

드론을 활용한 항만 컨테이너 검수 보조 시스템 설계

신현태, 이명훈*

*국립순천대학교

sy4448441@naver.com, leemh777@scnu.ac.kr

Designing an Assisted Port Container Inspection System Using Drones

Shin hyun tae, Lee MyeongHun*

*Sunchon National Univ.

요 약

본 연구는 항만 컨테이너의 검수 자동화를 위해 드론 기반 촬영 시스템과 인공지능 영상 분석 기술을 결합한 자동 검수 보조 시스템을 설계하고, 그 성능을 시험 환경에서 정량적으로 검증하였다. 시스템은 Pixhawk 4 기반 자율비행 드론과 Raspberry Pi HQ 카메라, ESP32-CAM 영상 송신기를 통해 컨테이너를 다방향(정면, 후면, 좌·우측, 상부)에서 촬영하며, 수신된 영상은 Jetson Nano 모듈에서 실시간 분석된다. 영상 분석은 RCNN 기반 손상 탐지, YOLO 기반 자물쇠 탐지, CRNN+OCR 기반 일련번호 인식 알고리즘으로 구성되며, 탐지 결과는 컨테이너별로 자동 저장된다. 실험 결과, 손상 탐지 정확도는 85.3%, 자물쇠 탐지는 82.4%, 일련번호 인식은 88.6%를 기록하였으며, 평균 5초 이내의 처리 시간을 통해 실시간 보조 시스템으로서의 성능을 확인하였다. 본 시스템은 기존 수작업 중심의 검수 방식 대비 분석 정확도와 효율성을 향상시키며, 검수의 자동화 및 정량화 가능성을 제시한다. 향후 야간 촬영 대응, 컨테이너 구조 다양성 보완, 분석 결과의 행정 연계 확대 등을 통해 실증 기반의 현장 적용 가능성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

I. 서 론

최근 국내 드론 산업은 농업, 에너지, 물류 등 다양한 분야로 빠르게 확장되고 있으며, 정부의 전략적 육성과 기술 고도화에 힘입어 핵심 산업 도구로 자리 잡고 있다. 정부는 2032년까지 세계 5대 드론 강국 진입을 목표로 설정하고 있으며, 이에 따른 지원 정책과 R&D 투자가 활발히 이루어지고 있다 [1]. 이러한 흐름 속에서 글로벌 물류량의 지속적 증가와 더불어, 항만 운영의 효율성과 안전성 확보는 국가 물류 경쟁력 강화를 위한 핵심 과제로 부상하고 있다. 특히 컨테이너 터미널에서의 검수 작업은 수출입 흐름의 신뢰성과 직결되는 주요 절차임에도 불구하고, 현재까지도 상당 부분 수작업에 의존하고 있어 인적 오류, 검수 누락, 현장 작업자의 안전 문제 등이 반복적으로 발생하고 있다. 정부는 항만 운영의 신뢰성을 확보하기 위해 제도적 기반을 지속적으로 정비하고 있다. 해양수산부는 「컨테이너 안전점검 기준(해양수산부 고시 제2023-72호)」을 통해 수출입 화물용 컨테이너에 대한 외관 상태, 프레임 변형, 도어 및 락킹바 작동 여부, 일련번호 식별 여부 등을 주요 점검 항목으로 규정하고 있으며, 검사기관의 지정 요건과 절차도 함께 명시하고 있다[2]. 또한 「위험물컨테이너 등의 점검에 관한 요령」을 통해 위험물 컨테이너에 대한 별도 안전관리 기준을 마련함으로써, 항만 내 화물 검수의 제도적 기반을 강화하고 있다[3]. 그러나 이러한 점검 기준이 제도적으로 마련되어 있음에도, 현장의 실제 검수 작업은 여전히 육안 확인과 수기 기록에 의존하고 있어 다양한 실무적 한계에 직면해 있다. 현재 검수는 전문 인력인 검수사에 의해 수행되며, 적하목록 확인, 컨테이너 번호 및 외관 상태 점검, 선적 위치 확인 등 일련의 절차를 통해 화물의 과부족, 파손, 오적 여부를 수작업으로 판별한다. 일반적으로 크레인 1기당 2인이 1조를 이루어 작업하며, 1시간당 25~30개, 최대 2000개 이상의 컨테이너를 처리하는 고밀도 작업 환경에서 반복적인 시각 검수와 문서화가 병행된다 [4]. 이러한 환경은 작업자의 주관적 판단 편차, 정보 누락, 손상 부위 식별 오류 등 오류 가능성을 높이며, 이는 검수 정확도 저하뿐 아니라 전체 물류 흐름의 지연과 안전사고 위험으로도 이어질 수 있는 구조적 문제로 작용하고 있다. 따라서 정형화된 점검 기준에 부합하면서도 자동화와 정량적 분석이 가능한 기술 기반 보조 시스템의 도입이 요구된다. 특히 드론은 고해상도 영상 수집,

접근성, 기동성 측면에서 컨테이너 검수 업무에 적합한 기술로 평가받고 있으며, AI 기반 영상 분석과 결합할 경우 반복적이고 시각 의존도가 높은 검수 절차를 효율적으로 대체하거나 보완할 수 있다. 이에 본 연구에서는 드론 플랫폼과 인공지능 영상 분석 기술을 융합한 컨테이너 검수 보조 시스템을 설계 하였다.

