



경희대학교
KYUNG HEE UNIVERSITY



Field painting robot using ROS-based DQN reinforcement learning and PID control

팀 구성 : 김정윤 (2018100670), 방지호 (2018100694)



Human-Robot Interaction Laboratory

Contents



01

과제 설계 배경 및 필요성

02

Waypoint : PID 제어 이론 및 구현

03

Machine learning : DQN 강화학습 이론 및 구현

04

Turtlebot3 Hardware Implement

01. 과제 설계 배경 및 필요성



모든 아스팔트 도로에는 차선이 존재하며, 색칠부터 길이 측정까지 대부분 인간의 손에 의해 그려짐. 몇 백 km나 되는 도로와 경사면, 여름철 등 특정 환경이 차선 그리는 작업을 굉장히 어렵게 만듦.



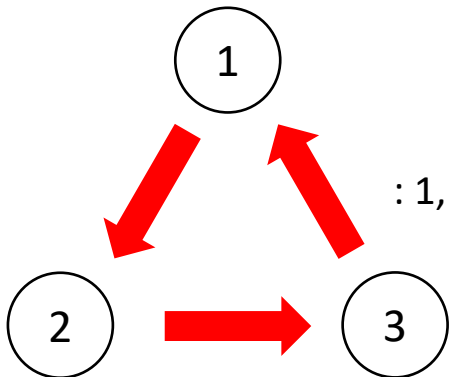
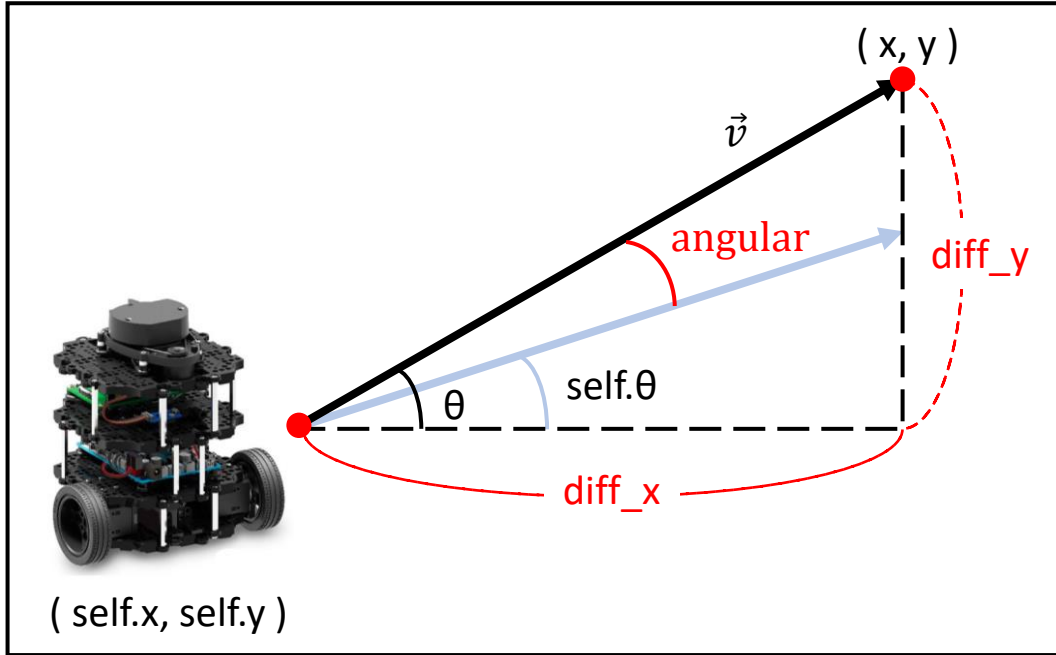
축구, 야구, 테니스와 같은 스포츠 계열, 최근 유행했던 오징어게임과 같이 필드를 만들어야 하나 매번 그리기 귀찮은 경우가 많음.

위와 같은 문제 해결을 위해 Field painting robot을 구현하고자 함. PID제어로 속도를 제어해 원하는 위치로 이동하는 waypoint 방법과 machine learning 중 DQN 강화학습모델을 이용해 이동하는 2 가지 방법에 대해 robot model을 설계함.

02. Waypoint : PID 제어 이론 및 구현



• 기본 이동 원리



: 1, 2, 3번 동작이 계속 반복되며 이동

① 초기 위치 & 목표점을 바탕으로 필요한 값 계산

$$\begin{cases} \vec{v} = (x - self.x, y - self.y) = (diff_x, diff_y) \\ \hat{v} = \left(\frac{diff_x}{\sqrt{diff_x^2 + diff_y^2}}, \frac{diff_y}{\sqrt{diff_x^2 + diff_y^2}} \right) \\ \theta = \tan^{-1}\left(\frac{diff_y}{diff_x}\right) \end{cases}$$

② 제자리 회전 (angular = 0이 되도록)

$$angular = \theta - self.\theta = \tan^{-1}\left(\frac{diff_y}{diff_x}\right) - self.\theta$$

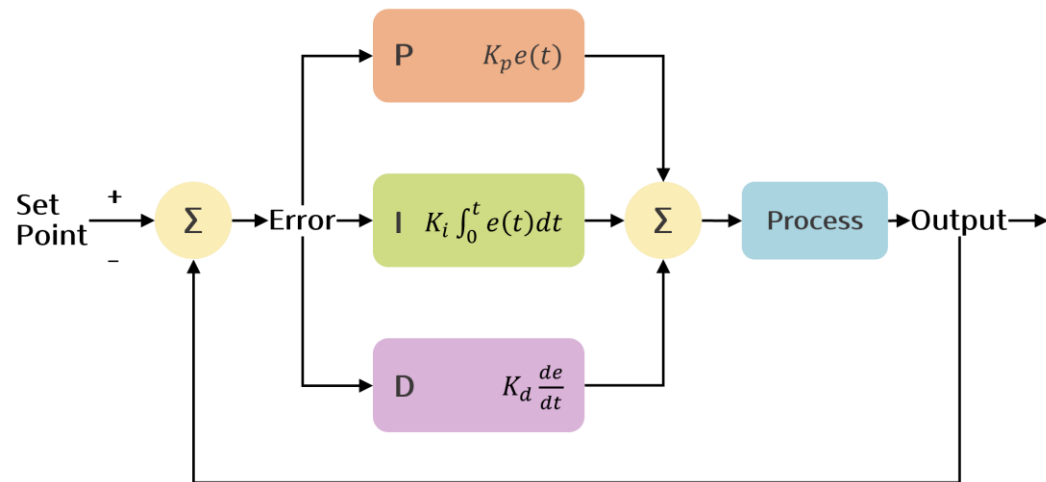
③ 목표점으로 이동

$$linear = \vec{v} \cdot \hat{v} \quad (\hat{v} = \text{초기에 구한 값}, \vec{v} = \text{매번 변화되는 값})$$

