

실외 청소 로봇을 위한 인공지능기반 자율 주행 시스템 개발에 관한 연구

고국원¹, 이지연²

¹한라대학교 미래모빌리티공학과

²한라대학교 AI융합보안학과

kukwon.ko@halla.ac.kr, jiyeon.lee@halla.ac.kr

Development of AI based Autonomous Driving System for Outdoor Cleaning Robot

Kuk Won KO¹, Ji Yeon LEE²

¹Dept. of Future Mobility Engineering, Halla University

²Dept. of AI Convergency Security, Halla University

요 약

실외 자율주행 청소 로봇을 위한 인공지능기반 자율주행 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 ROS(Robot Operating System) 기반으로 이루어졌으며, 3D 라이다와, 초음파 센서를 활용하여 주변의 장애물을 감지하고 GPS와 영상을 활용하여 로봇의 위치 인식을 하여 자율 주행을 진행하였다. 자율주행 실험결과 영상과 RTK-GPS를 사용하여 정해진 경로를 $\pm 20\text{cm}$ 이내의 오차를 가지고 추종하면서 청소를 진행하였다.

1. 서론

근린 공원, 도시 숲, 산책로 등의 복지환경 공간이 급증하지만 이를 관리하기 위한 지자체의 예산과 인력의 한계가 있으며 쾌적한 환경을 요구하는 시민들의 민원이 증가 되고 있다. 이를 위해서 정해진 경로를 자동으로 주행하는 자율청소로봇이 필요하다. 이미 핀란드 수도 헬싱키에선 길이 3.25m, 너비 2.3m의 청소 로봇 '트롬비아 프리'가 도심을 누비며 청소를 하고 있다. 본 연구에서는 지역 도심 공원에서 시범 주행을 목표로 자율주행이 가능한 청소 로봇을 개발하고자 한다.

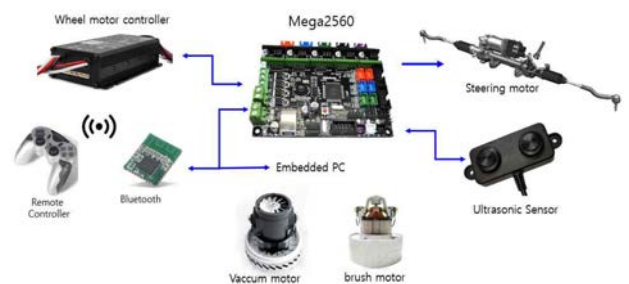
2. 주행 시스템

2.1 구동 모터 제어 시스템과 감속기

사용된 모터는 48V의 전압으로 구동이 가능하며 400W 급으로 최대 토크가 14kgf.cm인 BLDC 모터를 선정하였다. 모터에는 encoder가 장착이 되어 속도와 위치를 알 수 있으며, 전자식 브레이크가 장착이 되어 정지시에는 움직이지 않도록 하였다. 구동축이 최종 감속비는 30:1를 사용하였다. 모터제어는 BLDC 드라이버를 사용하였으며 속도 제어를 가능한 제품을 사용하였다.

2.2 임베디드 제어기 설계

임베디드 시스템에서의 CPU로는 ATMEGA 사의 mega2560을 사용하였다. 4개의 UART 통신장치가 제공이 되어 주변 기기를 제어하기 쉽다는 장점이 있다. CPU의 UART는 485통신을 사용하여 8개의 초음파 센서와 구동 모터와 조향 모터를 제어를 사용하고, 리모컨과 embedded PC와 연결이 되어 있다. 그림 1은 임베디드 제어기의 블록도를 나타내고 있다.



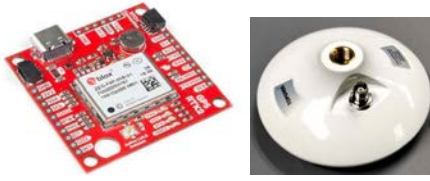
(그림 1) 임베디드 시스템 블록도

3. 위치 인식 시스템

3.1 GPS(Global Positioning System) 선정

위치 인식 시스템을 위한 GPS는 그림 2와 같이 Sparkfun사의 ublox F9P칩에 내장된 GPS-RTK2 제품을 사용하였다. 10Hz로 현재 위치를 수신 받을 수 있다. GPS의 성능을 좌우하는 안테나는 TOPGNSS사의 TOP158을 사용하였다. RTK 신호는 받을 시에는 $\pm 5\text{cm}$ 이내의 정밀도를 가짐을 그림

와 같은 실험에서 알 수 있다.



