

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 ～ 障害物の検知と回避～

諏訪部 純^{†1}, 大矢晃久^{†1}

Proposal of the guidance system for the visually impaired person using a three-dimensional range sensor

～ Avoidance and detection of obstacles～

Kiyoshi SUWABE^{‡1}, Akihisa OHYA^{‡1}

Abstract— We suggest a pedestrian navigation system for visually impaired person which can guide to a destination along a route. we build the system using 3D Range Sensor. The sensor which is mounted on the waist obtains the current location and the orientation of user. Also Belt-type vibration device which is worn on the waist presents a direction of travel.

1. はじめに

目の見えない人や弱視などの視覚障害者は健常者に比べて様々な行動が制限され、特に未知の環境ではより消極的になってしまう。そのため、視覚障害者の歩行補助をするものとして盲導犬と白杖が存在する。しかし、これらのものは段差や障害物等を検知することはできるが、初めて訪れた場所に置いて目的地への誘導を行うことはできない。

そこで、本研究では、視覚障害者に対して目的地までの歩行誘導を行うシステムの開発を行う。視覚障害者を目的地まで誘導するためには、まず、その人物がどこにいるのかを把握する必要がある。そこで、移動ロボットの用いられるセンサとそれを用いた自己位置推定手法を利用して、視覚障害者の自己位置を求める。測域センサを利用して予め生成しておいた施設内の地図データと腰に装着した測域センサのスカンデータをマッチングすることで自己位置を推定する。また、目的地までの経路データを WayPoint で用意し、この経路データと推定された自己位置から、どの方向へ進めばよいのかを求め、それを視覚障害者へ伝えることにより、誘導していく。また、視覚障害者への進行方向の伝達方法として、モータの振動により進行方向を利用者に伝達するベルト型振動デバイスというものを開発した。

以上の手法を用い、具体的な目標として駅における歩行誘導を目指す。具体的な目標として、駅構内での行動を目指し、改札口やホーム内等での誘導方法も考える。従前において、上記の誘導システムを開発し、目隠し状態の被験者を目的地まで誘導できることを確認した。本稿では、地図データ上に存在しない障害物の検知方法及び回避方法を提案し、この手法を用いた誘導実験を行ったので報告する。

2. 関連研究

視覚障害者の目的地への誘導を目的とした研究では、まず、深沢らの研究が存在する。この研究は白杖の先端が、誘導路に設置してあるカラーテープの上を通過するとパイプレータが振動し、利用者が誘導路上にいることを知らせる [1]。しかし、この研究では、カラーテープを設置した場所にしか行くこ

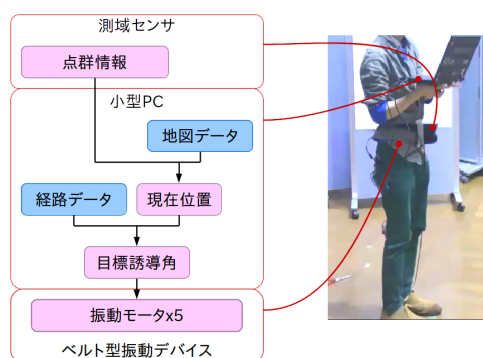


Fig. 1 system

とができず、また、白杖の届かない範囲において周囲の環境を認識することができない。本研究では地図データ内の範囲に限れば自由に目的地を設定することができ、また、測域センサにより、障害物などの周囲の環境を認識することが可能である。

Kuramochi らの研究では白杖に kinect を搭載し、kinect がベンチやエレベータなどを見つけると白杖を振動させ、目的の物体のある方向を提示する [2]。しかし、この研究システムでは kinect の撮影範囲内に物体がなければ誘導することができず、また、物体の方向のみが分かり、経路選択はできないため、通路を曲がったり障害物の無い安全な道を選択したりすることができない。それに対し、本研究では地図データを元に、施設内において通るべき経路を指示するため、安全に誘導することが出来る。また、本稿で提案する障害物回避手法により、地図データに存在しない障害物を検知し回避できるため、より安全な誘導が可能となる。

