

oneM2M 표준 IoT 플랫폼 기반 디지털 트윈 관제 시스템

유태람, 신성한, 여승연, 권용현, 김유진, 김재호*
세종대학교

{taeram, seonghan, seungyeon, yonghyun, kimyj}.sejong@gmail.com, *kimjh@sejong.ac.kr

oneM2M standard IoT Platform based Digital Twin Monitoring Control System

Taeram Ryu, Seonghan Shin, Seungyeon Yeo, Yonghyun Kwon, Yujin Kim, Jaeho Kim*
Sejong University

요 약

최근 대규모 시설 관리를 위해 이기종 센서를 통합 운용하는 관제 시스템과 디지털 트윈 기반의 운영 시스템이 확대되고 있다. 이기종 센서를 이용함으로써 발생하는 데이터 형식 불일치 문제를 oneM2M 표준 IoT 플랫폼으로 해결하였으며 이를 이용한 디지털 트윈 기반 관제 시스템을 설계하였다. 본 논문에서는 oneM2M 표준 IoT 플랫폼 기반 디지털 트윈 관제 시스템을 제안하고, 세종대학교 캠퍼스 시뮬레이션 환경에서 시스템 검증을 진행하고 동기화 성능을 평가하였다.

I. 서 론

공장, 물류창고, 캠퍼스와 같은 대규모 시설 관리 분야에서는 이기종 센서를 통합하여 운용하는 관제 시스템에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있다[1]. 관제 시스템은 단순 모니터링 뿐만 아니라 가상-현실 간 동기화를 통해 시뮬레이션을 이용한 분석 및 예측으로 시설 관리를 할 수 있는 디지털 트윈 기반으로 확장되고 있다[2].

관제 시스템에 디지털 트윈을 적용하기 위해서는 관측, 제어 데이터를 실시간으로 안정적이게 관리할 수 있는 데이터 관리 솔루션이 필요하다. oneM2M 표준 기반 IoT 플랫폼을 활용하면 데이터 구조와 접근 방식을 표준화된 형태로 관리할 수 있다[3-6].

본 논문은 oneM2M 표준 IoT 플랫폼을 가상-현실 동기화 미들웨어로 활용하여 로봇 상태 및 제어 데이터를 표준 리소스 트리에서 처리하는 oneM2M 표준 IoT 플랫폼 기반 디지털 트윈 관제 시스템을 제안한다. 또한 세종대학교 캠퍼스를 모델링한 가상 환경에서 시스템 검증을 진행하고 동기화 성능에 대해 평가하였다.

II. 시스템 설계

1. 시스템 개요

본 시스템은 물리 환경과 가상 환경을 표준 IoT 플랫폼을 이용하여 동기화한 디지털 트윈 구조를 가진다. 그림 1은 현실의 로봇과 CCTV에서 수집된 관측 데이터가 플랫폼을 통해 가상 환경에 동기화되고 사용자의 제어 명령이 플랫폼을 거쳐 로봇에게 전달되는 시스템 구조를

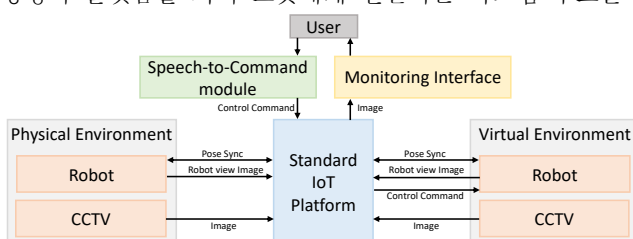


그림 1. oneM2M 표준 IoT 플랫폼 기반 디지털 트윈 관제 시스템 구조도

나타낸다. 시스템은 현실 환경과 가상 환경의 데이터 동기화를 담당하는 표준 IoT 플랫폼, 모니터링을 위한 인터페이스, 음성 기반 명령 생성을 담당하는 Speech-to-Command 모듈로 구성했다.

2. 세부 모듈 설명

2.1 표준 IoT 플랫폼

표준 IoT 플랫폼은 가상-현실 간 데이터를 동기화하는 미들웨어 역할을 수행한다. 플랫폼은 이기종 센서로부터 취득한 데이터를 표준 리소스 트리 구조로 정규화 하여 통합 관리한다. 로봇 상태, 센서 데이터, 관측 데이터는 리소스 경로에 기록되며 현실 로봇은 해당 리소스를 참조하여 가상 공간 내 로봇의 위치와 동기화 한다. 이와 같이 표준 IoT 플랫폼을 통해 구성 요소 간 데이터 구조를 통일하고 가상-현실 간 실시간 위치 동기화를 확보하였다.

2.2 Speech-to-Command 모듈

Speech-to-Command 모듈은 사용자 음성 명령을 로봇이 이해 가능한 제어 명령으로 변환한다. 음성 명령은 Whisper[8]를 통해 텍스트로 변환되고 로봇 식별 정보, 의도, 목적지 좌표, 등 제어에 필요한 정보를 파라미터로 추출된다. 추출 결과는 사전 정의된 JSON 스키마로 변환하여 표준 IoT 플랫폼의 제어 리소스로 전송된다. 로봇은 해당 리소스를 구독하고 명령 생성 시 동작한다. 이와 같은 음성 기반 제어는 관제 인터페이스 조작을 줄여 사용자의 조작 편의성을 높였다.



