

연합 디지털 트윈 기반 예측 및 의사결정 시스템 설계

최진철, 박찬원

한국전자통신연구원

{spiders22v, cwp}@etri.re.kr

Design of Prediction and Decision Making System based on Federated Digital Twin

Jinchul Choi, Chanwon Park

Electronics Telecommunications and Research Institute

요약

디지털 트윈은 현실 세계의 물리 대상을 디지털 대상으로 미러링해 분석하거나 시뮬레이션함으로써 현실 세계의 문제를 해석하거나 예측하여 시스템을 개선하고 최적화하는 기술이다. 현재까지 디지털 트윈은 현실 세계의 단일 사물이나 시스템에 국한된 최적화가 주를 이루었다. 그러나 향후에는 다양한 도메인의 디지털 트윈의 등장이 예상되는바 다수의 디지털 트윈이 연합하여 협업함으로써 여러 인과요인이 연계된 복잡한 문제 해결하는 연합 디지털 트윈으로 발전이 예상된다. 본 논문에서는 다양한 디지털 트윈들이 상호연계 및 합동하여 하나의 조직체화된 연합 디지털 트윈을 구성하고, 연합 디지털 트윈을 통해 수집되는 다양한 도메인의 데이터를 기반으로 복잡한 현실 세계에 대한 예측이나 의사결정을 제공하는 시스템을 설계한다.

I. 서론

디지털 트윈은 물리적 사물이나 시스템을 디지털로 표현한 기술이다. 본질적으로 디지털 트윈은 물리적 대상이나 시스템의 실제 데이터를 취득하고, 모델링하여 대상 시스템이 어떠한 영향을 받는지 예측하거나 시뮬레이션하는 컴퓨터 프로그램이다. 초기 디지털 트윈은 현실 데이터 동기화를 통한 실시간 감시 및 관제 서비스를 위한 목적으로 주로 활용되었다. 그러나 최근에는 모델링과 시뮬레이션 기술의 비약적인 발전과 더불어 사물인터넷, 인공지능, 빅데이터 애널리틱스, 가상현실 기술과의 융합을 통해 예측, 예방, 최적화 등을 위한 목적으로 디지털 트윈의 활용도가 증대되고 있다[1-3].

디지털 트윈은 이처럼 점차 지능화되고 있으나 현실 세계의 현상들은 유기적이고 복잡적이기 때문에 현재처럼 사일로(silo)화되어 고립된 디지털 트윈은 활용성에 제한이 따르게 된다. 따라서 향후에는 다양한 분야의 디지털 트윈들이 상호 연합하여 협력하는 연합 디지털 트윈으로 진화되어 현실의 복잡한 문제를 해결할 것으로 예상된다[4]. 그러나 연합 디지털 트윈 구축은 복잡한 작업이며, 디지털 트윈들을 연합시키기 위한 방법론이나 표준화된 플랫폼에 대한 개념은 아직 초기 단계이다[5-6].

본 논문에서는 다양한 개별 물리 대상에 대한 디지털 트윈들이 상호연계 및 합동하여 하나의 조직체화된 연합 디지털 트윈을 구성하고, 연합 디지털 트윈을 통해 수집되는 다양한 도메인의 데이터를 기반으로 복잡한 현실 세계에 대한 예측이나 의사결정을 제공하는 시스템을 설계한다.

II. 본론

본 논문에서는 사용자 요구사항에 부합하는 예측이나 의사결정 서비스를 제공을 위해 다양한 분야의 디지털 트윈을 선택해 연합 디지털 트윈을 구성하고, 구성된 연합 디지털 트윈을 통해 수집된 데이터와 서비스 모델을 기반으로 사용자에게 적절한 응답 결과를 제공하는 연합 디지털 트윈 서비스 시스템을 설계한다. 그림 1은 사용자 요구사항에 의해 서비스 모델

을 준비하고, 서비스 모델 활용에 필요한 연합 디지털 트윈을 구성하여 추론 및 의사결정 서비스를 제공하는 일련의 시스템 동작 프로세스를 보여준다.

