

論文内容の要旨

博士論文題目 適応環境オブザーバを用いた遠隔操作システムに関する研究
氏名 柿添 有紀

(論文内容の要旨)

ロボットマニピュレータを用いた遠隔操作システムでは通信回線を介して情報通信を行うため通信遅延が発生し、安定性、操作性上の問題が発生する。これまでの研究は操作性に着目した研究と安定性に着目した研究とに大別されるが、安定性と操作性を両立させることは難しい。例えば、操作性に着目した研究事例として作業環境モデルを用いる方法があるが、より良好な環境情報提示を行うためには厳密な位置状態と力状態の同期、ならびに作業環境の剛性と歪情報を再現することによる力覚情報の提示が必要である。

本研究では、提案する適応環境オブザーバによる剛性と初期接触点の推定による作業環境の力覚情報の再現を保証し、作業環境情報の動的な推定を行うことにより環境モデルの誤差の影響も解消する遠隔操作システムを構成する。また、位置と力のハイブリッド制御則を採用することにより厳密な力状態の追従を保証することで操作者に対して精度の高い環境情報提示を行う。このような遠隔操作システムを二台のロボットマニピュレータ (PA-10) と力・モーメントセンサを用いて構築し、仮想的に通信遅延を発生させて実験を行い、提案した適応環境オブザーバの有効性を確認した。

重要な役割を果たす適応環境オブザーバの設計法として2通りの方法を用いた。リアプノフ関数を用いた設計法では簡単なゲイン設定で環境推定および制御を行うことができる。実験により厳密な力追従と1cm程度の精度での環境提示が可能なことを確認したが、環境推定において振動が発生した。これを解決するために時間軸変換を用いるオブザーバ設計法を提案した。この方法では非線形なオブザーバに対しても線形な誤差システムが導出でき、線形制御理論をベースとして過渡応答、振動特性などを自由に設計することができる利点がある。実験により、安定で数mm程度の精度で良好な作業環境提示ができること、ある程度の非線形性を持つ作業環境に対しても振動性の少ない環境推定を行うことができることを確認した。これらの結果から、提案した適応環境オブザーバを用いた遠隔操作システムが、通信遅延下においても安定で操作性の良い遠隔操作システムであることを示した。

氏名	柿添 有紀
----	-------

(論文審査結果の要旨)

本論文は、通信遅延下においても安定で操作性の良い遠隔操作システムの構成および制御法を提案したもので、理論的および実験的にその有効性を調べている。まず4つの課題を明確にした上でその解決法を提案している。

- ① 通信遅延に対する安定性を制御理論により保障する。
- ② 通信遅延の影響を意識せずに操作するため、システムに作業環境モデルを組み込み、遠隔環境の作業班力のプレフィードバックを行う。
- ③ 厳密な状態追従を達成するため、位置と力のハイブリッド制御則を用いる。
- ④ 未知の作業環境に対して適用できるシステムとして、適応環境モデルを用いて動的に作業環境を推定する。

以上により、適応環境オブザーバによる剛性と初期接触点の推定によって作業環境の力覚情報の再現を保証する。作業環境情報の動的な推定を行うことにより環境モデルの誤差の影響も解消する。また、位置と力のハイブリッド制御則を採用して厳密な力状態の追従も保証することで、操作者に対して厳密な環境情報提示を行うことが可能になる。この適応環境オブザーバを用いたシステム構成および制御法の有効性を確認するため、二台のロボットマニピュレータ (PA-10) と力・モーメントセンサを用いて遠隔操作システムを構築し、仮想的に通信遅延を発生させて実験を行っている。

重要な役割を果たす適応環境オブザーバについては、リアプノフ関数を用いた設計を行い実験した結果、厳密な力追従と1cm程度の精度での環境提示が可能であるがわかった。しかし、環境推定において振動が発生した。この課題を解決するため、時間軸変換を用いる適応環境オブザーバの設計法を考案した。これによって、非線形なオブザーバに対しても線形な誤差システムが導出でき、線形制御理論をベースとして過渡応答、振動特性などを自由に設計することができるようになった。その結果、ある程度の非線形性を持つ作業環境に対して振動性の少ない環境推定を行うことができ、安定で数mm程度の精度で良好な作業環境提示ができることを実験で確かめた。これらの結果から、通信遅延下においても安定で操作性の良い遠隔操作システムを構成できることが示された。

以上のように、本論文は新しい適応環境オブザーバを用いた遠隔操作システムを提案し、二台のロボットアームを用いた実機実験を用いて、手法の有効性を検証したものであるとして、ロボット制御、システム制御の分野において、学術上、実用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。