

令和元年 7月 5日現在

機関番号：54301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01492

研究課題名(和文) 障害物情報を配信する電子マップと連動した視覚障害者の歩行を支援する超音波白杖

研究課題名(英文) Ultrasonic white stick linked to the e-map and delivering the information of obstacles to the visually impaired

研究代表者

丹下 裕 (TANGE, YUTAKA)

舞鶴工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：50435434

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)：視覚障害者が、いつでも安全に安心して目的地に移動できるように、固定障害物と移動障害物が検出できる超音波白杖を開発した。また、歩道情報(信号機や横断歩道、段差など)が事前通知される障害物配信サーバーを構築し、携帯情報端末に専用アプリをインストールすることで位置情報と連動した障害物通知がされる。障害物については、画像解析により対象を特定することができる基礎技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、傾きセンサと超音波距離センサを併用し、高さ情報に依存せず固定障害物を検知する新しい超音波白杖を試作した。これにドップラーセンサを導入することで、固定・移動障害物を併せて検出する他研究にない検出方法を提案した。加えて、携帯情報端末のカメラを用い、歩き慣れた通路における障害物情報を断続的に画像として収集し、画像解析により固定障害物と歩道情報を特定する独創的な研究である。本研究で得られた情報は、電子マップ上に付加し、初めて通路を歩行する利用者がアナウンスをもとに空間情報を把握できるような情報共有システムを構築することも可能である。本システムが完成すれば視覚障害者に有益な情報提供ができる。

研究成果の概要(英文)：We developed an ultrasonic white stick that can detect fixed and moving obstacles so that visually impaired people can move to their destinations safely anytime. In addition, we constructed a server system to store the information of sidewalks such as traffic lights, pedestrian crossings and steps in advance. The system which is linked to GPS provides them with the information of obstacles through a dedicated application installed on their portable information terminals. As for the detection of obstacles, we developed a basic technology that can identify targets by image analysis.

研究分野：複合領域

キーワード：視覚障害者 電子マップ 超音波白杖 機械学習 障害物の検出

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省の調査によると、日本全国の視覚障害者数は約 31 万人に上る。視力を矯正しても十分に回復しない弱視者を含めると、その数は 160 万人を超える。視覚障害者は、人間の五感のうち 85% を占める視覚情報を欠くため、空間情報の把握に制限が伴う。一般的に、視覚障害者は白杖（直径 2cm × 長さ 1.0 ~ 1.4m の棒）を利用し、路面情報を触察しながら歩行する。白杖のみでは検知できる範囲が狭く、駅のプラットフォームや階段などにおいて転落事故が絶えない。また、点字ブロックの不適切な設置により、電柱との衝突事例も多数ある。以上のことから、視覚障害者がいつでも安全に安心して目的地に移動するためには、移動障害物（人や自動車など）と固定障害物（壁や階段、ガードレールなど）の検知や歩道情報（信号機や横断歩道、段差など）の取得が必要であり、事前に数 m 先の情報の把握が望まれる。

2. 研究の目的

研究代表者らは、携帯情報端末の傾きセンサに着目し、外部に接続した超音波距離センサと併用することで、携帯情報端末の機能を生かした障害物検出の発想に至った（図 1 参照）。図 2 に示すように、本研究ではこれに加えて携帯情報端末に搭載されているカメラを用いることにより、歩き慣れた通路における障害物情報を断続的に画像として収集し、人物検出として研究されている特徴量の抽出（HOG 特徴量と SIFT, SURF, RANSAC）と機械学習（Real AdaBoost など）により画像解析することで通路における障害物の特定を行う。得られた情報は、電子マップ上に付加し、初めて通路を歩行する利用者がアナウンスをもとに空間情報を把握できるような情報提供システムを構築する。

