

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.4.189>
JIIBC 2023-4-29

OPC UA를 활용한 이기종 로봇의 실시간 디지털 트윈 설계 및 구현

Design and Implementation of Real-time Digital Twin in Heterogeneous Robots using OPC UA

김지형*

Jeehyeong Kim*

요약 4차 산업혁명을 주도하는 기술로서 IoT, 빅데이터, 인공지능, CPS 등이 발전하면서 산업 현장에서 생산성과 효율성을 향상시키기 위한 디지털 트윈의 중요성이 부각되고 있다. 디지털 트윈은 실제 물리적 객체들의 디지털 복제로서, 객체의 속성과 상태를 유지하며 작동하는 가상 모델이다. CPS는 사이버 세계와 물리 세계의 상호작용을 위한 시스템으로, 디지털 트윈은 CPS의 고급형 기술로 볼 수 있다. 디지털 트윈은 AI, XR, 5G 등 다양한 요소 기술의 등장으로 구현 속도가 가속화되었다. 센서 기술의 발전과 IoT, 인공지능, 빅데이터, 클라우드 등의 관련 기술 발전으로 디지털 트윈 시장이 성장하고 있다. 이에 따라 기업들은 비즈니스 인텔리전스와 관련된 솔루션을 도입하여 프로세스 최적화, 비용 효율성, 생산성을 향상시키는 경향이 있다. 본 연구에서는 디지털 트윈 기술과 CPS를 결합하여 이기종 로봇의 실시간 3D 디지털 트윈을 구축하는 것이 목표이다. 이를 위해 유비씨의 FLEXING CPS와 FLEXING EDGE를 활용하여 데이터 수집과 관리를 수행한다. 프로젝트 구성원은 프로토콜 설정, 데이터 수집 및 전달, 3D 디지털 트윈 시뮬레이션을 담당한다. 이를 통해 CPS와 디지털 트윈을 통합한 기술의 가능성을 확인하고, 산업 현장에서 생산성과 효율성을 향상시킬 수 있다.

Abstract As the manufacturing paradigm shifts, various collaborative robots are creating new markets. Demand for collaborative robots is increasing in all industries for the purpose of easy operation, productivity improvement, and replacement of manpower who do simple tasks compared to existing industrial robots. However, accidents frequently occur during work caused by collaborative robots in industrial sites, threatening the safety of workers. In order to construct an industrial site through robots in a human-centered environment, the safety of workers must be guaranteed, and there is a need to develop a collaborative robot guard system that provides reliable communication without the possibility of dispatch. It is necessary to double prevent accidents that occur within the working radius of cobots and reduce the risk of safety accidents through sensors and computer vision. We build a system based on OPC UA, an international protocol for communication with various industrial equipment, and propose a collaborative robot guard system through image analysis using ultrasonic sensors and CNN (Convolution Neural Network). The proposed system evaluates the possibility of robot control in an unsafe situation for a worker.

Key Words : Digital Twin, CPS, OPC UA

*정회원, 성균관대학교 스마트팩토리융합학과
접수일자 2023년 6월 13일, 수정완료 2023년 7월 13일
게재확정일자 2023년 8월 4일

Received: 13 June, 2023 / Revised: 13 July, 2023 /
Accepted: 4 August, 2023

*Corresponding Author: ghyeong@skku.edu
Department of Smart Factory Convergence, Sungkyunkwan
University, Korea

I. 서 론

사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능, CPS(Cyber Physical System) 등 4차 산업혁명을 견인하는 기술들이 발전 및 보편화됨에 따라 이들을 응용하여 다양한 산업 현장에 서 생산성, 경제성, 안전성 등을 향상시키고자 하는 요구가 확산되고 있는데, 이러한 요구를 충족하기 위한 중요한 기술 트렌드로서 디지털 트윈(digital twin)이 주목받고 있다. 디지털 트윈(digital twin)이란 물리적 객체(자산, 프로세스 및 시스템 등)들에 대한 디지털 복제본으로서, 수명주기 전체에 걸쳐 대상 객체 요소들의 속성과 상태를 유지하며 이들이 어떻게 작동하는지의 동적 성질을 묘사하는 가상의 모델이라 정의할 수 있으며, 사이버(디지털 세상)의 제어요소가 현실세상의 물리 시스템과 연결되어 동작하는 포괄적인 의미의 시스템으로 인 용되고 있는 CPS의 고급형 기술 유형이라고 생각할 수 있다. CPS(Cyber Physical System)은 사이버 세계와 스마트 오브젝트, 인간, 운영환경을 포함하는 물리 세계의 긴밀한 상호작용을 위한 실시간 자율제어 시스템으로 기능적으로는 연산(Computation), 통신(Communication), 제어(Control)가 융합된 복합 시스템으로 실시간성, 지능화, 적응성 및 예측성, 연결성 등을 주요 특징으로 한다.

