

Unity 3D 기반 깊이 영상을 활용한 공장 안전 제어 시스템에 대한 연구

조성현^{*}, 정인호^{**}, 고동범^{***}, 박정민^{****}
경북대학교 전자공학부^{*}, 한국산업기술대학교 전자공학부 교수^{**}
한국산업기술대학교 스마트팩토리융합학과^{***}
한국산업기술대학교 컴퓨터공학부 교수^{****}
nwilliterate@knu.ac.kr, {ihjeong, dbko112, jmpark}@kpu.ac.kr

A Study on the System for Controlling Factory Safety based on Unity 3D

Seonghyeon Jo^{*}, Inho Jung^{**}, Dongbeom Ko^{***}, Jeongmin Park^{****}
Dept. Electronics Engineering, Kyungpook National University,
Dept. Electronic, Korea Polytechnic University^{*}
Dept. Smart Factory, Korea Polytechnic University^{***} Dept. Compute, Korea Polytechnic University^{****}

요약

작업자-로봇 간 협업은 다품종 소량생산 기반의 스마트팩토리에서 중요한 요소가 된다. 기존 제조 공장을 스마트화하기 위해 AI 기반의 기술이 도입되고 있지만 이 경우 단기적 생산성 향상에 그친다. 이를 해결하기 위한 협업 지성은 인간의 팀워크, 창의력 등과 AI의 속도, 정확성 등이 결합되어 서로의 단점을 적극적으로 보완 할 수 있다. 그러나 현재 자동화설비는 돌발사태 발생 시 재해강도가 높기 때문에 안전대책이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 깊이 영상 카메라를 이용하여 작업자 및 설비를 가상 세계에 구현하고, 시뮬레이션을 통해 작업자의 안전을 판별하는 공장 안전 제어 시스템을 설계하고 구현한다.

ABSTRACT

AI-based smart factory technologies are only increase short-term productivity. To solve this problem, collaborative intelligence combines human teamwork, creativity, AI speed, and accuracy to actively compensate for each other's shortcomings. However, current automation equipments require high safety measures due to the high disaster intensity in the event of an accident. In this paper, we design and implement a factory safety control system that uses a depth camera to implement workers and facilities in the virtual world and to determine the safety of workers through simulation.

Keywords : Cyber-Physical System(사이버-물리 시스템), Human-Robot Collaboration(인간-로봇 상호작용), Collision Avoidance(충돌 회피)

Received: May. 25. 2020 Revised: Jun. 04. 2020
Accepted: Jun. 08. 2020
Corresponding Author: jeongmin Park
(Korea Polytechnic University)
E-mail: jmpark@kpu.ac.kr

ISSN: 1598-4540 / eISSN: 2287-8211

© The Korea Game Society. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

최근 한국의 제조 산업은 공정 디지털화의 다음 단계인 Industry 4.0이 등장함에 따라 기존의 전통적인 제조업을 탈피하는데 많은 노력을 기울이고 있다[1]. 공장의 Industry 4.0 환경 전환에는 광역 네트워크의 확장과 많은 양의 데이터 처리를 위한 컴퓨팅 객체를 결합하는 시스템을 필요로 하고 있다[2]. 이를 위해 실제 물리적 기술과 사이버 기술이 결합하는 시스템인 사이버-물리 시스템(CPS, Cyber-Physical System)의 중요성 또한 부각되고 있다[3,4].

사이버-물리 시스템은 센서, 네트워크, 소프트웨어, 하드웨어 등 물리적 요소뿐만 아니라 사물과 연결할 수 있는 여러 요소들이 결합된 대규모 시스템이다[5].

이러한 시스템은 실제와 동일한 가상의 복제본과 환경을 구축하고 이를 서로 연계하고 상호작용할 수 있으며 이는 제조 설비 분야뿐만 아니라 석유 화학 산업, 농업 등 여러 산업 분야에서 적용이 가능하다[6,7].

사이버-물리 시스템은 제조공장의 가상화를 위해 통합된 센서 데이터를 토대로 공정 모니터링 및 작업자의 안전을 처리해 줄 수 있는 인간-로봇 협업(HRC, Human-Robot Collaboration)에 적용될 수 있다. 인간-로봇 협업은 작업자와의 물리적 접촉이 불가피하기 때문에 로봇의 충돌에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

그러나 기존의 로봇 충돌 연구들은 작업자와 로봇 간의 충돌 토크를 제한하거나 정지시켜 충돌한 시점을 기준으로 제어하기 때문에 충돌 회피를 보장하지 않아 작업자의 안전을 확실히 보장하지 않는다는 단점이 있다. 이러한 단점은 깊이 영상 센서를 이용하여 가상공간에서 미리 시뮬레이션함으로써 해결될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 Unity 3D 엔진을 활용해 작업자와 로봇의 협업관계에서 사이버-물리 시스템을 적용한 공장 안전 제어 시스템을 제안하고 구현한다. 이를 통해 사전에 사고

를 예상하여 보다 안전하게 협업이 가능한 사이버-물리 시스템 기반의 시뮬레이션을 제공하고, 공정 프로세스를 모니터링한다.

