https://doi.org/10.7735/ksmte.2023.32.2.78

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

Check for updates

게임엔진 기반 갠트리형 공작기계의 디지털 트윈 구현

최인식[a], 정 민[a], 서영호[a], 김병희[a*]

Game Engine-based Digital Twin for a Gantry-type Machine Tool

In-Sik Choi[a], Min Jeong[a], Young-Ho Seo[a], Byeong-Hee Kim[a*]

[a] *Department of Smart Health Science and Technology, Kangwon National University*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 6 February 2023
Revised 31 March 2023
Accepted 5 April 2023

Keywords:
Industry 4.0
Digital twin
Game engine
Unreal engine
Arduino

ABSTRACT

With the advent of the Fourth Industrial Revolution, digitalization has been accelerated, and interest in digital twins has grown in tandem with technological advancements. In this study, we developed a realistic and interactive digital twin system using a game engine. We focused on a dual-servo gantry-type machine tool and employed the Unreal Engine to create a virtual environment, while using Arduino as a gateway for data communication. Our system facilitates the transfer of virtual machine tools using real machine tool data and allows for the emergency stop of real machine tools through virtual machine tool emergency stop signals. By ensuring real-time data communication and bi-directionality between the real and virtual systems, we successfully produced a highly realistic simulation system.

1. 서 론

4차 산업혁명(Industry 4.0) 시대가 다가오면서 산업의 형태가 크게 바뀌고 있다. 특히, 설계, 개발, 제조 및 유통 등 생산과정에 자동화 및 지능화 기술을 적용한 스마트 팩토리(smart factory) 구축에 힘쓰고 있다[1]. 스마트 팩토리 구축을 위해 필요한 기술은 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능(AI), 사이버-물리 시스템(cyber-physical system) 등이 있다. 이는 모두 4차 산업혁명을 이끄는 기술들이며 이들이 발전하고 보편화됨에 따라서 산업의 생산성, 경제성, 안정성 향상 요구가 확산하고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위한 중요한 기술로써 디지털 트윈(digital twin)이 주목받고 있다[2].

디지털 트윈이란 미국의 제너럴 일렉트릭(General Electric) 社에서 “컴퓨터 속에 현실과 똑같은 쌍둥이를 만들고 현실에서 발생하는 상황을 컴퓨터로 시뮬레이션 함으로써 결과를 예측하는 기술”이라 정의했다[3]. 초기에는 캐드(CAD)로 현실의 모델을 가상세계로 옮겨와 시뮬레이션하는 수준이었지만 현재는 다른 기술들과 융·복합적으로 구현되면서 가상현실(VR), 증강현실(AR), 혼합현실(MR), 확장 현실(XR) 시스템을 지원하는 원동력으로 급부상했다[4]. 디지털 트윈이 주목받고 현실 세계의 현상들이 유기적이고 복합적으로 진화함에 따라 기술적 단계가 기존 3단계에서 5단계까지 확장[5]되었다. Table 1은 디지털 트윈의 기술적 발전 단계를 나타내는 표이다. 디지털 트윈은 현실의 사물을 가상에 구현하고 필요에 따라 활용할 수 있어 적용 분야가 다양하지만, 초기에 제조 분야에서 시작해 강세를 보이고 그 중심으로 범위가 확대[6]되어 연구되고 있다. 특히 제조 분야에서 빠질 수 없는 요소인 공작기계 관련 연구가 많이 진행되었다. 하지만 공작기계의 디지털 트윈 연구는 주로 발전 단계 중 2단계까지 적용한 데이터 수집 및 시뮬레이션 분석에 집중[7]되어 있다. 그중 일부는 가상에서 모니터링만 할 수 있는 단계로 현실감이 떨어지는 요소가 많았고 가상에

* Corresponding author. Tel.: +82-33-244-8910
E-mail address: kbh@kangwon.ac.kr (Byeong-Hee Kim).

Table 1 Stages of digital twin technological development

Level	Definition	Explanation
5	Autonomous	Apply artificial intelligence to the target
4	Federated	Digital twin reconstruction and target interoperability optimization
3	Modeling & Simulation	Target optimization using simulation results
2	Monitoring	Control through target monitoring and relationship analysis
1	Mirroring	A virtual copy of the real object

서 직접 현실 객체를 제어하지 못했다.

