

인터랙션 프로토타이핑 원격교육을 위한 가상현실 어플리케이션 디자인

Design of Virtual Reality Application for Interaction Prototyping Remote Education

조혜영
Hye-Young Jo
한국과학기술원
산업디자인학과
Dept. of Industrial
Design, KAIST
hyeyoungjo@
kaist.ac.kr

장우제
Wooje Chang
한국과학기술원
산업디자인학과
Dept. of Industrial
Design, KAIST
wooje.chang@
kaist.ac.kr

정훈진
Hoonjin Jung
한국과학기술원
산업디자인학과
Dept. of Industrial
Design, KAIST
davidhoonjin@
kaist.ac.kr

안드리아 비앙키
Andrea Bianchi
한국과학기술원
산업디자인학과
Dept. of Industrial
Design, KAIST
andrea@
kaist.ac.kr

요약문

코로나 19 로 인한 판데믹 상황에서 현장 실습 과목은 공유할 수 있는 물리적 공간의 제약으로 인하여 학습의 전달에 어려움을 겪고 있다. 특히, 물리적인 실습이 중요한 STEAM 교육에서 가상환경 실감형 콘텐츠를 도입하려는 연구는 코로나 19 이전에도 있었지만, 전염병 발발 이후 도래한 비대면 교육 패러다임은 이러한 필요성을 더욱 증대시켰다. 본 논문에서 우리는 가상현실에서 학습자에게 직관적이고 안전한 실습 환경을 제공하는 인터랙션 프로토타이핑 원격 교육 어플리케이션을 제안한다. 우리는 전문가 인터뷰를 통해 대표적인 STEAM 과목 중 하나인 인터랙션 프로토타이핑 수업의 과정을 정리하고, 코로나 전후 심화된 교육의 어려움을 탐색하였다. 이를 바탕으로 인터랙션 프로토타이핑 수업의 배경을 가상환경으로 옮기는 데 있어서 디자인 고려사항을 도출하였다. 마지막으로 우리는 실감 이론 수업, 3D 라이브러리, 회로 어셈블리, 혼합현실 실습 등 학습자에게 몰입감 높은 경험을 제공할 수 있는 4 가지 가능한 인터랙션 시나리오를 제안하고, 향후 연구에 대하여 소개한다.

주제어

STEAM 교육, 가상현실, 혼합현실, 인터랙션 프로토타이핑, 피지컬 컴퓨팅

1. 서론

인터랙션 프로토타이핑(=피지컬 컴퓨팅) 수업은 STEAM(Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) 교육의 대표적인 예시로 코딩과 피지컬 프로토타이핑을 융합한 수업이다. 과학, 기술, 공학, 예술을 넘어선 융합적·창의적 인재 양성에 대한 관심 증가로 최근 10 여년간 국내외에서 STEAM 교육의 중요도가 상승하였다[1].

하지만 코로나 19 이라는 판데믹 상황 속에서 대부분의 대학강의가 온라인으로 전환된 가운데 물리적인 실습이 필수적인 STEAM 수업은 난항을 겪고 있다. 많은 교사들과 학생들이 코로나 종식 이후에도 이러한 온라인 교육은 사라지지 않을 것이라고 예측하고 있는 가운데[2], 원격 수업은 학생들의 수업 관심도와 몰입도를 현저히 떨어뜨리고 학생들 간의 학습격차 또한 초래하는 등 많은 문제점들을 가지고 있다[3].



그림 1. VR 기기를 쓰고 인터랙션 프로토타이핑 어플리케이션을 체험하는 모습

대표적인 STEAM 과목인 인터랙션 프로토타이핑 수업의 경우는 전염병 발발 이전 대면 수업에서도 회로 조립 과정에서 초심자의 실수가 잦아 원활한 지도편달에 어려움이 있었다. 이를 해결하기 위해 복잡한 와이어링 과정을 제거한 VirtualWire[4], LED 가 내장된 기판을 통해 명확한 지도를 하는 SchemaBoard[5]와 같은 연구들이 있었다. 하지만 코로나 19 이후 수업이 원격으로 진행됨에 따라 학생들이 전자회로를 조립하는 모습을 교사가 확인하기는 더욱 힘들어졌다. 따라서, 적극적인 인터랙션과 실습이 가능한 온라인 교육방법이 마련되어야 한다.

