

知能機械設計演習
Practicum in Intelligent Machine Design

MATLAB/SimulinkとROS 2週目
MATLAB/Simulink and ROS 2週目

生命体工学研究科
人間知能システム工学専攻
s-yasukawa@brain.kyutech.ac.jp
安川 真輔
Shinsuke Yasukawa

Outline

13:00-13:30 前回の復習と今回の演習について

13:30-14:10 1班/4班 (7班)

14:10-15:00 2班/5班 (7班)
(間に10分休憩)

15:00-15:40 3班/6班 (7班)

15:40-16:10 Stateflowについて

残りの班

MATLAB/ROS連携
(前回の資料の続き)

1. MatlabからGazebo上の対象の制御
2. 障害物回避及びオブジェクトの追跡と追従

メッセージ通信

A. プログラムの再利用性を高めるため、機能や目的で細分化したノードを用いる。

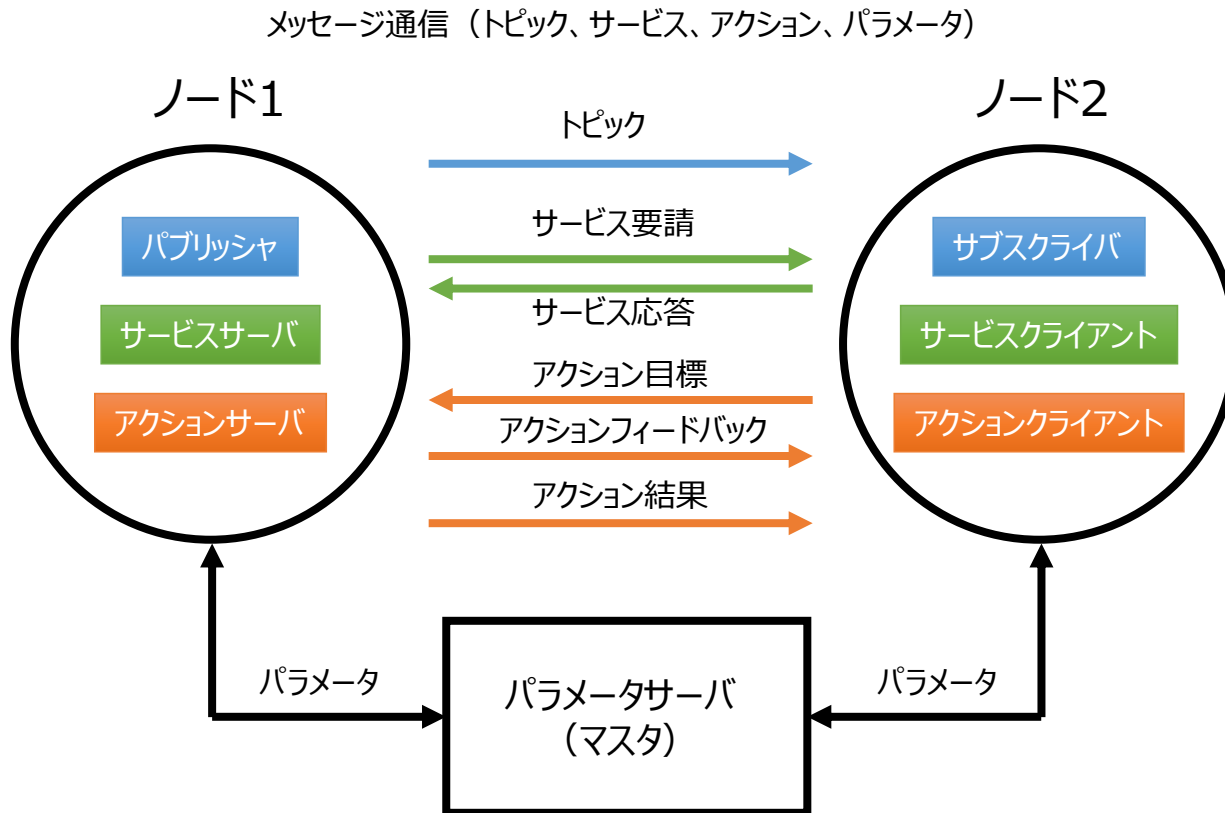
B. ノード間のメッセージ通信

1. 単方向非同期通信方式のトピック(センサデータの取得など、連続的なデータ通信が必要なとき)

2. 要請と応答から構成される双方向同期通信方式のサービス(ロボットの状態の確認など、要請に対してすぐに応答が必要なとき)

3. 目標、結果、およびフィードバックで構成される双方向非同期通信方式のアクション

(目標への移動を支持されたロボットの現在位置など要請に対する応答に遅延がある場合や、処理中の中間結果が必要なとき)がある。



コンピューティングレベル (通信・演算に関するレベル)

1. MatlabからGazebo上の対象の制御

1. Gazebo からのモデルおよびシミュレーションの特性の読み取り

<https://jp.mathworks.com/help/robotics/examples/read-model-and-simulation-properties-in-gazebo.html>

2. Gazebo でのオブジェクトの追加、作成、および削除

<https://jp.mathworks.com/help/robotics/examples/add-build-and-remove-objects-in-gazebo.html>

3. Gazebo での力とトルクの適用

<https://jp.mathworks.com/help/robotics/examples/apply-forces-and-torques-in-gazebo.html>

