

피킹 최적화 알고리즘을 통한 자율 운송 로봇 개발

김병헌^{1*}, 김은수^{2*}, 박우진^{2*}, 서정인^{1*}, 이수인^{1*}

¹경희대학교 산업경영공학과 학부생

²국민대학교 전자공학부 전자시스템공학과 학부생

*공동 1저자

bhbc75@khu.ac.kr, junweecha@kookmin.ac.kr, woojin1112@kookmin.ac.kr,

jjoyfull2067@khu.ac.kr, sunny23000@khu.ac.kr

Autonomous Transport Robot Using Optimized Container Pickup Algorithm

Byeong-Heon Kim^{1*}, Eun-Su Kim^{2*}, Woo-Jin Park^{2*}, Jeong-Inn Seo^{1*}, Su-In Lee^{1*}

¹Dept. of Industrial and Management Systems Engineering, Kyung-Hee University

²Dept. of Electronics and Information System Engineering, Kook-Min University

*These authors contributed equally.

요 약

본 논문은 피킹 최적화 알고리즘을 개발 및 적용해, CFS(Container Freight Station)에서 작업이 완료된 컨테이너를 트랜스퍼 크레인 하부까지 자동으로 운송하는 로봇 및 관리 시스템을 제안한다.

1. 서론

로보틱 항만은 기존 항만에서 발생하는 인건비와 다양한 비용을 약 40% 절감하고, 하역 작업의 효율성을 40% 향상시킬 수 있어^[1] 세계 주요 항만들이 앞다투어 도입을 서두르고 있다. 그러나 항만 작업은 여전히 높은 위험성과 비효율성을 동반하고 있으며, 특히 CFS에서 작업이 완료된 후 무작위로 배치된 컨테이너를 트랜스퍼 크레인 하부로 운송하는 과정은 여전히 수작업에 의존하고 있다.

본 연구는 이 문제를 해결하기 위해 피킹 최적화 알고리즘을 개발 및 적용해, CFS에서 무작위로 배치된 컨테이너를 자동으로 피킹하고 트랜스퍼 크레인 하부까지 운송하는 자율주행 로봇 시스템을 제안한다.

2. 본론

2.1.1 피킹 최적화 알고리즘 설계

본 연구에서는 목표 컨테이너를 피킹 및 제거하는 과정에서 횡수를 최소화하기 위해 너비 우선 탐색(BFS) 방식을 채택했다.

알고리즘은 초기 상태 설정과 목표 컨테이너 정의로 시작된다. 초기 상태는 $n \times n$ 행렬로 구성되어 각 열에 쌓인 컨테이너의 상태로 정의된다. 무게가 작은 컨테이너가 무게가 큰 컨테이너보다 위에 적재되

어있는 상황을 고려하여 1층에 적재된 컨테이너의 무게는 n , 2층에 적재된 컨테이너의 무게는 $n-1$, n 층에 적재된 컨테이너의 무게는 1로 설정한다. 이때 n 은 정수로 할당한다. 목표 컨테이너는 제거해야 할 특정 컨테이너의 ID로 정의된다.

알고리즘은 초기 상태에서부터 가능한 모든 이동을 시도하며, 큐를 통해 중복된 상태를 탐색하는 비효율을 줄인다. 가능한 모든 이동의 계산은 무게 제약과 이동 제약을 따른다. 알고리즘은 각 상태에서 목표 컨테이너들이 모두 제거되었는지를 확인하며, 목표가 달성되면 해당 상태와 경로를 반환한다.

2.1.2 무게 제약

옮기려는 열이 비어 있거나 옮기려는 컨테이너가 그 열의 맨 위에 있는 컨테이너보다 가벼워야 한다.

move is possible if ($W_t = NULL$) or ($W_m \leq W_t$)

W_m : 현재 옮기려는 컨테이너 무게

W_t : 목적지 칼럼의 맨 위에 있는 컨테이너 무게

2.1.3 이동 제약

목표 컨테이너가 칼럼의 맨 위에 있는 경우에만 이동가능하다.

move is possible if ($C[0] = T$)

