

물리시스템 연동 서비스 지원 디지털 연합트윈 스케줄 방안 분석

하범수, 김원태*

*한국기술교육대학교

habemsu@koreatech.ac.kr, *wtkim@koreatech.ac.kr

Digital Twin Association Scheduling Analysis For Physical System Interworking Services

Ha Beom Su, Kim Won Tae*

*Korea University of Technology and Education

요 약

통신, 컴퓨팅, 센서 기술의 발전으로 물리 시스템들은 더욱 다양한 종류의 임무를 수행할 수 있게 진화되었으며, 동종 이종 물리시스템들을 집단으로 구동하여 더욱 큰 규모의 임무를 수행할 수 있다. 대규모 집단 물리시스템의 원활한 운용과 물리시스템들의 상호작용을 최적화하여 임무 수행 성능을 향상시키기 위해서 디지털 연합트윈이 필요하다. 본 논문에서는 디지털 연합트윈 구동의 핵심 기능 중 스케줄링을 설명하기에 앞서, 사이버 물리시스템, 디지털 트윈, 디지털 연합트윈을 설명하고 사이버 물리시스템 스케줄링, 디지털 트윈 스케줄링, 그리고 디지털 연합트윈 스케줄링까지 분석하였다.

I. 서 론

통신기술의 발전으로 동전만한 크기의 통신 모듈로 데이터 전송이 가능하며, 컴퓨팅 기술의 발전으로 점차 많은 연산이 가능하며, 센서기술의 발전으로 소형화와 경량화가 이루어지고 있다. 이러한 기술들의 발전으로 이제는 단순한 물리시스템이 아니라 지능성, 신뢰성, 안전성, 실시간성, 보안성 등의 사이버적 요소(3C : Communications, Computations, Control)가 강화된 물리시스템인 CPS(Cyber-Physical Systems)가 등장하였다. CPS는 농업, 교육, 에너지, 환경, 의료 장치, 보안, 스마트시티, 스마트제조, 교통 시스템 등의 분야에서 활발히 연구 중이다[1].

우리가 살아가는 환경은 항상 예측할 수 없는 변수가 존재하며, 이는 환경을 변화시키고 CPS의 임무 수행에 영향을 미치는데, 이러한 변수들에 대처할 수 있게 도와주는 기술이 디지털 트윈이다. 2003년 Michael Grieves 박사에 의해 처음 알려진 디지털 트윈은 물리시스템과 자연환경의 사이버 복제품으로, CPS와 항상 연결되어 데이터를 지속적으로 수집하여 CPS의 현재/미래 상태 판단/예측/분석을 통한 최적화 기능을 제공한다[2]. 제조업에서 먼저 연구되었으나 현재는 항공 우주, 에너지, 자동차, 해양, 석유, 농업, 의료 및 공공 부문에서 널리 활용되고 있다[3].

CPS의 연구가 진행됨에 따라 동종 혹은 이종의 CPS들을 함께 구동하여 더욱 큰 규모의 복잡한 임무를 수행하려는 연구들이 있다. 디지털 트윈이 CPS의 최적화를 위한 소프트웨어라면, 다수의 CPS 상호작용을 최적화하기 위해서는 디지털 트윈 집합이 필요하다. 이것이 디지털 연합트윈(Digital Twin Association)이다. 디지털 연합트윈은 동종·이종 디지털 트윈들의 논리적 집합으로, 개별 CPS들 간의 정보의 공유와 협업 임무 계획을 수립하며, 최적화 계산을 통해 디지털 트윈들에게 임무를 부여한다.

스케줄링이란 한정된 자원을 최대한 효율적으로 사용하는 방법이다[4]. 효율성은 완료 시간 단축, 개별 대기시간 단축과 같은 기준에 따라 달라진다. 정해진 기준에 부합하도록 각각의 작업에 한정된 자원을

할당한다. 대표적인 스케줄링으로는 한정된 CPU 자원을 효율적으로 활용하기 위해, 프로세스에 CPU를 할당하는 컴퓨팅 분야의 프로세스 스케줄링과 머신에 잡을 할당하는 제조 분야의 잡 스케줄링이 있다. 본 논문에서는 물리시스템의 스케줄링, 디지털 트윈의 스케줄링 그리고 나아가 디지털 연합트윈에서의 스케줄링에 대하여 분석하려 한다.

II. 디지털 연합트윈 스케줄링 방안 분석

디지털 트윈이 구성되고 동작하기 위해서는 디지털 트윈 스케줄링이 필요하며, 디지털 연합트윈 또한 구성되고 동작하기 위해서는 스케줄링이 필요하다. 디지털 연합트윈 스케줄링에 대한 분석에 앞서 CPS 스케줄링과 디지털 트윈 스케줄링에 대한 정의와 분석이 선행되어야 한다.