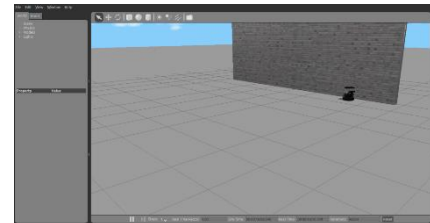
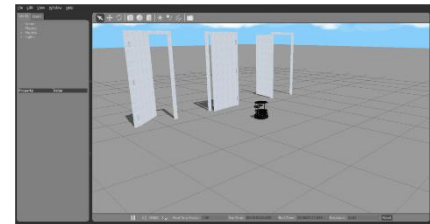
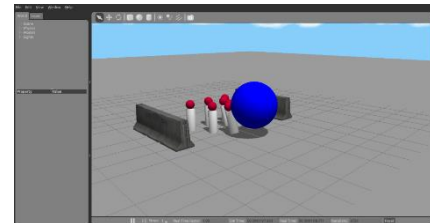
4. シミュレーションでのロボットの自律性のテスト

<https://jp.mathworks.com/help/robotics/examples/test-autonomy-in-simulation.html>

(その他)

rosvag ログファイルの操作

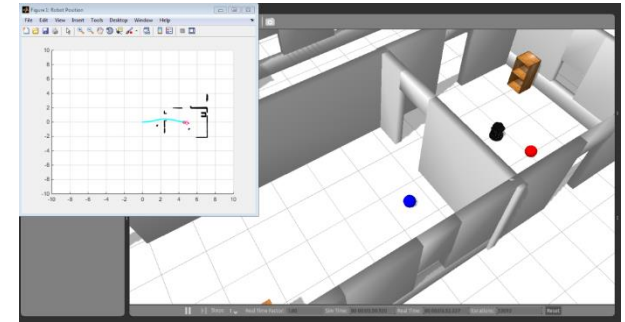
<https://jp.mathworks.com/help/robotics/examples/work-with-rosvag-logfiles.html>



2. 障害物回避及びオブジェクトの追跡と追従

TurtleBot による障害物回避

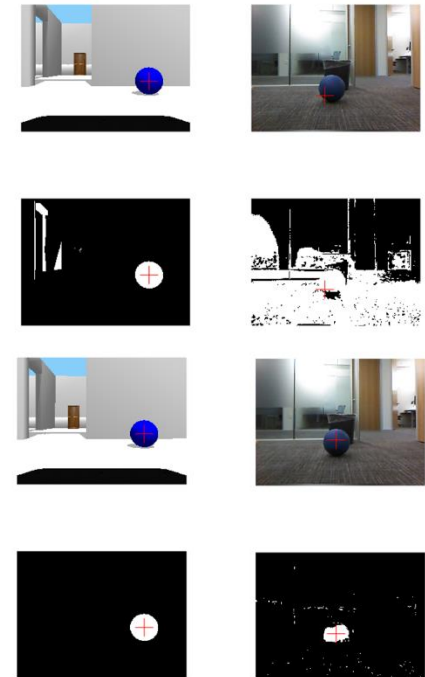
<https://jp.mathworks.com/help/robotics/examples/obstacle-avoidance-using-turtlebot-robot.html>



オブジェクトの追跡と追従

<https://jp.mathworks.com/help/robotics/examples/track-and-follow-an-object.html>

*シミュレーション側のみ



3. Simulink coderによるROSノードの生成

Simulink® からのスタンドアロン ROS ノードの生成

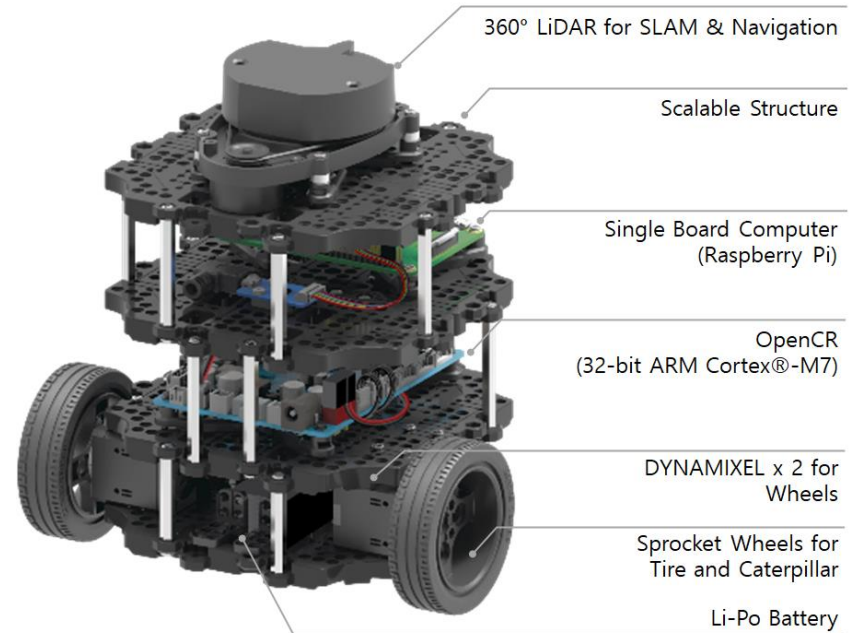
<https://jp.mathworks.com/help/robotics/examples/generate-a-standalone-ros-node-in-simulink.html>

