

VR 자전거에서의 노면 질감 구현을 위한 진동 데이터 수집 및 분석*

김한엽¹ 나혜원² 윤동주² 전석희²

¹경희대학교 기계공학과

²경희대학교 컴퓨터공학과

{2015100670, berry_na, dongjooyun, jeon}@khu.ac.kr

Data Collection and Analysis to Implement Road Surface Texture for Virtual Reality Bicycle*

Han Yeob Kim¹ HyeWeon Na² DongJoo Yun² and Seokhee Jeon²

¹Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University

²Department of Computer Science and Engineering, Kyung Hee University

요 약

현재 전세계적으로 유행하는 COVID-19 바이러스로 인해 외부 활동보다 안전한 실내에서 여가 욕구를 충족하려는 사람이 더 많아지는 추세이다. 대표적인 여가활동 중 하나인 자전거 타기의 경우 가상현실(VR)의 발달로 가상환경에서 실내 자전거를 타는 사용자 수가 증가하고 있다.[1] 따라서 본 문서는 효과적인 VR 자전거 체험을 위한 노면 질감 데이터를 분석한다. 이를 통해 사용자에게 자전거가 달리는 노면의 질감을 사실적으로 전달함으로써 보다 현실과 유사한 VR 경험을 마련하고자 한다.

1. 서론

현재 전세계적으로 유행하는 COVID-19 바이러스로 인한 사회적 거리두기가 장기화되고 있다. 그로 인해 많은 사람들과의 접촉을 꺼려하고 소규모 공간에서 최소한의 사람들과의 여가 활동을 선호하는 양상을 띠게 되었다. 코로나 시국 이전 즐기던 실외 여가활동을 원활히 유지할 수 없는 사람들도 늘고 있다. 이를 해결하기 위해 대중적인 실외 활동 중 하나인 자전거 타기를 실내에서 실감나게 체험하기 위한 방안을 기획하게 되었다.

본 연구에서는 가상환경에서 자전거 주행의 현실감을 강화하기 위해 기존 VR 시스템에 추가적으로 적용할 수 있는 진동 데이터를 마련한다. 실제 주행 상황에서의 진동 데이터를 수집하고, 물리 디바이스에 적용될 수 있도록 가공한다. 이를 통해 실내 자전거에 진동을 일으켜 노면의 질감을 재현할 수 있도록 하고, 가상의 자전거 주행 상황에서 사용자의 몰입도를 높인다.

본 연구의 최종 목표는 가상 자전거 라이딩 햅틱스 장치를 위한 진동 데이터 수집 및 분석이다. 연구 산출물의 타겟 사용자는 기존 자전거 VR 시스템의 몰입감을 높이고 싶거나, 보다 몰입감 있는 자전거 VR 시스템을 구현하고 싶은 사람들이다. 본 연구는 자전거 VR 시스템에 사실적인 진동을 구현할 수 있는 데이터를 제공함으로써 가상의 자전거 주행 상황에서의 몰입감을 향상시킬 수 있다. 이를 통해 COVID-19 사태임에도 실내에서 충분히 현실적인 라이딩이 가능하다는 것을 입증한다.

2. 관련 연구 및 기술

2.1. 기존 실내 자전거 운동기구 및 서비스

2.1.1 즈위프트(Zwift) [2]

즈위프트(Zwift)는 실내 가상 라이딩 게임이다. 자전거를 스마트로라에 고정한 후, ANT+ 혹은 블루투스를 지원하는 속도계 센서를 통해 전자기기에 연결하여 플레이한다. 유료 구독형으로, 다양한 워크아웃을 제공하며 다른 플레이어들과 함께 즐길 수 있다는 특징이 있다. 자체 개발된 호환 가능한 액세서리를 부착하면 라이딩의 현실감을 높일 수 있다. 스마트 로라는 게임 내 경사도와 노면을 반영하여 페달링의 강도를 구현하고, 킥클라임과 킥헤드윈드는 각각 게임 내 경사도와 속도에 따른 바람을 구현하며, 스티어링 블록은 자전거 핸들을 이용하여 게임 내 조향 기능을 부여한다.