제안 방법론으로 총 4단계로 1) 형상 인지(Shape Recognition), 2) 모델 가상화(Model Virtualization), 3) 시뮬레이션(Simulation), 4) 가동 및 시각화(Run & Visualizing) 단계를 수행한다. 제안사항을 통해 사이버-물리 시스템 기반으로 실제 공장 환경을 가상화하여 가상환경 및 객체를 구현하고 공정 프로세스를 모니터링 및 제어할 수 있도록 한다. 제안 방법론의 사례 연구로써 공정 프로세스를 충돌과 비충돌로 나누어 데이터를 수집한다. 공정 모델로는 공장에서 많이 사용되는 6축 로봇 팔을 이용해 프로세스를 실행하였으며, 공정 시나리오에 따른 데이터를 수집하고 분석한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 사이버-물리시스템 기반의 시뮬레이션에 필요한 기술을 설명하고, 3장에서는 본 연구의 제안 방법론과 시스템 구조를 설명한다. 4장에서는 시스템 데모 소개 및 성능 평가를 실시한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

제조업이 발전함에 따라 로봇의 작업 공간을 작업자와 공유하면서 인간-로봇 협업(HRC) 및 로봇의 충돌이 중요한 이슈가 되고 있다. 본 장에서는 사이버-물리 시스템 기반의 시뮬레이션에 필요한 기본 기술 및 개념인 인간-로봇 협업(HRC), 로봇의 충돌(Robot Collision), 사이버-물리 시스템(CPS)에 대해 알아본다.

2.1 인간-로봇 협업(HRC)

4차 산업혁명이 도래하기 이전의 제조업은 반복적이고 단순한 작업을 수행하는 기존의 인력을 산업용 로봇으로 대체하여 널리 사용했다. 산업용 로봇의 배치는 작업자의 위험을 야기하여 사람과 작업 공간을 분리하는 형태의 표준이 제정 되었다[8].

최근 제조업이 크게 발전함에 따라 효율적이고 유연한 제조를 추구하며, 이와 동시에 제4차 산업 혁명과 Industry 4.0이 등장으로 산업용 로봇은 기존의 단순 반복뿐만 아니라 비정형적인 작업까지 수행할 수 있도록 사람과의 공동 작업이 가능한 기술과 융합하여 발전했다. 이러한 기술의 발전에 따라 사람과의 공동 작업을 제한하는 기존의 표준에서 안전시스템을 도입된 공간에서 업무를 수행할 수 있도록 국제 표준이 개정되었다. 이러한 국제 표준의 변경으로 인간-로봇 협업(HRC)이라는 새로운 개념이 도입되었다[9].

인간-로봇 협업(HRC)은 산업용 로봇뿐만 아니라 여러 분야의 로봇이 인간과 나란히 있는 공간에서 공동 작업을 수행하는 것을 말한다[10]. 주로 작업자가 로봇을 직관적으로 프로그래밍 할 수 있도록 리드 스루(Lead-through) 기능을 사용한다. 리드 스루는 작업자의 손을 사용하여 복잡한 프로그래밍 없이 로봇을 원하는 목표로 위치를 이동시켜 로봇의 내부에서 경로를 생성한다[11]. 하지만 리드 스루 기능은 로봇과 작업자 간의 물리적으로 접촉하기 때문에 작업자의 안전이 많이 요구된다. 따라서 작업자와 물리적인 부분을 최소화할 수 있도록 해야 한다.

2.2 로봇의 충돌

로봇은 유연하고 다재다능하게 사용되어 여러 응용 분야에서 활용되고 있으며, 재활이나 서비스 등을 위해 인간 사회에 많은 도움을 주고 있다. 그만큼 로봇은 사람과 공간을 공유하여 물리적 접촉을 안전하게 처리해야 하며, 이에 따른 로봇의 충돌에 대해서 많은 연구가 진행되고 있다[12].