Turtlebot3

移動ロボット turtlebot3 -1/2-

TurtleBot3 Burger

Items	Burger
Maximum translational velocity	0.22 m/s
Maximum rotational velocity	2.84 rad/s (162.72 deg/s)
Maximum payload	15kg
Size (L x W x H)	138mm x 178mm x 192mm
Weight (+ SBC + Battery + Sensors)	1kg
Threshold of climbing	10 mm or lower
Expected operating time	2h 30m
Expected charging time	2h 30m
SBC (Single Board Computers)	Raspberry Pi 3 Model B and B+
MCU	32-bit ARM Cortex®-M7 with FPU (216 MHz, 462 DMIPS)
Remote Controller	-
Actuator	Dynamixel XL430-W250
LDS(Laser Distance Sensor)	360 Laser Distance Sensor LDS-01
Camera	-
IMU	Gyroscope 3 Axis Accelerometer 3 Axis Magnetometer 3 Axis 3.3V / 800mA 5V / 4A 12V / 1A
Power connectors	GPIO 18 pins Arduino 32 pin
Expansion pins	GPIO 18 pins Arduino 32 pin
Peripheral	UART x3, CAN x1, SPI x1, I2C x1, ADC x5, 5pin OLLO x4
Dynamixel ports	RS485 x 3, TTL x 3
Audio	Several programmable beep sequences
Programmable LEDs	User LED x 4 Board status LED x 1 Arduino LED x 1 Power LED x 1
Status LEDs	Board status LED x 1 Arduino LED x 1 Power LED x 1
Buttons and Switches	Push buttons x 2, Reset button x 1, Dip switch x 2
Battery	Lithium polymer 11.1V 1800mAh / 19.98Wh 5C
PC connection	USB
Firmware upgrade	via USB / via JTAG
Power adapter (SMPS)	Input : 100-240V, AC 50/60Hz, 1.5A @max Output : 12V DC, 5A



WORLD'S MOST POPULAR ROS PLATFORM

TurtleBot is the world's most popular open source robot for education and research.



AFFORDABLE COST

TurtleBot is the most affordable platform for educations and prototype research & developments.



SMALL SIZE

Imagine the TurtleBot in your backpack and bring it anywhere.



EXTENSIBILITY

Extend ideas beyond imagination with various SBC, sensor, motor and flexible structure.



MODULAR ACTUATOR

Easy to assemble, maintain, replace and reconfigure.



OPEN SOURCE SOFTWARE

Variety of open source software for the user. You can modify downloaded source code and share it with your friends.



OPEN SOURCE HARDWARE

Schematics, PCB Gerber, BOM and 3D CAD data are fully opened to the user.



STRONG SENSOR LINEUPS

8MP Camera, Enhanced 360° LiDAR, 9-Axis Inertial Measurement Unit and precise encoder for your robot.

移動ロボット turtlebot3 -2/2-

TurtleBotシリーズ

- ・ROSの標準ロボットプラットフォーム
- ・教育用コンピュータプログラミング言語 logoの使用例としてのカメ型ロボットに大きく影響を受けている

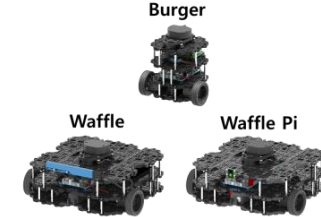
Original TurtleBot
(Discontinued)



TurtleBot 2 Family



TurtleBot 3 Family



TurtleBot3

オープンソースハードウェア

- ・主な構成要素

アクチュエータDINAMIXEL*2:駆動用

センサLDS : SLAMとナビゲーション用

SBC(Single Board Computer) : ROS動作可能

リチウムポリマーバッテリー:11v

ROBOTIS TurtleBot3 Burger

<https://cad.onshape.com/documents/2586c4659ef3e7078e91168b/w/14abf4cb615429a14a2732cc/e/9ae9841864e78c02c4966c5e>

オープンソースソフトウェア

- ・OpenCRのファームウェア(turtlebot_core)

- ・4つのROSパッケージ

turtlebot3

turtlebot3のロボットモデルに関するファイル

turtlebot3_msg

メッセージファイルの集合

turtlebot3_simulations

シミュレーションに関する機能

turtlebot3_applications

アプリケーション例

セットアップ

TurtleBot



```
ROS_MASTER_URI = http://IP\_OF\_REMOTE\_PC:11311  
ROS_HOSTNAME   = IP_OF_TURTLEBOT
```

- ロボットの動作
- センサデータの取得

Remote PC



```
ROS_MASTER_URI = http://IP\_OF\_REMOTE\_PC:11311  
ROS_HOSTNAME   = IP_OF_REMOTE_PC
```

- マスタの役割
- 遠隔操作, SLAM, ナビゲーションなどの上位レベルのコントローラ

SSHを用いてRemotePCからTurtleBotSBCに接続して作業する。
SSH pi@

立ち上げ方法とその確認

[Remote PC]

(手順①)

```
$ roscore
```

* 端末を実行するためのショートカットキー
Ctrl- Alt- T

[TurtleBot SBC(Single Board Computer)]

```
$ roslaunch turtlebot3_bringup turtlebot3_robot.launch (手順②)
```

Launch

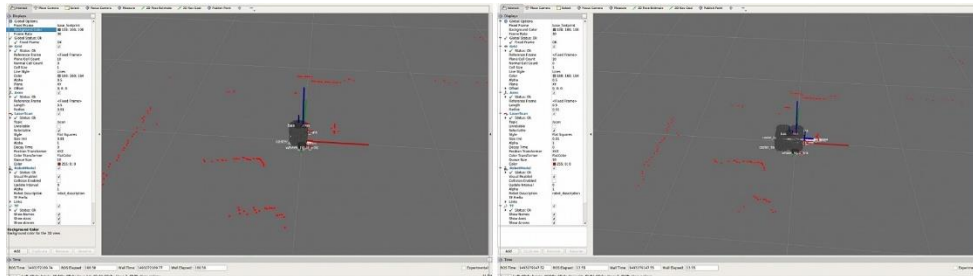
1. turtlebot3_core : OpenCRと通信する
2. hls_lfcd_lds_driveノード : LDSの駆動

[Remote PC] TurtleBot3の表示

(手順③ Load a TurtleBot3 on Rviz)

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=burger
```

```
$ roslaunch turtlebot3_bringup turtlebot3_model.launch
```



・ロボットの各関節におけるrfが
RGBの座標軸と共に表示

・ロボット搭載のLDSにより取得された障害物の
距離データも表示

[Remote PC] TurtleBot3のキーボードによる操作

(手順④)

