

보고서

보고서 및 논문 윤리 서약

1. 나는 보고서 및 논문의 내용을 조작하지 않겠습니다.
 2. 나는 다른 사람의 보고서 및 논문의 내용을 내 것처럼 무단으로 복사하지 않겠습니다.
 3. 나는 다른 사람의 보고서 및 논문의 내용을 참고하거나 인용할 시 참고 및 인용 형식을 갖추고 출처를 반드시 밝히겠습니다.
 4. 나는 보고서 및 논문을 대신하여 작성하도록 청탁하지도 청탁받지도 않겠습니다.
- 나는 보고서 및 논문 작성 시 위법 행위를 하지 않고, 명지인으로서 또한 공학인으로서 나의 양심과 명예를 지킬 것을 약속합니다.

보고서명 : 캡스톤디자인2 1차보고서

학 과 : 전기공학과

과 목 : 캡스톤디자인2

담당교수 : 이범주

마 감 일 : 2023.10.31

제 출 일 : 2023.10.31

팀 명 : 캡스톤디자인2 7조

| | | | | | |
|-----|------|----------|------|-----|------|
| 팀원1 | 학번 : | 60205095 | 이름 : | 강승원 | (서명) |
| 팀원2 | 학번 : | 60195101 | 이름 : | 장원준 | (서명) |
| 팀원3 | 학번 : | 60191782 | 이름 : | 임홍균 | (서명) |
| 팀원4 | 학번 : | 60205098 | 이름 : | 김민석 | (서명) |

제안상품명: Shortest path following vehicle (최단 경로 추종 차량)

발주자: 명지대학교 전기공학과 이범주 교수

보고기관: 명지대학교 전기공학과

설계팀: 강승원: 명지대학교 소속

경기도 성남시 분당구 장미로 55, 010-3642-7438

장원준: 명지대학교 소속

경기도 서울시 송파구 마천동 344-5, 010-3734-8415

임홍균: 명지대학교 소속

경기도 서울시 강북구 도봉로 18길 48, 010-6456-7011

김민석: 명지대학교 소속

경기도 화성시 동탄대로 469-12, 010-9054-1670

작성일자: 2023년 10월 31일

문서버전: Ver 1

목 차

| | |
|---------------------------|----|
| 1. 설계/프로젝트 개요..... | 3 |
| 2. 설계/프로젝트의 현실적 제약조건..... | 4 |
| 3. 사용자 요구사항..... | 5 |
| 4. 설계/프로젝트 목적..... | 6 |
| 5. 개인이 맡은 부분 | 7 |
| 참고문헌..... | 11 |

1. 설계/프로젝트 개요

요약문

캡스톤디자인2 7조는 이범주 교수님과의 미팅을 거쳐 트랙에서 출발 위치와 도착 위치가 결정되면 최단 경로로 출발 위치에서 도착 위치까지 이동하는 차량인 ‘최단 경로 추종 차량’을 제작하기로 하였다. 현실적 제약조건은 야외의 지형을 고려해서 제품을 제작하기가 어려워 제품이 정해진 트랙에서 이동하는 것이다. 제품의 요구사항은 차량이 출발 위치에서 도착 위치로 이동하는지, 이동할 때 최단 경로로 이동하는지, 트랙의 길이 변화하였을 때 다시 경로를 생성하는데 걸리는 시간이 최소인지이다. 이 요구사항들을 제품의 제작 목적을 세우기 위해 구체적으로 해석하면 트랙 상의 좌표, 출발 위치와 도착 위치 사이의 좌표들을 지정하는 알고리즘, 지정된 좌표들을 차량이 오차 없이 추종, 알고리즘 소스 코드의 최적화가 필요하다는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 앞의 사항들을 만족하기 위해서 제품에 OPENCV 좌표계, A^* 알고리즘, Pure Pursuit 알고리즘 이론 등을 적용한다.

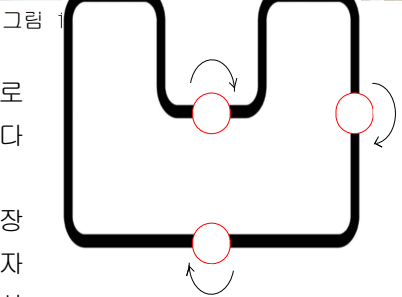
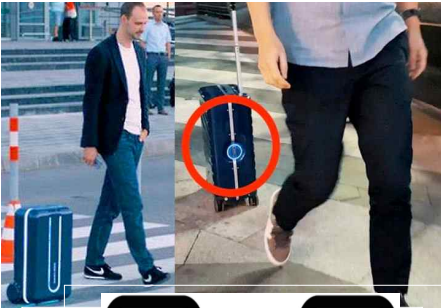
Abstract

