

실외 자율주행 청소로봇 개발

김찬혁*, 김성재*, 안인우*, 고국원**, 박준성***

*한라대학교 스마트자동차공학과

**한라대학교 미래모빌리티공학과

***한라대학교 AI융합보안학과

yumso28@gmail.com, boxbox_11@naver.com, inwoo04156@naver.com,

kukwon.ko@halla.ac.kr, js.park@hu.halla.ac.kr

Development of Outdoor Self-Driving Cleaning Robot

Chan-Hyeok Kim*, Seong-Jae Kim*, In-Woo Ahn*,

Kuk-Won Ko**, Jun-Sung Park***

*Dept. of Smart Automotive Engineering, Halla University

**Dept. of Future Mobility Engineering, Halla University

***Dept. of AI Convergence Cyber security, Halla University

요약

실외 청소 작업에서 발생하는 여러 가지 위험 요소를 방지하기 위해 자율주행 청소로봇을 개발하였다. 본 연구는 ROS(Robot Operating System)기반으로 시스템을 개발하였으며, GPS를 사용해서 로봇의 현재 위치를 인식하고 주행 경로를 설정하였다. 초음파 센서와, 3D 라이다 센서를 사용함으로써 로봇 주변의 장애물을 감지해서 주행 및 청소 중 발생할 수 있는 위험 요소를 방지하도록 개발하였다. 이를 통해 자율주행 청소 로봇의 안전성과 실용성을 높일 수 있으며, 실외 청소 작업의 효율성과 경제성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

실외 환경에서의 청소는 인력과 시간적 제한, 그리고 다양한 어려움이 요구되는 작업이다. 뿐만 아니라 청소 작업 중 피부질환, 교통사고, 날카로운 물체 같은 위험 요소에 부상이나 산재에 위험에 노출되는 경우가 많다. 앞에서 언급한 문제들은 환경오염과 근로자 안전에 영향을 주기 때문에 이를 해결하기 위한 대안으로 자율주행 청소 로봇이 주목받고 있다. 자율주행 청소로봇은 인력의 한계를 극복하여 청소 작업을 수행할 수 있으며 인력이 부족한 상황에서도 자율주행 청소로봇이 지속적으로 청소 작업을 수행하므로 근로자의 업무 부담을 줄여준다. 또한 근로자들이 공간적, 시간적 제한으로 인해 처리하지 못한 많은 청소 작업을 수행하고 청소 중 발생할 수 있는 위험 요소를 대신 수행하여 근로자들의 안전을 보장하며 이를 통해 업무의 효율성과 안정성을 높인다. 본 연구에서는 실외 도심 지역에서의 실사용이 가능한 자율주행 청소 로봇을 개발하고자 한다.

2. 센서 구성

2.1 센서 시스템 - GPS와 안테나

본 연구에서 청소로봇의 GPS(Global Positioning System)는 ublox ZED-F9P칩을 내장하고 있는 Sparkfun사의 GPS-RTK-SMA 제품을 사용하였다. GPS와 함께 사용될 안테나는 SinoGNSS사의 AT360 Geodetic Antenna 제품을 사용하였다. 이 안테나는 GPS-RTK-SMA 에게 GNSS(Global Navigation Satellite System) 신호를 수신하고, 이를 이용하여 위치 좌표를 계산하는데 필요한 정보를 제공한다, GPS-RTK-SMA 는 데이터 전송 속도가 10Hz로 초당 10번의 위치 정보를 받을 수 있다. 이 안테나의 밀도는 ±5cm 이내로 가진다.[4]



[그림 1] Antenna 와 GPS-RTK-SMA

2.2 센서 시스템 - IMU

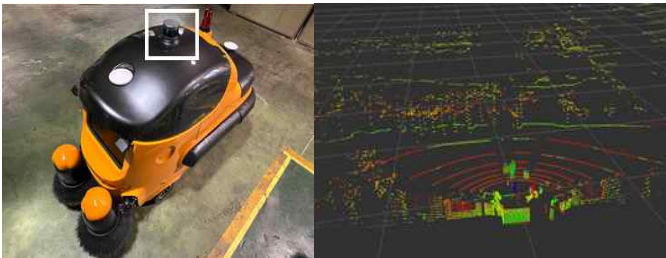
IMU(Inertial Measurement Unit)는 Taobotics 사의 HFI-A9을 사용하였다. 이 제품의 정적 각도 정확도는 0.1°이고 동적 각도 정확도는 0.5°이며 데이터 전송 속도는 300Hz이다. [4] 또한 9축 센서 (3-axis Gyroscope, 3-axis accelerometer, 3-axis magnetometer)를 탑재하여 각도, 방향 및 위치 등을 측정한다.