```
$ roslaunch turtlebot3_teleop turtlebot3_teleop_key.launch
```

[Remote PC] トピック通信の可視化

(手順⑤)

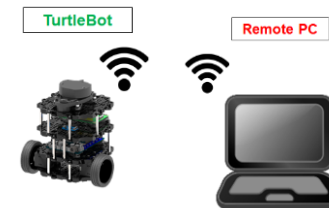
一旦turtlebot3_teleopを終了

```
$ rqt_graph
```

```
$ rostopic list
```

もう一度turtlebot3_teleopを立ち上げ

```
$ rqt_graph
```



サブスクライブトピックとパブリッシュトピックの確認 -1/2-

○サブスクライブトピックによるロボット制御

[Remote PC]

停止

```
$ rostopic pub /motor_power std_msgs/Bool "data: 0"
```

TurtleBot3を動かすための速度のパブリッシュ

```
$ rostopic pub /cmd_vel geometry_msgs/Twist "linear:
```

```
x : 0.02
```

```
y : 0.0
```

```
z : 0.0
```

```
angular:
```

```
x : 0.0
```

```
y : 0.0
```

```
z : 0.0"
```

```
$ rostopic pub /cmd_vel geometry_msgs/Twist "linear:
```

```
x : 0.0
```

```
y : 0.0
```

```
z : 0.0
```

```
angular:
```

```
x : 0.0
```

```
y : 0.0
```

```
z : 1.0"
```

○パブリッシュトピックを用いたロボットの状態の確認

[Remote PC]

sensor_state : OpenCRに接続されたアナログセンサのデータ

```
$ rostopic echo /sensor_state
```

```
stamp: ...
```

odom : ジャイロやエンコーダから出力したオドメトリ情報

```
$ rostopic echo /odom
```

```
header: ...
```

tf : XY平面上のロボットの位置(base_footprint), オドメトリ情報(odom),
相対座標変換で記述されるロボットの各関節のpose(位置と姿勢)

```
$ rostopic echo /tf
```

```
transforms: ...
```

サブスクライブトピックとパブリッシュトピックの確認 -2/2-

表 10.1 TurtleBot3 のサブスクライブトピック

トピック名	メッセージ型	機 能
motor_power	std_msgs/Bool	Dynamixel モータを On/Off
reset	std_msgs/Empty	オドメトリ (odometry) と IMU をリセット
sound	turtlebot3_msgs/Sound	ブザー音の出力
cmd_vel	geometry_msgs/Twist	移動ロボットの並進、回転速度を制御 単位はそれぞれ m/s、rad/s

表 10.2 TurtleBot3 のパブリッシュトピック

トピック名	メッセージ型	機 能
sensor_state	turtlebot3_msgs/SensorState	TurtleBot3 のセンサデータを格納
battery_state	sensor_msgs/BatteryState	バッテリーの電圧などの状態を格納
scan	sensor_msgs/LaserScan	TurtleBot3 の LDS のスキャンデータを格納
imu	sensor_msgs/Imu	加速度/ジャイロセンサのデータに基づいて得られたロボットの姿勢データを格納
odom	nav_msgs/Odometry	エンコーダと IMU データに基づいて得られた TurtleBot3 のオドメトリを格納
tf	tf2_msgs/TFMessage	TurtleBot3 の base_footprint、odom などの座標変換を格納
joint_states	sensor_msgs/JointState	左右の両輪を関節として見たときの位置、速度、力（それぞれの単位は m、m/s、N・m）
diagnostics	diagnostic_msgs/DiagnosticArray	自己診断から得られた情報を格納
version_info	turtlebot3_msgs/VersionInfo	TurtleBot3 のハードウェア、ファームウェア、ソフトウェアなどに対する情報を格納
cmd_vel_rc100	geometry_msgs/Twist	Bluetooth コントローラ RC-100 を用いるときに使用するトピック。移動ロボットの速度制御に使用される。単位は m/s、rad/s

Rvizを用いたTurtleBot3のシミュレーション

○仮想ロボットの実行

[Remote PC]

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=burger  
$ roslaunch turtlebot3_fake turtlebot3_fake.launch
```

「Displays」->Global Options->fixed frame
/odom
「Add」: RobotModelを追加

```
$ roslaunch turtlebot3_teleop turtlebot3_teleop_key.launch
```

w, x, a, d, s, cキー

○可視化

「Add」: By Topic -> Odometry
「Displays」-> Odometry Convexのチェックを外す
「Shape」 Shaft Length Shape/Head Lengthの値を適切に

Turtlebot3_fake_node:

Turtlebot3_descriptionパッケージにある
Turtlebot3の3次元モデルの読み込み
実際のロボットと同様にトピックをパブリッシュ

robot_state_publisher:

ロボットの車輪回転データから得られる両車輪
及び各関節の姿勢を、tf形式でパブリッシュ

カメラ・距離センサはGazebo上で扱う

Gazeboを用いたTurtleBot3のシミュレーション

[Remote PC]

```
$ gazebo
```

○仮想TurtleBot3の起動（カメラを使いたいののでwaffleで）

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle
$ roslaunch turtlebot3_gazebo turtlebot3_empty_world.launch
or
$ roslaunch turtlebot3_gazebo turtlebot3_world.launch
```

```
$ roslaunch turtlebot3_teleop turtlebot3_teleop_key.launch
```

○例. 仮想環境上での仮想TurtleBot3のランダム移動及び障害物回避

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle
$ roslaunch turtlebot3_gazebo turtlebot3_simulation.launch
```

Rvizでの表示

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle
$ roslaunch turtlebot3_gazebo turtlebot3_gazebo_rviz.launch
```

例. 仮想環境上でのSLAM(自己位置と地図の同時推定)

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle
$ roslaunch turtlebot3_gazebo turtlebot3_world.launch
```

