

2024年3月14日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

無限に広がるバーチャルリアリティ空間を 狭い部屋で歩き回れる新技術を開発 ～建築や都市計画などの分野への応用に期待～

【発表のポイント】

- バーチャルリアリティ（VR）空間内でドアを開ける際に人の進行方向をうまく「だます」ことで、現実世界の部屋よりも広いVR空間を歩き回れることを可能にしました。
- ドアを開ける際にドアノブの触覚を再現することも同時に実現しました。
- 本システムはより質の高いVR体験を限られた物理スペースで実現でき、VR職業トレーニング、建築・都市計画などへの応用が期待されます。

【概要】

実際に歩行することでバーチャルリアリティ（VR）空間内を探索する「ルームスケールVR^(注1)」体験は、まるでその世界に入り込んだような高い没入感をもたらすことから、近年、幅広い分野での応用が期待されています。しかし、大きな物理空間を必要とすることや、触覚のフィードバックが得られないことが大きな障壁となっていました。

東北大学電気通信研究所の藤田和之助教と高嶋和毅准教授、北村喜文教授らの研究グループは、これらの制約を解消し限られた物理空間内で実現可能にするため、独自の新システム「RedirectedDoors+」を開発しました。このシステムは、VR空間内で複数のドアを連続的に開けて歩行する際に、ユーザの歩く方向を「だまし」、物理空間の壁にぶつからないようユーザを誘導するとともに、ドアノブのリアルな触覚を再現します。

VR職業トレーニング、建築・都市計画をはじめとしたVRウォークスルー体験に適用できるため、様々な分野への応用が期待されます。

本研究成果は、2024年3月11日にIEEE（米国電子情報学会）の科学誌IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphicsのオンライン速報版に掲載され、VR分野最大の国際会議である2024 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR 2024、3月16～21日、アメリカ・オーランド)で口頭発表されます。

【詳細な説明】

研究の背景

近年、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を用いた没入型のバーチャルリアリティ（VR）体験が手軽に利用可能になっています。なかでも現実空間とバーチャル空間の座標を1対1でマッピングすることにより、ユーザが実際に歩行することでVR空間内を探索可能とする「ルームスケールVR」体験が注目されています。この体験は高い臨場感をもたらすことから、エンタテインメントだけでなく、職業トレーニング、建築・都市計画など様々な分野への応用が期待されています。

しかし現状のルームスケールVRには実利用の拡大を妨げる2つの大きな制限があります。1つ目は体験のために大きな物理空間を必要とする点です。理論的にはVR空間と同サイズの物理空間が必要で、一般家庭やオフィスでこのようなスペースを確保することは困難です。2つ目はVR空間内でユーザが触れたモノに対する触覚フィードバックが得られない点です。特にルームスケールVRでは、ユーザが自由に歩き回るためVR空間に整合した触覚フィードバックをリアルタイムに提示することは困難です。適切な触覚フィードバックが得られないことで、体験の没入度低下につながります。

今回の取り組み

東北大学電気通信研究所の藤田和之助教と高嶋和毅准教授、北村喜文教授、およびチャルマース工科大学・ベルゲン大学のMorten Fjeld教授らの研究グループは、VR空間内での「ドアを開ける」行為に着目し、ドアを開ける際のリダイレクション^(注2)と触覚フィードバック提示を実現することで、前述の2つの制限を同時に解消するシステム「RedirectedDoors^(注3)」と、それを拡張したシステム「RedirectedDoors+」を開発しました。

「RedirectedDoors」では、図1に示すように、ユーザがVR空間内でドアを開けて前方に進む際にユーザに気づかれない程度にVR空間全体を回転させることで、ユーザの進行方向をだますリダイレクション手法を提案しました。ユーザスタディの結果、この手法が既存手法よりも大きく進行方向をだませる（1度の開扉につき平均54.7度）ことや、触覚フィードバックが体験のリアリティ向上につながることを明らかにしました。しかしこの研究は特定位置に固定されたドアを1度通過する動作のみを対象としており、ユーザが歩き回るルームスケールVR体験への対応を考慮していませんでした。

「RedirectedDoors+」は、RedirectedDoorsを大幅に拡張し、複数のドアを連続的に開けながらVR空間内を歩行する体験での触覚フィードバックを提示するとともに、この体験が限られた物理空間内に収まるようにユーザの進行方向をだまして誘導することを実現したシステムです（図2-3）。本システムでは、ドアノブの触覚フィードバックを提示するために、全方位自走式ロボットの上

にドアノブ型の装置を搭載した「ドアロボット」を開発しました。さらに、このロボット複数台の配置を適応的に決定するための「ロボット配置アルゴリズム」、および、ユーザの歩行経路が物理空間内に収まるようユーザを誘導する「ユーザステアリングアルゴリズム」を新たに開発しました。

