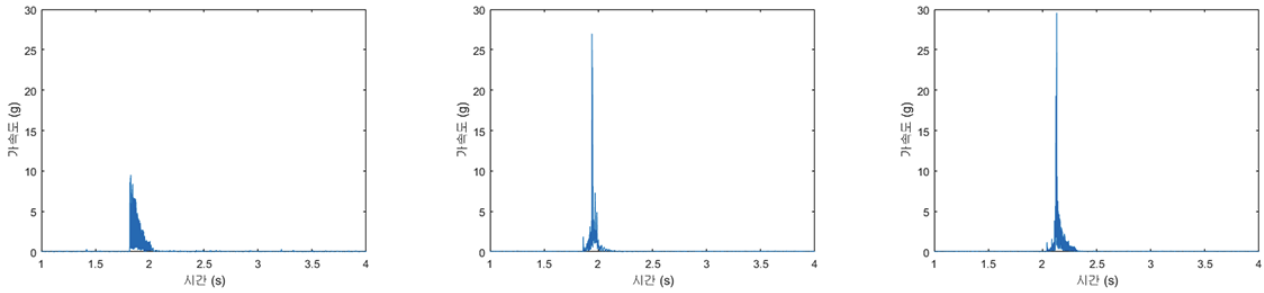


그림 4. 진동을 통한 효과 (좌), 임팩트를 통한 효과 (중), 두 효과를 동시에 발생시켰을 때 (우)

이는 진동을 위한 BM3C 햅츠크에이터와 임팩트를 위한 SHA 가 결합되어 있다.

SHA 의 임팩트 효과는 양쪽 방향으로만 힘을 내기 때문에, 햅츠크에이터를 임팩트 방향과 수직적인 방향으로 부착하여 서로의 힘을 상쇄시키지 않도록 구성하였다. 이를 통해 본 햅츠크에이터는 각각의 힘을 상쇄시키지 않으면서 동시에 두 효과를 렌더링한다.

그림 4 은 서로 다른 방식을 통하여 충돌 효과를 제공하였을 때의 시간에 따른 가속도의 그래프이다. 진동 햅틱 피드백만 제공 되었을 때는 10g 보다 작은 가속도를 갖는 감소하는 사인형태의 양상을 띄며 (왼쪽), 임팩트 피드백의 경우 한 번의 큰 타격을 내는 양상을 띈다 (가운데). 또한 이 두 햅틱 피드백의 효과를 동시에 렌더링 하여 그림 4 의 오른쪽과 같이 임팩트의 효과와 및 진동의 효과를 모두 볼 수 있다. 이처럼 두 효과가 결합된 햅틱 피드백을 통해 사용자는 가상 물체의 충돌을 진동 및 임팩트의 햅틱 피드백으로 전달 받을 수 있다.

3. 사용자 실험

본 연구에서는 다양한 물질의 물체가 충돌할 때, 진동 및 임팩트의 햅틱 피드백이 동시에 전달되는 햅틱 피드백의 효용성을 알아보기 위해 사용자 실험을 진행하였다. 햅틱 피드백 (진동 피드백만 제공, 진동과 임팩트가 결합된 햅틱 피드백의 제공)에 따른 충돌에 대한 실재감 및 촉각의 사실성을 비교 하였으며, 총 8 명의 촉각에 문제가 없는 피실험자가 실험에 참여하였다. (남자 5 명, 여자 3 명)

3.1 실험 방법

피실험자들은 햅틱 햅츠크에이터를 손에 쥐고, 제공되는 햅틱 피드백에 대해 물체 충돌의 실재감에 대한 평가를 하였다. 평가 1 에서는 진동 햅틱 피드백과 진동과 임팩트가 결합된 햅틱 피드백의 충돌 효과의 실재감을 비교하였으며, 평가 2 에서는 각각의 햅틱 피드백의 시각과의 조화로운 및 실재감에 대한 점수 Semantic 스케일로 평가하였다. 진동 햅틱 피드백의 경우 표

1 에서 제공된 실제 물체를 기반으로 한 물리적 수치를 이용하였다.

