

산업현장 안전관리를 위한 이동형 로봇의 현장 실증 연구

장지호*, 박정호

한국전자통신연구원 필드로보틱스연구실

changjh@etri.re.kr, parkjh@etri.re.kr

Development of Robot-Based Autonomous Collaborative Intelligence System for Industrial Safety Management

Jiho Chang*, Park, Jeong-HO

Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 연구에서는 정유공장 및 전력소와 같은 산업현장에서 안전 모니터링 및 설비 상태 점검을 목적으로 하는 이동형 로봇의 현장 실증 연구를 수행하였다. 개발된 플랫폼은 여러 지점에 설치된 인공지능 기반 영상 인식을 통해 아날로그 게이지 데이터를 자동으로 획득하고, 안전모 미착용 및 인원 쓰러짐과 같은 위험 상황을 실시간으로 검출한다. 로봇의 이동 경로 설정, 자율 주행, 센서 데이터 수집 및 이상상태 판단 기능을 실제 현장 환경에서의 테스트베드 실험을 통해 검증하여 현장 운영 중 발생 가능한 안전사고 및 설비 이상을 탐지하고 산업현장의 효율적인 안전관리에 기여할 수 있음을 확인하였다.

I. 서 론

최근 제조산업은 디지털 전환을 통해 안전(Safety), 공정 효율(Efficiency), 품질(Quality)의 향상을 목표로 다양한 지능형 시스템을 도입하고 있다. 제조현장 내 사람(작업자)과 자율 이동 로봇이 동일 공간에서 협업하는 환경이 증가하면서, 이들의 효율적인 협력과 안전 관리가 중요 과제로 부상하고 있다. 특히 완전 자율(L5) 제조 시스템의 구현이 기술적 한계로 아직 어려운 현실에서 인간과 로봇 간 협업 지능 기술 개발이 필수적이다. 본 연구에서는 이러한 배경을 바탕으로, 정유공장과 전력단지에서 로봇 기반의 이상상황 감지와 설비 관리 기술을 현장 실증하고 그 효과성을 평가하였다.

II. 관련 선행 연구

산업현장에서 로봇 기술을 활용한 안전 관리 시스템은 최근 다양한 연구들을 통해 활발히 진행되고 있다. 특히, 현장 내 아날로그 센서 데이터를 실시간으로 자동 인식하고 이를 디지털화하여 관리 효율성을 높이는 연구들이 주목받고 있다.

Reitsma 등은 다양한 산업 환경에서 아날로그 게이지의 자동 인식 및 디지털화 기술을 개발하여 현장에서의 실질적인 적용 가능성을 입증하였다. 이 기술은 게이지의 종류와 형태에 상관없이 높은 인식률을 나타내어, 산업 환경에서 안정적이고 효율적인 데이터

관리가 가능함을 보였다[1]. 또한, Milana 등은 비정형 환경에서도 안정적으로 게이지를 판독할 수 있는 GAUREAD 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 위치 탐지부터 바늘 위치 추정 및 스케일 판독까지 종합적인 접근을 통해 정확성을 확보하였다[2].

Trairattanapa 등은 YOLOv5 및 EfficientNetV2 알고리즘을 결합하여 실시간으로 다수의 아날로그 게이지를 인식할 수 있는 시스템을 제안하였다. 이 연구에서는 기존 연구들과 달리 다수의 게이지를 동시에 처리하여 산업 현장에서의 높은 실용성을 입증하였다[3].

본 연구는 이러한 선행 연구들의 장점들을 통합적으로 활용하여 실제 정유공장 및 전력단지의 복잡한 현장 환경에 적용하여 시스템의 성능과 효율성을 평가하였다.



그림 1. 전체적인 로봇 시스템 요약도

III. 연구 환경 및 시스템 구성

본 연구는 2023 년과 2024 년에 각각 정유공장과 전력단지 현장에서 진행되었다. 연구의 전체적인 시스템은 다수의 로봇을 활용하여 순찰 로봇과 고정형 센서가 협력하며 이상상황을 탐지하고 정밀 점검 로봇이 현장으로 출동하여 확인하는 방식으로 구성되었다(그림 1).