(그림 2) Sparkfun GPS-RTK2와 안테나

3.2 Heading Angle 측정

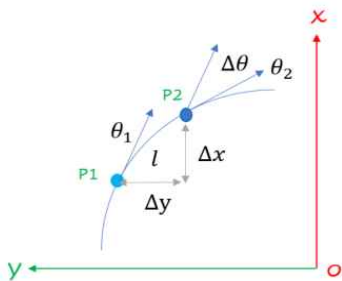
Heading angle 측정을 위해서 2개의 GPS를 사용하였다. GPS의 위치 ±5cm 오차에 따라서 GPS 안테나를 1m 간격을 두고 위치할 경우 ≤5.7도 이하의 각도 오차를 가진다. 일반적으로 heading angle의 측정을 위해서는 digital compass 또는 9축 IMU(Inertial Measurement Unit)를 사용하여 측정을 하지만, 시간에 따라서 IMU은 각도가 변한다는 단점이 있지만, 짧은 시간에서의 heading angle의 변화량은 IMU가 정확도가 더 높으므로, 초기 시스템 기동시에 5초 정도의 GPS 신호의 평균 값을 구하여 IMU에서 측정한 heading angle과 offset을 구한 뒤에 그림 3과 같이 IMU의 AHRS(Attitude and Heading Reference System)기능을 사용하였다. 주기적으로 자동 청소 시작 전에 IMU의 angle offset을 보정하도록 하였다. IMU의 제조사에서 제공하는 성능은 각도 정확도는 정적 0.1°, 동적 0.5°으로 300Hz 속도를 센서 정보를 제공하고 있다.



(그림 3) AHRS 기능이 내장된 IMU

3.3 IMU와 wheel encoder 기반 odometry

청소 로봇의 위치를 추정하기 위해서는 IMU 센서와 wheel encoder를 사용하였다. 청소 로봇은 ackermann steering 구조로 encoder로 통하여 얻은 거리로부터 좌표 변환은 그림 4와 같다.



(그림 4) 위치 인식을 위한 좌표계

encoder로부터 호의 거리 l 을 구하고 IMU로부터 로봇의 각도 변화를 $\Delta\theta$ 를 알게 되면 호 길이 공식 (1)로부터 회전 반경을 구할 수 있으며 회전 반경과 각도로부터 이동 거리는 $(\Delta x, \Delta y)$ 는 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$l = r \Delta\theta \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \Delta x &= r \sin(\Delta\theta) \\ \Delta y &= r(1 - \cos(\Delta\theta)) \end{aligned} \tag{2}$$

그림 5는 odometry의 정확도를 보기 위하여 20hz로 로봇의 위치를 측정하면서 다양한 경로 주행 후에 출발 위치로 돌아왔을 때의 오차는 ±5cm 이내임을 알 수 있었다. 위 실험은 로봇의 슬립이 작게 발생하는 조건에서 수행하였으며 간단한 수식으로 ±5cm의 오차를 얻을 수 있었다. RTK-GPS와 함께 사용할 경우 슬립에 의한 오차 발생을 보정하여 사용할 수 있다.



(그림 5) robot odometry 실험 결과(눈금단위 5m)

3.4 카메라와 신경회로망을 이용한 위치 인식

RTK GPS 신호와 encoder를 사용하여 위치 인식을 하지만 RTK-GPS 정보를 받을 수 없을 때는 카메라를 사용하여 CNN(Convolution Neural Network) 신경회로망을 이용하여 보행도로의 중심을 계산하였다[2]. 그림 6은 학습에 사용된 공원의 보행 도로 사진의 일부이다. 학습후의 정확도는 97.4%를 얻었다.



(그림 6) 신경회로망 영상학습 데이터

4. 자율주행 청소 로봇

그림 7은 자율 주행을 위하여 개조된 청소 로봇이다. 수동형 청소 로봇에 배터리 시스템을 무게 약 230kg이며 가로 1.2m, 세로 1.8m, 높이 1.5정도이다. 24V의 리튬폴리머 전지 200A의 사용으로 3시간 연

속 청소가 가능하다. 로봇의 속도는 최대 4km/h 이하로 주행 설정이 되어 있다.