After a meeting with Professor Bumjoo Lee, Group 7 of Capstone Design 1 decided to produce a ‘Shortest path following vehicle’, a vehicle that moves from start to arrival in the shortest route when the start and arrival points are determined on the track. The realistic constraint is that it is difficult to produce the product in consideration of the outdoor topography, so the product moves on the track. The product's requirements are whether the vehicle moves from the starting point to the arriving point, moves the shortest route, and whether the time taken to generate the path again is the minimum when the track path changes. To set the purpose of production, these requirements can be interpreted to need the coordinates on the track, the algorithm that specifies the coordinates between the starting point and the arrival point, and the vehicle follows the specified coordinates without error, and the optimization of algorithm source code. Therefore, OPENCV coordinate system, A^* algorithm, and Pure Pursuit algorithm theory are applied to the product to satisfy the above.

캡스톤디자인2 7조 강승원, 장원준, 임홍균, 김민석 4명은 사회적 약자 중에 가장 문제가 심각해 보이는 시각 장애인에 대한 제품인 ‘시각 장애인을 위한 웨어러블 기기(Wearable devices for the blind)’를 제작하려고 했다.

이후 이범주 교수님과의 1차 미팅에서 피드백의 결과로 주제를 변경하기로 하였다. 그래서 조원들끼리 프로젝트 주제에 대한 브레인스토밍을 통해서 시각 장애인을 위한 웨어러블 기기 대신 사용자가 원하는 위치를 설정하면 해당 위치로 장애물을 회피하고 사용자와 거리를 유지하며 길을 안내하는 로봇을 제작하기로 하였다. 그러나 2차 미팅에서 교수님께서 해당 주제가 너무 어려운 주제라고 피드백을 주셨다. 이를 고려해서 제작하기로 결정한 제품은 다음과 같았다.

로봇을 차량 형태로 제작하여 차량이 트랙 위에서 장애물을 회피하며 정해진 경로를 추종하는 라인 트레이서를 제작한다. 그러나 3차 미팅 이전 중간 미팅에서 교수님이 4명이라는 인원수에 비해 라인 트레이서는 제작하기 쉽다는 것을 지적하셨다. 조원들과 새롭게 토의한 결과, 라인 트레이서 트랙이 아닌 도로형 트랙에서 출발 위치와 도착 위치가 결정되면 최단 경로로 출발 위치에서 도착 위치까지 이동하는 일종의 자율주행 차량으로 주제를 결정했다. 자율주행 차량을 주제로 선택한 이유는 다음과 같다.



21년부터 자율주행차가 다시 ICT/자동차 업계의 화두로 등장하였다. 혼다와 테슬라 등의 자동차 기업들이 SAE J3016 자율주행 기술 단계 레벨 3의 기능을 가진 자율주행차를 생산하며 화두로 올랐으며 자율주행차 본격 상용화 시대를 대비해, 국내 기업들도 투자, 전략적 제휴를 적극적으로 검토 중이라는 입장을 내놓았다.¹⁾

< SAE J3016 자율주행 기술 단계 >

그림 2: 라인트레이서 트랙

| 구분 | 레벨 0 | 레벨 1 | 레벨 2 | 레벨 3 | 레벨 4 | 레벨 5 |
|--------------|--------|----------|-----------|---|---|---|
| | | | | | | |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 정의 | 자율주행 無 | 운전자 지원 | 부분 자율주행 | 조건부 자율주행 | 고도 자율주행 | 완전 자율주행 |
| 자율 수준 | 운전자 | FEET-OFF | HANDS-OFF | EYES-OFF | MIND-OFF | 승객 |
| 제어 주체 | 인간 | 인간/시스템 | 시스템 | 시스템 | 시스템 | 시스템 |
| 운영 책임 | 인간 | 인간 | 인간 | 인간/시스템 | 시스템 | 시스템 |
| 하드웨어 요구성능 | | | | <ul style="list-style-type: none"> ECU 프로세서: 200TOPS 이상 램: 24GB 이상 저장공간: 256GB 이상 데이터링크: 100Mbps 이상 | <ul style="list-style-type: none"> ECU 프로세서: 200TOPS 이상 램: 48GB 이상 저장공간: 512GB 이상 데이터링크: 100Mbps 이상 | <ul style="list-style-type: none"> ECU 프로세서: 2000TOPS 이상 램: 128GB 이상 저장공간: 2TB 이상 데이터링크: 1Gbps 이상 |

* 자료: SAE, Wevolver, Gartner, 정보통신기획평가원

그림 3: SAE J3016 자율주행 기술 단계

또한 23년 특허청에서 자율주행차 센서융합기술과 관련된 특허출원에서 한국이 세계 2위를 차지했으며 “자율주행 분야는 점점 발전하고 경쟁이 더욱 치열해질 것”이라 말하였다.²⁾

1) 김용균 수석, 「최근 자율주행차 산업 동향과 시사점」, 과학기술정보통신부 이슈 분석
 2) 김진희, 「"자율주행차 센서융합기술 특허출원 한국 2위...연평균 40.8% 증가"」, 『HelloT』, 2023년 5월 7일자.

