

ROS 를 활용한 SLAM과 내비게이션

ROBOTIS

Open Source Team

Yoonseok Pyo

자~ 오늘의 주제는
SLAM, Navigation
입니다!

Index

I. SLAM과 내비게이션

II. 모바일 로봇의 위치추정과 맵핑 (SLAM)

III. 모바일 로봇의 내비게이션 (Navigation)

Index

I. SLAM과 내비게이션

II. 모바일 로봇의 위치추정과 맵핑 (SLAM)

III. 모바일 로봇의 내비게이션 (Navigation)

Simultaneous Localization And Mapping & Navigation

뭔 말이야?

———
//

동시적 위치 추정 및 지도 작성
&
차량 자동 항법 장치

뭐야? OTL...
더 어려워 보이잖아!

———
//

좀~ 쉽게 갑시다!

길 찾기

어때요?

길...



길 「명사」

1. 사람이나 동물 또는 자동차 따위가 지나갈 수 있게 땅 위에 낸 일정한 너비의 공간.
2. 물 위나 공중에서 일정하게 다니는 곳.
3. 걸거나 탈것을 타고 어느 곳으로 가는 노정(路程).

-국립국어원 표준국어대사전-

길 찾기...



길 「명사」

1. 사람이나 동물 또는 자동차 따위가 지나갈 수 있게 땅 위에 낸 일정한 너비의 공간.
2. 물 위나 공중에서 일정하게 다니는 곳.
3. 걸거나 탈것을 타고 어느 곳으로 가는 노정(路程).

-국립국어원 표준국어대사전-

여행의 오랜 동반자

나침반과 지도

나침반도 없고
지도도 없다면?



여긴 어디? 나는 누구?

나는 여기에 있다.

- 해, 달, 별의 위치만으로 떠나는 여행자
- 중국 4대 발명 나침반
- 나침반 진화
 - 자기 나침반
 - 전륜 나침반
 - GPS
- 지도



Big Dipper, by Magnus Manske, Public Domain



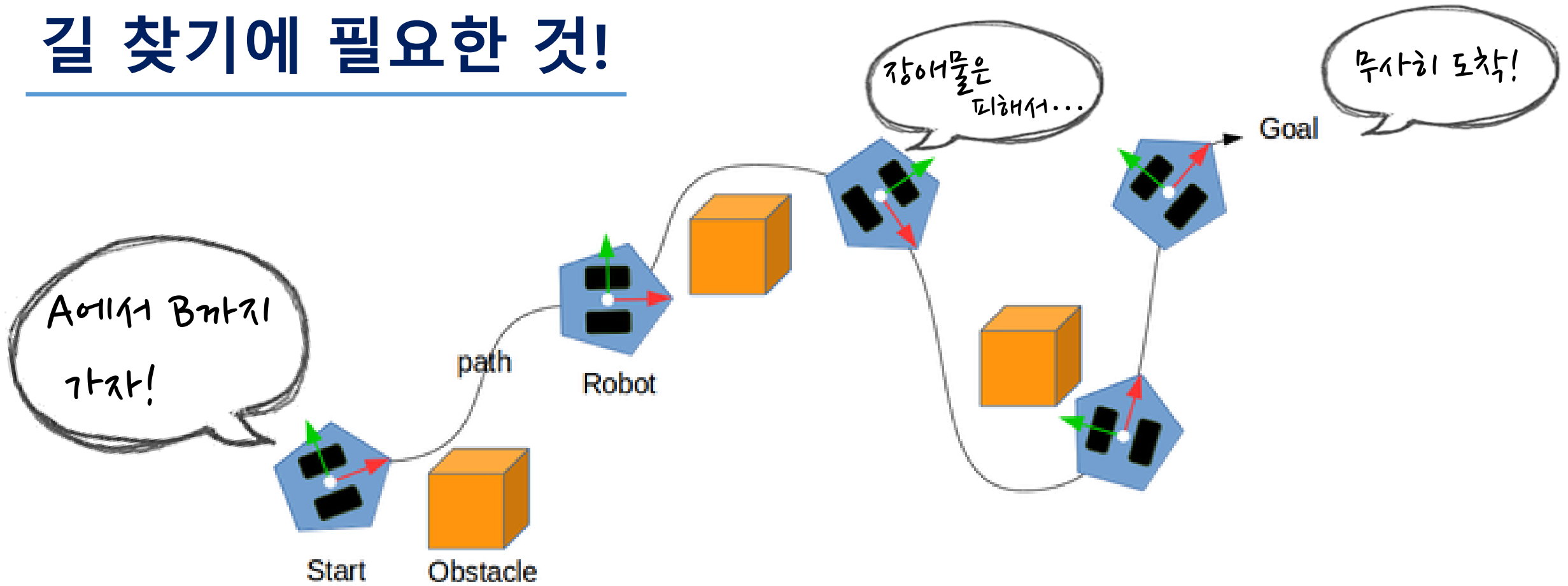
pixabay.com, CC0

상상해 보세요!
어둠 속 길 찾기

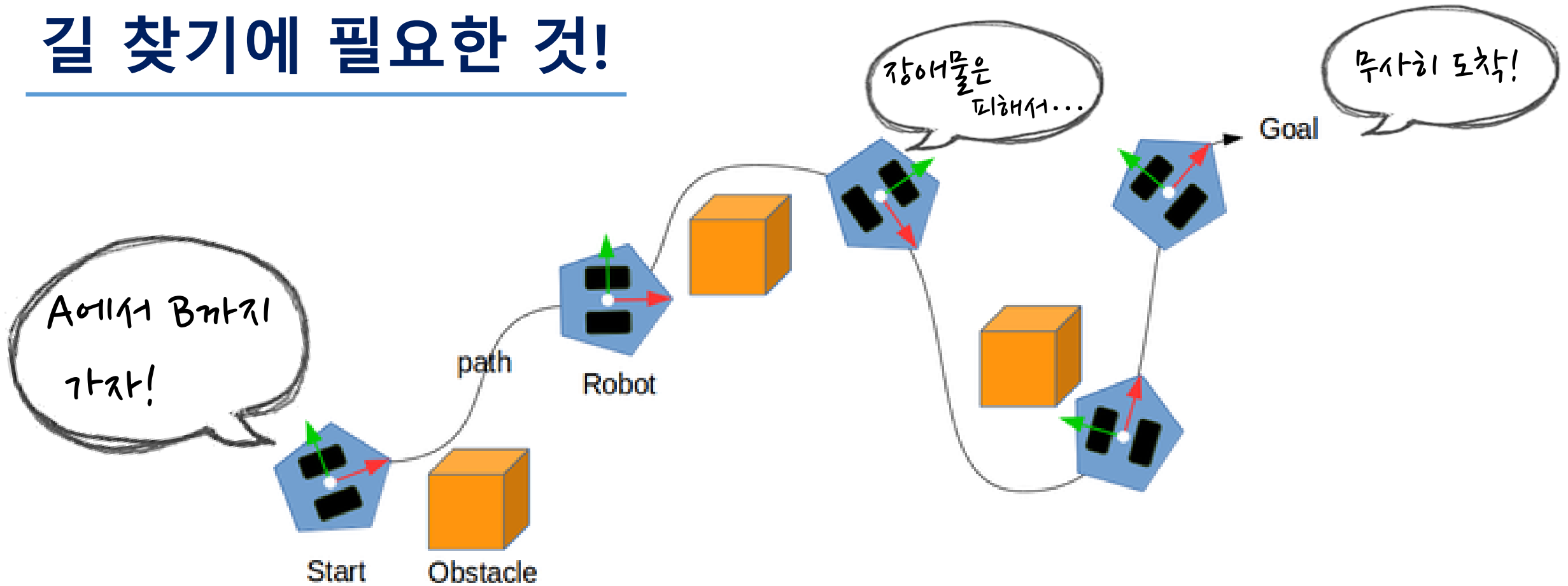
로봇의 길 찾기

(이제부터는 열심히 풀어가 볼게요.)

길 찾기에 필요한 것!



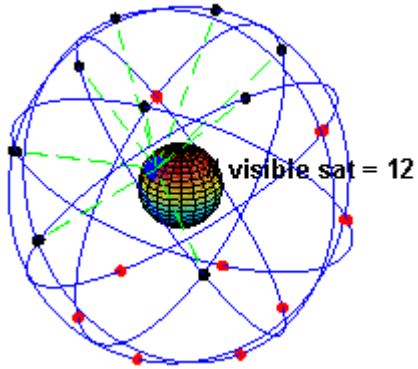
길 찾기에 필요한 것!



- ① **위치**: 로봇의 위치 계측/추정하는 기능
- ② **센싱**: 벽, 물체 등의 장애물의 계측하는 기능
- ③ **지도**: 길과 장애물 정보가 담긴 지도
- ④ **경로**: 목적지까지 최적 경로를 계산하고 주행하는 기능

① 위치: 로봇의 위치 계측/추정하는 기능

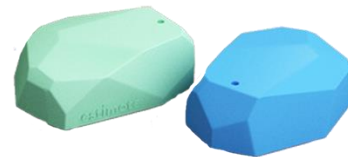
■ GPS (Global Positioning System)



- 오차
- 날씨
- 실외

■ Indoor Positioning Sensor

- Landmark (Color, IR Camera)
- Indoor GPS
- WiFi SLAM
- Beacon



Estimote (Beacon)



StarGazer

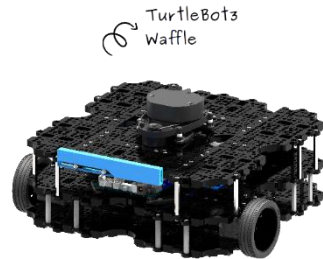


Vicon MX

① 위치: 로봇의 위치 계측/추정하는 기능

■ 추측 항법(dead reckoning, 데드레커닝)

- 양 바퀴 축의 회전 값을 이용
- 이동 거리와 회전 값을 계산, 위치 측정
- 바닥 슬립, 기계적, 누적 오차 발생
- IMU 등의 관성 센서, 필터로 위치 보상
- 칼만필터 시리즈...

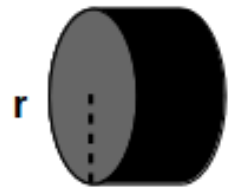
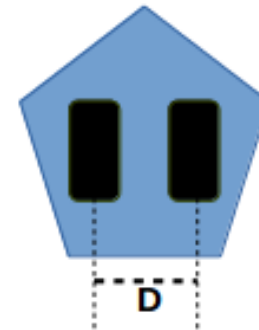
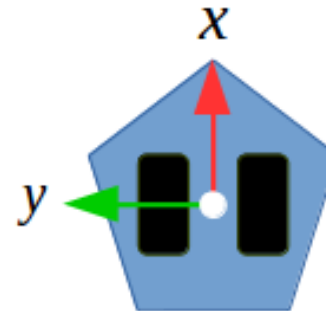


Turtlebot 1 Turtlebot 2

Turtlebot 3

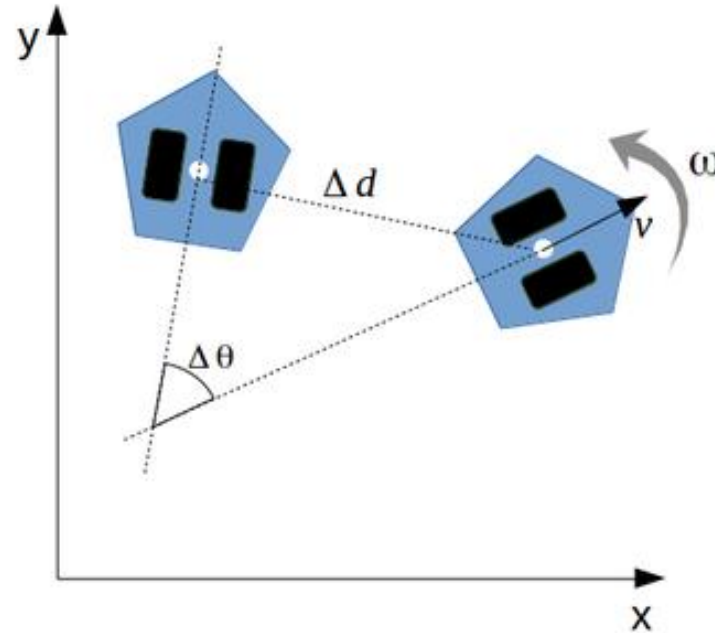
■ 필요한 정보

- 양 바퀴 축의 엔코더 값 E
(모터 축인 경우 기어비로 재계산)
- 바퀴 간 거리 D
- 바퀴 반지름 r



① 위치: 로봇의 위치 계측/추정하는 기능

- 데드레커닝 계산
 - 선속도(linear velocity: v)
 - 각속도(angular velocity: w)
- Runge-Kutta 공식 이용
 - 이동한 위치의 근사 값 x, y
 - 회전 각도 θ



E_k, E_{lp} : 좌측 모터의 엔코더 값 (현재와 이전값)
 E_{rc}, E_{rp} : 우측 모터의 엔코더 값 (현재와 이전값)
 T_e : 경과시간
 v_l, v_r : 좌 / 우측 휠의 각속도
 r : 휠의 반지름
 V_l, V_r : 좌 / 우측 휠의 선속도
 v : 로봇의 선속도
 ω : 로봇의 각속도

$$V_l = \frac{E_{lc} - E_{lp}}{T_e} \frac{\pi}{180} \quad (rad/s) \quad (1)$$

$$V_r = \frac{E_{rc} - E_{rp}}{T_e} \frac{\pi}{180} \quad (rad/s) \quad (2)$$

$$V_l = v_l r \quad (m/s) \quad (3)$$

$$V_r = v_r r \quad (m/s) \quad (4)$$

$$v = \frac{V_r + V_l}{2} \quad (m/s) \quad (5)$$

$$\omega = \frac{V_r - V_l}{D} \quad (rad/s) \quad (6)$$

$$x_{k+1} = x_k + T_e v_k \cos(\theta_k + \frac{T_e \omega_k}{2}) \quad (7)$$

$$y_{k+1} = y_k + T_e v_k \sin(\theta_k + \frac{T_e \omega_k}{2}) \quad (8)$$

$$\theta_{k+1} = \theta_k + \omega_k T_e \quad (9)$$

② 센싱: 벽, 물체 등의 장애물의 계측하는 기능

■ 거리센서

- LRF, 초음파센서, 적외선 거리센서(PSD)



■ 비전센서

- 스테레오 카메라, 모노 카메라, 전 방향 옴니 카메라

■ Depth camera

- SwissRanger, Kinect-2
- Kinect, Xtion, Carmine(PrimeSense), Astra, Realsense



③ 지도: 길과 장애물 정보가 담긴 지도

- 로봇은 길을 찾아가기 위해 **지도**가 필요하다!