한편, 가상현실(VR) 기술은 이러한 STEAM 실습 수업의 어려움을 극복할 수 있는 여러 가능성을 제공한다[6]. 예를 들어, 가상환경에서는 3D 모델링과 애니메이션을 이용하여 교사가 구두로

전달하기 힘든 정보들을 손쉽게 전달할 수 있으며[7], 이러한 디지털 콘텐츠는 무한히 복제가 가능하기 때문에 적은 비용으로 많은 학생들에게 교육을 시킬 수 있다. 더욱이, 자칫 위험할 수 있는 실습도 가상의 시뮬레이션으로 진행할 수 있기 때문에 보다 안전한 교육환경을 제공한다[8][9].

가상현실 기술을 STEAM 교육에 적용한 연구로는 Tanielu et al[10]이 추상적인 객체 지향 프로그래밍 교육을 위해 가상현실에서의 인터랙티브 학습 시스템이 있다. 또한, Simonetti et al[11]은 수학 수업에서 가상현실 기술을 도입하여 분석-기하학적 구조를 3 차원으로 시각화시켜 수업의 이해도를 높였으며, Xu et al[12]은 가상환경에서 수학 계산에 게이미피케이션을 적용하여 즐거운 학습을 유도한 바 있다. 이러한 가상현실 기술을 활용한 학습의 즐거움은 신경해부학 수업에서도 증명된 바 있다[13].

본 논문에서는 직관적인 시뮬레이션을 안전하게 반복할 수 있는 가상현실 기술을 활용한 인터랙션 프로토타이핑 원격 교육 어플리케이션을 제안한다. 본 어플리케이션을 통해 우리는 학습자가 다양한 전기소자의 동작원리를 쉽게 이해하고, 안전한 환경에서 각 컴포넌트를 조합하고 작동시킬 수 있을 것으로 본다. 또한, 멀티플레이가 가능한 가상 환경에서 다른 학습자와 함께 인터랙티브한 회로를 만드는 과정에서 협동심을 함양하고 학습에 대한 동기를 가질 수 있을 것으로 기대한다.

이를 위해 우리는 전문가 인터뷰를 통해 코로나 19 전후를 아우르는 비대면 인터랙션 프로토타이핑 수업에서의 문제점과 향후 원활한 수업진행을 위한 고려사항을 정리하고, 이론부터 실습, 피드백으로 이어지는 수업의 플로우에 따른 어플리케이션을 개발하였으며, 마지막으로 네 가지 학습 인터랙션 시나리오를 제안한다.

2. 본문

융합적인 특성을 지닌 인터랙션 프로토타이핑 수업의 복잡한 교육과정과 그에 따른 특이성을 이해하기 위해 우리는 두 명의 전문가를 모집하여 인터뷰를 진행했다. 인터뷰는 각각 두 시간동안 진행되었으며, 내용은 인터랙션 프로토타이핑 수업의 전반적 플로우에 대한 질문과 코로나 19 를 기점으로 달라졌거나 공통된 수업의 어려움에 대한 질문으로 구성되었다.

2.1 인터뷰 참가자

참가자들은 각각 2 년, 6 년의 피지컬 컴퓨팅 강의 경력을 가지고 있으며, 청소년 및 성인을 대상으로 하는 학원 수업, 워크샵 등을 진행한 경험이 있다고

응답하였다. 참가자는 모두 남성이었으며 평균 연령은 만 28.5 세였다.

2.2 인터랙션 프로토타이핑 수업 플로우

인터랙션 프로토타이핑 수업은 크게 이론수업과 코딩, 간단한 실습 그리고 학생 개별 심화 프로젝트로 이루어져 있다. 먼저, 이론수업에서는 전자공학의 기초, 저항, 트랜지스터, 모터, 기어 등 다양한 컴포넌트들에 대해 소개하고 각 컴포넌트들의 동작원리에 대해 2D 이미지와 텍스트로 구성된 슬라이드를 통해 전달한다. 때때로 학생들의 집중도와 이해도를 끌어올리기 위해 인포그래픽이나 애니메이션을 활용하기도 한다. 동시에 각 모듈을 작동시키기 위해 데이터 시트를 기반으로 소프트웨어 상의 기본 예제 코드를 보여주고, 학생들과 함께 직접 코딩을 하며 실수가 일어났을 때 디버깅을 도와준다. 그리고 필요한 회로 구성품들을 선별하여 기관에 배치하고 전선을 연결하여 시뮬레이션한다. 이 때, 회로 연결에서의 실수를 최소화하고 안전한 실습을 하기 위해 Falstad CircuitJS[14], ThinkerCAD[15]와 같은 온라인 회로 디자인 어플리케이션을 이용하여 충분한 검증 후 실습을 진행한다. 프로토타이핑의 충분한 이해도를 축적한 후, 마지막으로 학생들은 저마다 목표하는 인터랙션을 디자인하고, 그 인터랙션의 개념적, 기술적 원활한 구현을 위해 교사는 학생 개별 면담으로 능동적인 학습을 돕는다.