로봇의 충돌은 크게 사전 충돌, 감지, 분리, 인지, 분류, 반응, 사후 충돌 총 7단계 상황 프로세스로 나눌 수 있다[13]. 사전 충돌은 로봇과 사람간의 충돌이 발생하기 전으로 충돌을 예상하는 중지시키는 단계이다. 충돌 감지는 충돌(Collision)과 비충돌(Non-Collision)을 이진클래스로 나누어 충돌의 여부를 나타낸다. 충돌 격리는 충돌의 발생한

로봇의 위치를 알려주는 단계이다. 충돌 식별은 발생한 충돌의 힘의 강도를 나타낸다. 충돌 분류는 발생한 충돌의 특성을 상황이나 시간에 따라서 분류한다[14]. 충돌 반응은 충돌 상황에 대한 대응으로 충돌의 특성에 따라 다르게 반응한다. 마지막으로 사후 충돌은 로봇이 충돌에 대한 반응 후에 작업의 복구 여부나 중지를 결정하는 단계이다. 이러한 프로세스는 많은 로봇의 충돌 연구에서도 볼 수 있으며, 충돌 탐지 단계에 중점을 둔다[15,16]. 하지만 이는 충돌의 부상을 최소화하는데 그치며, 작업자의 충돌 회피를 보장하지 않는다. 따라서 로봇과 사람간의 충돌을 미리 예상하여 충돌을 방지할 수 있는 시스템이 필요하다.

2.3 사이버-물리 시스템

최근 로봇 기술이 발전함에 따라 로봇과 사용자간 상호작용의 높은 수준을 요구하고 있으며, 다양한 상호작용 기능들을 연구하고 있다[17,18]. 이러한 로봇 기술의 변화에 충족시키기 위해서는 작업자의 안전 문제와 시스템 수준의 복잡성을 처리해야 한다[11].

로봇 시스템의 복잡성과 안전 문제를 해결하기 위한 방법론으로 사이버-물리 시스템 또한 중요한 이슈가 되고 있다. 사이버-물리 시스템은 물리적인 프로세스와 가상의 연산 프로세스를 통합하기 위해서 개발되었다[19]. 이는 시스템의 환경을 가상화하고 데이터를 통합하여 모니터링할 수 있으며 가상 환경에서 로봇의 시나리오를 미리 시뮬레이션하여 작업자의 안전 여부를 확인할 수 있다. 로봇 시스템에서 사이버-물리 시스템을 구현하기 위해서는 로봇의 모델링과 제어가 가능해야 하며 센싱을 통해 로봇 시스템의 환경을 가상화할 수 있어야 한다.

2.4 깊이 영상

대부분 이전의 컴퓨터 비전 연구는 RGB 센서를 이용하여 색상의 정보로 이미지를 처리했다. 하지

만 조명 변경에 매우 민감하고 텍스처가 견고하지 않다는 단점이 있다[20].

이러한 문제점을 해결하고 3D 구조를 제공하여 배경의 감산, 분할 및 모션을 추정하기 위한 깊이 센서가 등장하였다. 이 센서의 주요 장점은 모든 픽셀에서 깊이를 제공하여 물체의 모양을 측정할 수 있다는 점이다[21].

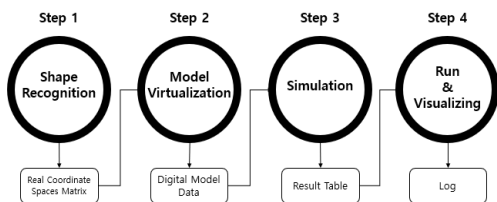
깊이 센서는 사용자와 환경의 3차원을 직접 감지할 수 있어 사이버-물리 시스템의 가상 환경을 구현하기 위한 센서로 적용될 수 있다[22].

3. 시스템 프로세스 및 구조

본 장에서는 공정 프로세스에서 작업자의 안전을 모니터링하고 이에 따른 공장의 설비를 제어하기 위한 시스템 프로세스 및 시스템의 구조를 설명한다.

3.1 시스템 프로세스

기존 제조공장이 스마트팩토리화 되면서 공장 내의 작업자의 안전사고도 많은 주목을 받고 있다. 이에 따른 인간-로봇간의 충돌사고에 대한 연구가 진행되고 있으나, 최근 연구는 사후충돌에 대해 중점을 두고 있어 충돌회피를 보장하지 않는다. 따라서 본 절에서는 공장 설비 환경에서 깊이카메라를 이용한 작업자 인식을 통해 미리 시뮬레이션 하도록 하며, 설비 공정에서 발생할 수 있는 작업자와 공정모델 간의 충돌을 미연에 방지하는 프로세스 4 단계를 설명한다. [Fig. 1]은 프로세스의 4단계를 도식화한 그림이다.



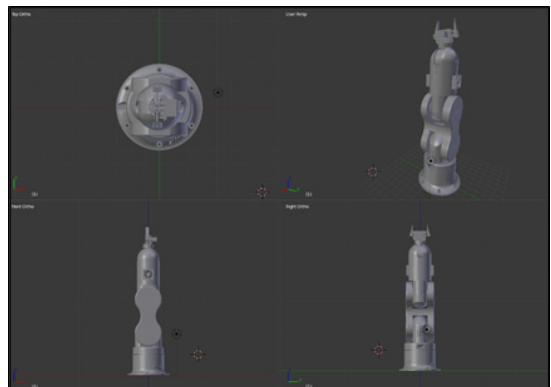
[Fig. 1] Process of the system for controlling factory safety

1) 1단계: 형상 인지(Shape Recognition)

공정 프로세스에서 작업자를 인식하기 위한 단계이며, 공장 환경 내에 설치된 깊이 카메라의 미들웨어로부터 영상을 추출한다. 영상은 골격 관절 인식(Skeleton Joint Recognition)을 이용하여 작업자 인체의 각 관절별 위치와 골격 형태를 얻을 수 있다.

