

**技術・研究報告**

# オープンソースハードウェアを用いた 屋外自律移動ロボットシステムの構築

武田晟央<sup>a</sup>, 梅谷智弘<sup>b</sup>, 森脇遼輝<sup>b</sup>, 岡本文弥<sup>b</sup>

<sup>a</sup> 甲南大学大学院 自然科学研究科 知能情報学専攻  
神戸市東灘区岡本 8-9-1, 658-8501  
<sup>b</sup> 甲南大学 知能情報学部 知能情報学科  
神戸市東灘区岡本 8-9-1, 658-8501

(受理日 2022 年 5 月 10 日)

## 概要

本稿では、中之島ロボットチャレンジ2021における甲南大学ロボティクス研究室の取り組みについて説明する。本ロボットチャレンジに対して、当研究室では知能化空間システムにおける情報収集・サービスロボットとして、実環境で動作できる自律移動ロボットの開発を行なっている。本ロボットは、課題解決のための手段としてオープンソースである Robot Operating System (ROS) を採用し、異種センサ情報を有するハードウェアシステムを一つのシステムとして統合している。屋外環境によるセンシング機能の検証、フィールドテストによる検証を通して、本手法の可能性を示す。

キーワード: 知能化空間, 自律移動ロボット, ROS, センシング技術

## 1 はじめに

近年、少子高齢化の進展に伴い日本の人口構造が変化し、全人口に占める労働力の割合が減少しつつあり、運送業界などの人員不足や設備課題、さらに 2019 年から発生した新型コロナウイルスの世界的な流行による感染など様々な社会問題が存在する。その対策として移動ロボットによるサービス提供など、自律移動ロボットが期待されており、ロボットの開発・研究が世界的に行われている。その中には飲食店や家庭内での清掃、案内ロボットなど実用化されている自律ロボットも存在する。しかし、実社会環境下でのサービスを展開するためには制約がある。そこで本研究では実環境実験の場を提供している中之島ロボットチャレンジに参加している[1]。

本稿では中之島ロボットチャレンジ 2021[2]における甲南大学ロボティクス研究室の取り組みを説明する。中之島ロボットチャレンジは大阪府内の公園や市街地での人々が往来する実環境において自律移動ロボットが問題なく行動できる技術開発の公開実験を大学や企業向けに提供する大会である。具体的な社会課題の解決に向けたテーマとして、2025 年万博でのデモンスト

レーションを目指した自動ゴミ回収ロボット実現が挙げられており, そのテーマを実現するためにロボットチャレンジ参加者には環境認識や物体識別などの課題が与えられる. 環境認識にはレーザレンジファインダ(LRF)の識別が実用的であり, 物体識別にはカメラなどの視覚システムを用いるのが有力である. そこで本研究では, ソフトウェア資産の再利用のためにオープンソースである Robot Operating System(ROS) [3]に対応した移動ロボットフォームを用いて, システムの安全対策及び野外環境での地図生成実験, 物体検知のためのオープンソースのニューラルネットワークフレームである Darknet[4]を用いて, 屋外移動ロボットチャレンジでの課題検証を行う.

## 2 システムの実装

### 2.1 ハードウェア構成

ロボットのハードウェア構成を図1に示す. また, 移動ロボットのプラットフォームには差動式の二輪駆動移動台車 i-Card mini [5]-[7]を採用した. 開発したロボットの外観を図2に示す. ロボットの重量は約15kg, 駆動輪は直径150 mm, 幅30 mmのゴムタイヤであり, 後輪は直径100 mm, 幅25 mmのスプリングキャスタを採用して外界センサは, 2D-LiDARに北陽電機UTM-30LX (Top-URG), RGBDセンサにIntel RealSense D435をそれぞれ, 地上高0.3 m, 0.7 mの高さに取り付ける. 2D-LiDARは主に地図生成と自己位置認識に使用し, RGBDセンサはサービスタスクミッションでのセンシングに用いる. またM5Stackを用いてGPSによる緯度経度ならびに方位角を測定する. ノーマルクロズ接点の押しボタン式非常停止スイッチを動力源であるバッテリーとスイッチの間に挿入し, スイッチを押すと移動ロボット台車の電源を遮断できるようにした.