II. 본론

II.1 장비 구성

표 1. 장비 구성도 요약

구성 항목	사용 장비 명	목적
비행 컨트롤러	Pixhawk 4 (Holybro)	자동 경로 비행, MAVLink 지원
카메라	Raspberry Pi HQ Camera + 6mm Lens	12.3MP, 4056×3040, 수동 초점
이미지 및 영상 송신기	ESP32-CAM + Wi-Fi 브로드캐스터	실시간 이미지 전송
조종기	Radiomaster TX16S	드론 제어 및 통신 연결
연산 모듈	NVIDIA Jetson Nano B01 (4GB RAM)	RCNN / YOLO / OCR 실행

본 시스템은 드론을 활용한 자동 컨테이너 검수 보조를 목적으로 하며, 촬영, 제어, 분석 기능이 통합된 하드웨어 기반으로 구성된다. 드론 제어에는 MAVLink 기반 자율비행을 지원하는 Pixhawk 4(Holybro)를 사용하였으며, 촬영 모듈로는 12.3MP HQ 카메라(6mm 렌즈 포함)를 탑재하여 고해상도 촬영이 가능하도록 구성하였다. 획득된 영상은 ESP32-CAM 영상 송신 모듈을 통해 Wi-Fi 기반으로 실시간 전송된다. 조종기에는 Radiomaster TX16S를 사용하였고, 분석 연산은 NVIDIA Jetson Nano B01(4GB RAM)에서 수행된다. 해당 연산 모듈에서는 RCNN 기반 손상 탐지, YOLO 기반 자물쇠 인식, CRNN+OCR 기반 일련번호 추출 알고리즘이 실시간으로 구동되어 검수 항목별 분석 결과를 자동으로 도출한다. 하드웨어 구성의 요약은 표 1과 같다.

II.2 시스템 구성

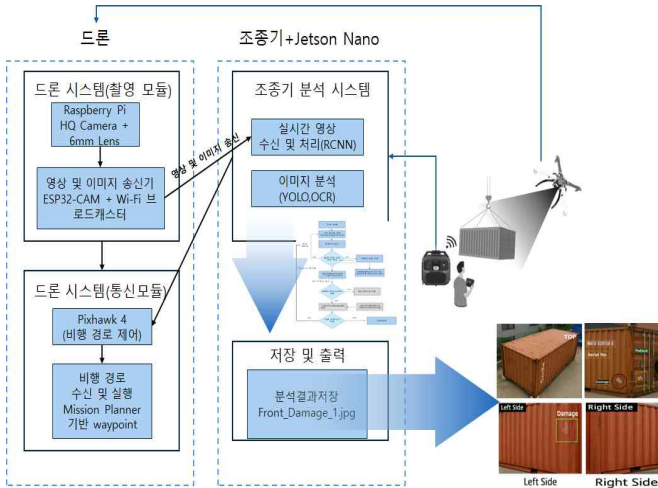


그림 1. 컨테이너 검수 보조 시스템 전체 구성도

본 시스템은 드론 기반 촬영·송신 모듈과 Jetson Nano 기반 실시간 분석 모듈로 구성된 이중 구조로 설계되었으며, 전체 구성 흐름은 그림 1에 제시하였다. 드론은 Pixhawk 4 컨트롤러를 기반으로 Waypoint 방식의 자율 비행을 수행하며, 각 컨테이너에 대해 정면, 후면, 좌측, 우측, 상부의 5방향에서 이미지를 순차적으로 촬영한다. 획득된 영상은 ESP32-CAM 영상 송신기를 통해 Wi-Fi 기반으로 조종기로 송신되며, Jetson Nano는 수신된 프레임을 즉시 처리한다.

