

遠隔操作ロボットの 操作情報表示 RTC の開発

Ver. 1.1

芝浦工業大学 工学部 機械機能工学科

知能機械システム研究室

作成者氏名：山本 優灯

作成日時：2021 年 11 月 27 日

最終更新日：2021 年 12 月 8 日

目次

1. システムの概要	2
1.1 はじめに	2
1.2 システムの使用用途.....	2
1.3 開発したシステムの概要.....	3
2. 開発・動作環境	4
2.1 使用するハードウェア.....	4
2.2 RTC 開発環境.....	5
3. 開発した RTC の概要	5
4. RTC 使用方法	7
4.1 RTC 準備方法	7
4.2 動作時の開発 RTC の挙動	15
参考文献	18
連絡先	19

1. システムの概要

1.1 はじめに

施設の巡回監視において、多くの施設で警備員が必要とされているが、施設内を長時間緊張しながら行う業務は大きな負担が伴う[1]。また、2020年の保安の業種の有効求人倍率は6.48となっている[2]。これは1人の求職者に対して6.48件の保安の業種の求人があることを意味しており、人手不足が深刻な問題となっている。これらの問題の解決のため、移動ロボットの導入が望まれている。移動ロボットの制御方式として、主に自律移動型と遠隔操作型が存在する。ここで自律移動ロボットは操作者を必要としないが、異変があった際の即応性が低いため、臨機応変な対応が求められる際は人の判断能力を用いることができる遠隔操作ロボットが有効である[3]。当研究室では遠隔操作ロボットのインタフェース開発を行っており、遠隔操作ロボットの動作を周囲の人が把握できるように、ロボットが動作内容を音声発話するRTコンポーネント(RTC)の開発等が行われてきた[4]。しかし遠隔操作は限られた視界を基に操作を行うため、周囲環境の把握が困難である。山口らは実際に無人化施工を導入した際の課題の内訳として、視覚関連の課題が29%で最も高いと指摘している[5]。

そこで本研究では、ゲームパッドのジョイスティック入力量、移動ロボット前方に設置したLaser Range Finder (LRF)と移動ロボット後方に設置した測距センサ情報、ロボットの車幅延長線をカメラ映像上にオーバーレイ表示し、視覚によるロボット周囲環境のフィードバックを行うことにより、移動ロボットの操作性向上を図る。これを実現するために、ジョイスティック入力量、LRFと測距センサの距離データをインポートし、それらの情報を明瞭に表示するRTCの開発を行う。また、ゲームパッドのボタン入力をインポートし、どの情報を表示するかを選択可能にする。

1.2 システムの使用用途

本システムは移動ロボットを遠隔操作し、施設を巡回監視する用途で用いることを想定している。操作者が移動ロボットに取り付けられた広角カメラの画面を見ながら監視を行う際に、移動ロボットの車幅がどの程度の大きさであるかが広角カメラの画像ではわかりづらく、移動ロボットが障害物に接触せずに通過できるかを判断することが困難であるという問題がある。そこで、移動ロボットの車幅延長線をオーバーレイ表示することにより、移動ロボットと障害物の位置関係の把握が容易になることが期待される。また移動ロボットが障害物に接近した際に、LRFと測距センサの距離データをオーバーレイ表示し、障害物の接近を操作者に警告することにより、安全性の向上が期待される。特に、暗所の巡回時にカメラ画像が見にくい場合でも、LRFと測距センサの距離データは暗所でない場合と同

様にデータの取得およびオーバーレイ表示が可能であるため、暗所での環境把握が容易になることが期待される。また、操作者がゲームパッドのジョイスティックによる操作に慣れておらず、ロボットの進行方向を感覚的に理解しにくい場合に、ジョイスティックの入力量を表示し、ロボットの進行方向の理解を補助する。

1.3 開発したシステムの概要

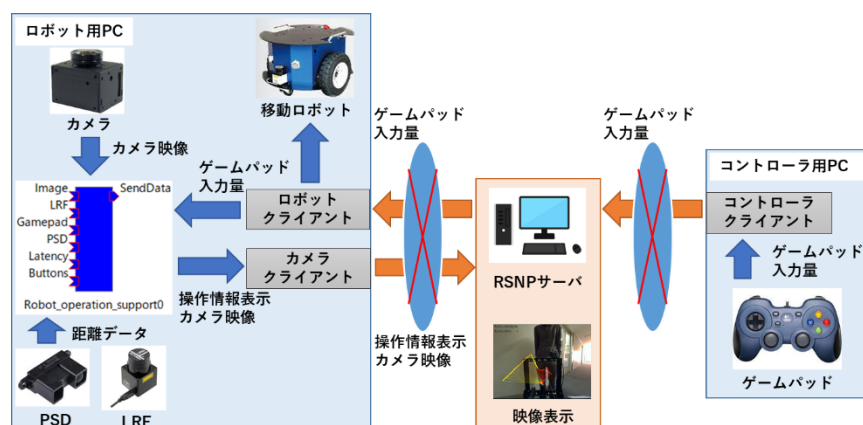


図 1-1 移動ロボット遠隔操作システム

開発した RTC の使用環境例として、今回構築した移動ロボット遠隔操作システムを図 1-1 に示す。ロボットの遠隔操作には RSNP(Robot Service Network Protocol)を用いた[6]。操縦者は移動ロボット上のカメラ映像を見ながら、移動ロボットをゲームパッドのジョイスティックにより操縦する。移動ロボット周囲の障害物を検知するために、移動ロボット前方に LRF を、移動ロボット後方に PSD(Position Sensitive Detector)と赤外線によって距離測定を行う測距センサを設置している。

RSNP 遠隔操作システムは図 1-2 のような RTC 群で構成されている。OpenCVCameraRTC は Robot_operation_supportRTC にカメラ映像を送信する。URGRTC は LRF の距離データを