移動ロボットの制御は, 一般的なノートPC (メモリ16GB, Intel Core i7-9700Uプロセッサ, Ubuntu 20.04) 1台で行う. PCとロボットモータ制御用コントローラやセンサ群とはUSB経由で直接接続することにした.

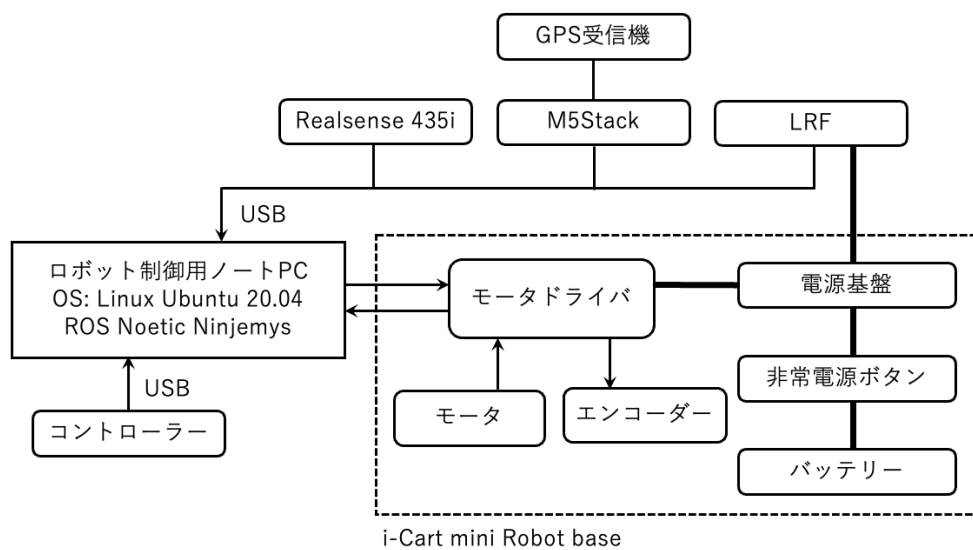


図1: ハードウェア構成図.



図 2: ロボットの外観.

## 2.2 ソフトウェア構成

### 2.2.1 LRFによる自己位置推定システムの構築

ロボットの制御用ソフトウェアは、ROS Noetic Ninjemys[6]を用いて、地図生成に `gmapping` パッケージ群、ナビゲーションには `navigation` パッケージ群を用いて構成した。ナビゲーション走行時のソフトウェアの構成の全体像を図 3 に示す。

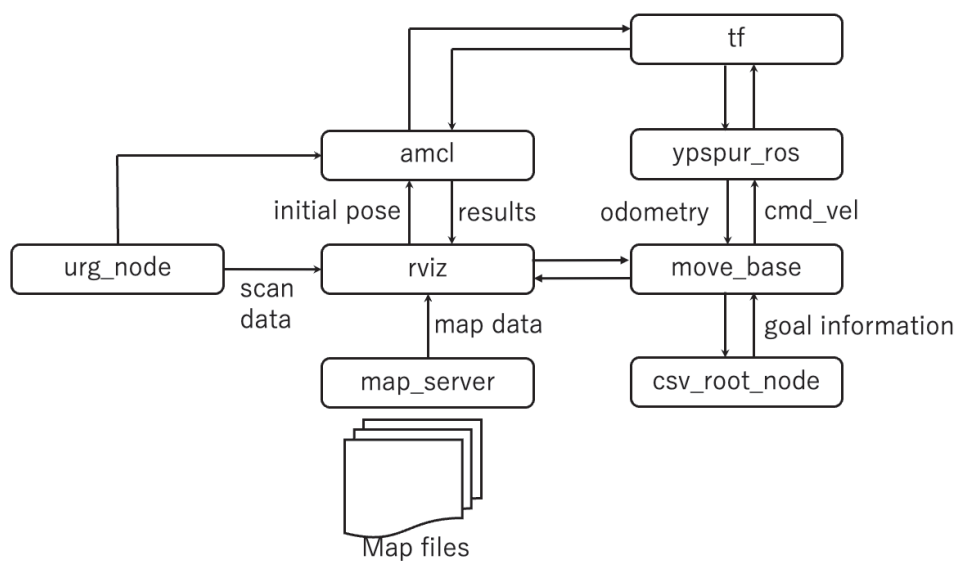


図 3: ソフトウェア構造図.