本システムの性能評価のために実施したシミュレーションスタディでは、形状の異なる6種類のVR環境において、歩行体験に必要な物理空間のサイズ（歩行軌跡が収まる長方形の対角線長）を、平均74%まで圧縮できることを示しました（図4）。また、本システムを用いた歩行体験を実際に12人のユーザに体験してもらい、本システムが実環境で安全に動作することを示しました。

今後の展開

よりリアルなVR体験を限られた物理スペースで実現できる本技術は、エンタテインメント以外にも様々な分野へ応用可能であると期待され、今後はこれらの応用シナリオでの実証を目指します。また、本システムは開扉の順序をシステムが既知であることを前提としていますが、歩行経路の予測アルゴリズム等を適用することで、今後はユーザが制約なく自由に歩行する場合にも対応可能とすることを目指します。加えて、ドアの重さを制御可能な機構やドア以外の様々なVR空間内の触覚インタラクションにも対応した汎用的なリダイレクションシステムの実現を目指してゆきます。

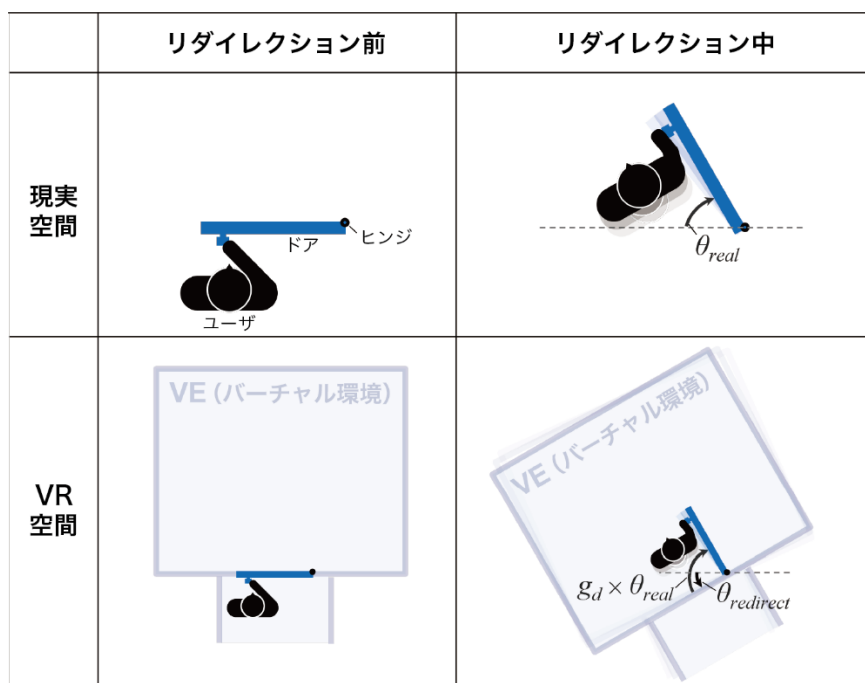


図1. RedirectedDoorsの動作概要。ドアを開ける動作に合わせてVR空間全体を回転させることで、ユーザの進行方向を操作します。この例では、ドアを開けることでユーザの向きを左に一定角度（ $\theta_{redirect}$ ）だけ回転させています。



図 2. RedirectedDoors の概要 (a) ドアロボット 2 台がユーザの周囲で動き回ります。(b)(c) ドアを開ける動作を通して、ユーザの進行方向を誘導します。