이처럼 자율주행 분야는 한국에서는 물론 세계적으로도 경쟁이 치열하고 최근 발전이 빠른 분야이고 해당 제품이나 기술을 필요로 하는 기업이나 사용자들이 많기 때문에 이번 캡스톤 디자인 주제로 선정하기 적합해 보여 최단 거리 경로 추종 주행 로봇을 주제로 선정하였다. 3차 미팅에서 캡스톤 디자인2 7조는 앞에서 서술한 제품인 ‘최단 경로 추종 차량(Shortest path following vehicle)’을 제작하는 것으로 결정하였다. 그 이후 각 조원 간의 역할분배를 했는데 그 내용은 다음과 같다. 강승원 조원은 A*알고리즘 모의실험 및 planning, 임홍균 조원은 라즈베리파이를 이용한 A*알고리즘 동작과 아두이노 차량으로의 데이터 전송과 라이더 데이터 처리, 장원준 조원은 OPENCV 담당 김민석 조원은 차량의 속도 및 위치제어와 경로 추종 담당으로 결정되었다. 본 보고서의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 현실적 제한 조건인 제품이 야외에서 이동하지 않는 이유에 관해서 서술한다. 3절에서는 제품에 대한 사용자의 요구사항을 서술하고 이를 제품의 제작 목적을 세우기 위해 구체적으로 해석한다. 4절에서는 제품에 대한 설계 및 프로젝트 목적을 설명하며 제품이 잘 동작하기 위하여 각 조원의 설계내용과 그 내용이 어떻게 목적에 도달하는지 관련하여 자세히 설명한다.

2. 설계/프로젝트의 현실적 제약조건

최단 경로 추종 차량은 정해진 트랙에서 이동하며 야외에서 이동하지 않는다. 그 이유에 관해서 서술한다.

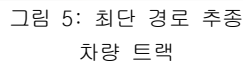


그림 4: 명지대학교(자연캠퍼스)
지도

그림 4에서 최단 경로 추종 차량이 좌측 건물(제3공학관)에서 우측 건물(제4공학관)까지 최단 경로로 이동한다고 가정한다. 차량이 최단 경로로 이동하려면 좌측 건물에서 우측 건물까지의 경로를 생성해야 한다. 경로를 생성하기 위해서는 지도상의 좌표가 있어야 하며 이는 네이버 지도 API, Kakao 지도 API 등을 통해서 좌표(위도와 경도)를 얻을 수 있다. 하지만 좌표로는 지도상의 지형을 알 수 없다. 지도상의 좌표로는 좌측 건물에서 우측 건물까지 이동하는 최단 경로는 회색 화살표이지만 회색 화살표 경로에는 산이 존재하므로 지형을 고려한다면 적색 화살표 경로가 회색 화살표 경로보다 최단 경로일 가능성이 크다. 또한, 지형을 고려하면 지형에 따른 차량의 모터 제어가 필요하다. 지형의 경사에 따라서 오르막이면 모터의 토크를 높이고 내리막이면 토크를 줄여야 한다.

앞에서 서술한 지도상의 지형과 지형에 따른 차량의 모터 제어를 고려한다면 조원들의 능력으로는 야외에서 이동하는 최단 경로 추종 차량을 제작하는 것이 힘들 것으로 판단하였다. 조원들의 능력이 충분하더라도 캡스톤디자인2의 최종 발표일내에 이를 제작하는 것은

따라서 캡스톤디자인2 7조는 정해진 트랙에서 이동하는 최단 경로 추종 차량을 제작하기로 하였다. 트랙의 크기는 가변이며, 트랙의 길은 평지에 놓여 있다. 트랙의 예시는 다음과 같으며 장애물의 위치는 변경될 수 있다.