C : 현재 칼럼에 쌓여 있는 컨테이너들의 배열

T : 이동하려는 목표 컨테이너의 ID

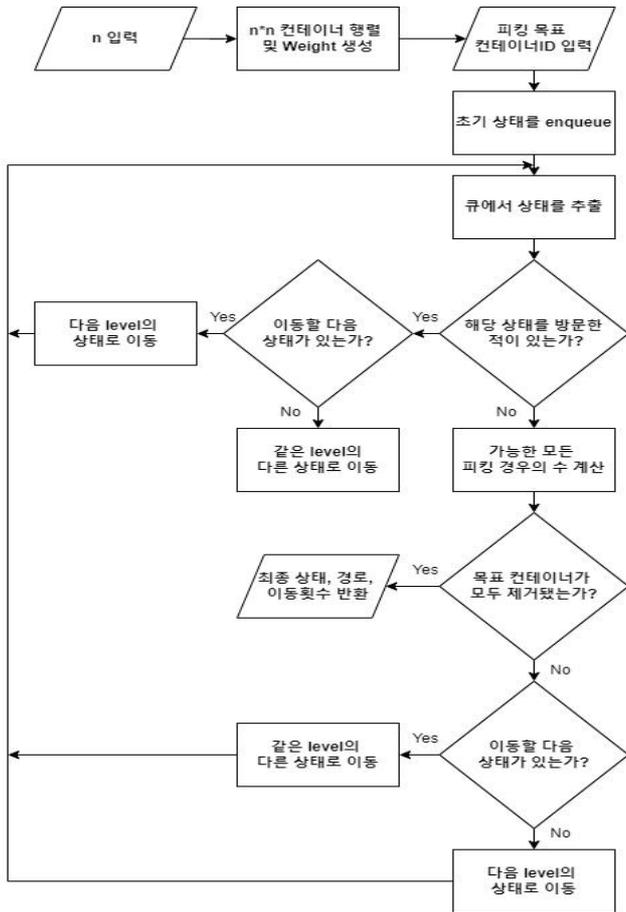


그림 1. 알고리즘 순서도

2.2 자율 피킹/ 운송 로봇 구현

Arduino와 모터 쉴드를 사용해 총 7개의 모터를 제어하며, 로봇팔 관절과 진공 흡착 펌프를 담당한다. 전력은 외부 리튬이온 배터리팩으로 공급된다. 차체는 알루미늄 프레임, 메카닉 휠, 엔코더 모터로 설계했고^[2], 적외선 센서를 통해 라인 트래킹을 구현하였다. Jetson Nano를 통해 서버와 통신하며, UART 통신을 통해 차체와 로봇팔을 제어한다.

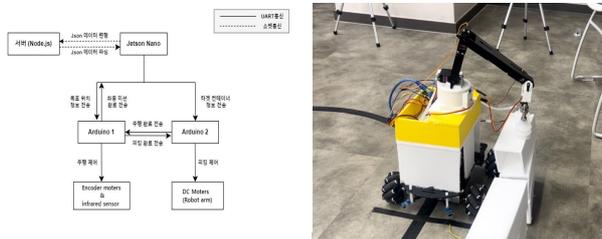


그림 2. 로봇 구성도 및 구현 모습

2.3 컨테이너 작업관리 웹 구현

React와 Node.js를 이용해 컨테이너 관리 웹을 설계했다. 컨테이너 관련 정보와 피킹 작업의 상태 데

이터는 Json Server를 통해 REST API로 제공되며, 피킹 최적화 알고리즘은 Express 서버에서 별도로 실행된다. WebSocket 서버를 통해 웹과 로봇은 실시간으로 통신한다.

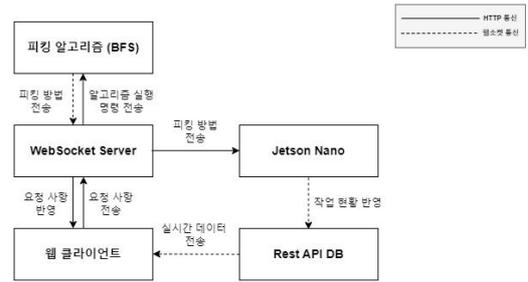


그림 4. 컨테이너 관리 웹 구성도

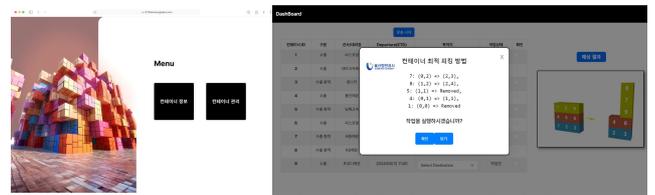


그림 5. 자율주행 지게차 관리 시스템 웹 페이지

3. 결론 및 향후연구

본 논문은 CFS에서 작업 완료 후 무작위로 배치된 컨테이너를 자동으로 트랜스퍼 크레인 하부까지 운송하는 자율주행 로봇 시스템을 개발하여, 항만 작업의 효율성과 안전성을 극대화하는 방안을 제시했다. 결론적으로 작업 효율성, 안전성, 에너지 절감을 제공하며, 로봇틱 항만 구축을 가속화 할 것으로 기대한다.

그러나 복합적인 물류 환경에서의 완전한 통합 솔루션 구축에는 한계가 있으며, 자율주행 기술의 정밀도 향상과 다양한 환경에서의 응용성 검증을 위한 후속 연구가 필요하다.

※ 본 논문은 해양수산부 실무형 해상물류 일자리 지원사업(스마트해상물류 x ICT멘토링)을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물이다.

참고문헌

[1] 김지연. “차량 운반선의 배치 최적화를 위한 적재 자동화 알고리즘 연구“ 석사학위논문 동아대학교 대학원 인공지능학과 2023, 21p
 [2] Braunl, T. (2006). Embedded robotics: Mobile robot design and applications with embedded systems (1st ed.). Springer, 17p-40p