- 지도
 - 도로와 같은 기반 시설의 경우 디지털 지도 OK!
 - 병원, 카페, 회사, 가정집의 지도?
 - 탐사, 붕괴된 위험지역의 지도?

③ 지도: 길과 장애물 정보가 담긴 지도



- 로봇은 길을 찾아가기 위해 **지도**가 필요하다!
- 지도
 - 도로와 같은 기반 시설의 경우 디지털 지도 OK!
 - 병원, 카페, 회사, 가정집의 지도?
 - 탐사, 붕괴된 위험지역의 지도?

▪ **지도?** 없으면 만들자!

▪ **SLAM**

(Simultaneous Localization And Mapping)

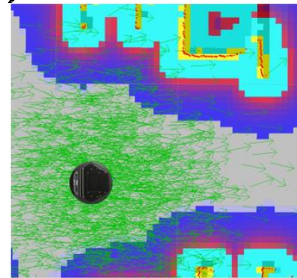
같이

여긴 어디?

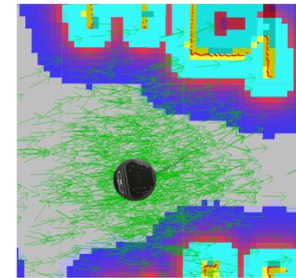
지도 만들자

④ 경로: 목적지까지 최적 경로를 계산하고 주행하는 기능

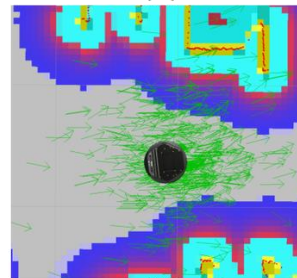
- 내비게이션(Navigation)
- 위치 추정 (Localization / Pose estimation)
- 경로 탐색/계획 (Path search and planning)
- A* 알고리즘 (A Star)
- Dynamic Window Approach (DWA)
- 포텐셜 장(Potential Field)
- 파티클 필터 (Particle Filter)
- 그래프 (Graph)



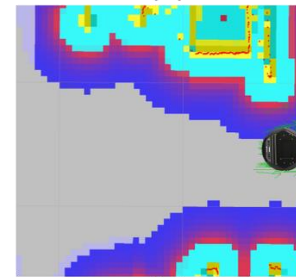
(t1)



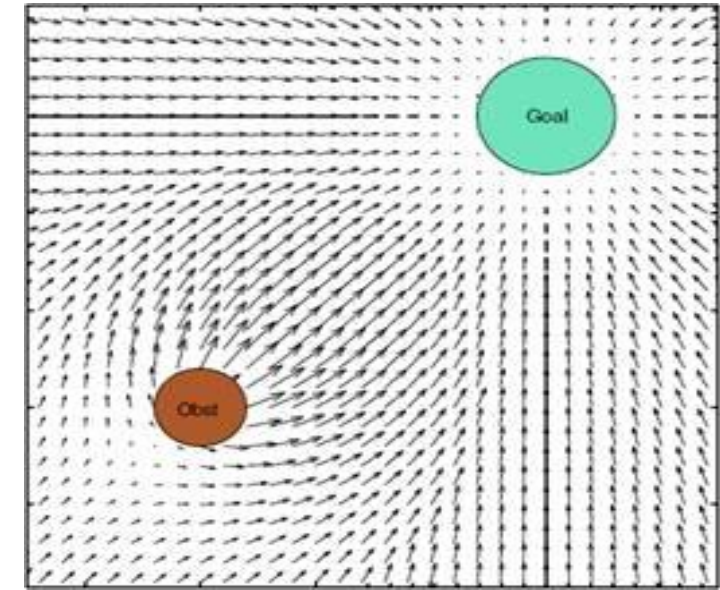
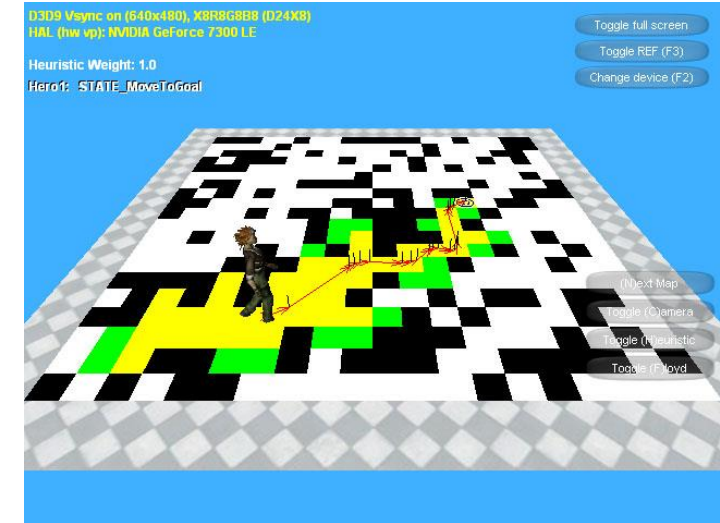
(t2)



(t3)



(t4)



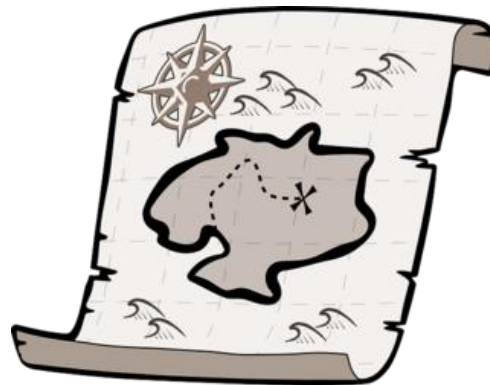
① 위치



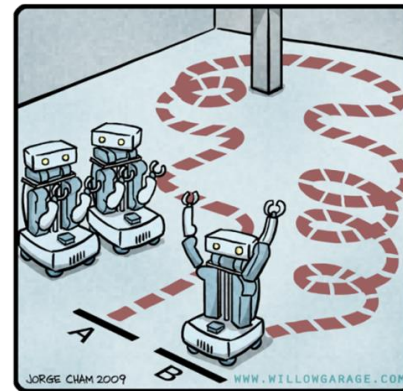
② 센싱



③ 지도



④ 경로



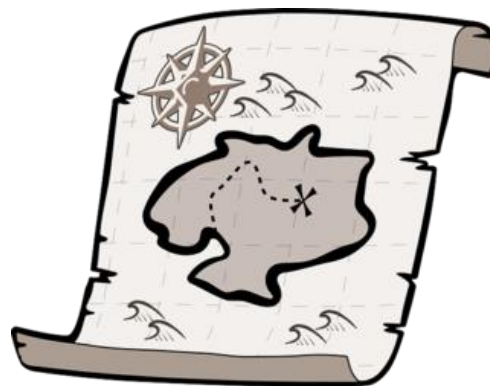
① 위치



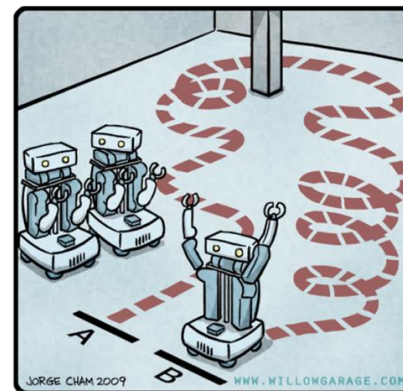
② 센싱



③ 지도



④ 경로



위치 + 센싱 → 지도

SLAM

위치 + 센싱 + 지도 → 경로

Navigation

Index

I. SLAM과 내비게이션

II. 모바일 로봇의 위치추정과 맵핑 (SLAM)

III. 모바일 로봇의 내비게이션 (Navigation)

Gmapping

- OpenSLAM에 공개된 SLAM 의 한 종류, ROS에서 패키지로 제공
- 저자: G. Grisetti, C. Stachniss, W. Burgard
- 특징: Rao-Blackwellized 파티클 필터, 파티클 수 감소, 그리드 맵
- 하드웨어 제약 사항
 - **X, Y, Theta 속도 이동 명령**
 - 차동 구동형 모바일 로봇(differential drive mobile robot)
 - 전 방향 이동 로봇 (omni-wheel robot)
 - **주행기록계 (Odometry)**
 - **계측 센서: 2차 평면 계측 가능 센서(LRF, LiDAR, Kinect, Xtion 등)**
 - 직사각형 및 원형의 로봇

Turtlebot

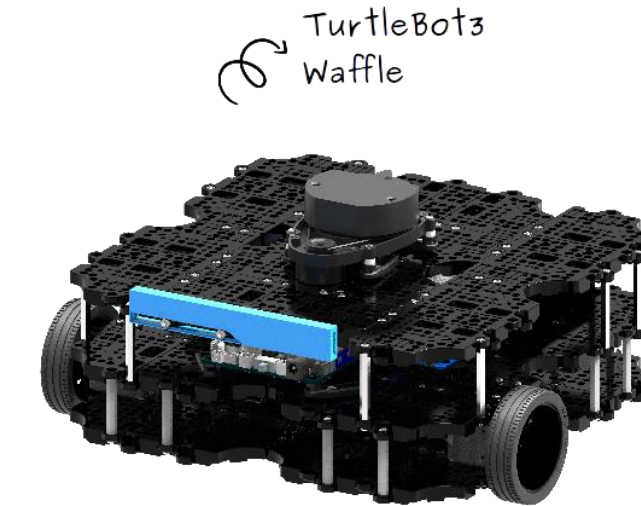
- ROS 공식 레퍼런스 모바일 로봇
- 전 세계 수 많은 연구소, 학교, DIY 에서 사용 중
- SLAM, Navigation, Gazebo, RViz 서포트!
 - <http://wiki.ros.org/Robots/TurtleBot>



