

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—

諏訪部 純 (筑波大)

正 大矢 晃久 (筑波大)

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

-Guidance including stairs-

Kiyoshi SUWABE, University of Tsukuba

Akihisa OHYA, University of Tsukuba

Abstract— We are developing a pedestrian navigation system for visually impaired person which can guide to a destination along a route. A 3D range sensor which is mounted on the waist obtains the current location and orientation of user. Also, belt-type vibration device which is mounted on the waist presents a direction of travel. In this paper, we propose a guidance system for routes including stairs.

Keywords: Pedestrian Navigation, Laser Range Scanner, Wearable device

1. はじめに

視覚障害者の歩行補助道具として、白杖や盲導犬が存在する。しかし、これらは段差や障害物等を検知することはできないが、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、白杖や盲導犬と同じように障害物を検知する機能に加え、視覚障害者に対して目的地までの道案内を行えるシステムを開発する。Fig. 1 にシステム構成図を示す。アプローチ方法としては、まず腰部に装着した3次元測域センサを用いて視覚障害者の施設内での現在位置を求め、その現在位置と予め設定した経路データから誘導方向を導出する。次に、ベルト型振動デバイス [1] を腰に巻く形で装着し、誘導方向をデバイスに搭載されている5個のモータの振動により、視覚障害者に伝えることで道案内していく。また、本手法では、3次元測域センサにより、周囲の環境情報を取得でき、障害物や他の歩行者を検知できる。これにより、障害物等が経路上に存在した場合はそれを回避するように誘導する。

また、本研究で検討する具体的な誘導場面として、駅構内での行動を目指す。駅での誘導を実現するためには、改札を通過できる誘導や、駅ホームへ行くために階段を含めた誘導を行う必要がある。そのため、本研究では、これらの各場面での誘導方法についても検討する。

現在までに、目隠し状態の被験者を、同じ階層のみにおいて目的地まで誘導できるシステムを開発してきた [2] [3]。しかし、駅のホームへ向かうためには階段を上り下りする必要がある。本稿では階段を含めた誘導方法について検討、実験したので報告する。

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、深沢らの研究がある。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、この誘導路を辿ることで目的地へ行くシステムとなっている [4]。しかし、この研究では、カラーテープ上でしか誘導できず、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

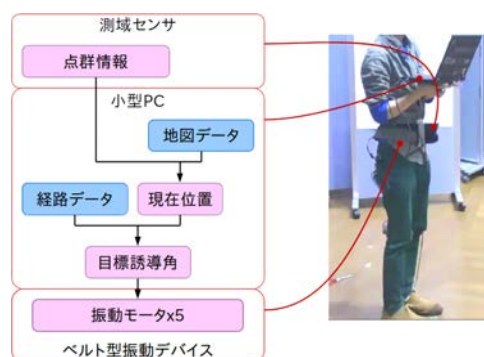


Fig. 1 システム構成

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し、それに対応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 [5]。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、物体のある方向のみが分かるため、障害物がある場合にそれを避けるよう誘導することはできない。それに対し、本研究では地図データを元に、目的地までの経路を指示し、また、障害物があった場合でもそれを回避する経路を生成することが出来る。

3. 基本的な誘導方法 [2]

3.1 自己位置推定

本研究では、北陽電機製の3次元測域センサ YVT-X002 を用いて自己位置推定する。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、足元の情報を得られる様に、走査角の大きい方を下に向けて腰部に装着する。3次元測域センサの外観を Fig. 2 に示す。

3次元測域センサを利用した自己位置推定方法としては、まず、YVT-X002 に標準搭載されている IMU(MPU-9250) を利用して、点群の傾き補正を行う。次に3次元測域センサから取得されたデータの内、ある一定の高さより低い位置にある点群を除去し、地面データを削除する。本研究では地面が