SLAMの実行

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle
$ roslaunch turtlebot3_slam turtlebot3_slam.launch
```

RVizの実行

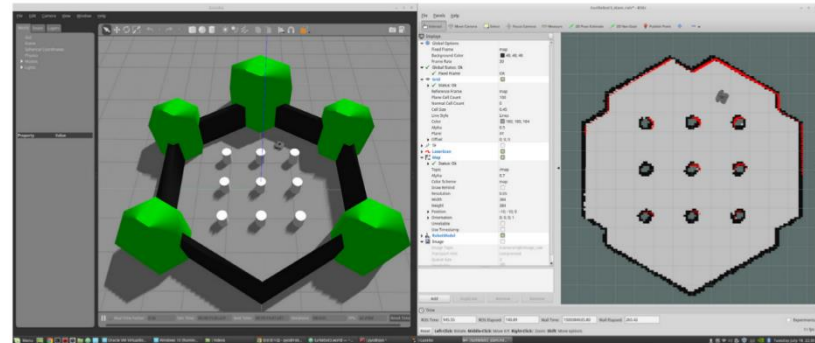
```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle
$ rosrn rviz rviz -d `rospack find turtlebot3_slam`/rviz/turtlebot3_sim.rviz
```

*Gazebo

物理エンジンを搭載し、接触や力のバランスなどの動力学的な変化を伴う実世界を再現し、そこにロボット、センサなどのモデルを置くことで3次元シミュレーションを行うことができる

Gazeboの特徴

1. 動力学シミュレーション
2. 3次元グラフィックス
3. センサノイズ
4. プラグイン追加機能
5. ロボットモデル
6. TCP/IPデータ転送
7. クラウドシミュレーション
8. コマンドラインツール



RVizの実行

```
$ roslaunch turtlebot3_teleop turtlebot3_teleop_key.launch
```

地図の保存

```
$ rosrn map_server map_saver -f ~map
```

SLAM(自己位置と地図の同時推定)

[ノートPC]

```
$ roscore
```

[TurtleBot]

```
$ roslaunch turtlebot3_bringup turtlebot3_robot.launch
```

[ノートPC]

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=${TB3_MODEL}
```

```
$ roslaunch turtlebot3_slam turtlebot3_slam.launch slam_methods:=gmapping
```

Slam_methods & Tuning

gmapping/cartographer/hector/karto/frontier_exploration

<http://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/slam/#slam>

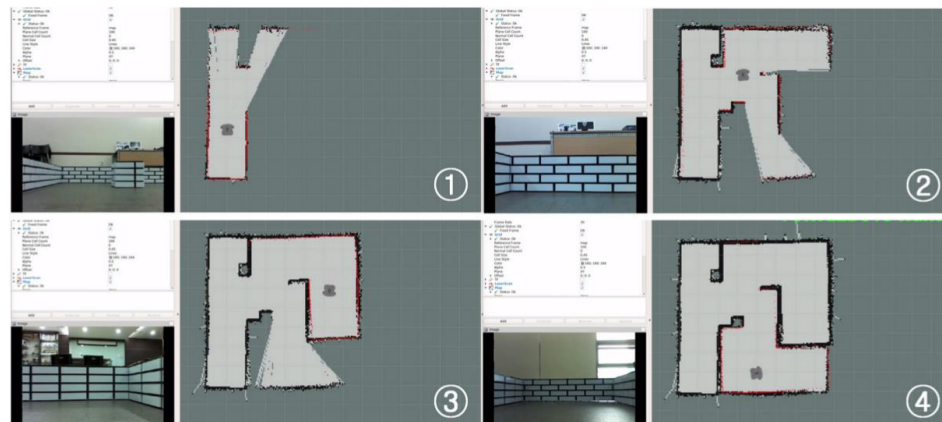
[ノートPC] Run Teleoperation Node

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=%{TB3_MODEL}
```

```
$ roslaunch turtlebot3_teleop turtlebot3_teleop_key.launch
```

[ノートPC] Save Map

```
$ rosrn map_server map_saver -f ~/map
```



ナビゲーション

[リモートPC]

```
$ roscore
```

[TurtleBot]

```
$ roslaunch turtlebot3_bringup turtlebot3_robot.launch
```

[リモートPC] Launch the navigation file.

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=${TB3_MODEL}
```

```
$ roslaunch turtlebot3_navigation turtlebot3_navigation.launch map_file:=$HOME/map.yaml
```

[リモートPC] Estimate Initial Pose

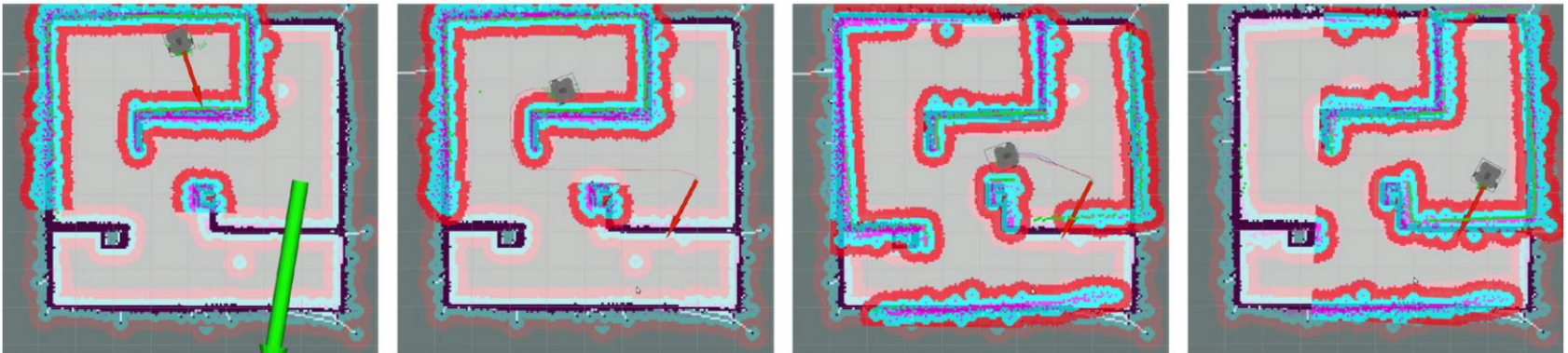
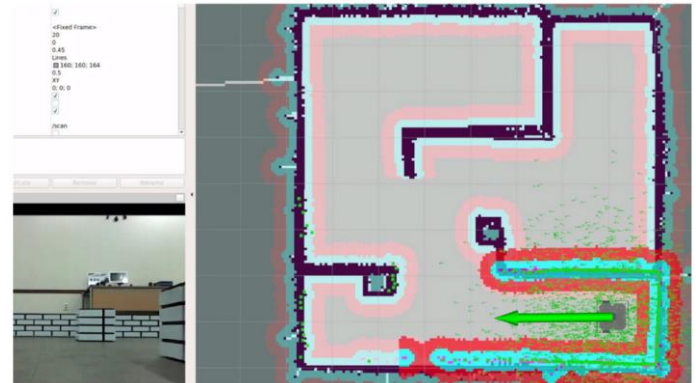
位置の確認 2D Pose Estimateボタンをクリック

```
$ export TURTLEBOT3_MODEL=${TB3_MODEL}
```

```
$ roslaunch turtlebot3_teleop turtlebot3_teleop_key.launch
```

