2024년 춘계학술발표대회 : 일반부문

심층강화학습 기반 경로계획을 통한 순찰로봇의 작업자 개인보호장비(PPE) 인식

Personal Protection Equipment(PPE) Detection with Learning-based Mobile Robot Navigation

○박 진 식* 윤 성 부** 박 문 서*** 안 창 범***
Park, Jinsik Yoon, Sungboo Park, Moonseo Ahn, Changbum

Abstract

Occlusion presents a significant challenge in construction site monitoring, obstructing the effective detection of workers' personal protection equipment (PPE). However, research leveraging mobile robots to overcome occlusion for such purposes has been relatively limited, highlighting a notable gap in existing methodologies. In response, this paper proposes a reinforcement learning-based navigation designed specifically to navigate around occlusions, enhancing the detection capabilities of object detection models in identifying PPE. Findings from this study demonstrated that this approach has the potential to achieve higher accuracy compared to traditional fixed camera systems. By effectively addressing the occlusion problem, it is expected for robots to offer a more adaptable solution for worker safety monitoring.

키워드 : 건설 로봇, 안전관리, 객체인식, 가림현상, 심층강화학습
Keywords : Construction Robot, Safety Management, Object Detection, Occlusion, Deep Reinforcement Learning

1. 서론

최근 컴퓨터 비전 기술의 발전은 건설 산업에 큰 영향을 미치고 있다. 특히, 객체 인식(Object Detection) 기술은 개인보호장비(PPE) 사용 감지와 위험 구역 식별 같은 건설현장 모니터링 자동화에 활용 가능하며(조영운, 2021), 이 기술을 탑재한 지능형 CCTV의 도입이 점점 증가하는 추세이다(김재민, 2023). 하지만 관찰 대상과 센서 사이의 시야장애물로 인한 가림현상(Occlusion)은 객체 인식 모델의 정확도를 크게 떨어뜨려 지능형 CCTV의 현장 활용성에 치명적인 영향을 끼치고 있다.

반면, 순찰로봇을 활용한 동적 모니터링 시스템은 다각도에서 건설현장 이미지를 수집함으로써 객체인식모델을 탑재한 지능형 CCTV에서 발생하는 가림현상을 해소할 가능성을 가진다. 하지만 건설현장의 복잡한 환경 변화 속에서 순찰로봇을 효과적으로 운용하는 것은, 특히 경로계획 측면에서 상당한 도전을 제시한다. 따라서, 순찰로봇의 효율적인 현장 적용을 위해서는 다양한 장애물과 동적인 환경 변화에 효과적으로 대응하며 자율적으로 경로를 결정하는 경로계획 알고리즘에 대한 모색이 필요하다.

이러한 배경을 바탕으로, 본 연구는 건설현장에서 순찰로봇을 이용한 작업자의 개인보호장비(PPE) 인식에 주목하며, 객체 인식 모델의 가림현상을 극복하고, 로봇이 건설현장의 동적인 환경 변화에 능동적으로 적응할 수 있도록 심층강화학습 기반의 경로 계획 방법을 개발한다.

* 서울대 건축공학과 석사과정
** 서울대 건축공학과 박사과정
*** 서울대 건축공학과 교수, 공학박사
(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Seoul National University, cbahn@snu.ac.kr)
이 논문은 2023년도 인공지능 선도·혁신 연구센터 지원사업과의 융·복합 연구과제 지원사업(RS.0668-20220195)의 지원을 받아 수행된 연구임.

2. 선행연구 고찰

2.1 가림 현상(Occlusion)

가림현상은 인식 대상인 물체가 다른 물체로 인해 부분적이거나 전체적으로 가려지는 현상으로, 객체 인식 모델의 정확도 및 활용성에 부정적인 영향을 준다. 특히, 건설현장은 그 특성상 다양한 동적 요소와 복잡한 환경으로 인해 가림현상이 빈번히 발생하는 공간으로, 이는 특히 작업자의 개인보호장비(PPE) 인식과 같은 안전 모니터링 작업의 정확도를 감소시켜 효율성 문제로 이어진다.