[그림 2] ROS IMU HFI-A9

2.3 센서 시스템 - 3D Lidar

3D Lidar로는 Robosense사의 RS-LIDAR-16을 사용하였다. 이 제품의 최대 측정 거리는 150m이며 데이터 전송 속도는 20Hz이다. 또한 정밀도는 ±2cm 이내로 가진다. [7]



[그림 3] RS-LIDAR-16 및 실행 결과

2.4 센서 시스템 - 초음파

초음파는 DFRobot사의 A02YYUW를 사용하였다. 감지 범위는 최소 3cm에서 최대 450cm 까지이며 측정 기준 각도는 60도이다. 또한 정밀도는 ±1cm 이내로 가진다.



[그림 4] A02YYUW 초음파

2.5 센서 시스템 - Camera

카메라는 Orbbec Technology사의 Orbbec Astra를 사용하였다. 이 제품은 60cm ~ 800cm까지 인식이 가능하며 시야각(Field Of View)은 60°H x 49.5°V x 73°D이다. 또한 정밀도는 1m당 ±3mm 정도 가진다.[6]

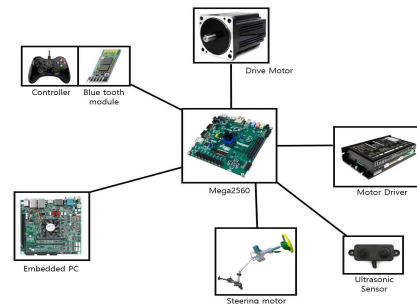


[그림 5] Orbbec Astra camera 및 실행 결과

3. 주행 H/W 구성

본 연구에서는 청소 로봇의 구동 모터로 MDROBOT사의 BL9L2K30C0400모델을 선정하였다. 모터는 14kgf.cm의 400W의 출력을 가지는 24VDC 3000RPM급 이며 Encoder를 내장하고 있다.[4] Encoder에서 나오는 펄스를 이용하여 odometry를 계산해 위치와 속도를 측정할 수 있다. 또한 전자식 브레이크를 통하여 정지 시에는 움직이지 않게 한다. 모터의 제어는 MDROBOT사의 MD400 모터 드라이버를 이용하여 속도 제어하였다.

청소 로봇에 사용된 조향 모터, 구동 모터, 8개의 초음파 센서를 제어하기 위해 ATMEGA사의 MEGA2560 CPU를 사용했다. 이 CPU는 AVR 아키텍처를 기반으로 하며, 고성능, 저전력, 보안성과 같은 강점이 있다. 해당 CPU는 내장된 4개의 UART 통신장치를 통해 485통신을 하여 조향 모터, 구동 모터, 8개의 초음파 센서를 제어한다. 이 CPU는 embedded PC와 리모컨에 연결되어 있으며 시스템 제어와 모니터링에 용이하다.[4] [그림 6]은 embedded 제어기의 구성을 나타낸다.



[그림 6] 임베디드 시스템 구성

3. 청소 로봇

본 연구를 위한 실외 자율주행 청소 로봇 개발 H/W 구성은 [그림 7]에서 나타낸다. 청소 로봇의 전 폭은 1.4m, 전장은 2.4m, 전고는 1.5m이며 무게는 약 230kg으로 구성되어 있다. 리튬폴리머 전지 200A를 사용하여 3시간 동안 연속으로 청소를 할 수 있다. 청소 도중 안정성과 방향 제어를 위해 청소 로봇의 최대 속도를 4km/h로 설정했다. [4] 2개의 GPS가 1m 간격으로 차량 앞·뒤에 배치되어 있고 Lidar가 차량의 최상단에 배치되어 있고 차량 좌·우 밑에 초음파가 장착되어 있다.