3. 誘導システム

3.1 3次元測域センサ

本研究では3次元測域センサを腰に取り付け前方に向けることで歩行誘導を行う。測域センサは北陽電機株式会社製の3次元測域センサ、YVT-X002を使用し、腰に装着する。3次元測域センサの外観を Fig. 2 に示す。また、より安全に歩行誘導を行うためにはユーザーの足元の情報が重要だと考えられる。このセンサの垂直走査角は上方 35[度]、下方 5[度] となっており、センサをそのまま取り付けると取り付け位置よりも下の情報がほとんど取得できない。そのため、本研究ではセンサを上下逆さまにして腰部へ取り付け、腰よりも低い高さ

^{†1} 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科

^{‡1} Graduate School of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba



Fig. 2 Appearance of YVT-X002



Fig. 3 Appearance of the belt-shaped vibrating device

のものを見れるようにする。

3.2 自己位置推定

本研究では3次元測域センサを用いて自己位置推定する。3.1章で述べたように取り付けられた3次元センサから取得したデータには地面のデータも含まれてしまうが、自己位置推定において地面データは不要である。そこで、ある一定の高さよりも低い位置にあるものは無効なデータとして扱うこととし、地面データを除去した点群を生成した。本研究では地面から30cmの高さをしきい値とした。この地面データを除去した点群をxy平面上に射影し、2次元平面状にする。この2次元平面データは腰の高さより低い位置にある物体の位置情報も含んだデータであり、そのデータを用いて従来手法により地図生成と自己位置推定を行う。

また、センサは人体に装着しているため、歩行中にセンサが傾くことがあり、点群の位置関係のズレや、地面のデータを認識により、自己位置を誤推定することがある。そこで本研究に使用している3次元測域センサに標準搭載されているIMU(InvenSense社製,MPU-9250)から取得できる加速度と角速度のデータを用い、相補フィルタを利用しセンサの姿勢を求め、点群を補正した。

3.3 誘導方法

基本的な誘導方法としては、最近傍WayPointの次のWayPointに向かうようにする。WayPointは出発地点と目標地点の間に適当な間隔で設定するが、曲がり角や駅の改札口の様な狭い道等、正確に経路を追従する必要があるときは細かくWayPointを設定する。このように設定されたWayPointをたどる様にベルト型振動デバイスが指示を出す。

ベルト型振動デバイスには5つの振動モータ(TPC社製FM32F)が搭載されており、腰に巻く形で装着する。ベルト型振動デバイスの外観をFig.3に示す。各モータの振動により、直進、右旋回、左旋回、右平行移動、左平行移動の5つの指示により、誘導していく。振動モータと移動指示の対応