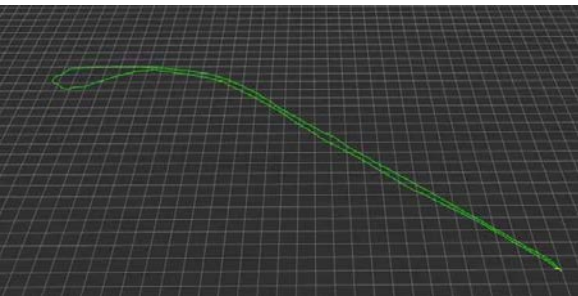
(그림 7) 자율주행 청소로봇

5. 경로 제어 및 장애물 주행 알고리즘

5.1 경로 제어

경로 제어 알고리즘은 신경회로망으로 학습된 영상 정보와 GPS기반의 경로점을 미리 학습을 통하여 정해 놓고 이를 추종하는 형태로 경로 제어를 구현하였다. 영상 학습데이터와 GPS의 경로는 공원내 인도의 중심점을 기준으로 생성하였다. 1-2m 간격으로 생성된 GPS 경로점과 10cm 단위로 생성된 영상 정보를 바탕으로 구한 인도의 중심을 찾아서 PID 제어 기법을 사용하여 추종하였다.

그림8은 ROS(Robot Operating System)에서 구현된 node간의 정보를 나타내기위한 rqt graph를 표시하였다. 그림9에는 경로 주행 결과를 나타내었다.



(그림 9) 청소로봇의 자율주행 경로

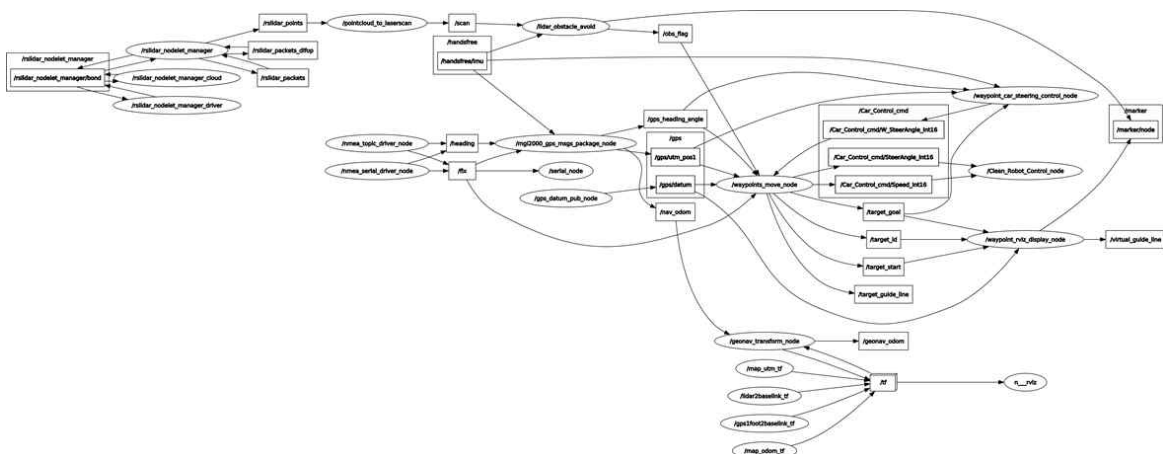
청소 로봇은 정해진 경로를 따라 움직이면서 장애물에 대한 인식이 될 경우 장애물 회피 가동은 최소한으로 하도록 구성되어 있다. 카메라에서 영상의 객체 형태를 yolo5를 통하여 인식하고 사람일 경우에는 안내 방송과 함께 멈춘후에 사람이 지나 갈 경우에는 다시 움직이도록 되어 있으며 바닥의 장애물은 형태가 클 경우에는 회피한다. 장애물 회피 알고리즘은 다양한 알고리즘[3] 중에서 Bendy Ruler를 사용하였다.

6. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 실외 청소 로봇을 이용한 인공지능을 활용한 자율 주행 시스템을 개발하였다. 카메라로 획득한 보행보도의 영상을 CNN을 이용하여 중심점을 추출정보와 RTK-GPS를 사용하여 휠의 encoder와 imu를 사용하여 위치 인식 정보를 활용하여 PID 제어를 사용하여 경로 제어를 진행하였다. 청소 로봇의 경로 추정 오차는 RTK-GPS만을 사용했을 때에는 ±30cm이며 카메라 영상과 함께 사용했을 경우에는 ± 20cm이내의 경로 제어됨을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] 우훈제, 정승권, 조봉근, 김정하, “RTK-GPS 기반의 무인차량 항법 알고리즘에 대한 연구”, 한국자동차공학회 춘계학술대회, pp.972-976. 2009.
 [2] 김지성, 김철홍, 조동일, “CNN 기반 깊이 추정을 이용한 야외 단안 Visual Odometry 성능 향상.제어 로봇시스템학회 국내학술대회 논문집,pp. 172-173.,2020
 [3] 성준모, 송승관, 현창호, 박봉석, “이동로봇의 장애물 회피 방법론 비교.한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, pp. 615-615, 2021.



(그림 8) 구현된 ROS rqt_graph