따라서 본 연구에서는 디지털 트윈이 발현한 시점부터 지금까지 활발하게 연구가 진행되고 있는 생산 및 제조 분야를 대상으로 연구를 진행했다. 그중 공작기계를 대상으로 공간활용도가 높아 대형 공작기계에 많이 사용[8]되는 듀얼서보 갠트리형 공작기계로 연구를 진행했다. 공작기계는 타이니로보 社에서 주문 제작한 소형 갠트리형 조각기(TINY-6012)를 사용하고 데이터의 양방향성을 확보하여 디지털 트윈 기술 발전 2단계에서 나아가 가상에서 현실 객체를 제어하고 현실감 및 실감성이 높은 시뮬레이션 시스템 제작을 수행했다.

2. 시스템 구성

2.1 현실세계 구성

Fig. 1은 본 연구의 디지털 트윈 시스템 모식도이다. 현실 세계의 객체인 공작기계와 언리얼 엔진으로 구성한 가상세계를 동기화시켜 현실에서 발생하는 객체의 이벤트를 센서 데이터를 통해 가상세계로 입력한다. 또한, 가상세계에서 발생하는 이벤트를 데이터화하여 현실 세계로 입력시켜 양방향으로 데이터 통신을 가능하게 하는 시스템을 구성했다.

Fig. 2는 디지털 트윈을 위한 현실 세계 구성 모식도이다. 크게 CNC 시스템, 모션 시스템, I/O 장치로 구성되어 있다. CNC 시스템은 Linux에서 제공하는 오픈소스인 LinuxCNC를 사용했고 모션 시스템은 타이니로보 社의 듀얼서보 갠트리형 공작기계, 서보

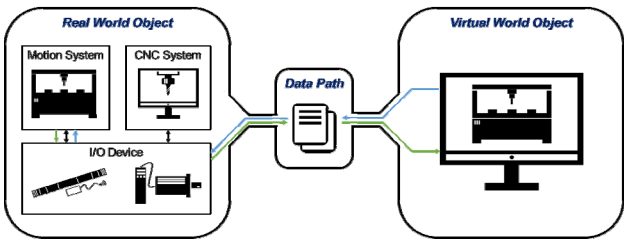


Fig. 1 Digital twin schematic diagram

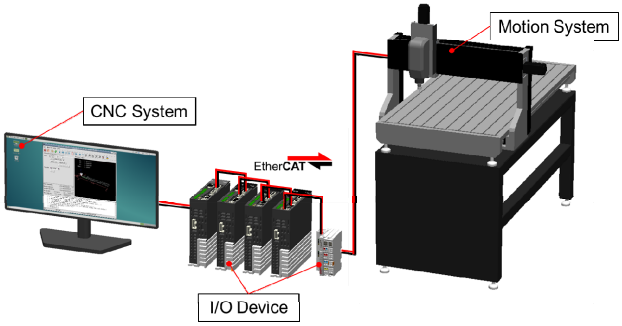


Fig. 2 Real world configuration schematic diagram

드라이브와 서보모터는 각각 Delta Electronic 社의 EtherCAT 통신을 지원하는 ASDA-A2-0221-E(400W), ECMA-C10602ES (400W) 모델을 사용했다. EtherCAT 통신을 기반으로 컨트롤러와 구동계 연결을 위해 BECKHOFF 社의 I/O 터미널 장치와 외부에서 입력되는 신호를 받기 위한 디지털 In/Out, 아날로그 In/Out 장치를 사용했다.

2.2 가상세계 구성

현실 공작기계를 가상환경에 구현하기 위해 게임엔진을 기반으로 복제했다. 게임엔진이란 비디오게임 같은 실시간 그래픽 표시 기능을 갖춘 상호 작용 응용 프로그램을 구현하는 소프트웨어[9]를 의미한다. 주로 게임 제작 시 많이 사용되지만, 다른 분야에도 적용되어 사용되고 있다. 현재 가장 상용되는 게임엔진으로는 유니티 테크놀로지가 개발한 유니티(unity)와 에픽게임즈가 개발한 언리얼 엔진(unreal engine)이 있다. 두 엔진 모두 장단점을 보유하고 있어 특정 엔진이 좋다고 말할 수 없다. 본 연구에서 언리얼 엔진을 사용한 이유는 유니티보다 사용자의 접근이 쉬운 시각적 언어인 블루프린트(blue print)를 지원하고 재료, 빛, 그림자 등에 입체감을 부여하는 렌더링 기술이 뛰어나 현실감을 느끼게 하는 장점[10]이 있어 언리얼 엔진을 기반으로 가상세계를 구현했다.