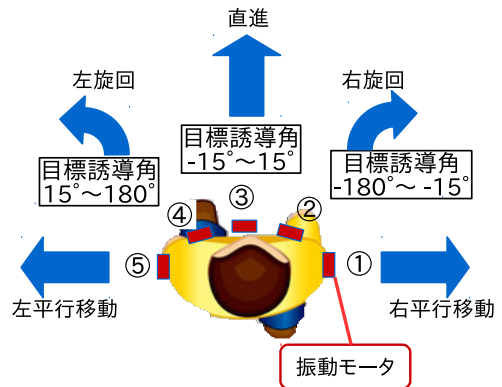


Fig. 4 Corresponding view of the movement instruction and the vibration motor

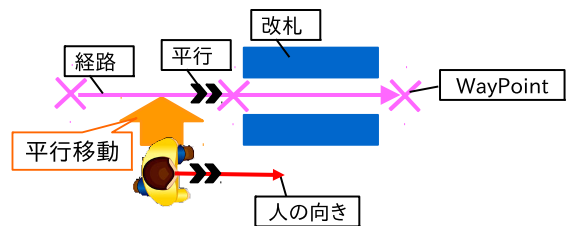


Fig. 5 Conditions of parallel movement instruction

図をFig.4に示す。目標誘導角が-15度から15度の時は直進、-180度から-15度の時は右旋回、15度から180度の時は左旋回指示となる。また、平行移動指示は改札入口等の狭い道に入るときに微調整としての役割を主とし、Fig.5に示す様に、改札入口などの正確な誘導が求められる場所において、人の向きと規定経路が同じ方向を向き、かつ、人が経路からずれている時に指示が出るものとした。ただし、経路から大きくずれている時(0.7m以上ずれている時)は平行移動ではなく旋回指示ができるようにした。

4. 障害物回避

誘導時、地図データに存在しない物体が経路上に存在した場合、それを回避する必要がある。そのため、目の前に障害物が存在することを検知する手法と、障害物を回避できる新たな経路を求める手法について検討した。また、改札入口付近や改札通過中などでは、障害物の検知と歩行停止の指示は行うが回避経路の生成は行わないものとする。

4.1 障害物の検知

障害物の検知には3.2章の地面データを除去した点群を用いて行う。しかし、この点群は一定の高さより低い点を地面データとして除去しており、低い障害物は検知することができない。そこで、自身の周囲をグリッドに分割し、Fig.6に示すように、そのグリッド内における高さの最小値と最大値の差がしきい値以上ある場合には障害物があると判断する手法も取り入れた。その結果、高さ15cm以上の物体を認識することが可能になった。障害物検知の様子をFig.7(a)、検知した物体データのプロットをFig.7(b)に示す。黒点は地面データを除去したスキャンデータ、黄点はグリッド内の高さの差で求める手法によって検知した障害物である。地面データを除去した点群では見えない障害物が、グリッド内の高さの差で求める手法では検知できていることが確認できる。

障害物が目の前に存在した場合、視覚障害者は一度停止す

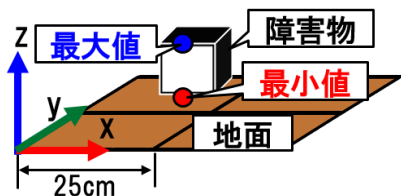
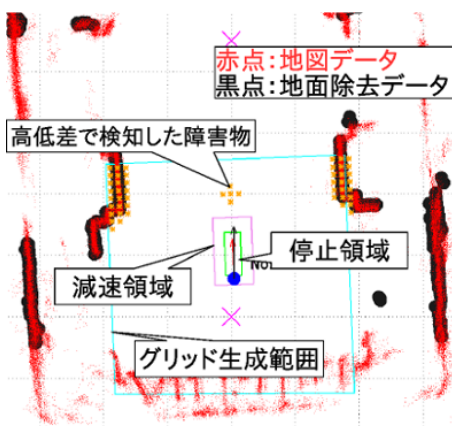


Fig. 6 Method of detecting the obstacle by the difference in height



(a) State of the obstacle detection



(b) Plot of obstacles

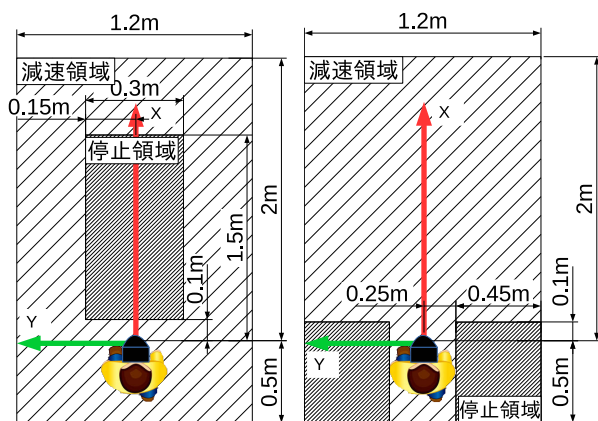
Fig. 7 Obstacle detection

の必要があると考えるが、急に停止指示が来ても止まりきれずに衝突してしまうおそれがある。そのため、停止指示の前に、歩行速度を減速させる指示を出す必要があると考えた。本研究では減速領域と停止領域というものを Fig. 8(a) の様に定義し、各領域に点群が存在した場合に停止指示、減速指示を出す。ただし、3.3 章で説明した平行移動指示が出された場合は Fig. 8(b) の様な領域に変化する。