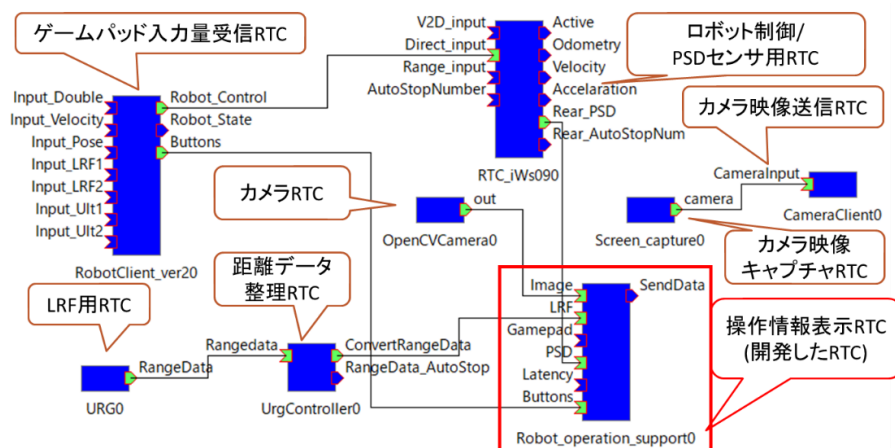


図 1-2 RSNP 遠隔操作時の RTC 群

UrgControllerRTC へ送信し、UrgControllerRTC 内で処理時間を短縮するために距離データの数を間引きし、Robot_operation_supportRTC に送信する。RobotClientRTC は RSNP 通信によってゲームパッドのジョイスティック入力量およびボタン入力を受信し、RTC_iWs09 と Robot_operation_supportRTC に送信する。RTC_iWs09 はロボットの制御を行うほか、測距センサの距離データを Robot_operation_supportRTC に送信する。受信したデータを基に Robot_operation_supportRTC でカメラ映像に操作情報をオーバーレイ表示する。表示されたカメラ映像を Screen_captureRTC でキャプチャし、CameraClientRTC によって RSNP 通信を行い、映像をブラウザ上に表示する。

ゲームパッド、LRF、測距センサを PC に接続していない状態で Robot_operation_supportRTC の表示内容を確認する場合は、実際のゲームパッドのジョイスティック入力量、ボタン入力、LRF と測距センサの距離データの代わりにダミーデータをインポートすることによって Robot_operation_supportRTC の動作確認を行う。ゲームパッドのジョイスティック入力量およびボタン入力のダミーデータは Dummy_GamepadRTC からインポートする。LRF と測距センサのダミーデータは Dummy_LRF_PSDRTC からインポートする。動作確認は図 1-3 のような RTC 群で行われる。

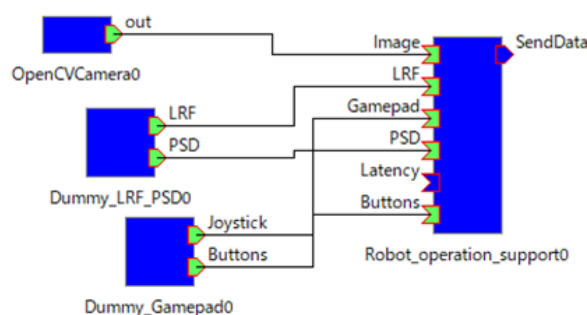


図 1-3 動作確認時の RTC 群

2. 開発・動作環境

2.1 使用するハードウェア

遠隔操作にて使用する機器を以下に示す。

- ・株式会社イクシス iWs09（移動ロボット）
- ・Logicool Gamepad F310（ゲームパッド）
- ・Dell G5 15 5500（PC）
- ・北陽電機株式会社 URG-04LX（LRF）

- ・ シャープ株式会社 GP2Y0A02YK0F (測距センサ)
- ・ オプト株式会社 NM22-N (広角カメラ)

2.2 RTC 開発環境

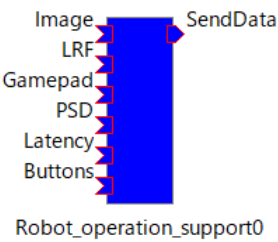
筆者の開発環境を以下に示す.

- ・ Windows 10 64bit
- ・ OpenRTM-aist 1.1.2
- ・ Visual Studio 2015 (VC14)
- ・ Phyton 2.7.10
- ・ CMake-3.5.2
- ・ Eclipse SDK Version: Luna SR2 (4.4.2)

修正 BSD ライセンスとする. 研究用途かつ利用者の責任下でご使用ください.

3. 開発した RTC の概要

表 3-1 Robot_operation_supportRTC

			
	名称	データ型	機能説明
InPort	Image	CameraImage	カメラ映像の受信
	LRF	RangeData	LRF距離データの受信
	Gamepad	TimedVelocity2D	ゲームパッドのジョイスティックの入力量を受信
	PSD	TimedLongSeq	PSD距離データの受信
	Latency	TimedDoubleSeq	使用しない
	Buttons	TimedLongSeq	ゲームパッドのボタンの値を受信
OutPort	SendData	TimedDoubleSeq	使用しない
Configuration	cameraID	int	使用しない
	height	int	使用しない
	width	int	使用しない
	max_angle	double	LRF距離表示の最大の角度
	min_angle	double	LRF距離表示の最小の角度
	front_view	int	LRF距離データの表示方法の選択
	rear_view	int	PSD距離データの表示方法の選択

今回開発した Robot_operation_supportRTC を表 3-1 に示す. この RTC は LRF, 測距センサの距離データ, ゲームパッドのジョイスティック入力量を受信し, それらの情報や車幅延長線をインポートしたカメラ映像上にオーバーレイ表示する RTC である.

それぞれの情報を表示するかをゲームパッドのボタン入力を受信することにより個別に設定する. 表示する操作情報とボタンの対応を表 3-2 に示す.

