

機械学習を用いた車型ロボットの 自律走行プログラムの開発

チェンダー マネット* 北川 晃† 赤松 直‡

Development of an autonomous driving program for a car robot using machine learning

Manith Chenda* Akira Kitagawa† Tadashi Akamatsu‡

概要

カメラで交通標識を認識しながら自律走行する車型ロボットを開発したので報告する。ロボットは後輪駆動用のモーターと前輪操舵用のサーボモーターをそれぞれ一つずつ備えており、これらを名刺サイズのコンピュータである Raspberry Pi 4 で制御している。このロボットはあらかじめ特定の交通標識について、多数の画像サンプルを与えることで機械学習をさせており、Raspberry Pi 4 に接続されたカメラを通してロボットの前方に設置されている交通標識を正しく認識するようにプログラムされている。このロボットはいくつかの交通標識が配置されたコースを自律的に正しく走破することに成功した。このロボットは比較的容易に手に入る材料を用いて製作されており、中等教育の電気および情報の授業における教材として利用できる。また同時に、最先端の技術である自動運転技術の簡易なデモンストレーションと位置づけることもできる。

1 はじめに

近年、自動車の自動運転技術に関する研究・開発が精力的に行われている。この技術はコンピュータが周りの状況を的確に判断しつつ、自動車を安全に運転をすることを目標としている。この技術を実現するためには、実際に走行する車体及び情報取得用の光学センサー（カメラ）などのハードウェアと、取り込んだ情報を適切に処理し、次の行動を的確に判断するためのソフトウェアが必要である。

中学校の技術科において、自動運転技術のハード

ウェアとソフトウェアに関連する内容は、それぞれ「エネルギー変換の技術」と「情報の技術」の単位において取り扱われている [1]。これらを学習するための教材として、ライントレースロボットがしばしば用いられている。

筆者らはこれまでに、ライントレースロボットに名刺サイズのコンピュータである Raspberry Pi と専用カメラモジュールを搭載した教材を開発した [2]。このロボットは下面に取り付けたセンサーであらかじめ設置したラインに沿って自律走行する。また事前に機械学習の過程を経ることにより、ロボット前方に人の顔が現れるとそれをカメラで認識することができる。人の顔を認識するとその場で

* 高知大学大学院総合人間自然科学研究科教育学専攻

† 横浜国立大学教育学部 kitagawa-akira-xs@ynu.ac.jp

‡ 高知大学教育学部

しばらく停止し、その後再びラインに沿って走行する。この過程はあたかも、タクシーが乗客を探しながら巡行するかのようなものであった。

この先代ロボットでは、左右の駆動輪に一つずつ独立したモーターが接続されており、それぞれのモーターの回転数を調節することで直進、旋回などの運動の制御を行っていた。しかしながらモーターには個体差があるため、同じ信号を送っても必ずしも同じ回転数が得られるとは限らず、地面に設置されたラインによる誘導がなければ直進させることは困難であるという問題点があった。

筆者らは今回、交通標識を模した画像が設置されているコース上において、前方をカメラで認識しながら適切に自律走行する車型ロボットを開発した。このロボットでは先のモデルとは異なり、その進路をガイドするためのライン及びセンサーは利用していない。そこで車型ロボットが直進することを含めて適切な運動能力を持たせるために、駆動輪を回転させるためのモーターと、操舵輪制御用のサーボモーターをそれぞれ一つずつ備える構成とした。これらのモーター、サーボモーターとカメラモジュールは Raspberry Pi 4 で制御している。このロボットには事前に特定の交通標識について、多数のサンプル画像を与えることで機械学習させており、カメラに交通標識が映ると、それを正しく認識することができる。その結果、ロボットは複数の交通標識が設置されているコースを、交通標識を正しく認識しながら自律運行し、適切に走破することに成功した。本稿ではその開発およびロボットのデモンストラーションの様子について紹介する。

2 車型ロボットの構成

図 1 および図 2 にそれぞれ、今回開発した自律走行車型ロボットの外観とシステム構成の概略図を示す。このロボットでは、一つのモーターで両後輪を駆動している。この方式は、左右の駆動輪が別々のモーターで制御されている方式よりも、直進性が優れているという特徴がある。またこのロボットには前輪操舵用のサーボモーターが一つ装備されている。モーターとサーボモーターは、名刺サイズのコ

