



RemoteWalker：遠隔ユーザー同士で対称に歩行体験を共有しあうシステムの提案と基礎的ユーザースタディ

矢崎武瑠¹⁾, 稲見昌彦¹⁾

1) 東京大学 先端科学技術研究センター (〒 153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1, takeru.yazaki@star.rcast.u-tokyo.ac.jp)

概要: 多くの屋外向け装着型テレプレゼンスシステムでは、ユーザー間の関係が非対称であり、相互に環境を共有しあうコミュニケーションの実現は難しい。本研究では、屋外にいる遠隔ユーザー同士がビデオシースルー型 HMD と 360 度カメラを用いて、周囲環境や移動情報を対称に共有しながら歩行するシステム RemoteWalker を提案する。また、基礎的ユーザースタディを通じて明らかになった有効性と課題について報告する。

キーワード: テレプレゼンス, 遠隔コミュニケーション, 複合現実感

1. はじめに

物理的に離れている人々にとって、旅行や買い物、散歩などの屋外活動を共有することは制約を受け、場合によっては不可能になる。この問題に対して、装着型テレプレゼンスシステム [1] が開発されている。これらは、ロボットなどの大型機材を必要とするトレイグジスタンスシステム [2] や屋内活動配信に特化した遠隔会議ツールとは異なり、ミニマルな機材によって、屋外でも離れたユーザー同士で映像やジェスチャなどを共有することが可能である。

これらのシステムにおいて、ユーザーの関係性は非対称になっており、カメラを装着して映像・音声をストリーミングする現地ユーザーと、端末を利用してそれを視聴し、その環境に没入する遠隔地ユーザーという役割に分かれている。そのため、一方通行の没入体験や指示、作業支援などへは有効な手段となるが、本来の人間同士のコミュニケーションが持つ双方向性は実現しにくい。

我々は、ユーザー同士が対称に歩行体験を共有しあうことに注目した。誰かと一緒に歩くという活動では、相互に歩く速度を合わせたり、そこから相互の意図をくみ取ったりすることで、スムーズにコミュニケーションできる。一方で、装着型テレプレゼンスシステムの多くは現地ユーザーの行動と、遠隔地ユーザーの行動が一致していない。すなわち現地ユーザーが歩きながら映像を伝送しても、遠隔地ユーザーはその映像を座って見ていたり、立ち止まって見ていたりする。我々は自身もパートナーも歩きながら、相互の映像を視聴し、存在感を双方向に認識しあうことで、「異なる屋外環境と一緒に歩いている感覚」を向上させることができると考えた。

本稿では、対称型テレプレゼンスシステム RemoteWalker を提案する (図 1)。このシステムでは、遠隔ユーザー同士 (ユーザー自身とパートナー) が HMD (Head Mounted Display) と 360 度カメラを装着し、360 度映像と音声、及び歩行情報を伝送しあう。HMD に表示される自身の物理環境の

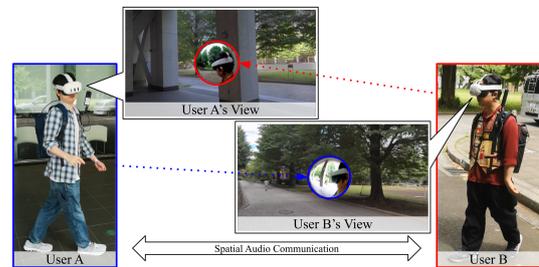


図 1: RemoteWalker システム

上に、他ユーザーの 360 度映像がマッピングされた球体が重畳されている。この球体及び他ユーザーからの音声の位置は他ユーザーの歩行速度・方向に応じて変化し、ユーザー自身はそのオブジェクトに入り込み、他ユーザーの環境に没入することもできる。これによって、ユーザーは視覚的にも聴覚的にも他ユーザーの存在感や環境を認識しながら、自身の環境を歩くことが可能となると考えられる。