[リモートPC] Send Navigation Goal

目標地点の設定 2D Nav Goalボタンをクリック



Stateflowの基礎

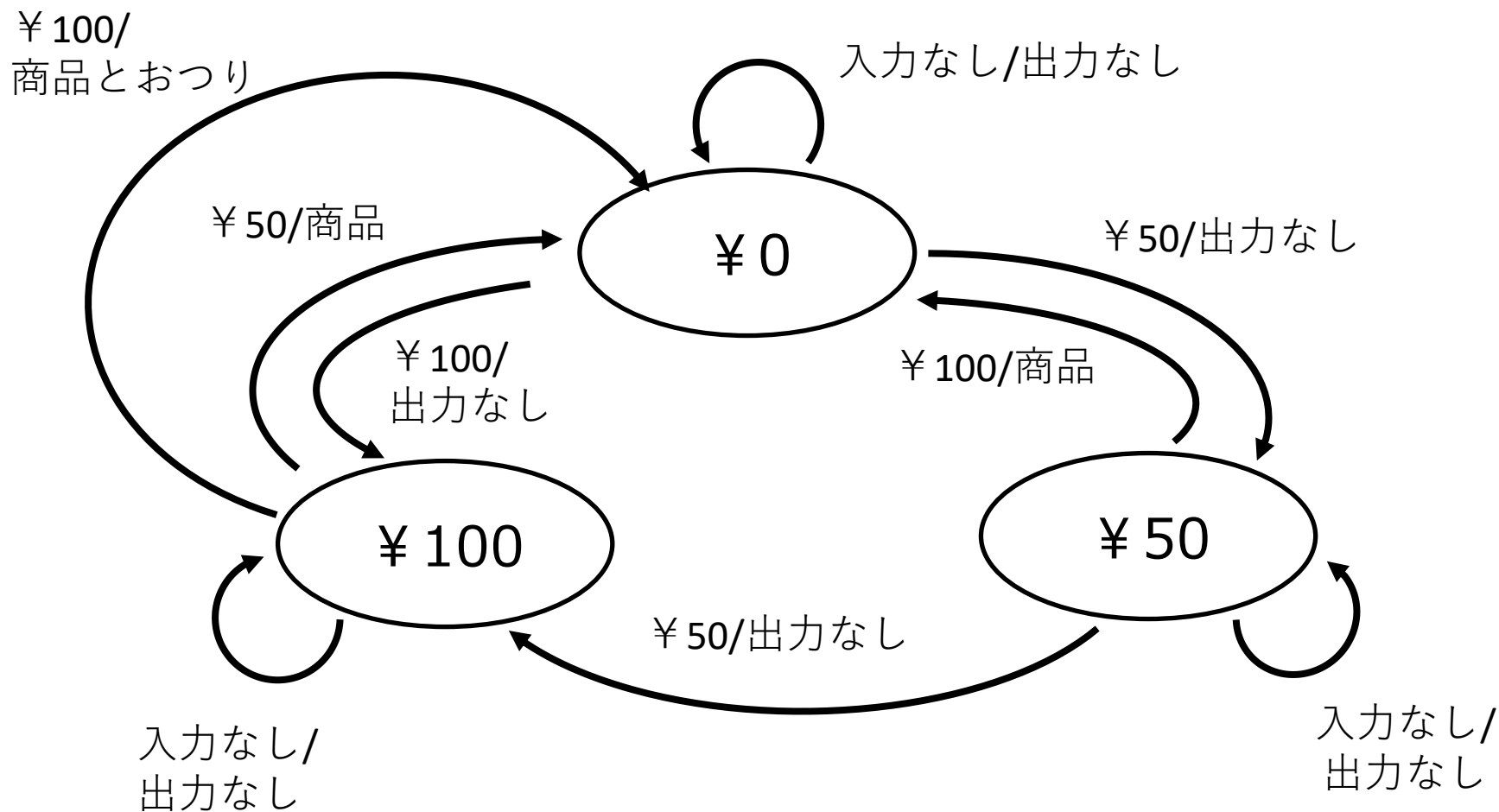
Stateflowの基礎(1/4)

例. Stateflowによる自動販売機(vending machine)の論理設計

50円, 100円の2種類に硬貨を受け付け,
150円の商品1種類を販売する自動販売機的设计

- input : {なし, 50円投入, 100円投入}
- output : {なし, 商品排出, おつり50円排出,
商品とおつり50円排出}
- state : {累積金額0円, 累積金額50円,
累積金額100円}