그러나 가상 세계의 솔루션은 차세대 기술 플랫폼으로 인식하여 게임, 교육, 영화, 스포츠, 의료 등 다양한 전문 분야로 확대되고 있지만 정작 필요한 제조기업 현장에서 필요한 기능과 활용적인 측면에서는 연구가 미미하다^[1]. 제조 현장에서 디지털 트윈을 활용한 이기종 로봇 통신을 위한 프로젝트의 목적은 현실 세계의 공장에서 발생하는 문제를 가상 세계로 옮겨 최적화 솔루션을 제시하는 것이다. 본 연구에서는 디지털 트윈을 구축하여 이기종 로봇들을 실시간으로 연결하고, 3D 디지털 트윈을 구현하여 로봇 통신 프로파일 관리와 재사용 가능성을 확인한다.

본 연구에서는 ㈜유비씨의 FLEXING CPS와 FLEXING EDGE를 활용하여 로봇 셋팅에 필요한 데이터를 수집하고 중앙에서 Edge별 데이터를 통합 관리한다. 이를 위해 Device-to-Edge 프로토콜 및 Device 메모리 정보 설정, Profile Maker 정보를 이용한 데이터 수집 및 전달, 3D 디지털 트윈 시뮬레이션 등의 작업을 수행한다. 디지털 트윈은 현실 공장의 모든 데이터들을 기반으로 가상 환경에서 공장의 구성도 그리고 세부적인 공장내 자산들(설비, 로봇 등)을 3D그래픽으로 구현되어진다^[2]. 이러한 기술을 활용하여 현실 세계와 가상 세계의 실시간 연결

성을 검증을 위해 CPS와 디지털 트윈 기반 기술을 개발함으로써 생산성과 효율성을 향상시키는 가능성을 확인하는 것을 목표로 한다.

연구에서는 다양한 이기종 로봇과 PLC 장치의 대응을 위해 유비씨의 연결 솔루션과 국제표준 OPC UA를 활용한다. CPS 서버는 Public Cloud나 Fog Side에 위치하며, Edge 서비스는 Shop Floor의 설비와 직접적으로 연결됩니다. Edge 컴퓨팅은 이기종 산업용 프로토콜 컨버팅, OPC UA 서버 기능, 컨테이너 기술을 통한 서비스 관리를 제공한다.

II. 관련연구

본 연구에서 우선 특징적인 CPS 요인을 이해하고 설계 검토를 명확하게 해야 한다. 이버 물리 시스템의 핵심에는 메카트로닉 제품^[3] 또는 지능형 메카트로닉 제품에 기초한 물리적 부분이 있다. 다른 제품과 통신할 수 있는 기능을 갖춘 CPS라는 레이블을 얻게 된다^[4]. CPS의 가장 중요한 특징은 높은 자율성, 네트워크 통신, 개인화 능력 및 일반적인 사용자 친화성이다. 또한, CPS는 전체 제품 수명 주기 동안 동적 재구성 가능성과 환경 변화에 대한 실시간 반응성을 특징으로 한다^[5]. 독일 RAMI 4.0(산업용 기준 아키텍처 모델)^[6] 또는 미국 IIRA(산업용 인터넷 참조 아키텍처)^[7]과 같은 이니셔티브는 산업 사용 사례에 대한 IoX(Internet of Everything)을 구축하기 위한 지침을 제공하는 것을 목표로 한다^[8]. CPS 내의 각 구성 요소에는 구성 요소를 참조 아키텍처의 다른 구성 요소와 연결하는 이른바 관리 셸이 있습니다. 이 연계를 통해 의도된 이점은 계획 프로세스 개선 또는 병목 현상 식별 및 향후 프로세스 및 제품 최적화를 위한 실제 CPS의 피드백 정보 활용으로 인해 전반적인 비용 절감 효과를 얻는다^[9]. 제품 설계에 대한 지식 피드백을 얻고 제공하고 고장 방지를 위한 규칙을 도출하는 것을 목표로 온톨로지 기반 개념을 설명한다^[10]. 따라서 CPS에 대한 설계 검토는 제품 유형과 구성요소가 제공하는 피드백 데이터와 서비스뿐만 아니라 이전 세대의 물리적 부품에서 나온 현장 보고서에 접근할 수 있다. 본 연구에서는 CPS의 설계 검토 프로세스를 향상시키기 위해 OPC UA(Open Platform Communications Unified Architecture) 기반의 CPS를 활용한 접근방식을 사용할 것이다^[11-16].