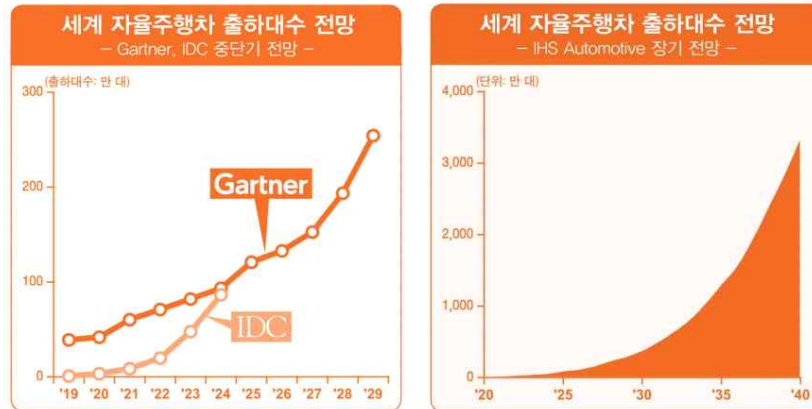
< SAE J3016 자율주행 기술 단계 >

※ 자료: SAE, Wevolver, Gartner, 정보통신기획평가원

그림 3에서 자율주행의 기술 단계를 나타내고 있다. 이때 레벨 1~2는 업계에서 일반적으로 ADAS라고 통칭하며, 자율주행차라고 칭하지 않는다. 자율주행차는 SAE 자율주행 기술 단계 기준 레벨 3~5에 해당되는 경우를 말한다. 즉, 운전자 또는 승객의 조작 없이 자동차 스스로 운행이 가능한 자동차를 뜻하며, ICT 기술을 이용해서 운전자의 개입 없이 주변 환경을 인지하고 주행 상황을 판단해 차량을 제어하는 첨단 자동차를 의미한다.

- 5 -

< 세계 자율주행차 시장 전망 >



※ 자료: 가트너, IDC, IHS마켓

그림 6: 세계 자율주행차 시장 전망⁴⁾

위의 그래프에 따르면 시간이 지남에 따라 세계 자율주행차 출하대수가 크게 증가할 것으로 예상되지만, 24년기준으로 2024년 세계 자동차 생산대수를 약 1억대라고 할 때 자율주행차는 100만대로 1% 수준이다. 또한 법, 제도, 높은 가격, 기술적 완성도, 비즈니스 모델 개발과 같은 문제 해결 여부가 자율주행차 상용화 시기를 결정하게 될 전망이다. 따라서 시장 초기에는 레벨 3 이상의 자율주행 기능은 고가 차량에서 채택될 것이며, 자동차를 소비하는 일반 대중들이 완벽히 신뢰하고 사용할 수 있으려면 주행의 정확도가 가장 중요한 요소로 적용될 것이다. 또한 목적지까지 도달하기에 최소한의 시간이 걸리도록 최단거리를 계산해야 할 것이다.

4. 설계/프로젝트 목적

현실적 제한조건을 감안 했을 때, 캡스톤디자인2 7조 조원들이 판단한 최단 경로 추종 차량의 요구사항은 다음과 같다.

첫 번째 요구사항은 차량이 출발 위치에서 도착 위치로 이동하는 지이다. 이를 만족하지 않는다면 길 안내 차량이 아니므로 이는 반드시 달성해야 할 중요한 요구사항이다. 두 번째 요구사항은 최단 경로 추종 차량이므로 차량이 이동할 때 최단 경로로 이동하는 지이다. 세 번째 요구사항은 트랙의 길이 변화하였을 때 다시 경로를 생성하는데 걸리는 시간이 최소 인지이다. 이 요구사항들을 만족하지 않는다면 차량이 길 안내를 하더라도 도착 위치까지 가는 데 낭비되는 시간이 생긴다.

앞에서 서술한 3가지 요구사항들을 제품의 제작 목적을 세우기 위해 좀 더 구체적으로 해석할 필요성이 있다.

첫 번째 요구사항을 만족하기 위해서는 트랙 상의 좌표가 필요하다. 출발 위치의 좌표, 도착 위치의 좌표, 출발 위치와 도착 위치 사이의 좌표들이 지정된다면 차량이 이 좌표들을 추종하게 하여 출발 위치에서 도착 위치로 이동할 수 있다. 또한 주어진 좌표들을 정확하게 따라가도록 하는 경로 추종 알고리즘 또한 반드시 필요 할 것이다. 두 번째 요구사항을 만족하기 위해서는 출발 위치와 도착 위치 사이의 좌표들을 지정하는 알고리즘이 필요하다.

4) 김용균 수석, 「최근 자율주행차 산업 동향과 시사점」, 과학기술정보통신부 이슈 분석

출발점에서 목표점까지 가는 최단 경로를 나타내는 그래프 탐색 알고리즘인 A^* 알고리즘을 사용한다. 또한, 이 요구사항들을 만족하기 위해서는 지정된 좌표들을 차량이 오차 없이 추종하게 하는 것도 필요하다. 세 번째 요구 사항을 만족하기 위해서는 A^* 알고리즘 소스 코드의 최적화가 필요하다.

