



テレプレゼンスロボットと歩行感覚フィードバックを用いたリアルタイムマルチ空間の体験

小島優希也¹⁾, 菊地勇輔²⁾, ヤエム ヴィボル²⁾, 池井寧³⁾

1) 東京都立大学 (〒 191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, ojima-yukiya@ed.tmu.ac.jp)

2) 東京都立大学大学院 (〒 191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, {kikuchi, yem}@vr.sd.tmu.ac.jp)

3) 東京大学大学院情報理工学系研究科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, ikei@vr.u-tokyo.ac.jp)

概要: 本稿では、時間と空間の制約を超えることを目的として、遠隔地にある二輪型と四足型のテレプレゼンスロボットをリアルタイムでほぼ同時に操作することを可能としたシステムを構築した。操縦者は複数の遠隔空間を選択可能であり、歩行感覚フィードバックを与えることで、VR 酔いを抑制するとともに没入感を向上させる。また、本システムではテレプレゼンスロボットの視点を 50 人の参加者まで共有することが可能である。

キーワード: テレプレゼンス, 多空間体験, 移動感覚, 複数ロボット

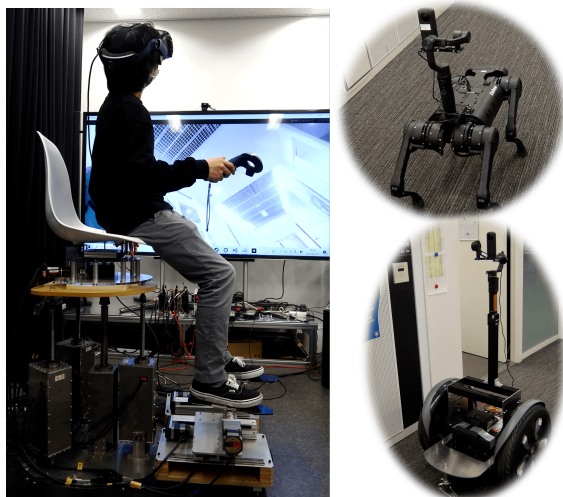


図 1: 歩行感覚ディスプレイを用いた多空間体験

1. はじめに

旅行体験は老若男女を問わず、誰にとっても大切なものである。現在、COVID-19 のパンデミック問題があり、旅行代理店は、現地のライブ映像を視聴するバーチャルツアーサービスを提供している。しかし、アクティビティや前庭感覚・体性感覚のフィードバックがないため、没入感が損なわれる可能性がある。Bruck らのレビュー論文 [1] では、様々なモーションシミュレータが紹介されている。しかし、これらの多くは、実世界環境での体験ではなく CG 空間での体験であり、モーションシミュレータとテレプレゼンスロボットの組み合わせには課題が残されている。テレイクジスタンスとは、遠隔地のロボットを制御する際に、操縦者に体感を与えることで没入感を得るという概念である [2]。著者らの先行研究では、車椅子型シミュレータによって遠隔移動機の加速度感覚をローカルユーザに付与するシステムを

構築した [3]。しかし、先行研究の多くは 1 つの空間のみでの体験を試みており、様々な空間での豊かな情報体験には不十分である。そこで本研究では、複数の半自律型テレプレゼンスロボットを用いて、複数の遠隔空間をほぼ同時かつリアルタイムに体験可能にすることで、空間制約の問題を克服することを目指した (図 1)。操縦者は、HMD のコントローラを用いて、体験中に参加する空間を選択・再選択することが可能である。また、操縦者は、腰の動きによる前庭感覚と足の動きによる固有受容感覚を付与され、視点移動中に遠隔地を歩いているような没入感を得ることが可能である。本システムでは、2 台のテレプレゼンスロボットの視点を 50 人のユーザに共有することが可能であるため、2 つの異なる空間でほぼ同時にバーチャルツアーを行うのに適している。

2. システム

本節ではシステム概要を説明する。

2.1 歩行感覚フィードバック

歩行ディスプレイの詳細は著者らの先行研究 [4] に記述されている。ユーザは 4 自由度の腰の動き (例: リフト, ヨー, ピッチ, ロール) によって前提感覚を知覚することができる。また、3 自由度の 2 つのペダルは、踵を上下, 前後, 左右に動かす。これらの動作は、さまざまな身体感覚を生み出すには不十分かもしれないが、歩行活動を生み出すための基本的な動作である。