2. 関連研究

2.1 装着型テレプレゼンスシステム

テレプレゼンス分野では、遠隔地の人々に存在感を伝える研究が行われている。従来のスマートフォンでの映像通話とは異なり、音声・映像に加えて身体動作も伝達することを目指している。ロボット [2] を用いた研究があるが、多くは大型で制御された環境に特化しており、屋外使用には不適切である。これらの課題に対し、装着型デバイスを用いて映像・音声・身体動作を伝送する手法が提案されている [1]。また、360 度カメラの活用により、視野角やカメラワークの制約の解決も図られている [3, 4]。本研究では、これらの先行研究を踏まえ、360 度カメラを組み込んだ装着型デバイスを用いてユーザー間で環境を伝達することを提案している。

2.2 対称型テレプレゼンス

従来の遠隔コミュニケーション研究では、現地ユーザーと遠隔地ユーザーといった異なる役割を担う非対称モデル

が多く採用されてきた。これらは作業指示やサロゲート体験に対しては効果的だが、自然なコミュニケーションに内在する双方向性の実現には不十分である。対称な遠隔コミュニケーションを実現する試み [5, 6] も行われているが、これらのシステムは映像伝送の非対称性は解決したものの、ユーザー間の行動の非対称性は解決していない。例えば、一方が歩き回り、もう一方が座って(または立ち止まって)観察するという状況が生じ、非対称性が残る。我々は別々の場所で互いの移動速度を認識しながら、互いの環境を見ることで、「パートナーと一緒に歩く」感覚を向上させることができると考えた。

2.3 移動情報の共有

屋外活動において、遠隔地ユーザーの一人称視点や周囲環境ではなく、移動情報を伝達する試みがある。AR グラス上でのアバター表示 [7] やジョギング中の音声共有 [8] などの研究が行われている。これらは部分的な情報の伝達によりユーザー間のコミュニケーションを拡張するが、周囲環境は共有しない。本研究では、遠隔ユーザーの移動情報と周囲環境を結び付け、視覚的・聴覚的に提示する。これにより、物理的に一緒に歩いているかのようにパートナーの動きを直感的に知覚しながら、物理的歩行では不可能な方法で遠隔環境に没入する体験の創出を目指している。

3. 提案システム

3.1 システム構成

図 2 に示すように、RemoteWalker ユーザーは、360 度カメラ、HMD、ラップトップ PC、ネットワーク接続用のモバイルルーター 2 台、ワイヤレス骨伝導イヤホン、小型マイクからなるデバイスセットを装着する。ラップトップ PC はバックパックに収納され、USB ケーブルを介して 360 度カメラに接続される。ネットワーク接続用のモバイルルーターも、ラップトップ PC と同様にバックパックに収納される。



図 2: システム構成

3.2 ユーザーインターフェース

3.2.1 映像表示球体

RemoteWalker システムにおいて、パートナーから伝送される映像は球体として、ユーザーの視界に重畳される。つまり、パートナーの 360 度映像が表面にマッピングされた球体がユーザーの視界内で浮遊している。球体はパートナーが移動すると、同じ速度、同じ向きに移動する。また、パートナーからの音声は球体を音源として、立体音響としてユー

ザーに提示される。これによって、ユーザーは視覚的にも聴覚的にも、相手の存在感や環境を認識することができる。

ユーザーがシステムを起動、もしくはキャリブレーションすると、その時点のそれぞれのユーザーの位置がそれぞれの原点となる。ユーザーが移動・旋回すると、自身の原点に対する座標情報と回転情報がパートナーユーザーに伝送される。そして、その座標がそのままパートナーユーザーの座標系に反映され、その位置に球体が移動する。これによって、自身から見たパートナーの位置と、パートナーから見た自身の位置の関係性が正しく保たれる。

3.2.2 パートナー環境への没入

ユーザーは自身の物理環境を移動することで、パートナーの球体に近づいたり、遠ざかったりすることができる。特に、球体の内部に入り込んだ時に、ユーザーはパートナーの環境に没入することができる。ユーザーはパートナーの球体の移動に合わせて歩行する、すなわちパートナーと同じ速度で同じ方向に移動することで、まるでパートナーの環境に没入しながら、一緒に歩いているかのような体験ができる。ユーザーがパートナーの球体の内部にいる状態で、歩行を始めるとユーザーの進行方向に応じて、球体の一部が半透明になる。これによって、ユーザーはパートナーの環境に没入しながら、自身の物理環境を認識し、歩行することができる。