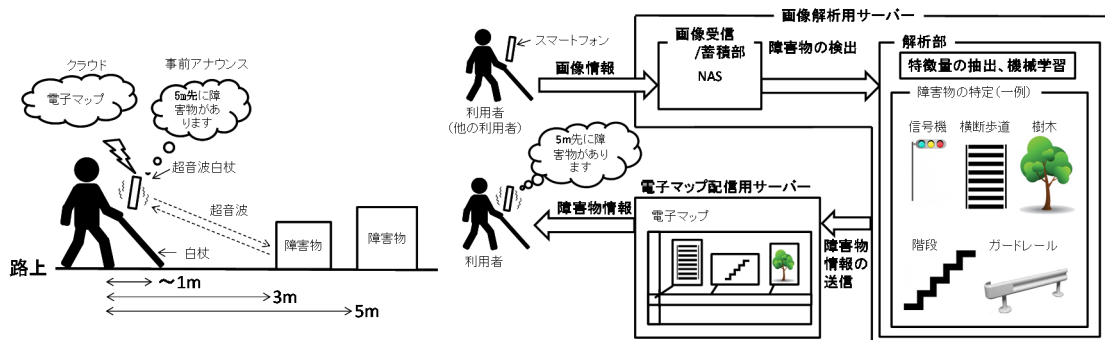


図 1 ユーザーの使用イメージ

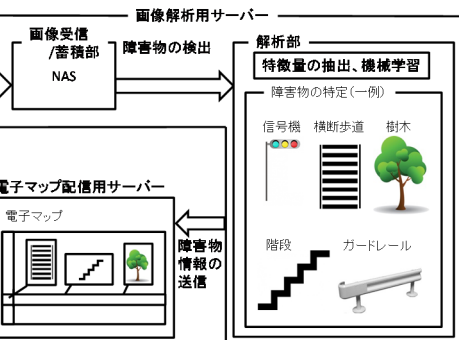


図 2 システムの構成図

3. 研究の方法

(1) 高度化した超音波白杖の開発

研究代表者らが先行して開発した超音波白杖に、ドップラーセンサを導入することで移動障害物（人や自動車など）の検出を試みる。そして、視覚障害者団体（舞鶴市視覚障害協会や京都ライトハウスなど）の協力のもと、視覚障害者に高度化した超音波白杖を使用してもらい、視覚障害者の生活や行動を踏まえた最適な障害物検出の閾値を決定する。本システムは、白杖に取り付けることを想定しており、携帯情報端末の取り付け箇所や距離に応じた情報の伝達方法（警告音、振動）についても併せてアンケートを実施し、ユーザーベースへの改良を加える。

(2) 電子マップ配信サーバーの構築

障害物情報を手動で入力したマップを用いて、携帯情報端末の位置情報に連動した障害物情報を、視覚障害者に事前通知する電子マップ配信サーバーを構築する。視覚障害者団体（舞鶴市視覚障害協会や京都ライトハウスなど）の協力のもと、試用試験を行い、情報を通知するタイミングや手段についてユーザーアンケートをもとに決定する。

(3) HOG 特徴量と SIFT による障害物の検出と機械学習による障害物の特定

携帯情報端末から送信された位置情報付きの画像情報は、画像解析用サーバー内に蓄積される。その後、順次解析部に送り、画像中の移動障害物と固定障害物を選別する。移動障害物の画像解析には、物体形状を表現することができ、照明変化に頑健な HOG 特徴量を用いる。ここで検出された移動障害物は、電子マップ上に付加せず、これ以降の画像解析において検査対象から除外する。次に、固定障害物のうち、交通標識などの認識には、低解像度画像でも認識精度が高い SIFT を用いる。ここで検出された障害物は、識別された情報とともに電子マップ上に付加する。HOG 特徴量と SIFT による障害物の検出により、移動物体および交通標識などの固定障害物が検出できるため、それ以外の固定障害物の検出を行う。まずリアルタイム演算可能な SURF により、各画像中の特徴点を抽出する。その後、2 画像間での特徴量の対応付けを RANSAC により行う。そして、位置情報からカメラの移動距離を算出し、2 点間のステレオ画像とみなし、立体復元を行う。立体復元ができた物体は、障害物としてその形状とともに、電子マップ上に付加する。立体復元できなかった特徴点は、これ以降に撮影された画像において、検査対象から除外する。一方、今回検出された固定障害物は、撮影時点以降に消失する可能性がある。

