



[Haptic-Augmented Keyboard for Gaming Experience Enhancement]

학 번: 20190263
이 름: 신재욱
연구 지도교수: 최승문 교수님
학 과: 컴퓨터공학과

연구 목적 (Problem statement)

본 연구는 햅틱 증강 키보드를 통해 PC(personal computer)게이머의 게이밍 경험 향상을 목표로 한다. 햅틱 증강 키보드란 키보드에 햅틱 증강 현실 개념을 도입한 것으로, 키보드에 촉각 피드백을 더해 몰입감과 현실감을 부여한 것을 의미한다. 본 연구는 PC 게이머가 키보드와 마우스를 사용하여 게임을 즐기는 환경에서, 어떻게 사용자 경험을 높일 수 있을지 파악하고, 궁극적으로 PC 게이머에게 콘솔 게임기(Home video game console)수준의 게이밍 경험을 제공하는 것을 목표로 한다.

본 연구를 통해 현재 콘솔 게임기에만 집중되어 있는 햅틱 게이밍 경험을 PC 로도 제공할 수 있을 것을 기대한다. PC 게이머는 엑스박스나 플레이스테이션 같은 콘솔 기기를 추가로 구매하지 않아도 고품질의 게이밍 경험을 얻을 수 있어 비용 절감의 효과를 누릴 수 있다. 또한, PC 게이머가 익숙한 키보드와 마우스를 그대로 사용하면서도 향상된 경험을 얻을 수 있어, 선택의 폭을 넓히는 데 기여할 수 있다. 따라서 본 연구를 통해 PC 게이머에게 더욱 몰입감 있는 게이밍 경험을 제공하고, 비용 절감과 선택의 폭 확장의 효과를 기대할 수 있다.

연구 배경 (Motivation and background)

현재 PC 게이머들은 콘솔 게이머들보다 더 우수한 성능의 기기를 사용하지만, 햅틱 경험 측면에서는 열악한 경험을 하고 있다. 최근 출시되는 AAA 급 게임(다른 게임보다 훨씬 높은 개발비와 막대한 마케팅 비용이 투입된 게임[1])을 실행하기 위해서는 고성능 PC 가 필수적이다. 그러나 햅틱 피드백은 콘솔 기기를 기준으로 제작되기 때문에, PC 게이머는

햅틱 측면에서 콘솔보다 열등한 게이밍 경험을 하게 되는 것이다. 콘솔 게임기의 컨트롤러(DualSense, Xbox 컨트롤러 등)를 PC에 연결해도 컨트롤러의 모든 기능을 완전히 활용할 수 없으며, 햅틱 피드백을 지원하는 게임도 제한적이다. 즉, 최신 콘솔 컨트롤러에서 제공하는 편심 모터(Eccentric Rotating Mass), 선형 공진 액추에이터(Linear Resonant Actuator), 적응형 트리거를 조합한 세련된 햅틱 피드백을 경험하지 못하는 것이다. 또한, 키보드에 익숙한 게이머는 컨트롤러에 적응하는 데 시간이 필요하고, 키보드와 마우스 사용으로 얻는 시점 전환과 빠른 반응 속도 등의 우위를 잃게 된다는 한계도 있다. 이에 따라, PC 게이머가 직면한 불편함을 해결하기 위해 햅틱 증강 키보드를 개발하고 시험하는 연구를 계획하였다.

물론 PC 환경에서 게임의 햅틱 피드백 경험을 느낄 수 있도록 한 연구가 존재한다. [2]이 연구는 게임 사운드를 AI로 분석하고, 특정 사운드에서만 햅틱 피드백이 발생하도록 하여 게이밍 경험을 높이도록 한 연구이다. 이 연구는 사운드를 기반으로 모든 게임에서 햅틱 피드백이 발생하도록 하기에 개발사에 의존하지 않아도 게이머가 햅틱 경험을 얻을 수 있다는 이점이 있다. PC 게이머의 게이밍 경험 향상이라는 측면에서는 본인이 제안할 연구와 공통적이다. 그러나, 이 연구에서는 마우스에 Actuator를 달아 게이밍 경험을 향상을 시도하였다. 이는 햅틱 피드백 측면에서는 훌륭하나, 게임을 플레이하는 입장에서 마우스의 진동 때문에 적을 조준(Aiming)하는 것이 저해될 수 있다는 한계를 지녔다. 따라서 본인은 키보드 버튼 부분과 추가적으로 팔레스트(키보드나 마우스를 사용할 때 손목이나 손바닥을 받쳐주는 도구)에 Actuator를 달아 실험하여 게이밍 경험을 저해하지 않도록 할 것이다.