2.1.2 얼티레이서(Ultiracer) [3]

얼티레이서는 실내에서 자전거를 안전하고 편리하게 탈 수 있게 하는 운동기구다. 플랫폼 기능을 통해 사이클 운동 정보를 사용하여 사이클링과 게임을 동시에 즐길 수 있다. 주행정보 통합 센서 시스템으로 자체 개발한 게임을 통해 주행속도, 주행거리 등을 확인할 수 있다. 자전거를 타는 동안 전면 및 후면 롤러에 동일한 마찰이 전달되어 실제 자전거 주행과 같은 경험을 선사한다.

2.2. 진동 데이터 수집 및 생성

2.2.1. 아두이노 가속도 센서

가속도 센서는 아두이노와 연결되어 가속도를 측정한다. 가속도 센서는 내부에 있는 압전소자가 힘을 받아 방출하는 전류를 통해 가속도를 측정한다. 측정된 가속도를 이용하여 물체의 속도를 예측하고 변위를 예측함으로써 진동을 측정한다. 대표적인 가속도 센서에는 SW-420, MPU-6050, ADXL345, ADXL335 등이 있다.

*본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학 사업의 연구결과로 수행되었음(2017-0-00093)
This research was supported by the Korean MSIT (Ministry of Science and ICT), under the National Program for Excellence in SW (2017-0-00093), supervised by the IITP (Institute for Information & communications Technology Planning & Evaluation)

2.2.2. 아두이노 진동 모터

진동을 생성하기 위해 DC 모터나 스피커, 우퍼 등을 이용한다. 전압을 두개의 단자에 나누어 가하면 모터의 한쪽으로 무게가 치우치며 모터의 회전으로 진동이 발생한다. 자전거로부터 전달되는 진동의 경우 탑승자에게까지 전달될 수 있는 큰 출력을 요하므로 앰플리파이어(Amplifier)를 사용하여 출력신호를 증폭할 것이다.

2.2.3. DAQ [4][5]

DAQ(Data Acquisition)는 전압, 전류, 온도, 압력, 사운드와 같은 전기적 또는 물리적 현상을 측정하는 프로세스이다. 데이터 수집에 사용할 DAQ 모델은 NI USB-6009이다. 제공되는 기능은 간단한 데이터 로깅, 휴대용 측정 및 실험 등이다. 디바이스 내에 경량의 인클로저가 포함되며 버스로 전원이 공급되므로 휴대성이 높다. 스크류 터미널 연결을 통해 센서와 신호를 본체에 편리하게 전달할 수 있다. 내장된 NI-DAQmx 드라이버 및 설정 유틸리티를 사용하여 설정 및 측정이 간단하다.

2.3. 기존 연구의 문제점 및 해결방안

대부분의 기존 실내 자전거 운동 기구는 효과적인 운동을 목적으로 두고있다. 그러나 이 기구들의 노면 질감 구현력은 부족한 것으로 판단된다. 우리 연구는 노면 질감에 집중하여 더욱 현실감 있는 실내 라이딩을 구현하고자 한다. 이를 위해 자전거에 가속도 센서를 부착하여 진동 주파수를 수집하고 이를 실내 자전거에서 출력하는 방법을 고안하였다. 속력에 따라 진동이 변화하기 때문에 속력별 진동을 수집하고 분석하여 진동을 구현하는데 도움이 될 것이다.

3. 데이터 수집 [6]

3.1. 아두이노 데이터 수집 시스템 [7]

크게 4가지 요소를 사용하여 데이터 수집 시스템을 구성하였다. 휴대성과 크기를 고려하여 MCU(아두이노 메가 Mega 2560)를 사용하였다. 가속도 수집을 위해 전자 가속도계(ADXL345 GY-80)를 사용하였고 핸들바에 부착하여 데이터를 수집하였다. 센서는 ±8g와 800Hz의 속도로 측정할 수 있게 설정하였다. 속력 측정을 위해 자전거 뒷바퀴에 4등분하여 마킹을 하고 IR센서 (HW-511 TCRT5000)를 이용하여 속력을 측정하였다. IR 센서가 마킹을 감지하고 MCU에 신호를 보내면 이전 신호와의 간격을 계산한다. 그리고 마킹 간의 거리를 계산된 간격으로 나누어 속력을 측정하였다.



