

論文の内容の要旨

論文題目

Human Body Mapping and Augmentation for Immersive Telepresence Systems
(没入型テレプレゼンス環境における身体のマッピングと拡張に関する研究)

氏名： 樋口啓太

本博士論文では、既存の没入型テレプレゼンスシステムに存在する(A)操作性(B)拡張性(C)展開性という三つの課題を定義する。そして、身体情報マッピングの拡張という提案手法により、その課題を解決する。

没入型環境とは計算機により構築された作業空間である。実世界から取得した環境情報やユーザ入力、コンピュータ内に保存されたデータといった情報を統合することにより、アプリケーションに応じた適切な作業空間を提供できる。没入型環境実現のための要件として、(再)構成された空間の他に、インタラクティブな視点変更や描画が挙げられる。その応用範囲には、テレプレゼンスと呼ばれる遠隔地間のコミュニケーションや、レイグジスタンスという遠隔地に存在するロボットの操作を実現する技術も含まれる。従来の遠隔ロボットの操作では、人間とロボットの手腕の動きを同期させることにより、直接的な操作を実現した。それを発展させ、人間の動きを線形に縮小することができる手術支援ロボットも開発されている。また、遠隔協調作業システムにおいては、異なる場所にいる共同作業者の着目している方向や指示位置を伝達するために、対面しているかのような状態を再現する方法が研究されてきた。

しかしながら、従来のテレプレゼンスシステムには解決すべき問題が残されている。以下に、本論文で取り組む、テレプレゼンスシステムにおける3つの課題を定義する。

- (A) 遠隔ロボットの移動操縦は複雑な機器操作を要求するため、直接的な操作ができず、訓練を必要とする。そのために、移動操作に身体との同期を取り入れることが考えられる。身体情報とロボットの移動をどのように対応付けするのが効果的であるか。(操作性)
- (B) 遠隔ロボットの移動操縦に身体同期による操作を取り入れたとき、可動範囲や速度が人間の身体能力に制限される。そのため、モーションマッピングのような線形な拡張が考えられるが、どの程度までの比率変更が有効であるのか。また、上下方向も移動させる必要がある場合、人間の身長への制約により移動可能範囲が限定されるため、線形の対応付けのみでは高所への移動を実現することができない。(拡張性)
- (C) 遠隔協調作業システムにおいて、遠隔地にいる共同作業者の着目点や指示位置など協調作業に必要な情報を再現するとき、身体形状取得と情報提示するための仕組みが複雑になる。システムの構成が複雑になることで、実際のオフィスなどへの普及が妨げられる。簡易なシステム構成で、協調作業に必要な情報を保持したまま、遠隔共同作業者を再現する可視化手法が実現できるか。(展開性)

本研究では、没入型テレプレゼンス環境に身体情報マッピングの拡張という、身体情報の対応付けをするだけでなく、用途に応じて動作の対応付けを変化させる方法を導入する。身体情報マッピングとは、人間の動作や形状などの情報を遠隔環境の情報に対応付けする手法である。しかし、身体情報マッピングのみでは、人間の身体的制

約に縛られてしまうため、直接的なインタラクションと拡張性や展開性を両立させることは難しい。そのため、本研究では連続性を維持しつつ動作の対応付けを変化させる方法を提案する。それにより、直接的かつ身体の制約に縛られないテレプレゼンスシステムを実現する。本研究では、上記3つの課題を解決するために、身体情報マッピングの拡張を導入した二つの没入型テレプレゼンスシステムを開発し、評価をする。

課題(A)と(B)を解決するために、頭部動作との対応付けによる無人航空機の操作システムを開発する。本システムは、操作者の頭部位置と無人航空機の位置をマッピングすることにより、直接的な移動操作を実現する。また、高さ方向の移動に関しては、手持ちコントローラーによる操作と併用することにより、人間の身長以上の制約を超えて操作することができる。本システムが直接的な移動操作を実現できたこと、身体以上の制約を超えた操作が可能であったことを示すために、二つのユーザ実験を実施する。最初の実験では、提案システムを既存の操作方法と比較することで、操作の優位性を明らかにする。二つ目の実験では、移動操作における線形マッピングの比率を変化させることで、その効果と役割を明らかにする。

課題(C)を解決するために、ホワイトボードを介した没入型環境による遠隔協調作業システムを提案する。本システムは、大型のタッチディスプレイとデプスカメラのみから構成されている。遠隔協調作業者の可視化に身体形状の変形を取り入れているため、デプスカメラ一台の映像から人間の視線と指示位置を再現することができる。また、身体形状の変形による、複数の可視化方法を実現する。ユーザ実験を通して、本システムの可視化方法が視線方向や指示位置を伝達できることを示す。また、用途や相手との関係性に応じて、複数の可視化方法から選択できる意義を明らかにする。

本研究の成果により、二つのテレプレゼンスシステムにおいて、インタラクションの直接性と、拡張性や展開性を両立させることができた。今後は、より多くのシステムに応用させることができるインタラクションの方法として、提案手法を発展させたい。

以下、本論文の内容を章構成に沿って紹介する。

第1章では、没入型環境の成り立ちや構成要素、応用例などを示す。また、テレプレゼンスシステムにおける3つの課題と、それを解決するための本博士論文で提案する身体情報マッピングの拡張について論じる。

第2章では、マッピングというインタラクション手法の関連研究を論じ、本研究の立ち位置を明確にする。

第3章では、頭部位置マッピングによる無人航空機操作システムの提案及び実装を述べる。また、本章においては課題(A)と(B)が解決されたことを示すための評価実験とその考察を論じる。最後に本システムの応用例を示す。

第4章では、課題(C)を解決するための、没入型環境によるホワイトボードを介した遠隔協調作業システムの提案と実装、評価実験の結果を示す。また、同一のシステム構成において、複数の可視化方法を提供することの優位性を示す。

第5章では、身体情報のマッピングを2つの没入型テレプレゼンスシステムに適用したことから得た知見を論じる。また、本手法と知見を適用可能なアプリケーションと、その技術的課題を示す。

第6章では、本研究のまとめと将来展望について論じる。