Turtlebot 1



Turtlebot 2

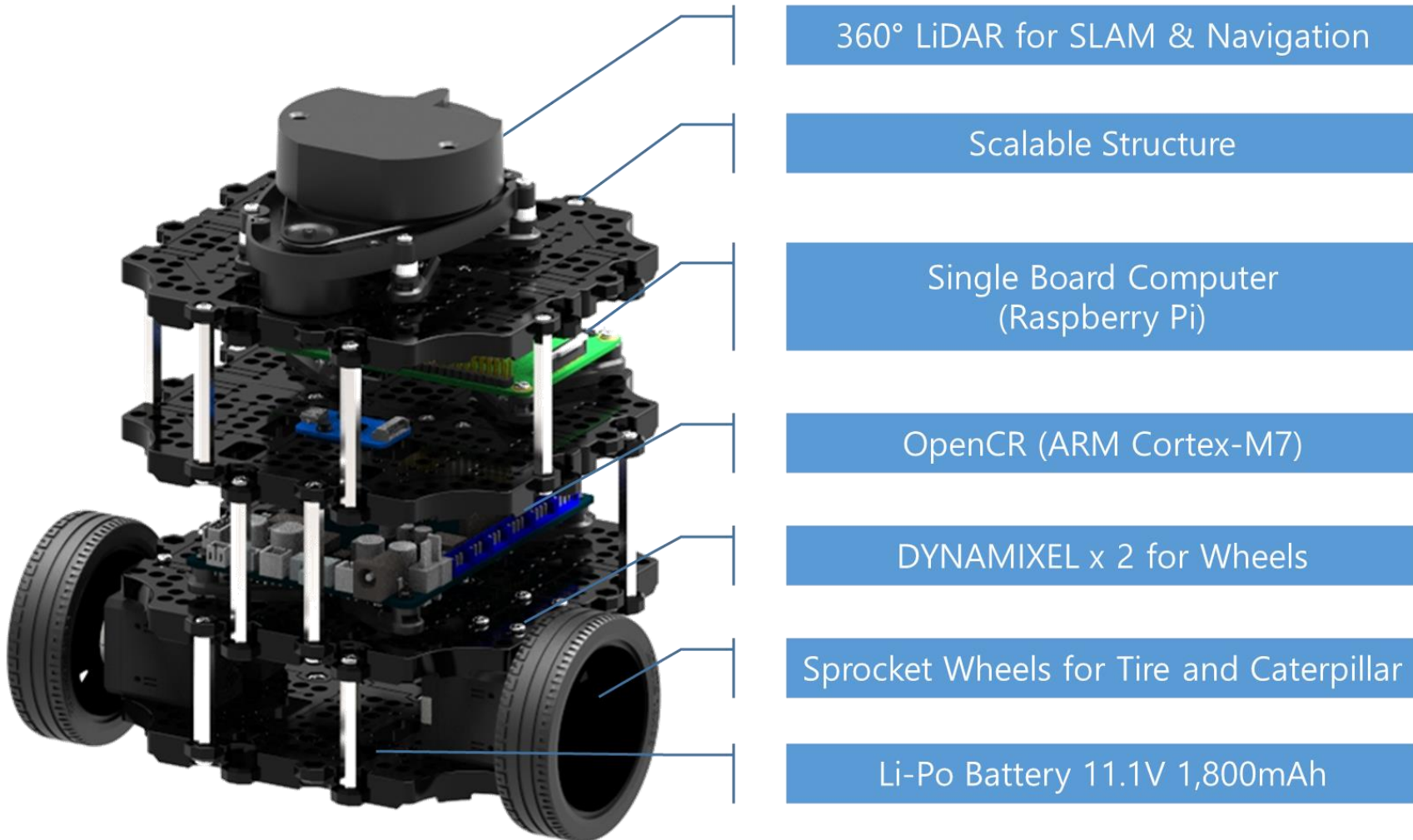


Turtlebot 3



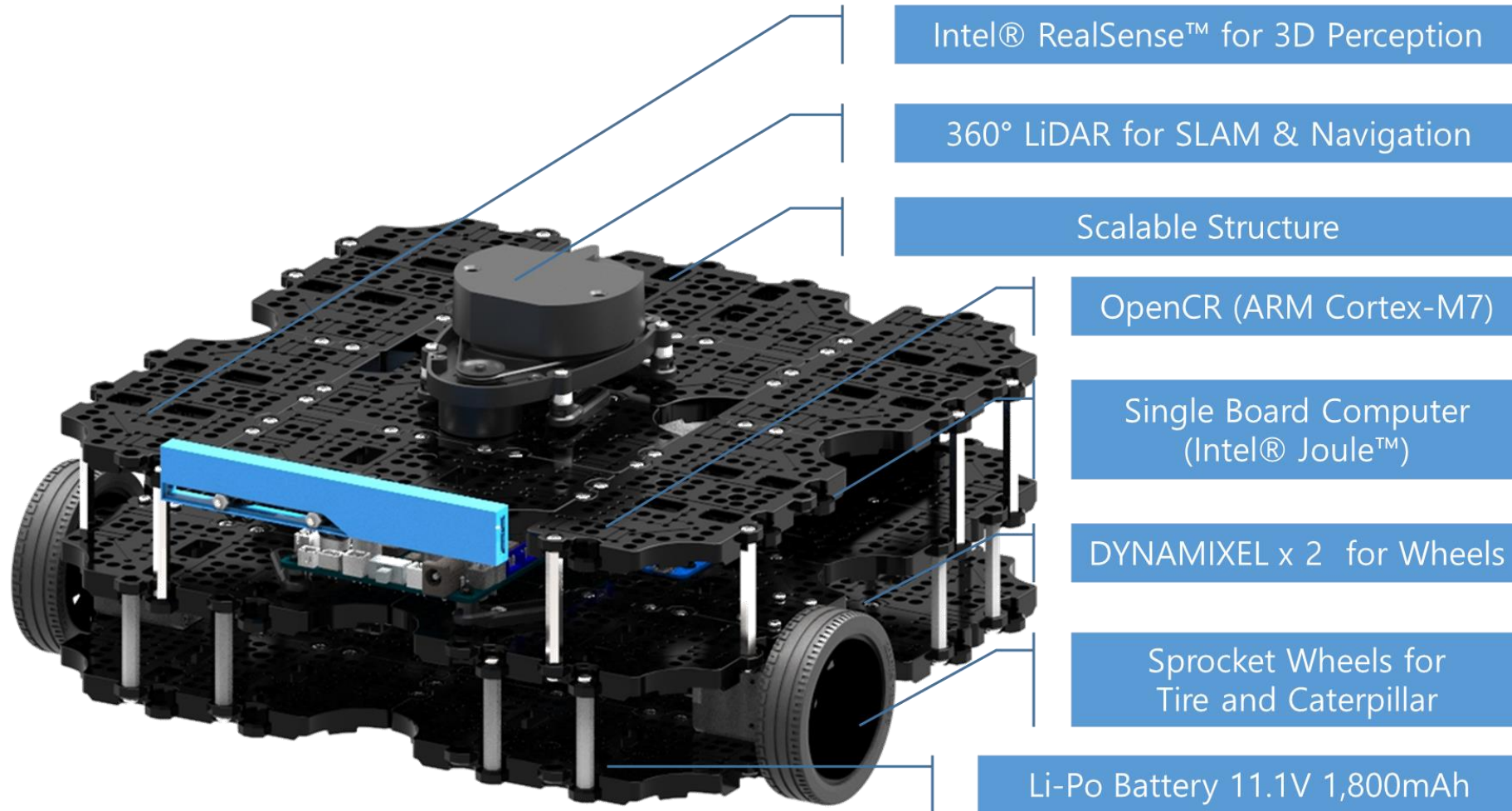
지도작성: Gmapping + Turtlebot3

- 하드웨어 준비



지도작성: Gmapping + Turtlebot3

- 하드웨어 준비



지도작성: Gmapping + Turtlebot3

- 소프트웨어 준비

- http://turtlebot3.robotis.com/en/latest/pc_software.html
- http://turtlebot3.robotis.com/en/latest/sbc_software.html
- http://turtlebot3.robotis.com/en/latest/opencr_software.html
- <http://turtlebot3.robotis.com/en/latest/simulation.html>

- Turtlebot3 패키지

- <https://github.com/ROBOTIS-GIT/turtlebot3>
- https://github.com/ROBOTIS-GIT/turtlebot3_simulations
- https://github.com/ROBOTIS-GIT/turtlebot3_applications

지도작성: Gmapping + Turtlebot3

- <http://turtlebot3.robotis.com/en/latest/slam.html>
- 마스터 실행 (Remote PC)

```
$ roscore
```

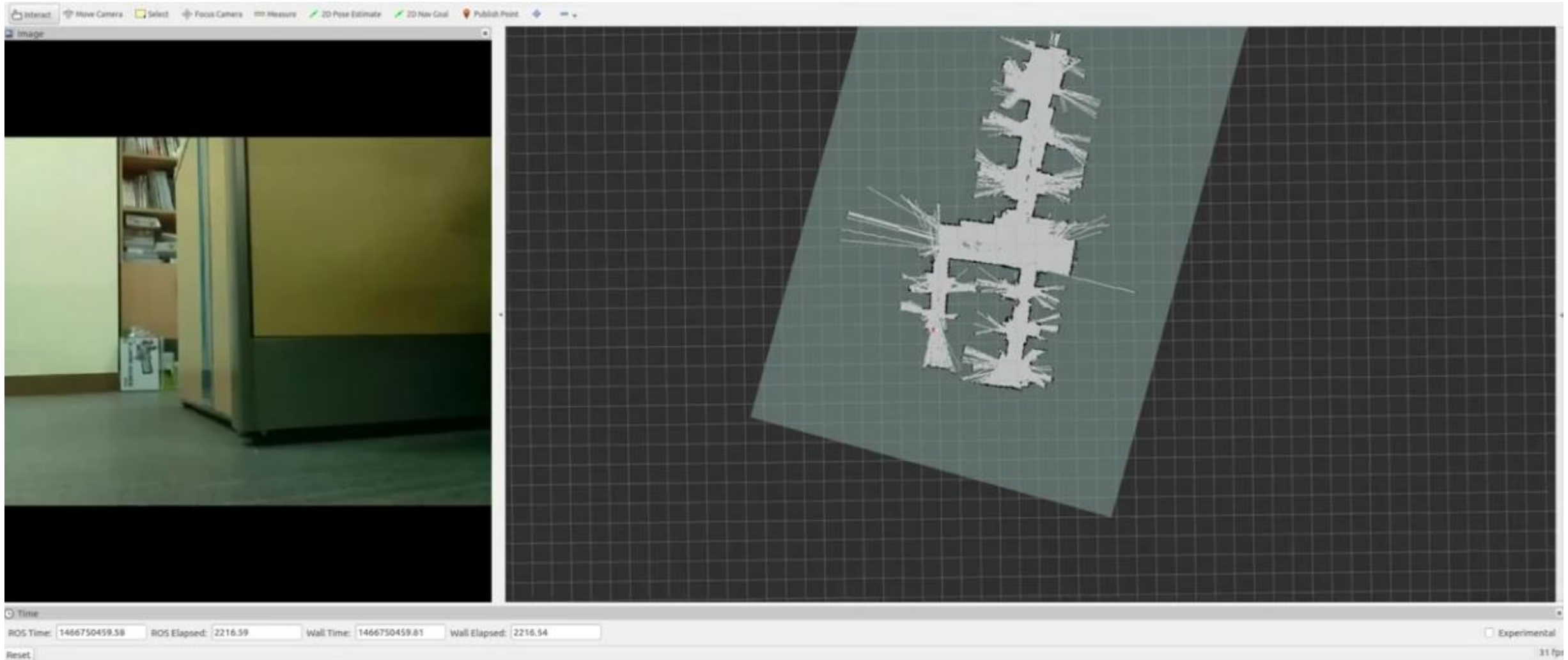
- 터틀봇 및 센서 구동 (SBC)

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=burger (또는 waffle)  
$ roslaunch turtlebot3_bringup turtlebot3_robot.launch
```

- RViz, 터틀봇 원격 조종, 지도 작성 (Remote PC)

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=burger (또는 waffle)  
$ roslaunch turtlebot3_slam turtlebot3_slam.launch  
$ rosrn rviz rviz -d `rospack find turtlebot3_slam`/rviz/turtlebot3_slam.rviz  
$ roslaunch turtlebot3_teleop turtlebot3_teleop_key.launch  
$ rosrn map_server map_saver -f ~/map
```