Fig. 2 YVT-X002 の外観

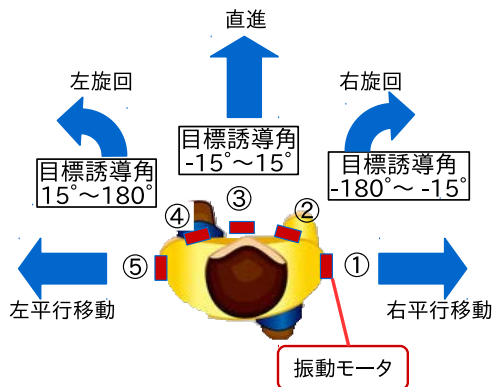


Fig. 3 振動モータと移動指示の対応図



Fig. 4 ベルト型振動デバイスの外観

ら 30cm の高さを閾値として点群を削除した。地面データを削除した点群を xy 平面上に射影し、筆者らの研究 [1] で用いている Monte Carlo Localization (MCL) により自己位置推定を行った。

3.2 誘導方法

基本的な誘導方法としては、まず Waypoint を設定することで、誘導させたい経路を予め決めておき、3.1 章の自己位置推定で求めた視覚障害者の現在位置情報から、視覚障害者が進むべき方向 (誘導方向) を求める。次に、ベルト型振動デバイス [1] を利用することで、その誘導方向を視覚障害者に指示する。

3.2.1 誘導方向の導出

視覚障害者の誘導方向として、Fig. 3 に示す 5 種類を用意した。本研究において、システム利用者が次に目指すべき Waypoint (目標 Waypoint) の方向を示すものを目標誘導角と定義し、直進、右旋回、左旋回は、この目標誘導角によって誘導方向を決める。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、人の向きと経路方向 (Waypoint 間を結んだ直線) が平行で、かつ、人が経路からずれている時に平行移動指示を出すものとした。

Table 1 ベルト型振動デバイスの振動パターン

指示	振動パターン
方向指示	誘導方向モータ (0.5[sec]) モータ停止 (0.5)
減速指示	誘導方向 (0.4[sec]) モータ停止 (0.1) 全モータ振動 (0.15) モータ停止 (0.1)
停止指示	誘導方向 (0.4[sec]) モータ停止 (0.1) 全モータ振動 (0.5) モータ停止 (0.1)

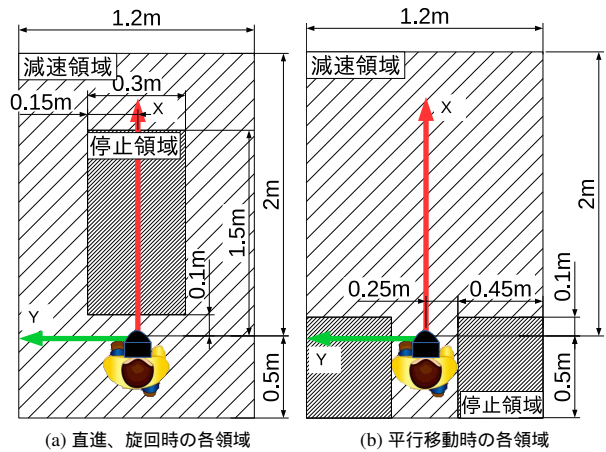


Fig. 5 減速、停止領域

3.2.2 ベルト型振動デバイスによる誘導指示

誘導方向が求まったら、ベルト型振動デバイスにより、その方向を視覚障害者へ指示する。ベルト型振動デバイスの外観を Fig. 4 に示す。このベルトを腰に巻くように装着し、モータの振動によりどの方向に進めばよいか分かるシステムとなっている。振動モータと誘導指示の対応図を Fig. 3 に示す。各誘導方向に対応した振動モータが振動することで進行方向を指示する。振動をわかりやすくするために、モータは 0.5 秒の振動と 0.5 秒の停止を繰り返すものとした。また、方向を指示する他に、ゆっくり歩行してもらうための減速指示と歩行を止めてもらう停止指示を設けた。各指示におけるベルト型振動デバイスの振動パターンを Table 1 に示す。

