

招待論文 PathFinder：視覚障害者のための事前環境地図を必要としない案内ロボットの開発

栗林 雅希* 石原 辰也† 佐藤 大介‡ Jayakorn Vongkulbhisal† Karnik Ram‡
 粥川 青汰* 高木 啓伸‡ 森島 繁生§ 浅川 智恵子¶

概要. 案内ロボットは視覚障害者の移動支援技術として有効であるが、事前に地図を準備する手間がかかる。本研究では、事前に環境地図を作成する必要がなく、地図を作りながら途中の交差点の形状や看板に書いてある文字を読み上げることで視覚障害者が建物内を移動することを支援する案内ロボットを提案・実装した。7名の全盲のユーザを対象に、不慣れな場所で簡易な行き方だけを与え目的地を目指すタスクにより評価を行った。ユーザの主観評価から、提案手法を使うことで白杖や盲導犬と比べて、より自信を持って、より少ない認知負荷で不慣れな建物で目的地まで行くことが出来ることが示された。

1 はじめに

視覚障害者にとって不慣れな建物における単独での移動は困難である。Engelらによると、彼らの多くが不慣れな建物における移動を経験しており、目的地にたどりつくために家族や友人の助けを得たり、現地で晴眼者を探して頼る必要があると回答している [2]。案内ロボットは視覚障害者がそのような不慣れな建物でひとりで移動することを支援する技術として有効である [4]。通常、案内ロボットは事前に作成した環境地図とセンサからの動的な障害物の情報を組み合わせて、障害物を回避しつつ目的地まで移動する [8]。環境地図には自己位置推定のための LiDAR マップと通路やエレベータなどの経路情報が含まれる。

しかし、事前環境地図の作成には手間とコストがかかり、視覚障害者が案内を必要とする全ての場所や建物に地図を作ることは現実的ではない。そこで、本研究では事前環境地図を必要とせず視覚障害者を不慣れな建物で目的地まで行くことを支援する案内ロボットシステム PathFinder を提案、実装、評価した [5]。

2 ユーザ調査に基づくシステムデザイン

本研究では、視覚障害者ユーザは晴眼者から目的地までの簡易な経路に関する情報を得ていることを前提とし、まず不慣れな建物で目的地に行くためには彼らにとってどのような情報が有用かを調査した。

Copyright is held by the author(s). This paper is nonrefereed and non-archival.

* 早稲田大学

† IBM Research - Tokyo

‡ Carnegie Mellon University

§ 早稲田大学理工学術院総合研究所

¶ IBM Research

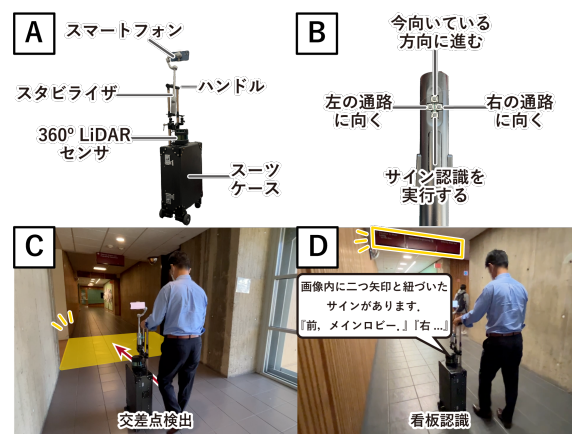


図 1. 提案手法の概要図。

具体的には 5 名の全盲の視覚障害者を対象に大学構内を歩きながら研究者が視覚障害者に周囲の情報を伝え、有用であった情報を回答してもらった。結果として、晴眼者が説明する目的地までの経路は主に通路の交差点でどの方向に曲がるかという情報を有しているため、交差点の位置と形状に関する情報と、どの方向になんの施設があるか教えてくれるため、看板に文字の情報が有用であると参加者は回答した。この調査結果に基づいて不慣れな建物で視覚障害者を支援するロボットをデザインし、実装した。ロボットはスーツケースの形状をしており、LiDAR マップを作るための LiDAR センサ、看板を認識するための高解像度の RGBD カメラを搭載したスマートフォンを搭載する (図 1A)。またハンドルには前後左右の 4 方向のボタンがある (図 1B)。

2.1 通路交差点の検出

提案手法はリアルタイムで作成される LiDAR マップに対して通路の交差点検出アルゴリズム [7] を適

表 1. タスク完了時間の平均, 標準偏差と中央値.