表 3-2 表示する操作情報とボタンの対応

ボタン	動作内容
X	LRF 距離データの表示
A	ジョイスティック入力量を表示
B	移動ロボットの車幅延長線の表示
Y	PSD 距離データの表示

Configuration の max_range, min_range は LRF 距離データの表示上の角度の設定に用いられる. max_range, min_range の値と表示上の角度は図 3-1 のようになっている.

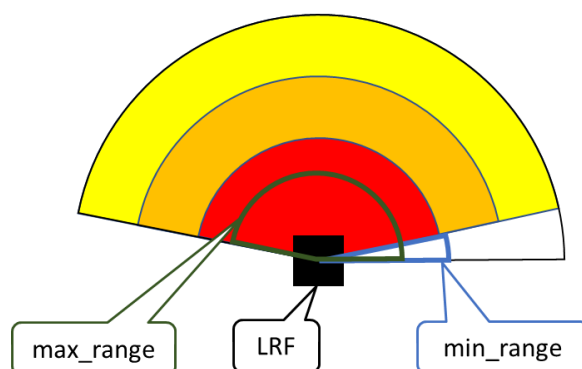


図 3-1 max_range と min_range

また, Configuration の front_view, back_view の値を変更することにより, LRF 距離データ, 測距センサの距離データの表示形式を変更できる. front_view, back_view の値と表示形式の対応を表 3-3, 3-4 に示す.

表 3-3 LRF 距離データの表示形式

front_viewの値	表示形式
0	円弧形に表示
1	大型の矢印の表示
2	文字による警告の表示

表 3-4 測距センサの距離データの表示形式

rear_viewの値	表示形式
0	3つの距離データを個別に表示
1	大型の矢印の表示
2	文字による警告の表示

LRF 距離データの円弧形の表示は，受信した LRF 距離データを Robot_operation_supportRTC 内で移動ロボットを原点とし，単位を mm とした直交座標系に変換した後に，カメラ画像上の座標へ変換を行う．変換した座標の位置に，OpenCV の描画機能である cv::line 関数を用いて直線を描画し，LRF 距離データの表示を行う．

LRF，測距センサの距離データの大きな矢印での表示は cv::line 関数を用い，文字による警告は cv::putText 関数を用いて表示を行った．

また，ロボットの車幅延長線の表示は cv::line 関数，ジョイスティック入力量の表示は cv::line 関数と cv::rectangle 関数を用いて表示を行った．

4. RTC 使用方法

4.1 RTC 準備方法

1. Robot_operation_support のフォルダを自身の workspace に移す．

動作確認時は Robot_operation_support に加え，Dummy_Gamepad，Dummy_LRF_PSD のフォルダも自身の workspace に移す．

2. PC に LRF，移動ロボット，測距センサ，カメラを USB 接続する．

動作確認時はカメラのみを USB 接続する．

3. 移動ロボットの電源を入れ，Eclipse を起動する．

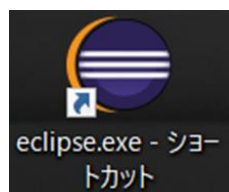


図 4-1 eclipse のショートカット

4. 自身の workspace を選択し、OK をクリックする。

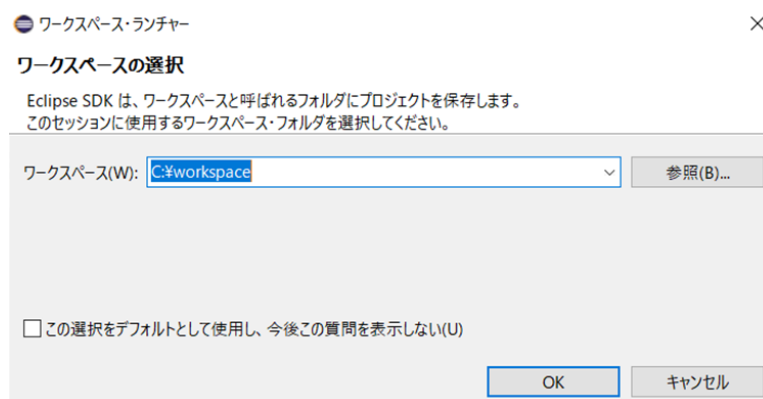


図 4-2 workspace の選択画面

5. rtm-naming.bat を起動する。



図 4-3 rtm-naming.bat

6. 動作確認の際は， Robot_operation_supportRTC ， OpenCVCameraRTC ， Dummy_GamepadRTC, Dummy_LRF_PSDRTC を起動する。

遠隔操作の際は， Robot_operation_supportRTC, OpenCVCameraRTC, RobotClientRTC, Screen_captureRTC, CameraClientRTC, URGRTC, UrgControllerRTC, RTC_iWs09 を起動する。