[그림 7] 실외 자율주행 청소로봇

4. 로봇 위치 인식 알고리즘

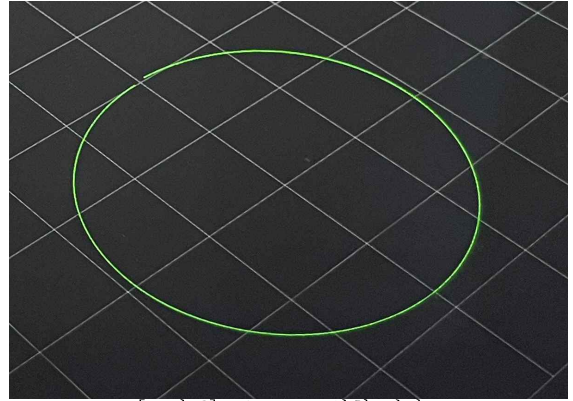
3.1 RTK-GPS를 사용한 위치 인식

본 연구에서는 두 개의 GPS와 안테나를 사용하여 청소 로봇의 위치를 제어한다.[8] 하나의 GPS는 청소 로봇의 현재 위치를 측정하는데 사용되고 또 다른 GPS는 청소 로봇의 Heading Angle 제어하는데 사용된다. 두 개의 안테나를 가까이 위치하게 되면 GPS 신호의 간섭에 의해 위치 측정 정확도가 낮아지므로 1m 이상의 간격을 두고 위치해야 한다. RTK-GPS (Real-Time Kinematic GPS)를 사용하여 현재 청소 로봇의 위치를 UTM(Universal Transverse Mercator) 좌표로 측정한다.[2]

3.2 Wheel Encoder와 IMU를 사용한 위치 인식

IMU 센서와 Wheel Encoder를 사용해서 청소 로봇의 위치를 추정하였다. Encoder에서 나오는 펄스를 가지고 청소 로봇이 이동한 거리를 측정한다. odometry를 사용하여 Encoder값과 측정한 거리 값을 통해 청소 로

봇의 위치를 추정한다. odometry는 출발 지점을 기준으로 하고, 기준으로부터 얼마나 떨어져 있는지를 파악하여 상대적인 위치를 추정한다.[1] [그림 8]은 청소 로봇의 회전반경을 측정할 때 odometry를 사용한 실험 결과이다.



[그림 8] odometry 실험 결과

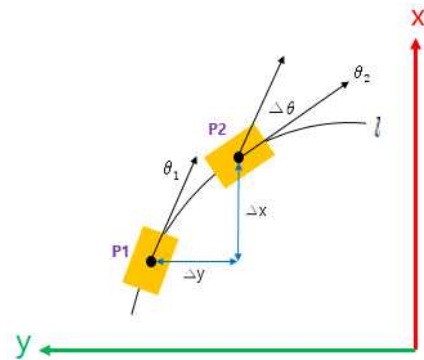
이때 사용된 식은 다음과 같다.

$$l = r \Delta\theta \quad , \quad r = \frac{\Delta\theta}{l} \quad (1)$$

$$\Delta x = r \sin(\Delta\theta) \quad (2)$$

$$\Delta y = r(1 - \cos(\Delta\theta)) \quad (3)$$

Encoder로부터 측정한 호의 거리 l 과 IMU를 사용해서 측정한 $\Delta\theta$ 를 (1)번 식에 대입하면 회전반경을 구할 수 있다. 이 회전 반경(r)과 IMU에서 측정한 각도의 변화($\Delta\theta$)를 사용하여 이동 거리($\Delta x, \Delta y$)를 구할 수 있다.[4] [그림 9]은 위 식을 사용해서 변화한 좌표를 보여준다.



[그림 9] 위치 인식을 위한 좌표계

4. 주행 환경 인식 알고리즘

청소 로봇은 정해진 경로를 따라 주행하면서 장애물을 인식할 시 멈추거나 회피를 한다. 3D Lidar의 일정 거리 안으로 장애물이 인식되면 청소 로봇은 장애물을 회피한다.[7] 카메라[6]에서 YOLOv5(You Only

Look Once version 5)를 사용하여 객체 인식[5]을 통해 사람을 인식할 경우 청소 로봇은 안내 방송과 함께 주행을 멈추며 이 후 사람이 지나가면 주행을 다시 시작한다.[4] 또한 큰 장애물을 인식할 경우에는 회피를 한다[3]. 청소 로봇의 좌·우측에 각각 4개의 초음파 센서가 있다. 초음파의 일정 거리 안으로 장애물이 인식[9]될 경우에도 안내 방송과 함께 주행을 멈춘다.