提案手法		トップラインシステム	
平均±標準偏差	中央値	平均±標準偏差	中央値
607.88 ± 228.85 秒	537.00 秒	239.69 ± 9.98 秒	239.00 秒

用することにより, 交差点の位置と形状を認識する (図 1C). ロボットは交差点を発見すると, その中央で停止し, 音声でユーザーに交差点の形状を伝える. ユーザーはハンドルのボタンを押す事で前後左右のどの方向に行くべきかを指示する (図 1B).

2.2 看板の検出と認識

視覚障害者は看板の存在を知ることが難しいため, 提案手法はまず看板の存在をユーザーに通知する. 具体的にはスマートフォンの RGBD カメラおよび文字認識エンジン (OCR) [1] を用いて毎秒 5 回画像内にある文字とその位置を検出し, もし 5 フレーム連続で 6.5 メートル以内に文字が存在する場合, ユーザーに音声で看板が存在する可能性がある事を伝える. その後, ユーザーはハンドルの下ボタンを押すことで看板認識を実行することができる. 看板認識は OCR と物体検出手法 [3] を用いて画像内の文字と矢印を検出し, 看板の背景の色に基づいてどの文字がどの矢印に紐づくかを推定することで, たとえば次のように看板を読み上げる: 「画像内に一つ矢印と紐づいたサインがあります. 『左, 4600 番廊下.』 また, 『部屋番号 4521』 と書かれたサインが正面 2.1 メートル先にあります.」 (図 1D)

3 評価実験

7名の全盲の視覚障害者を対象に提案システムの評価を行った. 参加者はまず提案システムの使い方に慣れるための練習を行い, その後, 実験者から目的地までの経路の情報が口頭で与えられ, 提案システムを使って目的地まで移動するタスクが課された. 目的地までは 4 つの交差点と複数の看板があり最短で約 166 メートルであった. また, 比較対象として事前環境地図を使うシステム (以後, トップラインシステムと呼ぶ) を用意し, 参加者は提案システム, トップラインシステムの順でタスクをこなした. トップラインシステムは Bluetooth Low Energy (BLE) ビーコンと LiDAR を用いて自己位置推定を行い, あらかじめ登録された周囲の情報を読み上げながら指定した目的地まで自動でユーザーを案内する [8] ため, 参加者はロボットについていくだけである. 評価指標としてはタスク完了時間および 7 段階 (1: 全く同意しない, 7: 強く同意する) の主観評価項目 (図 2 の Q1, 2) を用いた. 主観評価では普段使用している移動補助 (白杖もしくは盲導犬) とも比較した.

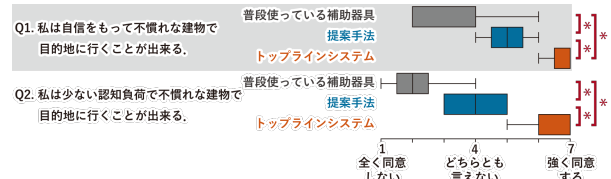


図 2. 主観評価項目と結果. *は Wilcoxon の符号順位検定で有意水準 5% で観測された有意差を示す.

3.1 結果

表 1 にタスク完了時間の結果を示す. Wilcoxon の符号順位検定 (有意水準 5%) を用いて提案手法とトップラインシステムのタスク完了時間を比較すると, 提案手法のほうが有意にタスク完了時間が長かった. これは, 提案手法が各交差点で止まり, ユーザーの指示を待つのに対して, トップラインシステムは事前準備した地図を持っており, 各交差点を停止せずに曲がるためである. 図 2 に主観評価項目の結果を示す. Q1 と Q2 を提案手法, トップラインシステム, および普段使っている補助器具について聞き, Wilcoxon の符号順位検定 (有意水準 5%) で比較した所, 全ての組み合わせで有意差が見られた. 提案手法は交差点認識や看板認識が出来るため, 普段の移動補助と比べ高く評価された. トップラインシステムは自動で目的地まで行けるため, 最も高い評価となった. 一方で, 全ての参加者は提案手法が事前準備なしに使えることを歓迎し, 次のようなコメントが得られた: 「施設に事前準備した地図があれば, (トップラインシステムを使えるので) それが一番便利だが, それはどこにでもあるわけではない. (提案手法は) 事前準備した地図がなくても交差点や看板などの周りの情報を読み上げてくれるため, 自分の進むべき道がわかり, とても便利だった.」

4 まとめ

本研究では視覚障害者が不慣れな建物内でひとりで移動することを支援する事前環境地図を必要としない案内ロボットシステム PathFinder を提案・実装・評価した. ユーザーはロボットが読み上げる通路交差点の形状や看板認識の結果をもとに, 盲導者から得た目的地までの経路において意思決定しロボットに指示を出して目的地まで行くことが可能となる. 評価実験では提案システムのタスク完了時間は事前環境地図を使ったシステムと比べ長くなったが, 提案手法を使うことで普段使用している移動補助と比べ参加者は不慣れな建物でより自信を持ち, より低い認知負荷で目的地まで行くことが可能であることが示された. また, 全ての参加者は提案手法が事前環境地図なしに使えるという点を歓迎した. 今後は様々な建物で提案手法が利用できるようにしていきたい.