또한, 키보드에 이용되는 물리 스위치에 Actuator를 달아 다양한 촉각 피드백을 생성한 연구도 존재한다. [3]연구는 햅틱 증강 스위치를 통해 사용자에게 다양한 피드백을 줄 수 있다는 것을 제시하고 있으며 이는 햅틱 증강 키보드를 제작할 때 이용될 수 있을 것으로 생각한다. [4]연구에서는 [3]연구에서 제작한 스위치를 이용하여 VR 환경에서의 텍스트 입력 향상을 제시한다. 그러나 [4]연구는 VR 컨트롤러에 적용한 것으로 본인이 연구할 게이밍 환경과는 구분된다고 할 수 있다.

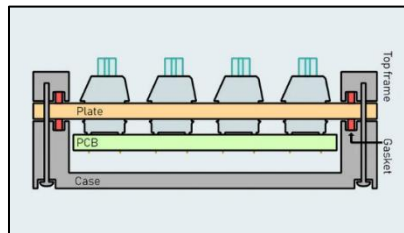
따라서, [2]연구는 햅틱 피드백을 통한 게이밍 경험 향상이라는 공통점과 게이밍 경험 저해 최소화라는 측면에서 차이점이 존재한다. [4]연구는 햅틱 증강 스위치를 이용할 것이라는 부분에서 공통점이 있지만 이용자 경험 향상 분야가 VR과 게임이라는 차이점이 존재한다.

연구 방법(Design and implementation)

A. 햅틱 증강 키보드 제작

(i) 하드웨어 설계

연구를 위해 햅틱 증강 키보드를 제작한다. 게이밍 경험을 측정하는데 있어서 풀사이즈 키보드(108 키)의 모든 입력이 필요하지 않다. 따라서 게임을 동작하는데 필요한 최소한의 키(10 키 정도)만을 이용하여 소형 키보드를 제작한다. 스위치는 [3]연구에서 제시한 것처럼, 촉각 피드백을 효율적으로 전달하기 위하여 buckling(버튼을 누르는 힘이 버튼을 누르는 중간에 변화하는 현상)이 없는 저소음 Linear 스위치를 사용한다. 햅틱 피드백을 제공하기 위하여 Actuator를 키보드 내부에 부착한다. MCU로는 Actuator의 아날로그 출력을 효과적으로 제공하기 위해 12비트 분해능(4096 단계)의 DAC 출력을 제공하는 Arduino Due를 사용한다.

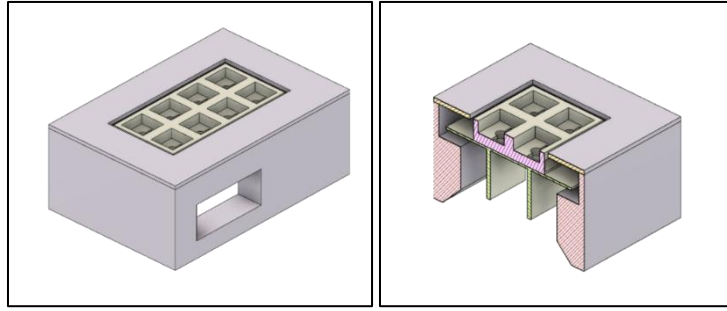


[[5]가스켓 마운트]

