

[研究助成 (A)]

点字ブロック及び全方位環境の認識に基づく 自動走行車椅子と利用者間の調和

Harmony Between an Autonomous Wheelchair and Its User Based on the Recognition of
Braille Blocks and Omnidirectional Environment

2231025



研究代表者

芝浦工業大学
大学院理工学研究科

教授

プレーマチャンドラ
チンタカ

1. 研究の目的

車椅子の自動走行の方法として、周囲の環境を把握するため LiDAR や深度センサなど複数のセンサを用いるものや、レーザを用いて周囲環境を把握するものなどが存在する。しかし、複数のセンサを用いる方法では事前の地図作成が必要であり、レーザを用いる方法では車椅子の使用が狭い屋内に限定されることから、公共の場での汎用性が低くなってしまふ。これに対し、本研究では点字ブロックをガイドとした車椅子の自動走行システムを提案する。

点字ブロックは老人ホームや病院などの施設だけでなく歩道や駅構内など公共の場にも多く存在し、車椅子走行時のガイドとして適切であると考えられる。従来の点字ブロックの検出方法としては、二次元カメラを用いた色特徴による識別や、赤外線レーザを用いた研究などが行われてきた。しかし、これらの方法ではカメラやセンサの向く方向しか確認できず指向性が高いため、周囲の環境を把握するのに適していない。また、色による点字ブロック検出の方法では日陰や夜間などの環境下の点字ブロックが、あらかじめ指定した色と異なる映り方をすることから精度が低くなるという問題もある。さらに、二次元カメラのみを用いる場合、車椅子と点字ブロック間の距離関係を取得することは不可能であり、別にセンサなどを用意する必要が

生じる。

これらの問題に対し、本研究では車椅子に全天球カメラを搭載し、上述の問題点における解決策を検討した。まず一つ目に、指向性が高く周囲の環境把握に不適という点について、1) 全天球カメラを使用することで周囲 360 度の環境把握を可能にする。また、色で識別を行う場合、環境に左右されやすいという問題については、2) 機械学習を用いた物体検出アルゴリズムの導入により解決策を検討する。最後に、距離の取得についてである。全天球カメラによる従来の距離取得の方法としては、複数センサの併用やステレオカメラとして用いる方法などが挙げられる。しかし、本研究では 3) 全天球カメラ一台のみを用いた車椅子と点字ブロック間の距離取得を追究する。

上記 2)、3) の解決策はソフトウェアに関わるものであるが、それらのアルゴリズムを実際の車椅子に実装し、実用化させる手法は以下で述べる。今回、4) Graphic Processing Unit (GPU) 搭載のマイコンを処理に用いることで上述アルゴリズムのリアルタイム実装を検討する。さらに、それらのアルゴリズムで検出される点字ブロック及び車椅子と点字ブロック間の距離に基づいて、車椅子が自動走行できるよう検討する。ここで、特に、車椅子の内部システムの構成に触れず、外部からジョイスティックの操作を自動で行うことで、車椅子の自動走行

を実現させる。その実現に向け、5) 車椅子に搭載可能な新たな機構を構築し、それによってジョイスティックのみを自動で操作させ、点字ブロック情報に基づいて自動走行が行えるか検討する。この新たな機構は付け替えが可能なため、汎用性が高く、ハードウェア構成についても新規性が認められる。

2. 研究の内容

2.1 システムの概要

提案する車椅子自動走行の手法について、その全体の流れを図1に示す。最初に、全天球カメラから周囲の映像を取得する。その後、取得した映像にYOLOv5を用いることで点字ブロックを検出する。ここで、検出した点字ブロックの並び方によって直進、右折、左折、直進しながら右に修正または左に修正の5通りを判別し、自作した機構によりジョイスティックを操作することで電動車椅子を走行させる。

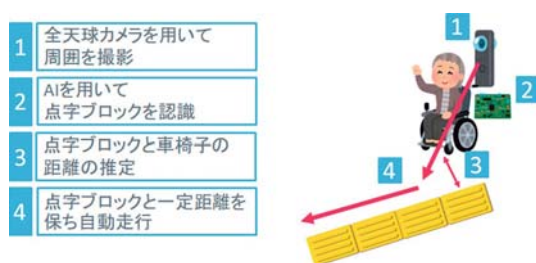


図1 提案する車椅子自動走行の手法、全体の流れ

2.2 全天球カメラ画像に映る点字ブロックの自動検出

本研究では、点字ブロックの検出に用いる機械学習のアルゴリズムとして、高速かつ高精度な物体検出が可能なYOLOv5を使用する。

機械学習に用いられる物体検出アルゴリズムは、以下で述べるように数多くある。例えば、画像を左上から右下へ順に範囲をずらしながら検出するSliding window approachを用いたDeformable Parts Models (DPM) や、対象物のある領域をRegion proposal method (RPM)