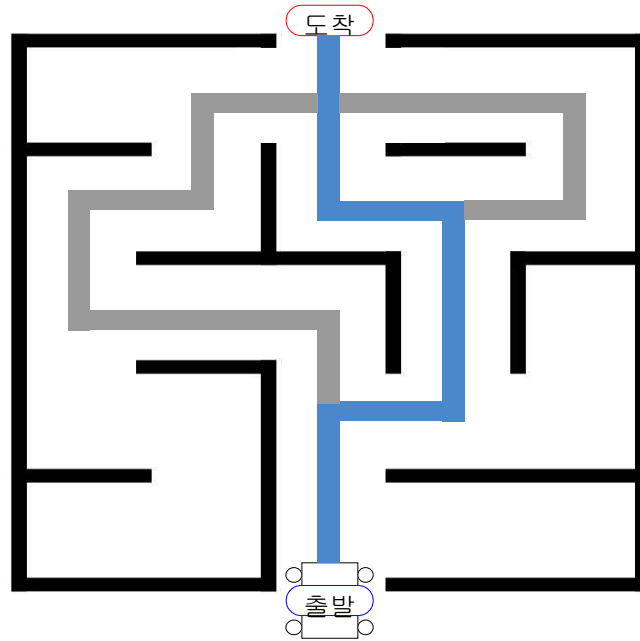


그림 7: 자율주행 차량 동작 그림

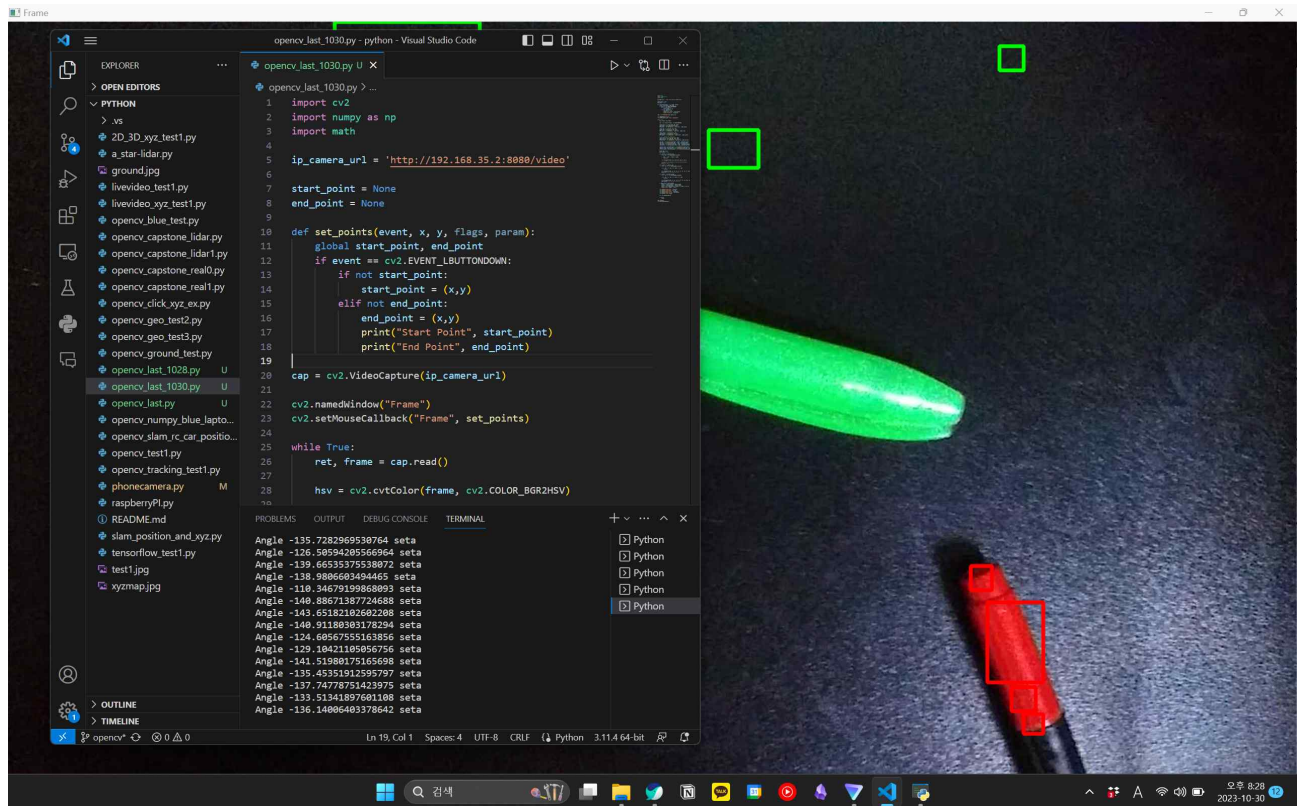
그림7은 위의 요구사항들과 제한조건들을 적용한 최단 경로 추종 차량의 간단한 동작 그림이다. A^* 알고리즘을 기반으로 도착지부터 목적지까지 OPENCV 좌표계를 사용해 최적 경로를 탐색하여 이동하는 제품이다. A^* 알고리즘 동작에 필요한 좌표와 차량의 현재 위치와 헤딩 각은 직접 카메라로 찍어 OPENCV 좌표계를 활용하여 동작하며, 라즈베리파이에서 해당 좌표 데이터들을 전송받은 뒤 A^* 알고리즘을 구동하여 최단 경로를 계산 후, Waypoint의 형태로 데이터를 차량의 아두이노 우노에 전송한다. 전송된 경로 데이터와 차량의 현재 위치와 헤딩 각 데이터를 이용한 경로 추종은 Pure Pursuit Algorithm를 사용한다. 앞으로 각 조원이 담당할 파트에 적용되는 이론을 자세히 설명해보도록 할 것이다.