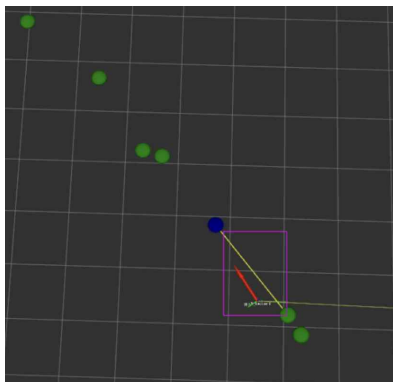
5. 경로 생성 및 주행 알고리즘

5.1 Heading Angle 측정 방식

Heading Angle을 측정하는 방식은 digital compass나 9축 IMU를 사용하는 것이 일반적이다. 이번 연구에서는 2개의 GPS 센서를 1m 이상의 간격으로 설치하여 Heading Angle을 측정하는 방식을 사용했습니다. 이 방식은 5도 이하의 각도 오차를 가지게 된다. IMU를 통한 방식은 초기에는 다른 방식에 비하여 정확하게 측정할 수 있지만, 시간이 지남에 따라 IMU의 데이터 값이 변화한다는 단점이 있다. 본 연구에서는 초기에 IMU에서 제공하는 AHRS(Attitude and Heading Reference System) 기능을 사용하여 offset으로 Heading Angle을 보정한 뒤, 청소를 시작하기 전 5초간 GPS Heading Angle을 보정 해주었다. 이렇게 함으로써 보다 정확한 Heading Angle을 측정[4]할 수 있다.

5.2 주행 알고리즘

본 연구에서는 UTM 좌표를 사용하여 RTK GPS를 통해 현재 로봇의 위치를 추정한다. 주행 알고리즘은 UTM 좌표 데이터를 기반으로 다음 경로 점까지 Virtual Line을 만들어 청소 로봇이 경로를 따라갈 수 있도록 하였으며, RTK GPS를 이용하여 로봇의 Heading Angle과 PID제어를 통해 주행 알고리즘을 구현하였다. 경로 점은 [그림 10]와 같이 1.5m ~ 3m 간격으로 생성한다.



[그림 10] odometry 실험 결과

6. 결론 및 향후 연구

본 연구는 실외 자율주행 청소로봇을 개발하였다. 청소 로봇은 Camera, 3D Lidar, 초음파 센서를 사용하여 장애물을 인식할 때 회피하며 Encoder와 IMU를 이용하여 현재 위치를 추정하고, IMU센서와 2개의 RTK-GPS를 사용하여 Heading angle을 측정하였으며, UTM 좌표 데이터를 기반으로 Virtual Line을 만들어 Heading angle과 PID 제어를 통해 경로 주행을 구현하였다.

7. 참고문헌

- [1] Byung Chan Choi, Hyeong Yun Kim, Injae Hwang, Haewoon Nam, "A Study on ROS-based Odometry System for 4WD with Ackermann Steering using Wheel Encoder and IMU", 한국통신학회 동계종합학술발표회, pp. 1137 ~ 1138, 2022
- [2] David VIEIRA, Rodolfo ORJUELA, Matthias SPISSER, Michel BASSET, "Positioning and Attitude determination for Precision Agriculture Robots based on IMU and Two RTK GPSs Sensor Fusion" IFAC PapersOnLine 60-65, 2022
- [3] 성준모, 송승관, 현창호, 박봉식, "이동로봇의 장애물 회피 방법론 비교. 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, pp. 615-615, 2021
- [4] 고국원, 이지연 "실외 청소 로봇을 위한 인공지능기반 자율 주행 시스템 개발에 관한 연구" ACK 2022 학술발표대회 논문집(29권 2호) pp. 526-528, 2022
- [5] 정회룡 "실외 이동로봇의 자율주행 기술 동향" 제어로봇시스템학회집 pp. 24-32, 2020
- [6] 조민호, 조성진, 김은태 "카메라 기반 주변 물체 정보 예측" 제어로봇시스템학회 국내학술대회 논문집 pp. 95-96, 2020
- [7] 최덕선, 심성대, 민지홍 "야외 주행 무인지상차량을 위한 3D 라이다 기반 지면 및 장애물 탐지에 대한 연구" 대한기계학회 춘추학술대회 pp. 2824-2829, 2016
- [8] 이종윤, 김태홍, 김현우 "저가형 RTK모듈, 휠펄스 및 IMU 센서를 이용한 차량 위치 추정" 한국자동차공학회논문집 pp. 407-415, 2018
- [9] 박지훈, 송영훈, 이경창, 이석 "능동형 무인지계차의 자율주행을 위한 초음파센서기반 장애물인식기술" 한국정밀공학회 학술발표대회 pp. 575-576, 2009