

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：52601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K12906

研究課題名（和文）超高精度位置測位と三次元空間マッピングで視覚障害者の自活力を高めるICTデバイス

研究課題名（英文）Enhancing Independence of the Visually Impaired with ICT Devices Using High-Precision Positioning and 3D Spatial Mapping

研究代表者

山下 晃弘（Yamashita, Akihiro）

東京工業高等専門学校・情報工学科・准教授

研究者番号：80589838

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：視覚障害者の自立を支援するICTデバイスを実現するために、RTK-GNSS技術とスマートフォン内蔵センサに基づく超高精度位置測位技術の検証、視覚障害者が扱いやすいデバイスのインターフェースに関する研究、音声データや点字データで視覚障害者に情報伝達する仕組みの検討、の三点に取り組んだ。測位技術に関してはRTK-GNSSによる精度検証に加え、携帯端末のセンサデータに基づくニューラルネットワークを用いたデッドレコニング手法を実装し精度の検証を行った。また深層学習を用いて周囲のレイアウト付き文書の画像データを認識し、音声や点字データに変換して伝える技術や、点字をテキストとして認識する研究に取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スマートフォンの普及は多くの人の生活スタイルを劇的に変えた。一方で視覚障害者にとって平坦な画面で操作するスマートフォンの活用は依然としてハードルが高い。本研究で実施したヒアリングでは、特に外出時に自己位置及び方向を知る方法、周囲の状況を音声等で取得する方法、特に紙媒体で示されている情報を得る手段の提供が、視覚障害者の自立的な生活範囲を広げるために重要であることが分かった。本研究はこれらの実現に向けた視覚障害者フレンドリーなICTデバイスのプロトタイプを開発し、視覚障害者当事者協力による実証実験のもと改善点を抽出した。障害者の自立と社会進出に貢献することが本研究の社会的意義である。

研究成果の概要（英文）：We pursued three objectives: validation of high-precision positioning technology by leveraging RTK-GNSS and smartphone embedded sensors to develop ICT devices that enhance the independence of the visually impaired; investigation into device interfaces designed for easy understanding by visually impaired users; and exploring ways to convey information to visually impaired people through audio and Braille text. Concerning positioning technology, in addition to verifying accuracy with RTK-GNSS, we implemented a dead reckoning approach using neural networks to process sensor data from mobile devices, followed by accuracy assessment. Additionally, we employed deep learning techniques to recognize image data from surrounding document along with their layout and then attempted to convert them into audio or Braille formats. Furthermore, we conducted research focusing on technology to recognize Braille and convert it into text.

研究分野：知能システム

キーワード：視覚障害者支援 高精度位置測位 RTK-GNSS 画像認識 点字翻訳

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

スマートフォンやタブレット端末の普及は、私たちの生活スタイルを大きく変えた。2020 年には 5G 通信が開始され、今後もその変化は一層加速する可能性が高い。一方で、視覚障害者の多くは、急速に発展する ICT サービスの恩恵を十分に得られていない。スマートフォンは凹凸の無い平坦な画面であるため視覚障害者にとっては操作が難しく、多くのアプリは視覚情報を前提とした設計になっている。研究開始当初の 2019 年時点では、依然として物理的ボタンで操作する「ガラケー」が多くの視覚障害者の生活必需品であり、生活の大部分は健常者の支援で成り立っていた。本報告書執筆時点の 2024 年現在においても、スマートフォン用アプリのアクセシビリティ向上や、スマートフォンに慣れた視覚障害者が徐々に増えてきているものの、多くの視覚障害者は日常生活の様々な場面において健常者の支援を必要としている。