02. Waypoint : PID 제어 이론 및 구현

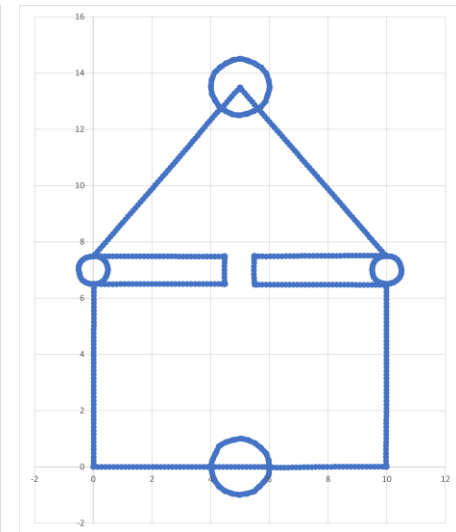
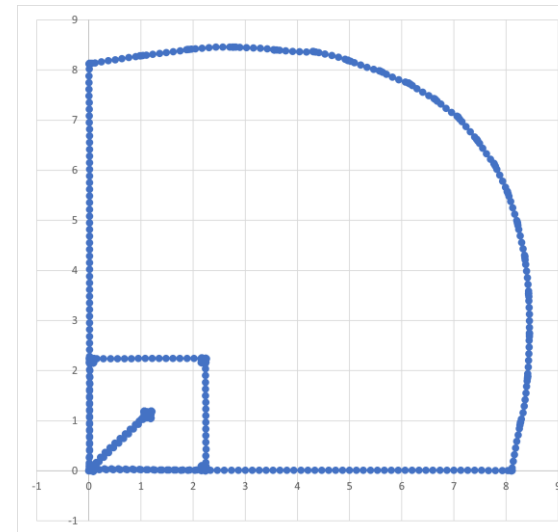
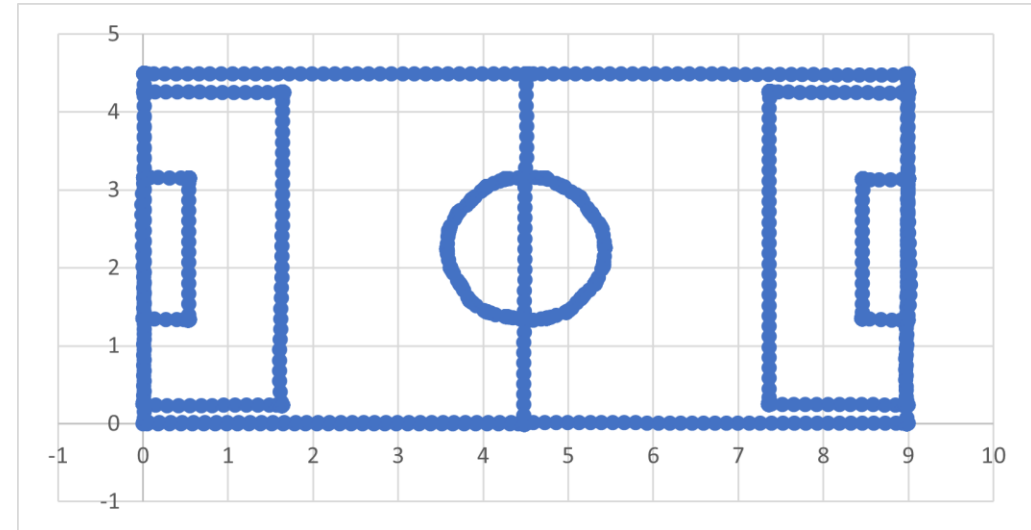


- PID 제어기 설계



[일반적인 PID 제어기]

: 이동시에 생기는 각도 오차를 보정하는데 사용함.



[Gazebo 환경에서 각각 축구장, 야구장, 오징어게임을 그린 trajectory 그래프]

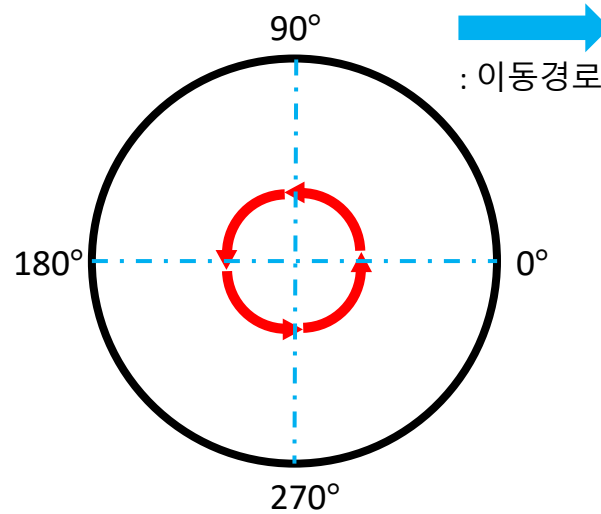
02. Waypoint : PID 제어 이론 및 구현



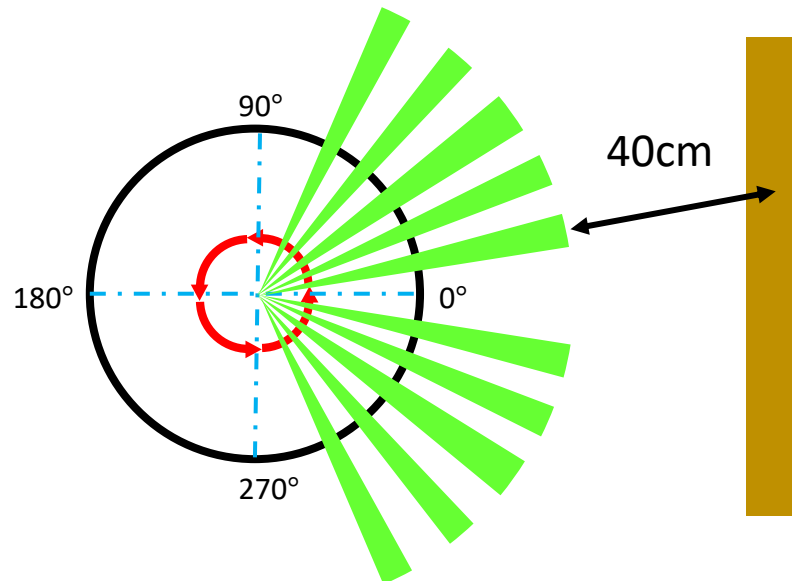
- Lidar 장애물 탐지 기능 구현



[360 Laser Distance Sensor LDS-01]



이동하며 바라보는 방향 기준
반시계 방향으로 0°~359°까지
총 360개의 거리 정보 데이터
를 받아들임.

