

(別紙 2)

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 樋口啓太

本論文は没入型環境におけるヒューマンインタフェースに関する研究に関わるものである。没入型環境は計算機により構築された作業空間であり、実世界から取得した環境情報や利用者からの入力、計算機内のデータ等を統合し、アプリケーションに応じた適切な作業空間を提供する。没入型環境実現のための要件として、構築された作業空間に対する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、テレプレゼンスと総称される、遠隔地間のコミュニケーションや遠隔地に存在するロボットの操作を実現する技術が含まれる。

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ていた。また、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。さらに、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、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。本博士論文では、遠隔ロボットの移動操作システム(1)と、遠隔地間での協調作業システム(2)における以下の課題についてその解決手法を提案する(第1章、第2章)：

(1) 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訓練を必要とする。移動操作と操縦者の身体動作を同期させることで操作性を向上させることが考えられるが、単純に1:1の対応にした場合、遠隔ロボットの移動範囲や速度が人間の身体移動能力に制限されてしまう。モーションマッピングのような線形なマッピング比率の変更が考えられるが、どの程度までの比率の変更が有効であるのかは明らかでなかった。また、飛行ロボットなどで高さも操作する必要がある場合、人間の身長制約により縦方向の移動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。そのため、ロボットの直接的な操作と、身体能力に制限されない操作手法を両立させる必要がある。

(2) 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、情報提示するための仕組みが複雑になる。協調作業に必要な情報を保持し、遠隔参加者をとの位置関係を正しく再現する可視化手法が実現しなければならない。

上記の二問題を解決するため、本研究では身体マッピングの拡張という手法を提案する。身体マッピングとは、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。本研究では身体と情報のマッピングの連続性を維持しつつ動作の対応付けを変化させるための拡張手法を提案する。それにより、利用者の直感的な理解を保ちつつ身体制約に

縛られないテレプレゼンスシステムの構築が可能になる。本研究ではこの概念を利用した以下の二つ没入型テレプレゼンスシステムを構築し、その効果を評価する：

上記の課題（１）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（drone）の操作システムを構築した（第３章）。本システムは、操作者の頭部位置や方向と無人航空機的位置・方向を対応づけることで、利用者にとって直接的な移動操作を実現する。本システムが直接的な移動操作を実現できたことを、提案システムを既存の操作方法との比較実験、および移動操作における線形マッピングの比率を変化させた場合の操作性の検証実験により、その効果を役割を明らかにする。

課題（２）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構築した（第４章）。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おり、遠隔参加者の映像もホワイトボード上に等身大で表示される。さらに、遠隔参加者の身体形状を変形して表示することで、デプスカメラ一台の映像から人間の視線方向や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。利用者評価実験を通して、本システムの可視化方法が協調作業に必要な情報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。

本研究で提案した身体マッピングと拡張というインタラクションの構築手法により、二つのテレプレゼンスシステムにおける問題を解決することができた。第５章で本研究の意義をまとめ、今後の課題について議論する。

最終審査会では、論文の構成に従って発表を行ない、質疑を行った。審査委員からは、具体的に新規なシステムを構築・評価実験を行った上で議論を展開している点に評価があった。また、総合分析情報学コースで定めている博論審査に必要な論文発表件数に達していることを再度確認した。一方で、両者のシステムの上位概念である身体マッピングの拡張について、やや議論が強引であるとの意見もあった。しかしながら、総合的には、本論文の内容が博士論文の水準に充分達しているということに審査委員全員が合意した。よって本審査委員会では本論文が博士（学際情報学）の学位に相当するものと判断する。

以上