



仮想現実におけるマルチプレゼンスシステムの認知負荷軽減のための柔軟な情報アシスタントの開発

Development of a Flexible Information Assistant for Reducing Cognitive Load of Multi-Presence Systems in Virtual Reality

陳柏翰¹⁾, 岩崎有希子¹⁾, 岩田浩康¹⁾
Po Han Chen, Yukiko Iwasaki, and Hiroyasu Iwata

1) 早稲田大学 創造理工学研究科 総合機械工学専攻 (〒162-0042 東京都新宿区早稲田町 27 グリーン・コンピューティング・システム開発センター, berhanchen10@toki.waseda.jp)

概要: ロボティクスと人間拡張技術の進歩に伴い、人間が同時に複数のロボットを遠隔操作できるマルチプレゼンスが将来の開発可能性として注目されているが、人間の認知負荷には限界があり実現が難しい。本研究では、異なる種類のタスクを用いた VR 内でのマルチプレゼンスシステムをシミュレーションし、情報アシスタントが認知負荷の改善にどのように役立つかを検討していく。また、タスクの種類に基づいて柔軟な情報アシスタントを開発し、認知負荷の異なる状態での情報取得効率を最適化することで、マルチプレゼンス全体のパフォーマンスを向上させることを目指している。

キーワード: HMD, 作業支援・評価, テレプレゼンス, 人間拡張

1. はじめに

近年、ロボティクスの分野では人間拡張が注目されるトピックとなっている。中でも、複数のロボットアバターに人間の意識を遠隔的に拡張するという概念であるマルチプレゼンスが研究者の関心を集め始めている[1]。

本研究では、マルチプレゼンスの包括的なシミュレーションを VR 環境を通じて構築し、マルチプレゼンスシナリオで発生し得る 4 種類のタスクを含めた。これに基づき、現在のタスクと次に行うタスクに応じて表示方法を調整できる柔軟な情報アシスタントシステムを提案する。このアシスタントの目標は、オペレーターの認知負荷を軽減し、マルチプレゼンスを用いたマルチタスク実行時のパフォーマンスを向上させることである。

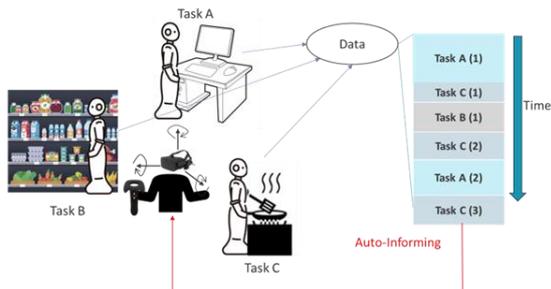


図 1: マルチプレゼンスにおける柔軟な情報アシスタントシステム

また、柔軟な情報アシスタントの有効性を検証するため、非アシスタント条件、固定アシスタント条件、および我々の提案する柔軟なアシスタント条件の間でパフォーマンスを比較する評価実験を設計した。

2. 研究背景

2.1 マルチプレゼンスにおける注意資源の限界

先行研究によると、各人によって異なる可能性があるが、人間の認知負荷には固定的な限界があることが示されている[2]。タスクを実行する際、一部の認知負荷が消費され、これはマルチプレゼンスにおいても同様である。一般的に、人間は監視タスクにおいてマルチプレゼンスで最大 3 台のロボットを操作することができるが、タスクの種類や難易度の変化によりさらに減少する可能性がある[3]。

2.2 マルチタスクの切り替えに対する問題点

認知負荷を軽減するためには、マルチプレゼンスにおいて人間の作業を支援するアシスタントの存在が重要である。しかし、研究によれば、人間がマルチタスク中に外部からの刺激を受けると作業リズムが乱れる可能性が

あり、たとえそれがタスクの切り替えに役立つ情報提供アシスタントからの刺激であっても同様であることが示されている[4]。また、人間が高い集中状態にある場合や現在のタスクと次のタスクの間に大きな違いがある場合、その妨害はさらに大きくなる[5]。このことは、各遠隔地における環境、タスク内容、あるいはロボットアバターの体の違いが大きいマルチプレゼンスにおいて頻繁に見られる状況であり、異なるタスクタイプにおけるマルチタスク支援の際にオペレーター当時の認知負荷状態を考慮する必要性を示している。