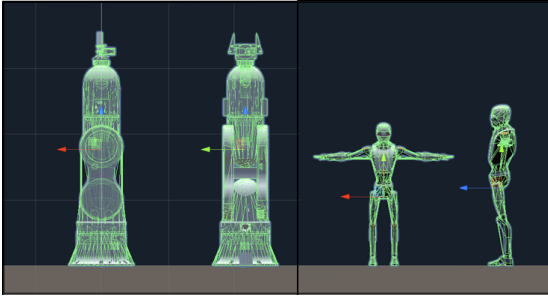
2) 2단계: 모델 가상화(Model Virtualization)

가상 시뮬레이터에서 공정 프로세스를 시뮬레이션하기 위해 실제 공장 환경과 동일한 가상공간 환경을 디자인하고 공정 프로세스에 필요한 공정 모델 가상공간에 복제한다. [Fig. 2]는 공정 모델을 3차원 컴퓨터 그래픽스 소프트웨어로 모델링 한 데이터를 보여준다.



[Fig. 2] Modeling of process model using blender

Step 1에서 작업자 골격의 3차원 좌표 매트릭스는 이 단계에서 가상의 아바타를 생성하기 위해 사용된다. 작업자의 골격에 따라 아바타의 골격이 움직이며, 실제 환경의 작업자와 가상공간에서 아바타의 위치를 동기화하여 위치를 이동시킨다. 공정 모델과 아바타의 충돌을 확인하기 위해 객체와 동일한 충돌체를 생성한다. [Fig. 3]은 가상 시뮬레이터 상에서 생성된 가상 공정 모델과 아바타이다.



[Fig. 3] Process model and avatar generated on the simulator

3) 3단계: 시뮬레이션(Simulation)

가상공간에서 공정 모델과 아바타를 모니터링 및 제어하며, 공정 프로세스에 따라 시뮬레이션을 한다. 이 작업 과정에서 발생하는 공정 모델과 아바타의 충돌 여부를 확인한다.

4) 4단계: 가동 및 시각화(Run & Visualizing)

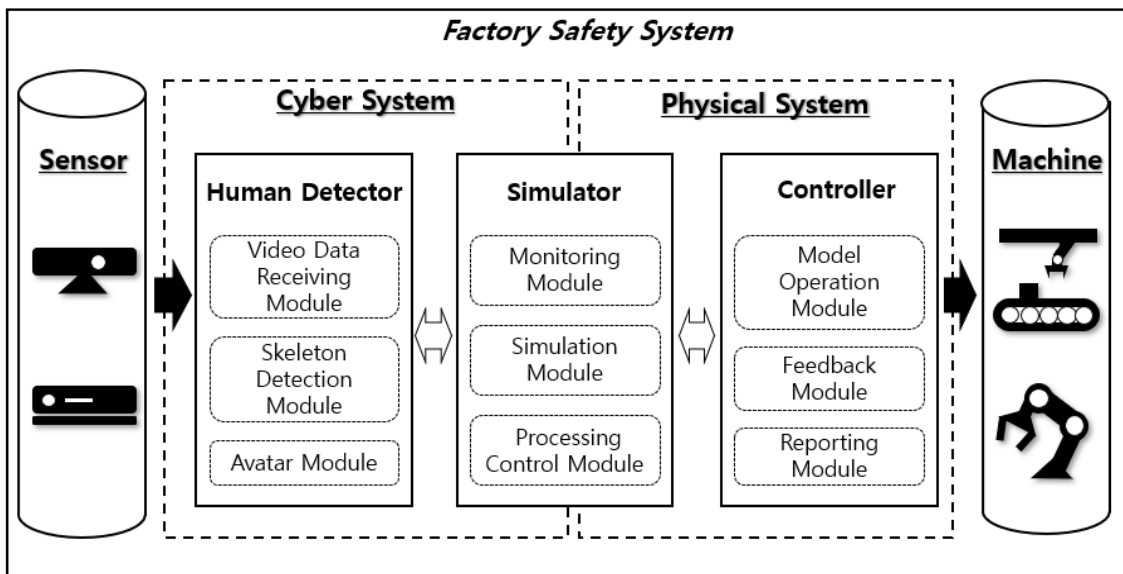
마지막 단계에서는 시뮬레이션의 결과를 통해 생기는 실제 오차 및 안전 여부를 확인하여 실제 세계의 공정 프로세스를 실행하며, 시뮬레이션 및 실제 공정 프로세스의 결과를 가시화한다.