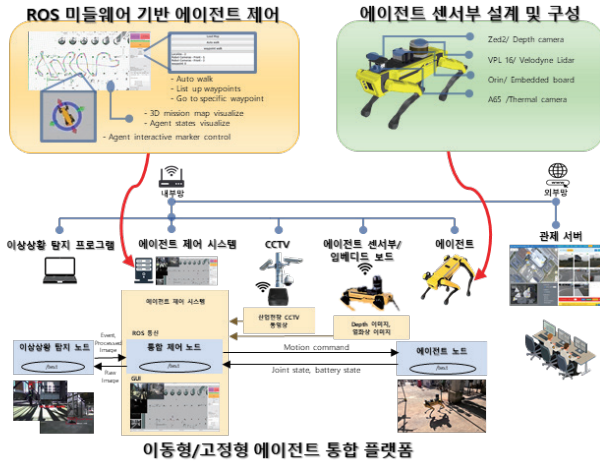


그림 2. 정유공장 로봇 시스템 개요도

2023 년 정유공장 연구는 울산의 정유공장 내 시설에서 진행되었으며, ROS 미들웨어 기반으로 사족보행 로봇과 고정형 CCTV 를 활용한 이상상황 감지 시스템을 구축하였다(그림 2). ROS 미들웨어를 통해 로봇 및 센서 에이전트의 실시간 제어와 데이터 처리를 효율적으로 관리할 수 있었다. 이 환경은 실제 산업현장을 반영한 다양한 장애물과 센서 사각지대가 존재하는 복잡한 환경으로 구성되었다.



그림 3. 전력단지 테스트베드 협업 시스템 개요도

2024 년 전력단지 연구는 전력연구원 내부의 연소 테스트 공장에서 진행되었으며, 실내외가 혼재된 복합 환경을 활용하였다(그림 3). 현장은 특정 구역의 시야 확보가 어려운 점, 다양한 장애물과 위험 요소 등 산업적 특성을 잘 반영하고 있었다. 이 연구에서는 두 대의 이동형 로봇과 고정형 센서를 통합적으로 운영하여 다중 로봇 협력 시나리오를 구축하고, 게이지 데이터 및 이상상황 인식의 정확성을 높였다.

각각의 현장에서는 로봇의 제어와 데이터 처리를 위한 중앙 서버가 구축되어, 게이지 데이터와 이상상황 정보를 실시간으로 분석하고 기록할 수 있는 환경을 마련하였다.

이를 통해 작업자가 실시간 대응을 가능케 하고 시스템 운영의 효율성을 높였다.

IV. 연구 결과

정유공장 실증에서는 한 대의 이동형 로봇을 통해 작업자의 안전장비 착용 여부 및 쓰러짐 등 이상상황을 효과적으로 탐지하였다. 중앙 서버와의 실시간 데이터 공유를 통해 현장 관리자가 즉각적인 대응을 할 수 있었으며, 기존의 CCTV 와의 협력으로 모니터링의 신뢰성과 효율성을 높였다.

전력단지 실증에서는 두 대의 이동형 로봇 간 협력과 고정형 센서의 활용으로 시스템의 정확성과 신뢰성이 크게 향상되었다. 게이지 인식의 신뢰도가 낮거나 실패했을 경우 다른 로봇이 추가 점검을 실시하여 데이터를 확보하였으며, 고정형 센서에서 이상상황이 탐지된 경우 로봇이 즉시 이동하여 상황을 확인하는 신속한 대응 체계를 구축하였다. 이를 통해 복잡하고 역동적인 산업 환경에서 다중 로봇 기반 자율협업 시스템의 실질적 적용 가능성을 명확히 입증하였다.

V. 결론

본 연구는 실제 산업현장에서 로봇 기반의 자율협업지능 시스템을 개발하고 현장 실증을 통해 시스템의 성능과 효율성을 검증하였다. 연구 결과, 로봇 시스템의 협력적 운영과 센서 융합 기술이 실시간 데이터 수집과 이상상황 감지에 효과적임을 확인하였다. 이러한 기술은 향후 다양한 산업 환경에서의 확장 적용과 지속적인 기술 발전을 통해 제조 산업의 안전 관리 및 효율성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국전자통신연구원 기본사업의 일환으로 수행되었음. [25ZBS1210, 산업현장에서의 사람-이동체-공간 자율 협업지능 원천기술 개발]

참 고 문 헌

- [1] M. Reitsma, J. Keller, K. Blomqvist and R. Siegwart, "Under pressure: learning-based analog gauge reading in the wild," 2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Yokohama, Japan, 2024, pp. 14-20
- [2] Milana, Edoardo, Oscar Hernán Ramírez-Agudelo, and Jacob Estevam Schmiedt. "Autonomous Reading of Gauges in Unstructured Environments" Sensors 22, no. 17: 6681, 2022.
- [3] V. Trairattanapa et al., "Real-time Multiple Analog Gauges Reader for an Autonomous Robot Application," 2022 17th International Joint Symposium on Artificial Intelligence and Natural Language Processing (iSAI-NLP), Chiang Mai, Thailand, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/iSAI-NLP56921.2022.9960268.