

실내 물류창고 자율주행 AMR Tractor-Trailer 개발

이규민¹, 김근태², 이영욱³, 김현서⁴, 박규민⁵
¹서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과 학부생

kml1990608@gmail.com, kgt222@naver.com, gogorabbit1@gmail.com, ilovehsb0517@naver.com
 rbalsdl11@naver.com

Development of Autonomous AMR Tractor-Trailer for Logistics Warehouse

Gyu-Min Lee¹, Gean-Tae Kim², Young-Wook Lee³, Hyun-Seo Kim⁴, Gyu-Min Park⁵
 Dept. of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology

요 약

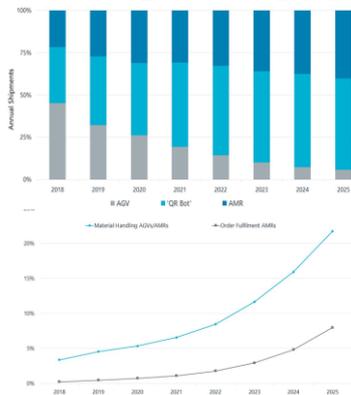
물류 자동화 과정에 핵심기술중 하나인 AMR 자동화 이동로봇을 Tractor-Trailer Type 으로 제작해 기존 물류창고에 있는 다양한 트레일러들을 이동하는 자동화 과정을 개발하였다. Aruco Marker 를 이용한 Trailer 결합과 Tractor-Trailer 의 주행 안정성을 강화하였다.

1. 서론

물류센터의 수요가 증가하면서 창고의 대형화 및 물류 자동화과정이 빠른 속도로 성장중이다. 물류 자동화 과정을 위한 AMR 을 Tow type 의 형태로 자체 제작한 뒤, Gripper 를 사용해 이미 보급되어 있는 트레일러의 교체 없이 목적지에 안전하게 운반한다.

2. 물류센터에서 사용하는 AMR Robot 비율 증가

미리 지정된 경로로만 이동하는 AGV 에 비해 AMR 은 로봇의 수량변경, 물류창고의 내부 배치가 변경되었을 때 추가 Mapping, 프로그래밍이 필요 없어 유지보수가 편리하다는 장점이 있다. 2018~2023 년도까지 AMR 의 비율이 증가하고 있고, 앞으로도 도입 비율이 크게 증가될 것으로 전망한다. [1]



(그림 1) 물류창고 AMR vs AGV (그림 2) AMR 도입비율 증가

3. 개발 내용

Tow Type 의 형태의 Tractor-Trailer 로봇으로 차량 무게는 32kg 으로 최대 300kg 의 pay load 를 끌 수 있도록 제작하였다. Inwheel Motor, ZLAC Motor driver, RPLidar, Depth camera 등의 부품과 CNC, 수압 커팅기, 레이저 커팅기를 활용하여 가공한 판재를 정밀, 특수가공을 통해 제작하였다. Caster wheel 을 사용한 3 Point 지지를 하는 방식으로 설계하였다. 그리퍼를 자체제작하여 다양한 모양의 trailer 와 결합할 수 있도록 설계하였고, trailer 에 있는 Aruco Marker 를 인식하여 Hook arm 을 작동하는 방식의 제어를 사용한다.

ROS2 Humble 개발 환경을 기반으로 시스템을 구축하였으며, Cartography SLAM[2]을 사용하여 2D 지도 작성을 수행하였다. Nav2 의 AMCL(Localization) 모듈을 적용함으로써 트랙터의 실시간 위치 추정이 가능하도록 하였다. 이를 통해 주행 중 지속적인 위치 추정, 정밀 경로 계획을 지원할 수 있었다.



(그림 2) 제작완료된 AMR 로봇

4. 개발 요구사항

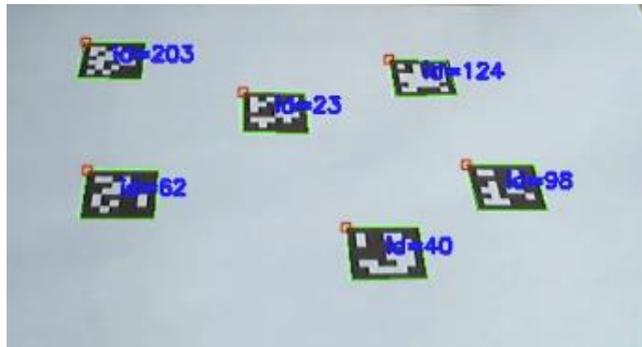
본 프로젝트에서는 차량의 주행 안정성을 고려하여 Tractor의 주행 상태에 맞춰 경로 계획 알고리즘을 변경하였다. Tractor 주행은 Dijkstra에 기반한 ros2 planner Navfn을 적용하였고, Tractor-Trailer 주행은 Hybrid A*에 기반한 Smac planner를 적용한 경로 계획 [3]을 개발하였다.