3.2 시스템 구조

공장 안전 제어 시스템의 구조는 크게 센서(Sensor), 가상 시스템(Cyber System), 물리 시스템(Physical System), 기계(Machine)로 나뉘며, 센서는 작업자를 인식하기 위한 깊이 카메라를 말하며, 기계는 공정 프로세스에서 사용되는 공정 모델들을 말한다. 또한 가상 시스템과 물리 시스템은 휴먼 디텍터(Human Detector), 시뮬레이터(Simulator), 제어기(Controller)로 나뉜다. 센서에서 전달받은 비디오 데이터를 통해 휴먼 디텍터로 작업자를 인식하고 시뮬레이터를 통해 설비를 가상 공간에서 시뮬레이션을 한다. 이후 시뮬레이션 결과를 가지고 제어기에서 공정 모델을 작동시키는 구조를 가진다. [Fig. 4]는 이러한 시스템의 전체적인 구조를 나타낸다.

1) 휴먼 디텍터(Human Detector)

시뮬레이터에서 공정 프로세스를 실행하기 위한 작업자를 인식, 영상 처리하는 역할을 한다. 또한 센서의 미들웨어로부터 전달받은 데이터를 통해 가상의 아바타를 생성 및 초기화한다.



[Fig. 4] Architecture of safety control system for factory

a) Video Data Receiving Module: 영상 데이터 수신 모듈은 깊이 카메라의 미들웨어를 통해 영상의 데이터를 전달받는다. 데이터는 각 관절 별 위치 및 RGB32 포맷 형식으로 프레임 등이 전달되며, 영상 프레임은 시뮬레이터에서 가시화된다.

b) Skeleton Detection Module: 관절 인식 모듈은 전달받은 각 관절별 인덱스와 위치를 통해 3차원 골격을 생성하며, 필터를 사용하여 3차원 골격이 실제 작업자와 생기는 오차를 줄인다. 또한 생성한 골격의 객체 및 영상을 제공한다.

c) Avatars Module: 아바타 모듈은 시뮬레이터에 생성된 아바타의 관절들을 인식된 작업자의 관절과 매핑 시키며, 작업자의 상태에 따라 아바타의 관절을 제어한다.

2) 시뮬레이터(Simulator)

가상 시뮬레이터는 공장의 실제 설비 환경을 가상공간에 구축하고 공정 모델 및 아바타를 가상공간의 객체로 생성한다. 공정 프로세스에 따라 제어 및 모니터링을 제공하며, 가상 프로세스의 과정을 가시화한다.

a) Monitoring Module: 모니터링 모듈은 가상공간의 객체인 아바타와 공정 모델을 시뮬레이터의 프레임 단위로 모니터링하며 충돌 발생 여부를 확인한다.

b) Simulation Module: 시뮬레이션 모듈은 가상의 객체들을 공정 프로세스의 순서에 따라 명령대로 제어한다. 제어에 따라 결과 및 공정 상태를 다른 모듈들에게 전달한다.

c) Processing Control Module: 공정 제어 모듈은 공정 프로세스의 전반적인 작업들을 명령 내리고 시뮬레이션 결과에 따라 프로세스를 제어 및 모니터링을 한다. 또한 작업자와 공정 모델 간의

충돌이 발생한 경우 공정 프로세스를 정지시킨다.

3) 제어기(Controller)

제어기는 시뮬레이터의 가상 프로세스 처리 결과에 따라 실제 환경에 있는 공정 모델을 공정 프로세스에 따라 제어한다.

a) Model Operation Module: 공정 모델 운영 모듈은 실제 공정 프로세스를 시뮬레이션 결과에 따라 공정 모델을 작동시키거나 중지시킨다.

b) Feedback Module: 피드백 모듈은 실제 공정 모델의 가상 시뮬레이터의 오차를 줄이고자 동기화 작업을 수행하고 공정 프로세스의 시간 차이를 줄인다.

c) Reporting Module: 리포팅 모듈은 시뮬레이터와 실제 환경의 공정 프로세스 결과를 비교 분석하여 사용자에게 가시화한다.

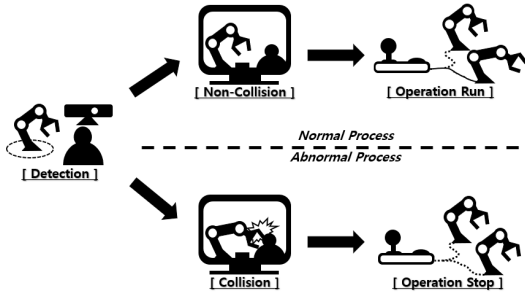
4. 실험 및 결과

본 장에서는 공장 안전 제어 시스템의 데모를 소개하고 1) 작업자 감지 및 인식, 2) 작업자와 공정 모델 간의 충돌 시뮬레이션, 3) 실제 환경의 공정 모델 작동의 3단계 프로세스로 데모 및 실험을 진행한다. 실험을 위해 공정에서 작업하는 6축 로봇 팔 및 제어기를 제작하고 작업자를 인식하기 위한 센서로 RGB-D 카메라를 사용한다.