CPS로 전환됨에 따라 앞으로 더 많은 양의 데이터가 생성되어 물리적 환경이 개선된다. 물리적 세계와 디지털

텔/가상 세계 사이의 격차를 해소하기 위해 VR은 가상 환경에서 기하학적 3D 모델을 시각화하고 상호 작용하기에 적합한 기술이다^[17]. 일반적으로 VR을 설계 검토뿐만 아니라 다른 엔지니어링 작업에도 사용할 경우 비용 절감을 달성하고 관련 프로세스를 개선 또는 가속화하는 것이 목적이다. VR을 통해 여러 엔지니어링 응용 프로그램을 지원하는 것을 목표로 학술 문헌에서 많은 접근 방식을 찾을 수 있다. VR은 설계 검증이 용이하고 물리적 프로토타입과 실물 모조품과 같은 검토 프로세스를 가상의 프로토타입으로 대체하여 제조 비용을 절감할 수 있다^[18]. 또한, 물리적 부품이 아직 개입되지 않은 경우 잠재적인 제품 수정이 가속화될 수 있습니다. 일반적인 실현 가능성 외에도 VR 환경 내에서 사용자 상호작용을 개선하는 데 초점을 맞추고 있다. VR 검토 프로세스의 상호작용을 단순화하는 하드웨어 및 소프트웨어 기반 사용자 인터페이스를 개발했으며^[19] 3D 모델의 CAD 유사 상호 작용 및 조작 기능을 위한 도구와 방법을 조사했다^[20]. VR 지원 설계 검토에 대한 연구는 참여자들이 PC 화면의 기존 CAD 소프트웨어 접근 방식에 비해 VR 장면 내에서 3D 모델의 오류를 감지할 가능성이 더 높다는 것을 보여준다. 또한, 설계 검토를 수행하고 3D 모델과 상호 작용하는 것은 높은 몰입도로 인해 비 CAD 전문가에게 더 직관적이고 자연스럽다. 본 연구에서는 CPS의 설계 검토를 고려하고 따라서 디지털과 물리적 세계를 연결한다. 특히, 제안된 구현의 초점은 협업적이고 몰입적인 환경에서 객체 정보를 나타낼 뿐만 아니라 디지털 콘텐츠에 액세스하고 상호작용하는 가용성에 달려 있다.

III. 실시간 디지털 트윈 시스템 구성

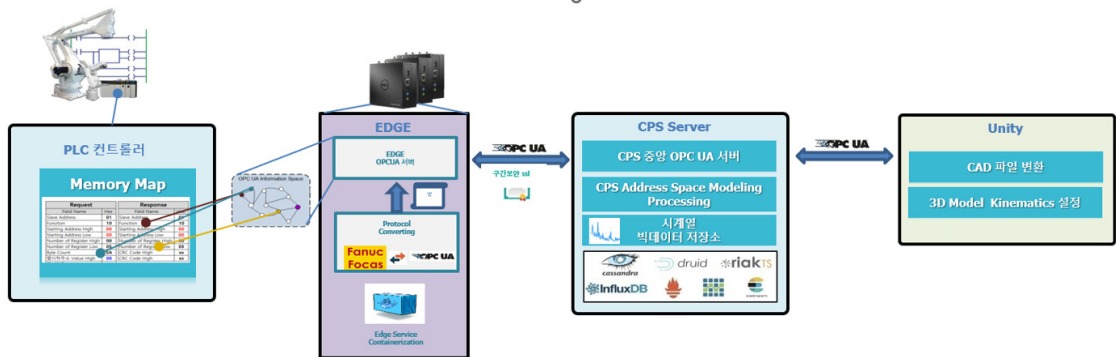


그림 1. 시스템 구조
 Fig. 1. System architecture

1. 시스템 구조

그림 1은 이기종 장치들 간의 통신 인터페이스를 연동하고 검증하는 시스템에 대한 설명입니다. 이 시스템은 실제 세계의 이종 로봇들과 가상 세계의 로봇들을 실시간으로 동기화하여 PC 모니터를 통해 확인할 수 있도록 하는 것을 목표로 합니다. 아래는 해당 시스템의 작동 원리를 확인 할 수 있다.

이기종 장치 통신 인터페이스 통합을 위해 기존 공장에 설치된 다양한 이기종 장치 및 머신들의 프로토콜을 OPC UA(산업용 표준)로 통합한다. 이를 위해 CPS에서는 Edge 설정 정보와 Profile Maker를 통해 프로토콜 설정 정보를 생성한다. Device 설정 및 Meta 정보 제공을 위해 CPS는 Smart Connector에서 필요한 meta 정보를 읽을 수 있도록 device config API 인터페이스를 제공한다. Smart Connector는 CPS에서 제공한 meta 정보를 기반으로 준비된 프로토콜 드라이버를 사용하여 통신을 수행합니다.

예를 들면, Doosan의 경우 Modbus, Kuka의 경우 UDP Socket을 사용한다.

설비와 통신을 위해 설비 또는 컨트롤러와 통신이 성공적으로 수행되면, Smart Connector는 OPC UA 클라이언트로 CPS 서버의 OPC Pub/Sub 서버에 데이터를 전송한다. 3D DT 프로그램과의 연동을 위해 3D DT(Digital Twin) 프로그램은 CPS의 device config API를 통해 설비의 실시간 데이터 통신을 위한 OPC UA AddressSpace 정보를 가져온다

데이터 인터페이스를 통해 Edge에서 통신된 설비 데이터를 3D 모델에 실시간으로 동기화하여 디지털 트윈을 구현하며, 이기종 장치 간의 통신을 통해 실시간으로

동기화되는 CPS 시스템과 3D 모델 간의 연동 한다. 이를 통해 실제 세계의 로봇들과 가상 세계의 로봇들이 동시에 모니터를 통해 확인할 수 있다.