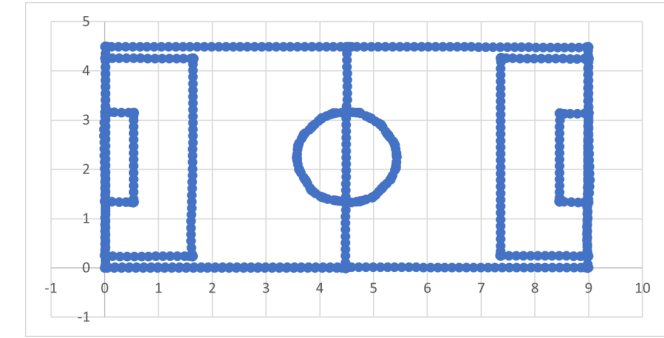
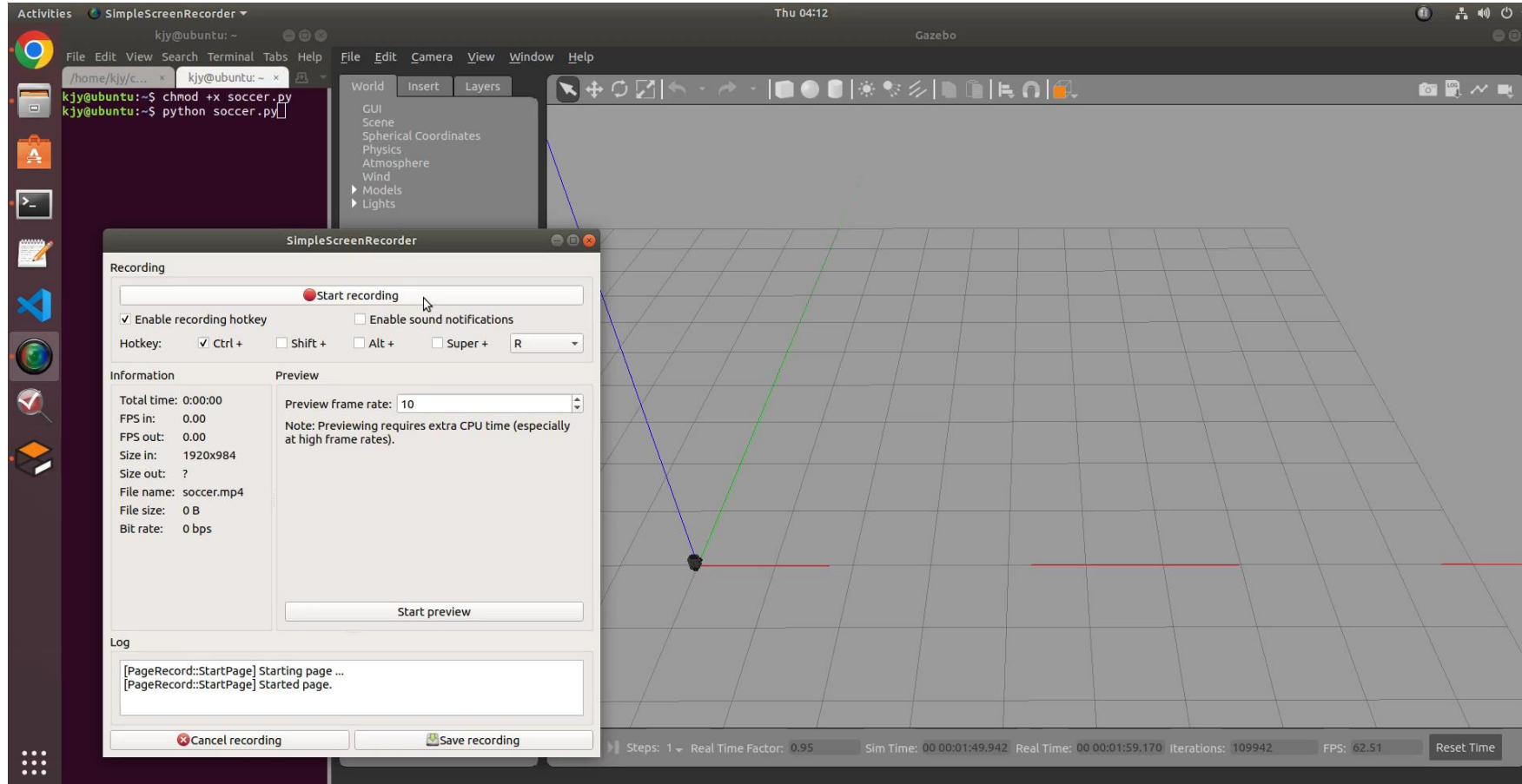


40cm보다 가까운 라이다
정보가 4개 이상 감지되면
정지하도록 함.

02. Waypoint : PID 제어 이론 및 구현



- Gazebo 상에서 구현한 waypoint simulation



03. Machine learning : DQN 강화학습 이론 및 구현



- Comparison Classic Q-learning with Deep Q-learning

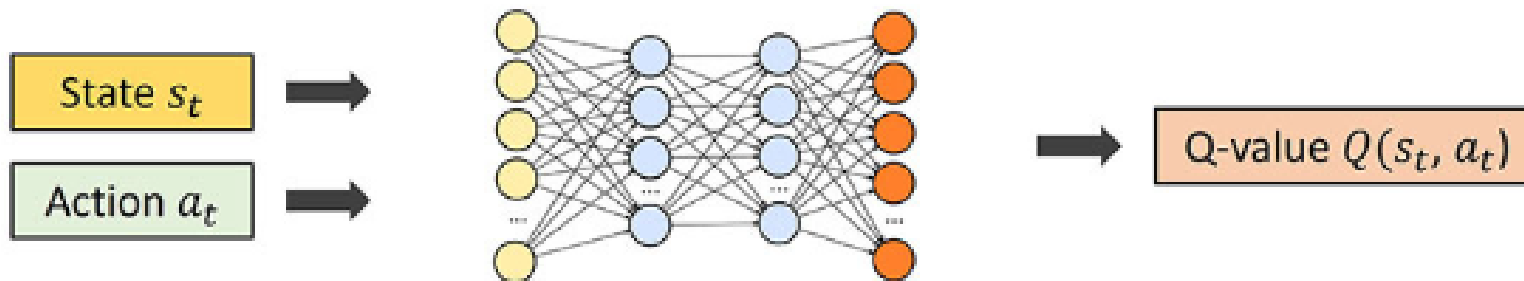
Classic Q-learning



Bellman Equation :

