

J-035

サイバニックマスタアームによるマニピュレーションシステムに関する研究 Proposal for Manipulation System with Cybernic Master Arm

平松 宏介[†] 山海 嘉之[†]
Kousuke Hiramatsu Yoshiyuki Sankai

1. はじめに

極限環境下において、人間が直接現場で作業することは難しい。そこで人の代わりに現場で働くロボットアーム・ハンドが必要であるが、それには繊細にマニピュレートできることが求められる。このようなマニピュレーションは、手や腕、また視覚、触覚といった感覚器官との協調が重要な役目を果たす複雑な作業である。そのため、これをロボットで実現させる場合、システムに人間を組み込み、マスタスレーブ型マニピュレーションシステムを用いることで実現できると考えられる。現在まで、マスタスレーブ型マニピュレーションシステムに関する研究は、ロボット工学やバーチャルリアリティの分野で様々な形態で行われている [1][2]。マスタスレーブ型マニピュレーションシステムは、オペレータが自分の腕と同じように思い通りにスレーブアームを動かせることが理想であるが従来のシステムでは、伝送遅れや制御手法による操作の違和感、装着装置がオペレータの運動を妨害するといったことが問題となっている。これはマスタアームが人間の運動意思を腕の変位として読み取るシステムであるところに原因があると考えられる。人間の運動意思は、神経を伝わり、筋を収縮させ、関節トルクを発生させた後、腕の変位となる。したがって、マスタアームに人間の運動意思が伝わるまでに時間のずれが発生するだけでなく、変位として出力されない動作には適応できないという大きな問題が存在する。そこで、本研究室で研究・開発されているロボットスーツ HAL の技術を応用したマスタスレーブ型マニピュレーションシステムの開発を行う。本研究では、脳から神経系を経由して神経電位信号が伝達される点に着目し、特に身体を動かそうとする際に皮膚表面で検出される生体電位信号に焦点を当てた関節トルク推定法を用いたマスタアームを開発することに主眼を置く。これによりオペレータの運動意思の早期伝送を実現するだけでなく、マスタアーム自身が能動的に機能することによって、オペレータへのアシスト動作が可能となる。したがって、マスタアームの操作におけるオペレータへの負荷が軽減され作業効率を高めることができ、長時間の作業においても、疲労蓄積を最小限に抑えるマニピュレーションシステムが構築できると考えられる。

2. 目的

本研究では、オペレータの運動意思が直接反映可能なマスタスレーブ型マニピュレーションシステムの開発を目指す。そこで、人間が身体を動かそうとする際に皮膚表面で検出される生体電位信号に着目し、関節トルク推定法を用いたマスタアーム（サイバニックマスタアーム）を開発することに主眼を置きアプローチする。よってこの新たなシ

ステムを構築するために、(1) マスタ・スレーブアームシステムの開発を行い、(2) 生体電位情報に着目したバイラテラル制御アルゴリズムの開発および動作実験を行うことを目的とする。

3. マニピュレーションシステムの構成

本研究におけるマスタスレーブ型マニピュレーションシステムは、オペレータが装着、操作を行うサイバニックマスタアームシステム、および実際に作業を行うスレーブアームシステムからなるマスタスレーブシステムとなっている。これらのマスタアーム、スレーブアームは双方向に通信を行い、オペレータのマスタアーム操作がスレーブアームの動作に反映されるようになっている。以下においてマスタアームシステムおよびスレーブアームシステムについて説明する。

3.1 マスタアームシステム

サイバニックマスタアームは当研究室で開発を行っている上半身型ロボットスーツ HAL (Hybrid Assistive Limb) [3][4] の技術を基に新たに構築した。サイバニックマスタアームの構成を図 1 に示す。システムはホストコントローラおよび、通信・計測用マイコン、各種センサ（関節角度センサ、生体電位センサ、データグローブなど）、パワーユニット、バッテリーで構成される。

3.2 スレーブアームシステム

本研究では 7 軸ロボットアームをスレーブアームとして用いる。手先に 6 軸力覚センサを取り付け、手先に加わる並進および回転力を検出できるようにしている。

4. 制御手法

本研究において図 2 に示すバイラテラル制御手法を用いる。これはマスタシステムにおける関節トルク情報をオペレータの生体電位情報より取得し、マスタアームを動作させる。その結果として得られたマスタアームの手先位置情

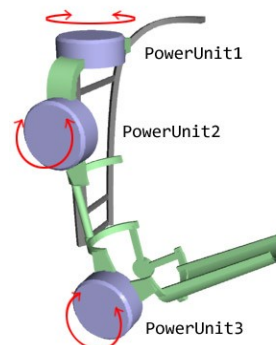


図 1 サイバニックマスタアームの構成

[†] 筑波大学システム情報工学研究科サイバニクス研究室,
Graduate School of System and Information Engineering
University of Tsukuba

報をスレーブシステムに送信する。スレーブシステムは受信した手先位置情報を元にスレーブアームの手先位置の追従を行い、手先に取り付けられている6軸力覚センサより得られた力情報および手先位置情報をマスタシステムに送信する。マスタシステムは受信した力情報よりヤコビアンを用いて手先力から各関節トルクへと変換する。それに加え位置偏差を用いて力覚フィードバックをオペレータに行う。さらに、マスタスレーブシステム内に人間を組み込み、オペレータの視覚フィードバックにより絶対位置のフィードバック制御を行うという新たな制御手法である。

