

# 디지털 트윈을 이용한 항만 컨테이너 적재 최적화에 관한 연구

김유경, 남정희, 양정은, 유채원, 하재복, 권혁준\*

한국폴리텍대학 대전캠퍼스 메타버스콘텐츠과

## Study on Optimization of Port Container Operations Using Digital Twins

Kim Yoo-Kyung, Nam Jeong-Hee, Yang Jeong-Eun, Yu Chae-Won,  
Ha Jae-Bok, Kweon Hyeok-Jun\*  
Korea Polytechnic IV Daejeon Campus, Department of Metaverse contents

### 요 약

This paper is a study on optimization of port container loading using digital twin technologies. It simulated and evaluated the performance of port container loading optimization using ML-agent's PPO (Proximal Policy Optimization) reinforcement learning algorithm. Through this, the study was conducted to help realize time and cost savings and energy optimization through efficient operation of containers in ports. In this algorithm, optimization was performed through the reinforcement learning process at 375,000 times.

### 1. 서론

항만 물류 산업은 효율성 극대화과 비용 절감을 위해 지속적인 기술 혁신이 요구되고 있다. 특히, 디지털트윈(Digital Twin)과 인공지능기술의 융합은 항만 자동화 시스템의 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있는 중요한 요소로 주목받고 있다. 본 연구는 디지털트윈을 통해 항만의 컨테이너를 3D모델링 한 후 강화학습을 이용하여 항만 운영의 효율성과 경제성을 증대시키고, 더 나아가 안전성을 강화할 수 있는 방안을 제시하였다. 이를 통해 스마트 항만 구축을 위한 기술적 기반을 마련하는 데 기여하고자 한다.

### 2. 연구 동기 및 목적

본 연구는 항만 컨테이너 최적화 운영을 위해 디지털 트윈과 강화학습을 이용하여 복잡한 물류 문제를 해결하고 현장 상황에 맞는 최적화 방안을 찾아 항만 컨테이너의 효율최적화 및 그것을 수행할 수 있는 플랫폼 개발을 하였으며 그것을 통해 물류효율 극대화하는 방안을 찾는 것을 연구의 목적으로 한다.

### 3. 연구 방법

디지털트윈과 강화학습 알고리즘을 이용하여 진행 하였으며 특히, Unity를 사용한 3D 가상 크레인 모델을 통해 항만 운영을 시뮬레이션하고, Proximal Policy Optimization (PPO) 알고리즘을 적용하여 컨테이너에 설정된 우선순위를 기반으로 항만 적재 크레인의 작업효율을 최적화하여 수행하는 방법을 모색하였다.

연구 수행 과정은 다음과 같다.

1. 디지털 트윈 기반 시뮬레이션 환경 구축
2. 강화학습을 통한 최적화 전략 개발
3. H/W 모형 크레인을 통해 강화학습을 통해 최적화된 모델을 적용한 실험 진행
4. 강화학습 최적화 결과 TensorBoard를 통해 웹서버화하여 실시간 결과 분석 및 공유

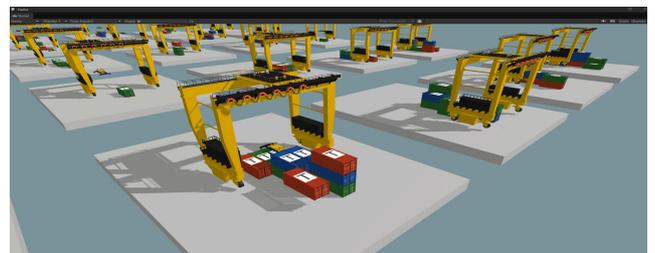


Fig. 1 Digital Twin Simulation with PPO

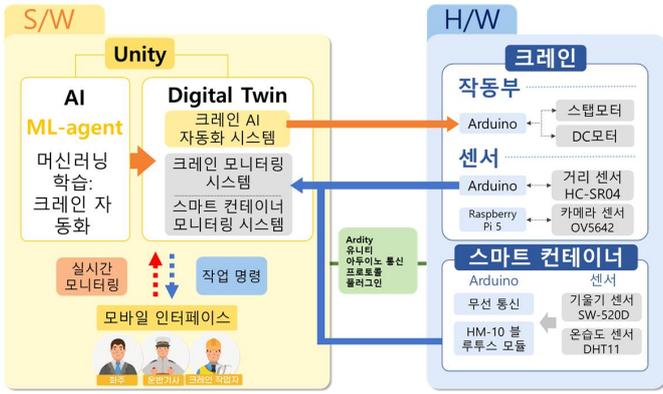


Fig. 2 Total System Diagram

Table. 1 Hyperparameters in learning process

Trainer Type: PPO
Batch Size: 128
Buffer Size: 20480
Learning Rate: 0.0003
$\beta$ : 0.001
$\epsilon$ : 0.2
$\lambda$ : 0.95
Num Epoch: 4
Learning Rate Schedule: Constant
Hidden Units: 128
Num Layers: 2
Normalization: Enabled
$\gamma$ : 0.99
Max Steps: 1,000,000