3.2.3 パートナー球体の位置調整

ユーザーは自身の操作によって、パートナー球体の位置を調整することができる。ユーザー同士は異なる物理環境を歩いているため、各々の環境の障害物が原因で、パートナー球体との距離を歩行によって調整できないことがある。そこで、ハンドジェスチャーによる球体の位置調整機能を実装した(図 3)。ユーザーは右手をピンチしながら、右手を動かすことでパートナー球体を自身に近づけたり、遠ざけたりすることができる。ユーザーが右手をピンチすると、右手の指先と球体がピンク色の線によってつながる。その状態で、右手を球体から遠ざける、すなわち球体を引っ張るような動作をすると、右手の移動距離に応じて球体が自身に近づく。逆に右手を球体に近づける、すなわち球体を押すような動作をすると球体が自身から遠ざかる。ハンドジェスチャーによる位置調整が行われたとしても、ユーザー同士の相対位置が変化しないようにした。すなわち、パートナー球体を移動させたとき、パートナーから見た自分の位置も変化する。

3.3 ユーザー体験

上記のユーザーインターフェースによって、RemoteWalker ユーザーは、以下のような体験が可能となる。

- ユーザーは、パートナーの存在や位置を球体や立体音響として認識しながら、自身の物理環境を歩き回る。
- ユーザーは、自身の環境に障害物が存在する場合は、ハンドジェスチャーによって球体との距離を調整できる。

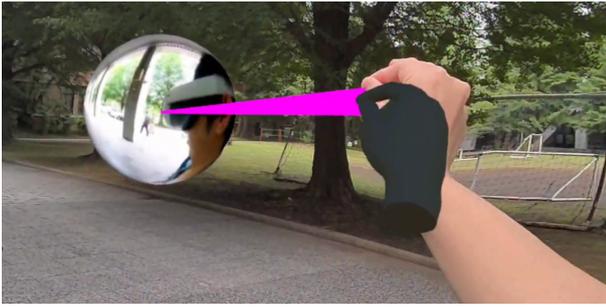


図 3: ピンチ操作

- ユーザーは、球体内部に入り込むことによって、相手の環境に没入する。
- ユーザーは、球体の動きに合わせて歩行することで、まるでパートナーと一緒に並んで歩いているかのようなコミュニケーションを行う。

4. ユーザースタディ

RemoteWalker が生み出す体験を調査するために、基礎的ユーザースタディを実施した。このユーザースタディでは、参加者のペアが RemoteWalker を使用して歩行および会話を行い、パートナーの存在をどのように感じ、どのようなインタラクションが生じるかを検討した。各ペアは互いに知り合いの二人で構成され、大学キャンパス内の異なる直線の道を歩きながら自由に会話をした。シンプルで障害物のない道を歩くタスクを観察することで、予期せぬ事故を防ぎ、参加者がパートナーとの相互作用に集中できるようにした。このユーザースタディは大学の倫理審査委員会によって承認されている。

4.1 参加者

本ユーザースタディでは、知人同士が一緒に歩くシナリオに焦点を当てたため、著者らが所属する研究室から 5 組 (計 10 名、ペア A~E) を募集した。ペア A は 22 歳男性と 27 歳男性 (A1, A2)、ペア B は 23 歳女性 2 名 (B1, B2)、ペア C は 24 歳男性と 23 歳男性 (C1, C2)、ペア D は 29 歳男性と 23 歳男性 (D1, D2)、ペア E は 33 歳男性と 23 歳男性 (E1, E2) で構成された。

4.2 場所

大学キャンパス屋外で実施された。キャンパスは人通りや車両通行が少なく安全な環境であり、5G ネットワークが全域をカバーし安定した通信帯域を提供している。タスクは主にキャンパス内の異なる直線道路で行われた。一方の道路の開始・終了地点を X、折り返し地点を Y、もう一方を P、Q とラベル付けした。X-Y 間と P-Q 間の距離は約 150 メートル、両道路間の距離は約 80 メートルであった。