3.3 障害物回避

障害物回避の流れとしては、まず Fig. 5 に示す様な減速領域と停止領域を設ける。障害物が減速領域に存在する場合には減速指示、停止領域に存在する場合は停止指示を出す。その後、障害物がすぐになくなった場合は、そのまま誘導を続けるが、一定時間以上存在し続けた場合、回避経路の生成を行う。

本研究において、回避経路は障害物が停止領域に存在する状態が 3 秒以上継続された時に生成されるものとした。回避経路生成手法には、高ら [6] による Distance Transform 法を基本とした手法を実装し、これにより既定経路上に障害物が置かれた時にそれを回避する新たな経路を生成することが可能となった [3]。

4. 階段の誘導システム

現在利用しているセンサでは足元の情報を取得できない。そのため、現状では階段 1 段目の詳細な位置や高さ等は自身の足で確認してもらい上り始めることとした。本研究では、

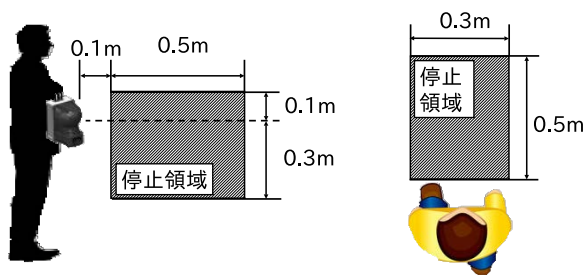


Fig. 6 階段での停止領域

階段を上り始めたかを判定する昇降開始判定と、階段を上り終えたかを判定する昇降終了判定を開発した。

階段での誘導の流れは、まず前章までで述べた誘導システムにより階段の手前まで誘導する。この時、手すりに近いところに WayPoint を設置し、そこまで誘導する。階段手前まで到達したら、昇降開始判定システムにより階段を上り始めたかどうかの判定を開始する。システムが上り始めたことを認識したら、昇降終了判定システムを起動する。その後、手すりをつたいながら階段を昇降してもらい、次の階層へ移動する。階段昇降中、停止領域を Fig. 6 の様に設け、前に人等がいた場合はその場で待機してもらうものとした。昇降終了判定により階段を上り終えたと判定したら、地図を次階層のものに変更し、前章までの誘導システムにより誘導を続ける。

4.1 昇降開始判定

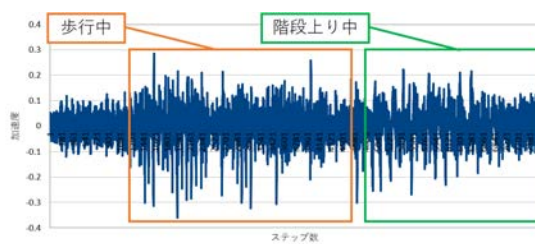
昇降開始判定は、本研究で利用している 3 次元測域センサ YVT-X002 に標準搭載されている IMU の加速度センサを用いる方法を検討した。このセンサから取得できる重力方向の加速度データを利用して、人が階段を昇降しているのか、平地を歩いているのか等を判別する。

Fig. 7(a) に示す加速度そのままのデータではノイズが多いため、25 ステップ (0.25 秒) の移動平均をとり、ノイズ除去を行った (Fig. 7(b))。ノイズ除去したグラフの歩行中の波形と階段昇降中の波形を比較すると階段昇降中の波形の方が、振幅が大きく、周期が長いことが分かる。これらの特性の違いから、各値の絶対値を取った後、歩行中の波形の高周波成分を除去するようなフィルタをかけることで、歩行中と階段昇降中を閾値で判別できるのではないかと考えた。Fig. 7(c) に絶対値を取り 75 ステップ (0.75 秒) で移動平均を取ったグラフを示す。フィルタ処理後において、階段到達までの歩行中の最大値を閾値として設定し、フィルタ処理後の加速度の値が閾値を超えた時に階段昇降を開始したと判定する。