2.3 코로나 19 전후, 인터랙션 프로토타이핑 수업의 어려움

우리는 인터뷰를 통해 인터랙션 프로토타이핑 수업이 코로나 19 로 인해 원격수업이 되면서 그 어려움이 가중되었지만, 그 전에도 많은 문제점들을 가지고 있었음을 알 수 있었다.

- **첫 번째, 회로에 대해 직관적인 이해를 시키기 어렵다.** 회로를 이해하는 데에 있어 기본적으로 이해해야 할 전압, 전류 및 저항의 관계와 같은 비가시적인 이론은 교사가 구두로 설명하기 쉽지 않다. 또한 회로를 구성하고 있는 기어, 모터 등의 부품의 동작원리도 직접 체험해보기 전에는 기억에 남지 않아, 충분한 이론 수업을 진행했음에도 불구하고, 개별 프로젝트 면담 도중 다시 처음부터 설명해야 하는 경우가 많았다고 한다.
- **두 번째, 다양한 예시를 모두 전달하기 어렵다.** 각 모듈마다 다양한 스펙과 용도를 가지고 있는데, 수업에서는 시간적, 금전적 한계로 인해 모든 모듈을 학생에게 보여주면서 설명할 수 없다. 따라서, 실제 프로토타이핑 과정에서는 가장 중요한 과정인 적절한 모듈을 선택하고 각 모듈에 대한 데이터 시트를 읽는 방법은 매우 간소화하거나 생략하게 된다고 한다.




어플리케이션	인터랙션 시나리오		
가. 실감 이론 수업			
나. 3D 라이브러리			
다. 회로 어셈블리			
라. 혼합현실 실습			

그림 2. 네 가지 어플리케이션과 그에 따른 인터랙션 시나리오

- 세 번째, 안전에 대한 부담이 크다. 전력을 사용하는 데에 익숙하지 않은 학생들이 다칠 위험이 있기 때문에, 수업 시작 전후로 항상 안전에 대해 강조하고 있다고 한다. 그럼에도 불구하고, 전선을 잘못 연결한다든지 모듈의 스펙에 맞지 않는 전력 사용, 또는 안전 고글과 장갑 미착용으로 인한 부상이 발생하는 경우가 있어 교사가 느끼는 부담감이 크다고 한다. 또한, 실수로 인해 부품이 타버리거나 기구가 망가지는 경우, 재구매와 그에 걸리는 시간으로 인해 학생이 수업에 원활하게 참가하기가 힘든 경우도 있다고 한다.

코로나 19로 인한 원격수업의 대두는 이러한 인터랙션 프로토타이핑 수업의 어려움에 추가적으로 다음과 같은 문제점들을 가지고 왔다.

- 첫 번째, 몰입감과 집중도가 떨어진다. 온라인 수업으로 전환한 이후 학생들의 몰입도가 코로나 전에 비해 현격히 떨어지고, 수업에 집중하기보다는 스크린이 아닌 다른 곳을 쳐다보고 있는 모습이 자주 관찰된다고 한다. 일상에서 마주치기 힘든 전문용어가 자주

등장하는 STEAM 수업의 특성상 한 번 놓치면 다음 내용을 이해하기가 힘든데, 이미 수업에서 다른 내용을 다시 질문하는 경우가 많아 수업의 흐름이 끊기는 경우가 빈번했다고 한다.