현재 언리얼 엔진은 버전 5까지 공개되었지만, 가상현실 환경 구축과 플러그인(plug-in) 추가의 용이함 때문에 버전 4를 선택했다. 플러그인이란 프로젝트 단위로 개발자가 쉽게 켜고 끌 수 있는 코드 및 데이터의 모음집이다. 구체적인 언리얼 엔진 버전은 4.26.2 이다. 언리얼 엔진을 실행시켜 제작할 프로젝트의 카테고리 중 위젯, 엑터 등의 에셋 사용을 쉽게 하기 위한 게임 카테고리로 진행했다. 이후 독보적인 실감형 체계를 가지고 있는 가상현실 템플릿을 선택해 프로젝트를 생성했다.

현실 공작기계를 가상에 복제하기 위해 공작기계 모델링을 진행했다. 공작기계의 제작 도면을 바탕으로 명시되지 않은 치수는 측정하여 캐드프로그램을 통해 모델링했다. 생성된 모델을 언리얼 엔진으로 복제하기 위해서 Data Smith 플러그인을 사용했다.

Data Smith는 다양한 캐드프로그램으로 제작된 모델이나 콘텐츠를 쉽게 가져올 수 있는 플러그인이다. 따로 확장자 변환 없이 모델을 언리얼 엔진으로 불러와 표면 재료를 입력하여 현실감 있게 구현했다.

3. 데이터 통신

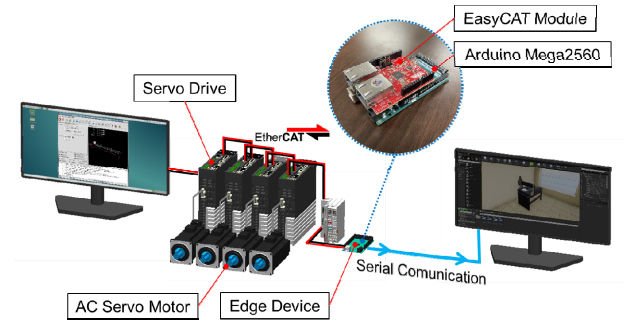
3.1 디지털 트윈 미러링

본 연구에서는 공작기계를 디지털 트윈하여 현실과 가상이 서로 거울에 맞대어 비춘 모습과 같다는 의미로 미러링이라는 단어를 사용했다. 미러링을 보여줄 수 있는 공작기계의 이송과 비상정지 시스템을 구현했다. 현실 공작기계의 이송데이터 또는 정지 신호를 가상 공작기계로 전달하여 움직임을 보여주고 반대로 가상 공작기계의 비상정지 신호를 현실 공작기계로 전달하여 움직임을 제한하는 시스템 구현을 수행했다.

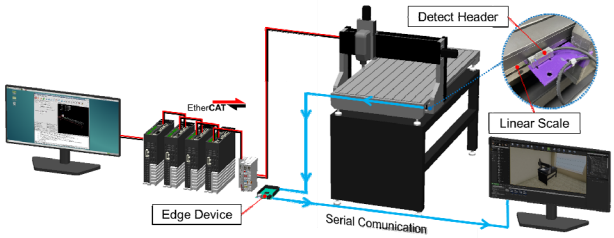
3.2 현실에서 가상으로의 데이터 통신

가상세계에서 현실 공작기계를 미러링하기 위해서 현실에서 조작되는 공작기계의 이송데이터를 가상으로 전달해야 한다. Fig. 1의 모식도와 같이 현실과 가상 사이의 데이터 통로 제작을 위해 엣지 디바이스로 아두이노 보드를 사용했다.