ため、これ以降も検出対象とする。立体復元ができた物体については、機械学習(Real AdaBoost)により障害物の特定を行う。

(4) 全体システムの運用試験と実証試験

移動障害物を含むような場所において、携帯情報端末のカメラにより撮影された位置情報付きの画像を画像解析用サーバーに送信し、全体システムの運用試験を実施する。また、ユーザーベースで改良を加えた超音波白杖と障害物情報を付加した電子マップを連動させ、1つのシステムとして仕上げる。視覚障害者団体(京都ライトハウス)の協力のもと、京都府内において本システムの実証試験を実施し、システムの有用性を検証する。また、アンケート調査を実施することで、ユーザーの要望を聞き取り、改良を重ねる。

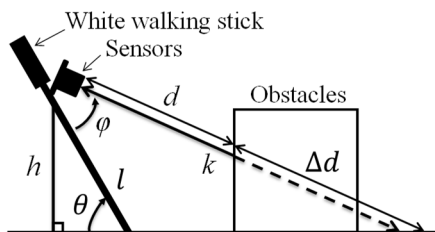
4. 研究成果

(1) 高度化した超音波白杖の開発

図2に示すように、白杖の長さを利用することで静止障害物の新しい検出方法を考案した。また、新たに傾きセンサと超音波距離センサを組み合わせることで障害物検出システムの小型化と軽量を図った(図3参照)。

白杖を利用する視覚障害者の歩行は、一般的にスライドテクニックとタッチテクニックが使用される。今回は、歩行時に地面を軽くたたきタッチテクニックよりもノイズ量が少ないスライドテクニックに着目する。実測距離と仮想距離の結果に、急激な変化を排除する飛び値処理と25点の移動平均フィルタを適用し、信号の平滑化を行うことで障害物の検出が可能となった(図4参照)。障害物検出のための閾値は、白杖の持ち方や振り方に個人差があり、一概には決定できないため、今後は閾値の決定方法を検討する。また、人や自動車などの移動障害物を検出するためにドップラーセンサを導入した。ドップラーセンサ3個を用いることで、前方の移動障害物(人)が検出できることが判明した。

舞鶴市内における視覚障害者団体において、改良した超音波白杖を用いて聞き取り調査を実施した。その結果、障害物検出システムは白杖との一体化が望ましく更なる軽量化を目指してほしい、検出結果は外界音と区別するためにも振動で伝えてほしい、頭上における障害物検出も可能にしてほしいなどが挙げられた。また、障害物が固いか柔らかいものかなどの情報もあると前方情報を把握できるという意見もあった。今後、研究を進めることにより適宜対応する。



検出方法

$$k = l \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta + \varphi)}$$

$$\Delta d = |k - d|$$

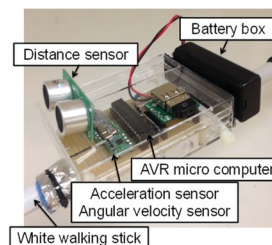
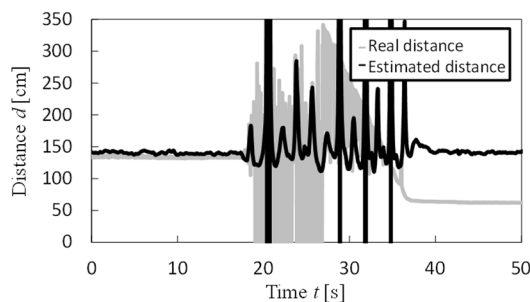
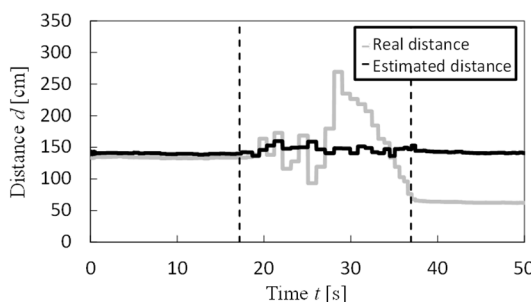


図2 高さ情報に依存しない障害物検出の原理

図3 開発した超音波白杖



(a) 処理前



(b) 処理後

図4 スライドテクニックを用いた場合における実験結果の一例(壁)

(2) 電子マップ配信サーバーの構築

図5は、制作した電子マップ配信サーバーの構成図を示す。事前に制作したWebページに障害物情報を登録し、データベースに情報を蓄積する。音声通知は、位置情報を参照して登録したデータベースにより障害物情報を取得し、障害物に近づいた際に音声として通知される。