컨트롤러는 Pure Pursuit[4] 알고리즘을 채택하였고, Look Distance 파라미터를 2.0으로 설정해 차량이 더 큰 예측적 움직임을 수행할 수 있도록 하였다. 이를 통해 Tractor-Trailer 주행 안정성을 강화하였다.



(그림 3) Tractor 주행 중 생성된 경로

5. Aruco Marker를 활용한 Tractor-Trailer 결합 알고리즘



(그림 4) Aruco Marker

Trailer에 Aruco Marker를 부착하여 PnP 문제를 풀어 Aruco Marker와 Tractor에 부착된 카메라 사이의 거리, 각도를 추출하였다. 이를 통해 트레일러의 중앙 tf를 연산하여 결합 알고리즘을 완성하였다. 과정에서 사용한 수식은 다음과 같다. [5]

$$\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x & X_c \\ 0 & f_y & c_y & Y_c \\ 0 & 0 & 1 & Z_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_c + Z_c \\ Y_c + Z_c \\ Z_c \end{bmatrix}$$

$$= Z_c \begin{bmatrix} (X_c/Z_c) + C_x \\ (Y_c/Z_c) + C_y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= s \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

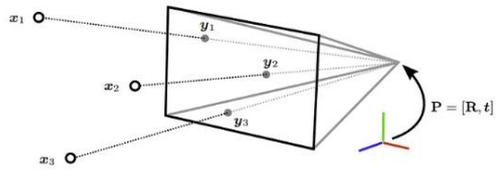
상기항 등방비
 $f_x/f_y = X_c/Z_c$
 $X_c/f_x = Y_c/Z_c$
 $Y_c/f_y = Z_c/Z_c$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} (X_c/Z_c) + C_x \\ (Y_c/Z_c) + C_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_c + C_x \\ Y_c + C_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

(그림 5-1) PnP, 풀이 이미지

$$\begin{cases} Y^2 + Z^2 - YZp - b'^2 = 0 \\ Z^2 + X^2 - XZq - c'^2 = 0 \\ X^2 + Y^2 - XYr - a'^2 = 0 \end{cases}$$

P3P, n=3 풀이 방식식



(그림 5-2) PnP, 풀이 이미지

영상에서 마커를 검출하여 마커의 4개의 코너를 구하여 Camera pose estimation[6]을 진행한다. 이는 3차원 공간상에서의 카메라의 위치와 방향을 구하는 것이다. 이를 역행렬로 연산하여 Trailer에 부착된 Aruco Marker의 Tf를 계산한다.

Camera TF와 Aruco Marker TF 사이의 거리와 각도를 연산하여 거리에 따른 linear velocity, angular velocity를 ROS로 넘겨 구동 알고리즘을 완성한다.

6. 기대효과

SLAM, NAVIGATION 기능을 통한 자율주행을 다른 로봇에도 적용하여 사용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 Aruco Marker를 인식하고 정확한 tf를 추출하여 정보를 주고받는 기능을 활용하여 충전, 도킹 시스템을 제작할 수 있을 것이다.

※ 본 프로젝트는 과학기술정보통신부
 대학디지털교육역량강화 사업의 지원을 통해
 수행한 ICT 멘토링 프로젝트 결과물입니다.※

참고문헌

- [1] Ash Sharma. "Why Deployments of Mobile Robots are Rapidly Increasing." Automated Warehouse Online, July 8, 2021. <https://www.automatedwarehouseonline.com/why-deployments-mobile-robots-rapidly-increasing/>
- [2] Alexey Merzlyakov, Steve Macenski "A Comparison of Modern General-Purpose Visual SLAM Approaches"; 2021
- [3] Mihail Pivtoraiko, Ross Knepper, Alonzo Kelly "Optimal, Smooth, Nonholonomic Mobile Robot Motion Planning in State Lattices"; 2007
- [4] Steve Macenski S. Singh, F. Martin, J. Gines "Regulated Pure Pursuit for Robot Path Tracking. Autonomous Robots" 3rd Ed. McGraw Hill; 2023
- [5] 박동우, 문지원, 정현석, 김영현, 황성수. "Augmented reality system robust to speed and viewing limits based on Multi ArUco markers"; 2018
- [6] V. Lepetit, F. Moreno-Noguer, and P. Fua, "EPhP: An accurate O(n) Solution to the PnP Problem"; *International Journal of Computer Vision*, vol. 81, no. 2, pp. 155-166, 2009.