で検出し、Deep Neural Network (DNN) で識別するRegion Based Convolutional Neural Network (R-CNN) やFaster Region Based Convolutional Neural Network (Faster R-CNN) などが挙げられる。しかし、Sliding window approachでは、左上から順に一つずつ範囲をずらして検出するため時間がかかり、またRPMとDeep Learningを用いた方法では、検出と識別を2段階で行い、かつRPMで抽出した全領域にDNNが用いられることから処理に時間がかかるという課題がある。これに対し、RPMをDNNのレイヤーに組み込み、物体の検出と識別を同時に行うアルゴリズムのYOLOでは、従来の方法に比べ高速かつ高精度で検出可能であるため、本研究ではYOLOを用いることとした。

全天球カメラから得られる画像は、一般の2次元カメラから得られる画像とは異なり、歪みが生じる。その理由は、中心射影方式である2次元カメラのレンズに対し、全天球カメラは超広角レンズを用いているためである。この歪みは中心から外に行くにつれ大きくなる。この歪みを考慮し、全天球カメラから得られた点字ブロック画像に対してアノテーションを行い、データセットを作成する。アノテーションとは、画像のどの領域に学習させたい物体が存在するかを定めるための作業である。本研究では、アノテーションツールlabelImg v1.8.6を用い、点字ブロック一枚一枚に対して作業を行った。次に、データセットの作成方法について述べる。車椅子に、使用想定環境の高さに設定した全天球カメラを固定し、点字ブロックの横を走行しながら、画像を撮影した。学習用として昼夜、屋内外の様々な環境の点字ブロック画像200枚を用意した。また、実際の使用環境における画像を150枚撮影し検証を行った。学習回数が増えればそれだけ性能は向上するが学習を行い過ぎるとテストデータに過剰に適合してしまう過学習と呼ばれる状況に陥る。過学習を起こすとそれ以上どれだけ学習してもデータセットの

精度は低下していく。これを回避するため、Early Stopping を用いる。Early Stopping とは、機械学習において損失関数の最低値が設定回数以上更新されない場合に学習を止めるものである。これを、YOLOv5 での点字ブロック学習における過学習への対策として用いた。

2.3 車椅子と点字ブロック間の距離推定

車椅子に自律走行をさせる際は、点字ブロックと一定間隔の距離を保ちながら走行させる必要がある。全天球カメラは半球レンズ2枚から成り、それぞれのレンズから得られた撮影情報は図2のように左右の円形画像に分割して表示される。



図2 全天球カメラで撮影された画像

この2つの円形画像によって全天球カメラ画像は構成されている。ここで、円形画像領域は等距離射影方式で生成される。等距離射影方式では、円形画像の中心からの距離と角度が比例する。従って、得られる円形画像領域の中心と画像上の点字ブロック間の角度は、実世界におけるカメラと点字ブロックのなす角に一致する。ここで、得られる円形画像領域の中心は消失点と一致する。画面の中心からの距離と角度が比例するという等距離射影方式の全天球カメラの特徴を基に、カメラの高さが固定されている時、全天球カメラ画像上の点字ブロックの位置を計算するという新たな数式を導き出した。これにより全天球カメラ一台で車椅子と点字ブロック間の距離測定が可能になった。歪んだ全天球カメラ画像から点字ブロック検出及び距離推定するこの手法は、新規性が高いものである。

2.4 ジョイスティック操作のための機構

ジョイスティックを操作するために自作した機構を図3に示す。機構内部にサーボモータを4つ固定し、ラックギアとピニオンギアを用いることでジョイスティックを操作する。ラックギア、ピニオンギア及びケースは3Dプリンタで製作した。

今回製作したハードウェアは、車椅子のジョイスティック部分に取り付けるだけで使用できるため、本研究で用いた車椅子以外にも設置可能である。

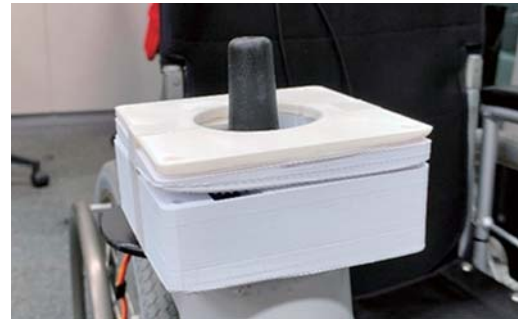


図3 制作したジョイスティック操作機構

2.5 自動走行の実現

車椅子の走行経路について、検出した点字ブロックを車椅子の正面にずらすことで疑似的な走行経路とする。まず、YOLOv5を用いて検出した各点字ブロックについて、2.3で述べた距離測定により車椅子との位置関係を把握する。ここで、点字ブロックが車椅子の左右どちらにあるかを確認する。以下で、車椅子の左側に点字ブロックが存在する場合について説明する。