그림 1. 자전거에 센서를 부착하고 데이터를 수집하는 모습

$$velocity = \frac{circumference}{n} / \delta \times 36$$

속력 수식은 위와 같다. 이때 n 은 마킹 등분수, δ 는 이전 신호와의 간격을 의미한다. $circumference$ 는 cm단위, δ 는 ms단위로 측정하였기 때문에 이를 km/h단위로 변환하기 위해 36을 곱하였다. 위와 같은 설정으로 아스팔트에서 수집한 데이터는 그림 2과 같다. 속력이 빨라질수록 측정 오차가 커지는 모습을 보이며 속도가 빨리집에

따라 가속도 또한 커지는 모습을 보인다. 하지만 아두이노의 성능 상 문제로 샘플링 주기가 약 4ms로 길고 측정방식에 따른 오차로 인해 속력이 커질수록 속력의 오차가 커지는 모습을 보인다. 이러한 문제를 해결하기 위해 노트북과 DAQ를 이용하여 새로운 데이터 수집 시스템을 구성하였다.

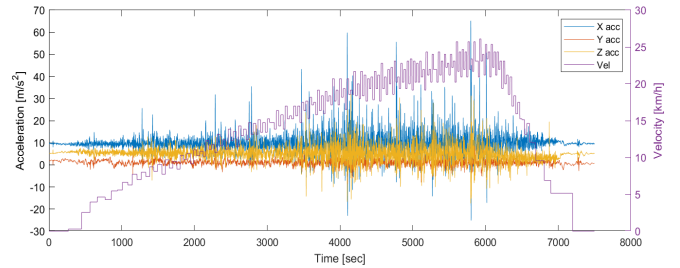


그림 2. 아두이노를 이용하여 수집된 속력과 가속도 데이터

3.2 DAQ를 이용한 데이터 수집 시스템

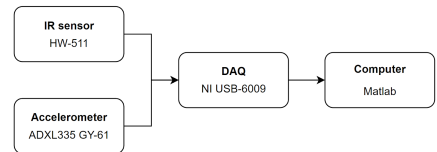


그림 3. DAQ를 이용한 데이터 수집 시스템 개략도

아두이노를 DAQ로 변경하여 새롭게 데이터 수집 시스템을 구성하였다. DAQ를 컴퓨터에 연결하여 샘플링 주기를 0.5ms로 줄이고(2000Hz) Matlab을 이용하여 DAQ와 연결하였다. 따라서, 마킹을 4등분에서 8등분으로 변경하여 진행하였다. 또한 DAQ와 호환되는 가속도계(ADXL335 GY-61)로 변경하였다. 속도를 계산하는 방법은 동일하고 Matlab을 이용하여 코딩하였다.

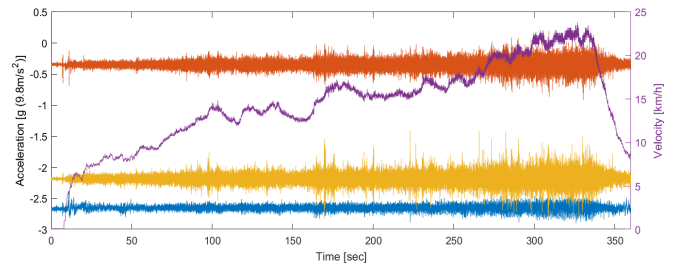


그림 4. DAQ시스템을 이용하여 수집한 속력과 가속도 데이터

DAQ시스템을 이용하여 인조잔디 구장에서 약 5분 동안 데이터를 수집하였으며 결과는 그림 4과 같다. 그래프에서 보라색은 속력을 의미하고 파랑, 빨강, 노랑 선은 각각 x 축, y 축, z 축의 가속도를 의미한다. Raw데이터로 각 축 평균 간 차이가 있다. 인조잔디 구장 외에도 아스팔트, 돌 타일 바닥에서 데이터 수집을 진행하였다. DAQ를 이용해서 수집한 데이터가 아두이노를 이용해서 수집한 데이터보다 정교하고 데이터의 양이 많아 DAQ로 수집한 데이터를 분석에 사용하였다.



