

ROS 기반 자율주행 이동 매니플레이터 시스템 개발

김시원¹, 신종원¹, 김보석¹, 전유정¹, 신진호²

¹동의대학교 전자공학과 학부생

²동의대학교 전자공학과 교수

qkfk9572@naver.com, nighthmoon@gmail.com, bskbsk9999@naver.com,

pipopipo624@naver.com, jhshin7@deu.ac.kr

Development of an Autonomous Mobile Manipulator System Based on ROS

Si-Won Kim, Jong-Won Shin, Bo-Seok Kim, Yu-Jung Jeon, Jin-Ho Shin

Dept. of Electronic Engineering, Dong-eui University

요 약

본 논문에서는 물류 로봇에 활용할 수 있는 자율 주행 이동 매니플레이터 시스템을 개발하였다. 본 로봇 시스템은 자율 주행 이동 로봇 베이스에 로봇 매니플레이터를 탑재하여 스테레오 카메라로 객체 인식 및 좌표 추정을 수행하였으며, ROS 기반으로 통합 로봇 시스템을 구축하였다.

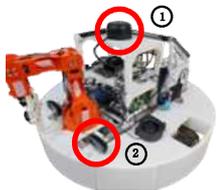
1. 서론

최근 물류 및 제조업 분야에서는 AGV를 넘어 동적으로 변화하는 환경에 대응할 수 있는 자율 주행 이동 매니플레이터 시스템에 대한 관심이 급증하고 있다. 본 논문에서는 스테레오 카메라와 다양한 센서를 통합하여 ROS(Robot Operating System) 기반으로 자율주행 이동 매니플레이터 시스템을 구축하였다.

2. 자율주행 모바일 매니플레이터 시스템

2.1 전체 로봇 시스템

(그림 1)과 같이 젯슨 나노, STM32 보드, 엔코더 모터, 라이다 센서, IMU 센서, 5축 로봇 팔, 2대의 웹캠으로 구성하였으며 현지화 AMCL, 경로계획 DWA와 Cartographer SLAM 등을 ROS를 이용해 자율주행 이동 매니플레이터 시스템을 구현하였다.



①	Rplidar A2M12
②	C270 카메라

(그림 1) 자율주행 이동 매니플레이터 시스템

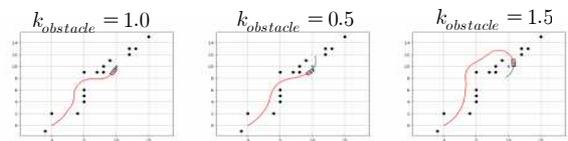
2.2 경로계획 DWA 알고리즘

미리 정의된 로봇의 선속도와 각속도를 토대로 지

역 경로 계획을 한다. DWA(Dynamic Window Approach) 알고리즘 [1]을 참고하여 시뮬레이션에서 로봇의 궤적을 정하는 수식 (1)에서 $k_{obstacle}$ 값에 따른 지역 경로 계획을 (그림 2)와 같이 확인하여 최적의 값을 도출하였다.

$$Cost = k_{goal} \left| \tan^{-1} \left(\frac{\sin(\theta_{error})}{\cos(\theta_{error})} \right) \right| + k_{speed} (V_{max} - V_{final}) + k_{obstacle} \frac{1}{\min(r)} \quad (1)$$

k_{goal} : 목표도달비용가중치 V_{final} : 궤적의 최종 속도
 θ_{error} : 각도오차 $k_{obstacle}$: 장애물 회피비용가중치
 k_{speed} : 속도비용가중치 $\min(r)$: 장애물까지의 최소거리
 V_{max} : 최대속도



(그림 2) $k_{obstacle}$ 에 따른 경로 변화.

2.3 위치인식 및 모터 피드백 제어 시스템

엔코더 모터의 펄스를 이용해 선속도와 각속도를 계산하고, 추측항법으로 만든 오도메트리와 IMU 데이터를 칼만 필터로 융합하여 위치인식을 하였다. 또한, PID 제어기를 통해 목표 속도에 따라 로봇을 제어한다. PID 제어기는 적분 Windup 현상을 방지하고 연산량을 줄여 처리 속도를 높이기 위해 수식

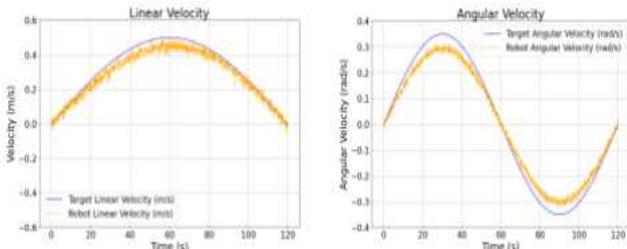
(2)의 증분형 PID 제어기를 사용하였다[2].

$$\Delta u(k) = K_P(e(k) - e(k-1)) + K_I e(k) + K_D(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \quad (2)$$

시뮬레이션으로 적절한 제어 이득을 구하여 디지털 제어 시스템에 대한 특성방정식 (3)을 구하였다.

$$\begin{aligned} \Delta z_s &= z^4 + 0.794z^3 + 1.025z^2 + 0.064z + 0.128 = 0 \\ \Delta z_{r\theta} &= z^4 + 0.348z^3 + 0.521z^2 + 0.067z + 0.067 = 0 \\ \Delta z_{l\theta} &= z^4 + 0.939z^3 + 0.767z^2 + 0.067z + 0.067 = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