엣지 디바이스인 아두이노를 사용해 현실 공작기계의 이송데이터를 받는 방법으로 두 가지를 제시한다. 첫 번째 방법은 Fig. 3(a)의 모식도와 같이 서보모터에 내장된 엔코더 데이터를 받아오는 방법이다. 서보모터는 증분형 엔코더를 가지고 있는데 공작기계 이송 시 생성되는 엔코더 데이터 값을 아두이노를 통해 받아와 거리로 환산하여 언리얼 엔진으로 구현한 가상세계로 데이터를 전달한다. 현실의 구동계는 EtherCAT 통신을 사용해 구성되어 있다. 따라서 서보 드라이브와 아두이노 EasyCAT 모듈을 사용해 EtherCAT 통신으로 연결하고 LinuxCNC 내부의 핀 설정을 통해 서보모터의 엔코더 데이터를 받아와야 한다. 엔코더 데이터를 직접 받아오기 때문에 이송량을 정확하게 파악할 수 있을 뿐만 아니라 다른 현실의 이벤트에 대해서도 가상에 동기화할 수 있다. 하지만 LinuxCNC 상에서 아두이노 EasyCAT 모듈을 활성화하기 위해서 LinuxCNC 용 EasyCAT 드라이브가 필요하다. 하지만 현재 EasyCAT 모듈을 지원하는 드라이브는 존재하지 않았고 현실적으로 드라이브를 제작하기에는 어려움이 있어 Fig. 3(b)의 모식도를 대안으로 제시한다. Fig. 3(b)는 리니어 스케일을 현실 공작기계에 부착하여 데이터를 받아오는 모식도이다. 공작기계 테이블의 옆면에 리니어 스케일을 부착하고 데이터를 읽는 헤더와 아두이노를 전기적 유선 연결을 통해 데이터를 받아온다. 이 방법의 경우 추가적인 드라이브 설치나 모듈의 유무 없이 리니어 스케일 헤더



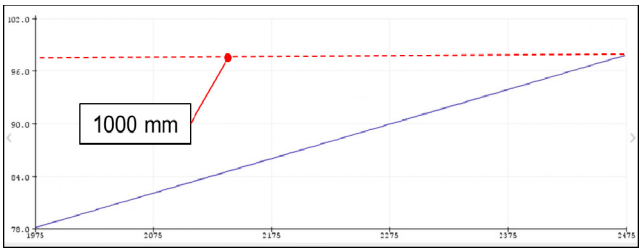
(a) Using EasyCAT module



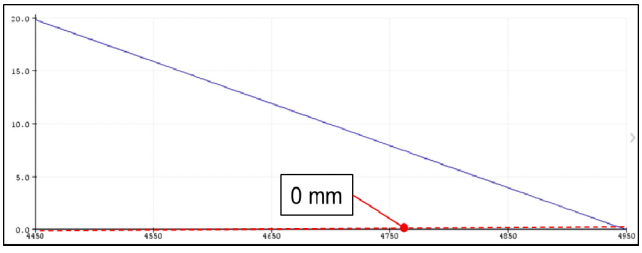
(b) Using linear scale

Fig. 3 Data communication method from real to virtual schematic diagram

의 핀 맵을 확인해 데이터를 쉽게 받아올 수 있다. 공작기계에 설치한 리니어 스케일과 헤더는 각각 RENISHAW 社의 RTLC40-S와 QUANTiC 15-way-D 모델을 사용했다. 헤더의 데이터 시트를 통해 핀 맵을 확보하고 데이터 측정 시 필요한 핀만 선정하여 아두이노 MEGA2560 보드와 전기적 유선 연결을 진행했다. 아두이노 IDE를 사용하여 인터럽트를 활용한 엔코더 인터페이스 코딩을 제

