

平成 21 年 6 月 15 日現在

研究種目：若手(スタートアップ)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19860080
 研究課題名(和文) 異構造マスタスレーブマニピュレータを用いた医療ロボットシステムの開発
 研究課題名(英文) Development of medical robotic system using Master-Slave manipulator with different configuration
 研究代表者
 大場 謙(YUZURU OHBA)
 仙台電波工業高等専門学校 電子制御工学科 助教
 研究者番号：80455104

研究成果の概要：

ロボットを用いた制御技術により、遠隔地における触覚の再現を行う研究が数例報告されている。そのほとんどが同じ構造のロボット 2 台を用いた物である。しかしながら実際の現場では作業効率向上のため構造が異なることが多い。

本研究では構造が異なるロボット間での触覚の再現を可能とする手法を開発する。1 自由度鉗子ロボットと 3 自由度ロボットの間で、触覚を再現することでその有効性を確認している。検証実験により、構造が異なるロボット間でも触覚を伝達できることを確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,360,000	0	1,360,000
2008 年度	1,350,000	405,000	1,755,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,710,000	405,000	3,115,000

研究分野：制御理論、モーションコントロール、ロボティクス

科研費の分科・細目：工学・制御工学

キーワード：ロボティクス、バイラテラル制御、異構造マスタ・スレーブロボット

1. 研究開始当初の背景

(1) 腹腔鏡外科手術に代表される低侵襲性医療は近年より発展を見せており、患者のQOLを向上させる技術として注目を浴びている。それらのニーズに応える手段として、ロボットシステムを用いた手術システムも既に臨床段階にあり、我が国においても 2000 年より慶應大学病院、九州大学病院の 2 院において「da Vinci」と呼ばれる内視鏡外科手術ロボットが採用、臨床段階にある。

(2) 現状で実用段階にある内視鏡外科手術の場合では、患者体内の「触覚」はその鉗子を介してわずかに得られるのみである。また、da Vinci などのマスタスレーブマニピュレータを用いた現状の手術用ロボットにおいては、まったく触覚が得られないという問題点をもっている。この触覚は作業をするに当たり非常に重要な要素なのである。

(3) このような問題を解決するべく、本研究代表者は世界に先駆けて力覚フィードバック技術を応用したロボット鉗子、3自由度ロボットマニピュレータを実現してきた。従来までの研究開発においては、リニアモータを用いて摩擦、機械共振の影響を少なくすることでよりよい触覚伝達を可能とする研究報告であった。しかしながらリニアモータはその可動範囲、パワーレートの小ささからすべてのシステムに実用するのが困難である。

(4) そこで本研究代表者は従来まで用いられてきた回転型モータを用いて、摩擦の影響、共振現象を機構及び制御により補償することで、可動範囲、パワーレートの制約を受けないシステムを実現してきた。これにより触覚伝達技術を適用できる範囲は大きく広がることとなった。

(5) 実際の医療現場で用いられる手術器具は作業効率を向上するために、人間が操作を行う側(マスタ)と、作業を行う側(スレーブ)のロボットの構造が異なる場合が多く、また行う作業によって作業側のツールは変更があるため、スレーブマニピュレータの構造は様々な形を取る事が知られている。

(6) しかしながら、現在の触覚再現技術は、同構造のロボット対を用いる物がほとんどであり、実際に医療応用するにあたり様々な問題点を抱えている。

2. 研究の目的

(1) 本研究においては 2 台の異なる構造のマニピュレータをもちいる異構造マスタスレーブマニピュレータでバイラテラル制御を構築し隔地の触覚の再現を可能とする制御技術の開発を行う。本研究では、1 自由度ないし 2 自由度のロボットマニピュレータを 3 自由度のロボットマニピュレータにて操作を行い、触覚の再現を行う。

(2) 本研究においては、触覚の再現に必要な力情報は力センサを用いずに、外乱オブザーバ技術を用いて力センサレスで推定を行う。力センサは多くの問題点を抱えているのが知られているが、力センサレス手法を用いることでそれらを解決可能となる。

(3) 提案する異構造バイラテラル制御系は、従来までのバイラテラル制御を利用できる構造とする。つまり、マスタマニピュレータとスレーブマニピュレータの構造が異なる際の影響を吸収する制御アルゴリズムを開発することとなる。このアルゴリズムにより手術中の剪刀部の変更を可能とする高性能なマスタマニピュレータ(手術者側)とスレーブマニピュレータ(患者側)を実現できる。

3. 研究の方法

(1) 本研究ではリニアモータを用いた 1 自由度鉗子ロボットと回転型モータを用いた 3 自由度ロボットの 2 台の間で異構造バイラテラルシステムを構築し、触覚伝達を可能とするアルゴリズムを開発する。3 自由度ロボットは既に研究室の設備として保有しているものを使用するが、1 自由度ロボットは新たに設計、製作を行う。良い触覚の伝達には摩擦、共振を持たないアクチュエータが要求される。そこで本研究では 1 自由度ロボットにはアクチュエータとしてリニアモータを採用している。これはリニアモータが摩擦の影響を受けにくく、機械共振を持たない理想的なアクチュエータであるからである。

