

VR ヘッドセットを利用した視覚障害者のための仮想空間探索システム

久保田 雅也* 栗林 雅希*† Renato Alexandre Ribeiro† 森島 繁生‡

概要. 仮想現実 (Virtual Reality; VR) は没入的な体験を提供する一方で、視覚的なフィードバックに強く依存しているため、視覚障害者にとって VR を利用することは依然として困難である。既存研究では、音声指示、空間オーディオ、振動などのフィードバックを活用し、視覚障害者が仮想空間を活用できるシステムが提案されてきた。しかし、カーブを含む経路や多数の物体を有するような複雑な仮想空間において、視覚障害者がどのように探索を行い、どの程度空間を理解できるのかについては明らかにされていない。本研究では、VR ヘッドセットを用いた視覚障害者向けの仮想空間探索システムを開発し、9名の視覚障害者を対象としたユーザ実験を実施した。参加者の仮想空間における探索行動を分析した結果、移動と周囲理解に費やす時間には個人差があり、それが仮想空間の認知度の違いに影響していることが示唆された。

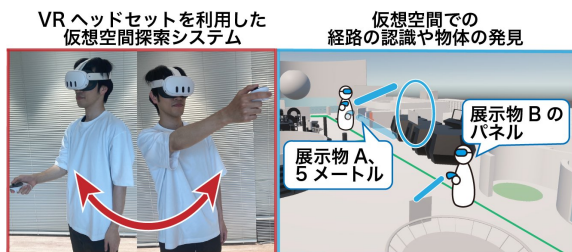


図 1. システムの概要

1 はじめに

仮想現実 (Virtual Reality; VR) は没入的な体験を提供する一方で、主に視覚的フィードバックに依存しているため、視覚障害者にとって VR を利用することは困難である。これまでに、音声や振動フィードバックといった非視覚的な情報提示を活用し、視覚障害者による仮想空間の利用を支援する研究が数多く行われている。既存研究では、視覚障害者が仮想空間内の経路構造を理解するために、空間オーディオや振動フィードバック、音声指示を用いて経路情報を提示し、現実世界の経路の事前学習を支援するシステムが提案されている [2, 5, 8]。また、視覚障害者が仮想空間内の空間的特徴を理解するために、コントローラなどのデバイスを用いて仮想空間内の物体の位置を把握できるシステムも提案されている [1, 3, 4, 6]。これらの研究は、視覚障害者による仮想空間探索の可能性を示しており、そのような仮想空間探索は安全かつ効率的な現実空間の事

前学習を提供できるという利点を持つ。しかし、これらの研究は比較的単純な環境を対象としており、カーブや分岐を含む経路構造や、多数の物体が存在するような広く複雑な仮想環境において、経路構造と空間的特徴の双方を統合的に伝達する方法はこれまで十分に調査されていない。このような理解過程を明らかにすることは、より実用的な環境における視覚障害者の仮想空間探索を実現する上で重要である。本研究では、視覚障害者のための仮想空間探索システムを構築し、視覚障害者が複雑な仮想環境において経路構造や空間的特徴を理解する際に、どのような探索戦略・好み・課題が存在するのかを調査する。

2 実装

本システムは、移動機能と周囲把握機能の二つの主要な機能で構成されている (図 1)。

移動機能. 視覚障害者による仮想空間の探索を支援するために、本研究では、システムがユーザの移動可能な経路をあらかじめ設計する事前経路設計型のデザインを採用した。これは、広大な仮想空間を自由に移動する方式と比較して、空間構造の理解を容易にし、探索時の認知的負荷を軽減することを目的としている。本システムで、ユーザはコントローラのスティックを前方に倒すことで仮想空間内を前進し、身体回転によって進行方向を変更できる。さらに、システムは空間オーディオおよび振動フィードバックを用いて進行可能な方向を提示し、ユーザはこれらのフィードバックを利用して、設計された経路上を自由に移動することができる。

周囲把握機能. 仮想空間内の周囲の情報を理解するために、システムは二種類の情報提示を行う。ユーザが受動的に情報を受け取るフィードバックとして、システムはユーザが探索中に通過した特徴的な物体に関する情報を自動的に提示する。ユーザが