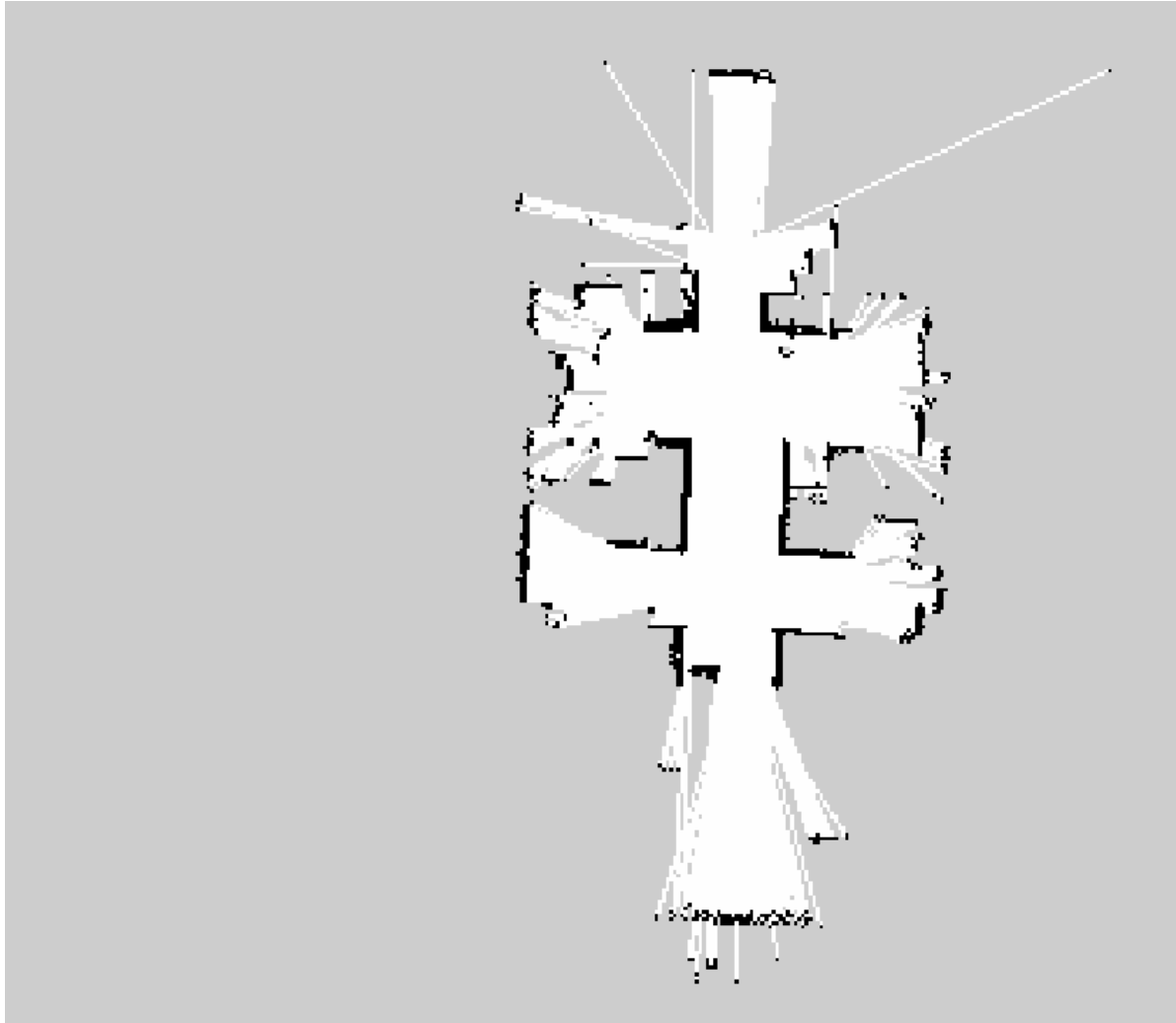
지도작성: Gmapping + Turtlebot3



<https://youtu.be/85n0wepL03s>

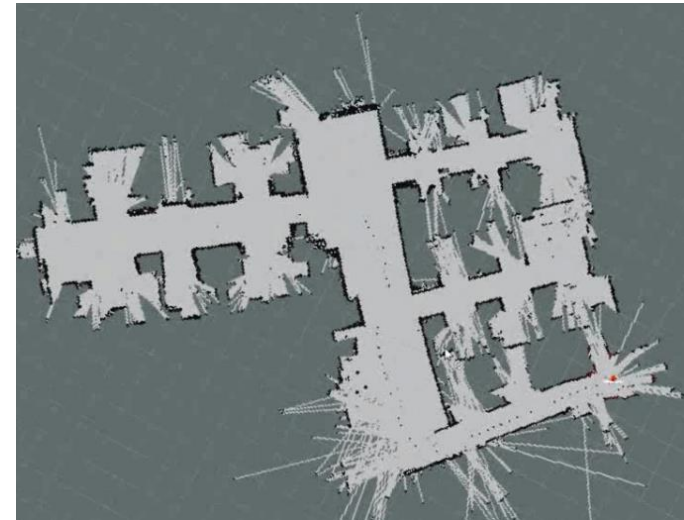
지도작성: Gmapping + Turtlebot3

- 완성된 지도

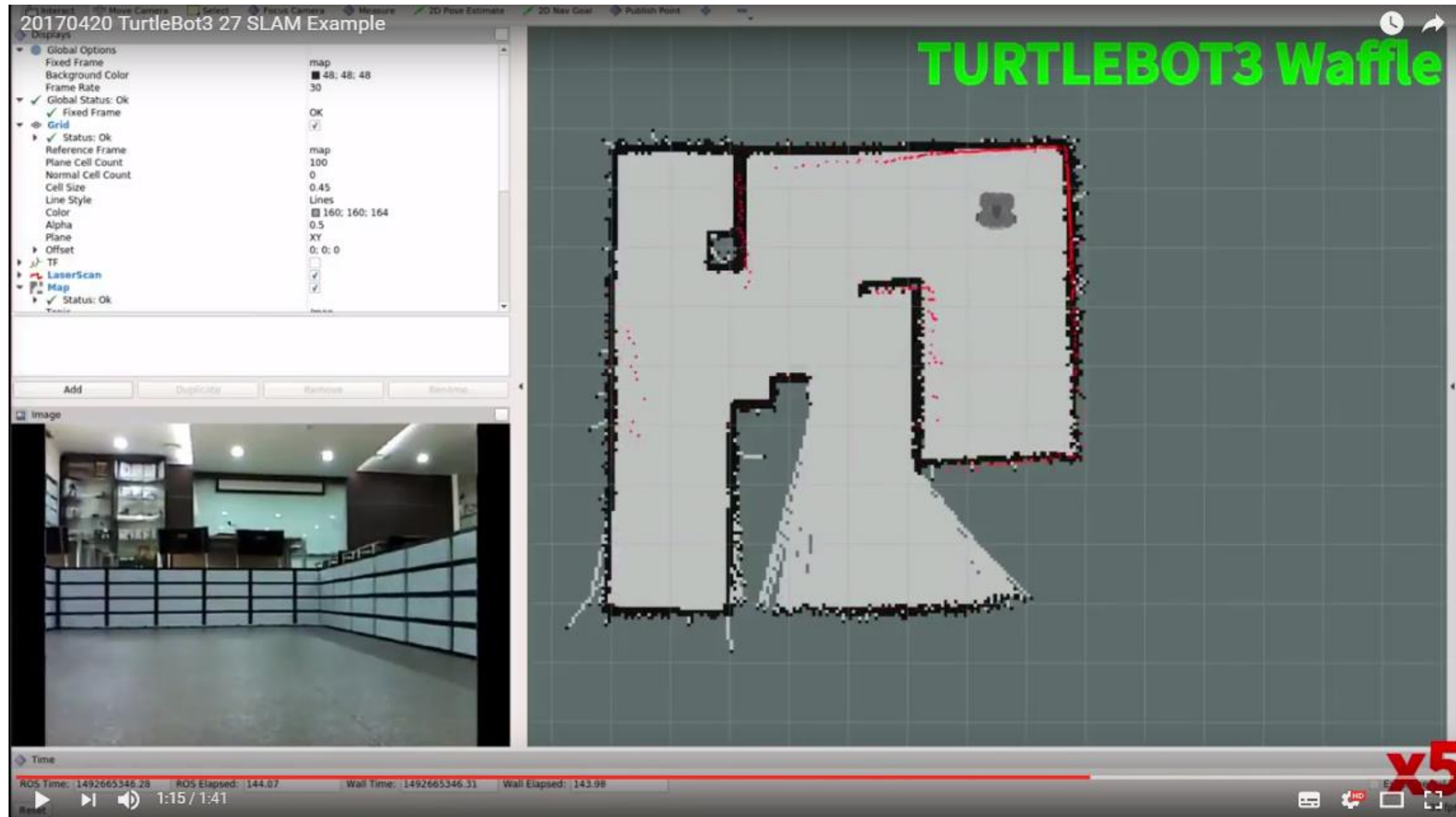


2차원 점유 격자 지도 (OGM, Occupancy Grid Map)

- 흰색 = 로봇이 이동 가능한 자유 영역 (free area)
- 흑색 = 로봇이 이동 불가능한 점유 영역 (occupied area)
- 회색 = 확인되지 않은 미지 영역 (unknown area)

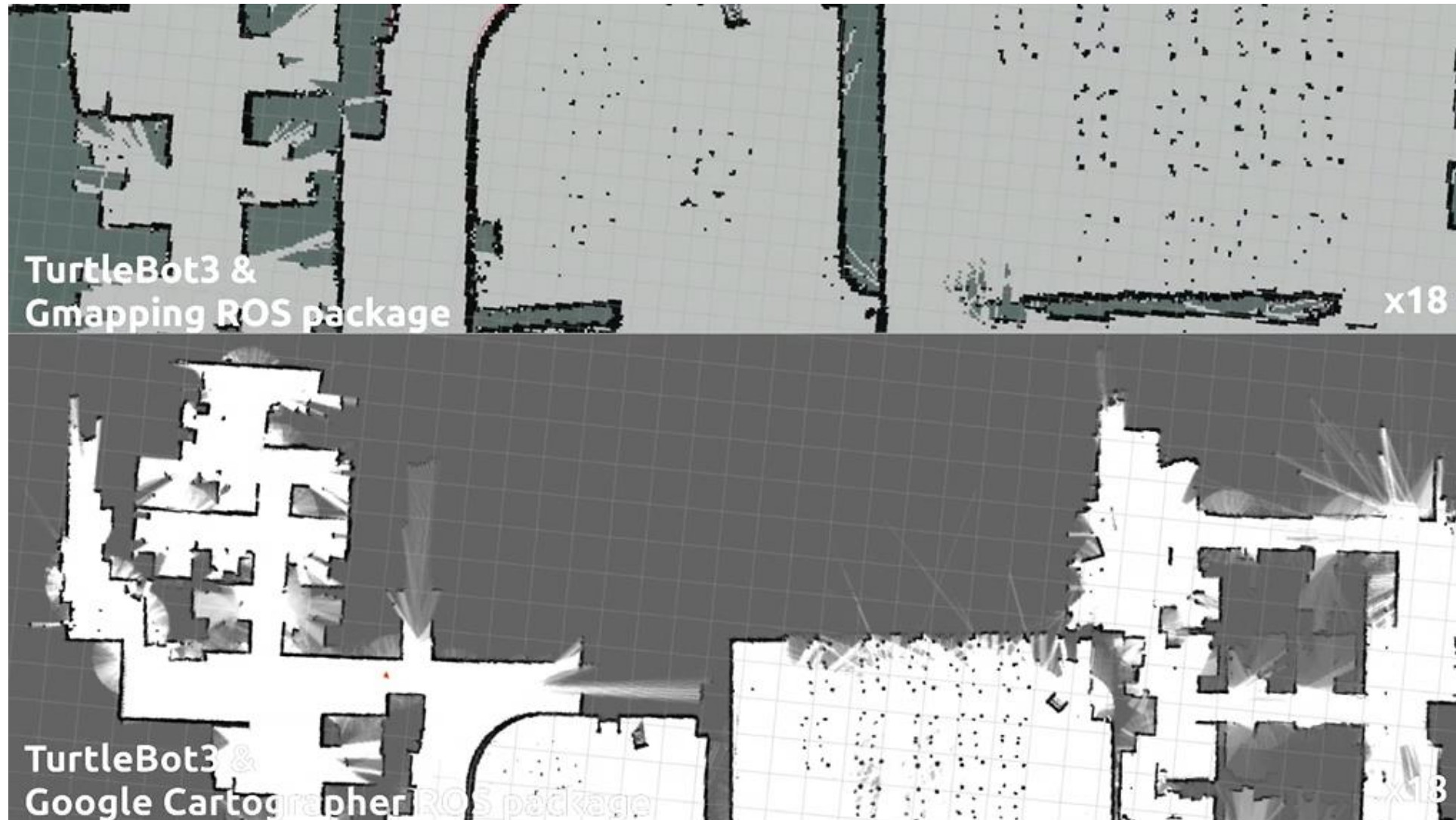


지도작성: Gmapping + Turtlebot3



https://youtu.be/7mEKrT_cKWI

지도작성: Gmapping & Cartographer + Turtlebot3



<https://youtu.be/lkW4-dG2BCY>

지도작성: Gmapping & Cartographer + Turtlebot3



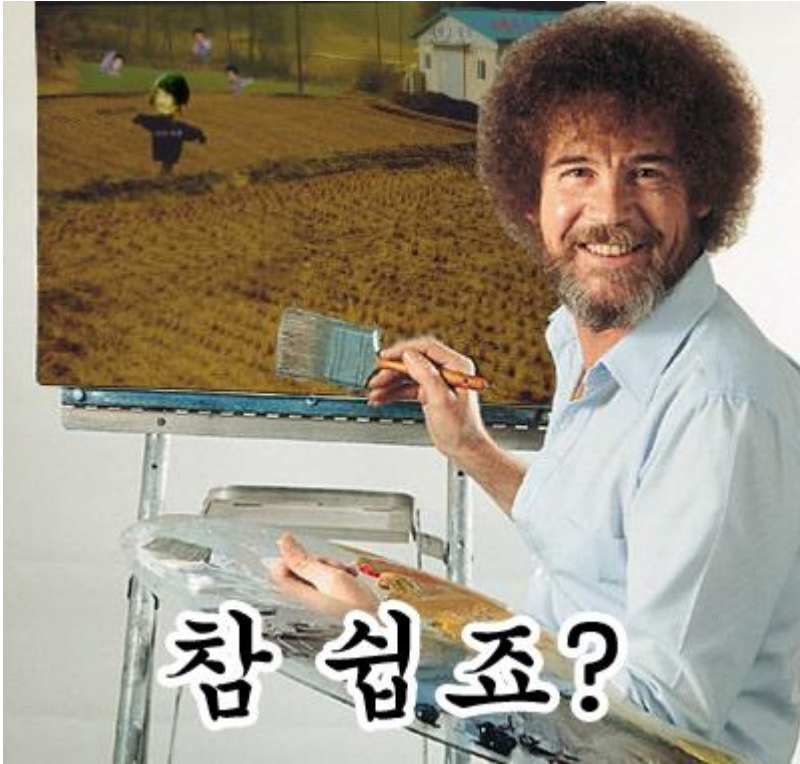
The central part of the slide features a white, 2D occupancy grid map representing the environment. Red arrows point from various locations on the map to corresponding camera view images. These images show different parts of the 15th floor corridor, including a large open area with tables, a long hallway with doors, and a room with a whiteboard. The TurtleBot3 logo is positioned in the top right corner of the slide.

**SLAM
with TurtleBot3**

Date: 2016.11.29
Robot: TurtleBot3 basic model
Sensor: Laser Distance Sensor
ROS package for SLAM: Gmapping / Cartographer
Place: ROBOTIS Labs & HQ, 15th floor corridor
Duration: 55 minutes
Total travel distance: 351 meters

<https://youtu.be/lkW4-dG2BCY>

지도작성



지도작성



참 쉽죠?

SLAM, Navigation 은 기본 기능이고
상위에 서비스 또는 모바일 로봇 자체를 하고 싶다고요?
그렇다면 SLAM, Navigation 은 그대로 쓰시고
좀 더 시간을 원하시는 부분에 투자하세요.
세상에 없는 유니크한 당신만의 로봇을 기대해 봅니다.

