

三次元測域センサを用いた視覚障害者のための 駅ホーム転落防止に関する研究

○西野 佑基（筑波大）河 潤秀（韓国海洋大）大矢 晃久（筑波大）坪内 孝司（筑波大）

Fall prevention system at station platform for the visually impaired person using a three-dimensional range sensor

○ Yuki NISHINO (Univ. of Tsukuba), Yun-Su HA (Korea Maritime University),
Akihisa OHYA (Univ. of Tsukuba), and Takashi TSUBOUCHI (Univ. of Tsukuba)

Abstract : There are many accidents that visually impaired people fall from the station platforms. A fall prevention system is proposed in this study. Surrounding information is obtained by using a 3D LiDAR, the border between platform and train tracks is detected, and distance and direction to the border is informed. An experimental system is implemented and tested in a realistic environment.

1. はじめに

駅ホームにおける人身事故を解決するため、全国でホームドアの設置が進められている。国土交通省の調査によれば、平成 28 年度 3 月末においては 9255 駅のうち 665 駅にまで設置が進められているが、全ての駅に対応することはできていない [1]。駅ホームでの事故を未然に防ぐためにはホームドアの設置が急務であるが、山手線の場合は恵比寿駅と目黒駅の 2 駅で 50 億円、山手線全駅での整備費用を約 550 億円と概算しており [2]、このようなコストの高さから早急に全ての駅に設置することは難しいと考えられる。

近年は視覚障害者における転落事故が問題視されており、日本盲人会連合の調査によると、ホーム転落経験があると回答した視覚障害者は 252 名のうち約 3 割の 92 名に及ぶ [3]。転落原因としては、ホーム上の視覚障害者誘導用ブロックを柱が遮っている、ホームの幅が狭い箇所があるといったものなどが挙げられ [4]、いずれも視覚障害者が誘導用ブロックを見失っている場合に事故が発生している。これを未然に防ぐためには、誘導用ブロックがない場合にも、ホーム端と自分との位置関係を知る手段が必要であると考える。

そこで、本研究では視覚障害者に対して、ホーム端と自分の位置関係を通知するシステムを開発する。アプローチ方法としては、まず腰部に装着した三次元測域センサを用いて周囲の環境を取得し、一定以上の高さの段差が存在する場合に、段差との位置関係をアクチュエータを用いて通知する。これにより、ホームでの方向見失いによる転落を回避するように誘導することを目指す。

2. 関連研究

駅ホームで視覚障害者の移動を支援する先行研究として、中山ら [5] は白杖にセンサを取り付け、障害物の検知と、ホームに対して平行な方位の検出、色情報の検知に基づいた、音声による誘導を行うインテリジェント白杖の研究を行っている。三次元測域センサを用いて環境認識を行う先行研究として、江口ら [6] は、点群から高さ 10cm 程度の段差を判定し、移動ロボットの走行可能領域を抽出する研究を行っている。

諏訪部ら [7] は、三次元測域センサを用いることによって駅での視覚障害者の誘導方法について示しているが、本センサを用いることで、駅ホームでホームと線路側の段差が見えることがわかっている。三次元測域センサによって得られた点群から段差を抽出できれば、位置関係を通知することができると考えた。本研究では、三次元測域センサによって駅ホーム端の位置と角度を認識し、視覚障害者に通知する手法を提案する。

3. 三次元測域センサ

本研究ではホームと線路との段差の抽出において、三次元データを取得するために、三次元測域センサ（北陽電機 YVT-X002）を使用する。以降、北陽電機 YVT-X002 を単に三次元測域センサと呼ぶ。本研究においては段差の検出のため、床面の取得が重要である。より大きな走査角度を持つ上部を床面に向け、ベルトを用いて三次元測域センサを地面から 100[cm] 程度離れた腰部に装着した。Fig. 1 に装着時の三次元測域センサの外観を、Table 1 に三次元測域センサの仕様を示す。



Fig. 1: 腰部に装着した三次元測域センサの外観

Table. 1: 三次元測域センサの仕様

項目	仕様
大きさ	W:70[mm] × D:106[mm] × H:95[mm]
重量	750[g]
水平走査角度	210[度]
垂直走査角度	40(-5~35)[度]
水平走査速度	20[Hz]
垂直走査速度	1200[Hz]
検出距離	0.3~8[m](黒紙), 0.3~25[m](白紙)