5. 動作実験

5.1 タスクにおける筋活動量の比較評価実験

無造作に配置された転倒ペレットを把持し、所定の場所まで移動させ倒立状態にするというタスクを設けて実験を行った。サイバニックマスタアームを用い位置制御を行った場合と、提案制御手法を用いた場合の筋活動量を図3に示す。本実験の結果より提案制御手法において位置制御の場合よりも筋活動量がおよそ50%低くなっていることが確認できた。すなわち、位置制御を行った場合よりも修正操作や、マスタアームがオペレータの運動を阻害する負荷が低減していると考えられる。また、提案制御手法においてアシスト率を任意に設定することで筋活動量の調節が可能であることが確認できた。

5.2 単位時間あたりのタスク完了回数比較実験

5.1章で行ったタスクにおける単位時間当たりの完了回数をカウントした実験結果を図4に示す。BESが提案制御手法、POSITIONが位置制御となっている。提案制御手法においては試行回数ごとにスコアが上がり習熟度が高くなっていることが分かるが、それに対して位置制御の方はスコアが下がってしまうという結果になった。試行を繰り返すごとに疲労が溜まるという操作者からの感想が得られたため、操作時の負荷における疲労蓄積の影響と考えられる。また、本実験の結果を用いてt検定を行った。その結果、危険率1%において $t > 2.977$ となり帰無仮説は棄却され、有意性があることを確認できた。

6. 結論

本研究では、オペレータの運動意思が直接反映可能なマスタスレーブ型マニピュレーションシステムの開発を目指して、人間が身体を動かそうとする際に皮膚表面で検出される生体電位信号に着目し、関節トルク推定法を用いたサイバニックマスタアームを開発することができた。そして

(1) マスタ・スレーブアームシステムを実現できた。そのシステムを用いて (2) 生体電位情報に着目したバイラテラル制御アルゴリズムの開発および動作実験を行い、提案手法におけるシステムの動作が確認できた。

7. 今後の課題

今後は、サイバニックマスタアームシステムにおける操作性の向上とシステムの汎用性の向上を図る。

謝辞

本研究は、文部科学省グローバルCOEプログラム「サイバニクス：人・機械・情報系の融合複合」の支援を受けて

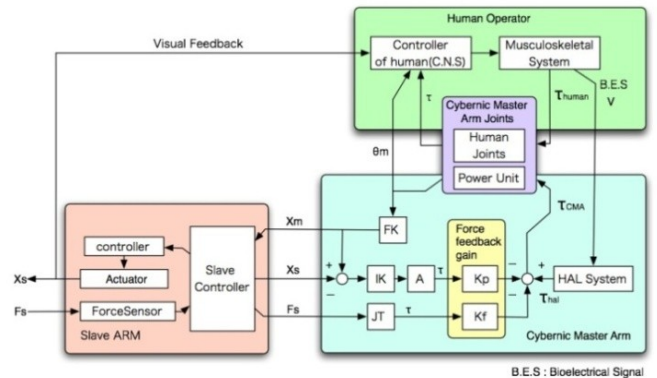


図2 生体電位情報を用いたバイラテラル制御手法

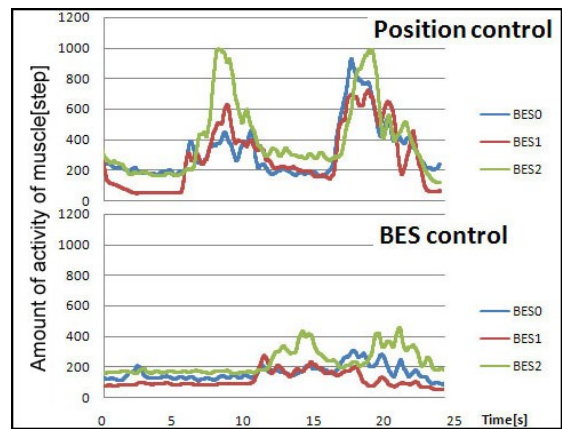


図3 タスクにおける筋活動量

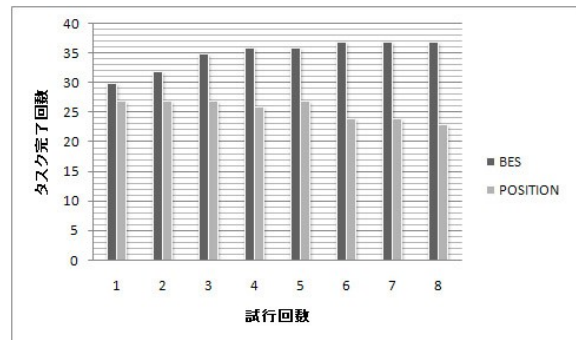


図4 単位時間当たりのタスク完了回数

行われた。

参考文献

- [1] 舘すすむ, "マスタスレーブロボットにおける力制御システムの設計法", 日本ロボット学会誌, 17巻6号, pp766/772,1991.
- [2] 吳景龍, 木村孝一, 北澤雅之, 酒井義郎, "バーチャルキャッチボールシステムのための追従型力提示装置の試作", 日本機械学会論文集 (C編), 66-648(2000),286-293.
- [3] Takao Nakai, Suwoong Lee, Hiroaki Kawamoto and Yoshiyuki Sankai: "Development of Powered Assistive Leg for Walking Aid using EMG and Linux", in Proc. of Asian Symp. On Industrial Automation and Robotics (ASIA01), Bangkok, pp.295-299 (2001).
- [4] Hiroaki Kawamoto and Yoshiyuki Sankai: "Power assist method based on Phase Sequence and muscle force condition for HAL", Advanced Robotics, Vol.19, No.7, pp.717-734 (2005).