5. 본인이 맡은 부분 (요약)

카메라를 위에 설치하여 트랙 전체에 좌표계를 설정한 다음 현재 차량의 위치를 차량에 부착된 파란색 스티커를 통해 트랙의 좌표계에서 현재 차량 위치를 x , y 로 나타내고 카메라 화면을 클릭하여 출발점과 도착점을 지정하면 출발점에 대한 좌표와 도착점에 대한 좌표를 출력하여 rc 가 해당 위치로 이동하게 하는 역할과 차량에 부착한 빨간색 스티커와 초록색 스티커를 통해 차량의 기울어짐을 계산해 Pure pursuit 알고리즘에 전송하며 벽, 장애물을 노란색으로 칠하여 트랙의 벽이나 장애물을 확인하는 것을 맡음.

부가적으로 외부 전력이 병렬에서 직렬로 바뀔에 따라 전압을 그대로 공급하면 $3.7 \times 4 = 14.8\text{v}$ 이므로 모터, 아두이노, 라즈베리파이 모두 버틸 수 없는 전압이 되기에 스텝 다운 컨버터를 이용하여 14.8v 를 5v 로 조절하며 또한 회로를 조금 수정하여 기기에 무리가 가지 않도록 회로를 수정하였음.

5-1 본인이 맡은 부분.