2. 이기종 장치 인터페이스

스마트 커넥터(SmartConnector) 역할은 산업용 장비(CNC, Robot, PLC) 등에서부터 데이터를 수집하여 Edge내부 OPC UA Server AddressSpace node에 값을 동기화 하고, 중앙 CPS Server에 데이터를 전송한다. Device와 통신 인터페이스는 크게 TCP/IP, Serial (Uart, I2C, SPI)이며 사용자 설정에 따라 장비와 통신을 설정하여 수집 주기 및 동기화 주기 또한 사용자가 설정 가능하며 Edge PC에 저장된다. 장비와의 통신을 위해서 프로토콜을 알아야 하는데, 프로토콜 역시 사용자가 설정할 수 있으며, 대표적인 XGT, MC Protocol, Modbus protocol 등을 기본으로 지원하며 사용자가 원하는 프로토콜을 만들어서 Edge에 배포 할 수 있으며, 프로토콜 문서는 xml 형태로 Edge에 저장되며 Edge 시작 시, 또 는 사용자가 배포 시 서버와 자동으로 동기화 된다.

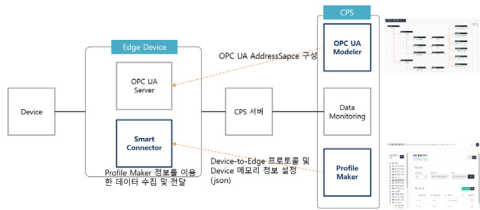


그림 2. 이기종 장치 인터페이스 구조
Fig. 2. Heterogeneous Device Interface Structure

프로파일 메이커는 이기종 프로토콜을 사용하는 설비/로봇 연결을 위한 프로토콜 컨버팅 에디터이다. 다양한 메이커별 프로토콜과 설비마다 다른 데이터 맵을 Web 환경에서 설정하여 Edge Device로 전달한다. Edge Device가 설비에 연결될 프로파일 메이커에서 전달된 파일을 이용하여 데이터를 읽도록 함으로써 프로파일 메이커를 이용한 로봇/설비 추가 자동화 가능하다. 로봇/설비가 추가될 경우 프로파일 메이커를 이용하여 프로토콜 및 데이터 맵을 편집하면 자동으로 추가되며 새로 만들어진 json파일이 스마트 커넥터로 전달된다. 스마트 커넥터는 설비마다 해당 json에 표기된 방법으로 데이터를 읽어 CPS 서버에 전달한다.

OPC UA AddressSpace 모델러는 Method, Alarm 포함 8개 Node Class에 대한 정의 가능하다. AddressSpace는 OPC UA가 Objects들을 선언하는 표준 방식으로

Node들로 구성되어 있고 Node간의 관계는 Reference로 연결되며, Method를 이용한 기계제어 가능하며, 특정 조건 위반시 Alarm 발생시키는 로직 구성한다.

OPC UA 통신을 활용한 디지털 트윈 연동을 위해 디지털 트윈 된 로봇과 실제 로봇의 연동은 OPC UA 프로토콜을 활용하여 연동한다. OPC UA는 산업 영역, Control Level 장비들을 위한 국제 표준 인터페이스이며 OT영역과 IT영역의 상호 작용을 연결하고 OPC UA통신을 위해선 필수적으로 모델링 과정이 필요한데, 이는 디바이스 정보를 AddressSpace 라는 개념으로 변환시키기 위한 과정이다. AddressSpace의 Node들은 실물 로봇과 가상 로봇의 데이터를 연결하는 연결점이 된다.

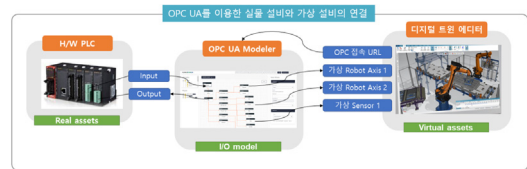


그림 3. 실물 설비와 가상 설비의 연결
Fig. 3. Physical and Virtual Facilities Connection

3. 디지털 트윈 연동

로봇 데이터 및 PLC 로직 데이터를 활용한 로직 검증을 진행한다. 실제 시스템을 구축하기 이전에 가상 로봇을 운영하여 시각적으로 확인해 봄으로써 실제 시스템 운영 시 발생할 수 있는 문제점을 사전에 검증 가능하다. 물리적 PLC와 가상 로봇은 Edge Interface 및 OPC UA 규격에 의해 상호 연결되므로써 OPC UA 서버를 통해 입출력 상태를 읽어올 수 있고, 또한 PLC 프로그램 시퀀스에 의한 수행 결과는 AddressSpace에 반영고 PLC의 출력 값은 가상 공간에 입력되며, 그에 상응한 가상 로봇은 전달된 데이터에 맞는 동작 수행한다.