- 두 번째, 학생들의 실습 현황을 확인하기가 어렵다. 코딩과 같은 소프트웨어 교육의 경우, 가상 플랫폼의 화면 공유 기능을 활용할 수 있어서 오히려 대면수업보다 학생들의 코딩 실수에 대한 디버깅 서포트가 원활한 반면, 아두이노와 기판을 이용한 프로토타이핑에 있어서는 실시간으로 학생들의 진도를 확인하는 것이 사실상 불가능하다고 한다. 학생들의 얼굴을 비추고 있는 웹캠에 연결된 회로를 보여 달라고 했을 때, 기판의 특성상 납땀하여 단단히 고정된 회로가 아니기 때문에 화면을 향해 옮기다가 연결이 끊기는 경우도 있고, 학생 수가 많을 경우 그리드형의 작은 화면을 통해 회로를 확인하는 것이 어렵다고 한다.
- 세 번째, 학생들 간의 긍정적인 커뮤니케이션이 부재하다. 기존의 인터랙션 프로토타이핑 수업은 학생들이 서로 같은 공간에서 동일하게 주어진

과제를 수행하기 때문에 서로 도와가며 배울 수 있었다. 하지만 온라인으로 수업이 이동하면서 이러한 상부상조로 인한 시너지는 기대할 수가 없게 되었다. 실제로 오프라인 환경에서는 다른 학생들의 회로를 보면서 자신의 회로에 잘못된 부분을 쉽게 수정할 수 있었던 반면, 온라인 환경에서는 간단한 오류조차도 교사에게 질문을 하곤 했고, 그로 인해 목표한 수업 진도를 나가지 못하는 경우도 허다했다고 한다.

2.4 가상현실 어플리케이션 디자인 고려사항

우리는 몰입감 있는 안전한 환경을 특징으로 하는 가상현실 기술을 이용해 인터랙션 프로토타이핑 수업 어플리케이션을 개발하기에 앞서 다음과 같은 사항들을 원칙으로 디자인하였다.

- **먼저, 모든 콘텐츠는 실제로 체험가능해야 한다.** 실감형 콘텐츠를 통해 학생들이 어려워하는 전기전자 개념들을 직관적으로 이해할 수 있게 해야 한다.
- **두번째로, VR공간은 확장된 교실로서 기능해야 한다.** 교사가 수업시간에 전달한 내용 이외에도 스스로 더 탐구할 수 있도록 연결고리를 제공해야 한다. 가상현실은 단순히 강의 전달의 배경이 되는 교실을 넘어서 실습과 2차적인 탐색을 위한 공간이 되어야 한다.
- **세 번째로, 교사-학생 간의 인터랙션 뿐만 아니라, 학생-학생 간의 인터랙션이 필요하다.** 교사는 학생들의 실습 과정을 지켜볼 수 있어야 하고, 학생들의 협업을 장려해 단순한 기술교육이 아니라 인터랙션의 장이 될 수 있도록 해야 한다.

위와 같은 디자인 고려사항을 바탕으로 우리는 Oculus Quest 2를 타겟 기기로 설정하고, Unity 2019.3.8f1 버전과 Photon PUN2 Network를 이용하여 멀티플레이 가상현실 어플리케이션 프로토타입을 개발했다.

3. 시나리오

앞의 전문가 인터뷰에서 도출한 인사이트를 종합하여 개발된 어플리케이션은 다음과 같은 네 가지 인터랙션 시나리오를 포함한다[그림 2].

• 실감 이론 수업.

학생들은 각자의 집에서 VR 기기를 착용하고 원격으로 가상교실에 접속한다[그림 2. 가-㉓]. 교사는 전통적인 수업에서 사용했던 2D 이미지와 텍스트 기반의 슬라이드를 이용해 이론 수업을 진행한다[그림 2. 가-㉔]. 구두로 이해하기 어려운 비가시적이거나 복잡한 부품의 구조는 3D 모델링을 이용해 실제화시킨다[그림 2. 가-㉕]. 화살표나 3D 텍스트를 이용하여 강조하고 싶은 부분을 표시하거나 3D 컴포넌트에 애니메이션을 적용하여

동작원리를 보여준다. 예를 들어, 교사는 기어의 직경을 바꿔가며 두 기어 사이의 모듈 계산법에 대해 설명할 수 있다.

• 3D 라이브러리.