지도작성

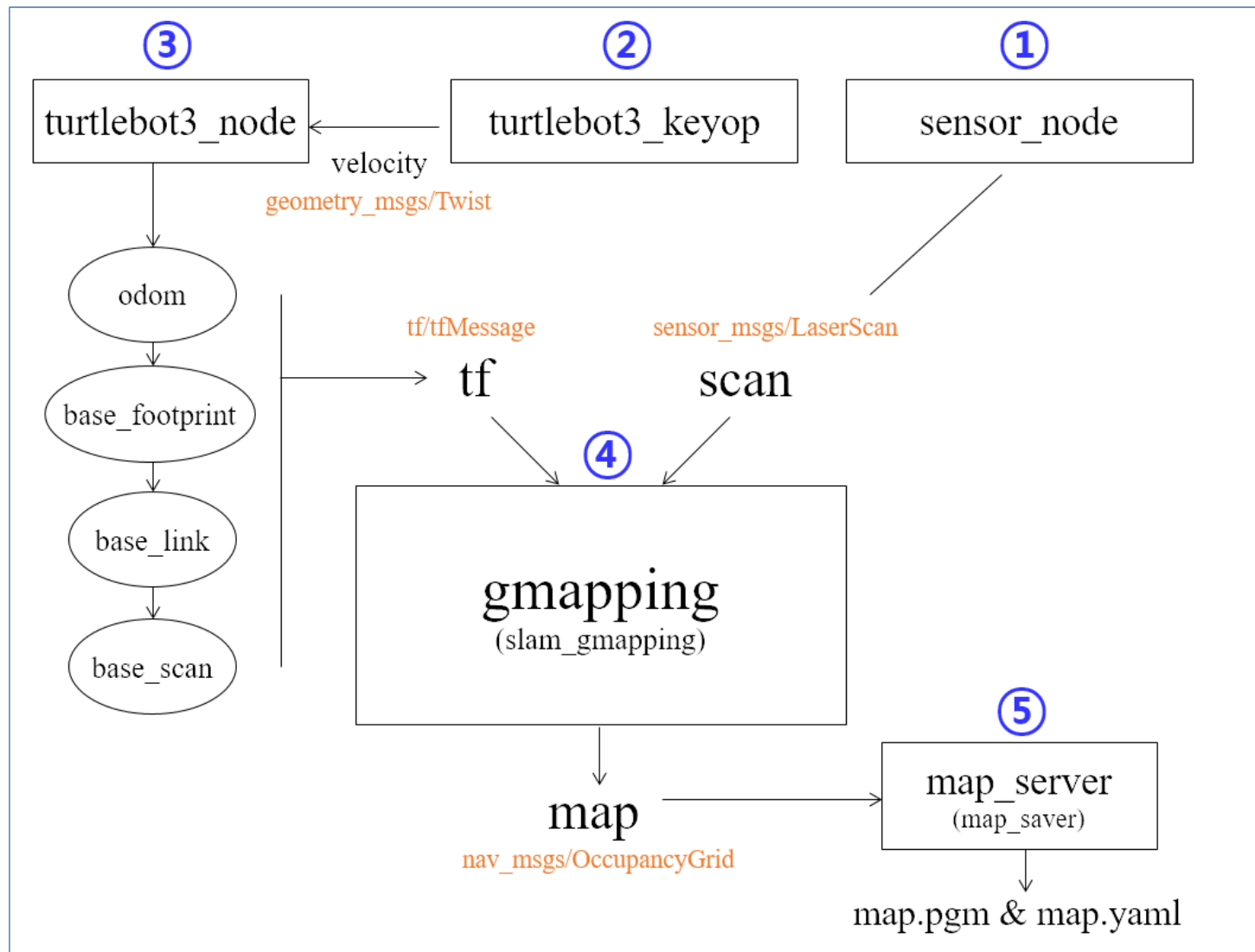


SLAM, Navigation 은 기본 기능이고
상위에 서비스 또는 모바일 로봇 자체를 하고 싶다고요?
그렇다면 SLAM, Navigation 은 그대로 쓰시고
좀 더 시간을 원하시는 부분에 투자하세요.
세상에 없는 유니크한 당신만의 로봇을 기대해 봅니다.

SLAM, Navigation 을 더 공부하고 싶다고요?
모든 소프트웨어는 오픈 소스 입니다.
마음껏 보고, 이해해 보고, 기능도 추가하며
공부해 보세요. 이보다 더 좋은 교과서는 없습니다.

SLAM 관련 노드들의 처리 과정

- ① sensor_node
- ② turtlebot3_keyop
- ③ turtlebot3_node
- ④ slam_gmapping
- ⑤ map_server



위치 추정(localization) | Kalman filter, Particle filter, Graph, Bundle adjustment

• 칼만 필터 (Kalman filter)

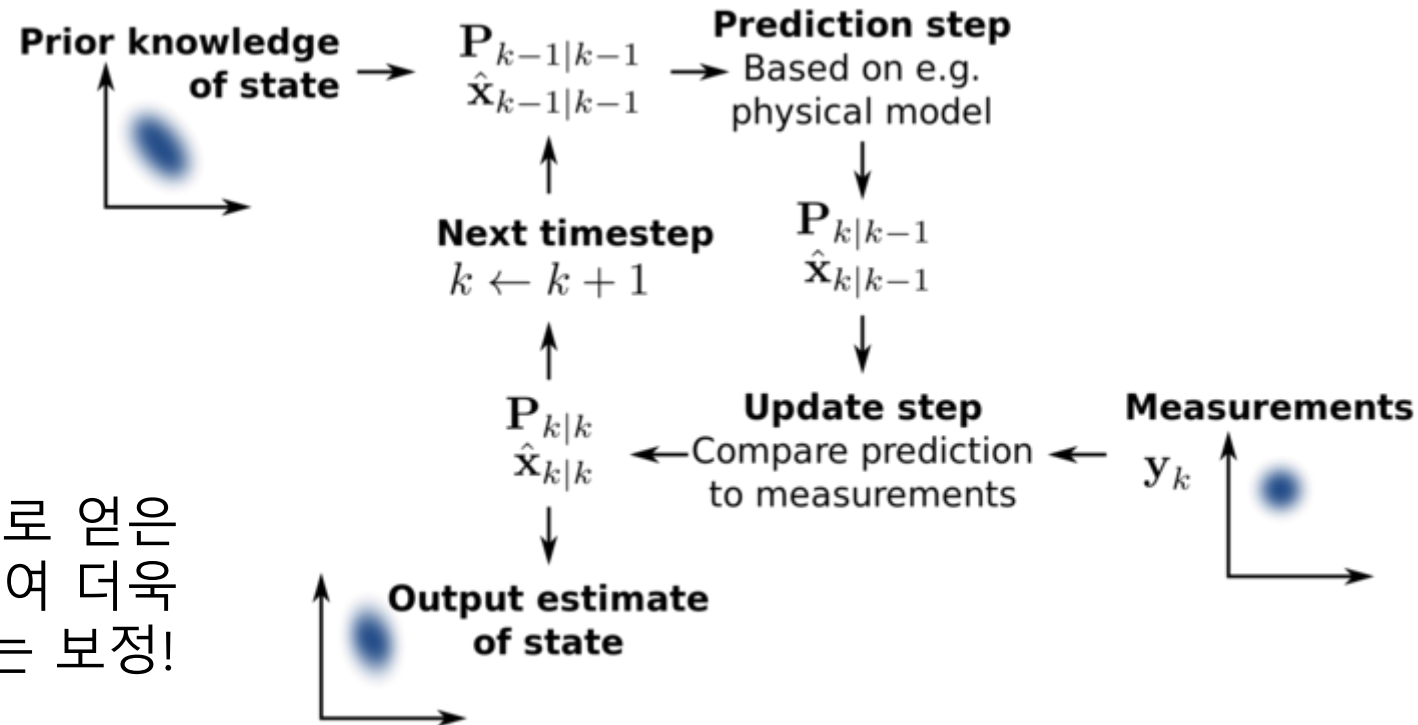
- 잡음이 포함되어 있는 선형 시스템에서 대상체의 상태를 추적하는 재귀 필터
- 베이지 확률 기반

• 예측(Prediction)

- 모델을 상정하고 이 모델을 이용하여 이전 상태에서부터 현재 시점의 상태를 예측

• 보정(update)

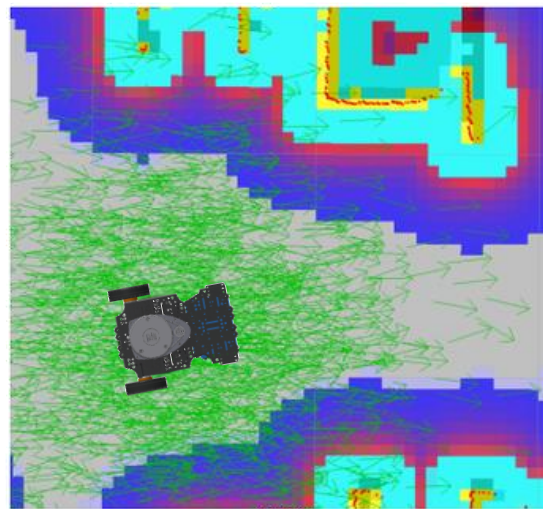
- 앞 단계의 예측 값과 외부 계측기로 얻은 실제 측정 값 간의 오차를 이용하여 더욱 정확한 상태의 상태 값을 추정하는 보정!



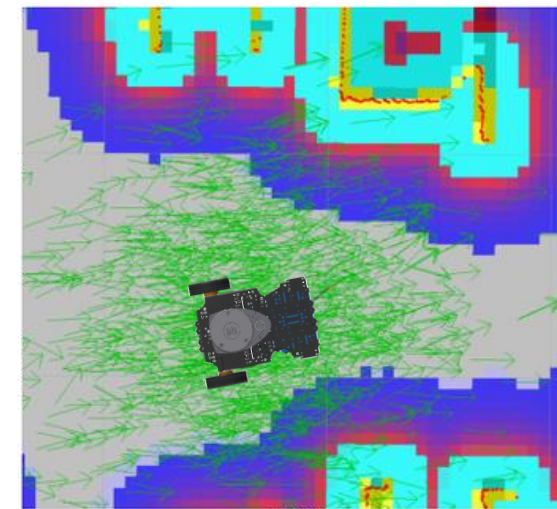
위치 추정(localization) | Kalman filter, Particle filter, Graph, Bundle adjustment

- 파티클 필터(Particle Filter)
- 파티클 필터는 시행 착오(try-and-error)법을 기반으로 한 시뮬레이션을 통하여 예측하는 기술로 대상 시스템에 확률 분포로 임의로 생성된 추정값을 파티클(입자) 형태로 나타낸다.

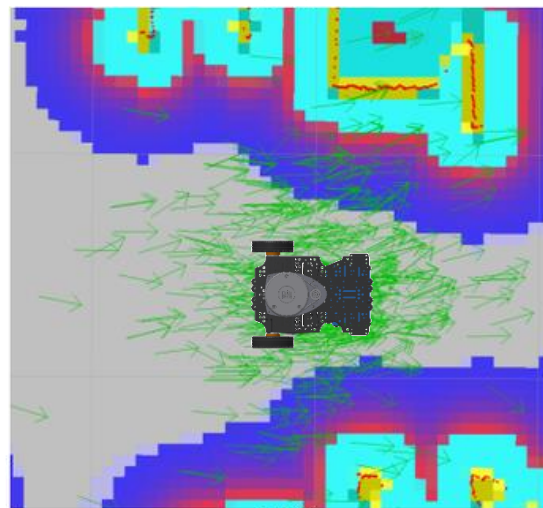
- 1) 초기화(initialization)
- 2) 예측(prediction)
- 3) 보정(update)
- 4) 위치 추정(pose estimation)
- 5) 재추출(Resampling)



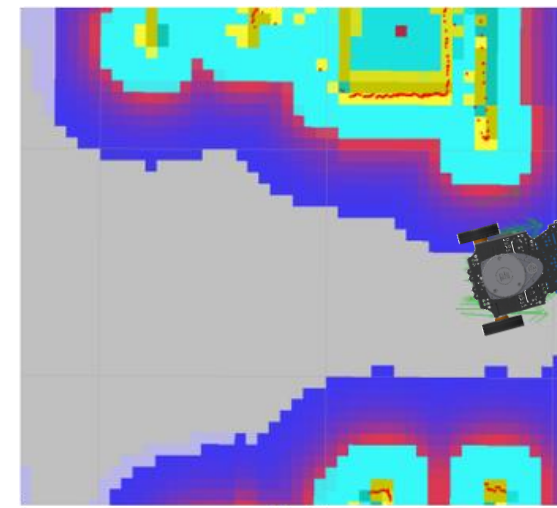
(t1)



(t2)



(t3)



(t4)

Index

I. SLAM과 내비게이션

II. 모바일 로봇의 위치추정과 맵핑 (SLAM)

III. 모바일 로봇의 내비게이션 (Navigation)

내비게이션: Navigation + Turtlebot3

- <http://turtlebot3.robotis.com/en/latest/navigation.html>
- 마스터 실행 (Remote PC)

```
$ roscore
```