ロボットが走行するための経路計画には ROS パッケージ群の `move_base` を使用した. `ypspur_ros` ノードはモータドライバからロボットのオドメトリ情報を取得し, `odometry` トピックを出力する. `amcl` ノードは LRF からのスキャン情報 `scan` トピックを入力し, オドメトリから計算される座標型情報 `tf` トピックを出力する. `move_base` ノードはロボットへの速度指令 `cmd_vel` トピックを `ypsupr_ros` ノードに送信し, ロボットを制御する.

経路生成には `rviz` 上の指定した座標を受け取り, `csv` ファイルに経由点情報を保存する `waypoint` システムを開発した. 経由点情報にはゴール番号, 三次元位置, 三次元姿勢が格納されている. `csv_root_node` は, `waypoint` を `csv` ファイルから読み出し, クォータニオンで与えられた三次元姿勢から方位角に変換し, 順番に `navigation` パッケージ群に `waypoint` を与える. 以上のパッケージ群の接続によりロボットの自律走行を行う.

### 2.2.2 GPSによる自己位置推定システムの構築

`u-blox` の周波 RTK 受信用 IC 「ZED-F9P」 を搭載した M5F9P GPS ユニットを M5stack 経由で制御し位置情報を取得する. 取得した位置情報は NMEA 形式で保存されており, 高精度の測位データを安定して取得できることを確認した. NMEA 形式では緯度経度が 60 進法で表されるため,  $0^{\circ}30'$  を  $0.5^{\circ}$  と表すように, 緯度経度の「度」以下の値を他の位置情報サービスで用いられる 10 進法表記に変換する. また RTK 基地局として, ソフトバンク/ALES 高精度位置情報システムの `ichimill` (イチミル) サービスを利用した. 移動時の二点間距離を用いて緯度経度を `xy` 座標に変換, 二点の関係から方位角を算出し, 経路を生成する `gps_root_node` を作成した.

### 2.2.3 YOLOを用いた物体認識システムの構築

中之島ロボットチャレンジでは, サービスタスクミッションとして, 人物検出, 作業物体の検出・認識タスクが課されている. そこで, 本ロボットで物体検出機能を追加するために, 畳み込みニューラルネットワーク (CNN) による, 物体検出アルゴリズム YOLO[7] を用いたシステムを構築した. ペットボトルの認識結果例を図 4 に示す.



図 4: YOLO による認識結果.

本研究では YOLO は YOLOv3 を使用し、フレームワークは Darknet[8]を使用している。画像学習には制御用ノート PC と同じノート PC (メモリ 16GB, Intel Core i7-9700U) を使用した。使用した学習データは中之島ロボットチャレンジで使われるペットボトルが写っている画像 90 枚と評価データに 10 枚で評価した。また、物体に近づくとロボットが停止できるように、認識した物体を RealSense の深度センサ情報を用いて物体との距離を測定するシステムを作成した。

### 3 実験走行の結果

#### 3.1 中之島ロボットチャレンジ実験走行・本走行

図 5 に、実験走行における地図生成結果を示す。図中の破線はコントローラでの走行記録の概形を伴走者やロボット自身の抽出結果をもとに示したものである。図の灰色部分は未確定領域、白い部分が障害物を検出できなかった領域である。現状のロボットの機器構成、足回りでは走行経路内の歩道の段差のためにコース全体を一周できなかったため最初の信号機手前までの地図で走行した。1 回目の本走行時にはスタート地点が未知領域内であったため自己位置を見失い、スタートができないという結果になった。1 回目の走行時のスタート地点の地図を図 6 に示す。

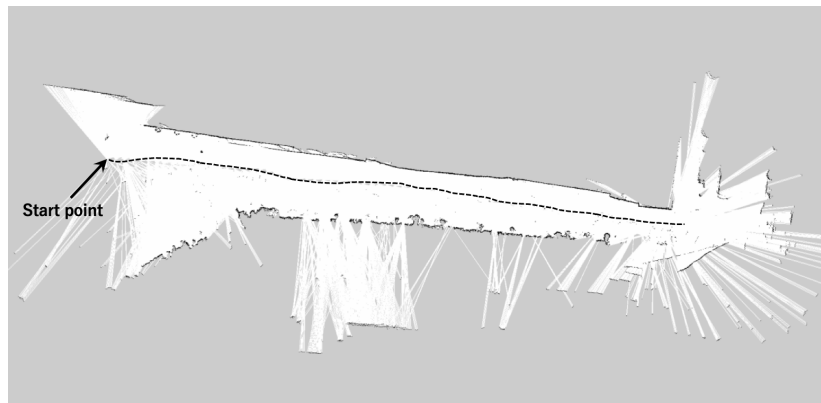


図 5 : 地図生成結果[2].