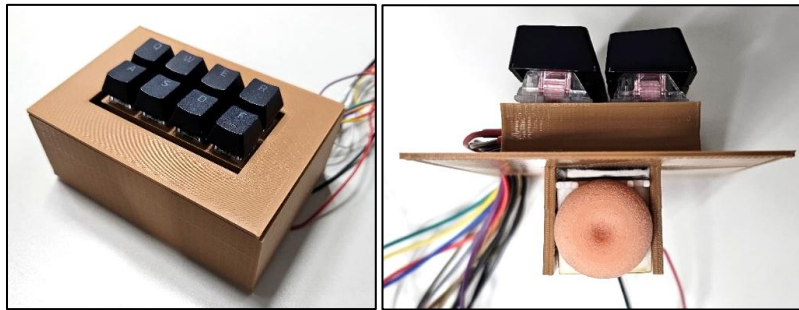
키보드 버튼 위쪽으로 Actuator의 진동을 전달하면서도 키보드 하단부로는 진동을 차단하기 위해 가스켓 마운트(키보드의 보강판과 하우징 사이에 탄성 소재를 사용하여 진동을 흡수) 방식을 적용한다. 추가적으로 결합부에 리프 스프링을 적용하여 하단으로 가는 진동을 효과적으로 차단한다.

(ii) 하드웨어 구현

햅틱 피드백 구현을 위해 계획과 같이 Arduino Due를 MCU로 사용하였다. 스위치는 저소음 Linear 스위치 8개를 MCU의 Digital pin에 연결하였고 진동자는 MCU의 DAC pin에 연결하여 회로를 구성하였다. 스위치와 Actuator를 하나의 강체에 장착하여 효과적으로 햅틱 피드백을 제공하도록 구현하였다. 하우징은 계획과 같이 가스켓 마운트와 리프 스프링의 구조를 적용하여 3D 모델링을 통해 설계하였으며, 3D 프린터로 출력해 제작하였다. 제작함에 있어 키보드 스위치 표준 규격인 Cherry AG사의 MX Switch 규격을 준수하였다.



[3D 모델링: 외형, 단면]



[실제 구현 모습: 외형, 단면]

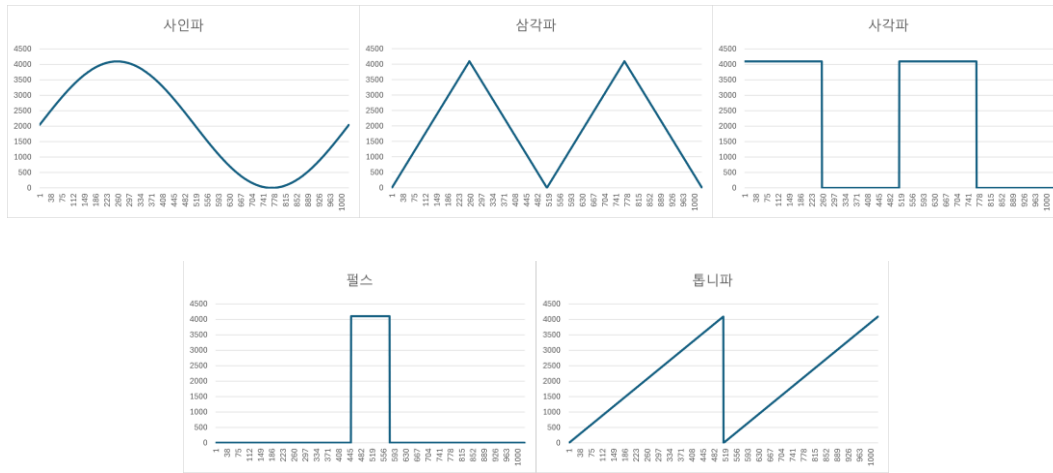
(iii) 소프트웨어 설계

MCU에서 키 스위치의 입력을 감지하면 즉각적으로 키보드 입력을 PC로 보내는 것과 동시에 햅틱 피드백이 일어나도록 코딩한다. 이 때, 게임(엘든링)의 특정 기능(구르기, 걷기, 달리기 등)에 따라 다른 느낌의 햅틱 피드백이 느껴지도록 한다. 또한, Arduino와 같이 제한된 성능을 갖고 있는 기계에서 성능 최적화를 위해 미리 진동의 파형을 lookup table에 저장하도록 코딩한다. 게임 내적 상황을 감지하고, 분석하여 Arduino가 받을 수 있는 형태의 신호로 변환한 뒤, PC와 Arduino 간 시리얼 통신으로 신호를 보낸다. 감지할 게임 내적 상황은 피격, 타격, 상태이상, 지역정보 등이다.