3. 研究仮説

前章で述べた先行研究から、アシスタントによって提供される情報とそれがオペレーターに引き起こす妨害とのバランスを見つめることが重要であることがわかった。したがって、我々の仮説は、アシスタントからの情報フィードバックの量を現在オペレーターが行っているタスクの難易度に応じて調整できれば、オペレーターの認知限界を超えずに次のタスクに関する必要な情報を提供することが可能になる。一方、この方法でいくなら、次のタスクの緊急度に応じてアシスタントのフィードバックを調整する必要性も認識している。高難易度のタスクを行っているときに提供される情報量が限られているため、次のタスクの緊急度をオペレーターが認識するのに十分な情報が提供されない可能性がある。この場合、情報フィードバックの強度は、妨害が増加する可能性があってもオペレーターの注意を引くのに十分なものでなければならない。

まとめとして、我々の提案は、次のタスクの情報を提供する柔軟な情報アシスタントを開発し、現在のタスクの難易度に応じて情報フィードバックの量を調整し、次のタスクの緊急度に応じて情報フィードバックの強度を調整することで想定している。我々の仮説は、アシスタントが作業リズムへの妨害を減らし、次のタスクの緊急度が高い場合だけ強制に介入することによって、現在タスクのパフォーマンスレベルを維持できる。その上、認知限界を超えず前提として最大量に次のタスクの情報を提示することで、タスクの切り替えに役に立て、次のタスクのパフォーマンスも高めるということである。

4. 研究計画

4.1 VR マルチプレゼンスの構成

現実生活におけるマルチプレゼンスをシミュレートするために、4つの異なる遠隔地で同時に複数のロボットを操作する際に発生し得る4種類のタスクを含むVRベースのマルチプレゼンスシステムを開発した。オペレーターはViveコントローラーを使用して監視ルーム(図2)から各部屋/タスクを切り替え、ロボットの動きはViveコントローラーおよびHMDヘッドセットの位置と回転データに基づいて追跡される。

4.1.1 完全マニュアル操作：分類タスク

オペレーターによる継続的な操作と意思決定が求められるタスクである。VRでは、オペレーター(ロボット)の周囲に異なるマーカーが付いた4つの箱を配置し、分類タスクを構築した。特定のマーカーが付いた瓶がオペレーターの前に現れ、瓶をつかんで対応するマーカーが付いた箱に入れるよう求められる。タスクが完了するたびに新しい瓶が現れ、箱の配置がランダムに切り替わる。このタスクは、オペレーターが継続的に観察し、ロボットの操作と意思決定の全責任を負うことを要求する。

4.1.2 半自動操作：料理タスク

ロボットによって部分的に自動化されたタスクである。VRでは、2つの料理タスクのがランダムに発生する：スープを作ることと肉を切ること。スープを作る場合、これは完全に自動化された動作であり、オペレーターが関与する必要はない。肉を切る場合、ロボットも自動的に行うことができるが、動作のペースは制限される。オペレーターは肉を切るアクションに参加し、手動で操作することでタスクの効率を高める必要がある。

4.1.3 監視：ベビーシッタータスク

オペレーターが緊急状況のみ対応するために監視することを要求されるタスクである。VRでは、一人の赤ちゃんが寝ているが、ランダムな時間に目を覚ます可能性がある。オペレーターは赤ちゃんを再び寝かせるためにベルを鳴らすよう求められる。タスクの緊急性をシミュレートするために、赤ちゃんが目を覚まししている時間が長ければ長いほど、赤ちゃんを再び寝かせるのに時間がかかる。したがって、オペレーターは他のタスクの進行に干渉しないように、赤ちゃんの変化にできるだけ早く反応する必要がある。

4.1.4 インタラクティブ：デュオボールタッチタスク

オペレーターが共同作業者と協力して完了する必要があるタスクである。VRでは、2つの緑ボールと2つの青ボールがランダムな時間に出現する。緑ボールについては、オペレーターが最初にそれを触れ、共同作業者が次に触れて破壊することになる。対照的に、青ボールについては、共同作業者が最初に触れ、オペレーターがそれに反応して後に触れることで破壊する必要がある。他のタスクとは異なり、オペレーターは他の人の動きを合わせる必要があるため、自分のリズムを保つのが難しくなる。実験では、実験者が共同作業者として役割を担当する。

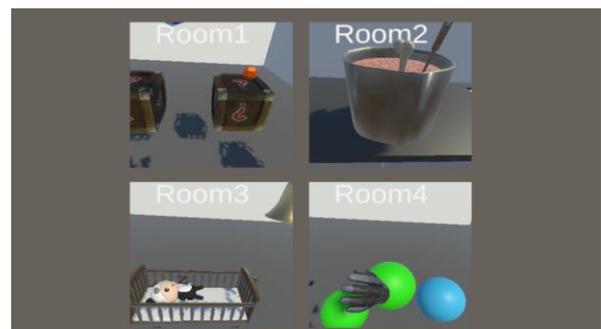


図2: VR マルチプレゼンスの監視ルーム. 左上 (ルーム1) 分類タスク, 右上 (ルーム2) 料理タスク, 左下 (ルーム3) ベビーシッタータスク, 右下 (ルーム4) デュオボールタッチタスク

4.2 柔軟な情報アシスタントシステムの開発

我々は次のタスクの情報を表示する柔軟な情報アシスタントを, 現在のタスクの難易度と次のタスクの緊急度の2つのパラメータに基づいて設計した. アシスタントは, オペレーターが一定時間内に特定の部屋に切り替えてタスクを行わない場合に起動される.