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 早稲田大学

† 日本科学未来館

‡ 早稲田大学理工学術院総合研究所

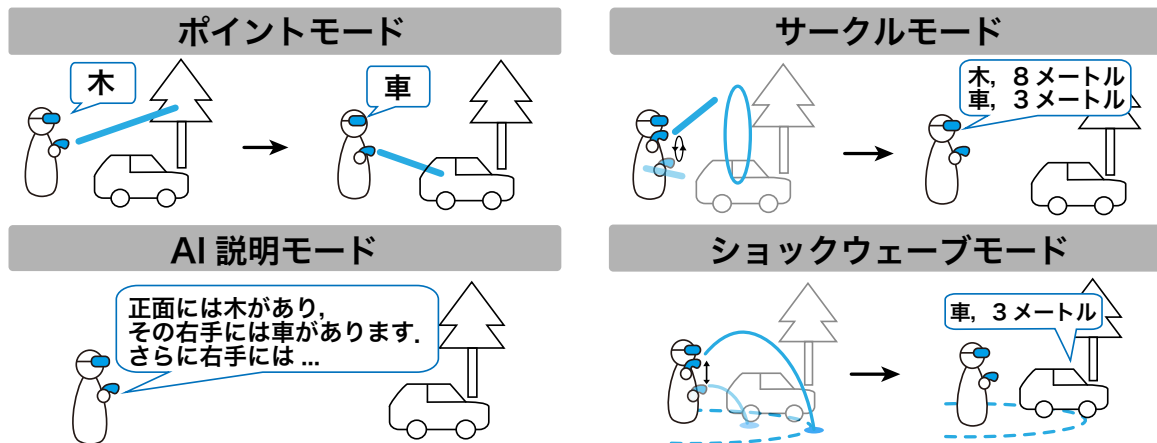


図 2. 周囲把握機能の四つのモード

表 1. 参加者ごとのランドマークに対するシステムの提示割合。ただし、N/A は、システムエラーによりログデータが取得できなかったことを示す。

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	平均±分散
ランドマーク	街	60.00%	70.00%	70.00%	60.00%	50.00%	60.00%	70.00%	60.00%	100.0%	66.67 ± 14.14%
	科学館	35.71%	64.29%	N/A	42.86%	28.57%	N/A	85.71%	85.71%	78.57%	60.20 ± 24.35%

能動的に情報を得るフィードバックでは、ユーザが周囲に興味を持った場所で、周囲を把握するためのモードを起動して空間的特徴に関する情報を取得することができる。このフィードバックには図2に示す四つのモードが含まれる。ポイントモードでは、ユーザがコントローラを向けた方向にある物体の名称をシステムが読み上げる。サークルモードでは、ユーザがコントローラで円を描くと、システムがその円の内部に存在する物体の名称と距離を読み上げる。AI説明モードでは、ユーザの視野内に映る光景をシステムが GPT-4o [7] を用いて自然言語で説明する。ショックウェーブモードでは、ユーザがコントローラを操作して自身を中心とした半径を指定し、システムがその半径内に存在する物体の名称と距離を空間オーディオで提示する。

3 ユーザ実験

本研究では、9名の視覚障害者を対象にユーザ実験を実施した。実験では、多数の物体を含む二種類の仮想空間として、街環境と科学館環境を準備し、それぞれの環境内に移動経路を設計した。参加者は本システムの移動機能および周囲把握機能を用いて、これらの仮想環境を自由に探索した。まず参加者はシステム操作に慣れるために約40分間の練習を行い、街環境において15分間、科学館環境において30分間の探索を実施した。我々は参加者の仮想空間における探索行動を、提示された物体の数や周囲把握モードの利用回数などといった観点で分析した。

4 結果と議論

表1に、環境内に存在する全てのランドマークのうち、周囲把握機能の利用を通じてシステムが音声で参加者に提示した項目の割合を示す。参加者全体の平均では、街環境で約66%、科学館環境で環境で約60%のランドマークがシステムによって提示された。特に広大な仮想空間であった科学館環境では、参加者間で提示割合に大きな差が見られた。その要因の一つとして移動と周囲把握機能の利用バランスの違いが考えられる。例えば、両環境で高い提示割合を示したP9は、移動機能と周囲把握機能をバランスよく活用して探索しており、さらに周囲把握機能の各モードも均等に利用していた。一方で、科学館環境で周囲把握機能の利用回数が最も多かったP1や、移動に多くの時間を費やしたP3は、低い提示割合となった。これらの結果は、視覚障害者が仮想空間を探索する際、移動と周囲把握のバランスが空間理解において重要であることを示唆する。そのため、視覚障害者向けVRシステムでは、ユーザに未開拓な領域の広さを認知させて移動を促すといった、移動と周囲把握のバランスの取れた探索を支援する機能を組み込むことが有効だと考えられる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 24H00742, 24H00748, 23KJ2048 の支援を受けている。

参考文献

- [1] H. Balasubramanian, C. Morrison, M. Grayson, Z. Makhataeva, R. F. Marques, T. Gable, D. Perez, and E. Cutrell. Enable Blind Users' Experience in 3D Virtual Environments: The Scene Weaver Prototype. In *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [2] K. Blake, H. Kinnane, and M. Whipp. Virtual O&M: A far north queensland innovation. *Int. J. Orientat. Mobil.*, 9(1):1–4, 2018.
- [3] S. Chung, K. Lee, and U. Oh. Understanding the Two-Step Nonvisual Omnidirectional Guidance for Target Acquisition in 3D Spaces. In *2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pp. 339–346, 2021.
- [4] P. A. de Oliveira, E. P. Lotto, A. G. D. Correa, L. G. G. Taboada, L. C. P. Costa, and R. D. Lopes. Virtual Stage: An Immersive Musical Game for People with Visual Impairment. In *2015 14th Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGames)*, pp. 135–141, 2015.
- [5] J. a. Guerreiro, D. Ahmetovic, K. M. Kitani, and C. Asakawa. Virtual Navigation for Blind People: Building Sequential Representations of the Real-World. In *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, p. 280–289, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [6] D. Lança, M. Piçarra, I. Gonçalves, U. Oh, A. Rodrigues, and J. a. Guerreiro. Speed-of-Light VR for Blind People: Conveying the Location of Arm-Reach Targets. In *Proceedings of the 26th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [7] OpenAI. Hello GPT-4o. <https://openai.com/index/hello-gpt-4o/>, 2024.
- [8] Y. Seki and T. Sato. A Training System of Orientation and Mobility for Blind People Using Acoustic Virtual Reality. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 19(1):95–104, 2011.