平成 28 年度には障害者差別解消法が施行され、平成 30 年度より障害者雇用促進法の法定雇用率が引き上げられるなど、視覚障害者の社会進出を促す法整備が整いつつある。しかし、本当の意味で視覚障害者が社会進出し活躍するためには、自立して活動できる範囲を広げ、健常者の支援を最小化する社会的基盤が不可欠である。一方で、近年の技術革新は急速に進み、GPS 等の衛星測位精度の向上やビーコンを用いた屋内外での高精度測位、ディープラーニングによる画像認識、センサの小型化、省電力化など、視覚障害者サポートに必要な要素技術が整いつつある。これらの背景から、申請者は、視覚障害者が快適に生活し、就労して活躍するためには、「視覚障害の特性を考慮した社会環境が未発達という社会的問題」の解決にチャレンジする必要があるという着想に至った。

2. 研究の目的

著者らは複数の視覚障害者関連施設及び団体と協力し、支援システムの実証実験やヒアリングを繰り返してきた。また多くの福祉機器展への参加を通じて視覚障害者の生活実態を調査した結果、スマホ等の健常者向け ICT サービスが飛躍的進化を遂げている状況とは対照的に、視覚障害者向け福祉機器は依然として旧来的である実態を目の当たりにしてきた。本申請研究は、視覚障害者自身が周囲の環境を把握し、必要な情報を手に入れ、健常者の支援を最小限にする ICT デバイスの開発を目的とする。具体的には、以下の(A)～(D)を本研究のサブ課題に設定し、視覚障害者の実態を踏まえた支援システムの開発に取り組んできた。

- (A) BLE, RFID, RTK-GNSS によるハイブリッド型超高精度位置・方向推定技術の実現
- (B) ステレオカメラを用いた自己位置・方向推定及び 3D 環境地図自動作成方法の確立
- (C) ディープラーニングによる画像認識に基づく周囲の環境認識と支援システムの実現
- (D) 視覚障害者フレンドリーな利便性、操作インタフェース、案内手段の確立

3. 研究の方法

前述の(A)～(D)のサブ課題のそれぞれについて研究の方法を述べる。

(A) BLE, RFID, RTK-GNSS によるハイブリッド型超高精度位置・方向推定技術の実現

著者らによる視覚障害者への事前ヒアリングに基づき、屋内外のあらゆる環境において、位置測位の誤差 1m を目標とした。これは、白杖が届き、歩道と車道が区別され、建物の入口を発見可能な精度である。本研究では、Bluetooth Low Energy (BLE)ビーコン及び Radio Frequency Identification (RFID)の電波強度を用いた手法、加速度センサ及びジャイロセンサを用いたドットレコニング、Real Time Kinematic Global Navigation Satellite System (RTK-GNSS)による衛星測位、についてそれぞれ測位精度を検証し、これらを融合したハイブリッド手法を検討した。高精度に位置が特定できれば、僅かな移動でその移動方向も特定可能である。特に RTK-GNSS は、衛星測位システムからの電波を基準局と移動局の両方で取得して位置推定の補正を行うことで、誤差数 cm を達成可能な技術である。著者らは研究室がある建物の屋上に RTK-GNSS 基準局を設置して予備実験を実施し、空が開けた屋外での測位実験を実施した。また屋内では、視覚障害者用のピクトグラムに BLE ビーコンを設置し、受信信号強度(RSSI)からそのピクトグラムに接近したことを特定するシステムの開発に取り組んだ。さらに、一般的なスマートフォンに内蔵された加速度センサやジャイロセンサのデータを使用し、ニューラルネットワークを用いて歩行時の速度推定と方向推定を行うモデルを実装し、その精度の検証を実施した。

(B) ステレオカメラを用いた自己位置・方向推定及び 3D 環境地図自動作成方法の確立

屋内環境では一般的に衛星測位システムが使用できないため、別の手段で位置測位を実現する必要がある。また、移動経路上に障害物がある場合なども適切に視覚障害者を誘導しなければならない。本研究では Microsoft 社の HoloLens を用いて取得した 3D 環境地図を作成し、視覚障害者が歩行可能な床面を認識した上で障害物を回避しながら歩行ナビゲーションを行うシステムを実装した。当初ステレオカメラとして STELEO LABS 社の ZED を利用して 3D 環境地