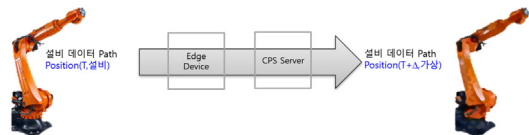


그림 4. 실물 로봇에서 가상 로봇으로 데이터 패스
Fig. 4. Passing data from physical robot to virtual robot

실물-가상 설비 데이터 매칭을 위해 실물에서 파생된 설비의 위치 및 동작 데이터는 가상세계에서 최초로 초기화 될 것이며, 한번 초기화된 설비는 가상 세계에서 동일 위치와 동작으로 매칭한다. Delay 이후 전달되는 데

이터 간격은 일정하여 가상 설비의 움직임은 실물 세계의 설비와 일치하게 된다.

OPC UA 통신을 활용한 디지털 트윈 연동을 위해 디지털 트윈 된 로봇과 실제 로봇의 연동은 OPC UA 프로토콜을 활용하여 연동한다. OPC UA는 산업 영역, Control Level 장비들을 위한 국제 표준 인터페이스이며 OT영역과 IT영역의 상호 작용을 연결한다. OPC UA 통신을 위해선 필수적으로 모델링 과정이 필요한데, 이는 디바이스 정보를 AddressSpace 라는 개념으로 변환시키기 위한 과정이며 AddressSpace의 Node들은 실물 로봇과 가상 로봇의 데이터를 연결하는 연결점이 된다.

CAD 파일의 3D 변환을 위해 Robot Kinematics 연결한다. 로봇 제조사에서 로봇의 CAD 파일 제공받아 실제와 똑 같은 모양의 3D 객체 만들고 파일 크기 축소한다. 역운동학이 적용되어 엔드 이펙터의 위치와 회전을 지정하고 최대 각도 및 최소 각도를 지정하여 적절한 범위의 각도를 고정하여 에러를 최소화한다.



그림 5. 3D 파일의 Robot Kinematics 연결
 Fig. 5. Connecting Robot Kinematics in 3D Files

IV. 구현 및 평가

1. 시스템 구성

본 시스템 하드웨어 그림 6과 같으며 옛지디바이스의 사양은 ubuntu 18.04, cpu2/4 core, ram 8gb, hddor ssd100gb이고 서버의 사양은 windows 10 pro, cpu6/12 core, ram 32gb, hddor ssd256gb이다.

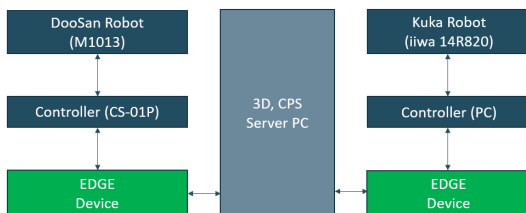


그림 6. 시스템 하드웨어 구성도
 Fig. 6. System Hardware Configuration Diagram

시스템 흐름은 그림 7과 같으며 상세 절차는 다음과 같다. CPS에서 Device 설정은 Edge 설정 정보와 Profile maker를 통해서 만들어진 protocol 설정 정보를 만든다. CPS에서는 Smart Connector에서 필요한 meta 정보를 읽을 수 있게 device config api interface를 제공한다. Smart Connector는 CPS에서 제공한 meta 정보를 기반으로 준비된 프로토콜 드라이버를 통해서 통신을 진행한다. Doosan 로봇은 modbus로 Kuka 로봇은 udpsocket으로 연결하여 통신한다. 설비(controller)와 통신이 성공하면, OPC UA client로 CPS 서버의 OPC Pub/Sub server에 데이터를 전송한다. 3D DT 프로그램에서는 CPS의 device config api에서 device의 실시간 데이터 통신을 위한 OPC UA AddressSpace 정보를 가져온다. Data interface를 통해서 Edge에서 통신한 설비 데이터를 3D Model에 실시간으로 동기화하여 Digital Twin을 구현한다.

