

未整備道路における自動運転のための路面環境識別の検討

上谷 一将[†] 中條 直也[‡]

愛知工業大学大学院[†] 愛知工業大学[‡]

1 はじめに

自動車事故の低減、環境問題への対応を背景として自動運転車の開発が盛んに行われている。特に、自動駐車システムはレベル 4 まで実行できる [1]。レベル 4 とは、整備された場所での完全自動運転のことである。しかし、未整備道路での自動運転システムは完成されていない。自動駐車システムの一部である駐車支援システムは路面に段差や傾斜がある場合、正しく実行することができない。そのため、路面環境を調査する研究がされている [2]。この文献では、周辺環境を認識するセンサである LiDAR から得られる点群マップを用いて路面環境の識別を行うが、事前に点群データを取得する必要がある。そのため、走行中に路面環境を判断することは難しい。

本研究では、車両が不安定になる路面でも自動運転を可能にするため路面環境識別手法を提案する。識別する路面として、アスファルトで覆われた舗装路面、砂利で覆われた砂利路面、舗装路面にある車両が大きく傾く路面障害物であるポットホールとハンプを対象とした。舗装路面と砂利路面は現実環境を用い、ポットホールとハンプは仮想環境を用いて実験する。仮想環境を利用することで、容易に道路環境を作成することができる。また、仮想環境では事故の危険性がなく、路面環境識別の実験を行うことができる。

2 提案する路面環境識別の手法

本章では、図 1 に示すように、路面環境を識別するシステムを提案する。

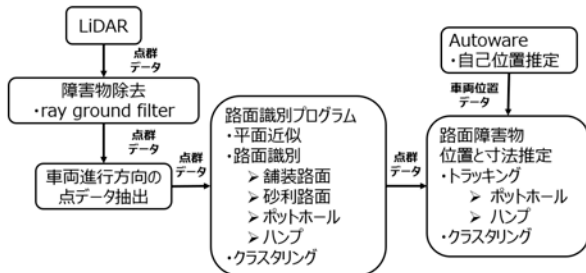


図 1. 提案する路面環境識別システムの構成図

はじめに、LiDAR から得られた点群データから木や建物などの、比較的高い障害物を除去する。除去方法として ray ground filter[3] を使用する。

次に、走行中に路面識別を行うため、車両進行方向の点データを抽出する。今回、視野角を 60° とし、最大認識距離を 25 m とした。

次に路面識別を行う。路面は平面であっても、車両が傾くと LiDAR の高さデータは変化する。LiDAR の高さデータが変化しても、路面識別を可能にするため MSAC[4] を用いて平面近似を行う。その後、路面種類、路面障害物の識別を行う。

最後に、路面障害物の位置と寸法推定する。位置と寸法を推定することで、減速や経路変更ができると考える。

2.1 路面種類の識別方法

はじめに、車両進行方向の点データと平面近似の結果から路面識別を行う。路面の範囲として平面近似したときの高さと LiDAR の点データの高さの差が LiDAR の誤差値である 3 cm 以内の点データを抽出する。その後、路面の種類を識別する。識別方法として、舗装路面と砂利路面では、反射強度が異なる。そのため路面と識別した点群データから反射強度の偏差を用いて識別した。閾値を実験データから 9.79 % とした。

2.2 路面障害物の識別方法

はじめに、路面の範囲外である点群データの高さと平面近似した時の高さの差で識別する。ポットホールの深さは 10 cm とし、ハンプの高さは 10 cm とした。そのため、それぞれを LiDAR の誤差値を合わせた 13 cm を上限とした。

識別した後の路面障害物の点群データには、ノイズの点データが存在する可能性がある。そのため、ユークリッドクラスタリングを用いてノイズ除去を行う。クラスタリングとなる条件として、点間の距離をポットホールの最小サイズと定義される 0.1 m 以上であり、クラスタリングのメンバー数が 2 以上とした。

その後、路面障害物の位置推定を行うために点群データ数の削減を行う。点間距離を送信遅延を考慮して 0.3 m とした。

2.3 路面障害物の位置推定方法

最後に、路面障害物を識別した点群データを用いてトラッキングを行うことで路面障害物の位置を推定する。その後、クラスタリングを行うことで路面障害物の寸法の推定を行う。クラスタリングとなる条件として、点間の距離を送信遅延を考慮し 0.3 m 以上とし、クラスタリングのメンバー数が 2 以上とした。

3 路面環境の識別実験

本章では提案する識別方法として、路面種類は現実環境、路面障害物は仮想環境を用いて実験した。評価方法として、路面種類識別は識別結果、精度、処理時間を使用した。一方で、路面障害物は識別距離、処理時間を使用した。