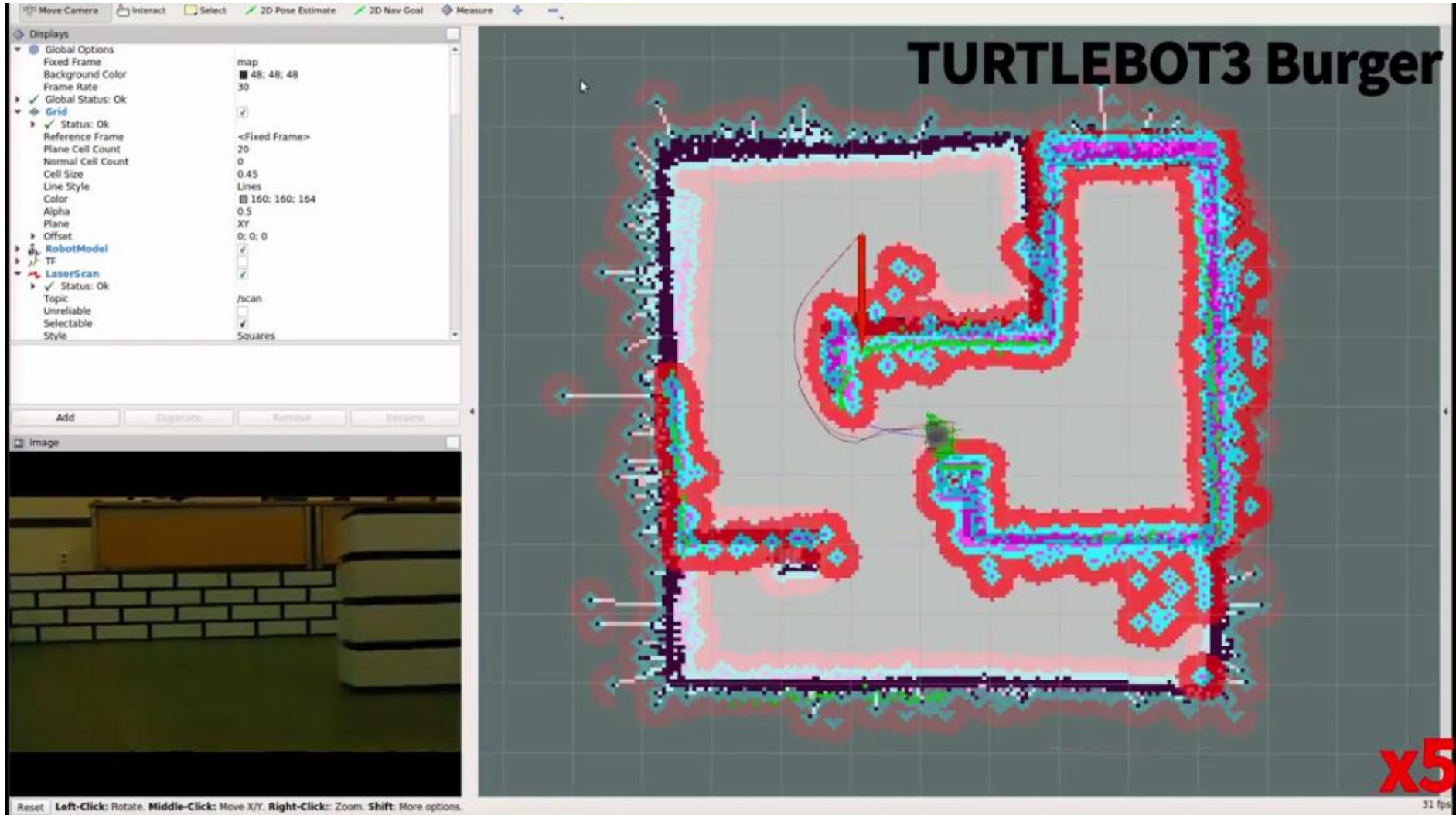
- 터틀봇 및 센서 구동 (SBC)

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=burger (또는 waffle)  
$ roslaunch turtlebot3_bringup turtlebot3_robot.launch
```

- RViz, 터틀봇 원격 조종, 내비게이션 (Remote PC)

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=burger (또는 waffle)  
$ roslaunch turtlebot3_navigation turtlebot3_navigation.launch map_file:=$HOME/map.yaml  
$ rosrn rviz rviz -d `rospack find turtlebot3_navigation`/rviz/turtlebot3_nav.rviz
```

내비게이션



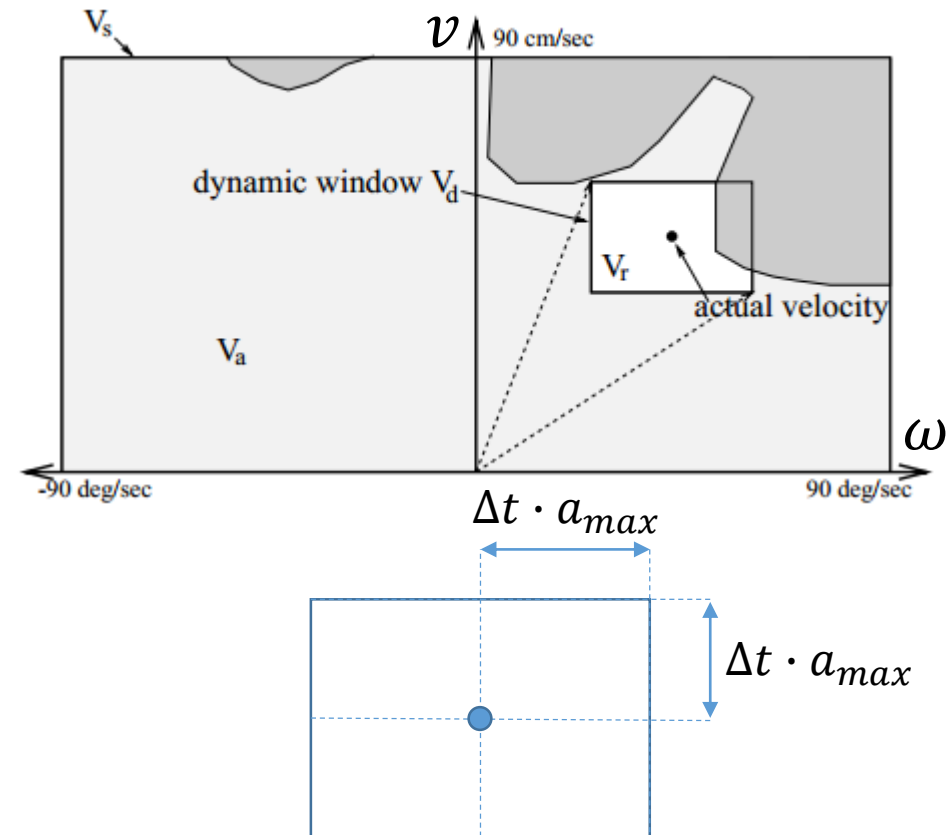
<https://youtu.be/VYIMywwYALU>

내비게이션

- **Dynamic Window Approach** (local plan에서 주로 사용)
- 로봇의 속도 탐색 영역(velocity search space)에서 로봇과 충돌 가능한 장애물을 회피하면서 목표점까지 빠르게 다다를 수 있는 속도를 선택하는 방법

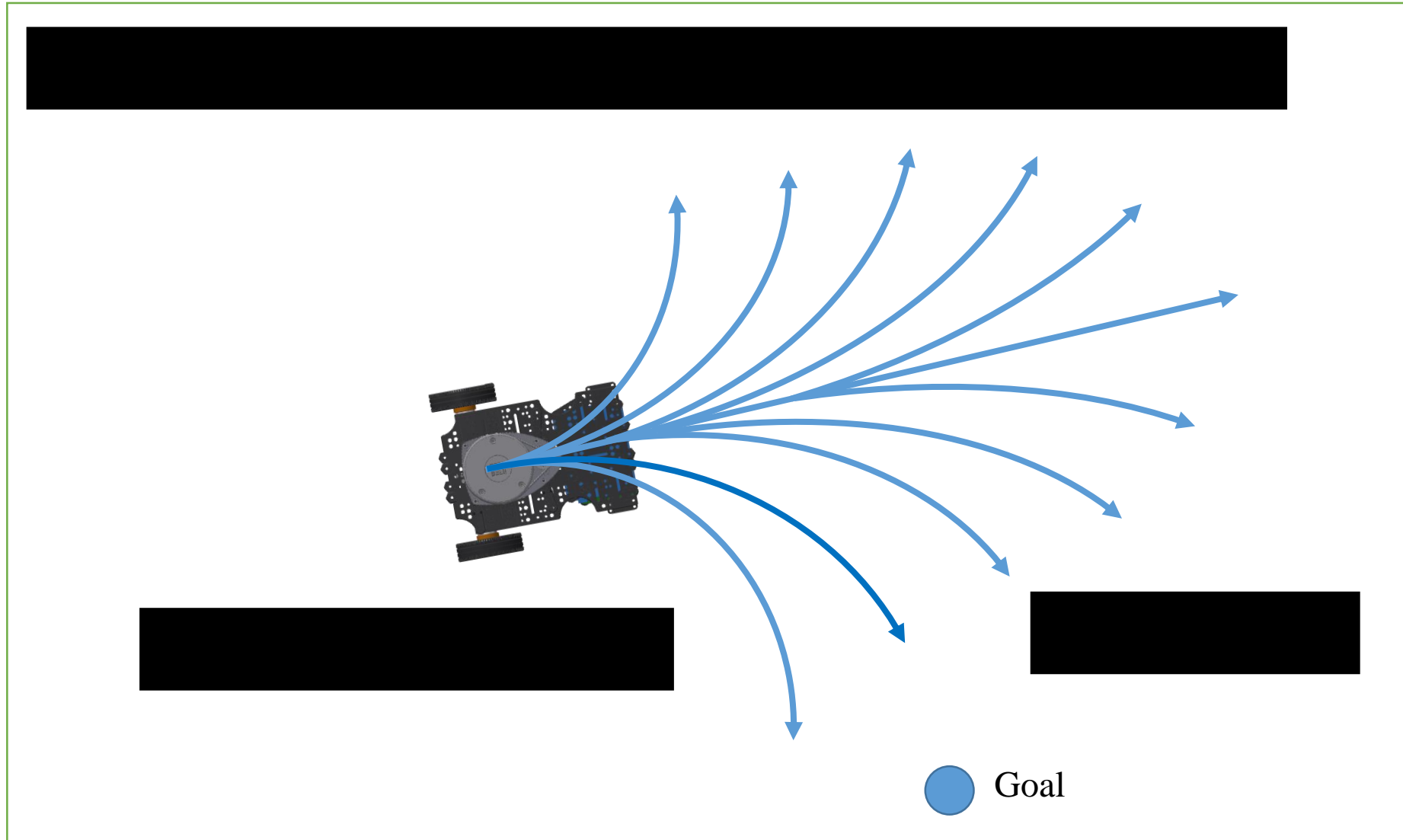
- v (병진속도), ω (회전속도)
- V_s : 가능 속도 영역
- V_a : 허용 속도 영역
- V_r : 다이내믹 윈도우 안의 속도 영역
- $G(v, \omega) = \sigma(\alpha \cdot \text{heading}(v, \omega) + \beta \cdot \text{dist}(v, \omega) + \gamma \cdot \text{velocity}(v, \omega))$

- 목적함수 G 는 로봇의 방향, 속도, 충돌을 고려하여, 목적함수가 최대가 되는 속도 v, ω 를 구하게 된다.