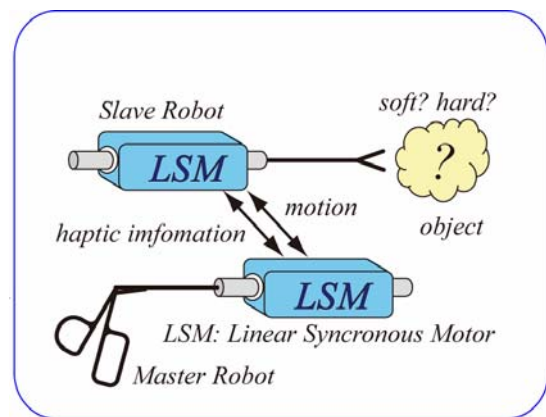


図 1 1 自由度鉗子ロボットシステム

(2) 作成したリニアモータを用いた鉗子単体の制御系設計を行う。ロボットの受ける反力の検出には力センサを用いずにセンサレスで力の推定を行う。これは、力センサがコスト、性能、強度の問題でロボットシステムに悪影響を与えるためである。本研究では力センサに代わり外乱オブザーバ技術を用いて、力情報を推定する。外乱オブザーバはモータに流れる電流情報と位置の情報より、ロボットに加わる力

を推定するアルゴリズムである。後付のセンサを必要としないため、容易に実現可能である。

- (3) 作成を行ったリニアモータを用いたロボット鉗子と、本研究室で保有する回転型モータを用いた3自由度摩擦フリーロボットシステムの2台の間にて触覚情報を伝えあう、バイラテラルロボットシステムを構築する。バイラテラルロボットシステムを構築するに当たり、個々のロボットシステムは独立してそれぞれの制御系設計を行い、振動抑制、摩擦補償をして位置追従性能、力再現性能の向上を目指す。本研究では、それぞれのロボットマニピュレータに既約分解表現を用いた2自由度制御系を用いた加速度制御系を構築することで、より良い触覚の再現を実現する。これはバイラテラル制御系を構築するに当たり、性能の向上のためには加速度次元での制御が必須とされるためである。既約分解表現を用いた加速度制御系は、従来まで実現されてきた加速度制御アルゴリズムと比較して、パラメータ変動、外乱に対するロバスト性が向上しており、従来までの制御系よりも高性能なバイラテラルロボットが実現可能となる。

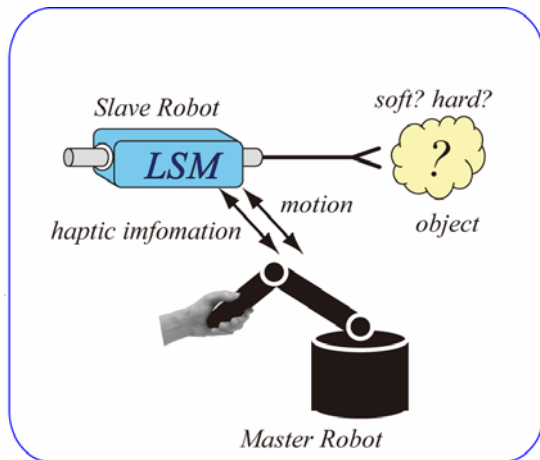


図 2 異構造バイラテラルシステム

- (4) 構築したロボットシステムに対して性能評価を行う。評価の方法としては、3自由度マニピュレータを操作して、1自由度鉗子ロボットを動かす実際に近い動作を行う。それによりロボットシステムの実用性を検証する。

4. 研究成果

- (1) 異構造バイラテラルシステムを構築するに当たり、1自由度鉗子ロボット製作を行った。1自由度鉗子ロボットの製作

には、アルミ部材、リニアスライドなどの機構部品、ジーエムシーヒルストン製リニアシャフトモータセットを用いて設計、製作を行う。その後駆動制御回路および電子部品を用いて製作を行った図3が製作した1自由度鉗子ロボットである。片側を人間が操作する操作ロボット、もう片方を実際に手術作業を行う鉗子ロボットとして製作を行った。鉗子ロボットの先端ベースは取り替え可能なため、切開、把持等の動作は、現状の鉗子のように可能である。

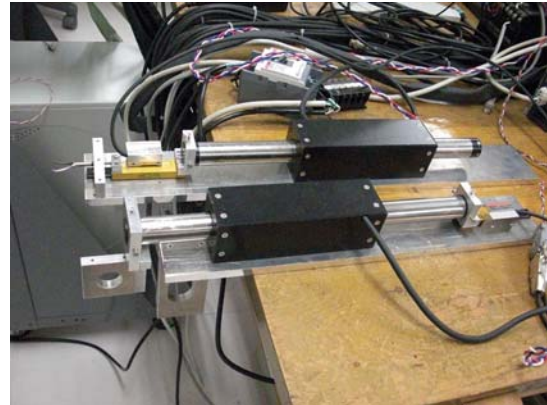


図 3 製作した1自由度鉗子ロボット

- (2) 製作した鉗子ロボットの特性計測を行った。摩擦特性の計測を行い、次式の値を同定した。

$$F_{fric} = F_c + D\dot{x}$$

式において、 F_c はクーロン摩擦項、 D は粘性摩擦項、 x はモータの位置である。それぞれの値は、表1 摩擦特性にまとめる。表よりその値は非常に小さく、良好な作業を行えることが分かる。そのため、今回構築した制御系には能動的な摩擦補償を加えないこととした。