4.3 手順

参加者は同じ室内で RemoteWalker システムの説明を受けた後、X → Y → X (または P → Q → P) ルートを歩きながら自由に会話するように指示された。システム操作に慣れるための練習を行い、別々のタスク開始地点 (X と P) に

移動した。実験者がシステムを調整した後、タスクを開始した。完了後、室内でインタビューを実施した。総所要時間は約 1.5 時間で、参加者には 2240 円が支払われた。安全のため、各参加者にはサポーターが同行した。

ユーザースタディではインタビュー結果、各参加者が送信した 360 度動画と音声の記録、タスク中の参加者の観察記録を収集した。

5. 結果

5.1 全体的な傾向

インタビューから一緒に歩く体験について肯定的なフィードバックが得られた。参加者からは「同期して歩いている感じがした」(B1)、「球体が自分についてきているので、一人で歩くよりも親密な感じがした」(C1)、「パートナーの球体がついてくると、同期している感じで一緒にいるような楽しさがあった」(C2)、「パートナーの存在を明確に感じることができた」(D1) といったコメントが寄せられた。

また、参加者は大部分の時間を球体の外側で過ごしていることが判明した。この傾向について、参加者は「外から見るのがほとんどだった。外から見ることと中から見ることを意識的に区別していたわけではない」(C1)、「外側にいることが 20 対 1 の割合だった」(D1) と述べている。この理由として二つの要因が特定された。第一に、実際の歩行時と同様の物理的距離を保とうとする意識があり、「腕の届く範囲内。必要があればすぐに引き寄せられる程度の距離」(C1)、「1-2 メートル。近すぎるのはあまり良くない」(C2) といった距離感を維持していた。第二に、球体制御の困難さが挙げられ、「中に入ろうとしたが、すぐに離れてしまった」(A2)、「中にいるように調整がうまくできなかったので、少し距離を保った」(B1) との報告があった。

5.2 ペア別の特徴的インタラクション

各ペアで独特のインタラクションが観察された。ペア A は会話が少なかった。両参加者は球体による視覚情報が電話とは異なる体験を提供することを報告し、「球体が視覚情報として存在することで通話とは違う」(A1)、「通話というより遠隔パートナーの実体を制御している感じ」(A2) と述べた。しかし、パートナーの正確な位置や速度の把握は困難だったと報告している。ペア B は最も頻繁に位置に関する会話 (9 回) を行い、「今、グラウンドのそばの道路にいる」「グラウンドエリアに入り始めたところ」といった具体的な位置情報を共有していた。B2 は積極的に球体内部に入ろうと試み、コースから逸脱や柱との接触寸前の事態も発生した。一方、B1 は球体制御を諦める傾向を示した。ペア C では歩行体験に関する独特なフィードバックが得られ、「歩く速度が遅くなった」(C1)、「通常の歩行では相手を見る必要があるが、これなら相手を気にせず歩き、球体を近づけたい時だけ近づければよい」(C2) といった利点が報告された。ペア D では物理的同期への期待と実際の体験の違いが指摘され、「球体を近くに保てば同時に到着すると思ったが、実際はパートナーが早く到着して興味深かった」(D1) との観

察があった。ペア E は球体制御に集中しすぎる傾向が見られ、「前方ではなく球体を見てしまった」(E1)、「球体の位置に集中しすぎた」(E2)と報告している。

6. 考察

6.1 ユーザー体験

本研究で提案したコンセプトとプロトタイプは、「パートナーと一緒に歩く」体験の創出に成功した。参加者はタスク中に一人ではなく誰かと歩いていると感じ、球体がユーザーについてくことや球体から聞こえる声が存在感と楽しさに寄与したことが確認された。多くの参加者が球体から1-2メートルの距離を保ち、物理的な歩行と同様の距離感を示したことから、球体をパートナーとして認識していたことが示唆される。一方で、通信ネットワークの不調により球体が正常に機能しない場合、参加者は会話による位置追跡に依存し、電話による通話に近い体験となることも明らかになった。

