

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00224

研究課題名(和文) バリアフリー法に基づく路面評価のための高精度な三次元計測システムの開発

研究課題名(英文) Development of highly accurate three dimensional measurement system for road surface evaluation based on barrier free method

研究代表者

大川 一也 (okawa, kazuya)

千葉大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：50344966

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：歩道空間において、車椅子などの移動の妨げとなっている場所やその度合いを定期的にかつ定量的に判断する必要がある。そこで、小型の移動ロボットにセンサを搭載し、修繕が必要な箇所を自動識別する手法について研究した。具体的には、まず、路面の凹凸を計測するレーザセンサの姿勢を維持させる機構を開発し、使用条件にかかわらず高精度で路面を計測できる手法を提案した。また、凹凸が検出された場所であっても、雑草や減速帯は修繕箇所ではないため、これらを深層学習で識別するとともに、複数の識別結果を総合的に判断することで識別率を向上させた。また、実証実験により、これらの手法の有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：It is necessary to periodically and quantitatively judge the spot and degree of the hindering movement of a wheelchair, in the sidewalk space. Therefore, a laser sensor was mounted on a small mobile robot, and an automatically identification method of spot requiring repair was investigated. Specifically, firstly, a mechanism that keeps the laser sensor horizontally in order to measure the unevenness of the road was developed. And a method that can measure the road surface with high accuracy regardless of usage conditions was proposed. However, weeds and deceleration zones are not repair spots even at spots where unevenness road are detected. Therefore, a deep learning was applied to identify them, and the identification rate was improved by comprehensively judging a plurality of identification results. The effectiveness of these proposed methods was confirmed experiments in the real environment.

研究分野：ロボット工学

キーワード：三次元計測 物体識別

1. 研究開始当初の背景

平成 18 年に「高齢者、障がい者等の移動等の円滑化に関する法律」(通称「バリアフリー法」)が施行され、特定道路 (= 多数の高齢者や障がい者等の移動が、通常、徒歩で行われる国土交通省によって指定された道路)の整備が各自治体によって行われている。しかし、バリアフリー法が施行されてから、多くの年数が経過しているものの、いまだ十分に整備できていない地域もある。限られた予算内で、効率よくバリアフリー化を実施するならば、高齢者や障害者等の移動の妨げとなっている場所やその度合を調査し、優先的に整備すべき場所を特定する必要がある。また、すでに整備が実施された道路であっても、法の基準を満たしていることを定期的に調査する必要もある。

現状では、バリアフリー法の基準を満たしているか否かの判断は人が行っており、人によって判定が異なるという問題や、広範囲を定期的に調査することの問題がある。

2. 研究の目的

高齢者や障がい者の移動を妨げる路面上の凹凸(例えば、木の根による隆起や、ポットホールと呼ばれる穴など)を高精度で計測し、常に同一基準の判断ができるシステムを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、「姿勢維持機構の開発」、「高精度な路面形状の測定」、「修繕の必要性判定」の3つに大別することができる。

(1) 姿勢維持機構の開発 歩道の路面計測をするために、幅が約 40cm の移動ロボットにセンサを取り付け、路面の凹凸を計測することとした。センサとしては、環境の明るさなどの変化に強く、かつ、高精度で距離を計測できる LiDAR を選定した。このセンサで路面を走査することによって路面の凹凸を計測できる。ここで、センサを搭載した移動ロボットが路面の凹凸の上を走行する場合、ロボット本体が傾斜してしまうため、水平な路面が逆に傾斜して計測されてしまうなどの問題が生じる。この問題を解決するために、移動ロボットの姿勢にかかわらず、センサの姿勢を維持する機構を開発した。

(2) 高精度な路面形状の測定 LiDAR によって路面までの距離を計測することによって、ロボットが存在している高さよりも、計測点が高い(あるいは低い)ことを知ることができる。しかし、それがなだらかな傾斜のように滑らかな曲面の形状であるならば、修繕対象とは言えない。そこで、LiDAR で得られた点群をもとに「変動係数による判定」および「角度変化による判定」を行うことで、隆起やポットホールのような凹凸のある場所を検出できるようにした。