평가 1 과 2 모두 각 Trial 마다 쇠 공, 나무 공, 고무 공 중 임의로 하나의 물체가 바닥과 충돌하고, 충돌에 대한 서로 다른 방식의 햅틱 피드백이 제공되는 실험을 통해 이루어졌다 (그림 5).

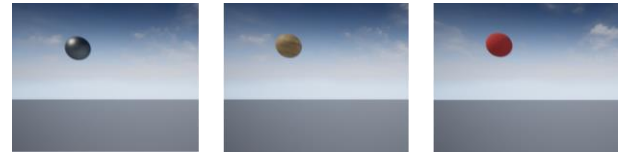


그림 5. 사용자 실험 환경의 스크린 샷.
쇠 공 (왼쪽), 나무 공 (가운데), 고무 공 (오른쪽)

3.2 실험 조건

평가 1 의 경우 각 물체의 충돌에 따른 서로 다른 두 종류의 햅틱 피드백이 임의의 순서로 제공되고, 이때 마다 피실험자는 ‘어떤 햅틱 피드백이 시각적 충돌 화면에 더욱 보조하는 효과를 제공하는지’에 대한 평가를 하였다. 각 피실험자 마다 세 종류의 물질, 햅틱 피드백의 제공 순서의 변형, 반복되는 세 번의 세션을 통하여 (3x2x3) 총 18 번의 Trial 을 하였다.

평가 2 의 경우 각각의 물체에 따른 서로 다른 햅틱 피드백을 제공하고, 질문에 대한 생각을 Semantic 스케일로 답변하였다. ‘촉각피드백의 효과가 시각 화면과 잘 어울렸는가’를 통해 시각과 충돌 햅틱 피드백의 조화로운 (Harmony)에 대해 알아보고자 하였다. 또한 ‘햅틱 피드백의 효과가 실제 물체와 비슷한 느낌을 제공하는가’ 의 질문을 통해 가상 환경의 충돌 햅틱 피드백이 실제 충돌 피드백과 비교하였을 때 얼마나 사실적(Realism)인지에 대해 평가 하도록 하였다.

3.3 결과 및 토론

각각의 물체의 충돌에 대한 피실험자의 햅틱 피드백 선호도를 답변한 평가 1 의 결과는 다음의 그림 6 과 같다.

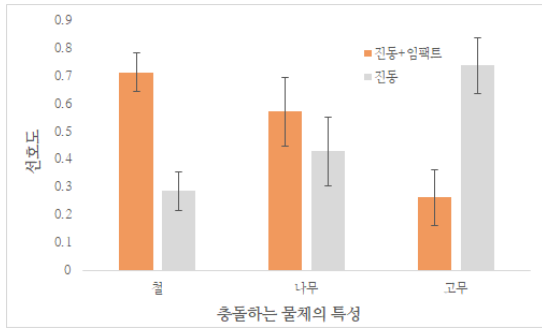


그림 6. 물체에 따른 햅틱 피드백에 대한 선호도 결과

철의 경우는 진동과 임팩트가 결합된 햅틱 피드백이 71 퍼센트, 진동만 있는 햅틱 피드백이 39 퍼센트로, 전자 햅틱 피드백이 두드러지게 선호되었다. 나무의 경우는 각각 58 퍼센트, 42 퍼센트를, 고무의 경우에는 각각 27 퍼센트 73 퍼센트의 선호도를 보였다.

이를 통해 철과 나무와 같이 외형의 변화가 작은 강체에서는 진동 효과와 더불어 타격 효과를 주는 햅틱 피드백이 더욱 사용자들에게 선호되었음을 알 수 있다. 하지만 고무와 같이 외형의 변화가 많은 탄성체의 경우에는 진동 햅틱 피드백만 제공되는 경우가 더 사용자로 하여금 좋은 반응을 이끌어 낼 수 있다.