(iv) 소프트웨어 구현

(a) 햅틱 렌더링

Arduino Keyboard 라이브러리를 통해 키보드 입력을 구현하였다. 총 8개의 스위치 입력을 q, w, e, r, a, s, d, f로 설정하였다. 일반적인 키보드와 동일하게 구현하기 위해 채터링(매우 짧은 시간안에 중복 입력이 발생하는 현상)방지 코드를 추가하였으며, 폴링 방식으로 키보드 입력을 확인하도록 구현하였다.



[lookup table]

lookup table 에 5 종류의 파형(사인파, 사각파, 펄스파, 삼각파, 톱니파)을 저장하였으며 다양한 패턴(단일, 이중, 리듬 등)을 조합하여 특정 키 입력이나, 시리얼 통신 입력을 받았을 때 다양한 햅틱 피드백을 렌더링 하도록 구현하였다.

본 연구에서 기준을 잡은 3D 어드벤처 게임인 엘든링을 기준으로, 걷기 입력(w, a, s, d)이 들어왔을 때 캐릭터가 걷는 속도에 맞춰 펄스파가 발생하도록 구현하였다. 0.5 초 이내의 짧은 f 입력(구르기)이 들어왔을 때는 캐릭터가 구르는 시간에 맞춰 사각파가 발생하도록 구현하였다. 또한, 걷기입력과 동시에 0.5 초보다 긴 f 입력(달리기)이 들어왔을 때는 걷기 입력보다 템포가 빠른 진동이 발생하도록 구현하였다. 그 외에 자신의 캐릭터가 공격받았다는 시리얼 입력, 캐릭터가 보스 몬스터에게 공격을 가하였다는 시리얼 입력, 상태 이상이 걸렸다는 시리얼 입력이 들어왔을 때 각각 햅틱 피드백을 제공하도록 구현하였다. 또한, 캐릭터가 위치한 지역이 변경되었다는 시리얼 입력이 들어오면 지역 정보에 따라 걷기, 달리기 에 대한 햅틱 피드백 파형을 다르게 제공하도록 구현하였다.

(b) 이벤트 검출 프로그램



[게임 플레이 화면]

게임 내적 상황을 분석하기 위해 openCV의 비디오 캡처 기능을 이용하였다. 자신 캐릭터의 체력 창, 보스 몬스터의 체력 창은 화면의 특정한 위치에 고정되어 있기에 이 특성을 이용하여 분석에 이용하였다. 자신 캐릭터의 체력 게이지, 보스 몬스터의 체력 게이지에 해당하는 픽셀들을 비디오 캡처를 통해 받아와 해당 영역이 붉은 색(체력이 차 있는 상태)에서 노란 색(체력이 순간적으로 감소한 상태)으로 변경되는 것을 감지하면 이에 맞는 신호(피격, 타격)를 Arduino로 시리얼 통신을 통해 신호를 보내도록 구현하였다. 캐릭터가 상태이상에 걸리면, 그 상태이상에 해당하는 아이콘이 상태이상에 걸린 동안 화면에 지속되는 성질이 있다. 상태 이상에 해당하는 픽셀 영역의 패턴이 일정 시간동안 동일하게 유지되면 Arduino로 주기적인 시리얼 입력을 주도록 구현하였다. 또한, 캐릭터의 발 밑 영역에 해당하는 픽셀의 평균 색상을 분석하여 지역 정보가 변경되었음을 시리얼 통신으로 전달하도록 구현하였다.