(3) 修繕の必要性判定 路面の凹凸を検出できるようになったが、それらすべてが修繕対象とは限らない。具体的には、隆起やポットホールは修繕対象であるが、路面に生えた雑草や縁石、減速帯などは修繕対象ではない。つまり、路面の凹凸だけでは判断できないため、検出した凹凸の種類を反転し、修繕の必要性の有無を判断する手法が必要となった。そこで、本研究では、まず LiDAR で計測した三次元情報を斜めから見た「斜透視図法」および製図などで用いる「第三角法」といった二次元情報に落とし込み、これを深層学習の一つである畳み込みニューラルネットワークで識別できるようにした。次に、LiDAR の受光強度情報を示す図も追加した上で、Complement Naive Bayes による複数の識別結果に基づく総合的な判断手法を提案した。

4. 研究成果

(1) 姿勢維持機構の開発 製作した姿勢維持機構を図 1 に示す。上部に凹凸を検出する LiDAR と回転機構、下部に重力加速度センサと制御回路がある。ロボット本体が凹凸によって傾くと、その傾斜を重力加速度センサによって計測し、それを補正するように回転機構を動かす。具体的には、図 2 の下側にある差動歯車機構を持つ 2 つのモータを用いて、回転機構を動かす。ロール角およびピッチ角の回転中心を、LiDAR の受光部とすることで精度を高めている。

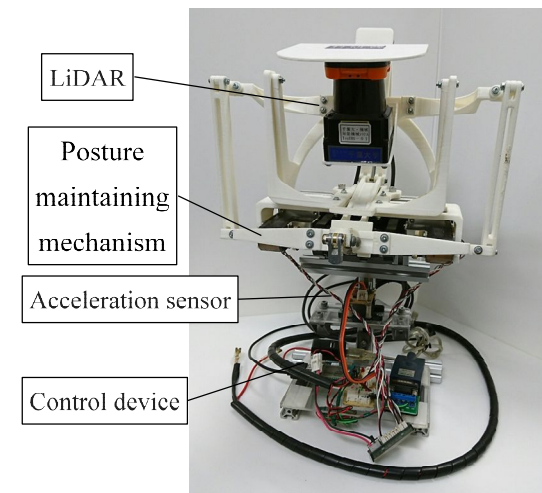


図 1 製作した姿勢維持機構

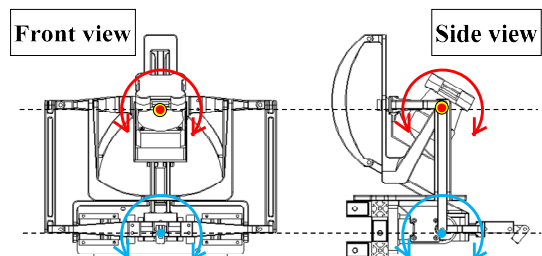


図 2 LiDAR の回転中心

(2) 高精度な路面形状の測定 路面上の凹凸にレーザが照射された場合の特徴に着目し、図3に示す「変動係数による判定」および、図4に示す「角度変化による判定」という二つの凹凸判定を用いた手法を用いた。また、実験で得られた図5に基づいて、凹凸判定した図を図6に示す。これらから、凹凸部分を抽出できることを確認した。