ベルト型振動デバイスにおける減速指示と停止指示の指示方法は次の様に設定した。減速指示の場合、0.4 秒間方向指示、0.1 秒間の停止、0.15 秒間全モータ振動、0.1 秒間の停止、を繰り返す様に設定し、停止指示の場合、0.3 秒間方向指示、0.1 秒間の停止、0.5 秒間全モータ振動、0.1 秒間の停止を繰り返す様に設定した。進行方向モータの振動と全モータ振動を繰り返すことにより、減速指示中、停止指示中にも進行方向が分かるようになっている。

4.2 回避経路の生成

回避経路は障害物が停止領域に存在する状態が 3 秒間継続された時に生成されるものとした。ただし、改札入口や改札通過中などには生成しないものとした。回避経路の生成方法として高承明らによる、Distance Transform 法を基本とした



(a) Each area at the time of normal (b) Each area at the time of parallel movement in the ticket gate entrance

Fig. 8 Deceleration and stop area

規定経路になるべく追従できる経路計画アルゴリズムを実装した [4]。このアルゴリズムでは、Distance Transform 法を基本とするが、指定経路上とそれ以外の重みを帰ることによって規定経路上を走行する様なアルゴリズムとなっている。回避経路の生成は改札入口や改札通過中などには行わないものとする。

回避経路が求まると新たな Way Point が設定されるが、3.3 章で記述したように、被験者は最近傍 Way Point の次の Way Point に向かうようになっており、新しく設定された Way Point が既に最近傍である場合にはその次の Way Point に向かうため回避行動を取れなくなってしまう。そこで、新しく設定された Way Point の 0.3m 手前にもう一つ Way Point を設定する。このように、2 つの Way Point があることで正確に Way Point を迎えるようになり、障害物を回避することができる。

5. 実験

提案した手法を用いて被験者を目的地まで歩行誘導する実験を行った。目隠しをした被験者が、道中に存在する改札模型を通過し、障害物を回避しつつ、目的地までたどり着けるかを検証した。

5.1 歩行誘導

視覚障害者の誘導を想定しているため、被験者は目隠しをした状態で出発地点から目的地まで目指す。実験環境は大学施設内とし、予め経路を設定しておき、その経路を辿るように誘導する。また、改札と同じサイズのダンボール箱を用意し、駅の実際の改札幅と同じ幅 (約 60[cm]) に設置し、その間を通過するように経路を設定した。改札通過時の実験風景を Fig. 9(a) に示す。

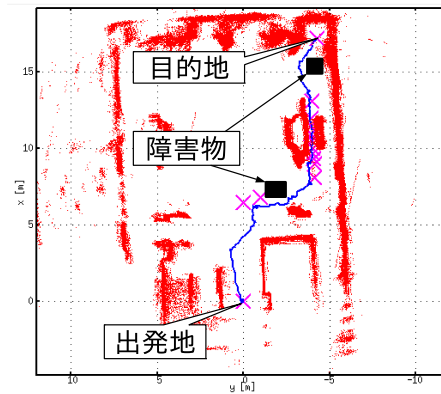
実験の結果出発地点から目的地まで被験者を誘導することができた。被験者が実際に通った誘導軌跡を Fig. 9(b) に示す。また、改札幅のダンボールの通過では、その場のみ障害物回避システムを無効にすることで、入口付近で平行移動による位置合わせ後、直進し、ぶつからずに通過することができた。