7. 図 4-4 の赤枠で囲った RT System Editor をクリックする。

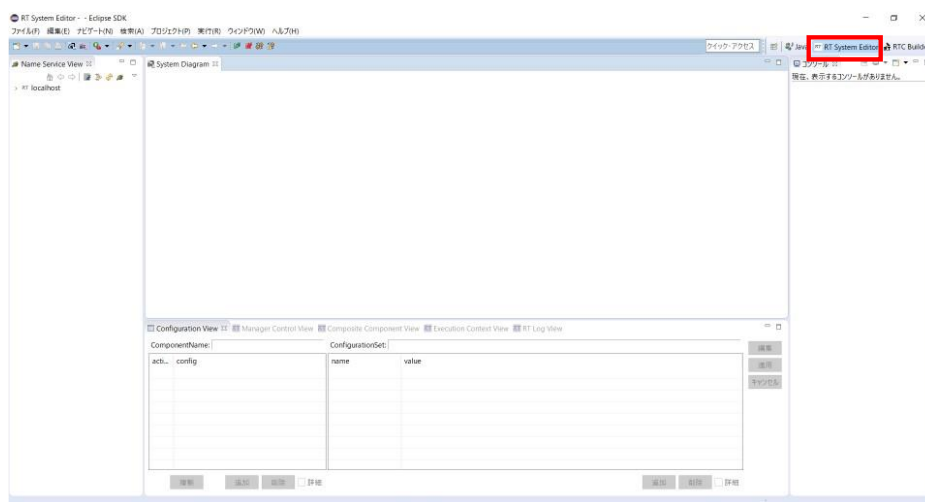


図 4-4 RT System Editor

8. 図 4-5 の赤枠で囲ったアイコンをクリックし、System Diagram を開く。

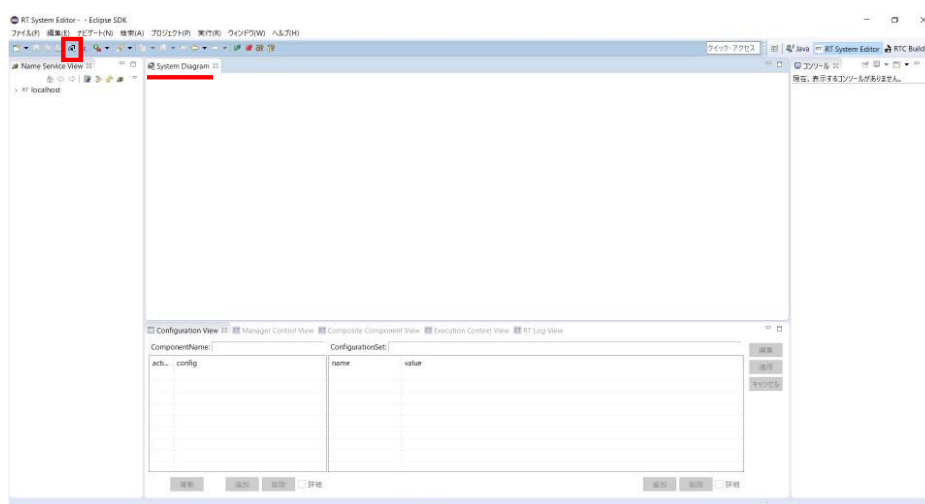


図 4-5 System Diagram

9. 図 4-6 の赤枠で囲ったアイコンをクリックし、図 4-7 のウィンドウで localhost を選択し、OK をクリックする。

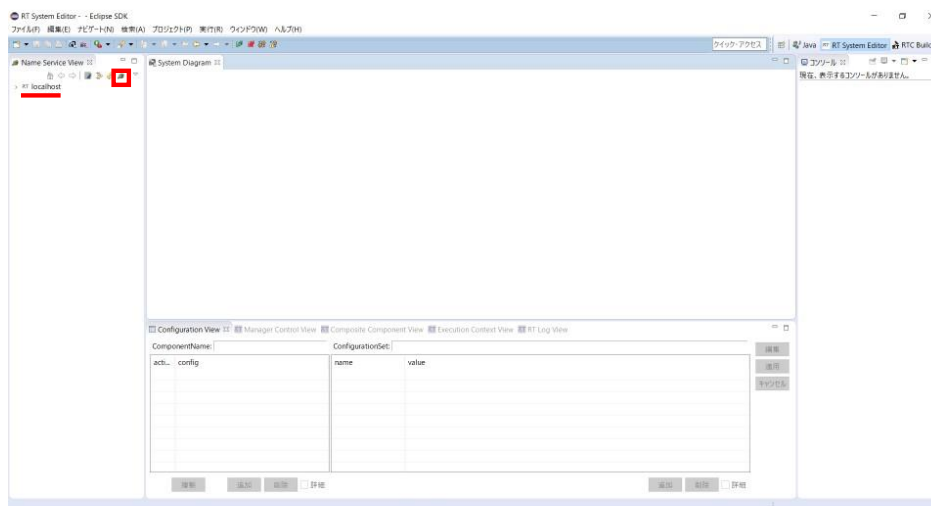


図 4-6 localhost

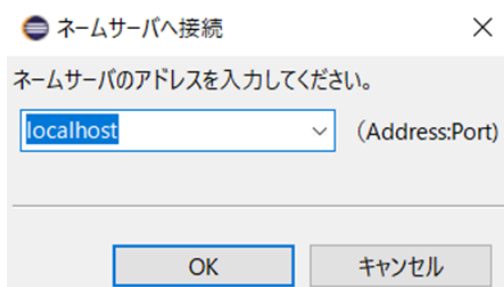


図 4-7 ネームサーバへ接続

10. 図 4-8 の赤枠上部の localhost の左の三角マークをクリックすると、RTC の一覧が表示される。これらの RTC を図 4-8 のように System Diagram 上にドラッグする。

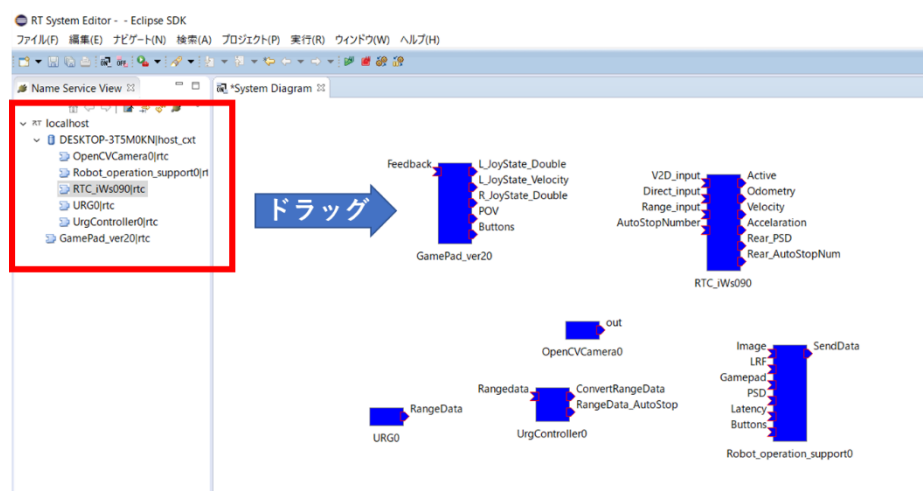


図 4-8 RTC 一覧

- 図 4-9 のように使用するインポートをクリックし、対応するアウトポートまでドラッグする。図 4-10 のようなウィンドウが表示されるため、OK をクリックすることにより、RTC を結線する。