표 2. 각각의 햅틱 피드백에 대한 질문의 평균값 결과

물질		철	나무	고무
효과가 시각화면과 어울리는가	진동+임팩트	4.64	4.94	5.36
	진동	4.36	4.43	5.03
효과가 실제 느낌을 비슷한 느낌을 제공하는가	진동+임팩트	4.64	5.03	5.00
	진동	4.57	4.24	5.17

표 2는 평가 2의 답변으로, 매우 그렇지 않다(1)부터 매우 그렇다(7)까지의 햅틱 피드백에 대한 주관적인 점수 값이다. 촉각과 시각의 Harmony에 대한 첫번째 질문에 대해 세 물질의 경우 모두 진동과 임팩트가 결합된 햅틱 피드백이 더 높은 점수를 받았다. 하지만 가상 환경의 햅틱 피드백의 실제 충돌 피드백과 비교한 Realism의 항목에서는, 외형의 변화가 작은 철과 나무는 임팩트가 결합된 피드백이 높은 점수를 받는데 비해, 외형의 변화가 큰 고무는 진동만 있는 햅틱 피드백 높은 점수를 받았다.

4. 결론

본 연구는 가상 환경의 물체 충돌 시 제공되는 다양한 햅틱 피드백 (진동, 진동과 임팩트)에 대해 비교하는 실험을 하였다. 평가 1과 평가 2를 통해, 진동에 임팩트가 추가된 햅틱 피드백이 물체의 외형이 변하지

않은 철과 나무와 같은 강체의 충돌에 적절 하였으며, 고무와 같이 외형이 변하는 물질의 경우에는 임팩트를 통한 햅틱 피드백이 적절하지 않았음을 알 수 있었다. 이는 진동에 추가된 임팩트 피드백이 강체의 충돌 효과와 비슷한 느낌을 제공하고, 사람들로 하여금 더 사실적인 충돌 효과를 느끼게 하였다.

향후 연구에는 임팩트의 세기 및 임팩트의 방향을 조절함으로써 각 물체에 더욱 적합한 햅틱 렌더링 방법을 고안하고, 진동 피드백과의 Phase 조절을 통해 더 실제 충돌과 비슷한 효과 렌더링하고자 한다.

5. 사사의 글

본 연구는 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 (2017-0-00179, 디지털콘텐츠원천기술개발)

참고 문헌

1. Choi, S. and Kuchenbecker, K.J. Vibrotactile Display: Perception, Technology, and Applications. Proceedings of the Ieee, 101, 9 (2013), 2093-2104.
2. Kuchenbecker, K.J., Fiene, J. and Niemeyer, G. Improving contact realism through event-based haptic feedback. IEEE Trans Vis Comput Graph, 12, 2 (2006), 219-230.
3. Mita, M., Arai, M., Tensaka, S., Kobayashi, D. and Fujita, H. A micromachined impact microactuator driven by electrostatic force. Journal of Microelectromechanical Systems, 12, 1 (2003), 37-41.
4. Okamura, A.M., Cutkosky, M.R. and Dennerlein, J.T. Reality-based models for vibration feedback in virtual environments. Ieee-Asme T Mech, 6, 3 (2001), 245-252.
5. Park, G. and Choi, S. A Physics-Based Vibrotactile Feedback Library for Collision Events. IEEE Trans Haptics, 10, 3 (2017), 325-337.
6. Tae-Heon, Y., Dongbum, P., Sang-Youn, K., Young-Jun, C., Yu Dong, B., Young Min, L., Jeong Seok, L., Eun Hwa, L. and Kwon, D. A new subminiature impact actuator for mobile devices. In Proc. 2011 IEEE World Haptics Conference, (2011), 95-100.