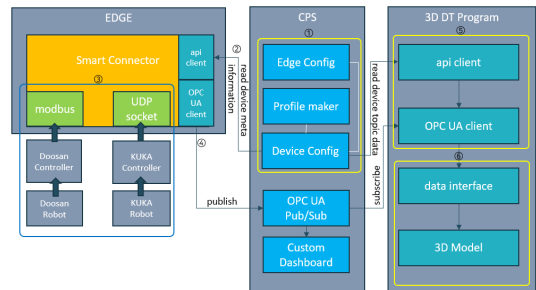


그림 7. 시스템 흐름도
 Fig. 7. System Flow Diagram

2. 시스템 현황 및 구현

Edge 프로그램 현황은 그림 8과 같고 Doosan(modbus) 통신 드라이브 탑재 및 KUKA(UDP 서버) 통신 드라이브 탑재하였다. 또한 OPC UA 통신 드라이브 탑재함으로써 CPS API 연동 기능과 OPC UA publish 기능을 포함하여 ms 고속 통신이 가능하다.

```

root@advantech-desktop: /home/advantech# [1661163477097]Joint Position 1 : 0
root@advantech-desktop: /home/advantech# [1661163489163]Joint Position 2 : -1771
Devices.json OpC.Ua.Clier [1661163519413]Joint Position 3 : 175
EdgeConfigFile.json OpC.Ua.Clier [1661163524362]Joint Position 4 : -1002
Google.Protobuf.dll OpC.Ua.Clier [1661163543924]Joint Position 5 : -1794
Grpc.Core.Api.dll [1661163557248]Joint Position 6 : 977
Grpc.Core.dll OpC.Ua.Conf [1661237817517]Joint Torque 1 : 0
Grpc.Core.dll OpC.Ua.Conf [1661237826790]Joint Torque 2 : 1
Grpc.Message.dll OpC.Ua.Conf [1661237840888]Joint Torque 3 : 7
Grpc.Message.pdb OpC.Ua.Core [1661237847309]Joint Torque 4 : 38
Grpc.MessageClient.dll OpC.Ua.Core [1661237861283]Joint Torque 5 : 8
Grpc.MessageClient.pdb OpC.Ua.Core [1661237867322]Joint Torque 6 : 0
Grpc.MessageClient.pdb OpC.Ua.Core [1661237892284]Task Position X : 0
Interop.ACTMULTILib.dll OpC.Ua.Secur [1661237909285]Task Position Y : 3687
Interop.ActUtilTypeLib.dll OpC.Ua.Secur [1661237913894]Task Position Z : -144
LOGS OpC.Ua.Secur [10]DataTime : 2022-08-24T10:08:42.739Z
    
```

그림 8. Edge 프로그램 현황
 Fig. 8. Edge Program Status

CPS 프로그램은 그림 9와 같고 로봇 데이터 실시간 모니터링 기능과 로봇 프로토콜 프로파일 관리 기능을 위해 Edge/Device 메타 데이터 관리 및 연동 API 인터페이스 제공한다. 또한 Edge 보안을 위한 토큰 발급 기능을 제공한다.

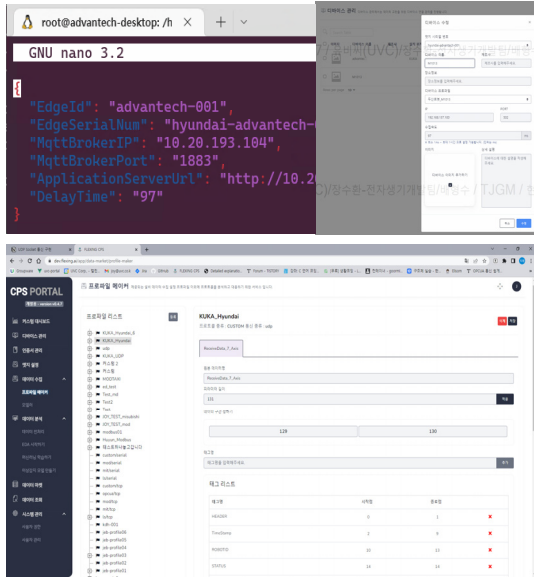


그림 9. CPS 프로그램 현황
Fig. 9. CPS Program Status

디지털 트윈 프로그램은 현황은 그림 9와 같고 대상 로봇 실시간 상태 확인과 대상 로봇 실시간 축 토크/앵글 데이터 값 확인 가능하다. 앵글 범위 기준 Bar 형태의 데이터 연동하고 대상 로봇 운영 모드 설정이 가능하다. 그리퍼 grip/ungrip 상태와 TCP 좌표 확인 및 대상로봇 Joint 별 앵글 하한/상한/허용 토크 설정이 가능하다.

시스템에서 로봇을 제어하는 Control 박스는 총 3 개로 구성하였으며 모두 OPC Clinet로 동작한다. Controller는 OPEN62541 SDK OPC Client를 베이스로 동작한다. 최초 구동시 OPC Main Server로부터 모델링 정보인 Address Space정보를 읽어온 후 각 Control마다 가지고 있는 Node를 Monitored Item으로 등록한다. 등록된 Monitored Item은 Server에서 값이 변경되거나, OPC Client에서 데이터 변경을 하면 Controller에 데이터 변경이 통지되고 로봇이 제어된다.