4.1 프로그램 구조 및 UI

공장 안전 제어 시스템은 작업자와 공정 모델이 나란히 있는 공간에서 RGB-D 카메라를 통해 작업자를 인식하고 시뮬레이터에서 가상의 아바타로 생성한다. 가상 시뮬레이터는 실험 환경과 동일하게 가상공간을 구축하고 실제 환경과 최대한 동기화한다. 시뮬레이터에서는 가상의 공정 프로세스를 생성하여 공정 모델을 제어할 수 있으며, 사용자에게

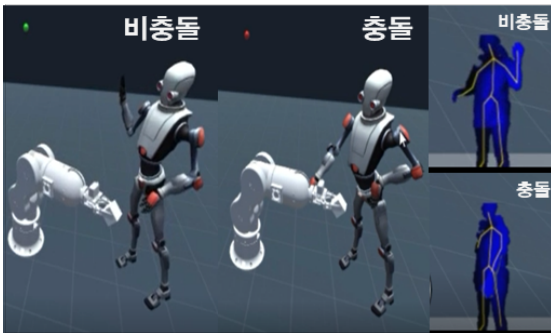
계 공정 프로세스의 상태나 로그를 가시화한다. [Fig. 5]는 이러한 시스템의 시나리오를 도식화한 것이다.



[Fig. 5] Scenarios of Factory Safety Control System

4.2 1 단계: 작업자 감지 및 인식

먼저 작업자와 공정 모델이 나란히 작업하는 공정 프로세스를 기반으로 깊이 카메라를 통해 작업자를 감지 및 인식한다. 인식된 작업자는 가상 시뮬레이터에 아바타로 생성되며, 작업자의 행동과 동일하게 아바타가 움직이도록 한다. [Fig. 6]은 인식된 작업자로부터 생성된 아바타와 공정모델 간의 충돌 여부의 결과를 보여주는 그림이다.



[Fig. 6] The Situation of the collision and the non-collision between the detecting model and the virtual model

4.3 2 단계: 작업자와 공정 모델 간의 충돌 시뮬레이션

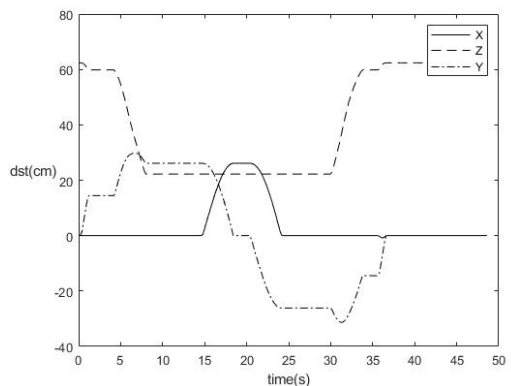
시나리오 과정에서 아바타와 가상의 6축 로봇 팔 간의 충돌 여부를 모니터링하고 충돌이 발생하면 실행 중인 공정 프로세스를 중단시키고 사용자에게 충돌 상태를 가시화한다.

4.4 3 단계: 물리 환경의 6축 로봇 팔 작동

가상 시뮬레이터 결과에 따라 물리 환경의 제어기에 명령을 내려 공정 모델을 제어한다. 충돌이 발생한 경우 제어기에 중단 명령을 내린다.

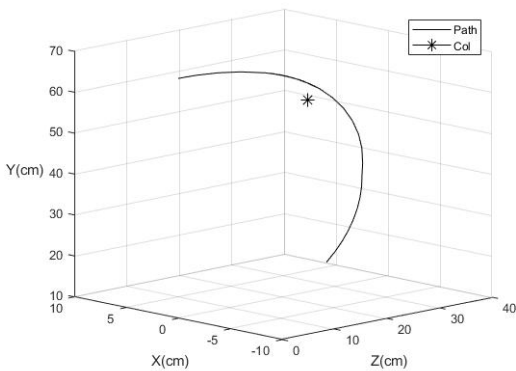
4.5 성능 평가

작업자와 공정 모델이 함께 작업하는 공정 프로세스를 선택하여 시뮬레이터에서 시간 및 로봇 팔 각 축의 3차원 좌표, 로봇 팔의 말단 장치 (End-effector)의 위치를 측정한다. [Fig. 7]은 Pick-Place과정에서 로봇팔의 중단부의 3차원 좌표를 나타낸 그래프이다.