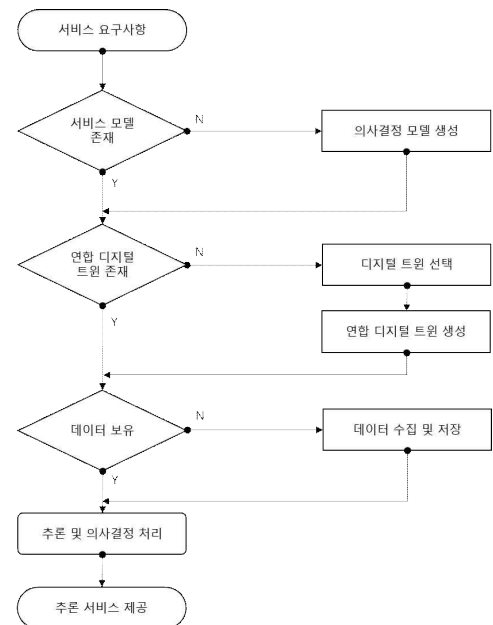


그림 1. 연합 디지털 트윈 구성 및 예측 서비스 제공을 위한 연합 디지털 트윈 서비스 시스템 동작 프로세스

제한하는 시스템의 동작 순서는 다음과 같다. 디지털 트윈을 통한 예측 및 의사결정 서비스를 이용하려는 사용자는 서비스 요구사항 및 명세를 생성하여 시스템에 우선적으로 제공해야 한다. 시스템은 사용자의 요구사항에 따른 응답 서비스를 제공할 수 있는 서비스 모델의 보유 여부를 확인한다. 사용자 서비스 요구사항은 현실 세계의 현상 분석이나 예측, 최적 의사결정 등이 포함된다. 이때 시스템이 해당 서비스 모델을 보유하고 있

지 않으면, 서비스를 제공하기 위한 의사결정 모델을 생성하는 과정을 거치게 된다.

의사결정 모델은 양적, 질적 방식과 두 방식의 혼합형태, 머신러닝과 딥러닝 모델로 표현될 수 있다. 양적 모델은 물리 모델이나 수리 모델처럼 수학적 연산에 기반하여 숫자 형태의 결과로 표현되며, 질적 모델은 상호 의존성과 인과관계, 행태를 탐색하는 모델이다. 머신러닝과 딥러닝 모델은 알려진 데이터 세트를 학습하여 경험하지 못한 새로운 데이터 세트에서 패턴이나 상관관계를 찾거나 이를 근거로 의사결정을 내릴 수 있는 프로그래밍이다.

의사결정 모델이 생성되면 모델에 입력 데이터를 제공하기 위한 연합 디지털 트윈의 구성 여부를 판단한다. 만약 해당 의사결정 모델이 필요한 데이터를 제공할 수 있는 연합 디지털 트윈이 존재하지 않으면 연결할 수 있는 디지털 트윈들 중 요구 서비스에 적합한 데이터를 제공할 수 있는 디지털 트윈들을 선별하여 논리적인 연합 디지털 트윈으로 구성한다. 연합 디지털 트윈이 구성되면 모델의 입력으로 사용될 수 있는 데이터 보유 여부를 확인한다. 데이터를 보유하고 있지 않으면, 시스템은 연합 디지털 트윈을 구성하고 있는 개별 디지털 트윈이 데이터를 현행화하도록 요청한다. 이렇게 수집된 데이터는 의사결정 모델의 입력 데이터로 활용되어 추론 또는 의사결정 결과를 도출하게 된다. 이러한 일련의 추론 결과는 사용자에게 의사결정 서비스로 제공되게 된다.

그림 2에 특정 지역의 기상 변화로 인해 홍수나 태풍 등의 재난 발생 예측 분석과 재해/재난 발생 시 대피나 대응 방안 등의 서비스를 제공하는 예를 나타내었다. 구체적으로 사용자로부터 재난 발생 여부를 예측하는 요구사항이 입력되면, 대기 유체 움직임, 기온, 습도, 풍량, 풍속 등의 요소로 구성된 예측 모델과 재난 발생에 따른 대응 모델을 생성시키고, 모델 입력 데이터를 제공할 수 있는 해당 지역의 디지털 트윈, 예를 들어 지역별 기상, 수자원 관리, 위성 등 재난관리 정보 및 기상 관련 정보를 제공할 수 있는 디지털 트윈과 재난 발생 시 구조, 구난 서비스 제공이 가능한 디지털 트윈들을 연동시켜 연합 디지털 트윈으로 구성한다. 구성된 연합 디지털 트윈은 모델 입력을 위한 데이터를 수집, 저장한다. 그리고 해당 데이터와 예측 모델을 이용하여 재난/재해 발생을 예측한다. 마지막 예측된 결과를 바탕으로 사용자에게 예측과 대응 정보를 제공하거나 공공 사회 안전 서비스 제공자들이 선제적으로 재난에 대응하도록 경고한다.