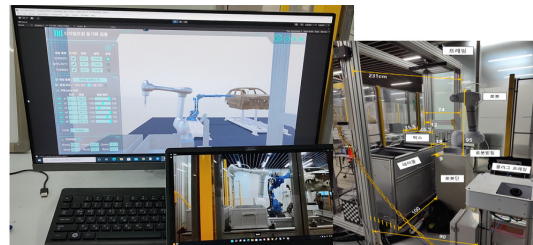
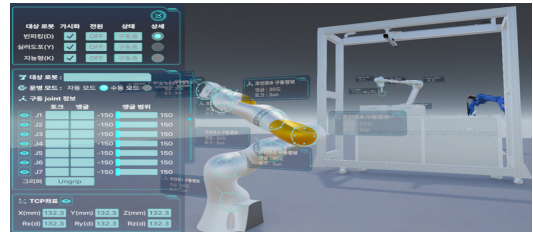


그림 10. 3D 디지털 트윈 프로그램 현황
Fig. 10. 3D Digital Twin Program Status

3. 실험 및 평가

디지털 트윈의 성능을 실험하기 위해 데이터 수집 속도를 평가 한다. Smart Connector 터미널에 출력되는 노드값 및 시간을 확인하고 Edge 데이터 수집속도를 측정한다. Edge 데이터는 노드값의 집합이며 노드값은 장치의 측정, 제어, 상태 정보이다. 측정식 (1)과 같다.

$$X = \sum_{i=1}^n A_i / (B_n - B_0) \quad (1)$$

표 1. Edge 데이터 수집속도 실험 파라미터
Table 1. Edge Data Collection Rate Experimental Parameters

Parameter	비고
X	Edge 데이터 수집속도
A_i	i 번째 샘플에서 확인된 노드값의 수
B_i	n 번째 샘플의 출력시간
n	총 샘플의 개수

실험결과는 표 2와 같으며, 수집속도가 초당 50노드 이상으로 우수한 성능을 보여주고 있다.

표 2. Edge 데이터 수집속도 실험 결과
Table 2. Edge Data Collection Rate Experimental Results

샘플 (i)	노드값 수 (A_i) [node]	출력 시간 (B_i) [s]	Edge 데이터 수집 속도 (X) [node/s]
1	39	44.75	55.55
2	39	45.45	

더불어 실시간 디지털 트윈의 성능 위해 3D 디지털 트윈 화면의 렌더링 속도를 측정한다. PC에서 3D 디지털 트윈을 실행하고 Fraps를 사용해 렌더링 프레임 및 시간 정보를 저장하여 fps를 측정한다. 측정식은 (2)와 같다.

$$X = A/B \quad (2)$$

표 3. 디지털 트윈 렌더링 실험 파라미터
 Table 3. Digital Twin Rendering Experimental Parameters

Parameter	비고
X	렌더링 속도
A	실험 시간 동안 출력된 프레임 수
B	실험 시간

실험결과는 표 4와 같으며 초당 70 fps의 렌더링 속도를 보인다. 사람의 시각 체계는 개인에 따라 다를 수 있지만, 일반적으로 인간은 1초에 약 24~30 프레임의 영상을 자연스럽게 인식하며 이는 영화나 텔레비전에서 사용되는 24 fps와 30 fps의 속도와 일치한다. 최근에는 게임이나 가상현실(VR) 등에서 더 높은 프레임 속도인 60 fps 이상을 사용하여 더욱 부드러운 움직임을 구현하기도 한다. 이처럼 실험 결과는 우수한 성능을 보여주고 있다.

표 4. 디지털 트윈 렌더링 실험 결과
 Table 4. Digital Twin Rendering Experiment Results

실험 시간 동안 출력된 프레임 수(A)	실험 시간(B) [s]	렌더링 속도 [fps]
4,309	60	71.81

V. 결 론

OPC UA는 국제 디지털 트윈 기술에 대한 표준화로 디지털 트윈 적용에 있어 중요한 가이드라인을 제공하며, 표준화를 통해 상호 운영성을 확보하고 다양한 산업 분야에서의 디지털 트윈 기술 활용을 촉진하기 위해 만들어졌다. 본 연구는 표준화를 적용함으로써 다른 공장에 확장할 때 자동 인터페이스 연결로 연합 구성 용이하다. 제조 디지털트윈 표준 및 구성 프레임워크를 적용한 디지털트윈 모델 및 플랫폼의 설계, 정보 모델 및 운영

시나리오 도출 및 시험 적용하였다. 디지털트윈 모델 구축 및 운영에서 제조 디지털트윈 국제 표준과 프레임워크를 고려, 준용함으로써 복잡하고 거대한 생산라인, 공장을 대상으로 한 가상화, 동기화, 모델링 & 시뮬레이션과 연합이 용이할 것으로 보인다.

국제 표준 고려 및 적용을 통해, 다양한 이종의 생산 설비, 정보시스템과의 연계를 용이하게 하고, 디지털트윈 모델 간의 연계, 연동 및 연합 운영이 가능할 것으로 예상되며 연구에서 글로벌 표준을 준용하는 디지털트윈 플랫폼의 개발, 운영을 통해 가상화, 동기화, 모델링 & 시뮬레이션, 연합의 전 단계에서 경쟁력 있는 시스템을 구현하였다.