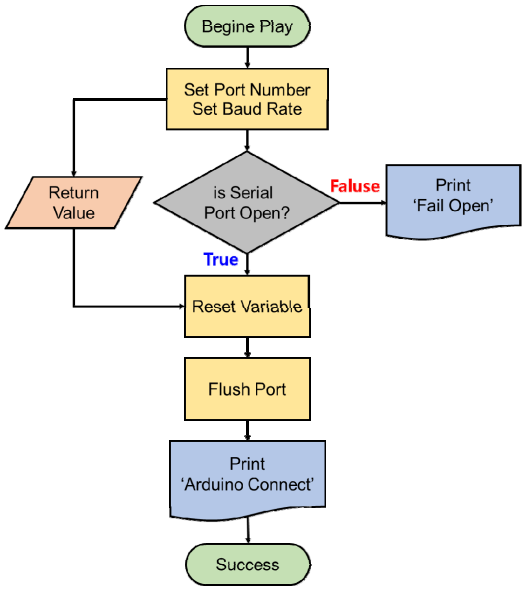


(a) Forward feed graph at a rate of 1000 mm/min from 0 mm to 1000 mm

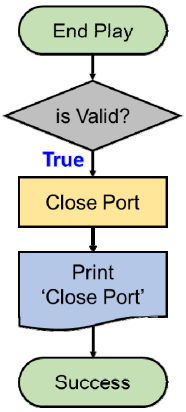


(b) Reverse feed graph at a rate of 1000 mm/min from 0 mm to 1000 mm

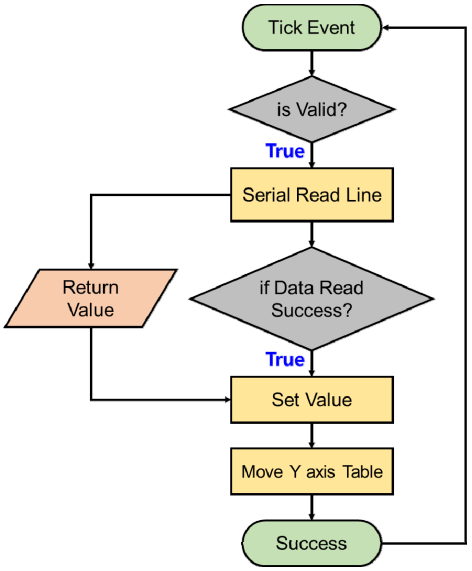
Fig. 4 Machine tool transfer data verified by arduino serial plotter



(a) Event play



(b) End play



(c) Data transfer

Fig. 5 Unreal engine blueprint flow chart

작하고 데이터를 취득했다.

아두이노의 보레이트와 공작기계의 Feedrate를 변화시키면서 엔코더 데이터를 취득한 그래프에서 값이 일정하지 않고 불연속적인 데이터를 확인할 수 있었다. 데이터 불연속성의 문제는 엔코더 헤더의 분해능인 5 μm 간격의 인터럽트 발생 시 생성되는 채터링 문제로 판단했다. 따라서 코드 내용에 인터럽트의 발생횟수를 세어주는 내용을 넣어 코드를 최적화하고 데이터를 취득했다. Fig. 4는 아두이노 시리얼 플로터에서 보레이트를 500,000으로 설정하여 데이터를 취득한 그래프이다. Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)는 현실 공작기계의 Feedrate를 1,000 mm/min으로 설정하고 각각 원점에서 1,000 mm, 1,000 mm에서 원점까지 움직인 그래프이다.

데이터를 바탕으로 가상세계에 복제된 공작기계를 이송시키기 위해 언리얼 엔진 내에서 블루프린트 작업을 진행했다. 언리얼 엔진에서 시리얼 통신을 사용하기 위해 UE4duino 플러그인을 사용했다. Fig. 5(a)와 같이 이벤트가 실행되면 프로젝트에서 아두이노의 시리얼 통신과 연결해주기 위해 포트 및 보레이트를 설정하고 포트를 개방한다. 또한, Fig. 5(b)와 같이 이벤트가 종료되면 기존 변수의 유효성 검사를 진행하고 개방되어있던 포트를 닫아준다. 포트가 개방되면 시리얼 통신을 통해 외부 데이터 수신 준비가 완료된다. 데이터는 언리얼 엔진의 프레임 단위로 지속해서 실행시키는 Tick 이벤트를 사용했다. 엔코더 헤더가 읽어오는 값을 기반으로 가상 공작기계의 Y축 테이블을 이송한다. 테이블 이송 블루