CPS 스케줄링은 CPS가 임무를 수행하기 위한 CPS의 센싱, 액츄에이팅, 컴퓨팅, 그리고 통신 기능의 최적 조합을 결정하는 것이다. CPS의 한정된 자원은 임무 수행 시간, 시간당 연산량, 통신 대역폭이 있다. 배터리를 탑재하거나, 임무 수행 시간이 제한되어있을 수 있으며, 탑재된 연산 보드에 따라 실시간 최대 연산량이 제한되고, 통신 방법과 환경에 따라 통신량이 제한된다. 일반적인 스케줄링은 한가지 제한자원을 고려하여 작업들을 분배한다면, CPS 스케줄링은 앞서 언급한 제한자들이 독립되어있지 않고, 긴밀하게 연관되어 있기에 스케줄링이 어렵다. CPS 최적 스케줄링을 위해서는 CPS 기능들의 자원 소모량과 기능의 실행 시간과 순서에 따른 자원 소모량의 변화를 예측하여 최적의 스케줄을 생성해야 한다.

디지털 트윈 스케줄링은 CPS의 최적화를 위하여 디지털 트윈의 예측, 제어, 그리고 최적화와 같은 행위의 최적 조합을 결정하는 것이다. 디지털 트윈의 행위란 디지털 트윈의 기능과 역할에 따라 정의되는 디지털 트윈의 동작 방식으로, 디지털 트윈 내부적으로 실행하는 프로시저이다. 디지털 트윈의 한정된 자원은 CPS와 동일하게 고려하나, 디지털 트윈이 클라우드에서

실행되는 상황처럼 디지털 트윈의 위치에 따라 자원의 양은 다를 수 있다. 스케줄링의 결과물로는 CPS의 현재 상황에 맞게 데이터 수집 주기를 조절하고, 최적화의 순서와 시기를 조절하게 된다.

앞서 CPS 스케줄링과 디지털 트윈 스케줄링을 구분하였는데, 연산 능력이 더욱 높고 발전된 디지털 트윈은 CPS 스케줄링을 디지털 트윈에서 수행할 수 있다. 디지털 트윈은 연결된 물리시스템의 최적화를 위하여 시각화, 인공지능, 그리고 시뮬레이션 기술을 적용할 수 있는데, 인공지능과 시뮬레이션 기술을 활용하여 CPS의 임무 수행을 위한 최적의 기능 조합을 예측·판단할 수 있다.

디지털 연합트윈 스케줄링은 CPS들의 공동 임무 수행을 위해 디지털 연합트윈 기능 스케줄링과 디지털 연합트윈 행위 스케줄링이 모두 진행되어야 한다. 디지털 연합트윈 기능 스케줄링이란 개별 CPS들의 기능을 동시에 고려하여 역할을 분배하고 하위 임무를 할당하는 기능 중심의 스케줄링이다. 물리시스템의 특성상 하나의 기능이 환경과 다른 물리시스템들의 상태 그리고 기능의 성능에까지 영향을 줄 수 있기에, 전자의 경우 각각의 물리시스템의 상태, 기능, 상호작용, 환경을 긴밀히 고려한 스케줄링이 필요하다. 디지털 연합트윈 행위 스케줄링은 CPS들의 운영에 있어 지속적인 모니터링과 최적화를 진행할 수 있게 돕는 행위 중심의 스케줄링이다. 개별 CPS의 최적화가 전체 시스템의 최적화와 차이가 날 수 있기에 전체 시스템의 최적화를 위해 행위 스케줄링이 진행되어야 한다.

III. 결론

본 연구에서는 사이버 물리시스템, 디지털 트윈, 디지털 연합트윈과 각 시스템의 내부에서 동작해야 하는 스케줄링 기능에 대하여 설명하였다. 디지털 연합트윈 스케줄링은 반드시 필요한 기능이지만 많이 연구가 진행되지 않았으므로, 향후 연구에서는 디지털 연합트윈 스케줄링의 하위 구성 모듈에 대한 정의와 구성방안을 연구할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 50% 지원을 받아 수행된. (No. 2022-0-00438, (총괄.1세부) 지능형 디지털 트윈 연합 운용 및 예측 핵심기술 개발) 또한 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신산업진흥원(NIPA-D0335-22-1022)의 지원을 받아 수행되었음

참 고 문 헌

- [1] Hong Chen, "Applications of Cyber-Physical System: A Literature Review," Journal of Industrial Integration and Management, Vol. 1, No. 3, 2017.
- [2] 김원태 et al, "자율형 물리 시스템을 위한 디지털 트윈 기술," 한국통신학회지(정보와통신), 37권, 7호, pp. 9-21, 2020.
- [3] Martin Enders et al, "Dimensions of digital twin applications-a literature review," 25th Americas Conference on Information Systems (AMCIS), Cancún, Mexico, 2019.
- [4] Qiyuan Luo et al, "Resource Scheduling in Edge Computing: A Survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 23, no. 4, pp. 2131-2165, 2021.