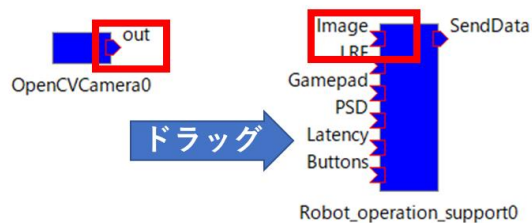


図 4-9 RTC の結線

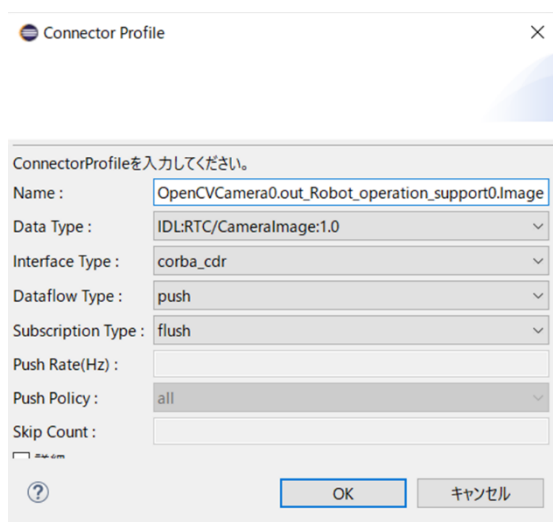


図 4-10 RTC 結線時に表示されるウィンドウ

- 同様に使用する RTC の結線を行い、動作確認時は図 4-11 のように結線する。遠隔操作時は図 4-12 のように結線する。

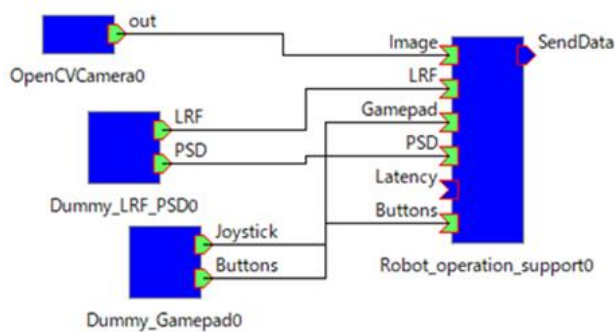


図 4-11 動作確認時の RTC 結線図

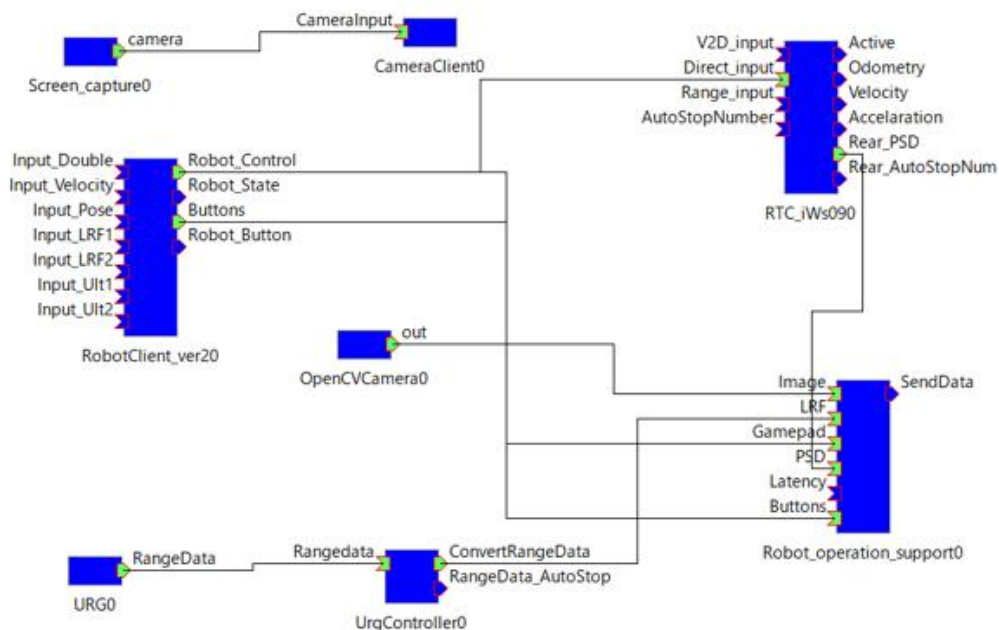


図 4-12 RSNP 遠隔操作時の RTC 結線図

13. 遠隔操作時，RTC_iWs09 は Configuration にて COM 番号を設定しなければエラーが発生する．SystemDiagram 上の RTC_iWs09 をクリックし，RTC_iWs09 の Configuration を開く．デバイスマネージャを開き，USB Serial Port と RTC_iWs09 の Configuration の COM 番号を一致させ，適用をクリックする．