本研究では、車椅子の走行制御のパターンとして

1. 直進
2. 右折
3. 左折
4. 直進しながら右に修正
5. 直進しながら左に修正

の5パターンに分けて制御を行った。

上記の5パターンに応じた結果を1フレームごとに取得し、5フレーム連続で取得したとき

のみ、2.4で述べた機構でジョイスティックを動かすことにより車椅子の走行制御を行うこととした。5フレーム連続を条件としたのは、1フレームごとに信号を送信すると点字ブロックを誤検知した際に挙動が安定しない可能性があるためである。以上の流れで、ジョイスティックを操作して車椅子の自律走行を行った。

3. 検証実験

提案手法における、点字ブロックの検出可能距離及び精度、距離測定の精度、進行方向の判別精度と判別に基づいた車椅子の自動走行について評価を行った。それぞれの実験について以下に示す。

3.1 点字ブロックの検出が可能な奥行き距離の推定結果

2.2で作成したデータセットを用いて、提案手法における点字ブロックの検出可能距離と検出精度を評価した。使用環境を想定し、点字ブロックと車椅子間の距離を1.0[m]とし、検証用データを基に、点字ブロックを検出可能な奥

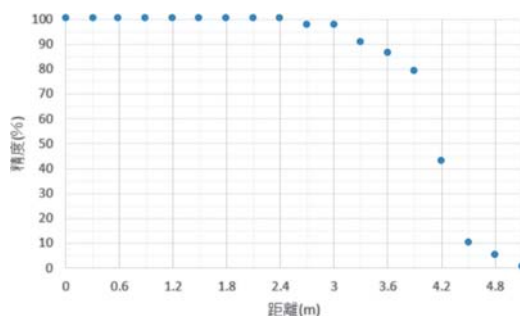


図4 点字ブロック検出が可能な奥行き距離対検出率



図5 点字ブロック検出の例

行距離について実験を行った。

検出可能な奥行き距離に関するグラフを図4、検出の一例を図5に示す。

図4に示すように、3.0[m]までは97%を超える検出率であるが、4[m]付近で急激に精度が落ちてしまう。図5に示すように、カメラから離れるにつれて点字ブロックが小さく映ることがその要因として考えられる。

3.2 点字ブロック検出が可能な横距離の推定結果

車椅子と点字ブロック間の真横距離 w に関して、左右2[m]で0.5[m]おきに1回ずつ測定を行った。今回の距離のエラーの平均値は20センチ前後以内で、車椅子の自動走行を実現させる上では、許容範囲内であると考ええる。

また、点字ブロックと車椅子間の横距離を奥行き方向に推定を行った。ここでは、車椅子から奥行き方向に0.5[m]間隔で横距離を推定した。この距離推定結果の場合もエラーが大変少なくなき（平均値0.05[m]）、提案距離推定手法は性能面で信頼できると言える。

3.3 進行方向の判別精度及び推定される点字ブロックの距離関係に基づく車椅子の自動走行の確認

使用環境を想定し、点字ブロックと車椅子間の距離を1.0[m]とし、各進行方向において10回ずつ判別を行い、進行方向の判別の評価を行った。その結果から、全てにおいて進行方向の判別は成功した。また、上記の方向判別に基づき、車椅子の自動走行を行ったところ、正常な走行を確認できた。図6に、車椅子が自動走行しながら、点字ブロックと車椅子間の横距離が1mになるように調整する様子を示す。図6(a), (b), (c)では、車椅子が点字ブロックと平行ではなく、右斜めの方向に動いているが、数秒後、図6(d), (e)のように、点字ブロックとの横距離がおよそ1mを保ちながら点字ブロックと平行な状態で走行できるよう自



図6 車椅子が自動走行中に、点字ブロックとの横距離が1mになるよう自動調整している様子

動で調整されている。

4. ま と め

本研究では、全天球カメラを用いた点字ブロックの自動検出とそれに基づく車椅子の走行補助について検討した。その実現に向け、全天球カメラで得られる画像から YOLOv5 による点字ブロックの自動検出、全天球カメラの射影方式に基づいた車椅子と点字ブロック間の距離の測定、さらに走行方向の判別について検討を重ねてきた。また、それらの情報に基づき、自作の機構によりジョイスティックを操作することで、車椅子の自律走行を行った。

検証実験では屋内外の環境において点字ブロックの検出精度が 97.3%、走行方向の判別精度が 100%、また車椅子と点字ブロック間の距離測定における平均誤差が比較的少なく、高精度な点字ブロックの自動検出、距離測定及び走行方向の判別を行うことができた。また、これらを統合することで、リアルタイムでの自動走行が可能となり、本研究の有効性を確認できた。