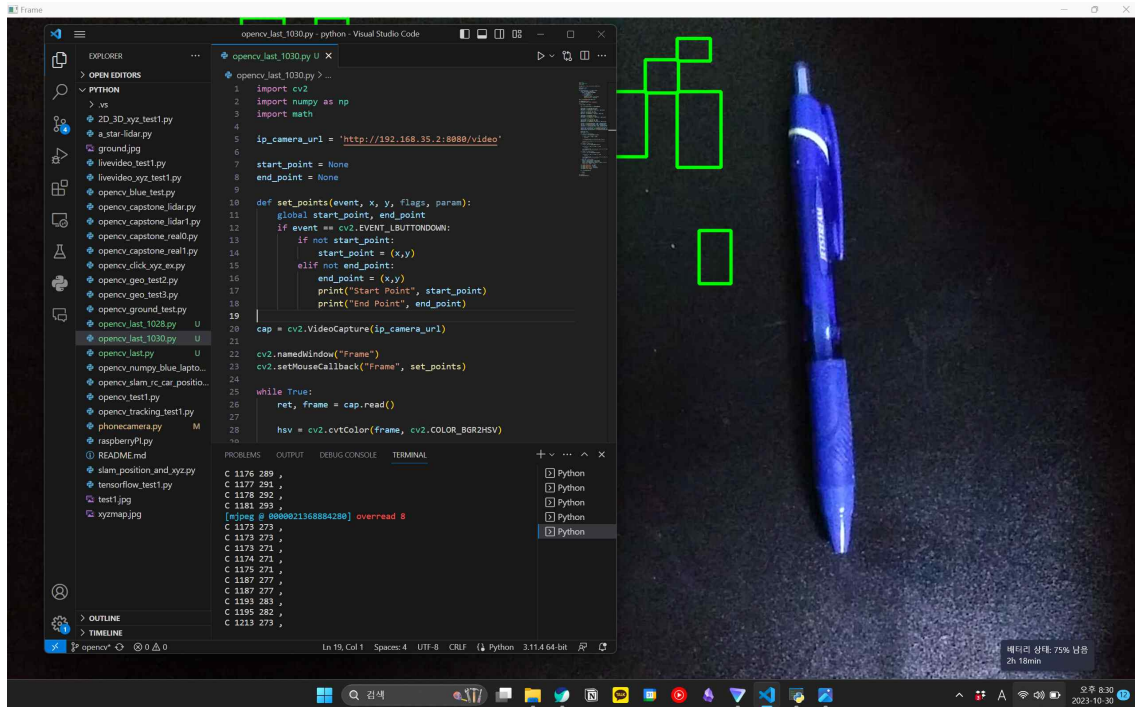


현재 코드를 통해 빨간색을 가진 컴퓨터용 사인펜을 인식하고 초록색을 가진 형광펜을 인식하여 각도를 Angle 각도 seta 구성으로 터미널에서 출력하고 있는 모습이다.

opencv에서 HSV라는 색을 인식하는 코드를 통하여 빨간색과 초록색을 인식한 다음 두 색깔을 atan2 (a는 크기이고 2배각 공식을 이용함) 식에 넣어 각도 값을 계산하여 여기서 얻은 각도 값을 토대로 Pure Pursuit에서 요구하는 차량의 기울어짐에 대한 각도를 얻어 차량이 기울어짐을 방지하고 올바르게 이동할 수 있도록 차량의 기울어짐을 계산하기 위해 만들어진 코드이다.

모터에 encoder가 없기 때문에 더욱더 정확한 각도 값을 줘야 하기에 가장 정확하게 구할 방법의 하나로 차량 위에 빨간색과 초록색 스티커를 부착한 다음 opencv의 HSV 색 인식을 통해 해당 차량이 얼마나 기울어져 있는가를 구하며 그 구한 값을 Pure Pursuit에 적용하는데 있어 더욱 오차가 적으며 추가적인 부분 없이 만들 수 있다는 장점에 채택하였다.

화면 촬영 시점에 스티커가 없어 코드를 조금 수정하여 색깔만 인식하도록 하였으며 실제 사용될 코드는 빨간색 원, 초록색 원을 인식하는 코드로 위의 사진처럼 빨간색 전체와 초록색 전체를 읽진 않을 것이다.