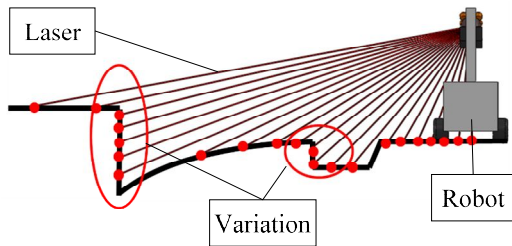


図3 変動係数による判定

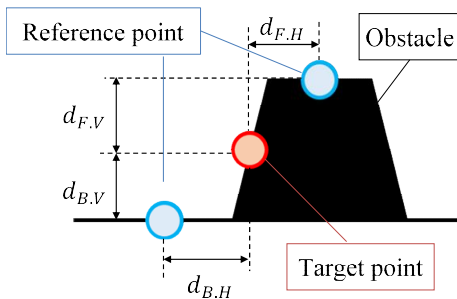


図4 角度変化による判定

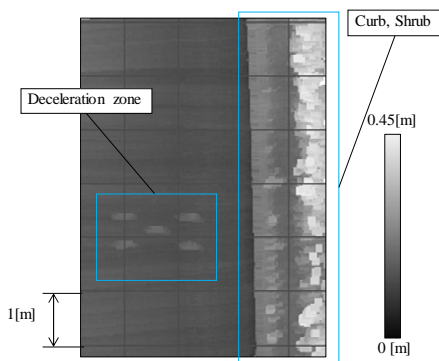


図5 変動係数による判定

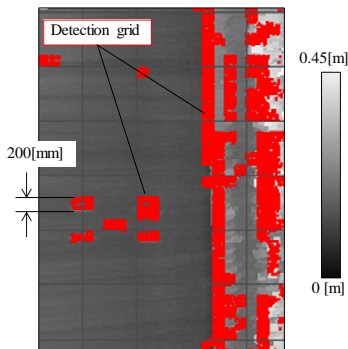


図6 変動係数による判定

(3) 修繕の必要性判定 修繕対象である隆起やポットホール、修繕対象ではない路面に生えた雑草や減速帯などを区別するため、画像認識として有用である畳み込みニューラルネットワークを適用することとした。しかし、三次元情報をそのまま認識する手法はまだ十分に確立されていないことから、本研究では図7に示す「斜透視図法」と図8に示す「第三角法」によって二次元情報に落とし込み、AlexNet で学習した。識別するカテゴリは、「段差」、「凹み」、「縁石」、「壁」、「減速帯」、「低木」、「路面」の8つである。

識別結果を調査したところ、斜透視図法による手法では「段差」や「雑草」の認識率が良く、第三角法による手法では「凹み」や「減速帯」の識別率が高いことが分かった。つまり、どちらか一方を選ぶのではなく、総合的に判断する手法が望ましいことが判明した。

そこで、本研究では図9に示すLiDARの受光強度情報を示す図も追加した上で、Complement Naive Bayesを適用し、総合的に判断する手法を提案した。これにより、正解は「縁石」だが、斜透視図法による手法では33.43%で「減速帯」、第三角法による手法では98.29%で「段差」、受光強度情報による手法では88.11%で「段差」としていた例において、Complement Naive Bayesを適用したところ、正しく「縁石」と判定できることが分かった。

さらに、これら三つの手法において、優劣がある可能性を検討し、これらに重み係数をかけることとした。ここで、最適な重み係数を導出するため、最適化アルゴリズムの一つである滑降シプレックス法を適用した。その結果、三つの手法ともに0.33という同じ比率になることを確認した。すべて同じ比率になったことが本当に正しいのかを確認す

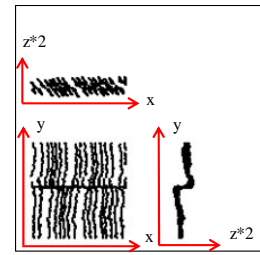
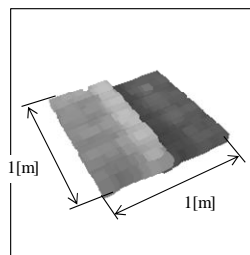


図7 斜透視図法 図8 第三角法  
(図7と図8は、段差の例)

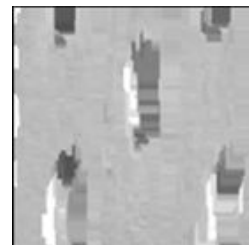


図9 受光強度情報 (減速帯の例)

するため、あえて一つに乱数を入れたところ、乱数を入れた手法の比率は低くなったことから、今回の実験ではすべて同じ比率で正しいと判断できる。これらの結果から、将来的に別の識別結果が得られた場合においても、特に気にすることなく組み込み、滑降シンプレックス法によって重み係数を自動で決めれば良いということが判明した。