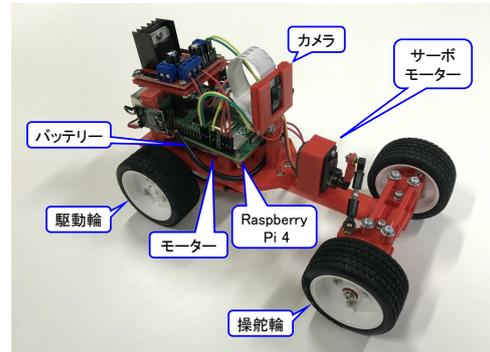


図 1 車型自律走行ロボットの外観。

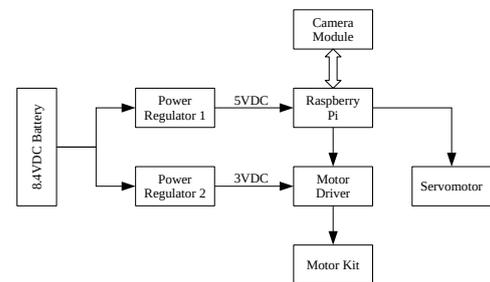


図 2 車型ロボットのシステム図。

ンピュータである Raspberry Pi 4 に接続されており、統合的に制御されている (Raspberry Pi については後述)。またこのロボットは Raspberry Pi 専用のカメラシステムも備えている。以上の装置の電源として、8.4V の LiPO (リチウムポリマー) バッテリーを搭載している。ただし Raspberry Pi 4 には 5V、モーター駆動には 3V の電圧が必要なため、電圧レギュレータを用いて適切に降圧している。このロボットは、バッテリーを完全に充電すれば、最低 1 時間半は連続走行が可能である。

ロボットの車体は、3D プリンターを用いて製作した。当初は市販の模型を流用して車体を作成することを検討していたが、手近に適当なサイズのものが見つからず、今回はすべての部品を一から設計・製作することにした。設計にはフリーソフトとして公開されている FreeCAD[3] を用いている。今回のロボットは、前後輪を取り付けたメインフレームと Raspberry Pi 4 を取り付けたメカデッキでバッテリーを挟み込む構造としており、重量物は車体後方に集中するように設計してある。これにより車体

前半部の操舵システム部分は軽くなり、軽快な運動性能を実現している。サーボモーターと操舵システムはピロボール接合部によるタイロッドで接続されており、柔軟な動作が確保されている。サーボモーターは Raspberry Pi 4 から「右へ（左へ）曲がれ」の信号を受け取ると、一定時間作動し、ちょうど 90 度だけ車体が旋回するようにプログラムしてある。

以前開発したロボット [2] では、映像解析用の Raspberry Pi に加えて、Arduino（小型ワンボードマイコンの一種）を搭載しており、地面に設置されたラインをトレースするためのセンサーと、駆動輪用モーターを制御していた。しかし今回のロボットには走行補助用のラインは使用せず、カメラから入力された画像のみを信号として走行するため、Raspberry Pi のみで画像の処理に加えてモーターの制御をも担っている。これにより、システムが大幅に簡略化されている。

また、車体を構成している材料は、すべて比較的容易に手に入るものばかりである。車体フレームは 3D プリンターを用いて設計・製作しているが、この装置も徐々に普及が進んでいる。システム制御用のソフトウェアについては後述するが、こちらもフリーソフトのみを用いて構築されており、安価に製作することができる。そのため、中等教育の電気や情報などの授業での教材として用いることが十分可能である。

3 機械学習によるロボットの制御

今回開発した車型ロボットには、Raspberry Pi 4 と専用のカメラシステムが装備されている。Raspberry Pi は名刺サイズのコンピュータで、ARM アーキテクチャのプロセッサで動作する [4]。元々教育で用いることを意図して企画されたものであり、性能がある程度抑えられている反面、比較的安価（～一万円）に入手することができる。2012 年の発売以来バージョンアップを重ねてきており、最新の Raspberry Pi 4 Model B では、1.5GHz の速度で動作するクアッドコアのプロセッサと、最大で 8GB のメモリを備えている。また無線 LAN 機能も内蔵しているため、外部の PC から接続してログ



図3 「止まれ」の標識。

インし、制御することも可能である。以上の性能は 2020 年時点において、ローエンドのビジネス PC 並みであるといえる。

Raspberry Pi には専用のカメラモジュールが用意されており、これを今回のロボットに装備してある。カメラから取り込まれた映像情報はコンピュータビジョン（コンピュータがデジタル動画や画像を処理するシステム）を通して解析がされる。今回はフリーソフトである OpenCV3 および 4 を利用した [5]。ロボットはこの映像から得られる情報を元に、適切な動作をするようにプログラムがなされている。例えばロボットが「止まれ」の交通標識（図 3）を見つけるとその直前で停止し、「右に曲がれ」や「左に曲がれ」の交通標識（図 4, 5）を見つけるとそれぞれの方向に旋回するという具合である。こうした動作を実現するためには、事前にこれらの交通標識について、機械学習をさせることが必要である。