그림 5. 데이터 수집 장소(왼쪽부터 아스팔트, 인조잔디, 타일)

4. 데이터 처리

4.1. 데이터 전처리

수집한 데이터는 7Hz 이상의 High-pass filter로 중력의 영향과 노면의 미세한 돌출부와 홈으로 인한 노이즈를 제거하였다. 이후 진동구현을 위해 x , y , z 축의 가속도 데이터의 기준을 모두 0으로 설정하였다. 각 축의 가속도 데이터를 푸리에 변환한 후 각 축의 진동수 크기를 벡터로 묶어 L2 Norm을 이용해 벡터의 크기를 구하고 벡터의 위상각을 구하였다. 이 두 값을 이용해 푸리에 역변환을 수행하여 1차원 데이터로 변환하였다. 처리를 거친 데이터는 그림 6과 같다.

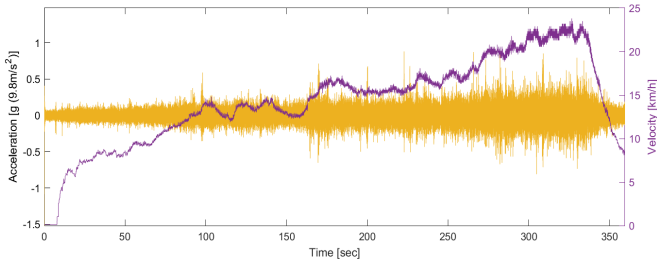


그림 6. 1차원 데이터화된 가속도와 속도

4.2. 데이터 분할 및 보간

4.2.1. 데이터 분할

수집된 데이터는 노이즈 및 후반부의 급격한 감속구간을 제거한 뒤 오차범위를 $\pm 0.2\text{km/h}$ 로 설정하고 오차범위 내의 속력과 그에 따른 가속도 값을 분류하여 저장하였다.

4.2.2. 데이터 보간 방식

사용자 VR자전거를 체험하며 점진적으로 변하는 속력에 따른 진동 데이터를 실시간으로 느낄 수 있도록 입력데이터에 따라 실시간으로 가속도를 보간해서 출력한다.

아스팔트, 인조잔디, 타일 표면 각각의 데이터셋 중 최대 대표 속력이 20km/h 를 넘기고 속력별 가속도가 많은 최적의 데이터셋을 선정하여 데이터 보간을 진행하였다. 데이터 보간 방식에는 시간 도메인 보간과 주파수 도메인 보간[8]이 있다.

시간 도메인 보간 방식 중 하나인 선형 보간은 일차원 상의 두 지점 x_1 과 x_2 에서의 데이터 값이 $f(x_1)$, $f(x_2)$ 일 때, x_1 과 x_2 사이의 임의의 지점 x ($x_1 \leq x \leq x_2$)에서의 데이터 값 $f(x)$ 는 다음과 같은 식을 통해 구한다. 이때 v_1 는 구하고자 하는 임의의 속력, v_1 은 이전 속력, v_2 는 이후 속력이다.

$$f(x) = \frac{d_2}{d_1+d_2}f(x_1) + \frac{d_1}{d_1+d_2}f(x_2)$$
$$(d_1 = |v - v_1|, d_2 = |v - v_2|)$$

주파수 도메인 보간은 이산 푸리에 변환(DFT) 또는 고속 푸리에 변환(FFT)를 활용하여 입력데이터를 주파수 도메인으로 변환한 뒤 보간하는 방식이다. DFT는 주파수 추정을 위한 충분한 분해능을 제공하고 실시간으로 작동한다. FFT는 DFT의 알고리즘으로 훨씬 적은 계산 노력이 필요하므로 더 빠르다. 그러나 DFT와 FFT 모두 단시간의 신호에 대한 정확한 결과를 제공하는데 한계가 있다. 현재 이 한계를 극복하기 위해 zero-padding, trim-to-fit strategy 등 다양한 알고리즘 및 기법에 대한 비교 연구가 활발히 이루어지고 있다.