$$Q(s, a) := r(s, a) + \gamma \max_{a'} Q(s', a')$$

Deep Q-learning



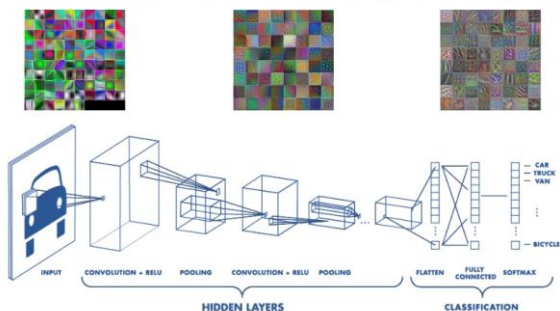
03. Machine learning : DQN 강화학습 이론 및 구현



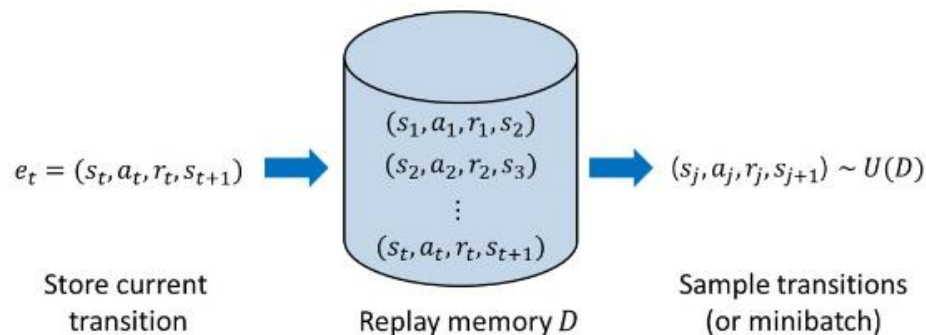
- Deep Q-Network (DQN)

① CNN (convolutional neural network)

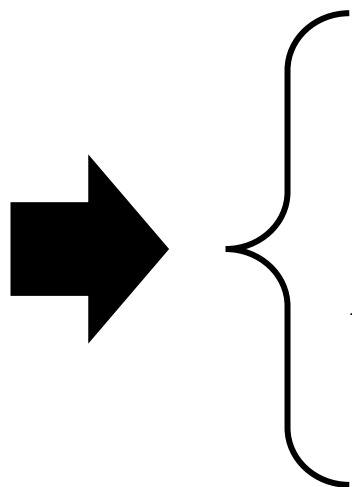
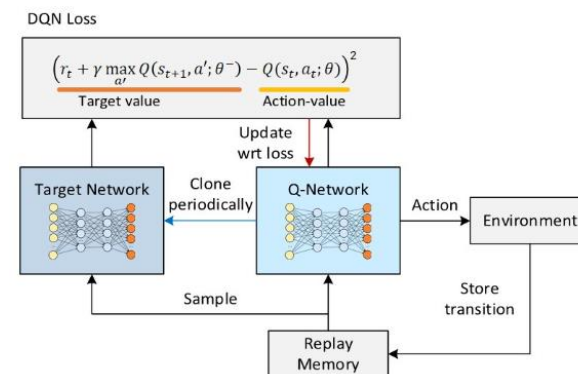
Convolutional Neural Network



② experience replay



③ target network



$$Q(s,a)=r(s,a)+\gamma \max_a Q(s',a)$$

$$Cost = [Q(s, a; \theta) - (r(s, a) + \gamma \max_a Q(s', a; \theta))]^2$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_1^n (y_i - y'_i)^2 : \text{평균 제곱근 오차}$$

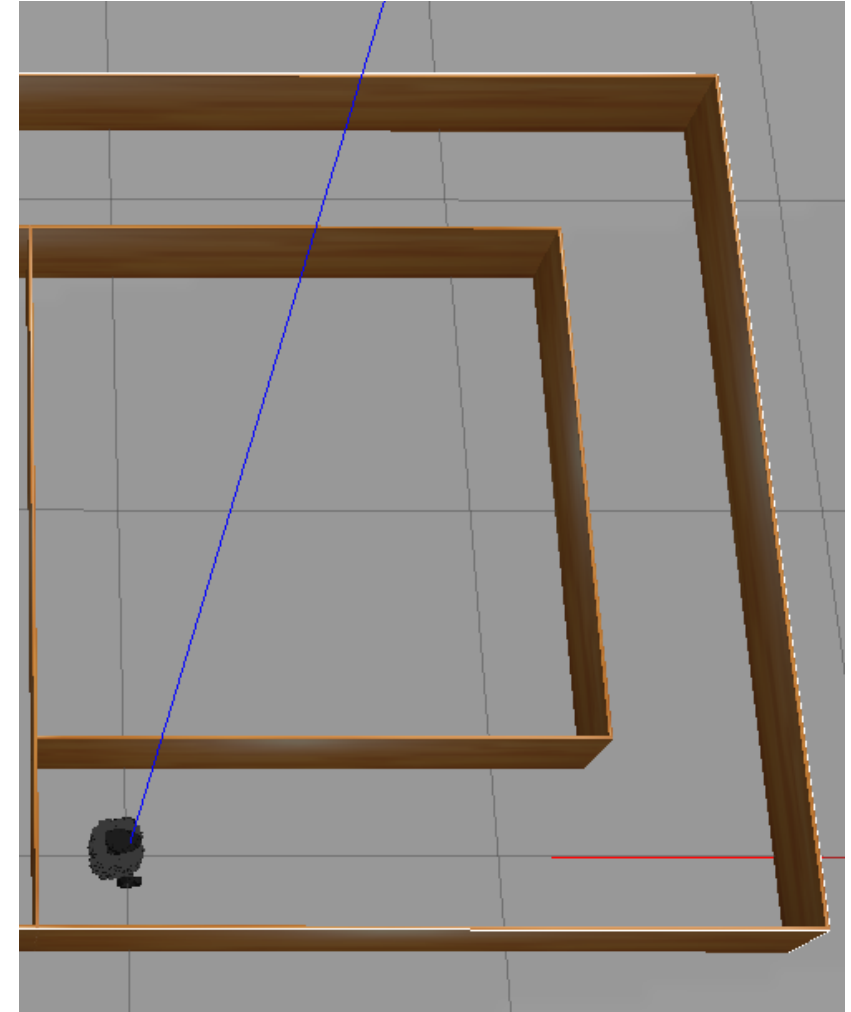
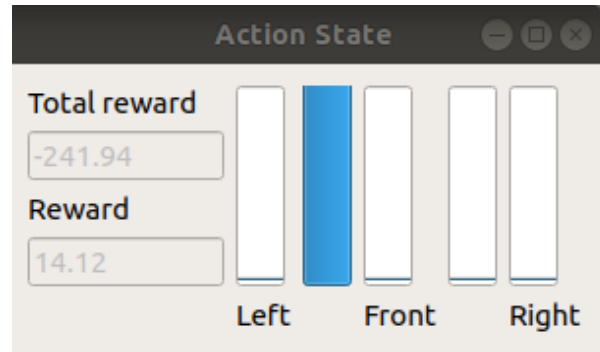
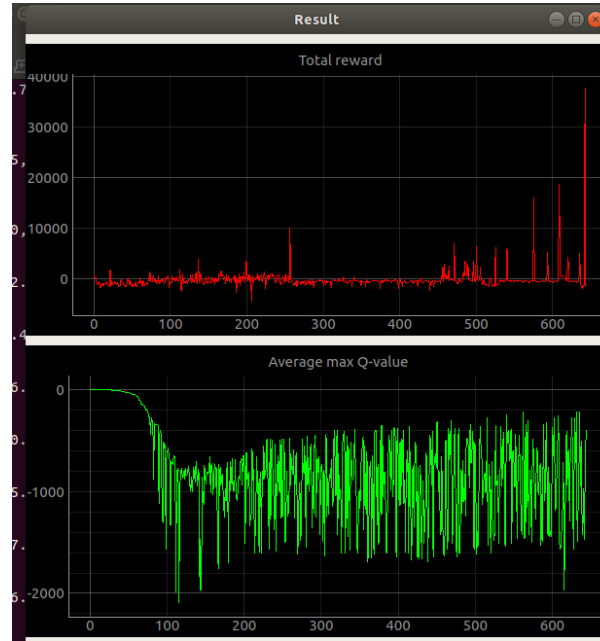
$$Q(s',a;\theta) : \text{Q-target}$$