現在のタスクの難易度は, 表示される情報の量に影響し, 3段階に分類される. レベル1では, 次のタスクの部屋番号/タスク番号のみを表示する. レベル2では, 次のタスクのシーンを示す小さなポップアップウィンドウが表示される. レベル3では, 現在のタスクのシーンと重なる形で次のタスクの大きい透明ウィンドウが表示される.

次のタスクの緊急度は, 表示される情報の強度に影響し, 同じく3段階に分類される. レベル1では, テキスト/ウィンドウの視覚的フィードバックのみが含まれる. レベル2では, 次のタスクを警告する視覚と音声のフィードバックが含まれる. 最後に, レベル3では, 視覚と音声のフィードバックに加えて, オペレーターの注意を強制的に移すために, Vive コントローラーを通じた振動フィードバックが提供される.

本研究では, 各タスクの一般的な難易度と緊急度をアンケートと実験データを通じて評価するために, VR マルチプレゼンスシステムのパイロット実験を行う. その後, 得られた結果に基づいて柔軟な情報アシスタントを開発する.

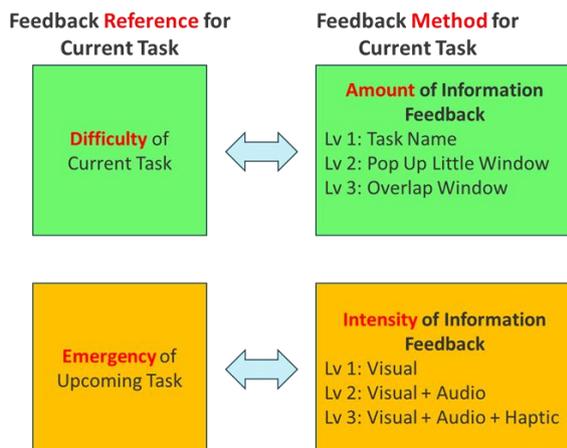


図3: 柔軟な情報アシスタントの構成

4.3 検証実験

柔軟な情報アシスタントの開発後, 提案システムの有効性を検証するために評価実験を実施する. 実験では, 4つの異なる条件でVR マルチプレゼンスを実行する:

- ・ アシスタントなし
- ・ 固定レベル1アシスタント (難易度と緊急度)
- ・ 固定レベル3アシスタント (難易度と緊急度)
- ・ 柔軟な情報アシスタント (提案システム)

各条件でのタスクのパフォーマンスを比較し, 提案システムがマルチプレゼンスの効率をどの程度向上させるかを観察する. また, Nasa TLX を通じて認知負荷を比較し, オペレーターが提案システムを使用することでより快適に感じるかどうかを確認する.

5. おわりに

今回は, 現在のタスクの難易度と次のタスクの緊急度に基づいたマルチプレゼンス用の柔軟な情報アシスタントを提案した. 将来の課題として, 被験者を通じて実験データを収集し, 各レベルでのアシスタントの表示方法を改善し, または提案システムを評価するための追加実験を行い, 我々の研究仮説の妥当性を検証していく.

参考文献

- [1] Alsereidi, A., Iwasaki, Y., Oh, J., Vimolmongkolporn, V., Kato, F., & Iwata, H. (2022). Experiment assisting system with local augmented body (EASY-LAB) in dual presence environment. *Acta Imeko*, 11(3), 3.
- [2] Sweller, John. "Cognitive load theory." *Psychology of learning and motivation*. Vol. 55. Academic Press, 2011. 37-76.
- [3] Alsereidi, A. (2022). Multi-presence system with local augmented body: Investigation of human cognitive limitation in multi-robot operation and spatial awareness [Master's thesis]. Waseda university, Japan.
- [4] Liu, N., Pu, Q. (2022). Multitasking with Intelligent Assistant: Effects of Task Relevance and Interruption Mode. In: Rau, P.L.P. (eds) *Cross-Cultural Design. Product and Service Design, Mobility and Automotive Design, Cities, Urban Areas, and Intelligent Environments Design*. HCII 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13314. Springer.
- [5] Rachel F. Adler, Raquel Benbunan-Fich, The Effects of Task Difficulty and Multitasking on Performance, *Interacting with Computers*, Volume 27, Issue 4, July 2015, Pages 430-439.