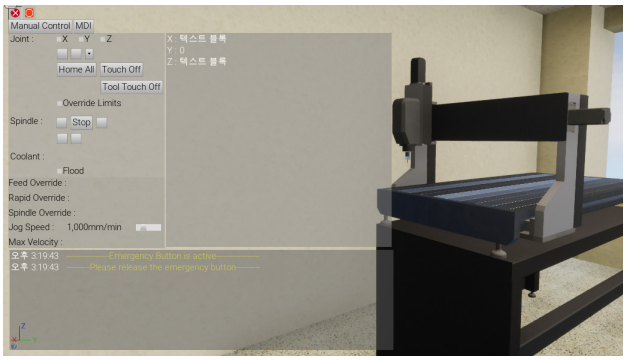


Fig. 6 Widget configuration within unreal engine

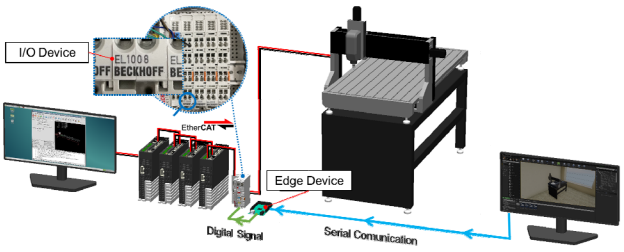


Fig. 7 Data communication method from virtual to real schematic diagram

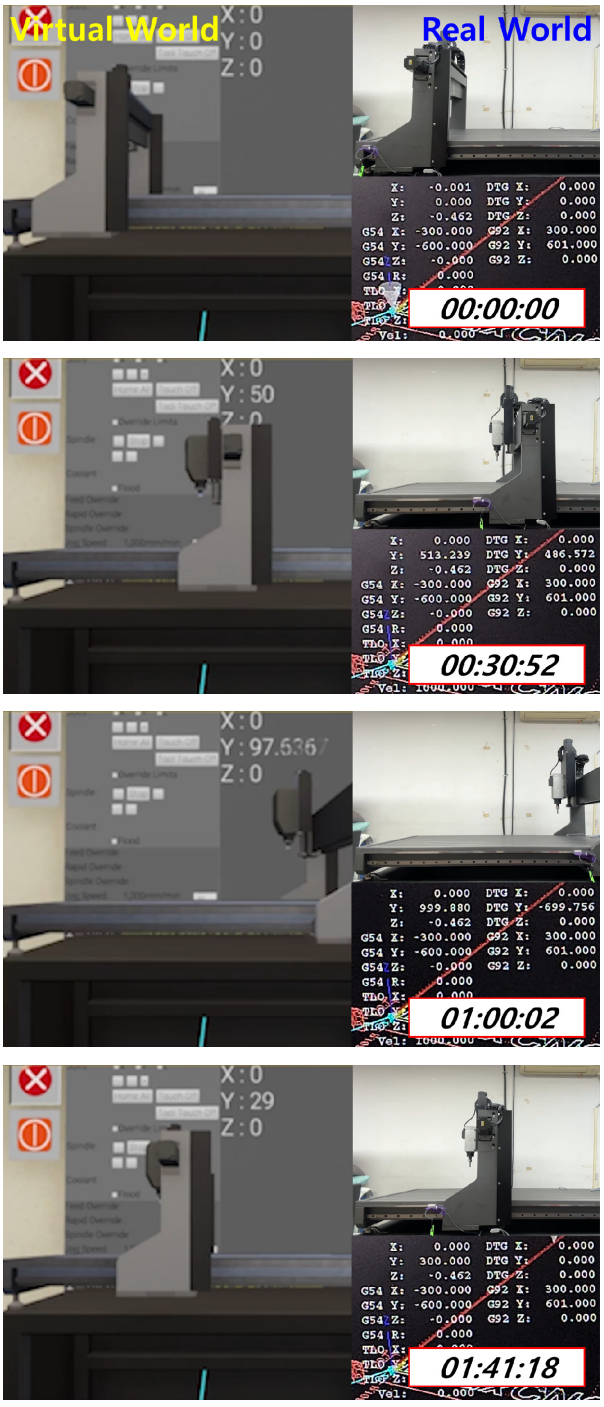


Fig. 8 Data communication simulation result

프린트의 흐름도는 Fig. 5(c)와 같다.

3.3 가상에서 현실로의 데이터 통신

현실에서 가상을 미러링하기 위해 현실 공작기계 작동방식을 언리얼 엔진에서 구현했다. 현실 공작기계는 CNC 컨트롤러의 GUI를 통해 명령을 보내면 I/O 장치를 거쳐 공작기계가 명령을 수행한다. 따라서 가상환경에 CNC 패널을 언리얼 엔진의 위젯