교사는 수업시간 내에 설명이 필요한 모듈 중 대표적인 모델을 선택하여 시범적으로 데이터 시트를 읽고 사용하는 법을 알려준다. 학생들은 개별시간에 3D 라이브러리를 열어 해당 모듈 탭을 펼쳐 더 다양한 모델들을 탐색할 수 있다[그림 2. 나-㉖]. 그리고 흥미로운 모델을 선택하여 데이터 시트를 읽고 해석해본다[그림 2. 나-㉗]. 선택한 모델을 더 자세히 살펴보고 싶은 경우 드래그 앤 드롭하여 3D 공간 상에 배치해볼 수도 있다[그림 2. 나-㉘]. 예를 들어, 교사가 DC 모터 중 리니어 모터를 시현한 경우, 학생들은 3D 라이브러리에서 해당 모터를 꺼내 동작을 확인할 수 있고, 스테핑 모터나 서보 모터 등 다른 모터를 꺼내 차이점을 비교할 수도 있다.

• 회로 어셈블리.

학생들은 혼자 또는 다른 학생과 팀을 이루어 학습 공간으로 이동한다. 학습한 다양한 모듈 중 필요한 회로 구성품을 선택하여 3D 라이브러리에서 꺼내고, 3D 공간에 배치한다[그림 2. 다-㉙]. 그 다음, 여러 구성요소들을 와이어로 연결한다[그림 2. 다-㉚]. 학생은 어셈블한 회로를 직접 가동시켜보며 회로가 잘 연결되었는지 확인한다[그림 2. 다-㉛]. 이러한 시뮬레이션을 통해 학생들은 구성 요소들 간의 유기적인 연관관계를 스스로 학습하고, 교사는 직접 그 공간으로 이동하여 학습 현황을 관찰하고 피드백을 준다.

• 혼합현실 실습.

학생들은 부분적인 혼합현실 기능을 이용해 가상환경에서도 현실의 책상 위에 기판과 소자들을 놓고 과제를 할 수 있다. 먼저, 주어진 과제를 가상환경에서 웹 브라우저를 통해 확인한다[그림 2. 라-㉜ 붉은색 아웃라인]. 가상환경에서 안전하게 회로구성을 충분히 연습해본다[그림 2. 라-㉝ 푸른색 아웃라인]. 그 다음, 구현한 가상 회로를 참조해가며 현실 회로를 완성해 나간다[그림 2. 라-㉞ 초록색 아웃라인]. 학생들은 이렇듯 부분적인 현실 증강 화면을 통해 가상에 있는 학습자료와 현실공간 사이에서 심리스한 전환을 하며 과제를 마친다.

4. 후속 연구 계획

현재 어플리케이션은 몇 가지 한계점이 있다. 먼저, 각 어플리케이션 간의 장면 전환이 구현되어 있지 않다. 우리는 현재 개별적인 어플리케이션으로 분리되어 있는 장면을 하나의 어플리케이션으로

통합하여 사용자가 유기적인 체험이 가능하도록 할 것이다. 또한, 사용자의 현장감과 몰입감을 높이기 위해서는 아바타도 개선되어야 한다[16]. 우리는 현재 5 가지 모습으로 제한된 아바타를 더욱 다양화하고, 다리를 구현하여 좀 더 현실에 가까운 시각화 기법을 적용할 것이다.

우리는 추후 개선된 어플리케이션을 이용하여 사용자 테스트를 진행할 것이다. 첫 째로, Stephan et al[13]이 한 실험과 같이 대조군과 실험군으로 나누어 기존의 온라인 인터랙션 프로토타이핑 수업과 가상현실 기반의 수업을 따로 진행하고, 학생의 학습 동기 부여에 있어서의 차이를 측정하기 위해 IMMS(Instructional Materials Motivation Survey) 설문을 실시할 것이다. 또한, 장시간 VR 기기 착용으로 인한 멀미[6]가 학습에 영향을 주는 지 그 안전성을 검증하기 위해 SSQ (Simulator Sickness Questionnaire)[17] 데이터도 수집하고, 어플리케이션 체험에 있어서 종합적인 사용성에 대한 인터뷰도 진행할 예정이다. 이러한 사용자 실험에서 나온 데이터와 피드백을 종합하여 발전된 어플리케이션을 만들고자 한다.