3.1 評価用の現実環境

舗装路面と砂利路面の識別実験に用いた現実環境をそれぞれ図 2a, 2b に示す。走行速度は 5 km/h である。その時の識別精度を求めた。

Examination of Road Surface Identification for Autonomous Driving in Undeveloped Roads

[†] Kazumasa Kamitani : Graduate School, Aichi Institute of Technology

[‡] Naoya Chujo: Aichi Institute of Technology



(a) 舗装路面

(b) 砂利路面

図 2. 評価用の現実環境

3.2 評価用の仮想環境

路面障害物の識別実験に用いた仮想環境を図 3 に示す。黒の破線で囲まれた場所は、複数のポットホールがある路面である。それぞれをポットホール I～IV とした。また、黒枠で囲まれた場所は、ハンプがある場所である。黒色の矢印は、車両の進行方向を表し、走行速度を 10 km/h とした。

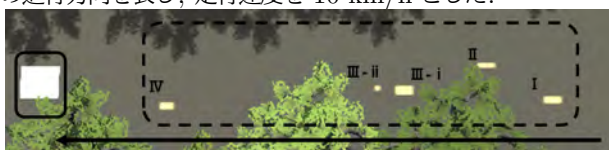
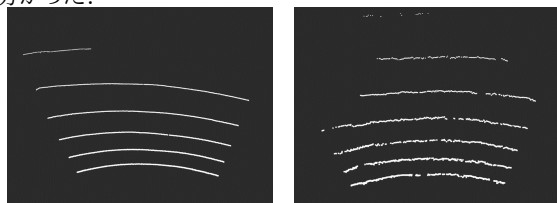


図 3. 評価用の仮想環境

3.3 路面環境の識別結果

路面環境を識別した点群データを図 4 に示す。図 4a4b の白く表示されているものは路面と識別した点データである。また、反射強度の平均値は舗装路面では 3.93 % であり、砂利路面では 12.6 % であった。また、走行した際の精度は、どちらも 100 % であった。以上の結果から、正しく識別できていると分かった。



(a) 舗装路面識別時

(b) 砂利路面識別時

図 4. 路面環境識別結果

3.4 路面障害物の識別距離

表 1 は路面障害物の識別距離を示す。走行速度が 10 km/h の時、安全に停止できる停止距離は、乗員を考慮し参考文献 [5] から 5.52 m 以上と算出できる。表 1 から、安全に停止できることがわかる。

表 1. 識別距離

路面障害物	識別距離
Pothole I	17.7 m
Pothole II	24.1 m
Pothole III-i	18.7 m
Pothole III-ii	19.1 m
Pothole IV	21.7 m
Hump	24.2 m

3.5 識別時間

表 2 は路面環境の識別時間を示す。走行中に識別するための処理時間は制御周期から 100 ms 以内とした。表 2 から、走行中にリアルタイムで識別できることがわかる。

表 2. 識別時間

処理項目	平均	最大
車両進行方向の点抽出	1.02 ms	1.81 ms
平面近似	0.32 ms	1.07 ms
路面識別	0.69 ms	1.32 ms
路面識別後のクラスタリング	0.17 ms	4.25 ms
トラッキング	0.028 ms	0.67 ms
トラッキング後のクラスタリング	0.44 ms	5.80 ms

4 おわりに

本研究では、未整備道路で自動運転を可能にするために、路面環境の識別方法の提案と検証を行った。現実環境で路面を識別することができた。仮想環境を用いて実験した結果、10 km/h 以下では安全に停止できる距離で路面障害物の識別ができることがわかった。

今後の課題として、現実環境での路面障害物の識別実験を行うとともに、識別精度の向上を図ることが挙げられる。

謝辞

本研究は、知の拠点あいちの近未来自動技術開発プロジェクト V6 の支援で実施されたものである。

参考文献

- [1] BOSCH. “世界初：ボッシュとダイムラーが人間による監視不要のドライバーレスパーキングに関する承認を取得.” <https://www.bosch.co.jp/press/group-1907-03/media/PI10970-ja.pdf> (2020 年 9 月 16 日閲覧)
- [2] 浦野健太, 他. “自動運転車のレーザセンサを利用した路面性状調査.” マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集 2018 (2018): 264-269.
- [3] Autoware.Auto. “ray_ground_classifier.” https://autowarefoundation.gitlab.io/autoware.auto/AutowareAuto/md_src_perception_filters_ray_ground_classifier_design_ray-ground-classifier-design.html (2020 年 12 月 9 日閲覧)
- [4] Torr, Philip HS, and Andrew Zisserman. “MLE-SAC: A new robust estimator with application to estimating image geometry.” Computer vision and image understanding 78.1 (2000): 138-156.
- [5] 王鋒, 他. “自動車の加減速と乗り心地の関係に関する研究.” 人間工学 36.4 (2000): 191-200.