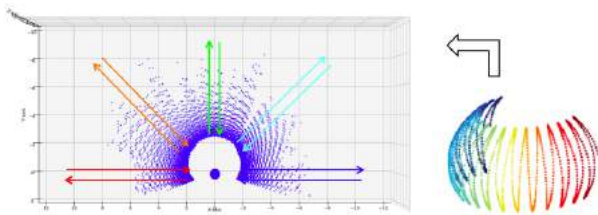


Fig. 2: 三次元測域センサによる床面計測の概念

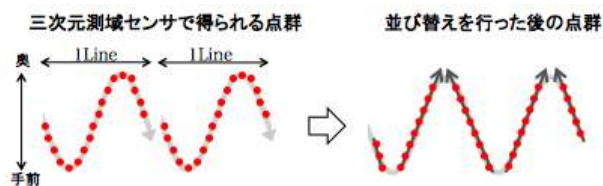


Fig. 3: 三次元点群の分解・並び替え方法 (矢印は列に並び替えた点群)

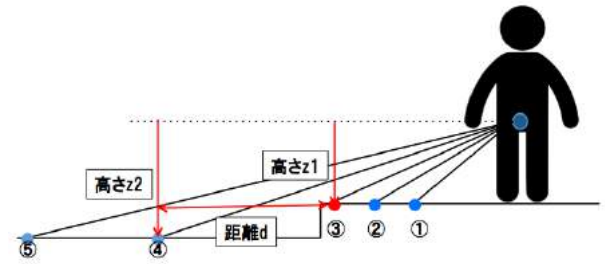


Fig. 4: 並べた三次元点群から段差手前の点を抽出する方法 (腰部の青点が三次元測域センサ、地面が取得した点群)

4. 提案するシステム

4.1 システム概要

まず装着した三次元測域センサで測定を行い周囲の環境を取得する。取得した点群から段差を推定し、自分との位置関係を装着者に通知する。三次元測域センサを Ethernet で RaspberryPi と接続し、三次元測域センサで一定時間ごとにデータを取得する。段差検出アルゴリズムにより、取得したデータから段差の直前と考えられる点を抽出する。抽出した点から、フィッティングを行うことで段差の直線を推定し、位置関係を装着者にフィードバックする。

4.2 段差の検出手法

取得した三次元点群から段差を抽出する方法について述べる。三次元測域センサを水平な状態にし、水平な地面を計測した場合、波状に計測される点群は Fig. 2 のように並ぶことになる。この点群を Fig. 3 のように分解し、三次元測域センサに最も近い足元の点から奥に向かうように一列に並び替える。この一列に並び替えた点群それぞれに対し段差の手前となる点を発見するような処理を行う。

本研究では、プラットホームから線路側への転落を防止するという目的のため、最も手前の段差のみ抽出することを考える。並び替えた点群における連続する 2 つの点を、Fig. 4 のように手前から奥に向かって順に見ていく。この間の地面平面におけるユークリッド距離 d 、もしくは単純な高さ z を比較し、大きく離れていた場合は手前の点を記録して検出処理を終了する。Fig. 4 のケースでは (3) の点が記録される。全ての隣接する点を比較した後も段差が見つからなかった場合は、その並び替えた点群には段差が存在しないものとする。この処理を繰り返すことにより、全ての並び替えた点群から段差手前の点を抽出する。

但し、三次元測域センサによって取得できた自分と最も近い最初の点 (1) が、すでに段差の下にある場合を考慮しなければならない。そこで、三次元測域センサと最初の点の、地面平面におけるユークリッド距離、もしくは単純な

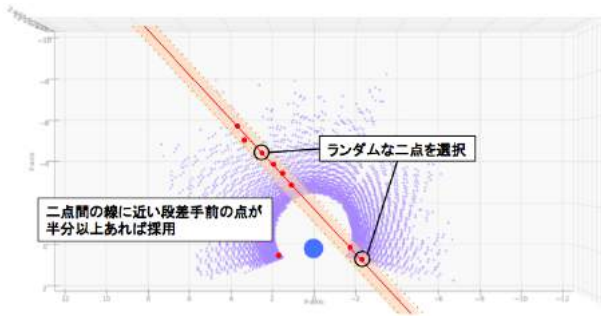


Fig. 5: RANSACによる線抽出方法 (例)

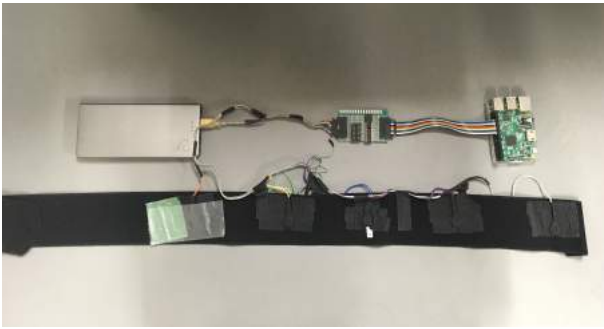


Fig. 6: 制御ハードウェアと振動ベルト外観

高さを比較し、どちらかが設定した値より大きく離れていた場合は、この並びの点群において最初の点が段差の下にあり、正確な判定が行えないものと考えて段差手前の点が存在しないものとする。

