

# 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

諏訪部 純<sup>†1</sup>, 大矢晃久<sup>‡2</sup>

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

\*Kiyoshi SUWABE<sup>‡1</sup>, Akihisa OHYA<sup>‡2</sup>

**Abstract**— We suggest a pedestrian navigation system for visually impaired person which can guide to a destination along a route. In the previous research, we build the system using Two-Dimensional 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 wounded on the waist presents a direction of travel. But this system cannot detect objects which are not as high as the sensor. So we use Tree-Dimensional Range Sensor. We estimate the self-position and detect obstacles using Tree-Dimensional Range Sensor.

**Keywords:** Pedestrian Navigation, Laser Range Scanner, Wearable device

### 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。例えば、健常者にとっては電車に乗って隣町へ行き買い物をするなどと言ったことはごく当たり前のことだが、視覚障害者はそれを単独で行うことはとても困難である。

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。盲導犬は視覚障害者の歩行補助としてはとても優れており、段差などの情報に加え、人や車の接近などの危険にも対応することができる。しかし、盲導犬は日本に約 1000 頭しかおらず育成にコストがかかるため、すべての視覚障害者が利用することは難しい [1]。また、白杖は杖の先にある障害物や溝、段差などを把握でき、コストもほとんどかからない。これを利用することで視覚障害者の単独歩行を助けることができる。しかし、白杖は杖の届く範囲の情報しかわからず、特に初めて訪れる環境においては目的地への経路を把握することができず、視覚障害者を誘導することができない。このように、視覚障害者を目的地へ誘導するのに優れたデバイス等は殆ど存在しないというのが現状である。

そこで、本研究では、視覚障害者に対して歩行補助や目的地までの誘導を行う案内システムの開発を行う。本研究の先行研究として、2次元の測域センサとベルト型振動デバイスを用いるものがある。これは腰に装着した2次元測域センサにより、ユーザの現在位置と向いている方向を取得し、腰に巻きつけたベルト型振動デバイスにより、ユーザーが進むべき方向を触覚的に提示することで誘導を行うものである [2]。しかし、これに用いている測域センサは2次元であるため、腰の高さにあるものしか見ることができない。例えば、建物の壁等は把握することができるが、ベンチや机など自分の腰よりも低いものに関しては把握することができず、誘導するときにぶつかってしまう可能性もある。

本研究では3次元測域センサを用いることで先行研究をセンサ的にも行動範囲的にも3次元化する。3次元測域センサで階段や障害物を検知するとともに自己位置推定を行い、より安全に目的地まで誘導するシステムを提案する。具体的な

目標としては駅における歩行誘導を行えることを考え、駅の自動改札機を抜け、階段を上り降りし、ホームを移動して電車に乗り込むことを目指す。

### 2. 提案手法

#### 2.1 概要

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、ロボットに用いられる様な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。本研究では、3次元の測域センサを利用し、予め用意した施設内の地図データと測域センサでスキャンした点群データをマッチングすることにより、自己位置を推定する。

また、経路データというものがおり、これは出発地点と目的地地点を定め、その間に適当な間隔にWayPointを置き、目的地までの経路を示したものである。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。

進行方向を視覚障害者へ伝える方法としては本研究室で開発されたベルト型振動デバイスというものを利用する。ベルト型振動デバイスとは、視覚障害者が進むべき方向をモータの振動により触覚的に伝えるものであり、腰に巻く形で装着する。このデバイスを用いることで、視覚障害者を目的地まで誘導していく。

#### 2.2 関連研究

視覚障害者の歩行補助や目的地への誘導を目的とした様々な研究が存在する。深沢らの研究では白杖の先端が、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]。また、田中らの研究では、携帯電話のカメラで撮像された画像から点字ブロックを検知し、その方向を音声ガイドにより案内する [3]。しかし、これらの研究では、カラーテープや点字ブロックなどのランドマークのあるところでは効果を発揮するが、それらの無い場所においては使えなくなってしまい、行動が制限されてしまう。本研究では身に取り付けた測域センサからのデータを予め作成した地図データとマッチングさせることで、施設内での自身の位置を推定する。また、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も可能になる。