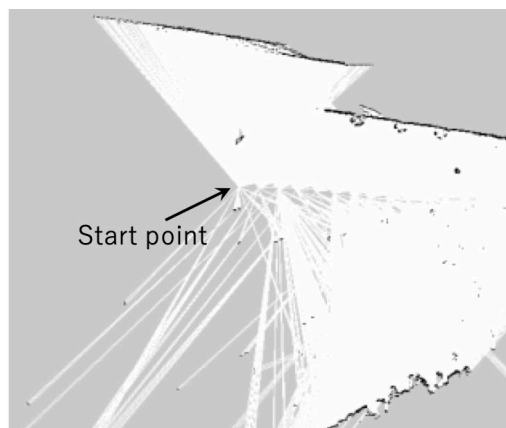


図 6 : 1 回目走行時のスタート地点.

2回目の走行時は1回目の失敗を踏まえて生成した地図にある走行ルート上の未知領域と障害物を白く塗り、収集情報による生成地図を修正することで自己位置を見失わずに走行ができ、中之島チャレンジ2019で課題[1]となっていた、スタート地点における自己位置推定精度の向上を確認した。2回目の走行時に使用した修正後の地図を図7に示す。

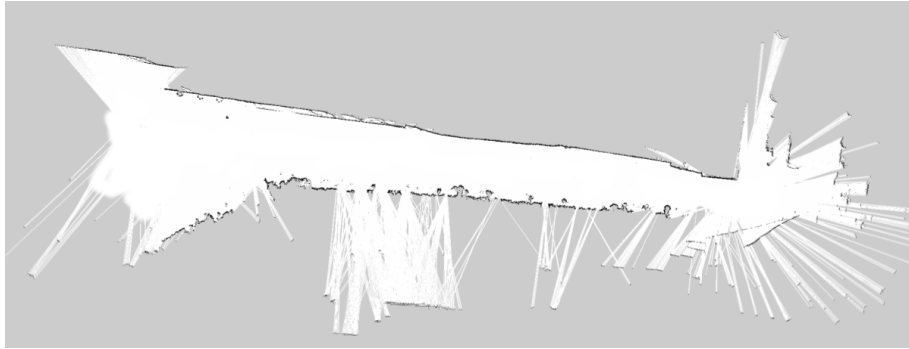


図7: 修正後の地図.

2回目の走行結果は5 mでリタイアした。本走行において失敗した原因としては方位角の計算が正しくなかったこと、waypointの間隔が狭い割に、パーティクルの分布が広がっており自己位置を見失っていたと考える。

### 3.2 実験走行後の取り組み

中之島ロボットチャレンジでの実験走行・本走行の経験を踏まえて、甲南大学西校舎にて走行実験を行った。甲南大学西校舎における環境地図を図8に示す。

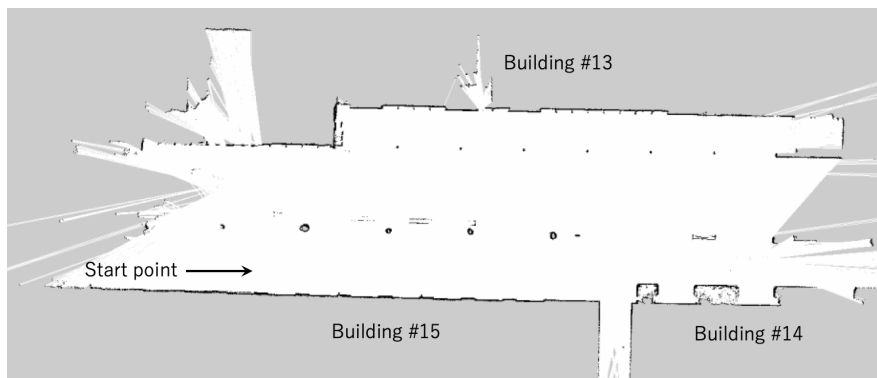


図8: 甲南大学西校舎の環境地図.