謝辞

本研究は、JST 未来社会創造事業 (JPMJMI19B2) の助成、および清水建設の後援を受けた。

参考文献

- [1] Apple-Developer. Recognizing Text in Images. Retrieved in November, 2022 from https://developer.apple.com/documentation/vision/recognizing_text_in_images/, 2022.
- [2] C. Engel, K. Müller, A. Constantinescu, C. Loitsch, V. Petrasch, G. Weber, and R. Stiefelhagen. Travelling More Independently: A Requirements Analysis for Accessible Journeys to Unknown Buildings for People with Visual Impairments. In *ASSETS '20*, New York, NY, USA, 2020. ACM.
- [3] G. J. et. al. ultralytics/yolov5: v6.0 - YOLOv5n 'Nano' models, Roboflow integration, TensorFlow export, OpenCV DNN support, October 2021.
- [4] J. Guerreiro, D. Sato, S. Asakawa, H. Dong, K. M. Kitani, and C. Asakawa. CaBot: Designing and Evaluating an Autonomous Navigation Robot for Blind People. In *The 21st International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 68–82, New York, NY, USA, 2019. ACM.
- [5] M. Kuribayashi, T. Ishihara, D. Sato, J. Vongkulbhisal, K. Ram, S. Kayukawa, H. Takagi, S. Morishima, and C. Asakawa. PathFinder: Designing a Map-less Navigation System for Blind People in Unfamiliar Buildings. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–16, New York, NY, USA, 2023. ACM.
- [6] C.-L. Lu, Z.-Y. Liu, J.-T. Huang, C.-I. Huang, B.-H. Wang, Y. Chen, N.-H. Wu, H.-C. Wang, L. Giarre, and P.-Y. Kuo. Assistive Navigation Using Deep Reinforcement Learning Guiding Robot With UWB/Voice Beacons and Semantic Feedbacks for Blind and Visually Impaired People. *Frontiers in Robotics and AI*, 8, 2021.
- [7] F. Yang, D.-H. Lee, J. Keller, and S. Scherer. Graph-based topological exploration planning in large-scale 3d environments. In *2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 12730–12736, Piscataway, NJ, USA, 2021. IEEE.
- [8] 高木啓伸, 村田将之, 佐藤大介, 田中俊也, 藪内智浩, 粥川青汰, 木村駿介. アクセシビリティのプラクティス—「誰一人取り残さない」ための情報技術: 招待論文: 2. 自律型視覚障がい者ナビゲーションロボットの普及を目指して. *情報処理*, 63(11):d12–d29, 2022.

未来ビジョン

アクセシビリティ研究分野では視覚障害者の移動を支援するためにさまざまなロボットが提案され [4, 6], その有用性は広く認められてきた。現時点では実際に視覚障害者用の移動を支援するロボットの実証実験がショッピングモール、空港や博物館など多くの場所で行われている段階にある [8]。しかしながら、これらのロボットを使うためには使用する環境の地図を作成したり、使う環境に対して BLE ビーコンなどの自己位置推定手法用のインフラを導入することが必要であり、全ての建物で地図とインフラが整っているとは限らないため、ロボットの社会実装のハードルは依然として高いままである。我々は将来的に視覚障害者に日常的にロボットを外出するために使ってほしいという強い思いから、社会実装の一つの障壁となって

いる「事前準備した地図の用意」をすることなく視覚障害者がロボットを使うための研究に取り組んだ。本研究では事前準備した地図を使用しないシステム開発の最初の取り組みとして、視覚障害者が盲導犬を使用する際に見られる、相互補助的なインタラクション方法を参考にした。具体的にはロボットが視覚障害者に衝突回避などのモビリティと看板や交差点などの周囲の情報を提供し、視覚障害者がロボットの挙動をコントロールするインタラクション方法である。今までは視覚障害者は受動的に支援システムに助けられるだけであったが、今後はこのようにユーザと支援システムが協調することにより、さまざまな場所で支援システムの使用が可能になることと考えている。このような方針の先にはロボットが視覚障害者にとって白杖や盲導犬に並ぶ第三の補助器具となる未来が実現することを目指している。