Stateflowの基礎(2/4)

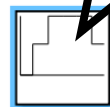
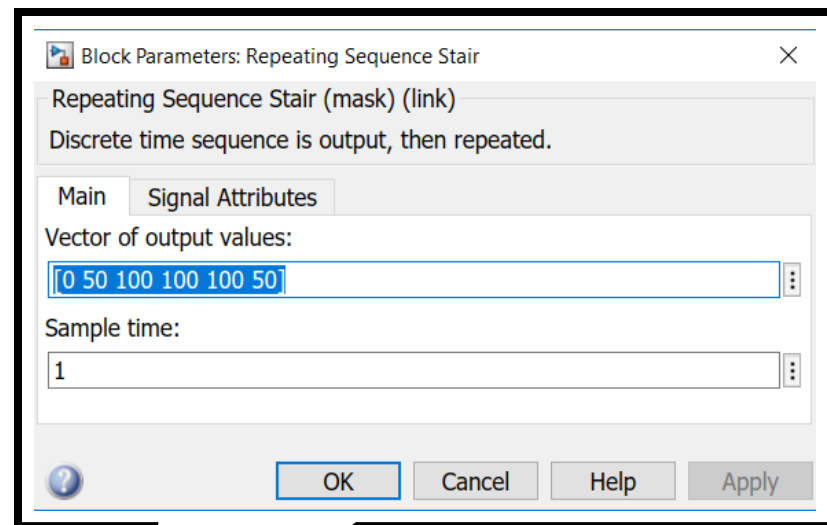
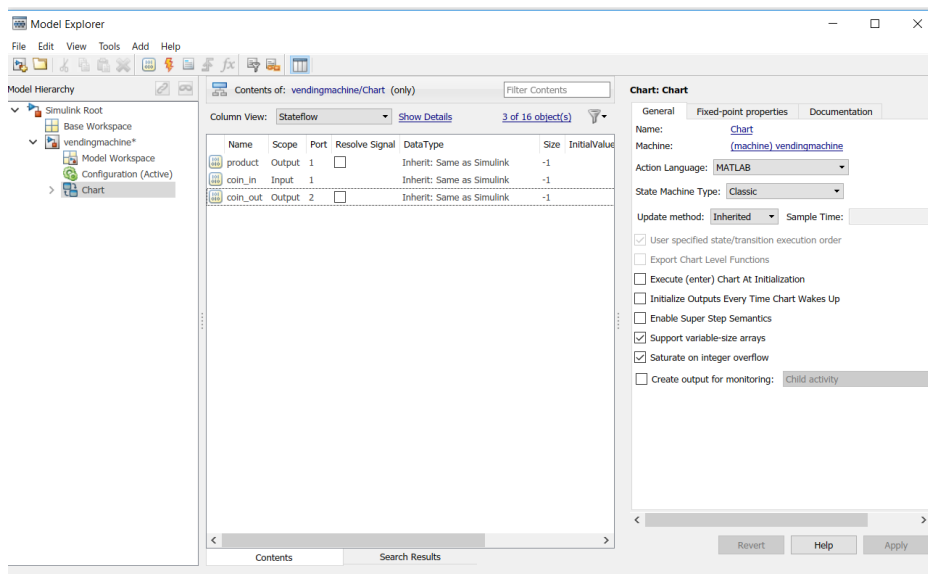


Stateflowの基礎(3/4)