03. Machine learning : DQN 강화학습 이론 및 구현



- Gazebo simulation composition

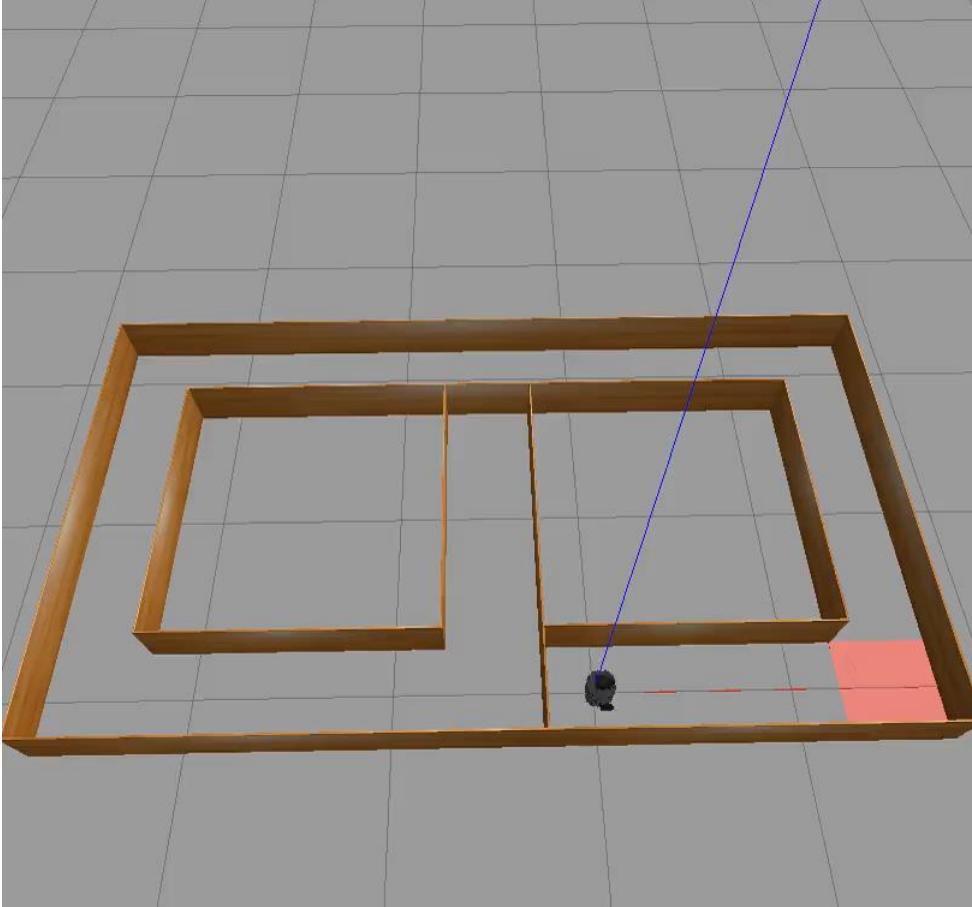
```
/home/kjy/catkin_ws/src/turtlebot3_machine_learning/turtlebot3_...  
File Edit View Search Terminal Tabs Help  
/home/kjy... x /home/kjy... x /home/kjy... x kjy@ubunt... x  
[INFO] [1669809642.559582, 7.315000]: Ep: 635 score: -547.7  
memory: 12129 epsilon: 0.00 time: 2:12:51  
[INFO] [1669809690.170372, 35.408000]: Goal!!  
(7, 6)  
[INFO] [1669809691.171194, 36.142000]: Goal position : 0.5,  
.0  
[INFO] [1669809695.792756, 38.935000]: Goal!!  
(8, 7)  
[INFO] [1669809696.880915, 40.345000]: Goal position : 0.0,1  
.0  
[INFO] [1669809724.046964, 59.413000]: Collision!!  
[INFO] [1669809724.454701, 59.669000]: Ep: 636 score: 4982.  
memory: 12253 epsilon: 0.00 time: 2:14:12  
[INFO] [1669809749.321094, 19.010000]: Collision!!  
[INFO] [1669809749.850276, 19.445000]: Ep: 637 score: 193.4  
memory: 12293 epsilon: 0.00 time: 2:14:38  
[INFO] [1669809762.449785, 9.207000]: Collision!!  
[INFO] [1669809762.964550, 9.528000]: Ep: 638 score: -1666.  
memory: 12312 epsilon: 0.00 time: 2:14:51  
[INFO] [1669809774.934641, 9.205000]: Collision!!  
[INFO] [1669809775.467982, 9.615000]: Ep: 639 score: -1790.  
memory: 12328 epsilon: 0.00 time: 2:15:03  
[INFO] [1669809786.975516, 8.406000]: Collision!!  
[INFO] [1669809787.463301, 8.824000]: Ep: 640 score: -1475.  
memory: 12343 epsilon: 0.00 time: 2:15:15  
[INFO] [1669809796.690055, 8.402000]: Collision!!  
[INFO] [1669809797.148938, 8.866000]: Ep: 641 score: -1607.  
memory: 12357 epsilon: 0.00 time: 2:15:25  
[INFO] [1669809803.668060, 0.000000]: Collision!!
```