機械学習とは、コンピュータが学習データを元にして、そこに隠れている有用な規則を見つけ出し、以降の判断のための基準を作り出す手法のことである [6]。機械学習はアルゴリズムの違いにより、「教師あり学習」、「教師なし学習」、「教科学習」に分類することができる。今回は特定の交通標識を正しく認識させることが目的なので、これらのアルゴリズムのうち、教師あり学習を用いるのが適当である。

ロボットに装備されている Raspberry Pi 4 は、ターゲットとなる交通標識について、事前に多数の

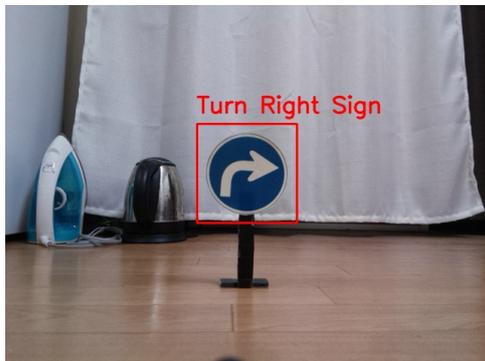


図4 「右に曲がれ」の標識.



図5 「左に曲がれ」の標識.



図6 機械学習用サンプル. 順に「止まれ(Stop)」(最上段), 「右へ曲がれ」(二段目), 「左へ曲がれ」(三段目), その他いずれでもないもの(最下段).

画像を読み込み, どの画像が正解であることを示されることで, それぞれの交通標識の特徴を抽出している. 図6にOpenCV3を用いて機械学習用に生成した画像の一部を示す. 機械学習用の画像にはターゲットとなる文字列, 記号の他にも, 人の姿や町の様子など, 日常よく見かける風景が背景として含まれている. そのため, ロボットのカメラに入力される交通標識の背景に様々なものが同時に映っていたとしても, ターゲットの交通標識をかなりの精度で認識することができる.

交通標識を精度よく認識させるためには, 機械学習サンプルの特徴をどのように抽出させるかが重要である. 例えば「止まれ」標識では, 当初文字を認識させることを目標としていたが, 文字は標識のサイズに比べてあまりに細い線としてしか認識できず, 見逃すことも多かった. そこで文字の形を画像として学習させたところ, 正しく認識させることができた.

また「右へ曲がれ」と「左へ曲がれ」の標識はデザインが似ており, 中に描かれた矢印記号の向きが異なっているだけである. これらの標識画像の学習サンプルを作成するときに, 様々な状況を想定して, 矢印記号が多少時計回りや反時計回りに一定角度回転したものも準備している. サンプル作成時に許容される最大回転角度を設定しているが, これを大きく取り過ぎると, 「右に曲がれ」と「左に曲がれ」の間で誤認が起こる場合があった. 当初は許容角度を0.5ラジアンに設定していたが, これを0.2ラジアンに設定しなおしてサンプルを作成し学習させたところ, 誤認することがほぼなくなった.

以上のような手順の結果, 「止まれ」, 「右へ曲がれ」, 「左へ曲がれ」の交通標識を精度よく認識させることに成功した. 図3~5のカメラから取り込まれた映像には, 交通標識以外にも様々なものが映っているが, そのような状況下でもターゲットとなる交通標識が正しく認識されていることがわかる.