4. 실험 결과

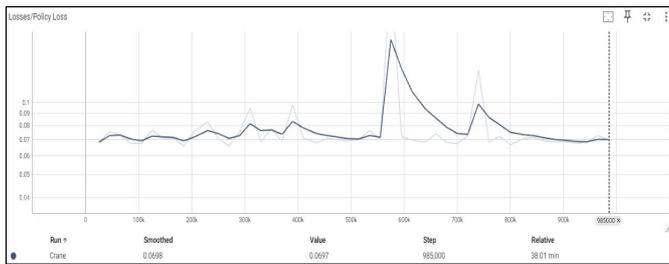


Fig. 3 Losses/Policy Loss

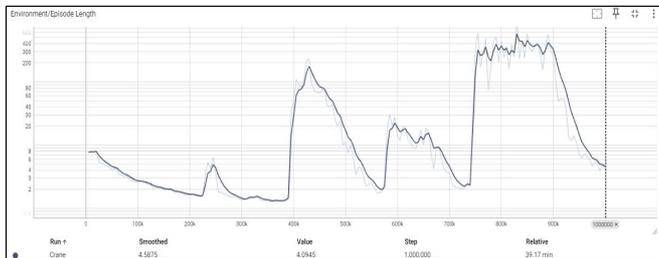


Fig. 4 Episode Length

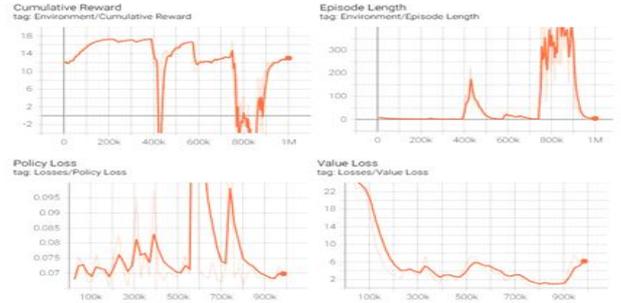


Fig. 5 Experiment Results

실험 결과 최적화는 375,000스텝에서 이루어졌으며, 약 400,000 스텝 이전까지 보상이 비교적 안정적으로 증가하며, 이후 변동성을 보였다. 학습 초기에는 일정한 최적화가 이루어지지만, 특정 지점 이후에는 환경의 복잡성 또는 에이전트가 최적화를 실패하면서 보상이 급락하는 현상을 보였다. 특히, 약 800,000 스텝 이후에는 성능이 떨어졌다가 회복되는 경향을 보이며, 최종적으로 1,000,000 스텝에 도달할 때 보상이 상승하며 어느 정도 최적화된 상태로 다시 유지되었다.

5. 결론

디지털 트윈과 강화학습 기반 크레인 시뮬레이션 컨테이너 적재 작업의 효율성을 크게 개선할 수 있음을 확인하였으며, 딥러닝을 통해 시간 및 에너지 효율성을 개선시킬수 있었다. 디지털트윈기술이 항만 컨테이너 적재 최적화 문제를 해결하는 데 있어 매우 유용한 도구가 될 수 있음을 보여주었다.

6. 토의

강화학습의 안정성 문제를 해결하기 위한 추가 연구가 필요함을 확인하였으며, 다음은 본 연구를 정리한 URL이다.

<https://www.youtube.com/watch?v=RcylkFdFzGY>

본 논문은 해양수산부 실무형 해상물류 일자리 지원 사업(스마트해상물류 x ICT멘토링)을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.

참고문헌

1. Huang, S., et al, "The 37 Implementation Details of Proximal Policy Optimization," in ICLR Blog Track, 2022.
2. Chloe Ching-Yun Hsu, undefined. Celestine

Mendler-Dünner, undefined. Moritz Hardt, "Revisiting Design Choices in Proximal Policy Optimization," 2020.

3. Arthur Juliani, et al, "Unity: A General Platform for Intelligent Agents," 2020.