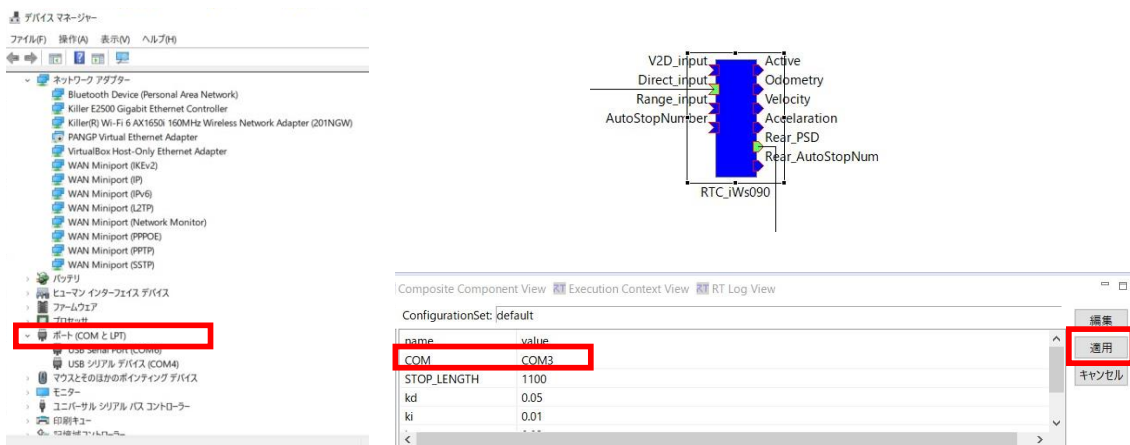


図 4-13 RTC_iWs09 の COM 番号

14. 13 と同様に、遠隔操作時はデバイスマネージャの USB シリアルデバイスと URGRTC の COM 番号を一致させ、適用をクリックする。

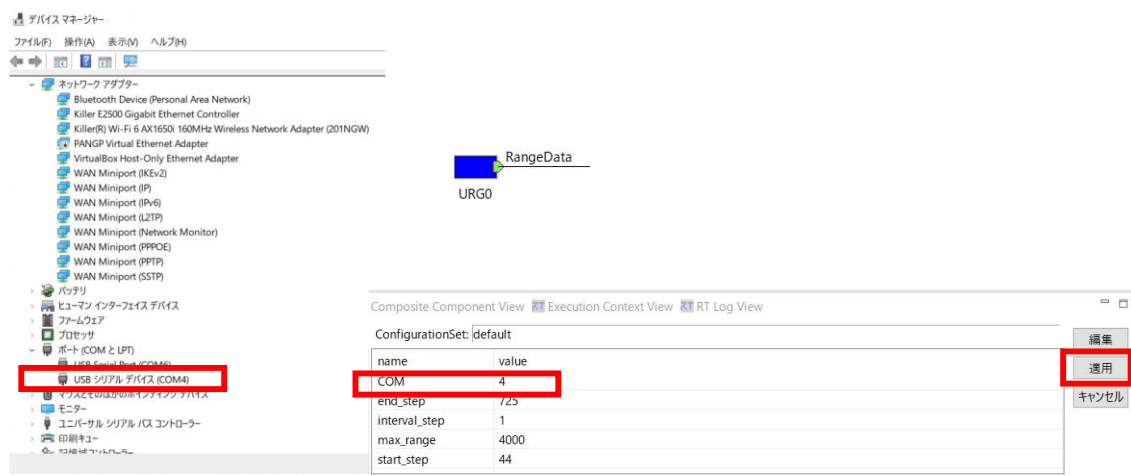


図 4-14 URGRTC の COM 番号

15. 外部カメラを使用する場合、OpenCVCameraRTC の device_num の値を 1 にして適用をクリックすることにより、外部カメラを使用できる状態にする。

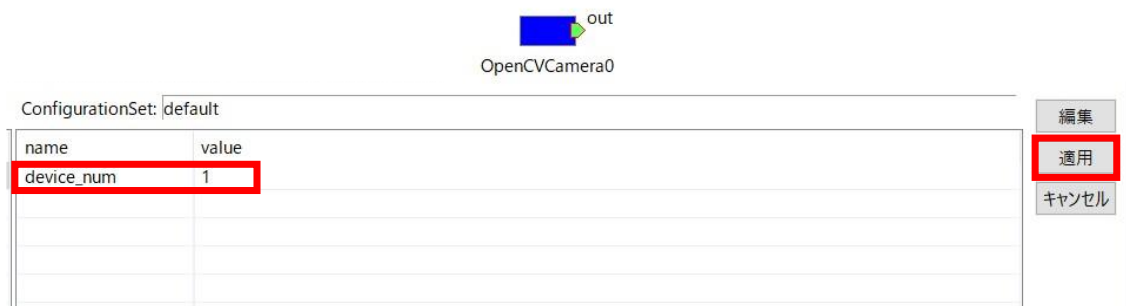


図 4-15 OpenCVCameraRTC の device_num

16. 各 RTC を Activate する。該当する RTC を右クリック、Activate をクリックし各 RTC をアクティベートする。一度に全ての RTC を起動する際は、余白部分を右クリックし、All Activate ボタンをクリックする。すべての RTC が緑色になったら、アクティベート完了である。RTC が赤くなりエラーが発生した際は、該当する RTC を右クリックし、Reset→再び右クリック、Activate を行う。

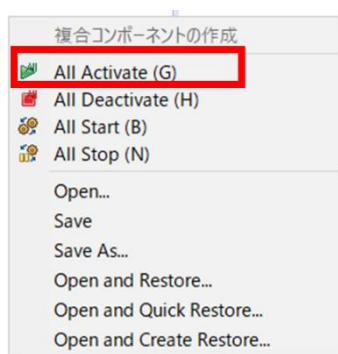


図 4-16 All Activate

17. 遠隔操作時、Screen_captureRTC を Activate すると、図 4-17 のようにキャプチャする画面を囲う枠が表示される。また、Robot_operation_supportRTC を Activate すると、操作情報が表示されたカメラ映像が現れる。このカメラ映像を、キャプチャ枠を拡大・縮小することで枠内に納める。