これらによって、抽出した点から段差を表す直線を求める処理を行う。ここではRANSACによる方法を検討した。

RANSACはランダムにいくつか線を推定し、最も良い結果となったパラメータを使うことで、最良の推定結果を出力する手法である。最小二乗法などの手法に比べ、誤検出などの要因で外れ値が生じたような場合の多少のノイズに影響されない特性がある。方策をFig. 5を用いて説明する。赤色の点が抽出された段差手前の点とする。まず抽出された段差手前の点の集合から互いに50cm以上離れた二点をランダムに選択し、その二点を用いて線を引く。その線から一定以内の距離にある段差手前の点が、全体の半分以上であった場合、それを保存する。

この処理を繰り返すことで一定本数の線が得られるが、これらの線の中から一番評価値のよい線を段差の線として採用する。評価値としては、直線と一定以内の距離にある段差手前の点との距離の平均値とする。これにより、抽出された段差手前の点から直線を推定し、この直線を段差として装着者との位置関係を求める。

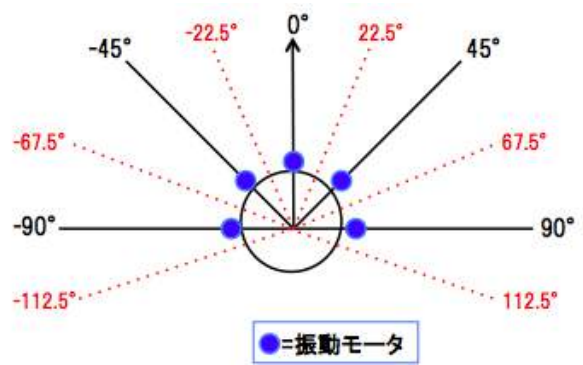


Fig. 7: モータ配置想定角度と反応範囲

4.3 視覚障害者へのフィードバック手法

求められた段差と自分との位置関係を装着者にフィードバックする手法について提案する。条件として、情報が素早く伝えられて、情報が与えられたことに気づきやすく、移動を阻害しないようにコンパクトな設計である必要がある。これらの条件を満たすため、アクチュエータとしては振動モータを用いることとした。

視覚障害者の転落を防止するためには、まずは段差との位置関係を知る必要がある。段差と自分のおおまかな位置関係を把握し、どのくらい危険な位置に立っているかを判断できるようにするため、本研究では特に距離と角度という点に注目する。段差と自分との距離を知ることで、余裕がどのくらい残っているかを知ることができ、さらに角度を知ることでどちらに段差があるかどうかを把握することができる考えた。そのため、まずは段差と自分との相対距離、相対角度を通知することで、転落を防止することを考える。

段差の情報を振動モータを用いた刺激によって視覚障害者に提示する。この腰部に取り付けるアクチュエータを総称して、以降は振動ベルトと呼ぶ。振動ベルトはRaspberryPiに接続することで、任意のモータを動作させることができる。アクチュエータ制御を行うハードウェアと振動ベルトの外観をFig. 6に示す。実際にはRaspberryPi等ハードウェアを腰部ベルトで固定し、これを装着した上から三次元測域センサを装着する。

振動モータ5つがベルトに取り付けられており、各モータはFig. 7のように正面、真横、斜め45度に取り付けられる。段差とする直線と三次元測域センサの中心点の間に引いた垂線が、赤い点線の間に入ったとき、その間に存在する振動モータが振動するように制御する。例えば垂線の角度が図の30度の位置であったとき、右斜め上の振動モータが動作するものとする。

距離に関しては、まずは5段階の振動パターンを設定した。距離が遠い、あるいは線を検出していない間は震えないが、距離の近い線を検出した段階で振動を開始し、距離



Fig. 8: 実験環境 (筑波大学学内 石の広場)

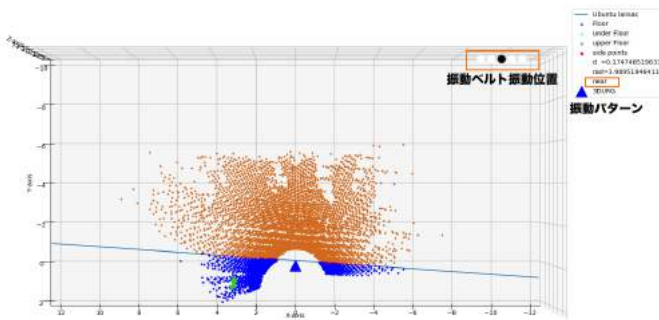


Fig. 9: 実験結果 (筑波大学学内 石の広場)