B. 사용자 실험

(i) 실험 설계

리그 오브 레전드, 엘든링, 철권 등 다양한 장르의 게임에 대하여 실험한다. 인간을 대상으로 게임을 즐기는 환경에서 키보드의 햅틱 피드백이 제공되었을 때와 제공되지 않았을 때 게이밍 경험에 유의미한 차이가 존재하는지 실험한다. 이 과정에서 변인을 통제하기 위하여, 두 번의 시행 모두 본 실험에서 제작한 햅틱 증강 키보드를 이용하되, 한 번의 시행에서 햅틱 피드백을 제공하지 않도록 한다.

본 연구는 게임 실력 향상이 아닌 게임 내 몰입감 향상을 목표로 하므로, 피실험자의 주관적인 느낌을 데이터화하는 과제가 주어진다. 이를 위해 설문지를 통해 피실험자의 주관적인 느낌을 정량적으로 조사한다. 평가 항목으로는 몰입감, 선호도 등 사용자 경험을 평가할 수 있는 기준으로 선정한다. 또한, 햅틱 피드백이 사용자의 게이밍 경험을 저하하였거나, 게임 실력 등을 저하했는지를 조사한다. 게임의 장르에 따라 햅틱 피드백에 대한 피실험자의 주관적 느낌이 달라질 수 있으므로, 다양한 장르의 게임에서 설문을 진행한다.

(ii) 실험 진행

하드웨어 및 소프트웨어 구현에 있어서 여러 게임에 적용, 몰입감을 위한 세밀한 조정 보단 한 게임에서 다양한 입력 및 상황에 대한 햅틱 피드백 기능 구현에 집중하였기 때문에 실험의 방향성을 변경하였다. 실험 참가자들은 엘든링 게임 플레이와, 보스 몬스터를

처치하는 동영상 시청하고 햅틱 증강 키보드의 기능들이 적절하게 작동하였는지 설문을 통해 평가한다. 설문 내용은 다음과 같다.

1. 피격, 타격, 상태 이상에 대한 햅틱 피드백을 구분할 수 있었는가? (1~5)
2. 구르기, 걷기, 달리기의 햅틱 피드백 반응속도에 대한 평가(1~5)
3. 게임 몰입감이 어떠하였는가? (1~5)

연구 결과 및 평가 (Methodology and evaluation)

A. Implemented Functions

이번 연구를 통해 햅틱 증강 키보드를 하드웨어적, 소프트웨어적으로 구현할 수 있었다. 계획과 같이 Arduino Due, 기계식 키보드 스위치, Actuator 를 이용하여 회로를 구성하였고, 가스켓 마운트 결합구조와 리프 스프링을 이용하여 햅틱 피드백을 효과적으로 전달할 수 있는 하우징을 3D 프린팅을 통해 제작할 수 있었다.

햅틱 피드백에 있어서 사인파, 사각파, 펄스파, 삼각파, 톱니파 등 다양한 파형과 패턴을 조합하여 다양한 햅틱 피드백을 제공하는 것을 구현하였다. 또한, 이 과정에서 Arduino 의 성능 최적화를 위하여 lookup table 에 미리 파형을 저장하여 구현하였다.

키보드 스위치가 한 개 눌렸을 때, 여러 개 동시에 눌렸을 때, 짧게 눌렸을 때, 길게 눌려 있을 때 등 다양한 입력에서 다르게 햅틱 피드백을 제공하는 것을 구현하였다. 또한, 다양한 시리얼 입력을 받아 상황에 맞는 햅틱 피드백을 제공하는 기능을 구현하였다.

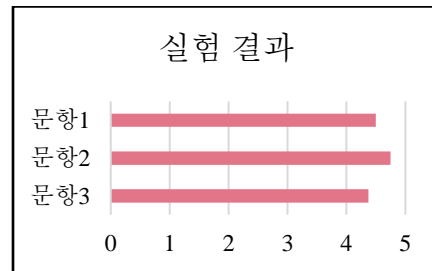
게임 내 상황을 분석하여 Arduino 가 시리얼 통신으로 받을 수 있는 신호로 변환하기 위하여 openCV 의 비디오 캡처 기능을 이용하였다. 이 과정에서 화면에 고정된 정보, 화면의 지속적인 패턴 정보, 배경 정보 등을 인자로 사용하여 시리얼 통신으로 전달하는 기능을 구현하였다.