図を構築する予定であったが、本研究で予備実験を行ったところ、HoloLensの方が精度面で優れていると判断し、HoloLensを用いた障害物回避実験を行った。

(C) ディープラーニングによる画像認識に基づく周囲の環境認識と支援システムの実現

本研究では、機械学習による画像認識を用いて、物体検出による視覚障害者サポートを実装した。視覚障害者によるヒアリングの結果、自宅やオフィス空間などの限られた場面であれば、周囲の物品について、置き場所の明確化や点字を張り付けるなどの工夫で対応可能であるが、掲示物や配布物などの紙面の情報は、それに気づくことが難しいことや、健常者に読み上げてもらう必要があるなど不便であるという指摘があった。そこで、本研究では一般的な物品の検出とは別に、周囲の掲示物や書類などに記載された情報を要約し、音声化して情報提供する仕組みを開発した。具体的には、深層学習に基づくレイアウト付き文書の解析を実施し、その結果に基づいて音声読み上げに対応したテキスト文書として出力するモデルを開発した。

(D) 視覚障害者フレンドリーな利便性、操作インターフェース、案内手段の確立

本研究では、視覚障害者に適切に情報を伝える手段として音声とは別に、振動などのハプティクスを使用する手法について検討予定であった。しかし、2020年からのコロナ禍によって実際に視覚障害者に協力いただく形で実証実験を行うことが難しくなり、まずは音声やテキスト読み上げを基本としたインターフェースで実証することが現実的であると判断した。

4. 研究成果

サブ課題(A)に関しては、まず、スマートフォン内蔵の加速度センサとジャイロセンサから、歩行者の移動速度と方向をニューラルネットワークによって推定するデッドレコニング手法を実装し、検証を行った。被験者5名に対して精度検証を行った結果、移動の方向を考慮しない速度推定に関しては平均誤差 5.85cm/s の推定精度を実現した。図1は5名の被験者のうち1名に関して、RTK-GNSSによる移動速度と、スマートフォン内蔵センサに基づくデッドレコニング手法による推定速度を比較したグラフである。ただし、ジャイロセンサの値を用いた方向の推定は、実用的な推定精度を達成することが困難であった。これは、歩行中に方向を変える動作は比較的短時間で行われることが多く、その誤差の蓄積が大きくなってしまったためである。現時点では、地磁気センサが使用できない環境で方向を推定するためにはカメラ等の映像解析または、ビーコン等の電界強度を使用する方法が有力だと考えており、今後の課題である。図2は、屋外で地磁気を用いて方向を推定しながら移動速度はデッドレコニング手法を用いた場合の移動軌跡の例である。なお、これらの成果に関する詳細は[1]にて報告した。

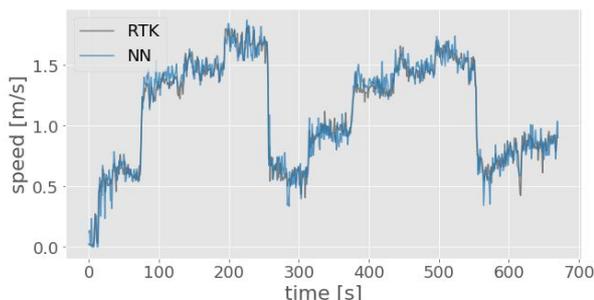


図1 加速度センサに基づく移動速度の推定例

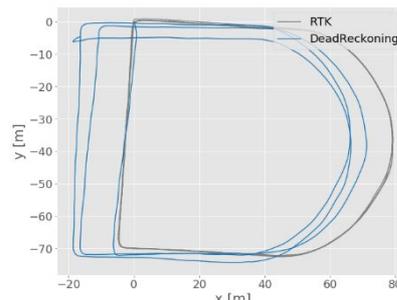


図2 加速度センサと地磁気センサを用いた移動軌跡の推定例

サブ課題(B)に関しては、HoloLensを使用してリアルタイムに障害物を検出し、屋内でナビゲーションするシステムを開発した。歩行可能な床面を検出し、目的地までの最短経路を計算して歩行者を音声でナビゲーションする。経路上の障害物によって歩行できない場所がある場合は、迂回経路をリアルタイムに探索するシステムを実装した。図3はその実証実験の様子である。