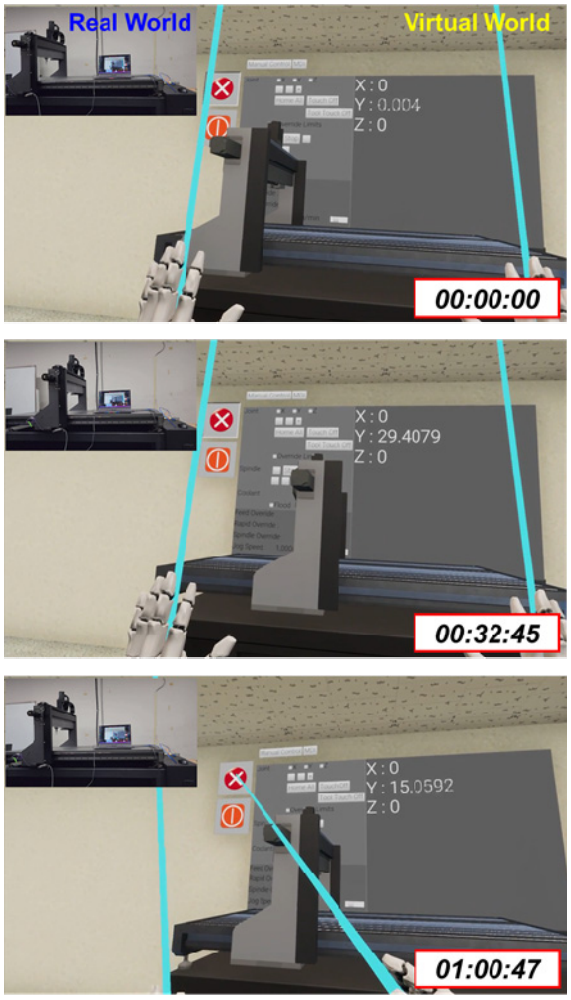


Fig. 9 Digital twin simulation results

으로 제작하고 기능을 구현했다. Fig. 6과 같이 위젯 블루프린트를 사용해 공작기계의 On/Off, 비상정지, 원점 찾기, 이송 및 속도 조절 기능을 구현했다.

Fig. 7은 가상의 데이터를 현실로 보내는 모식도이다. 엣지 디바이스는 아두이노를 사용하고 현실 세계의 컨트롤러와 구동계의 데이터 통신을 해주는 I/O 장치와 연결하여 제작했다. I/O 장치는 BECKHOFF 社의 디지털 신호를 수신하는 EL1008 모델을 사용했다. 데이터 통신에 앞서 LinuxCNC 상의 입력받을 I/O 장치 핀과 비상정지 기능을 실행하는 핀을 코딩을 통해 연결했다. Linux CNC에서 확인된 I/O 장치 핀의 태그는 ‘lcec.0.D2.din-0’이고 비상정지 실행 핀의 태그는 ‘halui.estop.activate’ 이다. 코딩을 통해 연결한 핀은 외부신호를 감지하면 기능을 실행한다. 외부신호는 언리얼 엔진 상에서 위젯 블루프린트로 구현한 비상정지 기능이 실행되면 생성되게 했다. 신호를 받은 아두이노는 릴레이 모듈로 제작된 회로에서 스위치를 켜주고 연결된 I/O 장치에 디지털 신호를 보내준다.

4. 시스템 시뮬레이션

본 연구에서는 엣지 디바이스로 아두이노를 사용해 현실과 가상의 공작기계를 양방향 통신을 확보하고 언리얼 엔진을 통한 실감형 디지털 트윈 시스템을 제작했다. Fig. 8은 데이터 통신 확인을 위한 시스템 시뮬레이션 결과이다.

Window 환경의 언리얼 엔진으로 제작한 가상세계를 실행하면 시리얼 포트가 개방되고 데이터 수신 준비가 완료된다. Linux 환경의 현실 공작기계 컨트롤러에서 Y축 테이블을 1,000 mm/min의 속도로 1,000 mm까지 이송 후 300 mm로 돌아오게 했다. 현실 공작기계와 가상 공작기계의 이송 오차는 1.0 mm에서 1.5 mm 정도임을 확인할 수 있었다. 시뮬레이션을 바탕으로 양방향 통신과 가상에서의 제어 확인을 위해 Fig. 9와 같이 Oculus Quest 2 VR HMD를 사용해 시뮬레이션을 진행했다. 공작기계를 1,000 mm/min의 속도로 300 mm까지 이송 후 원점으로 돌아오게 하고 이동하는 동안 가상세계에서 비상정지 신호를 보내면 아두이노는 현실의 I/O 장치에 디지털 신호를 보내 이송을 멈추게 하였다. 시뮬레이션의 가시성 확보를 위해 비상정지 버튼과 이송 거리 메시지를 확대하여 재제작했다. 데이터를 받은 가상 공작기계는 블루프린트를 통해 현실과 똑같이 작동하는 시뮬레이션을 확인했다.