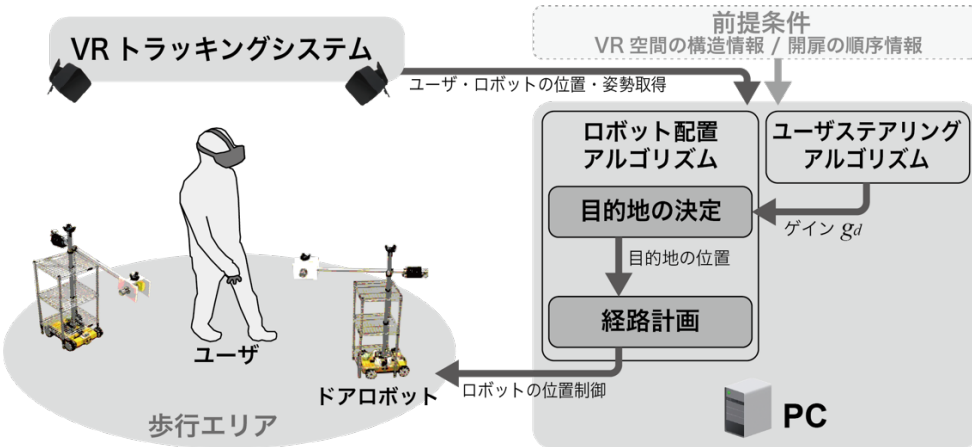


図 3. RedirectedDoors+のシステムフロー。ユーザの歩行やドアを開ける動作に応じて、ロボットの目的地とその経路をリアルタイムに決定します。

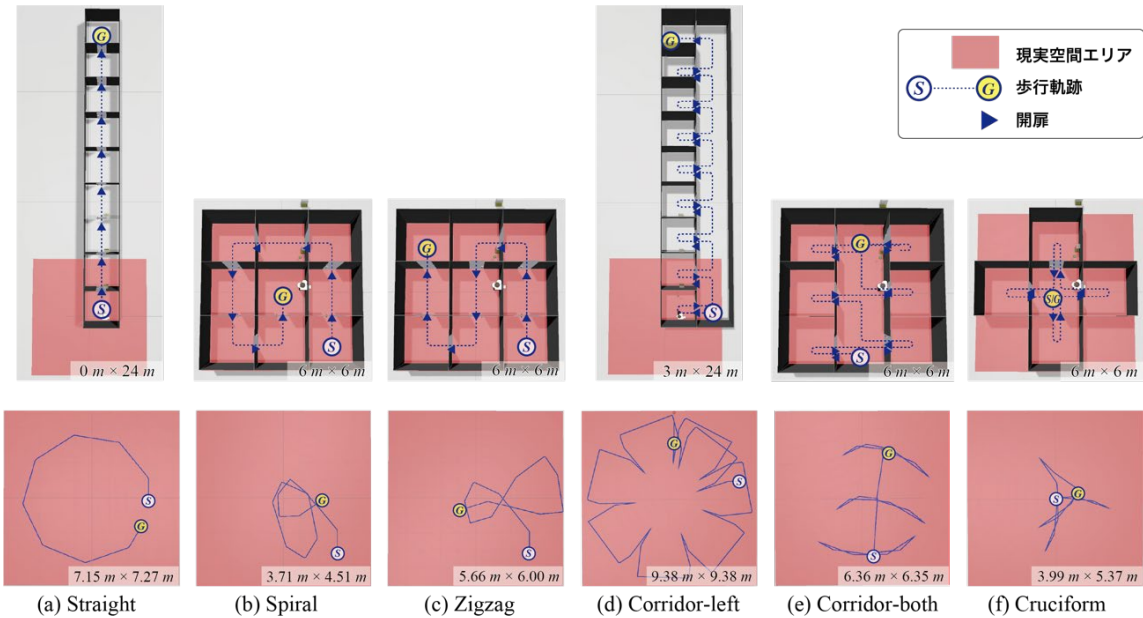


図 4. シミュレーションスタディの結果。上：VR 環境（平面図）での歩行軌跡、下：本システムによるリダイレクションが適用された物理空間での歩行軌跡

【謝辞】

本研究は、日本学術振興会 科学研究費補助金（JP19KK0258、JP21H03473）の支援を受けて実施されました。

【用語説明】

注1. ルームスケール VR

VR ヘッドセットを装着した状態で、現実世界の小規模空間を自由に動きまわることによって VR 空間内を探索することができる技術のことです。ゲーム内では遠く離れた場所に落ちているアイテムを取りに行く場合でも、その場の「歩く」「しゃがむ」「手に取る」といった動作で VR 内の映像とリンクさせることができます。

注2. リダイレクション (Redirection)

人の視覚がほかの空間知覚（体性感覚など）よりも優位であることを利用し、VR 空間内を歩行時の進行方向や移動量を気づかれないように操作する（だます）方法論です。

注3. RedirectedDoors

開扉動作（ドアを開ける動作）を利用したリダイレクション手法のことです。開扉動作に合わせて VR 空間全体を少しずつ回転させることで、現実空間のユーザの進行方向を操作できるよう東北大学インタラクティブコンテンツ研究室が独自開発したシステムです。

Yukai Hoshikawa, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Morten Fjeld, Yoshifumi Kitamura. RedirectedDoors: Redirection While Opening Doors in Virtual Reality, Proc. of 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEEVR 2022), pp. 464-473, Mar. 2022. Honorable Mention Award.
<https://doi.org/10.1109/VR51125.2022.00066> (論文)
<https://www.youtube.com/watch?v=lv-1pdqwahQ> (動画)



論文



動画

【論文情報】

タイトル : RedirectedDoors+: Door-Opening Redirection with Dynamic Haptics in Room-Scale VR

著者 : Yukai Hoshikawa, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Morten Fjeld, Yoshifumi Kitamura

*責任著者 : Kazuyuki Fujita

雑誌名 : IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics

DOI: 10.1109/TVCG.2024.3372105

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10466477> (論文)

https://www.youtube.com/watch?v=cdr1cvpe2_c (動画)



論文



動画

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学電気通信研究所

助教 藤田和之

TEL: 022-217-5543

Email: k-fujita@riec.tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学電気通信研究所

総務係

TEL: 022-217-5420

Email:riec-somu@grp.tohoku.ac.jp