그림 2. 표준 IoT 플랫폼 구성 및 데이터 업로드



그림 3. 관제 시스템 인터페이스
(<https://youtu.be/Ffce82yAQzQ>)

표 1. Mobius에서의 디지털 트윈 동기화 속도 측정

| Method | Direction | Message rate (Hz) | Latency mean (ms) |
|--------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| Subscription | Physical to Simulation | 24.921 | 52.958 |
| | Simulation to Physical | 24.894 | 45.038 |
| Polling | Physical to Simulation | 24.532 | 96.998 |
| | Simulation to Physical | 23.634 | 98.979 |

III. 실험

세종대학교 캠퍼스를 모델링한 Isaac Sim[9]에서 표준 IoT 플랫폼인 Mobius[10]를 활용하여 본 시스템의 유효성을 검증하였다.

1. 시스템 검증

그림 2와 그림 3과 같이 로봇과 CCTV의 관측 데이터가 리소스 트리에 저장되고 관제 인터페이스에 출력됨을 확인하였다. 또한 Speech-to-Command 모듈을 통해 사용자 음성이 JSON 형식의 제어 명령으로 변환되어 로봇에 전달되어 동작됨을 확인하였다.

2. 성능 평가

가상-현실 동기화 속도를 평가하기 위해 데이터 갱신 방식에 따른 지연 시간과 메시지 전송률을 측정하였다. 동기화 속도 평가는 로봇 상태 메시지를 Mobius에서의 구독 기반 갱신과 폴링 기반 갱신으로 나누어 각각 1분 동안 측정하였다. 지연 시간은 송수신 시각의 시간 차이를 계산하였고 전송률은 단위 시간당 수신 메시지 개수로 계산하였다.

실험 결과는 표 1과 같다. 구독 기반 갱신 방식에서는 현실에서 가상 세계로는 52.958 ms, 가상 세계에서 현실 세계로는 45.058 ms의 지연 시간과 평균 24.908 Hz 전송률을 유지하였다. 반면, 폴링 방식은 현실에서 가상 세계로는 96.998 ms, 가상 세계에서 현실로는 98.979 ms의 지연 시간과 평균 24.083 Hz 전송률을 기록하였다. 구독 방식이 폴링 방식에 비해 전체 지연 시간이 97.961 ms 감소하였으며 전송 효율도 0.825 Hz 높은 것을 확인하였다.

IV. 결론

본 논문은 이기종 장치 통합과 가상-현실 동기화를 위해 oneM2M 표준 IoT 플랫폼 기반 디지털 트윈 관제 시스템을 제안하고, 시뮬레이션 환경에서 평가하였다. 평가 결과 제안한 시스템의 관제 적용 유효성을 확인했으며, 구독 기반 갱신이 폴링 기반 갱신 대비 더 낮은 동기화 지연과 높은 전송률을 보였다. 제안 시스템은 표준 리소스 구조를 기반으로 장치 추가 및 교체 시의 연동 복잡도를 낮출 수 있는 구조를 제공한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-대학ICT연구센터(ITRC)의 지원(IITP-2026-RS-2021-II211816)과 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 정보통신방송혁신인재양성(메타버스융합대학원)사업 연구 지원(IITP-2026-RS-2023-00254529)과 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단, 무인이동체원천기술개발사업단의 지원을 받아 무인이동체원천기술개발사업을 통해 수행되었음.(RS-2020-NR117734)

참고 문헌

- [1] 장지호, 나기인, 신호철, “멀티모달 센서 기반 실외 경비로봇 기술 개발 현황,” 전자통신동향분석, vol. 37, no. 1, pp. 1-9, 2022.
- [2] A. P. Pomè and M. Signorini, “Digital Twin in Facility Management: a survey to determine the market perception in adopting digital technologies,” in Proceedings of the 41st International Conference of CIB W78, Marrakech, Morocco, Oct. 2024, pp. 1- 11.
- [3] C. E. Arias, J. C. Ortiz, J. D. Jiménez, E. U. Parra, and J. F. Botero, “MSOAH-IoT: A middleware based on service oriented architecture for heterogeneity issues within the Internet of Things,” Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, vol. 32, no. 10, pp. 1108-1116, 2020.
- [4] M. Troscia, A. Sgambelluri, F. Paolucci, P. Pagano and F. Cugini, “Scalable OneM2M IoT Open-Source Platform Evaluated in an SDN Optical Network Controller Scenario,” Sensors, vol. 22, no. 2, art. No. 431, 2022.
- [5] J. Kim, et al., “Standard-based IoT platformsinterworking: Implementation, experiences,and lessons learned,” in IEEE Commun. Mag.,vol. 54, no. 7, pp. 48-54, Jul. 2016.(<https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.7514163>)
- [6] J. Swetina, G. Lu, P. Jacobs, F. Ennesser, andJ. Song, “Toward a standardized commonM2M service layer platform: Introduction tooneM2M,” in IEEE Wireless Commun., vol. 21, no. 3, pp. 20-26, Jun. 2014.(<https://doi.org/10.1109/MWC.2014.6845045>)
- [7] D. Jones, C. Snider, A. Nassehi, J. Yon, and B. Hicks, “Characterising the Digital Twin: A systematic literature review,” CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol. 29, pp. 36- 52, 2020, doi: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.
- [8] A. Radford, J. W. Kim, T. Xu, G. Brockman, C. McLeavey, and I. Sutskever, “Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision,” in Proceedings of the 40th International Conference on Machine Learning (ICML 2023), Proc. Mach. Learn. Res., vol. 202, pp. 28492-28518, 2023.
- [9] NVIDIA. Isaac Sim (Version 4.2.0) [Computer software]. <https://github.com/isaac-sim/IsaacSim>
- [10] Mobius, Retrieved Jan. 20, 2023, from <https://github.com/IoTKETI/Mobius>