状態遷移図

Stateflow: input port/output port

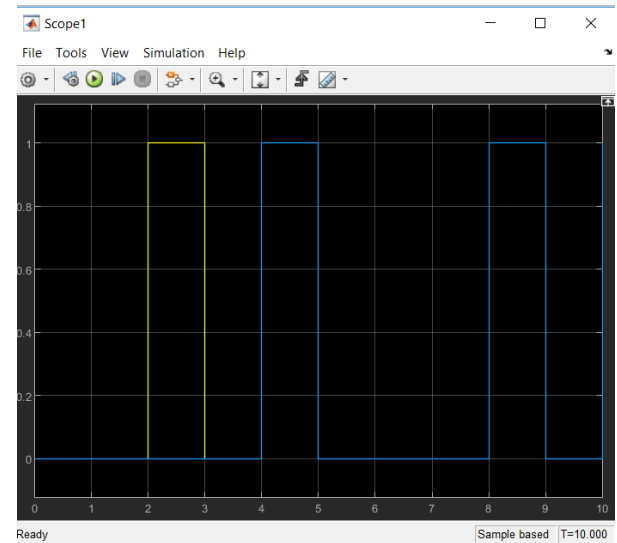
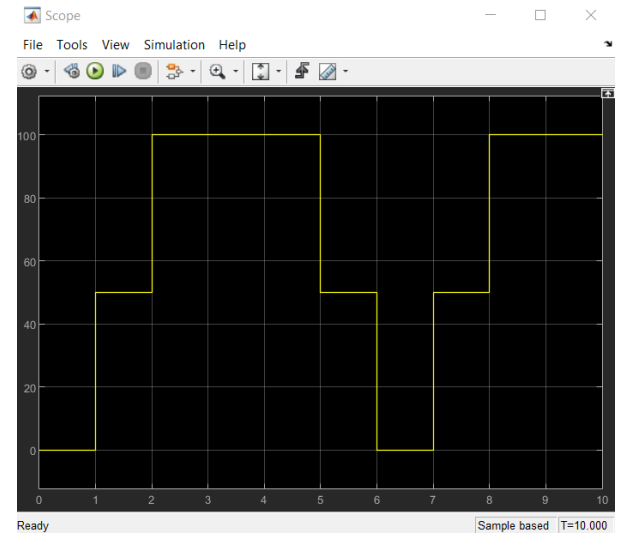
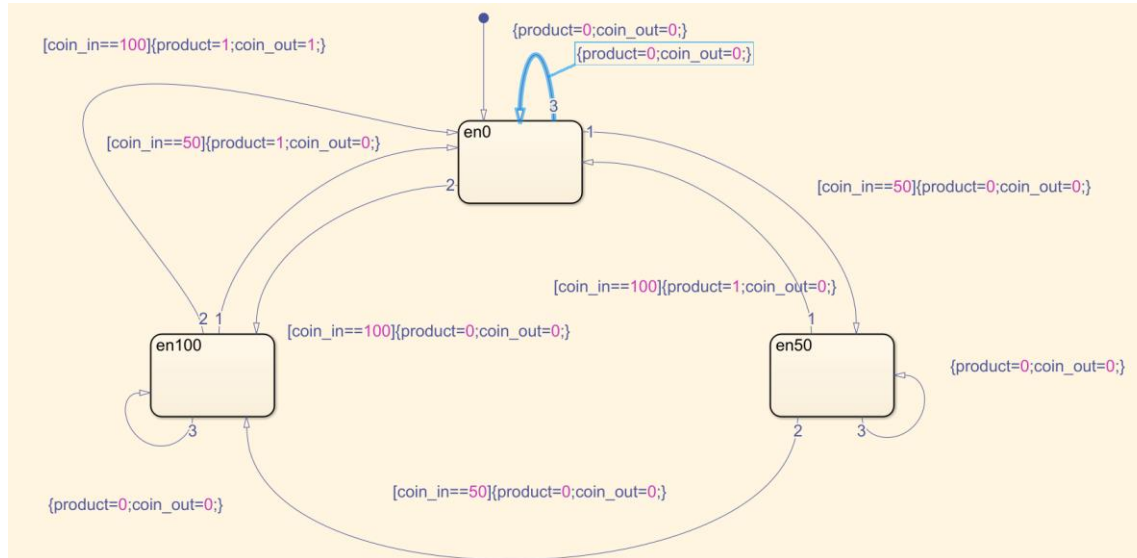
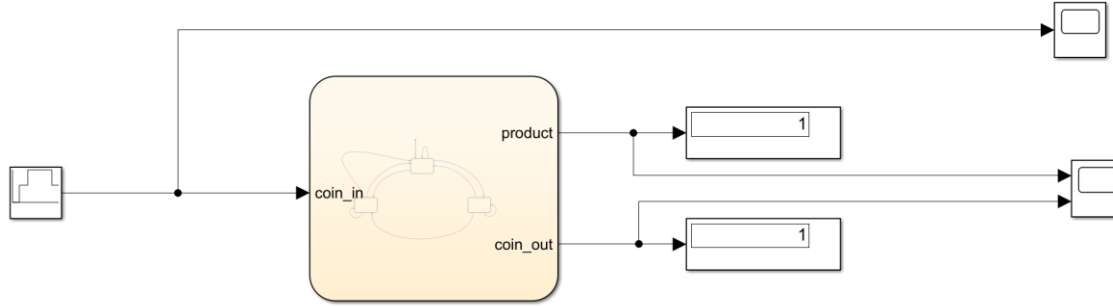
Model Explorer



Repeating
Sequence
Stair

Simulink: Sample rate

Stateflowの基礎(4/4)



参考文献

ROSの対応機器とそのパッケージ

- ロボットパッケージ

- センサパッケージ

- カメラ
- 深度カメラ
- LRF・LiDAR・LSレーザースキャナ

- モータ駆動パッケージ

- Dynamixel

- 組み込みボード

ロボットパッケージ

センサパッケージ

モータ駆動パッケージ

組み込みボード –OpenCR 1/2–

OpenCR (Open-source Control Module for ROS)

Turtlebotのメインコントローラとして採用

ハード・ソフトともにオープンソース

- ・回路, ファームウェア, ガーバーデータ (プリント基板データ)
- ・Turtlebot用アプリケーション・ソフトウェア

特徴

仕様

組み込みボード –OpenCR 2/2–

開発環境

DINAMIXEL SDK

rosserial

OpenCR

Items	Specifications
Microcontroller	STM32F746ZGT6 / 32-bit ARM Cortex®-M7 with FPU (216MHz, 462DMIPS) Reference Manual, Datasheet
Sensors	Gyroscope 3Axis, Accelerometer 3Axis, Magnetometer 3Axis (MPU9250)
Programmer	ARM Cortex 10pin JTAG/SWD connector USB Device Firmware Upgrade (DFU) Serial
Digital I/O	32 pins (L 14, R 18) *Arduino connectivity 5Pin OLLO x 4 GPIO x 18 pins PWM x 6 I2C x 1 SPI x 1
Analog INPUT	ADC Channels (Max 12bit) x 6
Communication Ports	USB x 1 (Micro-B USB connector/USB 2.0/Host/Peripheral/OTG) TTL x 3 (B3B-EH-A / Dynamixel) RS485 x 3 (B4B-EH-A / Dynamixel) UART x 2 (20010WS-04) CAN x 1 (20010WS-04)
LEDs and buttons	LD2 (red/green) : USB communication User LED x 4 : LD3 (red), LD4 (green), LD5 (blue) User button x 2 Power LED : LD1 (red, 3.3 V power on) Reset button x 1 (for power reset of board) Power on/off switch x 1
Input Power Sources	5 V (USB VBUS), 7-24 V (Battery or SMPS) Default battery : LI-PO 11.1V 1,800mAh 19.98Wh Default SMPS : 12V 4.5A External battery Port for RTC (Real Time Clock) (Molex 53047-0210)
Output Power Sources	*12V max 4.5A(SMW250-02) *5V max 4A(5267-02A), 3.3V@800mA(20010WS-02)
Dimensions	105(W) X 75(D) mm
Weight	60g