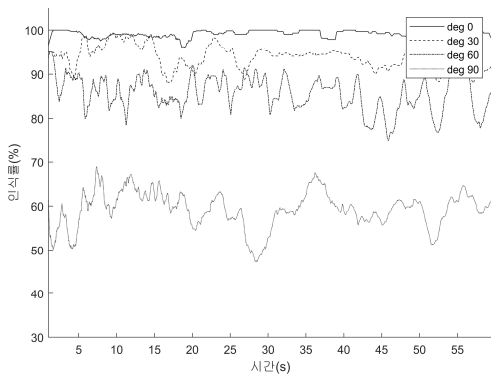
[Fig. 7] Coordinates of the end-effects according to the process

공정 모델이 작업 도중 작업자와의 충돌을 미리 감지하기 위해서는 시뮬레이터의 충돌을 인식하고 실제 설비의 작동을 정지시켜야 한다. 이러한 공정 프로세스 과정에서 로봇팔 종단부의 궤적과 충돌 좌표를 측정한다. 다음은 Pick-Place 과정에서 로봇과 작업자 간의 충돌이 발생한 경우 충돌된 지점과 로봇 종단부의 궤적을 보여주는 그래프이다.



[Fig. 8] Collision of robotic arm and avatar

[Fig. 8]은 로봇팔 종단부 궤적과 아바타의 충돌 지점이 근사하다는 것을 보여준다. 그러나 실제 공장의 환경이나 카메라의 위치에 따라 작업자 인식률과 그에 따른 충돌 지점에 오차가 크게 발생할 수 있다. [Fig. 9]는 카메라와 작업자의 각도에 따른 인식률을 보여주는 그래프이다.



[Fig. 9] Performance between Angle of Camera and Worker

카메라의 위치는 작업자와 수평이 되도록 위치하는 것이 가장 인식률이 좋다. 본 논문에서는 가상의 공정 설비 환경과 프로세스에 대한 시뮬레이션을 실시했지만, 연구실 환경에서 구축된 로봇 팔만을 활용하여 실험을 수행했기 때문에 실제 산업용 로봇에 적용 시 오차가 발생할 수 있다. 따라서 실제 공장 환경에서 적용할 수 있도록 후속 연구를 진행할 필요가 있다.

5. 결론

본 논문에서는 인간과 로봇의 협업 관계에서 물리적 접촉을 최소화하기 위한 사이버-물리 시스템 기반으로 공장 안전 제어를 위한 1) 형상 인지 (Shape Recognition), 2) 모델 가상화(Model Virtualization), 3) 시뮬레이션(Simulation), 4) 가동 및 시각화(Run & Visualizing)의 단계를 제안하였다. Unity 3D 엔진을 기반으로 사이버-물리 시스템을 구현하였으며 제안 사항을 통해 비전 센서를 기반으로 작업자와 동일한 아바타와 공정모델 간의 충돌 상태를 확인 할 수 있었다. 사이버-물리 시스템 관점에서 제조설비를 정확하게 모니터링하기 위해서는 실시간 및 고 신뢰성을 위한 작업자의 데이터 수집이 중요한 요소가 된다. 그러나 충돌 회피를 구현하기 위해 실제 환경의 작업자와 가상공간의 공정모델 간의 충돌하기 때문에 실시간으로 매우 위험한 제조공정에서 악영향을 미칠 수 있다. 이는 실시간 공정 시스템을 적용해 충돌회피가 아닌 충돌감지를 구현함으로써 해결될 수 있다. 또한 본 논문에서는 충돌을 위해 가상의 충돌 시나리오를 사용했기 때문에 실제 충돌 발생하는 데이터를 통한 검증이 필요하다. 따라서 실시간 공정을 구현하기 위한 사이버-물리 시스템 및 실시간 시뮬레이션에 대한 연구를 통해 충돌 좌표를 줄일 수 있도록 차후 연구에서 다룰 예정이다.

ACKNOWLEDGMENTS

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2020-2018-0-01426)