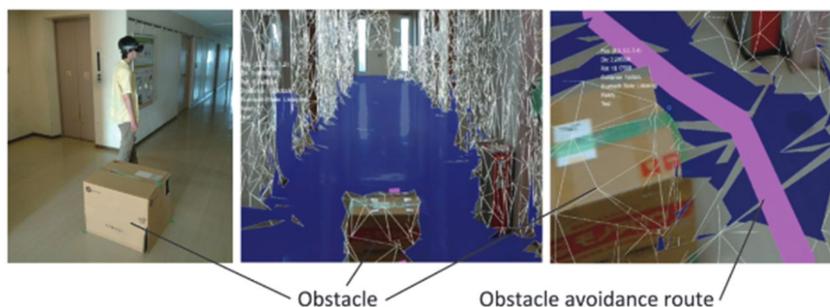


図3 障害物回避実験の実験環境の様子

また図 4 は任意の位置に障害物を設置した場合の歩行軌跡の例である．複数の被験者に協力を依頼し障害物の位置を変えて実施したところ、90%以上は障害物に接触することなく歩行することができた．また、接触した場合も軽微なものであった．ただし、本実験では HoloLens を使用しており、リアルタイムに検出できる空間は概ね 5～7m 程度先までである．そのため障害物が存在することを警告するタイミングが歩行速度に対してやや遅くなるため、実際の歩行速度よりもややゆっくりと歩行する必要があった．屋外での使用も考えれば特により遠方の空間まで認識する必要があると考えており、そのためにはより高精度なセンサデバイスを用いる必要がある．なお本成果に関しては、[2]で報告を行った．



図 4 実際の歩行者の歩行軌跡の例

サブ課題 (C) に関しては、カメラで撮影した掲示物などの書類に関して、その内容を音声読み上げ可能なテキストに変換するシステムの開発を行った．具体的には、まず撮影した画像の中から文書部分を切り出し、OCR によって文字単位の認識を行う．その後、タイトル、段落、図や表などの意味のある構成要素ごとに抽出を行って構成要素のカテゴリラベルを自動で付与し、テキスト化するために出力の順序を推定する．これらの工程の特にとの部分には、深層学習に基づいたレイアウト付き文書の認識モデルとして LayoutLMv3 を採用し、推定精度の検証を行った．処理の全体像を図 5 に示す．



図 5 文書画像からテキストへの変換処理の全体像

本研究実施時点の 2022 年現在においては、日本語に対応した LayoutLMv3 の事前学習モデルが提供されていなかったため、政府や自治体が発行する白書などの文書データを独自に収集し、対象を絞って著者らで学習を行った．ただし、データや計算資源の不足により現時点では一般の視覚障害者が実用できるまでの精度には至らなかったため、より高い精度での変換作業が必要な場合はステップ ④として人手による校正作業を加えた．今後は日本語の事前学習モデルが利用可能になり次第、それらを利用して検証する予定である．実装したシステムに関しては、一部人手による校正は必要であっても、これまで文書画像の内容の変換を全て支援者に頼っていた場合と比較すれば、概要の把握などは問題なくできるため、視覚障害者に対する実証実験ではおおむね肯定的な意見を得ることができた．また、文書画像をテキストや点字に変換するシステム部分を Web アプリケーションとして一般公開し、多くの視覚障害者や支援者の方々に使用いただいた．その際にどのような種類の文書を翻訳したのかと、その結果に対する満足度をアンケートによって測定した．その結果を表 1 に示す．事務所類や掲示物など、比較的文書が整っている画像に対してはより満足度が高く、商品パッケージや装飾の多い雑誌などはやや満足度が低くなっている．また、新聞や一部の書籍は縦書きであり、縦書き文書に対する認識精度も低くなっていた．今後はこれらの文書に対する精度改善が課題である．本成果に関しては[3]で報告を行った．