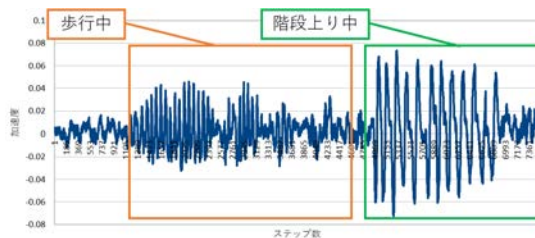
4.2 昇降終了判定

昇降昇降終了判定では、視覚障害者が階段を上り終わったかどうかを判定する。本研究ではセンサから地面までの距離を利用する手法と自己位置推定の最大尤度を利用する手法について検討した。以下にそれぞれの手法について説明する。

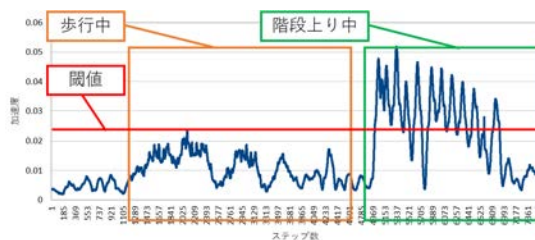
センサから地面までの距離を利用する手法の流れとしては、まず、視覚障害者誘導システムを起動した時の初期化処理として、地面を検出しセンサから地面までの距離を取得する。その後、階段の前まで歩行し、階段を上り始めたら昇降終了判定を起動する。起動後、システムは地面検出を行い続け、地面を検出でき、かつ、その時のセンサから地面までの距離と初期化時に取得した距離の差が閾値以内 (実験では 8cm とした) であ



(a) 加速度



(b) 25 ステップで移動平均 (ノイズ除去)



(c) 絶対値 75 ステップで移動平均

Fig. 7 加速度の各フィルタ処理

れば上り終えたと判定する。地面検出の手法としては、Point Cloud Library (PCL) の RANSAC による平面検出を利用した。RANSAC によって平面を検出し、その平面が水平かどうかを確認する。水平だった場合、その面の点群数が一定数以上存在したら地面と判定する。水平でなかった場合は、壁などが検出されていると考えられるため、その検出平面を点群から除去し、残りの点群から再度 RANSAC により平面検出を行い、水平面が検出できるまで繰り返す。また、より地面を検出しやすくするために、初期化時に検出した地面から上方 30cm の高さより上に存在する点群を除去したものをを用いて平面検出を行った。

次に、自己位置推定の最大尤度を利用した手法について説明する。この最大尤度は地図データとスキャンデータがどの程度マッチしているかを示すため、壁の形状などの周囲の環境によって、得られる最大尤度の値は違うものになってしまう。そこで、本研究では階段を上り終わった位置での最大尤度を予め調べておき、その値と誘導時に得られた最大尤度が近い値かどうかを比較することにより、階段を上り終わった場所に居るかどうかを確認する。

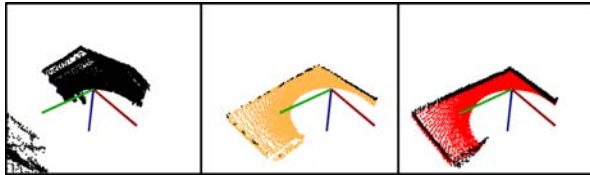
以上のような、センサから地面までの距離を見る手法と自己位置推定の最大尤度を見る手法の 2 つの方法で確認することで、より正確な判定を行う。

5. 階段を含めた誘導実験

4 章で提案した手法を用いて階段を誘導する実験を行った。被験者は目隠しをつけ、スタート地点から階段地点まで歩行、その後、4 章で説明した様に階段を上り始め、上り終わった