走行実験においては方位角の計算を修正し、waypointの間隔を5 m以上空けて走行した。実験結果を図9に示す。約40 m地点まで走行し、走行性の向上を確認した。一方、走行時の最終位置では、走行環境の反復性によりパーティクルの分布が走行方向に対して大きく広がっておりセ

ンサフュージョンによる推定精度の向上が課題となる。

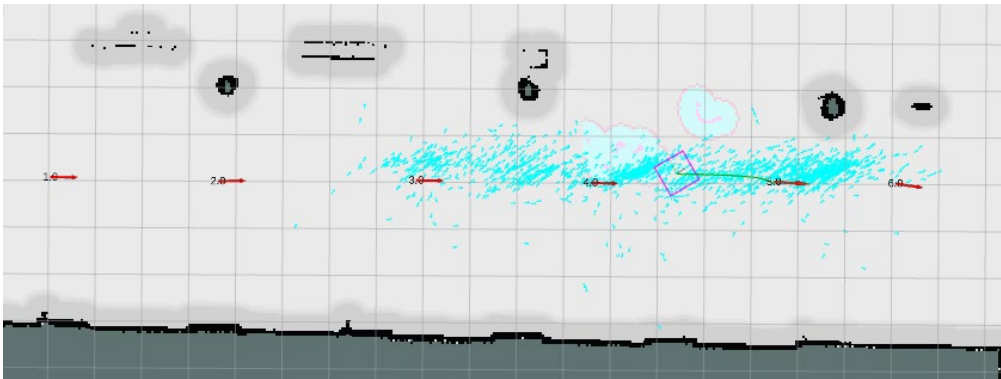


図 9: 自律走行結果.

### 3.3 中之島ロボットチャレンジ・エクストラチャレンジにおける実験走行・本走行

図 10に、実験走行における地図生成結果を示す。図中の円は実際の地図との対応を示しており、黒線はロボットが走行した軌跡を示している。走行した経路の凹凸により誤差が生じ、図のオレンジ色の分岐点から地図のずれが発生している。

本走行の結果は1 mでリタイアした。本走行において失敗した原因としてはi-Cart miniの許容重量を超えていたこと、ロボットの重心がずれ荷重バランスが取れていないため自己位置を見失っていたこと、スタートの位置が生成した地図のスタート位置とずれていたなどが考えられる。



図 10: 地図生成結果.

### 3.4 中之島ロボットチャレンジ・エクストラチャレンジ後の取り組み

#### 3.4.1 ハードウェアの改善

中之島ロボットチャレンジ・エクストラチャレンジでの実験走行・本走行の経験を踏まえて、ハードウェアの課題であったロボットの軽量化, 重心の補正をした。改良後のロボットの外観を図 11に示す。重量は約10kgまで軽量化をしたことにより走行性の安定化を確認した。