II.3 알고리즘

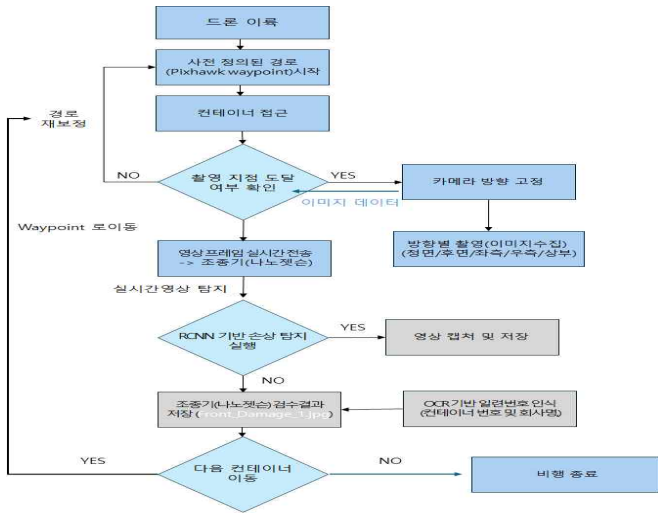


그림 2. 분석 알고리즘 흐름도

영상 프레임이 조종기에 수신되면 RCNN 기반 손상 탐지 알고리즘이 실시간으로 실행된다. 이상이 탐지된 경우 해당 프레임은 자동 캡처되어 저장되며, 이후 YOLOv8 기반 자물쇠 객체 탐지, CRNN+Tesseract 기반 OCR 알고리즘을 통한 일련번호 및 소유 회사명 인식이 순차적으로 수행된다. 분석 결과는 지정된 파일명(Front_Damage_1.jpg 등) 형식으로 조종기 내 저장소에 기록되며, 하나의 컨테이너 분석이 완료되면 자동으로 다음 대상 컨테이너로 이동하여 동일한 절차를 반복한다. 이 구조는 실시간성, 분석 정확도, 저장 효율성 측면에서 자동화 검수 시스템으로서의 적용 가능성을 갖춘다. 제안된 영상 분석 흐름은 실내 환경에서 자율 비행 드론을 활용한 건축물 균열 탐지 자동화 연구 [5]와 유사한 방식으로, 제한된 연산 자원 내에서 실시간 탐지와 데이터 저장의 병행 처리를 실현하고자 하였다.

III. 결론



그림 3. 수집 이미지 데이터

본 연구에서는 항만 컨테이너의 검수 자동화를 위해 드론 기반 촬영 시스템과 Jetson Nano 연산 모듈을 활용한 실시간 영상 분석 기법을 제안하고, 그 유효성을 시뮬레이션 환경에서 검증하였다. 본 시스템은 Pixhawk 기반 자율 비행을 통해 컨테이너를 정면, 후면, 좌측, 우측, 상부 방향에서 촬영하고, 수신된 영상 프레임에 대해 RCNN 기반 손상 탐지, YOLO 기반 자물쇠 탐지, CRNN+OCR 기반 일련번호 인식을 순차적으로 수행한다.

실험 결과, 손상 탐지 정확도는 약 85.3%, 자물쇠 탐지는 82.4%, 일련번호 인식 정확도는 88.6% 수준으로 나타났으며, 각 항목별 분석에는 평균 약 5초 내외의 처리 시간이 소요되었다. 특히 손상 탐지의 경우, 촬영과 동시에 RCNN 모델이 프레임을 분석하고 이상이 탐지된 경우에만 해당 이미지를 캡처·저장하는 방식으로 구성하여, 데이터 저장 효율성과 분석 집중도를 일정 수준 확보할 수 있었다. 그림 3은 실제 촬영된 정면, 측면, 상부 이미지 및 분석 결과 예시를 시각화한 것으로, 손상 탐지, 자물쇠 식별, 일련번호 인식 과정이 일관되게 수행되는 것을 보여준다. 이는 시스템이 다양한 시야 조건과 방향에서도 안정적으로 작동함을 시사한다. 이러한 결과는 기존 수작업 중심의 검수 방식에 비해 분석 편차와 누락 위험을 줄이면서, 자동화 기반으로 검수의 신뢰성을 확보할 수 있음을 보여주는 의미 있는 성과로 평가된다. 향후에는 야간 환경 대응, 다양한 컨테이너 유형에 대한 알고리즘 보완, 분석 결과의 행정 연계 자동화 등을 통해 현장 적용성을 더욱 높일 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부의 2023년 ‘남해안권 무인이동체 모니터링 및 실증 기반구축 사업’ 과제로 (RS-2023-KI002744) 지원되어 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 산업통상자원부, “드론산업 발전 기본계획(2023~2032),” 산업통상자원부, 2023.
- [2] 해양수산부, “컨테이너 안전점검 기준,” 해양수산부 고시 제2023-72호, 2023.
- [3] 해양수산부, “위험물컨테이너 등의 점검에 관한 요령,” 해양수산부, 2022.
- [4] 한국해양수산개발원, “컨테이너 터미널 운영 효율화 방안 연구,” KMI, 2021.
- [5] 장인성, 정희영, 김태운, “저비용 드론을 이용한 딥러닝 기반 콘크리트 건축물 안전진단 자동화 시스템,” 한국차세대컴퓨팅학회 논문지, 제20권 제1호, pp.94 - 102, 2024.