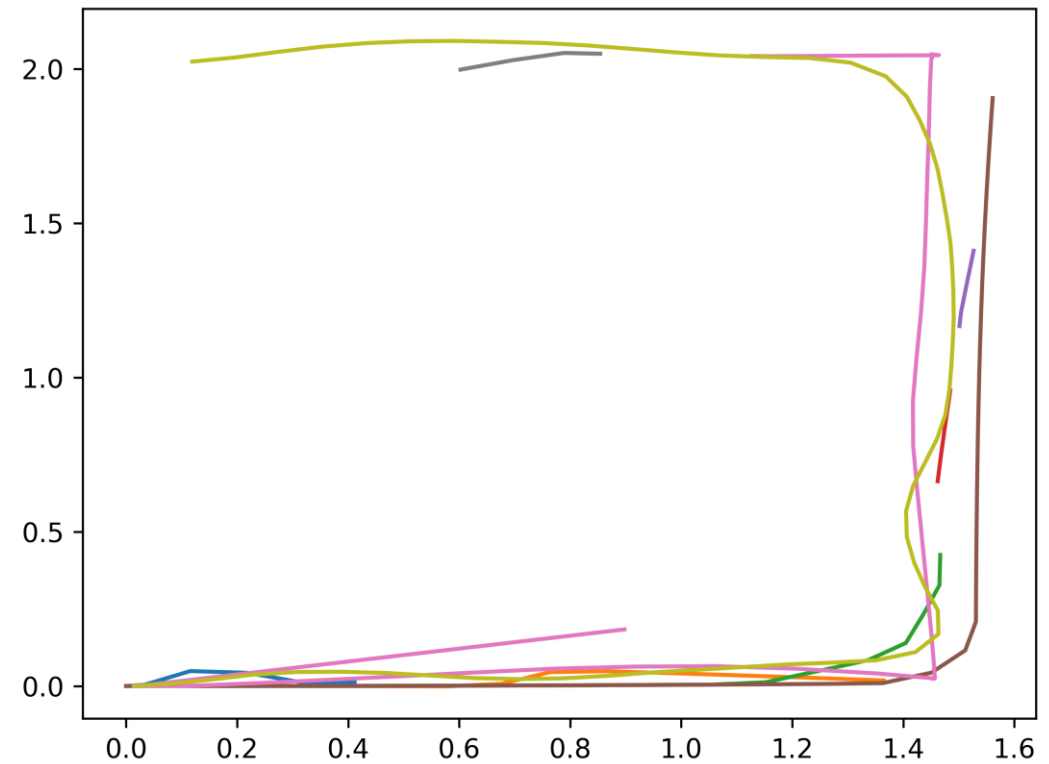
03. Machine learning : DQN 강화학습 이론 및 구현



- Gazebo 상에서 구현한 DQN simulation (Low Learning)



[Turtlebot3 DQN 학습 영상]

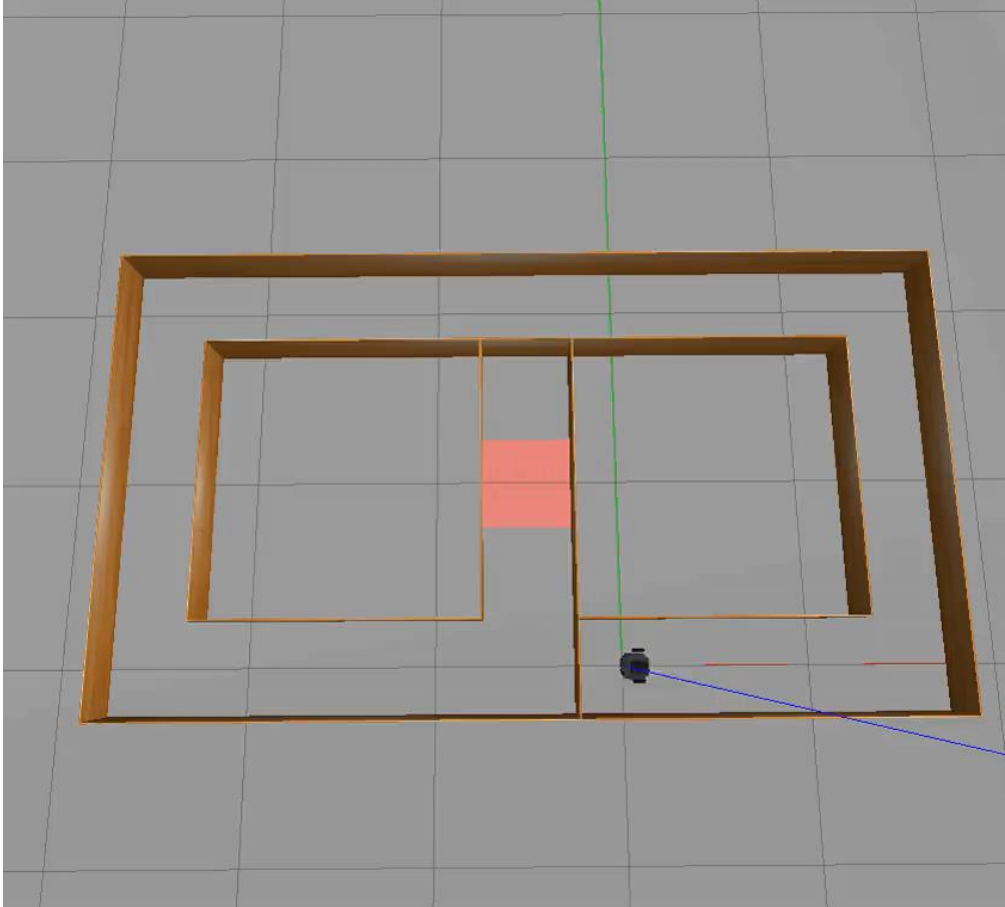


[목표점 성공 trajectory 그래프]