舞鶴市内の視覚障害者団体の協力のもと、電子マップ配信サーバーの試用試験を実施した。視覚障害者は、専用アプリをインストールした携帯情報端末を携行し、図6に示すルートに矢印方向に歩行することを依頼した。試用試験では、障害物がマッピングされた場所で通知されるか、被験者がストレスを感じないかなどをアンケートにより調査した。表1における実験結果にて、事前通知が行われた場合は「○」、事前通知ではないが通り過ぎる前に通知された場合

は「○」、事前通知が行われなかった場合は「×」とする。実験結果より、障害物の通知はおおむねマッピング通りに音声通知されていることが読み取れる。視覚障害者に開発したシステムを利用してもらい、点字ブロックがない場所の歩行改善やバス停などの公共交通機関のマッピング、外の歩行が楽しくなるような情報提供（例えば、旬な情報）などの要望が挙がった。今後、研究を進めることにより適宜対応する。

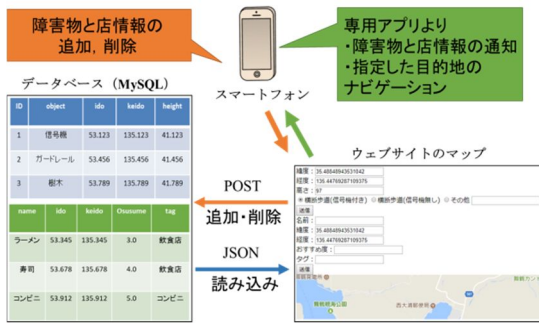


図5 システムの構成図



図6 実験の歩行ルート

表1 データ測定結果

	ガードレール1	ガードレール2	ガードレール3	信号機1	信号機2	バス停
行き	○	○	○	○	△	○
帰り	△	○	○	○	○	○

(3) HOG 特徴量と SIFT による障害物の検出と機械学習による障害物の特定

HOG 特徴量と SIFT による障害物の検出

歩行者用信号機の認識は、発光部の縦横比を用いることで日中についてはほぼすべて認識できるようになった。一方、夜間については、発光部の情報が使用できないため、機械学習により認識できるようになった。交通標識については、HOG 特徴量と SIFT のみでは、交通標識に木の葉などが映り込んだ場合に認識できないことが判明したため、交通標識の形状特徴を Hough 変換により抽出後に機械学習により認識を行う方式とした。また歩行者用道路上の障害物検出の補助として、局所特徴量を用いて点字ブロックの検出を行い、点字ブロックと歩道が同系色でない場合は検出できることを確認した。

歩行者用信号機の灯火色認識手法の改良

機械学習を用いることで、信号機の発光部の情報を得られない夜間時でも、灯火色を認識する手法は開発できていたが、畳み込みニューラルネットワークの分類器の改良を行うことで、約 98% まで認識率の向上を図った。

障害物の認識手法の開発

電柱標識板の一部を機械学習の学習画像に用いることで、電柱が含まれる画像において約 83% の電柱を認識することができた。また精度に改良の余地があるが、点字ブロック列の消失線情報をもとに、障害物の幅を求めることができた。また上面視画像を用いることで、カメラのキャリブレーション情報なしでも、障害物の高さを推定できた。

障害物の認識方法の改良

機械学習の学習に用いる画像と認識に用いる画像において、障害物以外の背景を除去する方法を適用することで、ガードレール、電柱、ポールコーン、道路標識、踏切警報機について、90% 以上に認識を行うことを示した。CNN が注目する画像箇所を可視化する Grad-CAM 法により、注目箇所に背景画像が含まれていることから、障害物だけの抽出手法を改善することで、認識率の向上が見込める。また画像の明度を補正することで、天候などによる影響を受けず、認識できる可能性を示した。高速な物体検出アルゴリズムの 1 つである Haar Cascades により点字ブロック候補を取得し、NN により候補より点字ブロックを抽出する手法により、点字ブロックの 98.6% を抽出することができた。また、SSD (Single Shot Multi-box Detector) と呼ばれる一般物体検出アルゴリズムを用いた手法により、点字ブロック上の障害物 (カラーコーンとポール) を認識することができ、また認識できた物体の幅を 5 cm 以内の精度で推定することができた。点字ブロック上ではなく、点字ブロック周辺にある場合の大きさ推定について、今後は検討する予定である。障害物の個所と撮影箇所が異なることを補正するために、単眼カメラを用いた距離計測を行った。障害物がカメラ正面にある場合、撮影箇所と障害物の距離を 2~3m で変化させて実験したところ、平均誤差 0.07m 以下で計測することができた。カメラ正面にない場合について、計測方法の修正を行っている。