Kuramochiらの研究では白杖にkinectを搭載し、kinectが

<sup>†1</sup> 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科

<sup>‡2</sup> Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba



Fig. 1 センサを傾けた時の点群データ

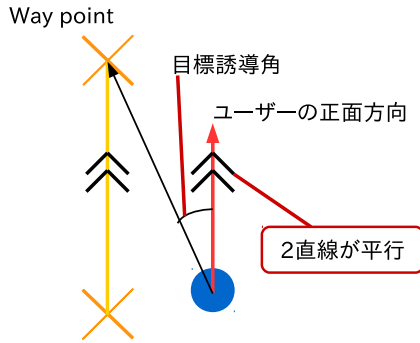


Fig. 2 平行移動の条件

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 [4]。この手法ではランドマーク等がなくても、目的の物体のある場所まで誘導することが出来る。しかし、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ユーザーに指示し、障害物を避け安全に誘導することが出来る。

### 2.3 自己位置推定

本研究では 3 次元の測域センサ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] となっているため、センサを操作角の広い方を下にして腰に取り付け、足元付近の情報を得られるようにする。

このように取り付けた 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いるが、自己位置推定上でその情報は必要ない。そこで、現状では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。

地面データを除去した点群を xy 平面上に正射影し、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、そのデータを先行研究で使われていた地図生成プログラムと自己位置推定プログラムで用いて、3 次元測域センサによる地図生成と自己位置推定を行った。この時、地図データには腰以下の高さの物体の情報も存在するため、その物体を考慮した経路を考えることが出来る。

### 2.4 IMU による点群補正

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多々ある。これにより、点群の位置関係がずれたり、地面

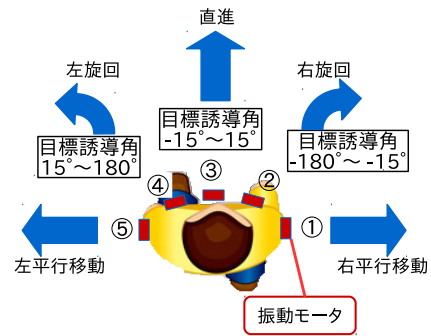


Fig. 3 振動モータと移動指示の対応図

のデータを認識したりするため、自己位置がずれてしまうことがある。本研究に使用している 3 次元測域センサには IMU が標準搭載されているため、これを用いてセンサの傾きに依りて点群を補正した。IMU は InvenSense 社製の MPU-9250 であり、角速度と加速度の値が取得できる。これらを使って roll 方向と pitch 方向の姿勢の変化を求める。また、センサを水平に置いた状態の時に roll、pitch 共に 0 度の状態とし、-180 度から 180 度の間で角度変化を示す。

本研究では角速度と加速度のデータから相補フィルタを用いることでセンサの姿勢を求めた。相補フィルタの式を (1) に示す。式中の  $\phi$  はセンサから得られるデータそのものではなく、加速度センサのデータから三角関数を使って求めたセンサの角度である。相補フィルタは、角速度値と加速度値にそれぞれ重みをつけることにより、角速度のドリフトの影響と加速度のノイズの影響をそれぞれ打ち消しあい減衰させるようなものである。

$$\theta_t = 0.99 * (\theta_{t-1} + \omega * dt) + 0.01 * \phi \quad (1)$$

$\theta$  = 角度 (センサの傾き)

$\omega$  = ジャイロセンサから得られる角速度

$\phi$  = 加速度センサのデータから求めた角度

$dt$  = サンプル周期

センサが水平静止状態のとき、本来は roll、pitch 共に 0 度を示して欲しいが、相補フィルタをかけても角速度のオフセットの影響で各角度は 0 度からずれた値に収束してしまった。これを改善するために、初めの 1 秒間に初期化を行うものとした。1 秒間センサを静止させ、その間のジャイロセンサの値を取得し、その平均値を角速度のオフセット値とする。オフセット値が求まったら、相補フィルタの式の  $\omega$  からオフセット値を引き、姿勢を計算する。オフセット値を考慮した相補フィルタの式を (2) に示す。

$$\theta_t = 0.99 * (\theta_{t-1} + (\omega - offset) * dt) + 0.01 * \phi \quad (2)$$

以上の方法で求めたセンサの姿勢より、取得した点群の補正を行う。3 次元の回転行列を各点にかけることで点群を補正した。センサを前方に傾けた時の補正なしのデータを Fig. 1(a)、補正した時のデータを Fig. 1(b) に示す。補正なしの時は地面のデータが大量に見えるが、補正ありのデータでは地面データが消えていることが確認できた。この補正されたデータを使用して自己位置推定を行うことにより、センサの姿勢が変化した時の影響をなくした。