References

- [1] Lee, Kyoung-Soon, and Jeong Shick Yoon, "A Study on the Effect of HMD VR Technology on Design Application: Focusing on 3DEXPERIENCE Platform VR", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 21, No. 4, pp. 49-55, 2020. DOI: [10.5762/KAIS.2020.21.4.49](https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.4.49).
- [2] Lee, Yongsoo, and Jongpil Jeong, "Design and Implementation of Facility Monitoring System based on AAS and OPC UA for Smart Manufacturing", The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 21, No. 2, pp. 41-47, 2021. DOI: [10.7236/IIBC.2021.21.2.41](https://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.2.41).
- [3] Abramovici, Michael, Philip Gebus, and Philipp Savarino, "Engineering smarter Produkte und Services Plattform Industrie 4.0 STUDIE", 2018.
- [4] Neugebauer, Reimund, B. Denkena, and Konrad Wegener, "Mechatronic systems for machine tools" CIRP annals, Vol. 56, No. 2, pp. 657-686, 2007. DOI: [10.1016/j.cirp.2007.10.007](https://doi.org/10.1016/j.cirp.2007.10.007).
- [5] Baheti, Radhakisan, and Helen Gill, "Cyber-physical systems" The impact of control technology, Vol. 12, No. 1, pp.161-166, 2011.
- [6] Spec, D. I. N. "91345: 2016-04 Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4. 0)" Din, 4, 2016.
- [7] Adwernat, Stefan, Mario Wolf, and Detlef Gerhard, "Optimizing the design review process for cyber-physical systems using virtual reality" Procedia CIRP, Vol. 91, pp. 710-715, 2020. DOI: [10.1016/j.procir.2020.03.115](https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.115).
- [8] Snyder, Tom, and Greg Byrd, "The internet of everything" Computer, Vol. 50, pp. 8-9, 2017. DOI: [10.1109/MC.2017.179](https://doi.org/10.1109/MC.2017.179).
- [9] Biesinger, Florian, et al. "A digital twin for production planning based on cyber-physical systems: A Case

- Study for a Cyber-Physical System-Based Creation of a Digital Twin" *Procedia CIRP*, Vol. 79, pp. 355-360, 2019.
DOI: [10.1016/j.procir.2019.02.087](https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.087).
- [10] Brandmeier, Markus, et al, "Product design improvement through knowledge feedback of cyber-physical systems", *Procedia CIRP*, Vol. 50, pp. 186-191, 2016.
DOI: [10.1016/j.procir.2016.05.026](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.026).
- [11] Pérez, Federico, et al, "A CPPS Architecture approach for Industry 4.0", 2015 *IEEE 20th conference on emerging technologies & factory automation (etfa)*, IEEE, 2015.
DOI: [10.1109/ETFA.2015.7301606](https://doi.org/10.1109/ETFA.2015.7301606).
- [12] Kang, Woochul, Krasimira Kapitanova, and Sang Hyuk Son, "RDDS: A real-time data distribution service for cyber-physical systems", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 8, No. 2, pp. 393-405, 2012.
DOI: [10.1109/TII.2012.2183878](https://doi.org/10.1109/TII.2012.2183878).
- [13] Rajhans, Akshay, et al, "Supporting heterogeneity in cyber-physical systems architectures", *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 59.12, pp. 3178-3193, 2014.
DOI: [10.1109/TAC.2014.2351672](https://doi.org/10.1109/TAC.2014.2351672).
- [14] Vicaire, Pascal A., et al, "Bundle: A group based programming abstraction for cyber physical systems", *Proceedings of the 1st ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems*, 2010.
DOI: [10.1145/1795194.1795200](https://doi.org/10.1145/1795194.1795200).
- [15] Stojmenovic, Ivan, "Machine-to-machine communications with in-network data aggregation, processing, and actuation for large-scale cyber-physical systems", *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 1, No. 2, pp. 122-128, 2014.
DOI: [10.1109/JIOT.2014.2311693](https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2311693).
- [16] García, Marcelo V., et al, "Building industrial CPS with the IEC 61499 standard on low-cost hardware platforms", *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, IEEE, 2014.
DOI: [10.1109/ETFA.2014.7005272](https://doi.org/10.1109/ETFA.2014.7005272).
- [17] Shafto, Mike, et al, "Modeling, simulation, information technology & processing roadmap", *National Aeronautics and Space Administration*, Vol. 32, pp. 1-38, 2012.
- [18] Tabaa, Mohamed, et al, "Industrial communication based on modbus and node-RED", *Procedia computer science*, Vol. 130, pp. 583-588, 2018.
DOI: [10.1016/j.procs.2018.04.107](https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.107).
- [19] Harwood, Adrian RG, Petra Wensch, and Alistair J. Revell, "A real-time modelling and simulation platform for virtual engineering design and analysis", *Proceedings of 6th European conference on computational mechanics (ECCM 6) and 7th European conference on computational fluid dynamics (ECFD 7)*, 2018.
- [20] International Electrotechnical Commission, "OPC unified architecture—part 1: Overview and concepts", IEC62541, 2010.

저 자 소 개

김 지 형(정회원)



- 2022년 3월 ~ : 성균관대학교 스마트팩토리융합학과 박사과정 재학중
- 주관심분야 : 스마트팩토리, OPC UA, 디지털 트윈, 모델링 시뮬레이션 (M&S) 기술, 디지털 가상화 기술 등