REFERENCES

- [1] T. K. Sung, “Industry 4.0: A Korea perspective,” *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 132, pp. 40 - 45, Jul. 2018.
- [2] J. Lee, B. Bagheri, and H.-A. Kao, “A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems,” *Manufacturing Letters*, vol. 3, pp. 18 - 23, Jan. 2015.
- [3] A. A. F. Saldivar, Y. Li, W. Chen, Z. Zhan, J. Zhang, and L. Y. Chen, “Industry 4.0 with cyber-physical integration: A design and manufacture perspective,” in *2015 21st International Conference on Automation and Computing (ICAC)*, 2015.
- [4] B. Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Mukherjee, and B. Yin, “Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 6505 - 6519, 2018.
- [5] L. Monostori et al., “Cyber-physical systems in manufacturing,” *CIRP Annals*, vol. 65, no. 2, pp. 621 - 641, 2016.
- [6] Q. Min, Y. Lu, Z. Liu, C. Su, and B. Wang, “Machine Learning based Digital Twin Framework for Production Optimization in Petrochemical Industry,” *International Journal of Information Management*, vol. 49, pp. 502 - 519, Dec. 2019.
- [7] M. H. Cintuglu, O. A. Mohammed, K. Akkaya, and A. S. Uluagac, “A Survey on Smart Grid Cyber-Physical System Testbeds,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 1, pp. 446 - 464, 2017.
- [8] S. Robla, J. R. Llata, C. Torre-Ferrero, E. G. Sarabia, V. Becerra, and J. Perez-Oria, “Visual sensor fusion for active security in robotic industrial environments,” *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2014, no. 1, Jun. 2014.
- [9] S. Robla-Gomez, V. M. Becerra, J. R. Llata, E. Gonzalez-Sarabia, C. Torre-Ferrero, and J. Perez-Oria, “Working Together: A Review on Safe Human-Robot Collaboration in Industrial Environments,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 26754 - 26773, 2017.
- [10] L. Wang et al., “Symbiotic human-robot collaborative assembly,” *CIRP Annals*, vol. 68, no. 2, pp. 701 - 726, 2019.
- [11] H. Liu and L. Wang, “Remote human - robot collaboration: A cyber - physical system application for hazard manufacturing environment,” *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 54, pp. 24 - 34, Jan. 2020.
- [12] A. De Santis, B. Siciliano, A. De Luca, and A. Bicchi, “An atlas of physical human - robot interaction,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 43, no. 3, pp. 253 - 270, Mar. 2008.
- [13] S. Haddadin, A. De Luca, and A. Albu-Schaffer, “Robot Collisions: A Survey on Detection, Isolation, and Identification,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 33, no. 6, pp. 1292 - 1312, Dec. 2017.
- [14] J. Vorndamme, M. Schappler, and S. Haddadin, “Collision detection, isolation and identification for humanoids,” in *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2017.
- [15] P. Aivaliotis, S. Aivaliotis, C. Gkournelos, K. Kokkalis, G. Michalos, and S. Makris, “Power and force limiting on industrial robots for human-robot collaboration,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 59, pp. 346 - 360, Oct. 2019.
- [16] Y. J. Heo, D. Kim, W. Lee, H. Kim, J. Park, and W. K. Chung, “Collision Detection for Industrial Collaborative Robots: A Deep Learning Approach,” *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 4, no. 2, pp. 740 - 746, Apr. 2019.

- [17] M. K. Lee, K. P. Tang, J. Forlizzi and S. Kiesler, "Understanding users! Perception of privacy in human-robot interaction," 2011 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), 2011, pp. 181-182.
- [18] D. I. Park, C. Park, and J.-H. Kyung, "Design and analysis of direct teaching robot for human-robot cooperation," in 2009 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing, 2009.
- [19] T. Heikkila, T. Seppala, and T. Kuula, "Remote services with cyber physical robotics," in 2017 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT), 2017.
- [20] D. D'Auria and F. Persia, "A Collaborative Robotic Cyber Physical System for Surgery Applications," in 2017 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI), 2017.
- [21] L. Chen, H. Wei, and J. Ferryman, "A survey of human motion analysis using depth imagery," Pattern Recognition Letters, vol. 34, no. 15, pp. 1995 - 2006, Nov. 2013.
- [22] Z. Zhang, "Microsoft Kinect Sensor and Its Effect," IEEE Multimedia, vol. 19, no. 2, pp. 4 - 10, Feb. 2012.



조 성 현 (Jo, Seonghyeon)

약 력 : 2020-현재 경북대학교 전자공학 석사과정
2020 한국산업기술대학교 컴퓨터공학부 (학사)

관심분야 : CPS, Artificial Intelligence



정 인 호 (Jung, Inho)

약 력 : 2006-현재 한국산업기술대학교 전자공학과 교수
2005 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
2001 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1997 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1995 경북대학교 전자공학과 학사
관심분야 : CPS, MMIC, 고주파 수동회로



고 동 범 (Ko, Dongbeom)

약 력 : 2018-현재 한국산업기술대학교
스마트팩토리융합학과 박사과정
2018 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 (석사)
2016 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 (학사)

관심분야 : CPS, Autonomic Computing, Artificial Intelligence



박 정 민 (Park, Jeongmin)

약 력 : 2014-현재 한국산업기술대학교 교수
2012-2014 한국전자통신연구원 선임연구원
2008-2012 동양미래대 조교수
2008 성균관대학교 컴퓨터공학과(박사)
2005 성균관대학교 컴퓨터공학과(석사)
2003 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 (학사)

관심분야 : CPS, Autonomic Computing, Software Engineering