반면, 가림현상을 극복하고 정확도를 향상시키기 위한 연구들은 대부분 고정된 카메라를 활용하며, 카메라에서 수집한 정보를 통해 장애물로 가려진 시야를 딥러닝 및 인공지능 모델로 예측하는 연구가 주로 이루어졌다(Li, 2022). 그러나 이러한 접근 방식은 가림현상으로 인한 정확도 하락을 개선할 수 있지만, 근본적인 시야의 한계를 극복하지 못하며 고정된 카메라에서 수집한 정보 내에서 추측이 이루어진다. 이에, 본 연구는 순찰로봇을 활용한 객체 인식 시스템을 통해 기존의 고정 카메라 방식의 주요 한계점을 극복하고자 한다.

2.2 심층강화학습 기반 경로계획

강화학습을 활용한 경로계획은 로봇의 경험적 학습을 통해 동적인 환경에서의 실시간 의사결정 능력과 장애물 대응 능력을 기르는데 효과적이다. 이에, 초기 연구들은 순찰로봇이 기본적인 탐색 문제, 예를 들어 미로 찾기나

장애물 회피 등을 환경과의 상호작용을 바탕으로 학습하는 데 초점을 맞췄다(Beom, 1995). 반면, 최근에는 객체인식을 목적으로 하는 경로계획 연구들도 일부 진행되었으나(Du, 2021), 대부분 다수의 물체 중 인식 대상인 물체를 찾는 방향으로 연구되어 단일 객체의 가림현상을 중점적으로 다루는 데에는 한계가 있다.

3. 순찰로봇 경로계획 알고리즘

본 연구의 순찰로봇은 가상환경(Gazebo Simulator) 내에서 작업자의 개인보호장비(PPE) 중 안전줄(Lifeline)을 인식하는 임무를 수행한다. 해당 목적을 가진 경로 계획 알고리즘을 학습하기 위해 객체 인식의 정확도에 중점을 두는 강화학습 환경을 설계하고 학습한다.

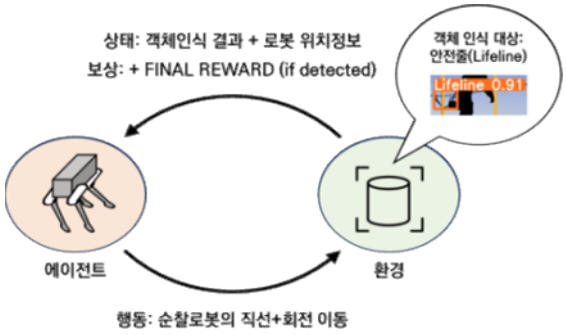

그림 1. 객체인식을 위한 경로계획 강화학습 환경 설계

3.1 강화학습 환경 구현

학습을 위한 환경 설계는 상태 공간(State Space), 행동 공간(Action Space), 보상함수(Reward Function)의 설계로 이루어진다. 에이전트(순찰로봇)의 시간에 따른 상태를 나타내는 상태공간은 로봇의 위치정보와 해당 위치에서 객체인식모델의 인식결과를 포함한다. 에이전트(순찰로봇)의 행동공간은 순찰로봇이 자율적으로 이동할 수 있게 이동의 방향과 속도로 구성된다. 한 에피소드(Episode) 내에서 순찰로봇은 주어진 상태-행동 공간에 따라 자율적으로 공간을 탐색하며 안전줄 인식에 성공한 경우 양의 보상(Reward)과 함께 에피소드가 종료되며, 인식하지 못한 경우에는 시간이 지남에 따라 보상이 점점 감소한다.

또한, 순찰로봇의 행동을 학습하기 위해서는 상태를 입력값(Input), 행동을 결과값(Output)으로 하는 심층 신경망(Deep Q-Network, DQN)을 구성하였다. 해당 심층신경망은 각 에피소드에서 순찰로봇이 자율적으로 탐색한 경험에 따라 최대의 보상을 얻을 수 있게 학습한다.