(a) 階段誘導の様子



(b) 地面検出結果のプロット

Fig. 8 階段誘導実験

ら、再び平地を歩行していく。以下に、昇降開始判定、終了判定の部分についてそれぞれ実験結果を考察する。

5.1 昇降開始判定の結果と考察

平地歩行誘導から階段上り終わるところまでで、判定が成功した時の①加速度データ、②ノイズ除去(25ステップによる移動平均)データ、③絶対値 移動平均(75ステップ)データを Fig. 7 に示す。Fig. 7(c) に示した③のデータでは歩行中と階段上り中の値に差があり、閾値にて判別できていることが確認できた。

しかし、歩行速度が速かったり、上下の揺れが激しかったりすると、③において歩行中の値が階段昇降中の値を超えてしまう場合があった。これは、③のフィルタ処理が4.1章で説明した振幅の大きさや周期の長さの特性をフィルタで抽出するものであるため、歩き方に依存した結果が出てしまうことが原因と考えられる。そのため、速く激しく歩いてしまうと、歩行中の振幅が階段昇降中の振幅を超えてしまうことが起こりえる。このことから、全ての人物や歩き方において完璧に昇降開始判定を行うことは困難であることが分かった。現状では、測域センサは天井データを取得することができないが、これを取得できるセンサがあれば、天井までの距離計測や3次元的自己位置推定によって、階段を上り始めたかどうか判定できるようになるのではないかと考えている。

5.2 昇降終了判定の結果と考察

階段を上っている様子を Fig. 8(a) に、それぞれの時点で地面付近の点群データを示した図を Fig. 8(b) に示す。Fig. 8(b)において、検出した地面(水平面)はオレンジに描画、その地面が階段を上り終えたと判断する条件に当てはまる場合は、その地面を赤で描画している。階段上り途中の点群を見ると、地面が検出できていないことが確認できる。階段を登り終わる一段手前での点群データを見ると地面の点群がオレンジ色に変化しており、地面検出ができていないことが確認できる。階段を上り終わった時の点群データを見ると、点群が赤色に

変化しており、上り終わったことが判定できていることが確認できた。

また、自己位置推定の最大尤度による判定処理は、地面との距離判定で被験者が階段を上り終わると判断された時に実行される様にした。今回の実験環境において階段を上り終わった場所で予め調べた最大尤度は約2000~3000の値を示していたため、実験時の最大尤度がその中に入っていたら上り終えた場所に居るとを判断するようにした。また、2000~3000の間に入っていなかった場合はエラーとしてシステムを終了することにした。実験の結果、階段を上り切らずに元の位置に戻った時、システムは階段を上り終えてないと判断、次階層まで上った時は階段を上り終わると判断し、システムが正しく機能していることを確認できた。階段を上り始める前の場所と上り終わった場所の環境が似ているときは間違えてしまう可能性もあるが、本研究で利用した実験環境においては正しく判定できることが確認できた。

6. おわりに

本稿では筆者らが提案している視覚障害者誘導システムの中で、階段を含めた誘導方法について検討し、昇降開始判定と昇降終了判定の2つのシステムを開発した。昇降開始判定に関しては、実験の結果、歩行速度や階段昇降速度による影響が強く、全ての場合で正しく判定することはできなかったが、歩き方、歩行速度等にある程度制限を設ければ、階段を上り始めたことを判定することができた。また昇降終了判定は、本実験環境において階段を上り終わったことを確認することができた。

今後は、実際の駅や他の様々な環境での実験を行い、本システムの有用性を検証していく予定である。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP16K00349 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 河合 道成, 大矢 晃久: “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.
- [2] 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のための誘導システムの提案”, 機会学会 ロボティクスメカトロニクス講演会講演概要集, 2A1-14a1, 2016.
- [3] 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-障害物の検知と回避-”, 第17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講演論文集, pp. 2400-2403, 2016.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.