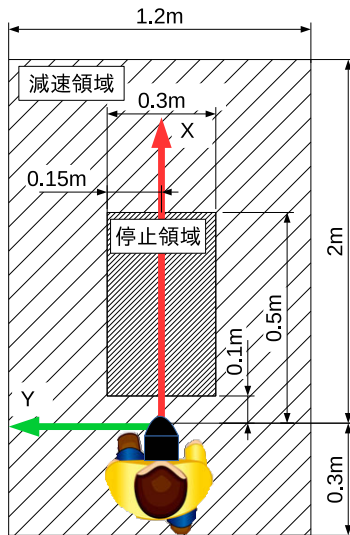


Fig. 4 減速・停止領域

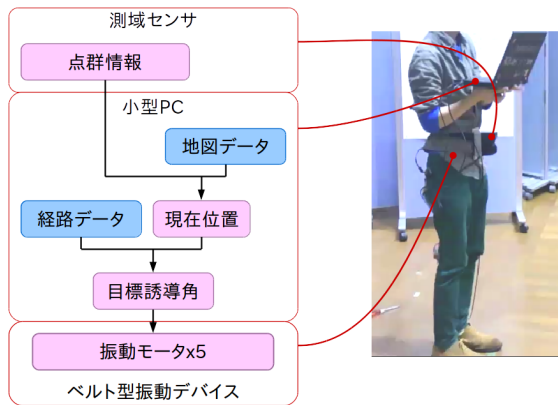


Fig. 5 システム構成

## 2.5 誘導方法

WayPoint を出発地点と目標地点の間に適当な間隔で設定する。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。そのため、曲がり角では角にぶつかってしまう可能性があるため、WayPoint は細かく設定する。また、駅の改札口などの狭い道等なるべく正確に経路をたどって欲しい場合にも WayPoint を細かく設定する。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。

先行研究におけるベルト型振動デバイスの指示は、自分の向いている方向のベクトルと自己位置から WayPoint 間を結ぶ直線ベクトルのなす角である目標誘導角を求め、それにより振動させるモータを決め、そのモータの方向に向かうというものであった。しかし、この方法だと、狭い道で細かく WayPoint を設定してあるときに、ジグザグに歩行してしまう可能性がある。そこで、直進指示、旋回指示に加えて平行移動の指示を追加した。平行移動は Fig. 2 の様に WayPoint 間の直線と自身の向いている方向がほぼ平行で、目標誘導角が $-15$ 度から $15$ 度でないときに平行移動の指示を出すこととした。このとき、2直線のなす角が $10$ 度未満であるときに平行であると判断するように実装した。また、直進指示は目標誘導角が $-15$ 度から $15$ 度以内の時、旋回指示は、平行移動条件に当てはまらず、目標誘導角が $-15$ 度から $15$ 度でないときに出すこととし



Fig. 6 YVT-X002 の外観

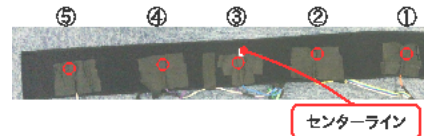


Fig. 7 ベルト型振動デバイスの外観

た。各振動モータと移動指示の関係は Fig. 3 となっている。

また、ベルト型振動デバイスにおいて、振動モータを振動し続けると、人間は、どのモータが振動しているのかわかりにくくなってしまふ。そこで、各モータは $0.5$ 秒間の振動と $0.5$ 秒間の停止を繰り返す様なものとした。

## 2.6 障害物検知方法

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、それを検知して対応する必要がある。本稿では物体を検知して被験者を停止させる手法まで検討した。基本的には障害物が目の前に存在した場合に停止するという行動ができるように実装した。

しかし、急に停止指示が来ても歩行速度が速い場合などでは止まらずにぶつかってしまうおそれがある。そのため、停止指示の前に減速指示を出す必要があると考えた。本稿では、減速領域と停止領域を Fig. 4 のように定義した。また、このように減速領域を設定することで、道幅が狭いところや、視覚障害者の横に物体等がある場合にもそれを視覚障害者に伝えることができ、より安全な歩行誘導が可能になった。

また、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、 $0.2$ 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。

## 3. 実験

### 3.1 ハードウェア

実験に使用したハードウェアの構成を Fig. 5 に示す。測域センサは北陽電機株式会社さんの3次元測域センサ、YVT-X002 を使用し、腰の高さに取り付けた。Fig. 6 に YVT-X002 の外観を示す。PC は本来であれば、被験者の行動を妨げにくい小型 PC 等のデバイスの利用が望ましいが、本稿ではこの部分のハードウェア開発は行わないため、普通のノート PC を用いて実験を行った。この PC 上では自己位置推定を行い、視覚障害者の進む方向を求め、ベルト型振動デバイスで振動させるモータを決める。ベルト型振動デバイスには振動モータが