表 1 摩擦特性

クーロン摩擦 F_c	0.0012
粘性摩擦 D	0.3100

- (3) 1自由度鉗子ロボットと3自由度マニピュレータの間でのバイラテラル制御手法の開発を行った。今回採用した手法は、それぞれのマニピュレータには従来通り個別に制御系を構築し、それらを仲介するアルゴリズムを開発し、実装を行った。それにより、今までのバイラテラル制御理論を崩すことなく、異構造バイラテラルシステムを実現可能となる。自由度の差を吸収するアルゴリズムは、ヤコビ行列を使って

実現を行った。ヤコビ行列、逆ヤコビ行列を用いて、それぞれのロボットマニピュレータの共通座標系に直行座標系を用いてそれぞれの力情報、位置情報を相互にやりとりしている。そのため、バイラテラルシステムのロボット対が変わったとしても、制御系を変化させる必要が無く、良好に制御が可能となる。図 4 は実際に使用した、リニアモータの制御系である。この制御系は従来の同構造バイラテラルシステムの制御系と同じ物であり、ロボット対が変わった際にも同じ物が使用可能であることを示している。

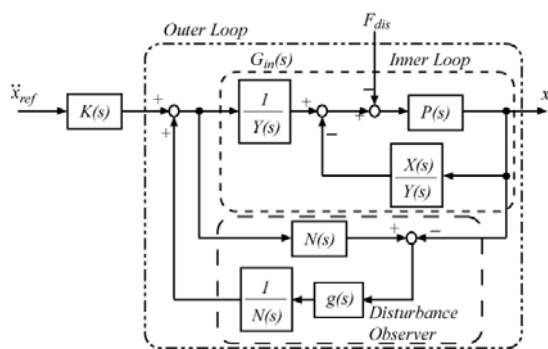


図 4 設計したリニアモータの制御系

(4) 構築したアルゴリズムの有効性を検証するために、1自由度鉗子ロボットと3自由度ロボットマニピュレータの間で、バイラテラル制御実験を行った。実験条件として3自由度ロボットにx方向に変異を与え、鉗子ロボットが物体に接触する動作を行った。図 5 がその実験結果である。マスター・スレーブ間の位置と力が一致しており、提案したアルゴリズムが正常に動作していることが分かる。

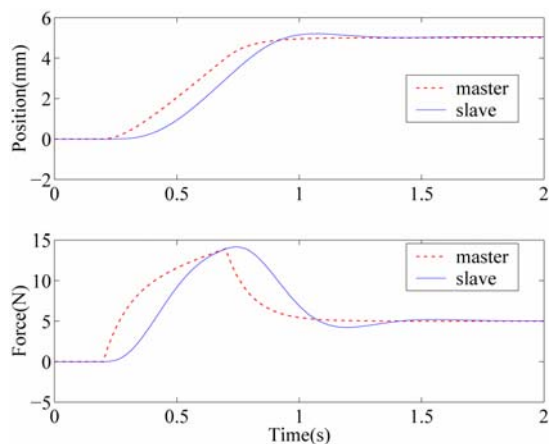


図 5 異構造バイラテラルシステム

(5) 本アルゴリズムが実現できることにより、異構造バイラテラルシステムを実現する際における、情報のやりとりを行う一般形を確立できる。本手法はロボットの構造に依存する物ではないため、自由度の差、構造上の違いがあるロボットシステムでも実現可能である。特に手術応用と言った分野においては、作業によって鉗子を使い分けるなど、構造が違う物を制御する必要が現れる。そのような制御対象において本アルゴリズムは非常に有効となる。また今後のロボットシステムは、用途に応じた形を取る多種多様なロボット開発が行われていくと思われる。そのような未来において本アルゴリズムは非常に有益となる。

[学会発表] (計 1 件)

- ① 今村孝, 三好孝典, 三宅一誠, 新沼歩, 岡部正幸, 小山慎哉, 北川秀夫, 川田昌克, 沢口, 義人, 市村智康, 河合康典, 西山英治, 大場讓, 兼重明宏, 寺嶋, 一彦: “高専-豊橋技科大間における遠隔制御システムを用いた体験型学習”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (ROBOMECH2009), 1A2, A14, pp. 1-4, 福岡 (2009, 5)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大場 讓 (YUZURU OHBA)

仙台電波工業高等専門学校 電子制御工学科 助教

研究者番号: 80455104

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者