表 1 文書画像の種類ごとのテキストへの変換に対する満足度の集計

文書画像の種類	投稿数[件]	満足度別の投稿数[件]					満足度の平均値
		1	2	3	4	5	
新聞	15	2	6	4	3	0	2.53
書籍・雑誌	15	0	2	5	4	4	3.67
事務書類・パンフレット	39	1	1	3	14	20	4.31
チラシ・掲示物・ポスター・メニュー	42	1	3	10	8	20	4.02
手書きメモ・手紙	5	0	0	1	3	1	4.00
商品パッケージ	13	0	2	4	3	4	3.69
メータなど電子表示	6	0	1	0	0	5	4.50
点字書類・点字板	8	8	0	0	0	0	1.00
その他	16	3	2	5	4	2	3.00
計	159	15	17	32	39	56	3.65

本研究を進める中で、視覚障害者の日常生活を支援するヘルパーの方々や、盲学校の教員などからの意見として、普段から点字を使用する視覚障害者を支援する場合、点字の内容を健常者が把握することが難しく、簡単に読めるシステムが必要であるという要望をいただいた。そこで本研究では、深層学習に基づく物体検出モデルを応用した点字認識技術の開発に取り組んだ。これまでの先行研究によると、光学式スキャナを用いた手法では高い点字認識精度を達成できることが報告されている。一方で、カメラを用いた方法では、光源方向を一定に保ち、点字の影が出る方向を制約する必要がある。そこで本研究では、任意の光源方向から撮影された点字画像を高精度に認識する技術の開発に取り組んだ。現時点では、図 6 左に示したような撮影ブースを作り、光源方向を様々な角度に変化させて撮影した独自のデータセットで学習した。その結果、認識精度 98%を達成した。図 6 右は、先行研究である AngelinaReader と、提案手法による認識結果の比較である。上方向からの光源に対してはどちらも高い認識精度を達成しているのに対し、光源方向が変化した場合でも提案手法は認識精度を保っている。今後は、普段の日常生活に存在する点字名盤などでも高精度に認識できるようモデルを改善することが課題である。