Fig. 8 実験風景

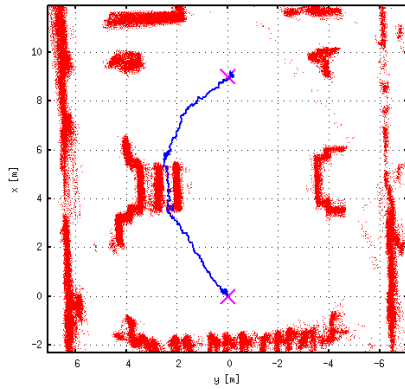


Fig. 9 誘導軌跡

5個搭載されている。振動モータはTPC社製のFM32Fを利用した。ベルト型振動デバイスの外観をFig. 7に示す。

### 3.2 歩行誘導実験

大学の施設内にて提案システムで出発地点から目的地まで歩行誘導する実験を3人の被験者に行ってもらった。途中、ダンボール箱を改札と同じ幅(60cm程度)になるように設置し、その間を通り抜ける様に経路を設定した。また、被験者は視覚障害者を想定しているため、目隠し状態で誘導する。実験の様子をFig. 8に示す。

実験の結果、出発地点から目的地までたどり着くことを確認できた。推定位置による誘導軌跡をFig. 9に示す。被験者によっては、目的地に到着するまでに時間がかかったり、ダンボール箱の間を通過するときに手がわずかにぶつかってしまうことなどがあったが、全員が目的地にたどり着くことができた。また、平行移動指示があることにより、平行移動指示なしに比べ、まっすぐにダンボールの間を通過できたことも確認できた。

### 3.3 障害物検知実験

歩行誘導中、経路上に障害物が存在した時に歩行者が停止できるかの実験を行った。実験は、被験者に目隠ししてもらったあと、障害物を経路上の適当な場所に置くことで、被験者に障害物の位置が分からない状態で行った。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う。この時に被験者が障害物にぶつかる前に止まれるかを検証する。

実験の結果、歩行中、Fig. 10のように障害物の点群が減速領域に入ると減速指示が出され、Fig. 11のように停止領域に点群が来ると停止指示が出されることを確認でき、被験者は障害物にぶつかる前に止まれることも確認できた。

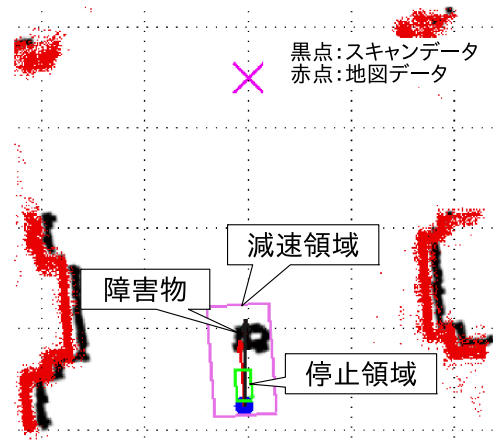


Fig. 10 減速指示時のスキャンデータ

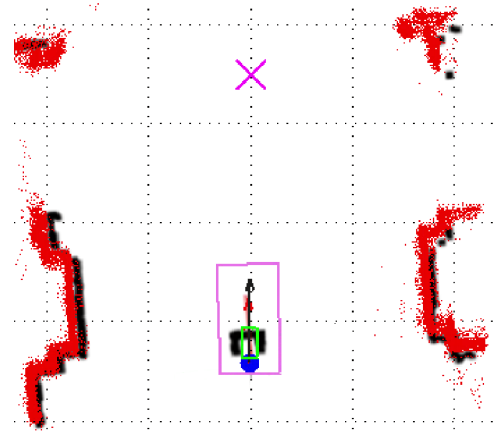


Fig. 11 停止指示時のスキャンデータ

## 4. おわりに

本稿では3次元測域センサを用いた自己位置推定手法と誘導方法について提案した。また、センサが傾くことにより、自己位置がずれてしまう問題をIMUを用いて点群を補正することで解決を図った。更に、誘導経路上に障害物があった時の対応についても検討した。

今後は地図上に存在しない障害物があった時に、停止するだけでなく回避経路を作り、障害物を避けつつ目的地まで誘導できるシステムを検討する。また、駅施設内に存在する、改札の通過やホームでの自己位置推定の手法等の様々な問題について解決方法を検討していく予定である。

## 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 2012, 1A2-D03, 2012.
- [2] 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.
- [3] 田中 奈々絵, 奥平 雅士: “携帯カメラを用いた画像処理による視覚障害者行動支援に関する一検討”, 映像情報メディア学会技術報告, vol. 30, no. 6, pp. 181-201, 2009.
- [4] 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