5. 결론 및 기대 효과

5.1. 결론

본 논문에서는 가상 현실에서 자전거를 타는 사용자의 몰입도를 높일 방법을 제안하고, Matlab을 이용하여 실제 자전거 주행 시 발생하는 진동 데이터를 아스팔트, 인조잔디, 타일 표면에서 각각 수집하였다. 해당 데이터를 실제 가상현실에 적용하기 위해 노이즈 제거 및 1차원 데이터 변환을 거쳐, 속도에 따라 분할하였다.

5.2. 기대 효과

본 연구의 진동 데이터를 실내자전거 또는 고정된 자전거에 발생시켜 사용자에게 실제 주행에서 느껴지는 진동을 경험하도록 할 수 있다. 속도마다 진동데이터를 제공하기 때문에 입력 속도에 따라 점차 변화하는 진동의 구현이 가능하다. 따라서 가상의 자전거 주행 상황에서 사용자에게 보다 실제 주행과 같은 경험을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 특히, 아스팔트, 인조잔디, 타일과 같이 표면의 종류에 따라 차별화 된 데이터를 제공함으로써 상황에 적합한 진동 구현이 가능하다. 이로써 가상의 자전거 주행 상황에서의 사용자 경험을 향상시킬 수 있다.

6. 향후 연구

본 논문의 데이터를 가상현실 환경에 적용하면 실제 주행 상황에서의 노면 질감을 느끼도록 하여 사용자의 몰입감을 높일 것으로 예측된다. 따라서 해당 데이터를 이용해 사용자에게 물리적 진동을 전달하는 촉각 피드백 디바이스를 구현한 후, HMD를 활용한 시각적 피드백과 결합해 적절한 가상현실 환경을 만드는 것이 앞으로의 연구 과제이다.

진동 출력 디바이스의 구현 계획은 다음과 같다. 먼저 IR 센서와 아두이노를 통해 사용자가 달리는 속도를 입력 받는다. 이후 입력 속도에 해당하는 진동 데이터를 Matlab에서 보간으로 생성한다. 이렇게 생성된 데이터를 PC에서 내보내면 앰플리파이어에서 신호를 받아 증폭시킨다. 증폭된 신호는 액추에이터(Actuator)에서 최종적으로 진동으로 출력한다. IR 센서는 데이터 수집 단계에서와 동일하게 HW-511 TCRT5000을 사용하고, 앰플리파이어는 XY-502, 액추에이터는 Vibro Transducer Vp6를 사용할 예정이다.

7. 참고 문헌

- [1] Pender, K.P. (2020년, 12월 17일). Virtual reality: how cyclists are pedalling through the pandemic. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/sport/2020/dec/18/virtual-reality-how-cyclists-are-pedalling-through-the-pandemic>.
- [2] “Zwift, Indoor cycling.” 2021년10월10일 접속, <https://www.zwift.com/>.
- [3] “About 얼티레이서.” *리얼디자인테크*. 2021년10월10일 접속, https://kor.realdesigntech.com/ultraceler_2roller.
- [4] “디지털 I/O 디바이스.” *National Instruments*. 2021년10월30일 접속, <https://www.ni.com/ko-kr/shop/hardware/products/digital-io-device.html>.
- [5] “USB-6009.” *National Instruments*. 2021년10월30일 접속, <https://www.ni.com/ko-kr/support/model.usb-6009.html>.
- [6] Rakhmatov, Ruslan. “Virtual Reality Bicycle with Data-Driven Vibrotactile Responses from Road Surface Textures.” Master degree, Graduate School of Kyung Hee University Seoul, Korea, 2018.
- [7] “Arduino, open-source electronics platform.” 2021년10월30일 접속, <https://www.arduino.cc/>.
- [8] Andrea Amalia MINDA, Constantin-Ioan BARBINTA, Gilbert-Rainer GILLICH. “A Review of Interpolation Methods Used for Frequency Estimation.” *RJAV* vol.17 no.1 (2020): 21.