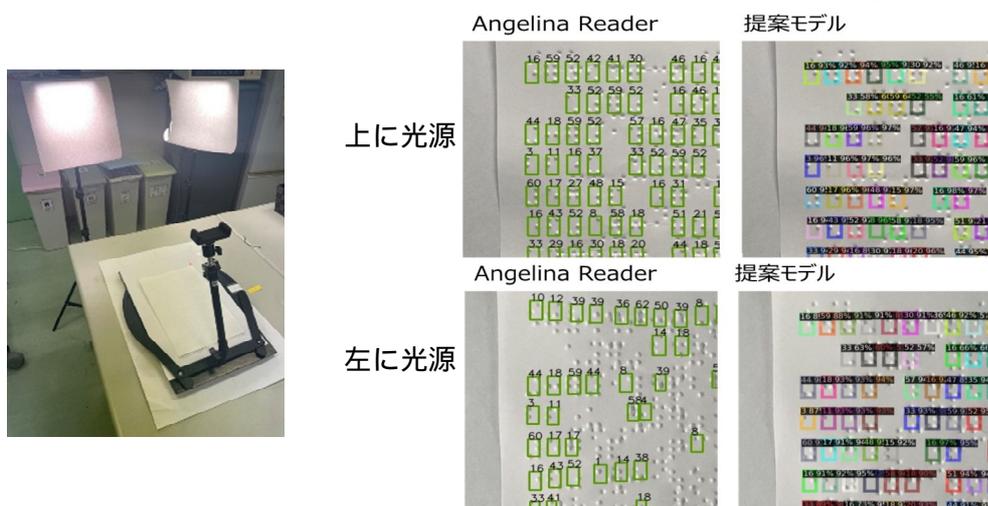


図 6 様々な光源方向からの点字文書の撮影（右）とそのデータの認識結果（左）

サブ課題(D)に関しては、前述のとおり本研究ではコロナ化の影響で音声やテキストで情報を伝える方法に注力した。振動やハプティクスを取り入れた情報伝達手法やその効果についても検証が必要であるが、今後の課題とする。

参考文献

- [1] 山根 広暉, 山下 晃弘, 松林 勝志, スマートフォン内蔵センサとニューラルネットワークを用いた歩行者デッドレコニング, 情報処理学会第 22 回 CDS 研究会, 2020
- [2] Akihiro Yamashita, Kei Sato and Katsushi Matsubayashi, Walking Navigation System for Visually Impaired People Based on High-Accuracy Positioning Using QZSS and RFID and Obstacle Avoidance Using HoloLens, International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC), Vol.16, No.4, pp.1459-1468, 2020
- [3] 山下晃弘, 松林勝志, 藤巻晴葵, 板橋竜太, レイアウト付き文書に対応したクラウド型点字翻訳システムの実用化, 東京工業高等専門学校研究報告書, 5 巻, pp. 59-67, 2024
- [4] 白川太地, 八木悠河, 山下晃弘, 松林勝志, ディープラーニングを使用した光源方向に依存しない点字文字認識, 情報処理学会第 86 回全国大会, 2024

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 山下晃弘, 松林勝志, 藤巻晴葵, 板橋竜太	4. 巻 5
2. 論文標題 レイアウト付き文書に対応したクラウド型点字翻訳システムの実用化	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 東京工業高等専門学校研究報告書	6. 最初と最後の頁 59-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akihiro Yamashita, Kei Sato and Katsushi Matsubayashi	4. 巻 Vol.16, No.4
2. 論文標題 Walking Navigation System for Visually Impaired People Based on High-Accuracy Positioning Using QZSS and RFID and Obstacle Avoidance Using HoloLens	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)	6. 最初と最後の頁 1459-1468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24507/ijicic.16.04.1459	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Iwasaki Yuuki, Yamashita Akihiro, Konno Yoko, Matsubayashi Katsushi	4. 巻 5
2. 論文標題 Japanese Abstractive Text Summarization using BERT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal	6. 最初と最後の頁 1674 ~ 1682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.25046/aj0506199	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 白川太地, 八木悠河, 山下晃弘, 松林勝志
2. 発表標題 ディープラーニングを使用した光源方向に依存しない点字文字認識
3. 学会等名 情報処理学会第86回全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Ryuta Itabashi, Yuuki Iwasaki, Akihiro Yamashita, Katsushi Matsubayashi
2. 発表標題 Research on a deep learning approach for translating Japanese document to braille text
3. 学会等名 ISET2021(The 3rd International Symposium on Engineering and Technology) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山根 広暉, 山下 晃弘, 松林 勝志
2. 発表標題 スマートフォン内蔵センサとニューラルネットワークを用いた歩行者デッドレコニング
3. 学会等名 情報処理学会第22回CDS研究会,
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akihiro Yamashita, Kei Sato, Katsushi Matsubayashi
2. 発表標題 Walking Navigation System for Visually Impaired People with Obstacle Avoidance Using HMD and RFID
3. 学会等名 14th International Conference on Innovative Computing, Information and Control(ICICIC2019), (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	松林 勝志 (Matsubayashi Katsushi) (80239061)	東京工業高等専門学校・情報工学科・教授 (52601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------