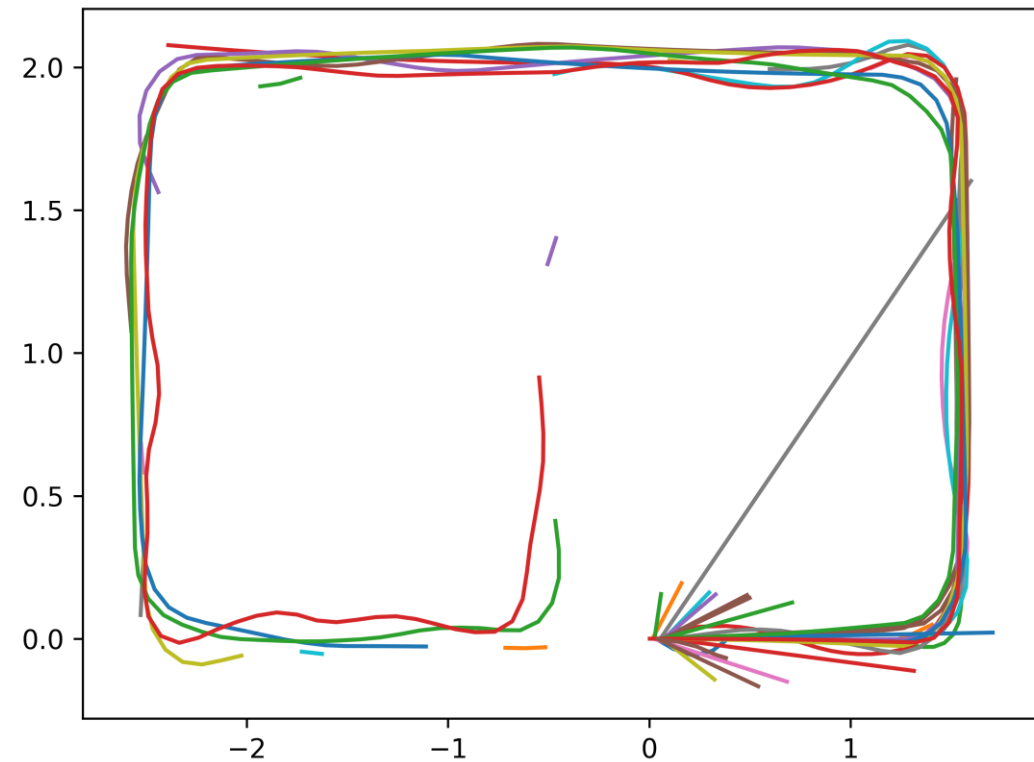
03. Machine learning : DQN 강화학습 이론 및 구현



- Gazebo 상에서 구현한 DQN simulation (High Learning)



[Turtlebot3 DQN 학습 영상]

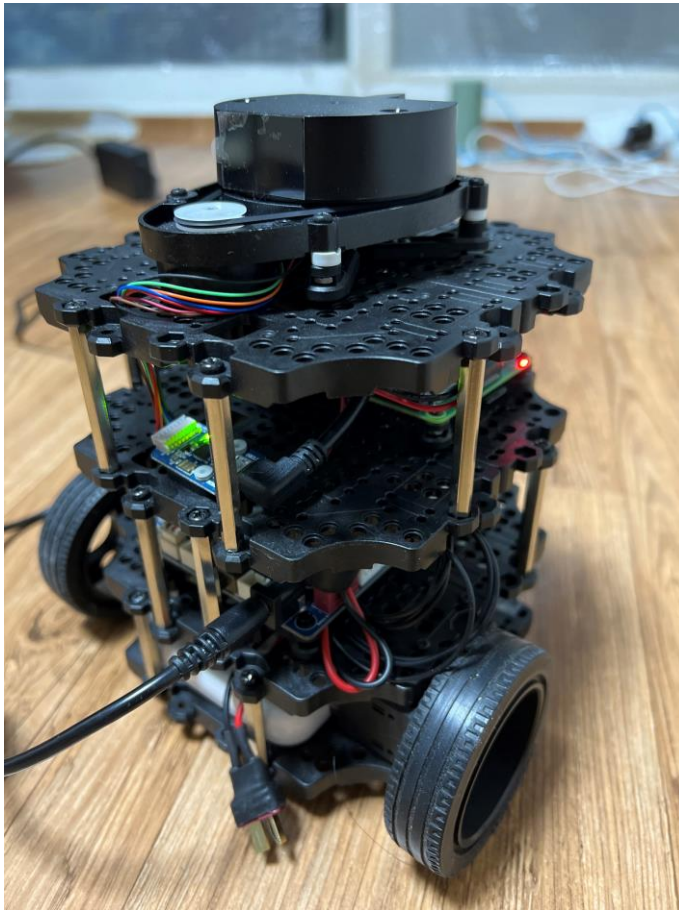


[목표점 성공 trajectory 그래프]

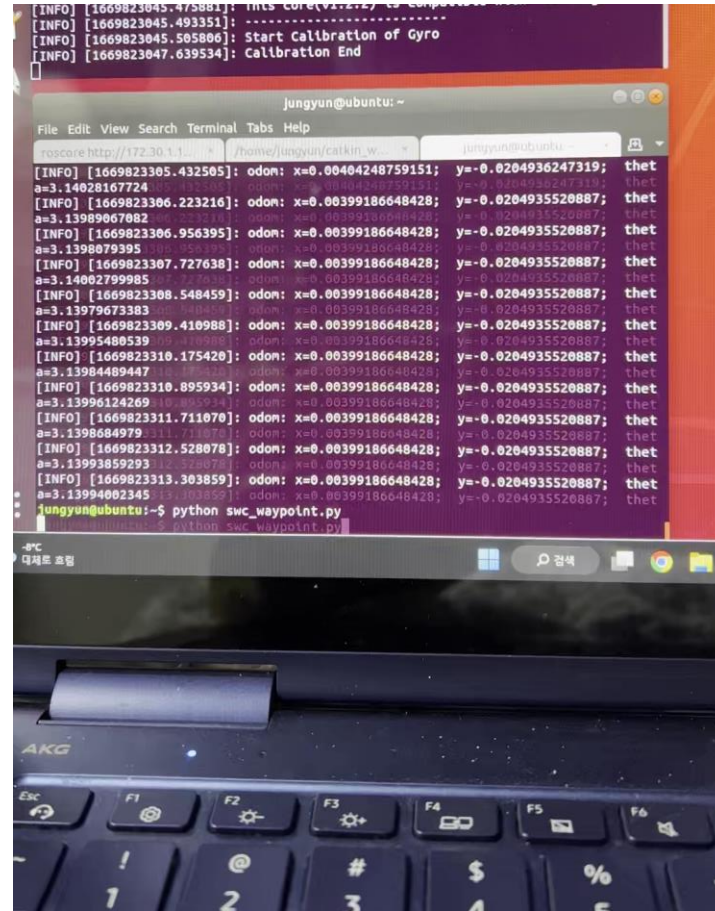
04. Turtlebot3 Hardware Implement



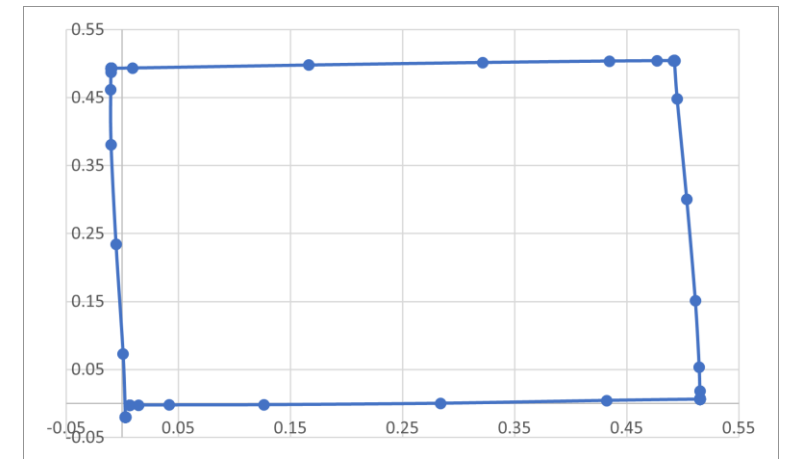
- PC와 Turtlebot3 연결 & 시현 영상



[PC + Turtlebot3]