これらの手法を統合させ、図 10 に示す環境において検証実験を行った。その結果、図 11 のように「縁石（シアン色）」、「段差（青色）」、「減速帯（黄色）」を検出できていることが確認できた。なお、段差のところは赤枠で囲まれている。これは Complement Naive Bayes の判定結果の値によって、「修繕すべき箇所」として判断していることを意味する。一方、減速帯の一部が段差として識別しているところがある。ここは白枠で囲まれている。これは、Complement Naive Bayes の分類結果が -1.475 と負の値を取っており、「修繕の可能性」と判断していることを意味する。

検証実験では、日中と夜のそれぞれにおいて実験をしたが、LiDAR は環境の明るさに影響されず、同じ結果を得ることができることも確認した。

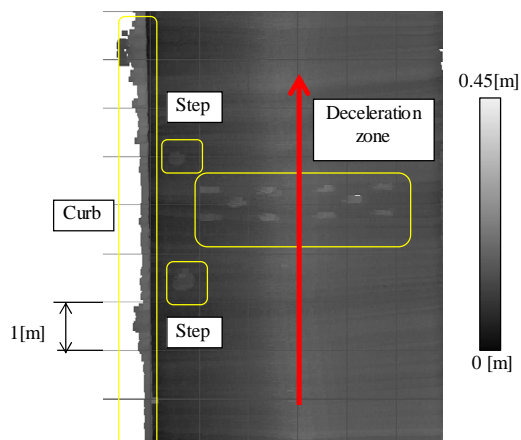


図 10 実験環境

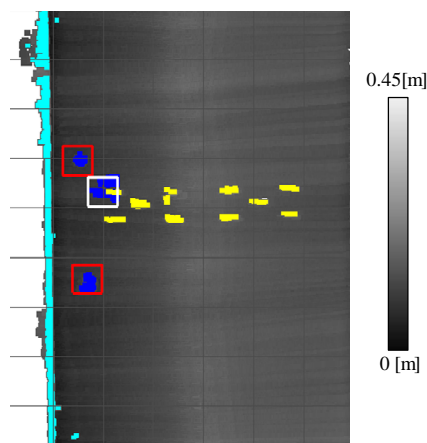


図 11 識別結果

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 9 件)

- (1) 中易隆太郎, 大川一也, 複数の深層学習による識別結果を総合的に判断するための Complement Naive Bayes に基づく路面識別, 電気学会システム研究会, ST-18-013 (2018).
- (2) 中易隆太郎, 大川一也, 測域センサによる三次元形状情報に基づく畳み込みニューラルネットワークと Complement Naive Bayes を用いた識別精度の向上, 第 18 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(SI2017), 3E2-05, pp.3266-3271 (2017).
- (3) 大川一也, 倉島一輝, 測域センサの情報に基づく深層学習とベイズ推定による障害物識別, 平成 29 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, TC2-1, pp.67-71 (2017).
- (4) 小池陽介, 大川一也, 自律移動ロボットによる道なり走行のための畳み込みニューラルネットワークによる消失点検出, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'17, 2A2-D10(1)-(4) (2017).
- (5) 饗庭大, 大川一也, 加速度センサを用いた振動検出によるファジィ推論に基づいた自律移動ロボットの速度制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'17, 2A2-C07(1)-(4) (2017).
- (6) 倉島一輝, 大川一也, LiDAR からの三次元情報に基づく深層学習での明暗に強い物体認識, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2016AC2V2-05 (2016).
- (7) Siyang Xie, 中易隆太郎, 大川一也, 畳み込みニューラルネットワークにおけるカメラや天候の違いに対応するための更新学習, 平成 28 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, TC3-2, pp.57-61 (2016).
- (8) 倉島一輝, 大川一也, 単一固定の測域センサに基づく位置推定用三次元地図構築および進路上の障害物検出, 第 16 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(SI2015), 1K1-4, pp.799-802 (2015).
- (9) 大川一也, 占有格子地図における計測誤差に基づく格子サイズの最適化, 平成 27 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, TC12\_2, pp.318-321 (2015).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大川 一也 (OKAWA KAZUYA)

千葉大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 50344966