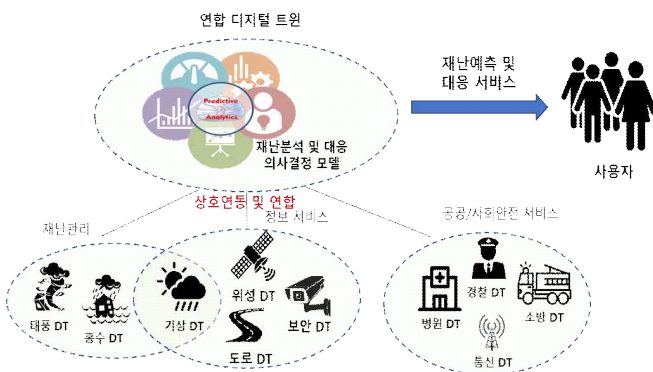


그림 2. 연합 디지털 트윈 기반 재난/재해 예측 및 대응 서비스 예시

그림 3은 제안하는 시스템의 구성요소와 데이터 인터페이스를 보여준다. 사용자는 연합 디지털 트윈을 활용해야 하는 예측 및 의사결정 서비스 요구사항을 서비스 관리부에 제공한다. 서비스 관리부는 서비스 요구사항을 충족할 수 있는 의사결정 모델을 모델 저장소로부터 제공받는다. 만약 요구하는 의사결정 모델이 없으면 서비스 모델 생성부가 신규 모델을 생성하여 모델 저장소에 제공하게 된다.

연합 디지털 트윈 관리부는 서비스 관리부가 제공받은 모델의 입력 데이터를 제공하는 게이트웨이 역할을 담당한다. 따라서 연합 디지털 트윈 관리부는 의사결정 모델의 입력 데이터 제공할 수 있는 디지털 트윈들을 선택해서 연합시키고, 각 디지털 트윈으로부터 데이터를 수집해서 서비스 관리부에 제공한다. 서비스 관리부는 서비스 모델과 입력 데이터 세트를 의사결정부에 전달하게 되며, 의사결정부는 이를 활용하여 연합 디지털 트윈 기반의 예측, 추론, 최적 의사결정 등의 결과를 출력하고 사용자에게 제공하게 된다.

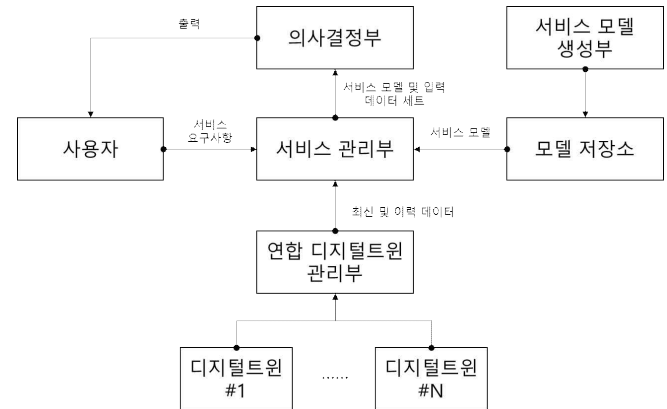


그림 3. 시스템 구성요소 및 데이터 인터페이스

III. 결론

본 논문에서는 다양한 디지털 트윈들이 협력하여 하나의 연합 디지털 트윈으로 조직체화되어 복잡한 현실 세계에 대한 예측이나 의사결정을 제공하는 시스템을 설계하였다. 향후에는 설계한 시스템을 구현하고 테스트 베드 구축을 통해 시스템의 기능과 성능을 검증할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 100%지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2022-0-00438, (총괄, 1세부) 지능형 디지털 연합트윈 운용 및 예측 핵심기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] M. E. Miller and E. Spatz, "A unified view of a human digital twin," *Human-Intelligent Systems Integration*, vol. 4, pp. 23-33, 2022.
- [2] M. Segovia, J. Garcia-Alfar, "Design, Modeling and Implementation of Digital Twins," *Sensors*, vol. 20, pp.5396, 2022.
- [3] S. Jamil, M. Rahman and A. Fawad, "Comprehensive Survey of Digital Twins and Federated Learning for Industrial Internet of Things (IIoT), Internet of Vehicles (IoV) and Internet of Drones (IoD)," *Appl. Syst. Innov.* vol. 5, no. 3, 2022.
- [4] 정득영, 김상태, 김연배, "디지털 트윈의 기술적 정의와 세부적 발전 5단계(level) 모델," *주간기술동향*, 1983호, pp.15-27, 2021. 02. 10.
- [5] E. Y. Song, M. Burns, A. Pandey and T. Roth, "IEEE 1451 Smart Sensor Digital Twin Federation for IoT/CPS Research," 2019 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), pp. 1-6, 2019.
- [6] S. P. Ramu, et al. "Federated learning enabled digital twins for smart cities: Concepts, recent advances, and future directions," *Sustainable Cities and Society*, vol. 79, 2022.