が狭まるごとに振動パターンをより多く、早いものに変化させる。これに関して、具体的な数値等は実際に実験を行いながら、今後どの程度にすれば伝わりやすいかなど、検討を行っていく予定である。

実際に筑波大学内実験を行った際の環境を Fig. 8、結果を Fig. 9 に示す。点群可視化結果のうち、青色が地面と推定された点、橙色が地面より下の点、赤色の点が段差手前の点である。青色の線が、段差手前の点の集合から RANSAC により得られた線である。また右上に詳細が表示されており、実際のベルトで振動する位置が黒丸、振動しない位置が白丸で示されている。この例では正面のモータが振動していることがわかる。振動パターンに関しては near と表示されており、これは最も近いため、最も早い振動パターンでベルトが動作していることを示す。



Fig. 10: 実験環境 (つくばりんりんロード 藤沢休憩所)

5. 実験

本研究では駅のホームで実際に段差を発見できるかが非常に重要となる。そのため実際の駅と同様の場所で実験を行い、正しく線が抽出されるかという点について検討を行った。

実験は、つくばりんりんロード藤沢休憩所で行った。これは廃線となった駅跡を利用し、現在はサイクリングロードとして活用されている場所であり、Fig. 10 のように駅の跡地が残されている。段差の高さとしては、写真の左側が 90cm 程度で、右側が 80cm 程度となっていた。今回はこの両側のホームでそれぞれ点群の取得を行い、段差が検出できるかどうかを検証した。

実験は Fig. 10 から見て左、右の段差それぞれで行った。実験としては段差から一定の距離に立ち、異なる角度で点群を取得して段差手前の点を抽出し、前述した RANSAC により段差とすべき線を抽出する。その線が自分のいる距離、向いている角度と一致しているかを確かめる。

実験の結果を Fig. 11～Fig. 14 に示す。この可視化結果において、青色の点は床面の点、茶色の点は床より低い点、緑色が床より高い点を示す。今回は高さの範囲を 70cm 110cm とした。左上は三次元測域センサ上にカメラを装着し、計測と同時に撮影した写真である。右上の図が、Fig. 10 から見てどの位置、どの向きに立っているかを示す。

Fig. 11 は左側の段差に立っており、段差に対して垂直な角度を向いて線抽出を行った結果である。この際の線の距離は 146.9cm、角度は -5.9 度であった。おおよそ正面を向いており、距離もほぼ算出されていることがわかる。また、図の段差より右上に見えている点は線路側 (現サイクリングロード) に降りるための階段である。

Fig. 12 は左側の段差に立っており、段差に対して水平な角度を向いて線抽出を行った結果である。この際の線の距離は 145.3cm、角度が 86.4 度であった。段差の手前と、

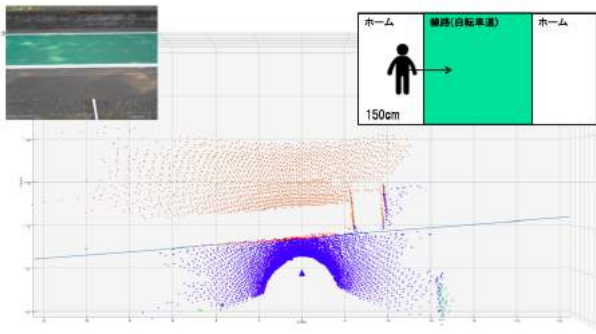


Fig. 11: 実験結果 (つくばりんりんロード 左側の段差,0度,150cm)

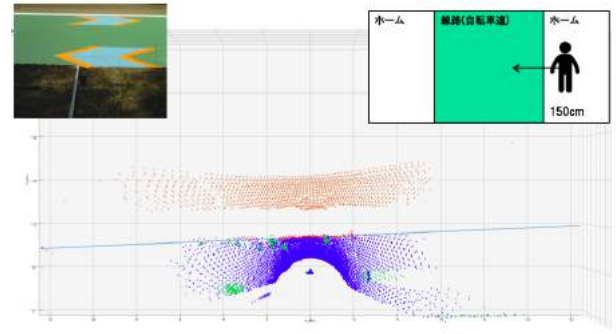


Fig. 13: 実験結果 (つくばりんりんロード 右側の段差,0度,150cm)