学習画像の枚数の削減

固定障害物や移動障害物を、携帯情報端末のカメラより得られた画像より、機械学習を用いて検出するためには、学習させるための画像収集が重要である。少ない画像枚数で効果的に学習させる方法として、Fine-tuning を採用した結果、学習枚数を大幅に減らすことができた。

障害物までの距離推定 障害物との距離計測方法として、Monodepth と呼ばれる左右一貫性を有する教師なし単眼奥行き推定手法を採用し、おおよその距離検出を検討した。その結果、

3m 程度の距離推定ができることが分かった。

(4) 全体システムの運用試験と実証試験

最終年度までに基礎技術は完成しているが、各技術の細部にこだわったため、システムの連結ができていない。今後は早急に各技術を連結するとともに、全体システムの運用試験と実証試験を行う。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者に下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 15 件)

- 1 . Y. Tange, T. Konishi and H. Katayama, Development of Vertical Obstacle Detection System for Visually Impaired Individuals, Proceedings of the 7th ACIS International Conference on Applied Computing & Information Technology, 2019.
- 2 . 片山英昭, 堤大哉, 藤井友敬, 丹下裕, 視覚障がい者の障害物回避のための単眼カメラによる障害物検出と距離推定, 平成 31 年第 1 回福祉用具機器・福祉情報合同研究会, 2019
- 3 . 堤大哉, 片山英昭, CNN を用いた視覚障がい者の衝突回避のための単眼距離推定, 第 24 回高専シンポジウム, 2019
- 4 . T. Tanaka and H. Katayama, Evaluation of People Detection with SSD from Fisheye Images, Proc. of the 7th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing, 2018
- 5 . 小西智裕, 丹下裕, 片山英昭, 視覚障害者のための上方向障害物検出システムの開発, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 2019
- 6 . 丹下裕, 小西智裕, 片山英昭, 視覚障害者の 2 つの歩行パターンにおける障害物検出の評価, 平成 31 年第 1 回福祉用具機器・福祉情報合同研究会, 2019
- 7 . 丹下裕, 波多野克信, 片山英昭, 視覚障害者の単独歩行を実現する歩行者支援システムの開発, 第 27 回視覚障害リハビリテーション研究発表会抄録集, 2018
- 8 . K. Hatano, Y. Tange and H. Katayama, Improvement of Walking Support System for Visually Impaired Person, Proceedings of the 6th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering, 2018
- 9 . T. Fujii and H. Katayama, Obstacle Recognition using a Convolution Neural Network In Support of Persons with a Visual Impairment, Proc. Of The 6th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering, 2018
- 10 . 波多野克信, 丹下裕, 片山英昭, 視覚障害者の単独歩行を支援する静止障害物検出システムの改良, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 2018
- 11 . 中口卓弥, 丹下裕, 片山英昭, 電子マップを利用した障害物事前通知システムの改良, 第 23 回高専シンポジウム講演要旨集, 2018
- 12 . 丹下裕, 波多野克信, 渡部翔太, 視覚障害者の歩行支援を目的とした障害物検出システムの開発とその可能性, 第 26 回視覚障害リハビリテーション研究発表大会抄録集, 2017
- 13 . T. Noguchi, K. Mori, and H. Katayama, Recognition of Pedestrian Traffic Light Independent of Lights Type and Day or Night Time, Proceedings of the 5th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering, 2017
- 14 . 渡部翔太, 丹下裕, 高間良介, 視覚障がい者の歩行支援を目的とした障害物検出システムの開発, 平成 27 年度電気学会関西支部高専卒業研究発表会, 2016
- 15 . Y. Tange, S. Takeno and J. Hori, Development of the Obstacle Detection System Combining Orientation Sensor of Smartphone and Distance Sensor, The 37th Annual

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

片山 英昭 (**KATAYAMA, Hideaki**)

舞鶴工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号：**30280407**

(2)研究協力者

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。