5. 결론

본 논문은 몰입감 있는 인터랙션 프로토타이핑 교육을 위해 온라인 가상현실 어플리케이션을 제작하였다. 전문가 인터뷰를 통해 현재 인터랙션 프로토타이핑의 어려움을 정리하고, 그를 바탕으로 가상현실 멀티플레이 어플리케이션을 개발하였으며, 본 어플리케이션을 이용하여 보다 효율적인 학습을 위한 4 가지 시나리오를 제안하였다.

6. 사사의 글

이 성과는 2021 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020R1A2C1012233).

참고 문헌

- Choi, J. H., & Hwang, B. K. The Concepts, Strategies and Application of STEAM Education in South Korea. In 2017 7th World Engineering Education Forum (WEEF). IEEE. pp. 466-469. 2017.
- Tartavulea, C. V., Albu, C. N., Albu, N., Diaconescu, R. I., & Petre, S. Online Teaching Practices and the Effectiveness of the Educational Process in the Wake of the COVID-19 Pandemic. *Amfiteatru Economic*, 22(55), pp. 920-936. 2020.
- Goudeau, S., Sanrey, C., Stanczak, A., Manstead, A., & Darnon, C. Why lockdown and distance learning during the COVID-19 pandemic are likely to increase the social class achievement gap. *Nature Human Behaviour*. pp. 1-9. 2021.
- Lee, W., Prasad, R., Je, S., Kim, Y., Oakley, I., Ashbrook, D., & Bianchi, A. VirtualWire: Supporting Rapid Prototyping with Instant Reconfigurations of Wires in Breadboarded Circuits. In *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. pp. 1-12. 2021.
- Kim, Y., Lee, H., Prasad, R., Je, S., Choi, Y., Ashbrook, D., ... & Bianchi, A. SchemaBoard: Supporting correct assembly of schematic circuits using dynamic in-situ visualization. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. pp. 987-998. 2020.
- Pirker, J., Dengel, A., Holly, M., & Safikhani, S. Virtual reality in computer science education: A systematic review. In *26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. pp. 1-8. 2020.
- Li, F., Li, D., Zheng, J., & Zhao, S. Virtual experiments for introduction of computing: Using virtual reality technology. In *2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. pp. 1-5. 2015
- Joseph, S. I. T., Raj, S. B. E., & Kiyasudeen, J. M. Virtual Reality-A Paradigm shift in Education Pedagogy. In *2020 Seventh International Conference on Information Technology Trends (ITT)*. pp. 72-79. 2020.
- Paglinawan, A. C., Vergara, E. M., Corpuz, A. C. F., Go, Y. C. S., Jeresano, C. L., Velasco, J. N. A. M., & Paglinawan, C. C. Virtual Reality Experience Promoting Accident-Free Educational Tour for Primary Level Students via WLAN Unity-Arduino Application. In *2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*. pp. 1-6. 2020.
- Tanielu, T., 'Akau'ola, R., Varoy, E., & Giacaman, N. Combining analogies and virtual reality for active and visual object-oriented programming. In *Proceedings of the*

- acm conference on global computing education. pp. 92-98. 2019
11. Simonetti, M., Perri, D., Amato, N., & Gervasi, O. Teaching math with the help of virtual reality. In International Conference on Computational Science and Its Applications. Springer. pp. 799-809. 2020.
 12. Xu, X., & Ke, F. Designing a virtual-reality-based, gamelike math learning environment. American Journal of Distance Education (Vol. 30). pp. 27-38. 2016.
 13. Stepan, K., Zeiger, J., Hanchuk, S., Del Signore, A., Shrivastava, R., Govindaraj, S., & Illoreta, A. Immersive virtual reality as a teaching tool for neuroanatomy. In International forum of allergy & rhinology (Vol. 7). pp. 1006-1013. 2017.
 14. Falstad CircuitJS.
<https://www.falstad.com/circuit/circuitjs.html>
Sep 20. 2021.
 15. Autodesk ThinkerCAD.
<https://www.tinkercad.com/dashboard> Sep 20. 2021.
 16. Gao, H., Bozkir, E., Hasenbein, L., Hahn, J. U., Göllner, R., & Kasneci, E. Digital Transformations of Classrooms in Virtual Reality. In Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. pp. 1-10. 2021.
 17. Saredakis, D., Szpak, A., Birkhead, B., Keage, H. A., Rizzo, A., & Loetscher, T. Factors associated with virtual reality sickness in head-mounted displays: a systematic review and meta-analysis. Frontiers in human neuroscience 14. p.96. 2020.