3.2 학습 결과

앞서 설계된 강화학습 환경에 따라 안전줄(Lifeline)을 인식하는 순찰로봇을 학습시킨 결과, 순찰로봇은 학습 후 53.9%의 정확도로 안전줄을 인식하였다. 이에 비해 지능형 CCTV를 모방한 고정형 카메라 방식을 동일 환경에서 실험한 결과 12.3%의 낮은 정확도를 보였다. 다만, 해당 결과는 가림현상을 가정한 특수한 상황에서 대한 실험 결과로, 일반적인 상황에서 지능형 CCTV은 이보다 높은 정확도를 보일 것이다.

[그림 2]는 제안된 환경에서 학습된 순찰로봇의 탐색 경로를 시각화한 것으로, 순찰로봇이 작업자를 기준으로 회전하며 다각도에서 관찰하는 행동양상을 보인다.

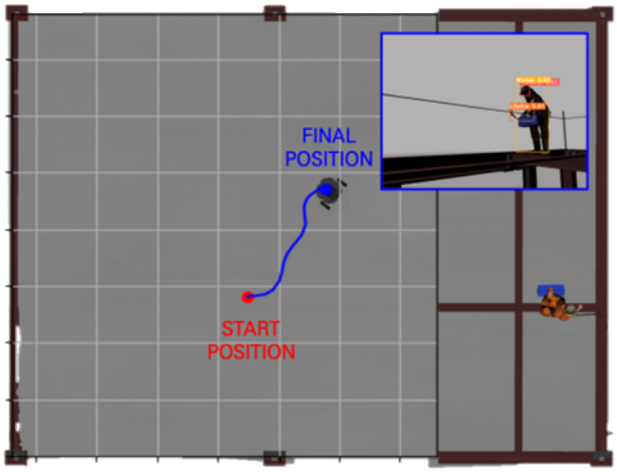

그림 2. 심층강화학습을 통해 학습된 순찰로봇의 탐색경로

4. 결론

건설현장에서 작업자 안전관리의 신모니터링을 위해 객체 인식 모델의 가림현상은 극복해야 한다. 하지만, 고정된 카메라를 사용한 정적인 모니터링 방식은 근본적인 관찰시야의 한계를 극복하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 순찰로봇의 카메라를 통해 작업자의 개인보호장비(PPE)를 인식하기 위한 경로계획 기법을 학습하는 강화학습 환경을 개발하였다. 이렇게 학습된 순찰로봇은 정적인 모니터링 시스템의 객체인식 정확도를 크게 개선할 것으로 예상된다. 또한, 순찰로봇을 통한 작업자 모니터링 방식은 다양한 각도에서 작업자의 정보를 수집함으로써 데이터의 품질을 향상시키며, 강화학습을 통해 능동적으로 복잡한 건설현장에 적응할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 조영운, 강경수, 손보식, & 류한국. (2021). 건설 현장 CCTV 영상을 이용한 작업자와 중장비 추출 및 다중 객체 추적. 한국건축시공학회지 (JKIBC), 21(5), 397-408.
2. 김재민, & 유정호. (2023). 건설현장 안전관리를 위한 지능형 CCTV 의 활용 현황 및 한계 분석. 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집, 23(1), 203-204.
3. Li, Z., & Li, D. (2022). Action recognition of construction workers under occlusion. Journal of Building Engineering, 45, 103352.
4. Beom, H. R., & Cho, H. S. (1995). A sensor-based navigation for a mobile robot using fuzzy logic and reinforcement learning. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 25(3), 464–477.
5. Du, H., Yu, X., & Zheng, L. (2021). VTNet: Visual Transformer Network for Object Goal Navigation. In arXiv [cs.CV]. arXiv. http://arxiv.org/abs/2105.09447