4 ロボットの走行デモンストレーション

前節の通り機械学習をさせた車型ロボットを, 図7のように交通標識を配置したコースで走

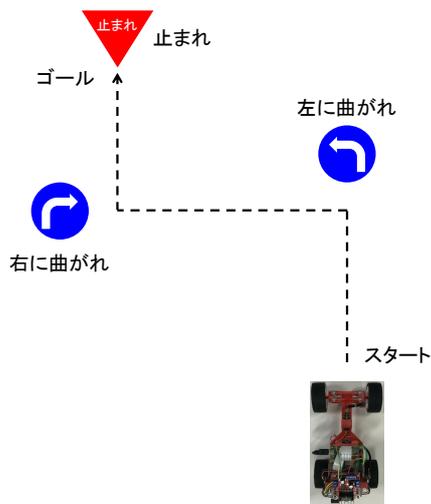


図7 交通標識を配置したコース。

行させた。コンピュータビジョンのライブラリ OpenCV3/4 のプログラミングのために Python 3 言語を用いている。Python はグイド・ヴァン・ロッサムによって 1991 年に開発がスタートしたプログラミング言語であり、無償で利用することができる [7]。Python は広く利用されている Google や YouTube などのサービスでも採用されている。さらに、Python は Raspberry Pi でも使用を推奨されている言語である (Raspberry Pi の 'Pi' は Python にかけたもの)。Python では、必要とされる最小限の機能だけを準備するという方針で開発が行われている。そのため予約語 (言語仕様上特別な意味を持った語を表す「キーワード」とほぼ同義) が少なく、プログラム自体もシンプルに記述できるため、初心者にも優しい言語である。それにもかかわらず広い拡張性を有しているため汎用性が高く、機械学習の分野で最もよく利用されている言語の一つである。Python はインタープリター型のコンピュータ言語であるが、Numpy や Scipy などの拡張ライブラリは C 言語で実装されているため、高速な動作が可能である。車型ロボットが動作している間は、無線 LAN による信号で画像処理の状況をモニタリングすることが可能である (図 8)。

図 9 はロボットが交通標識を認識しながら、自律走行をする様子である。最終的に「止まれ」交通標

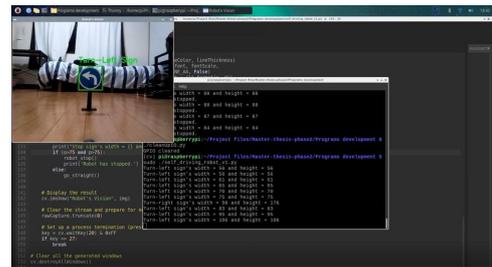


図 8 車型ロボットが交通標識を認識しながら、コース内を自律走行する様子。



図 9 交通標識が配置されたコース内を自律走行するロボット。



図 10 「止まれ」標識の手前で停止する。

識の手前で停止をさせるまでの動作を完了することに成功した (図 10)。

5 まとめと展望

本稿では、交通標識を認識しながら、自律走行する車型ロボットの開発について紹介した。このロボットは名刺サイズのコンピュータである Raspberry

Pi 4 により制御されている。このコンピュータに接続された専用のカメラシステムから周囲の状況を映像として入力し、特定の交通標識を認識することで駆動輪制御用のモーターと操舵輪制御用のサーボモーターに適切な信号を送る。今回用いた画像認識システムは、事前に機械学習（教師あり学習）の手法によって交通標識の特徴を抽出しており、それにより交通標識を精度よく認識する。このシステムを搭載した車型ロボットは、交通標識が設置されたコース内を正しく走破することに成功した。

今回開発したロボットは、比較的容易に手に入る材料と、フリーソフトのみを使って製作されていることが大きな特長である（車体フレームを製作するのに用いた 3D プリンターも、現在では普及が進みつつある）。そのため、今回開発したロボットは中等教育の電気や情報などの授業での教材として用いることができる。また今回のデモンストレーションは、自動運転技術の簡単なモデルであり、これを教室内で再現することで、最先端の技術の学習に役立てることができる。

今後のさらなる開発の展望として、認識できる交通標識の種類を増やすことが挙げられる。これにより、さらに複雑な指示に従いながらの走行が可能となる。またそれぞれの交通標識を認識する時間をより短くすることで、ロボットの走行速度を上げることができる。これはプロセッサの処理速度とも関連する問題ではあるが、機械学習のサンプル画像の生成方法を検討することでも若干の改善ができるのではないかと考えられる。今回は車体の設計・製作に 3D プリンターを用いたが、より身近な材料を用いての車体の製作についても検討していきたいと考えている。

参考文献

- [1] 文部科学省検定済教科書 中学校 技術・家庭 技術分野，開隆堂 (2015 年)。
- [2] M. Chenda and A. Kitagawa, "Development of a Line Following Robot with Human Face Detection System", 高知大学教育学部研究報告 **79**, pp. 119-126 (2019)。

- [3] FreeCAD 公式ウェブページ
<https://www.freecadweb.org/>
- [4] Raspberry Pi 公式ウェブページ
<https://www.raspberrypi.org/>
- [5] 北山 直洋, 「Python で始める OpenCV3 プログラミング」, カットシステム (2018)。
- [6] エテム・アルペイディン (久村 典子 訳), 「機械学習 新たな人工知能」, 日本評論社 (2017)。
- [7] Python 公式ウェブページ
<https://www.python.org/>