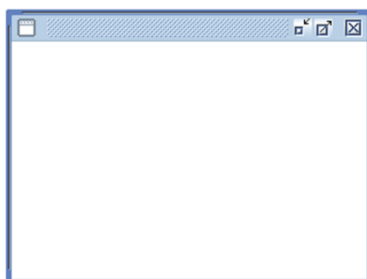


図 4-17 Screen_captureRTC のキャプチャ枠

18. 広角カメラ NM22-N を使用する場合、カメラ映像が魚眼になる場合がある。その場合、Forest-N を起動し、図 4-19 の赤枠で囲った部分をクリックし、カメラ映像を広角カメラに変更する。



図 4-18 Forest-N



図 4-19 Forest-N の画面

19. 余白部分を右クリックし、「All Deactivate」をクリックすることで、すべてのシステムが終了する。

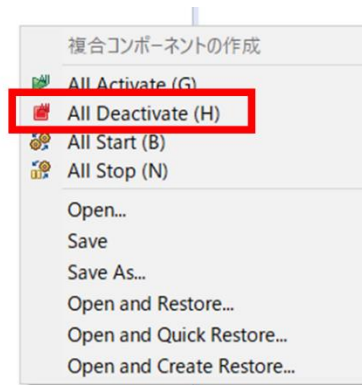


図 4-20 All Deactivate

4.2 動作時の開発 RTC の挙動

1. 操作情報表示 RTC を Activate した際、正常に動作した場合は RTC の実行ファイルのウィンドウ上に図 4-21 のように、「Activated」と表示される。

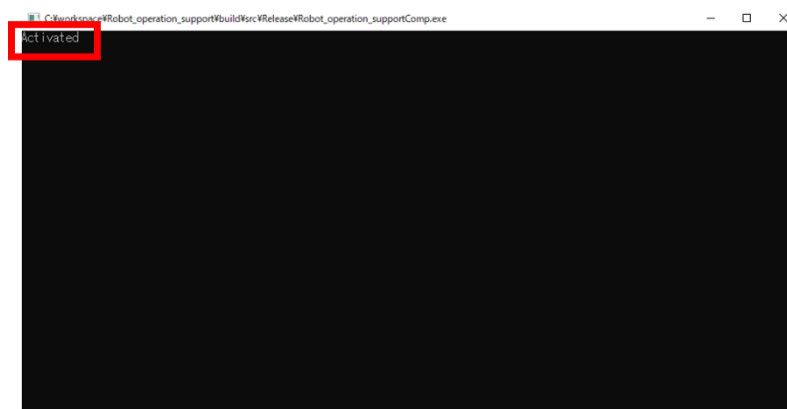


図 4-21 Robot_operation_supportComp.exe のウィンドウ

操作情報表示 RTC の操作情報とボタンの対応は表 4-1 のようになっている。ゲームパッドのボタンを押すたびに、対応する操作情報の表示の ON/OFF を切り替えることができる。動作確認時は Dummy_GamepadRTC を起動した状態でキーボードの X, A, B, Y キーを押すことで表示の切り替えを行う。初期状態ではすべての操作情報が表示される。

表 4-1 表示する操作情報とボタンの対応

ボタン	動作内容
X	LRF 距離データの表示
A	ジョイスティック入力量を表示
B	移動ロボットの車幅延長線の表示
Y	PSD 距離データの表示

2. 操作情報表示 RTC を Activate すると、PC 上にすべての操作情報がオーバーレイ表示されたカメラ映像が表示される。図 4-22 のように、車幅延長線とジョイスティック入力量が表示される。LRF と測距センサの距離データは接近時のみ表示される。