5.2 障害物回避

歩行誘導中、経路上に地図データには無い障害物が存在した時に、その障害物を回避できるか検証した。被験者はベルト型振動デバイスの指示に従い歩行してもらい、減速指示、停



(a) Experiment landscape of induction experiments (at the time of ticket gate pass)

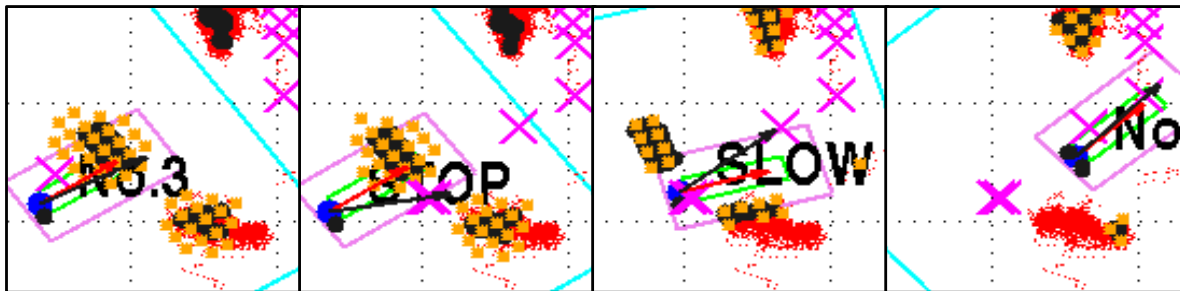


(b) Induction trajectory

Fig. 9 Obstacle avoidance experiment



(a) State of obstacle avoidance



(b) State of avoidance path generation

Fig. 10 Obstacle avoidance

止指示が出た時にはそれぞれの指示にしたがって行動してもらおう。停止指示が出た時は約3秒間その場で待機してもらい、回避経路が生成されたら、ベルト型振動デバイスの指示に従い歩行を再開してもらおう。

実験の様子を Fig. 10(a) に、回避経路が生成される様子を Fig. 10(b) に示す。図はそれぞれ右へ行くほど時間が経過しているものとする。実験の結果、障害物が経路上に存在した時、被験者はぶつからずに止まることができた。また、その3秒後に回避経路が生成され、被験者が障害物を回避しつつ目的地まで辿り着くことも確認できた。

6. おわりに

本稿では視覚障害者誘導システムの中で、地図データ上に存在していない障害物の検知手法と回避手法について提案し、実験を行った。実験の結果、誘導経路上に障害物が存在した時、被験者はその障害物にぶつかる前に止まることができたことを確認した。また、その後、障害物を回避する新たな経

路を生成することで、障害物を回避しつつ目的地まで誘導することができることも確認した。

障害物の回避に関しては、今後様々な環境や経路において実験を行い、失敗ケースがないか確認及び評価を行っていく予定である。また、今後は、階段の昇降の誘導方法やホームでの自己位置推定等について検討していく。

参考文献

- [1] 深沢 仁, 曲谷 一成: “電子白杖と色分けされた誘導ラインを用いた視覚障害者道案内装置”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A2-D03, 2012.
- [2] Y. Kuramochi, H. Takizawa, M. Aoyagi, N. Ezaki and M. Shinji: “Recognition of Elevators with the Kinect Cane System for the Visually Impaired”, Proceedings of the 2014 IEEE/SICE International Symposium, pp.128-131, 2014
- [3] 河合 道成: “測域センサとベルト形振動デバイスを用いた歩行誘導システムの提案-屋内での目的地までの誘導-”, 第32回日本ロボット学会学術講演会, 3E2-01, 2014.
- [4] 高 承明, 大矢 晃久, 油田 信一: “指定経路を追従する移動ロボットのための障害物回避走行アルゴリズム”, 第10回システムインテグレーション部門講演会予稿集, 2141-2144 2009.