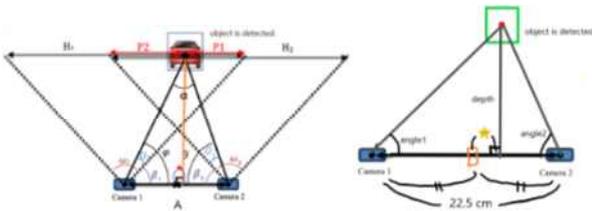
Δz_s : 선속도, $\Delta z_{r\theta}$, $\Delta z_{l\theta}$: 오른쪽 및 왼쪽 바퀴각속도
로봇 제어 실험 결과로 실제 속도가 목표 속도를 점근적으로 잘 추종하는 것을 (그림 3)에서 보였다.



(그림 3) 목표 속도와 실제 속도 측정 결과

2.4 카메라를 이용한 객체인식과 좌표점 추정

젯슨 나노 개발 보드에 Jetson-Inference 패키지를 설치하여 진행하였다. 객체 인식을 위하여 detectNet[3]을 적용하였으며 적절한 객체를 선정하여 약 2000장 사진을 캡처하였고 각 사진마다 라벨링 작업을 수행 후 객체 검출 모델을 생성하였다. 객체 훈련 결과 mAP(Mean Average Precision)가 0.7680425으로 측정되었다. 스테레오 카메라로 수식 (4)와 (5)를 통해 깊이와 폭 데이터를 얻었다[4].



(그림 4) 깊이와 폭 계산법

$$Depth = \frac{A \sin(P_2 \times \frac{\omega_2}{H_2} + \beta_2) \times \sin(P_1 \times \frac{\omega_2}{H_2} + \beta_2)}{\sin(180 - (P_2 \times \frac{\omega_2}{H_2} + \beta_2 + P_1 \times \frac{\omega_1}{H_1} + \beta_1))} \quad (4)$$

$$Width = (\frac{A}{2}) - (\frac{Depth}{\tan(\text{angle}2)}), \quad A: \text{카메라 사이의 거리} \quad (5)$$

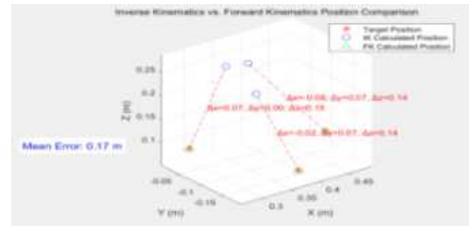
2.5 로봇 매니퓰레이터에 대한 역기구학과 제어

특정 Braccio 로봇 팔 모델에 최적화된 D-H(Denavit-Hartenberg) 파라미터를 기반으로 각

축의 변환 행렬을 정의하고, 이를 통해 로봇 팔의 역기구학 해법을 수식 (6)과 같이 유도하였다[5].

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right), \theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{S_2}{C_2}\right) - 90, \theta_3 = \tan^{-1}\left(\frac{S_3}{C_3}\right) \\ \theta_4 &= 270 - (\theta_2 + \theta_3) - 90, \theta_5 = 130 \\ A &= C_1 \times x + S_1 \times y, B = \frac{143}{2} - z \\ C_2 &= \frac{A-125}{192}, S_2 = \sqrt{1-C_2^2}, C_3 = \frac{B-125}{192}, S_3 = \sqrt{1-C_3^2} \end{aligned} \quad (6)$$

DH 파라미터 보정 과정에서는 실제 로봇의 홈 포지션과 DH 좌표계의 기준 위치를 일치시키기 위해 관절 각도에 $\pm 90^\circ$ 와 같은 오프셋을 적용한다. (그림 5)는 MATLAB을 이용한 오차 그래프이다.



(그림 5) 목표 위치와 이동 위치의 오차

3. 결론 및 추후 연구

다양한 센서와 알고리즘이 활용되는 자율주행 이동 매니퓰레이터 시스템을 ROS를 활용하여 개발하였으며, 스테레오 카메라를 사용하여 객체인식 및 좌표점을 추정하였다. 추가 연구로서 지면에서 물체까지의 높이를 정확하게 측정하며 로봇 팔에 대한 역기구학 식의 오차를 줄이는 것을 수행할 것이다.

“본 논문은 과학기술정보통신부 대학디지털교육역량강화 사업의 지원을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다”

참고문헌

- [1] Z. Lin, and R. Taguchi, "Faster Implementation of The Dynamic Window Approach Based on Non-Discrete Path Representation", *Mathematics*, Vol. 11, No. 21, No. 4424, pp. 1-20, 2023.
- [2] 신진호, “밸런싱 로봇 제어”. 지누, 2013.
- [3] <https://github.com/dusty-nv/jetson-inference>
- [4] A. Zaarane, I. Slimani, W. A. Okaishi, I. Atouf, A. Hamdoun, “Distance Measurement System For Autonomous Vehicles Using Stereo Camera”, *Elsevier*, pp. 2-4, 2020.
- [5] S. B. Niku, “Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications”, New Jersey, USA, Wiley, 2010.