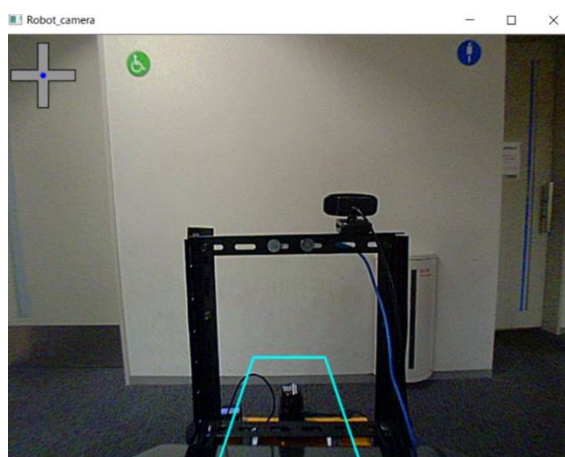


図 4-22 障害物非接近時のカメラ映像表示

3. X, A, B, Y ボタンを一度ずつ押すことにより、すべての操作情報が非表示になる。

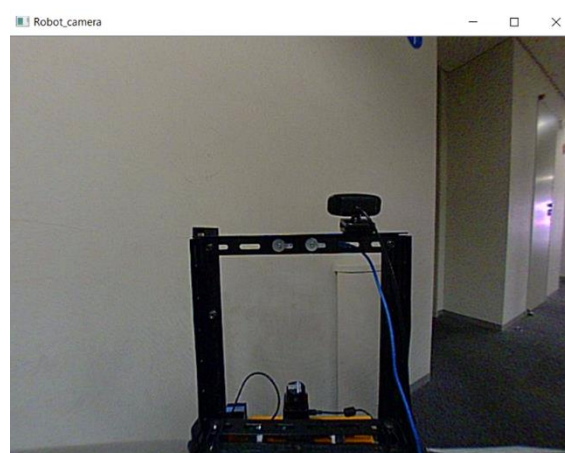


図 4-23 すべての操作情報を非表示

4. X ボタンを一度押すことにより，前方の障害物に接近した際に LRF 距離データが表示される．

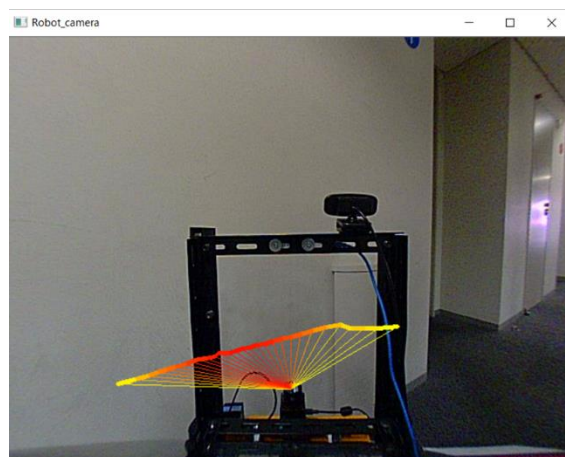


図 4-24 LRF 距離データの表示

5. X ボタンをもう一度押すことにより，LRF 距離データは非表示になる．A ボタンを押すことにより，画面左上部にジョイスティック入力量が表示される．ジョイスティックを上に戻すと，図 4-25 のように入力量が反映される．動作確認時は，キーボードの方向キーを押すことで入力が反映される．

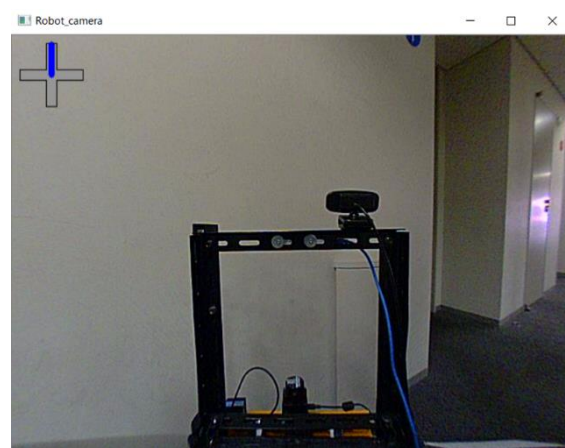


図 4-25 ジョイスティック入力量の表示

6. A ボタンをもう一度押すことにより，ジョイスティック入力量は非表示になる．B ボタンを押すことにより，画面下部に車幅延長線が表示される．

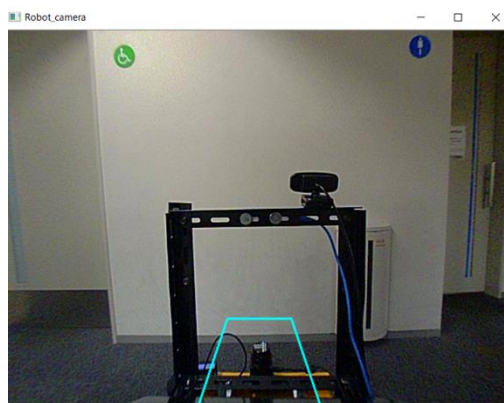


図 4-26 車幅延長線の表示

7. B ボタンをもう一度押すことにより，車幅延長線は非表示になる．Y ボタンを押すことにより，後方の障害物に接近した際に画面下部に測距センサの距離データが表示される．

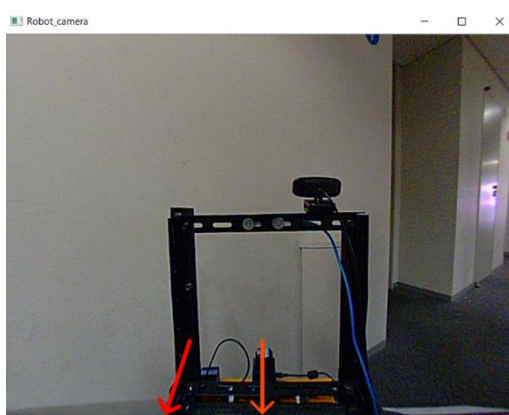


図 4-27 測距センサの距離データの表示

参考文献

- [1] 山岸英明，”暮らしの中で活躍する AI とロボット”，情報処理，Vol.59，No.8，pp.706-709(2018)
- [2] “一般職業紹介状況（職業安定業務統計）”，https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&query=%E6%9C%89%E5%8A%B9%E6%B1%82%E4%BA%BA%E5%80%8D%E7%8E%87%E3%80%80%E4%BF%9D%E5%AE%89&layout=dataset&stat_infid=000032088625&metadata=1&data=1，（最終閲覧日 2021 年 10 月 17 日）
- [3] 松丸隆文，萩原潔，伊藤友孝，“移動ロボットの遠隔操作における手動操作と自律動作の

融合制御手法のシミュレーションによる検討”，計測自動制御学会論文集，Vol. 41, No. 2, pp.157-166(2005)

[4] 飯田悠貴，三木理，西岡拓哉，松日楽信人，“人との共存を目指した遠隔操作ロボットの音声インタフェース RTC の開発”，第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会，1S1-04(2020)

[5] 山口崇，吉田正，石松豊，“遠隔操作におけるマンマシン インターフェースに関する実態調査”，土木学会第 59 回 年次学術講演会概要集，Vol. 59, pp.373-374(2004)

[6] Robot Service Network Protocol 2.3 仕様書

連絡先

芝浦工業大学 工学部 機械機能工学科 知能機械システム研究室

〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5

E-mail : ab18150<at>shibaura-it.ac.jp (山本優灯)

matsuhir<at>shibaura-it.ac.jp (松日楽信人)

修正履歴

以下に修正履歴を示す。

日付	バージョン	修正内容
12 月 8 日	1.1	1.2 システムの使用用途 を追記。 測距センサの型番を修正，呼称を変更 3. 開発した RTC の概要 に機能の実現方法を追記 1.1 はじめに のシステムの機能の説明を追記 1.3 開発したシステムの概要 の動作確認の説明を追記