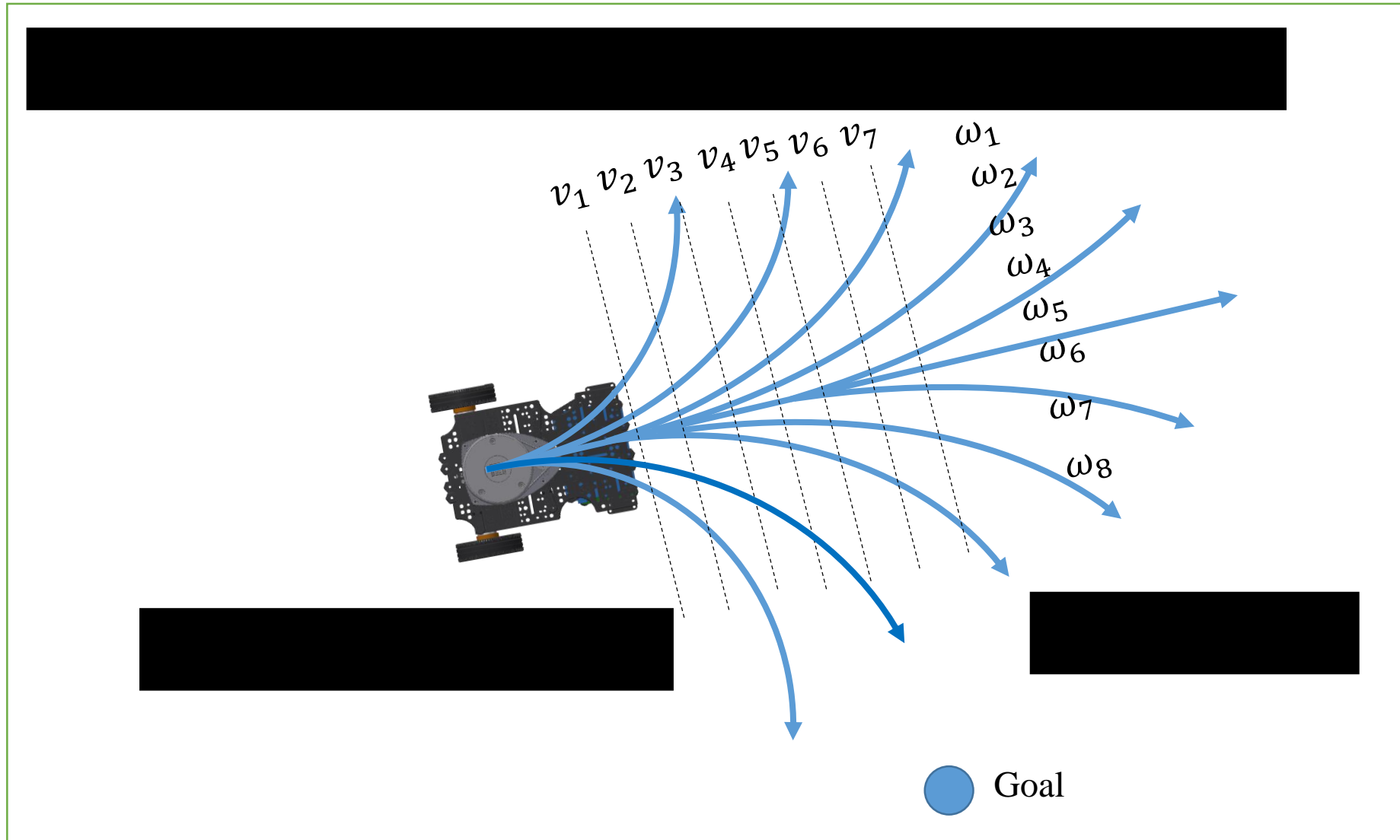


Dynamic Window

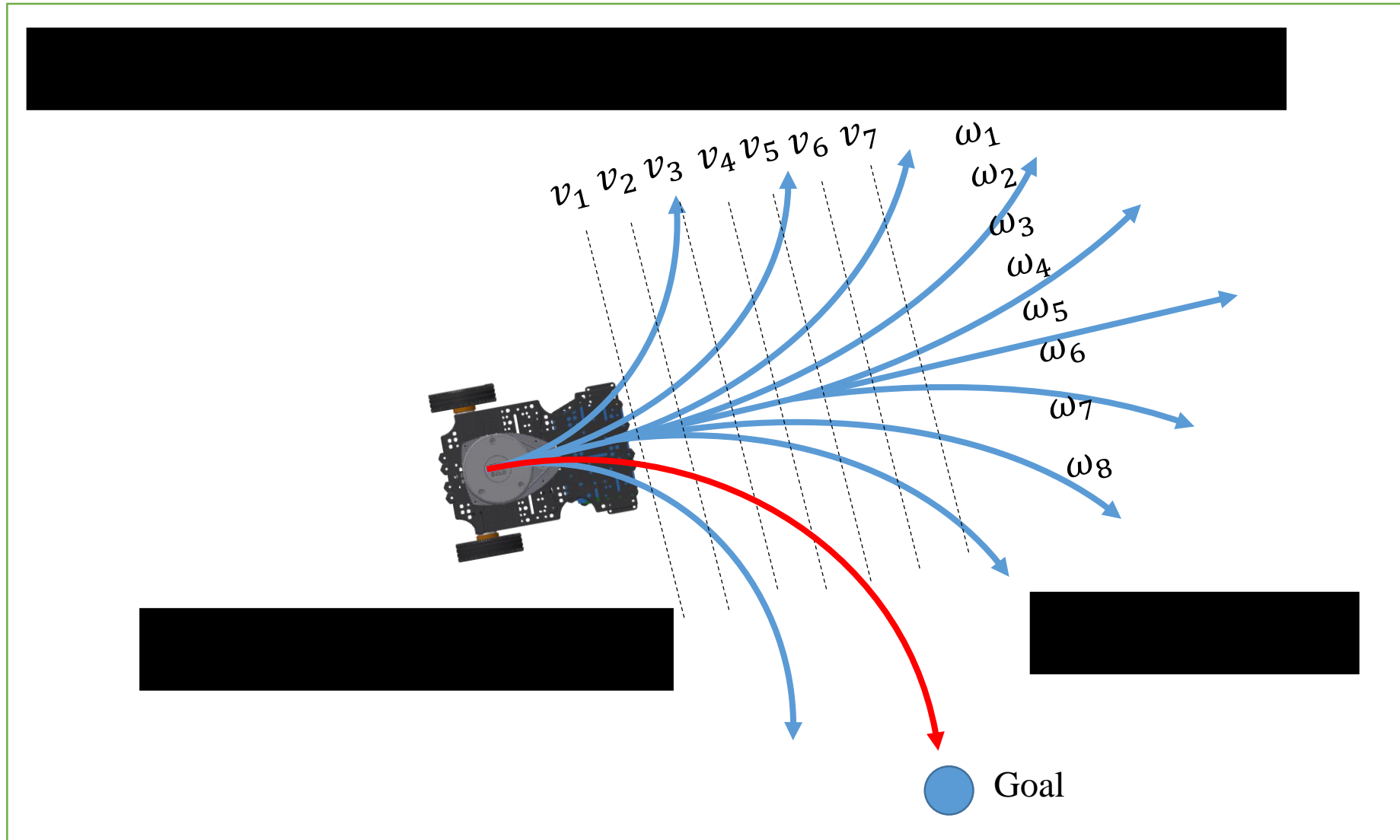
Dynamic Window Approach



Dynamic Window Approach

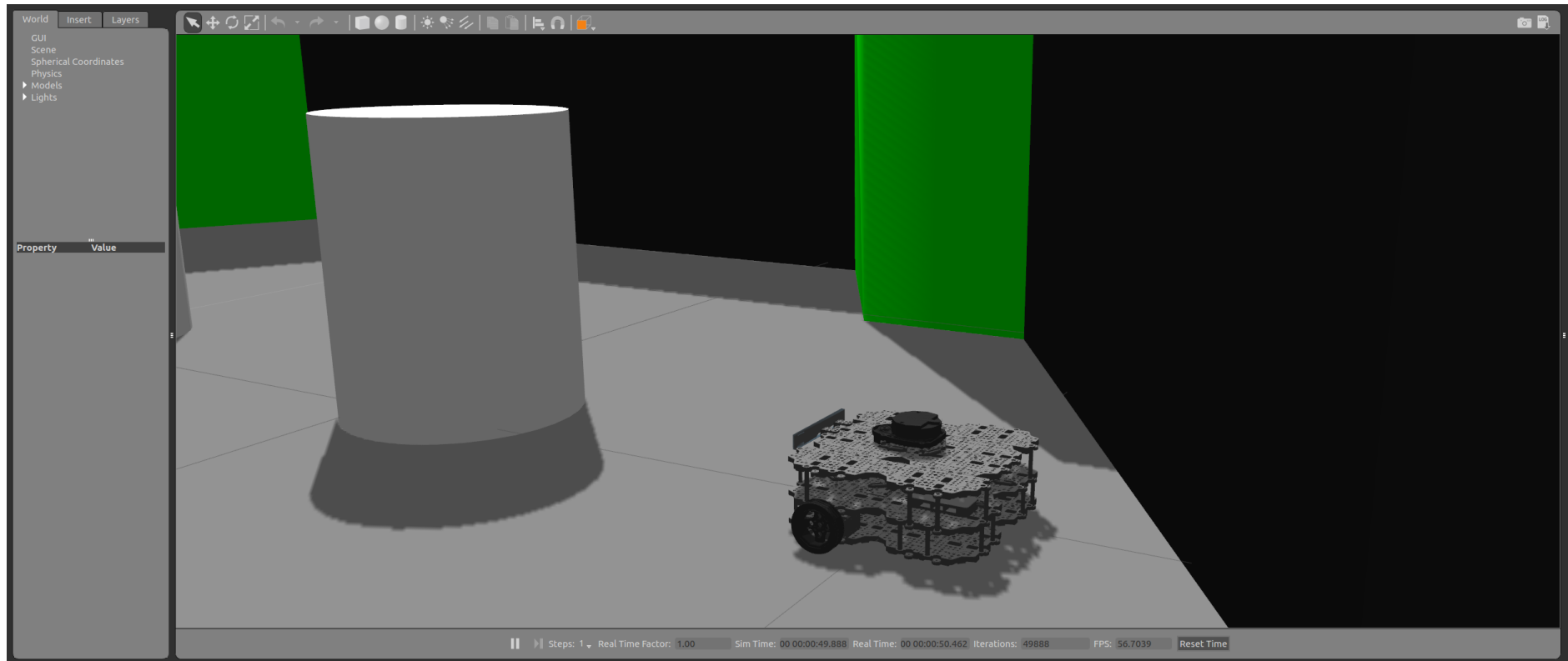


Dynamic Window Approach



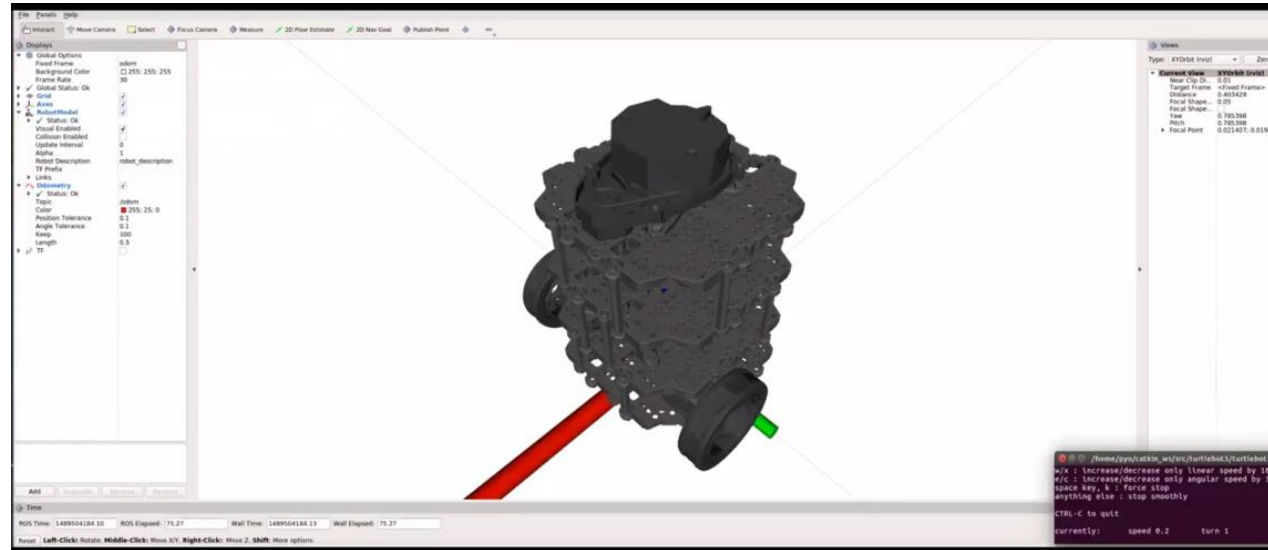
시뮬레이션

- 시뮬레이션을 위한 두 가지 방법
 - ROS의 3차원 시각화 도구인 RViz를 이용
 - 3차원 로봇 시뮬레이터 Gazebo를 이용
- <http://turtlebot3.robotis.com/en/latest/simulation.html>



시뮬레이션 / RViz를 뷰어로 사용할 경우

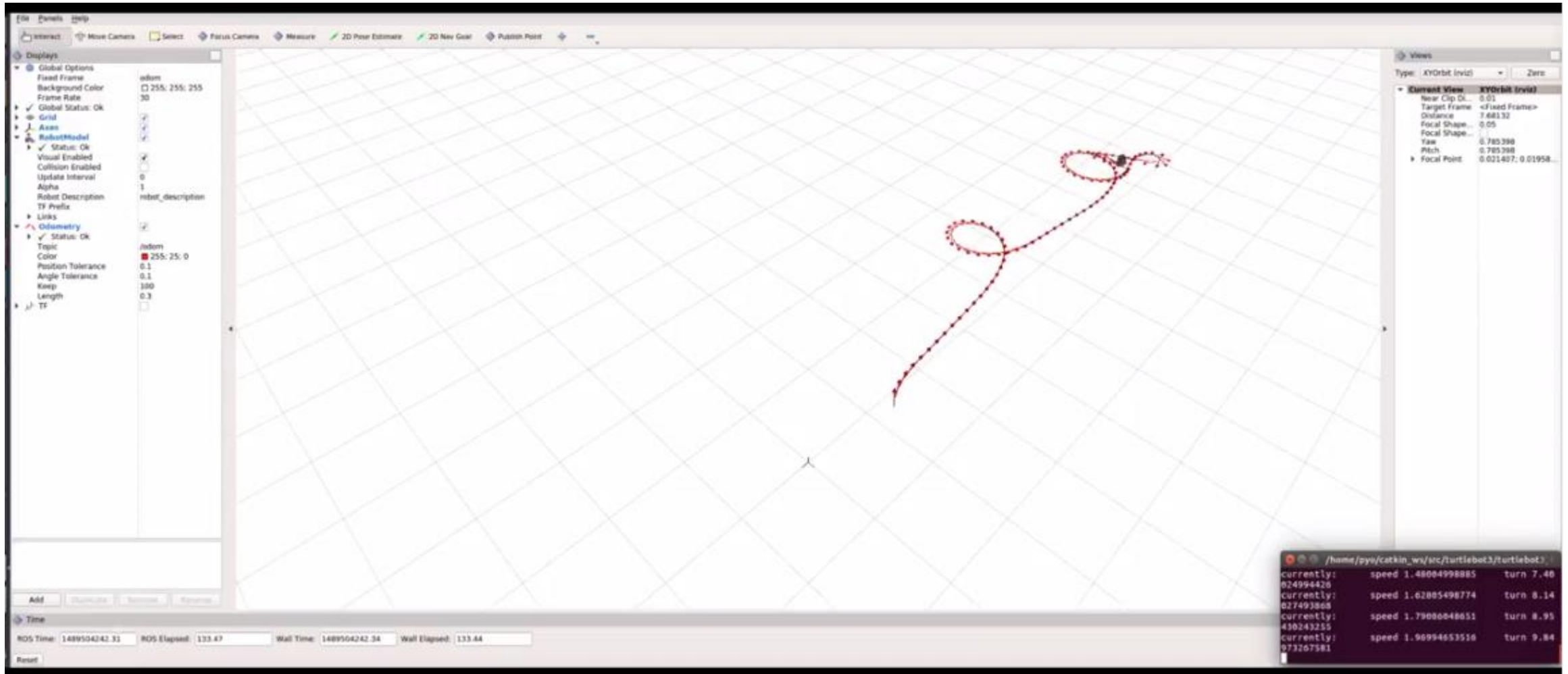
```
$ cd ~/catkin_ws/src/  
$ git clone https://github.com/ROBOTIS-GIT/turtlebot3_simulations.git  
$ cd ~/catkin_ws && catkin_make  
  
$ export TURTLEBOT3_MODEL=burger  
$ roslaunch turtlebot3_fake turtlebot3_fake.launch  
  
$ roslaunch turtlebot3_teleop turtlebot3_teleop_key.launch
```