2.2 テレプレゼンスロボット

本システムでは、犬型ロボット (A1, Unitree Robotics) と車輪型ロボット (RMP 200, Segway) の 2 台を使用している。これらのロボットは、小型 AI コンピュータ (Jetson Xavier NX with Jetpack Version 4.6, NVIDIA) で制御されている。ロボットをコンパクトにするため、同じコンピュー

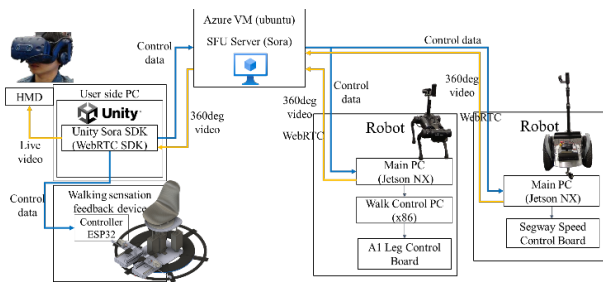


図 2: システム構成

表 1: 本テレプレゼンスロボットの仕様

	Segway RMP	Unitree A1
最高速度	16kph	11.8kph
最大積載重量	67kg	5kg
最小回転半径	Zero	Zero
合計自由度	2 DOF	12 DOF
最大登坂角度	10°	22°

タでデータ転送とライブ映像配信を実行している。各ロボットには、4K 解像度の 360 度カメラ (THETA Z1, RICOH) とスタビライザーを取り付けた。各ロボットには、障害物検知に使用できる深度カメラ (RealSense D435i, Intel) を搭載している。表 1 にテレプレゼンスロボットの仕様を示す。

2.3 視点共有システム

操作者とロボット間のデータ・メディア伝送には、WebRTC SFU (Selective Forwarding Unit, 時雨堂) を搭載したクラウドサーバを使用した。このサービス自体は 100 の片方向チャンネル (ユーザ接続) を許可しているので、50 人のユーザが同時に 2 つの遠隔空間に参加することが可能である。各スペースには同じ視点があり、専門のオペレーターが移動し、最大 50 人の参加者が参加可能である。また、歩行ディスプレイの数に限りがあるため、前庭感覚と体性感覚のフィードバックは、ロボットを操作する一人のユーザが行う。図 2 にシステム構成を示す。操作者は、HMD のコントローラ上のボタンでロボットの選択・再選択を行い、ジョイスティックでロボットを移動させる。

3. 遠隔空間移動体験

遠隔体験者が見ている HMD 映像を図 3 に示す。図 3 の下部に表示されている緑色の矢印はテレプレゼンスロボットの進行方向である。また、後方を確認しやすくするために 360 度映像の後部を前面に表示した。操縦者は移動地点を指定して遠隔空間を移動することが可能である。図 3 の青いボックスから下に伸びている緑色の棒の足の部分が移動先の点である。



図 3: 遠隔空間体験時の HMD 映像

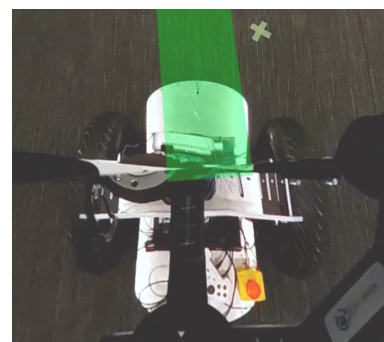


図 4: 遠隔空間体験中に視点を鉛直下方向に向けたときの HMD 映像

4. おわりに

本研究では、複数テレプレゼンスロボットと歩行感覚フィードバックを用いたリアルタイムマルチ空間の体験システム開発を行った。現状、テレプレゼンスロボットは 2 台であるが、今後はテレプレゼンスロボットを 5 台まで増やし、多数の空間を体験することが可能なシステム開発を試みる。

参考文献

- [1] Bruck, B. Haycock and A. Emadi, 2020. A Review of Driving Simulation Technology and Applications. IEEE Open J. of Vehicular Tech., Vol. 2.
- [2] Tachi. 2016. Telexistence: Enabling Humans to Be Virtually Ubiquitous, IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 36, no. 1, pp. 8-14.
- [3] Yem et al. 2019. TwinCam Go: Proposal of Vehicle-Ride Sensation Sharing with Stereoscopic 3D Visual Perception and Vibro-Vestibular Feedback for Immersive Remote Collaboration. ACM Siggraph Asia E-tech 2019, 2 pages.
- [4] Unno et al. 2021. Novel Motion Display for Virtual Walking. In Proc HCI International Conference 2021, Springer Part II, pp. 482-492.