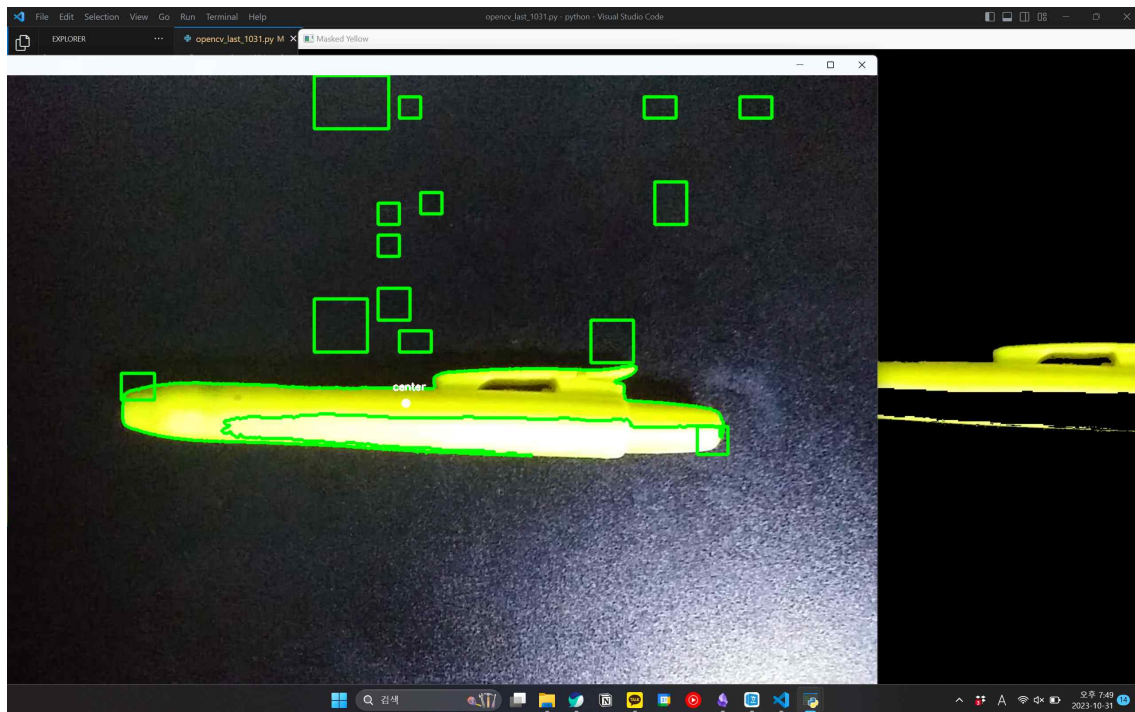


이번 사진은 같은 파란색에 대하여 현재 좌푯값을 알려주는 모습이다. (코드 파일은 위의 코드 파일과 같음) 이 코드를 이용하여 현재 차량의 위치를 좌푯값으로 나타낼 것이며, 방법은 차량 윗부분에 파란색 원 스티커를 부착한 뒤 코드를 통하여 차량의 크기만큼 값을 더하여 좌표를 조금 보정하여 더 정확한 차량의 현재 위치를 좌푯값으로 나타낼 것이다.

파란색의 경우 앞서 말한 HSV를 통하여 인식하였으며 좌표의 경우 python 특성상 포인터가 없기에 numpy를 통하여 보이지 않는 임의의 행렬을 화면에 설치하여 화면에 x 좌표 y 좌표를 만들어 냈으며 스크린샷 화면은 현재 파란색 볼펜을 인식하여 해당 좌푯값을 C x 좌표 y좌표, 의 형태로 나타내고 있으며

이 값은 Pure Pursuit과 A* 알고리즘에 그대로 입력이 되어 두 알고리즘과 연결될 것이며 이를 통해 현재 차량의 위치가 어딘지를 알게 되며 A*을 통해 해당 위치에서 가장 빠르게 도착점으로 이동할 방법을 제시하며 또한 현재 차량 위치가 어딘지 알면 Pure Pursuit 에서도 어느 방향으로 돌아야 하는지에 대해 보다 더 정확한 입력값을 제공할 수 있기 때문에 이 코드를 추가하였다.

(현재 스티커가 없는 관계로 색깔 자체만 인식하게 하였으며, 원래 코드는 파란색 원에 대하여 인식하는 코드임)



이번 사진은 노란색을 인식하고 노란색을 벽 또는 장애물로 감지하는 모습이다

(코드 파일은 위의 코드 파일과 같음)

1학기의 경우 라이다 센서를 통하여 벽과 장애물을 해결하려 하였으나 어려움이 많이 발생하여 컴퓨터전을 이용하여 차량이 벽 또는 장애물과 부딪히지 않도록 HSV를 이용하여 노란색을 검출해 노란색이 있는 경우 벽이나 장애물로 인식해 어느 지점에 벽, 장애물이 있는지 트랙 위에 설치해 둔 카메라를 통하여 알 수 있다.

앞에 있는 코드와 마찬가지로 HSV를 통하여 노란색을 검출하고 노란색을 장애물로 인식하여 해당 위치를 좌표값으로 줄 것이며

이 코드는 A* 알고리즘과 Pure Pursuit 알고리즘과 연결될 예정이며 장애물의 위치를 파악하고 있기에 A* 알고리즘에서 최단 거리 이동 시에 노란색이 칠해져 있는 부분에 대하여 사전에 방지하고 갈 수 있게 될 것이며 또한 Pure Pursuit 입장에서는 장애물의 위치를 알고 있기에 좀 더 빠르게 방향 값을 얻어 안정적으로 이동할 수 있게 된다는 장점을 가지기에 이 방법을 택하였다.

참고문헌

김진희, 「"자율주행차 센서융합기술 특허출원 한국 2위...연평균 40.8% 증가"」, 『HelloT』, 2023년 5월 7일자. <https://www.hellot.net/news/article.html?no=77740>

조규남, 「"2022년 국내 코스닥 상장 로봇기업 총 매출 규모 및 성장률"」, 『로봇신문사』, 2023년 3월 20일자. <http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=31106>

김용균 수석, 「최근 자율주행차 산업 동향과 시사점」, 과학기술정보통신부 이슈 분석 https://now.k2base.re.kr/portal/issue/ovsealssued/view.do?poliIssueId=ISUE_000000000000977&menuNo=200&pageIndex=1

네이버 블로그, “아두이노 초음파센서(HC-SR04)사용 예제설명”, <https://m.blog.naver.com/boilmint7/220926404472>.

네이버 블로그, “[OpenCV] Python으로 사람 검출하기 (haarcascade)”, <https://blog.naver.com/PostView.nhn?isHttpsRedirect=true&blogId=rhrkdfus&logNo=221512802945>.

카카오엔터프라이즈, “AI에게 어떻게 음성을 가르칠까?”, <https://tech.kakaenterprise.com/66>.