6.2 システムの操作性の課題

提案システムには操作性に関する課題が存在する。球体の位置は「パートナーの歩行」「パートナーのピンチ制御」「ユーザーの歩行」「ユーザーのピンチ制御」の4要因に影響され、これらが同時に発生すると予期しない動きや制御の相殺が生じる。特に最初の2要因はユーザーがコントロールできず、混乱の主要因となった。物理的歩行では身体の向きや表情、ジェスチャーから相手の次の行動を予測できるが、現システムではそうした情報が不足している。将来のシステムでは、パートナーの身体動作をより効果的に表現し、行動予測能力を向上させることが重要である。

6.3 限界と今後の課題

本研究は大学キャンパスの道路で実施されたため、観光地など多様な魅力的なシナリオでの検証が必要である。実世界への適用では、異なる方向や距離の歩行に対応したインターフェース改良が求められる。また、HMDの重量や外見に関する課題があり、より小型軽量のARグラスの採用が望ましい。安全性とプライバシーの観点では、認知負荷の軽減、360度カメラによる周囲環境の撮影に伴うプライバシー保護策の検討が重要である。

7. むすび

本研究では、離れた場所にいるユーザーが互いの移動と環境情報を対称に送受信しながら一緒に歩くコンセプトを提案し、装着型テレプレゼンスシステム RemoteWalkerを開発した。ユーザースタディの結果、提案システムは「パートナーと一緒に歩く」体験の創出に成功したが、球体制御や行動予測に課題が確認された。本研究は遠隔協働体験のシナリオを拡張し、CSCW(Computer Supported Cooperative Work)やテレプレゼンス分野の設計知識構築に貢献する。

謝辞

本研究は、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)の委託研究(No.06101)の成果の一部である。また、本研究の

一部は公益財団法人セコム科学技術振興財団及びJSPS科研費(25KJ0963)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] K. P. Pfeil, N. Chatlani, J. J. LaViola, and P. Wisniewski. 2021. Bridging the socio-technical gaps in body-worn interpersonal live-streaming telepresence through a critical review of the literature. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.* 5, CSCW1 (April 2021).
- [2] S. Tachi, Y. Inoue, and F. Kato. 2020. Telesar VI: Telexistence surrogate anthropomorphic robot VI. *International Journal of Humanoid Robotics* 17, 05 (2020), 2050019.
- [3] Takeru Yazaki, Daisuke Uriu, Yuna Watanabe, Ryoko Takagi, Zenda Kashino, and Masahiko Inami. 2023. “oh, could you also grab that? ”: A Case Study on Enabling Elderly Person to Remotely Explore a Supermarket Using a Wearable Telepresence System. *Proceedings of the 22nd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, MUM '23*. ACM, 340–352.
- [4] S. Kasahara and J. Rekimoto. 2015. JackIn Head: Immersive Visual Telepresence System with Omnidirectional Wearable Camera for Remote Collaboration. *Proceedings of the 21st ACM Symposium on VRST '15*. ACM, 217–225.
- [5] Takeru Yazaki, Yuna Watanabe, Liyuan Kong, and Masahiko Inami. 2023. Design and Field Study of Syn-Leap: A Symmetric Telepresence System for Immersion Switching and Walking Across Multiple Locations. *Proceedings of the 22nd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, MUM '23*. ACM, 353–365.
- [6] Jason Procyk, Carman Neustaedter, Carolyn Pang, Anthony Tang, and Tejinder K. Judge. 2014. Exploring Video Streaming in Public Settings: Shared Geocaching over Distance Using Mobile Video Chat. *Proceedings of CHI '14*. ACM, 2163–2172.
- [7] Seunghee Yoo and Jiro Tanaka. 2022. Increasing Motivation of Walking Exercise Using 3D Personalized Avatar in Augmented Reality. In *Human Interface and the Management of Information: Applications in Complex Technological Environments*. Springer, Cham, 172–191.
- [8] Florian Mueller, Frank Vetere, Martin R. Gibbs, Darren Edge, Stefan Agamanolis, and John G. Sheridan. 2010. Jogging over a Distance Between Europe and Australia. *Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '10*. ACM, 189–198.