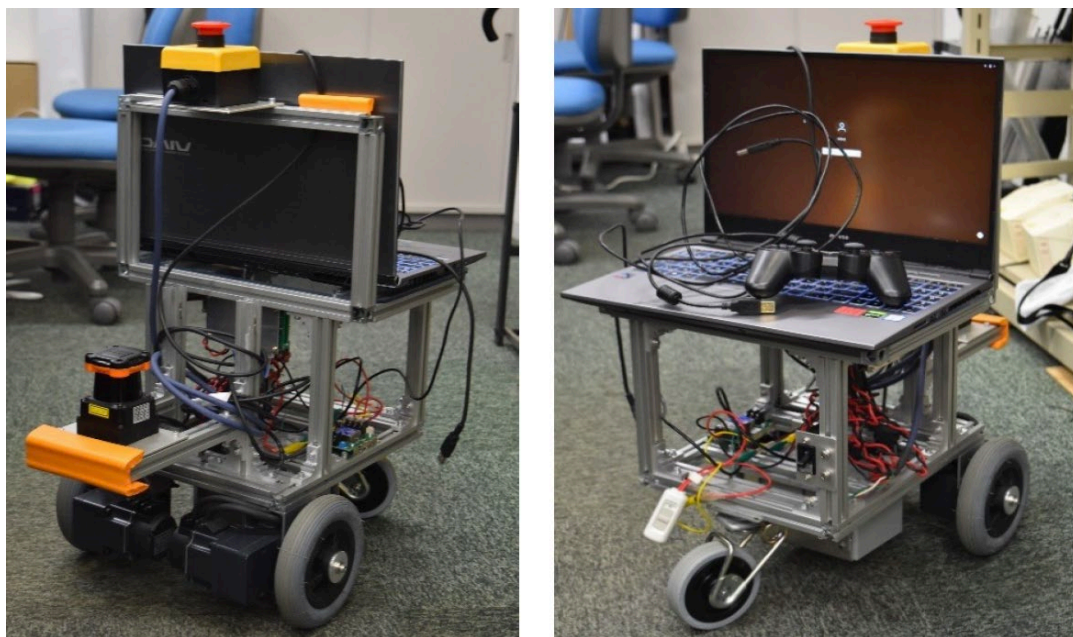


図 11: ロボットの外観.

#### 3.4.2 ソフトウェアの改善

ソフトウェアの課題においては、ロボットの自己位置推定をamclからemcl2 [9]に変更した。amclでは初期位置を手動で地図と合わせなければならないため、時間がかかる上、本来の地図とのズレが生じてしまう。さらには全ロボット対応型で作られているためコードが長く計算量が多い、ロボットが止まると自己位置推定もそこで停止してしまうなどの欠点があった。そこで千葉大学上田隆一教授が開発されたemcl2を使用した。emcl2とはamclを置き換えるための2次元LiDAR用の自己位置推定パッケージである。mclに膨張リセットを機能することで随時自己位置の修正ができるようになっている。これにより中之島ロボットチャレンジ・エクストラチャレンジでのスタート位置のズレ、走行時の自己位置を見失う問題が解消された。

## 4 おわりに

本稿では、中之島ロボットチャレンジ 2021 における甲南大学ロボティクス研究室の取り組みについて紹介した。本ロボットは、ROS を基盤として異種センサ情報を有するシステムを一つ



のシステムとして統合する。今後の課題としては、個々の要素機能の強化、安全対策の向上、認識アプリケーションの実装、防水対策の向上などがあげられる。

## 謝辞

本研究の一部は、科研費 (JP18K11416, JP19H04414, JP22K04020), 科学技術振興機構COI-NEXT JPMJPF2007, 私立大学等経常費補助金特別補助「大学間連携等による共同研究」の支援を受けた。また、中之島ロボットチャレンジ2021参加中、ソフトバンク株式会社/ALES株式会社 高精度位置情報システム「ichimill (イチミル)」サービスの提供を受けた。屋外実証実験において、中之島ロボットチャレンジ2021の関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] T. Umetani, Y. Kondo and T. Tokuda, “Rapid development of a mobile robot for the Nakanoshima Challenge using a robot for intelligent environments,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 32, no. 6, pp. 1211–1218, 2020.
- [2] 中之島ロボットチャレンジ2021, <https://www.nakanoshima-rc.jp/> (2022年5月8日閲覧).
- [3] Robot Operating System(ROS), <https://www.ros.org/> (2022年5月8日閲覧).
- [4] J. Redmon, Darknet: Open Source Neural Network in C, <http://pjreddie.com/darknet/> (2022年5月8日閲覧).
- [5] T-frog Project, <http://t-frog.com/> (2022年5月8日閲覧).
- [6] 阪東茂, 渡辺敦志, 坪内孝司, 辻信行, 油田信一, “ハードウェア情報もオープンにした研究用プラットフォームとしての標準的小型ロボットi-Cart mini,” 第31回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3H3-07, DVD-ROM, 4 pages, 2013.
- [7] 渡辺敦志, 阪東茂, 辻信行, 大矢晃久, 油田信一, “移動ロボット用二軸ブラシレスモータドライブの開発とオープンソースプラットフォームを用いた走行制御,” 第31回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3H1-01, DVD-ROM, 4 pages, 2013.
- [8] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Recognition,” in *Proc. 2016 IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 779 – 788, 2016.
- [9] 上田隆一, emcl2 GitHub レポジトリ, <https://github.com/ryuichiueda/emcl2/> (2022年5月8日閲覧).