[시현 영상]

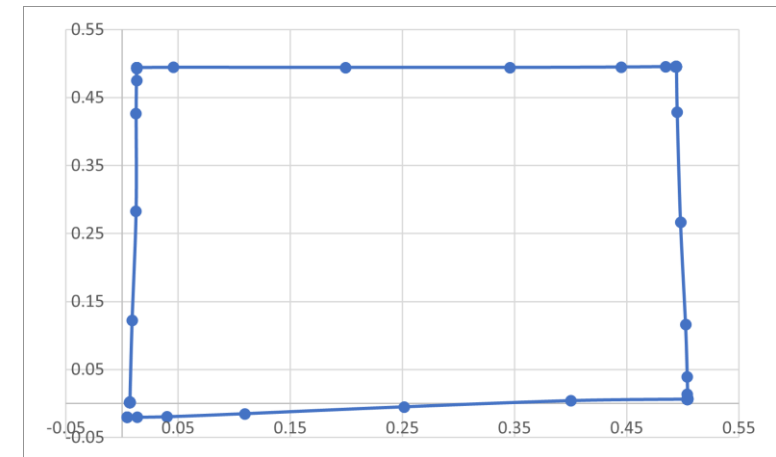
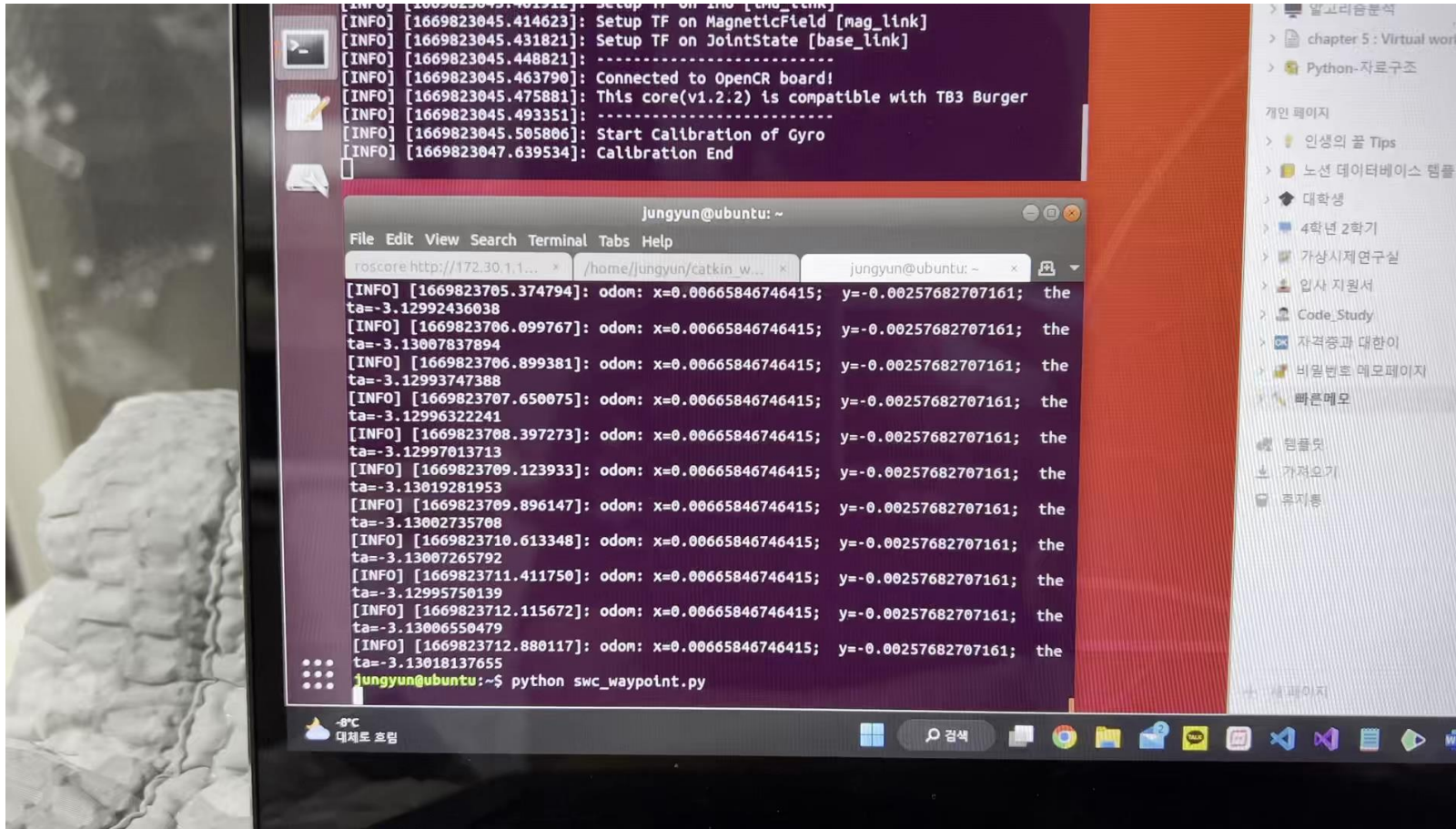


[이동경로 trajectory 그래프]

04. Turtlebot3 Hardware Implement



- 실제 환경에서 waypoint + lidar 장애물 탐지 기능 구현 영상



[이동경로 trajectory 그래프]

[실환경에서 Waypoint + Lidar 장애물 탐지 기능 구현 영상]

Implementation tool



Hardware



Software



Methodology



ubuntu.



ROS



TensorFlow



Keras

A deep learning library

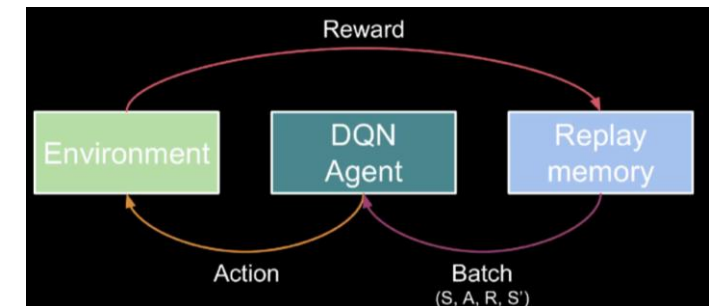
TURTLEBOT3 Burger



Raspberry Pi®

OpenCR

PID
Controller



Thank You For Your Kind Attention