B. User Experiment Result

햅틱 증강 키보드 구현을 완료한 뒤 인간을 대상으로 한 실험을 진행하였다. 대상자로는 2024 년 12 월 5 일 점심시간에 포스텍 공학 2 동 휴게실에 있었던 무작위의 학부생 8 명이 참여하였다. 실험 참가자들은 햅틱 증강 키보드에 손을 올린 상태로 엘든링 게임 플레이에

관한 유튜브 동영상을 시청하였으며, 햅틱 증강 키보드를 통해 직접 엘든링 게임을 플레이한 뒤 다음과 같은 설문에 참여하였다.

1. 피격, 타격, 상태 이상에 대한 햅틱 피드백을 구분할 수 있었는가? (1~5)
2. 구르기, 걷기, 달리기의 햅틱 피드백 반응속도에 대한 평가(1~5)
3. 게임 몰입감이 어떠하였는가? (1~5)



실험 결과는 8 명의 평균을 내었을 때 1 번: 4.5 점, 2 번: 4.75 점, 3 번: 4.375 점의 점수를 받았다.

토론 및 전망 (Discussion and future work)

이번 연구를 통해 햅틱 증강 키보드의 하드웨어적, 소프트웨어적 구현을 완료하였으며, 키보드에 있어서도 효과적인 햅틱 피드백 제공이 가능하다는 것을 제시할 수 있었다. 또한, 영상 캡처를 통해 게임 내적인 상황 정보를 비디오 캡처를 통해 분석하고 시리얼 통신을 통해 햅틱 장치로 전달하여 이용자에게 햅틱 피드백을 제공하는 것을 구현할 수 있었다. 이를 통해 반드시 게임 개발사에서 햅틱 피드백을 개발하지 않은 상황, PC에서 햅틱 피드백이 제공되지 않는 상황에서도 햅틱 피드백을 제공할 수 있다는 방법론을 제시할 수 있었다.

실험 결과, 몰입감에 대한 평가가 다른 평가보다 낮는데, 이는 추후 게임마다 어울리는 파형을 연구하고 적용함으로써 몰입감을 높일 수 있을 것이라 예상한다. 현재 한 가지 게임(엘든링)에만 한정하여 햅틱 피드백을 구현하였지만, 본 연구의 방법론은 보편적으로 모든 게임에 적용할 수 있으므로 추후 추가적으로 대부분의 게임에 햅틱 피드백을 적용할 수 있을 것이라 예상한다. 또한, 이번 연구에서 제시한 방법론에 더해 머신 러닝을 통해 화면 정보나, 소리 정보를 분석하는 방식을 이용한다면 더욱 효과적으로 햅틱 피드백을 제공하고 게이밍 경험을 높일 수 있을 것이라 생각한다.

참고 문헌(References)

- [1]조영준, 「‘AAA 게임’이란 무엇일까? [조영준의 게임 인더스트리]」, 『동아일보』, 2024.03.15, <https://www.donga.com/news/It/article/all/20240315/123981669/1>
- [2]Gyeore Yun 외 5 명, 「Generating Real-Time, Selective, and Multimodal Haptic Effects from Sound for Gaming Experience Enhancement」, 『CHI '23: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems』, Hamburg Germany, April 23 - 28, 2023, Article No.: 315, Pages 1 - 17
- [3]Chaeyong Park 외 3 명, 「Augmenting Physical Buttons with Vibrotactile Feedback for Programmable Feels」, 『UIST '20: The 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology』, Virtual Event USA, October 20 - 23, 2020, Pages 924 - 937
- [4]Chaeyong Park 외 4 명, 「Vibration-Augmented Buttons: Information Transmission Capacity and Application to Interaction Design」, 『CHI '22: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems』, New Orleans LA USA, 29 April 2022- 5 May 2022, Article No.: 435, Pages 1 – 13
- [5] 「Cheat sheet: Custom keyboard mounting styles」, 『Thomas Baart』, 2019.04.07, <https://thomasbaart.nl/2019/04/07/cheat-sheet-custom-keyboard-mounting-styles/>