5. 결 론

본 연구에서는 공작기계의 디지털 트윈을 위해 아두이노를 엣지 디바이스로 사용하고 게임엔진을 활용해 실감형 시뮬레이션을 제작하는 연구를 수행했다. 현실 세계의 데이터를 가상으로 보내기 위해 공작기계에 리니어 엔코더를 부착하고 아두이노 코딩으로 데이터를 변환시킨 후 시리얼 통신을 통해 가상으로 전달했다. 가상세계의 데이터를 현실로 보내기 위해 이벤트가 발생하면 시리얼 통신을 통해 데이터를 보내고 현실 공작기계의 I/O 장치는 신호를 받아 현실 공작기계를 제어하게 했다. 게임엔진으로 제작한 디지털 트윈 시뮬레이션 시스템은 VR HMD를 사용하여 모니터링 및 제어했고 게임엔진의 그래픽 렌더링, 물리 엔진 등을 통해서 현실성을 높여 실감형 디지털 트윈 시뮬레이션 시스템을 확인할 수 있었다. 또한, 아두이노와 공작기계의 I/O 장치를 사용하여 현실 세계와 가상세계 공작기계의 양방향 데이터 통신을 확보했다. 이를 통해 이송 및 비상정지 시스템을 구현했고 나아가 데이터 통신 및 변환을 통한 공작기계의 다양한 동작이나 신호를 활용한다면 많은 상황에 대한 시뮬레이션 시스템을 제작할 수 있다.

후 기

이 연구는 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원(P0002092, 2022년 산업혁신인재성장지원사업)의 지원과 2020년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비(20012834) 지원에 의한 연구임

References

[1] Kwon, D. H., Oh, C. H., 2020, Digital Twin Simulation Design for Cyber Physics System(CPS) Implementation, Proc. of the Korean Institute of Information and Commucation Sciences Conf., 24:1 194-197.

[2] Lee, K. K., Yoo, H. D., Kim, T. G., 2018, Development Direction of Digital Twin Technology, KEIT PD Issue Report, 2018-09, 76-97.

[3] Choi, S. S., Woo, J. Y., Kim, J., Choi, W. H., Kim, J. S., Lee, J. Y., 2021, A Survey and Analysis of Research on Digital Twin in Korea, Korean Journal of Computational Design and Engineering, 26:1 59-69, https://doi.org/10.7315/CDE.2021.059.

[4] Park, S. C., 2022, Recent Domestic and International Commercialization Trends of Digital Twin Technology, IITP Weekly ICT Trends, 2042 2-14, <https://www.itfind.or.kr/WZIN/jugidong/2042/file4595124223010473347-2042(2022.04.20)-14.pdf.>.

[5] Jung, D. Y., 2021, Digital Twin Technical Definition and Detailed Evolution 5-level (level) Model, OSIA Standards & Technology Review, 34:1 10-16, <https://m.earticle.net/Article/A393327>.

[6] Shin, S. H., 2021, Digital Twin Technology Trends and Prospects, KRIHS Human Sattlements, 474 6-12, <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10547130>.

[7] Yu, H., Yu, D., Wang, C., Hu, Y., Li, Y., 2023, Edge Intelligence-driven Digital Twin of CNC System: Architecture and Deployment, Robot. Comput.-Integr. Manuf., 79 102418, https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102418.

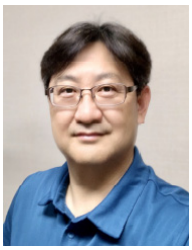
[8] Li, C., Yao, B., Zhu, X., Wang, Q., 2015, Dual Drive System Modeling and Analysis for Synchronous Control of an H-type Gantry, 2015 IEEE Inte. Conf. AIM., 214-219, https://doi.org/10.1109/AIM.2015.7222534.

[9] Jungherr, A., Schlarb, D. B., 2022, The Extended Reach of Game Engine Companies: How Companies Like Epic Games and Unity Technologies Provide Platforms for Extended Reality Applications and the Metaverse, Soc. Med. Soc., 8:2 20563051221107641, https://doi.org/10.1177/20563051221107641.

[10] Šmíd, A., 2017, Comparison of Unity and Unreal Engine, Bachelor Thesis, Czech Technical University in Prague, Czech.

In-Sik Choi
Master Course in the Department of Smart Health Science and Technology, Kangwon National University. His research interest is Digital Twin of Machine Tool.
E-mail: insik1908@kangwon.ac.kr

Min Jeong
Master Course in the Department of Smart Health Science and Technology, Kangwon National University. His research interest is Digital Twin of Machine Tool.
E-mail: j25ng.py@gmail.com



Young-Ho Seo
Professor in the Department of Smart Health Science and Technology, Kangwon National University. His research interest is Micro/Nanoscale Surface Texturing Technologies and their Applications in Various Sensor Systems.
E-mail: mems@kangwon.ac.kr

Byeong-Hee Kim
Professor in the Department of Smart Health Science and Technology, Kangwon National University. His research interest is Micro and Nano System Design and Precision Control of Machine Tools.
E-mail: kbh@kangwon.ac.kr