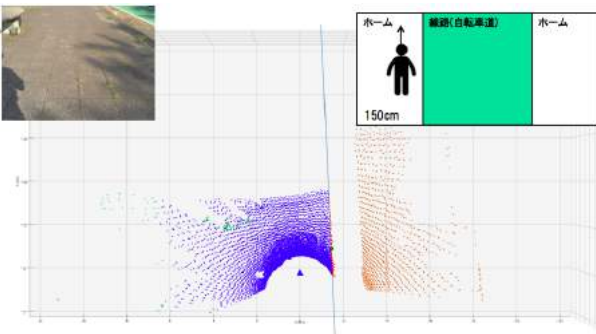


Fig. 12: 実験結果 (つくばりんりんロード 左側の段差,90度,150cm)

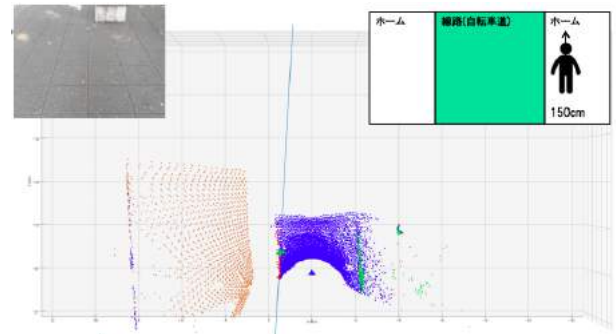


Fig. 14: 実験結果 (つくばりんりんロード 右側の段差,-90度,150cm)

左側に写っているいくつかの緑色の点は、段差の隙間に草が生えており、それが映ってしまったと考えられる。左側の途切れている部分に関しては、三次元測域センサに付随するケーブルが写り込んでしまったため、一部可視化が行えなかった。

Fig. 13 は右側の段差に立っており、段差に対して垂直な角度を向いて線抽出を行った結果である。この際の線の距離は 141.8cm、角度が-0.5 度であった。

Fig. 14 は右側の段差に立っており、段差に対して水平な角度を向いて線抽出を行った結果である。この際の線の距離は 146cm、角度が-86.4 度であった。右側のホームは、右が線路、左が柵の向こうが草地の斜面となっている。可視化結果でも左に柵を捉えた緑色の点群と、反対側に存在する坂が見えている。

以上のように点群を抽出し、フィッティングを行うことで、おおまかに正しい位置・角度の線が抽出できることが分かった。

6. 結言

本研究は、視覚障害者の駅での転落事故を防ぐために、ホームと線路間の段差に関する情報を三次元測域センサで検知して、通知することを目的としている。今回は三次

元点群から段差を発見し、その情報を用いて視覚障害者にフィードバックを行うまでのシステムの作成を行った。また、点検出と段差検出の有効性を検討するため、実際の駅と同様の環境で実験し、どのような結果が得られるかを確かめた。

今後は視覚障害者へのより伝わりやすいと考えられる具体的な通知方法の検討、実際に振動ベルトを用いて駅ホームからの転落を防止できるかの検証を行っていく。

参考文献

- [1] 国土交通省, ホームドアの設置状況 (平成 28 年 3 月末現在). <http://www.mlit.go.jp/common/001134236.pdf>, (参照日, 2017 年 7 月 10 日)
- [2] 東日本旅客鉄道株式会社 (JR 東日本) プレスリリース, "山手線への可動式ホーム柵の導入について-恵比寿駅・目黒駅へ先行導入します-", 2008.06
- [3] 日本盲人会連合: "転落事故に関するアンケート調査結果", 同連合公式ホームページ, 2011. <http://nichimou.org/wp-content/uploads/2014/02/1105tenrakujikoan.pdf>, (参照日, 2017 年 7 月 11 日)
- [4] 斎藤早希子, 大西一嘉: "視覚障害者の視点からみた駅ホームの整備課題に関する研究", 日本建築学会近畿支部研究報告集 計画系, Vol.46, 2006.
- [5] 中山尚也, 中内靖: "駅ホームにおける安全歩行を支援するインテリジェント白杖に関する研究", 日本機械学会論文集, Vol.83, No.850, 2017.
- [6] 江口純司, 尾崎功一: "三次元測域センサを用いた走行可能領域の抽出—一般市街地における自律移動ロボットの開発—", 計測自動制御学会論文集, Vol.52, No.3, 152/159, 2016.

- [7] 諏訪部純, 大矢晃久:“3次元測域センサを用いた視覚障害者誘導システムの開発-階段を含めた誘導-“, 日本機会学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2A1-J02(1-4)(2017.5).