<https://youtu.be/iHXZSLBJHMg>

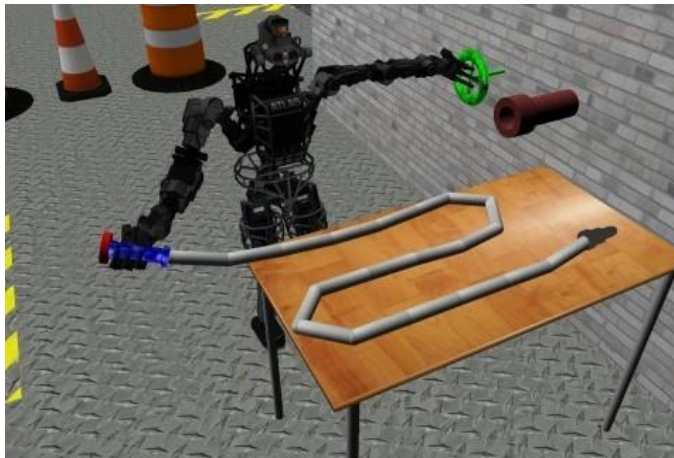
시뮬레이션 / RViz를 뷰어로 사용할 경우









- 로봇을 이동시켜 보면서 Odometry와 tf를 확인해 보자!



Gazebo

- Gazebo는 로봇 개발에 필요한 3차원 시뮬레이션을 위한 로봇, 센서, 환경 모델 등을 지원하고 **물리 엔진을 탑재**하여 실제와 근사한 결과를 얻을 수 있는 **3차원 시뮬레이터**이다.
- Gazebo는 최근에 나온 오픈 진영 시뮬레이터 중 가장 좋은 평가를 받고 있고, 미국 **DARPA Robotics Challenge**의 공식 시뮬레이터로 선정되어 개발에 더욱 박차를 가하고 있는 상황이다.
- ROS에서는 그 태생이 Player/Stage, Gazebo를 기본 시뮬레이터로 사용하고 있어서 **ROS와의 호완성도** 매우 좋다.

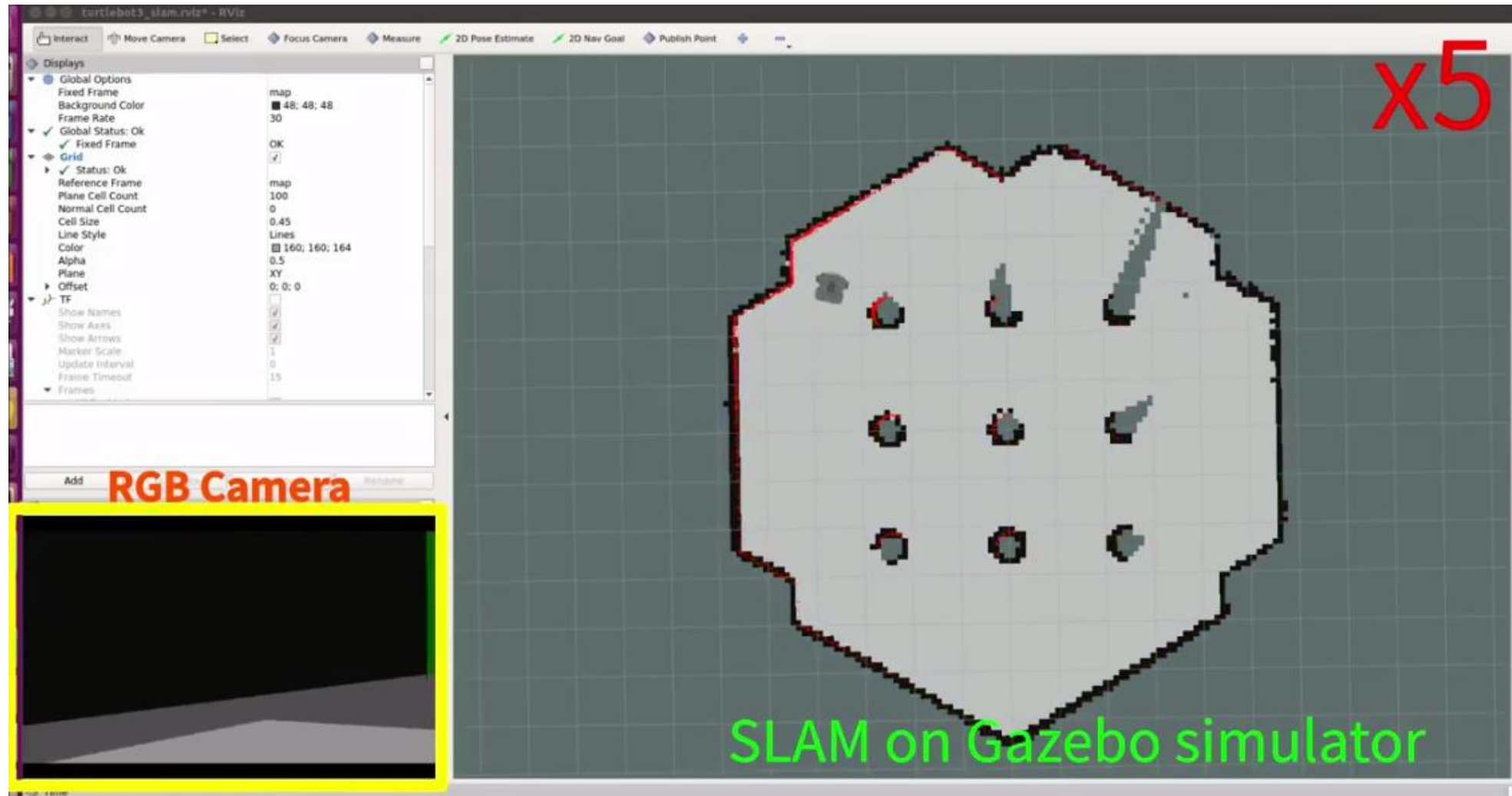


 Dynamics Simulation Access multiple high-performance physics engines including ODE, Bullet, Simbody, and DART.	 Advanced 3D Graphics Utilizing OGRE, Gazebo provides realistic rendering of environments including high-quality lighting, shadows, and textures.	 Sensors and Noise Generate sensor data, optionally with noise, from laser range finders, 2D/3D cameras, Kinect style sensors, contact sensors, force-torque, and more.	 Plugins Develop custom plugins for robot, sensor, and environmental control. Plugins provide direct access to Gazebo's API.
 Robot Models Many robots are provided including PR2, Pioneer2 DX, iRobot Create, and TurtleBot. Or build your own using SDF.	 TCP/IP Transport Run simulation on remote servers, and interface to Gazebo through socket-based message passing using Google Protobufs.	 Cloud Simulation Use CloudSim to run Gazebo on Amazon, Softlayer, or your own OpenStack instance.	 Command Line Tools Extensive command line tools facilitate simulation introspection and control.

가상 내비게이션 in Gazebo

```
$ cd ~/catkin_ws/src/  
$ git clone https://github.com/ROBOTIS-GIT/turtlebot3_simulations.git  
$ cd ~/catkin_ws && catkin_make  
  
$ cp -r ~/catkin_ws/src/turtlebot3_simulations/turtlebot3_gazebo/worlds/turtlebot3 ~/.gazebo/models/  
  
$ export TURTLEBOT3_MODEL=burger  
$ roslaunch turtlebot3_gazebo turtlebot3_empty_world.launch  
  
$ roslaunch turtlebot3_teleop turtlebot3_teleop_key.launch  
  
$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle  
$ roslaunch turtlebot3_gazebo turtlebot3_world.launch  
$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle  
$ roslaunch turtlebot3_gazebo turtlebot3_simulation.launch  
$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle  
$ roslaunch turtlebot3_gazebo turtlebot3_gazebo_rviz.launch
```

가상 내비게이션 in Gazebo



https://youtu.be/xXM5r_SVkWM

마지막으로... 다시 한번!

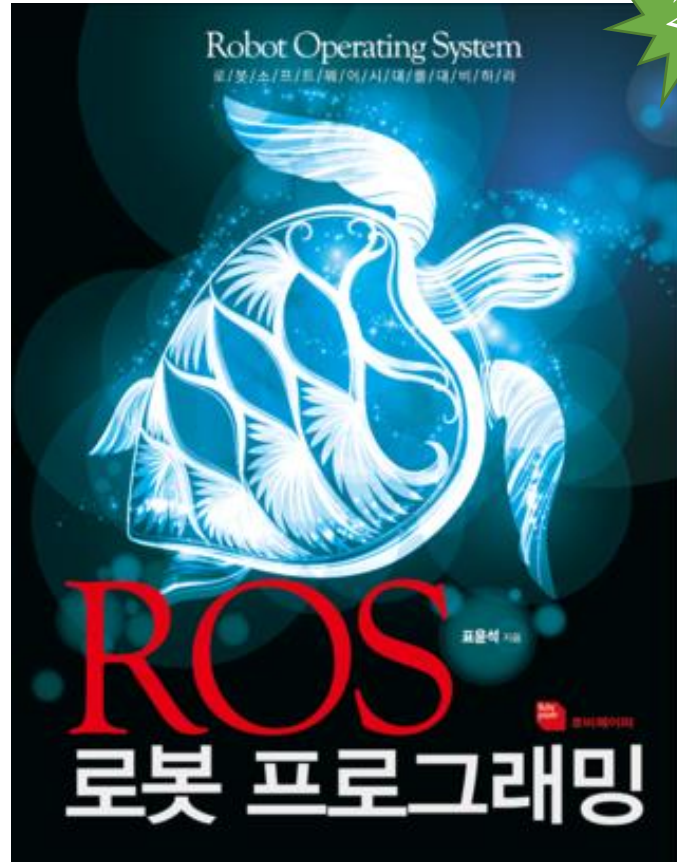


SLAM, Navigation 은 기본 기능이고
상위에 서비스 또는 모바일 로봇 자체를 하고 싶다고요?
그렇다면 SLAM, Navigation 은 그대로 쓰시고
좀 더 시간을 원하시는 부분에 투자하세요.
세상에 없는 유니크한 당신만의 로봇을 기대해 봅니다.

SLAM, Navigation 을 더 공부하고 싶다고요?
모든 소프트웨어는 오픈 소스 입니다.
마음껏 보고, 이해해 보고, 기능도 추가하며
공부해 보세요. 이보다 더 좋은 교과서는 없습니다.

**질문
대환영!**

여기서! 광고 하나 나가요~



국내 유일! 최초! ROS 책
비 영어권 최고의 책
인세 전액 기부

여기서! 광고 둘 나가요~



- 오로카
- www.oroqa.org
- 오픈 로보틱스 지향
- 풀뿌리 로봇공학의 저변 활성화
- 공개 강좌, 세미나, 프로젝트 진행

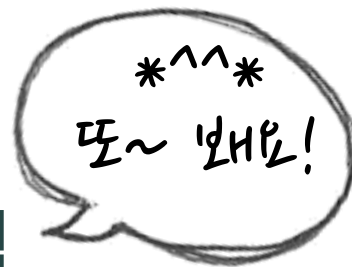
- 로봇공학을 위한 열린 모임 (KOS-ROBOT)
- www.facebook.com/groups/KoreanRobotics
- 로봇공학 통합 커뮤니티 지향
- 일반인과 전문가가 어울러지는 한마당
- 로봇공학 소식 공유
- 연구자 간의 협력

혼자 하기에 답답하시다고요?
커뮤니티에서 함께 해요~

끝.

표윤석

Yoonseok Pyo
pyo@robotis.com
www.robotpilot.net



www.facebook.com/yoonseok.pyo

Thanks for your attention!

표윤석

Yoonseok Pyo
pyo@robotis.com
www.robotpilot.net

www.facebook.com/yoonseok.pyo