

平成 22 年 5 月 7 日現在

研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2008～2009  
 課題番号：20760281  
 研究課題名（和文）受動性に基づく複数ロボットのシンクロ視覚フィードバック制御に関する研究  
 研究課題名（英文）Passivity-based Synchronized Visual Feedback Control for Multi-manipulator System  
 研究代表者  
 村尾 俊幸（MURAO TOSHIYUKI）  
 産業技術大学院大学・産業技術研究科・助教  
 研究者番号：00447038

研究成果の概要（和文）：本研究ではカメラと複数台のマニピュレータを有するシステムに対して、受動性に基づくシンクロ視覚フィードバック制御則を提案する。視覚フィードバック制御とシンクロ制御との融合を行うために、従来のマニピュレータの同調制御では角度座標系で定義されていたシンクロ偏差を、本手法では作業座標系で定義している。受動性と消散性理論に基づくことで、安定性と L2 ゲイン制御性能解析を行っている。また、シミュレーションにより提案する制御則の有効性の検証を行った。

研究成果の概要（英文）：This study investigates passivity-based synchronized visual feedback control for an eye-to-hand multi-manipulator system. For a visual feedback system, it is difficult that a desired trajectory in joint space is given explicitly, since motion of a target object is unknown. Although a synchronization error is defined in the joint space in previous works, we define it in work space by making a reference manipulator and reference target objects. Based on passivity and dissipative systems theory, stability and L2-gain performance analysis are discussed. Finally, validity of the proposed control law can be confirmed by simulation results.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：視覚フィードバック制御

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：制御工学，視覚フィードバック，シンクロ制御，機械力学・制御，知能ロボティクス

## 1. 研究開始当初の背景

人間が動作をする際に非常に重要となる視覚情報は、ロボットマニピュレータに代表

される機械システムにおいても例外ではない。実際、未整備の環境下でロボットの手先の位置決めや動きを制御する場合、フィード

バックループに視覚情報を用いることが非常に重要な役割を果たす。視覚情報に基づいてフィードバック制御を行うことを視覚フィードバック制御と呼ぶが、近年では工場における組み立て用ロボットに対してだけでなく、患者の体を極力傷つけない低侵襲手術を支援する医療用ロボットなどに対しても視覚フィードバック制御が研究され始めており、複雑なシステムや幅広い分野へ適用されるようになってきている。しかし、1台のマニピュレータのみで構成されるシステムでは、より複雑で広範囲に渡る作業において限界が生じる場合がある。

一方、ロボットの同調（シンクロ）制御、あるいは協調制御に関する研究も頻繁に行なわれており、最近では人間の動きを模擬した複数台の2足歩行ロボットが同調してダンスをしたのが話題となった。また、複数台のロボットをシンクロや協調させることで、広範囲に渡る作業や1台ではできなかった複雑な作業が行えるようになり、その制御手法が工場等において非常に有効となっている。

これらの視覚フィードバック制御とロボットのシンクロ制御を融合させた研究に対して、技術的にはアルゴリズム等が提案され始めているが、安定性などの理論的な裏づけはまだ不十分であり、制御理論的なアプローチはあまりなされていない。人間が目から得た視覚情報を用いて2本の腕を協調させながら様々な作業を行うことからこれらの融合は非常に有益な制御手法になると考えられ、今まで個別に研究されてきた両手法を制御理論的なアプローチの上で融合させることは、広域監視システムなど個別のシステムのみでは達成不可能であった数多くの作業が理論的な保証を有した上で実行できるようになり、社会にとって非常に有益なシステムが構築できると期待される。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、視覚フィードバック制御とマニピュレータのシンクロ制御を統合し、システム全体に対して安定性などの理論的な裏づけがなされた、視覚情報を有するロボットのシンクロ制御システムや制御系設計を提案することである。

マニピュレータのシンクロシステムには大きく分けると、マニピュレータの役割がそれぞれ分かれているマスタースレーブ型のテレオペレーションシステムと、全てのマニピュレータが同じ動きをする同調シンクロシステムに分類することができ、それぞれのシステムに対して安定性について議論されている。一方、視覚フィードバックシステムに対しても、マニピュレータの手先にカメラを取り付けた Eye-in-Hand 構造と、マニピュレータとは別の位置にカメラを設置する

Eye-to-Hand 構造というよく知られている2つのカメラ構造を1つのシステムとして表すことができる Eye-in/to-Hand 構造の視覚フィードバックシステムに対して、安定化制御則が提案されている。本研究では、この Eye-in/to-Hand 構造の視覚フィードバック制御を発展させ、複数台のマニピュレータを有するシンクロ視覚フィードバックシステムを提案し制御系設計を行う。シンクロ視覚フィードバックシステムはカメラと複数台の作業マニピュレータで構成され、カメラから得られた視覚情報を元に、それぞれのマニピュレータを目的に応じてシンクロさせながら、望ましい相対位置姿勢を取らせることが目的となる。本研究ではマニピュレータシステムに照準を絞って考えるが、本研究の制御提案手法は、モバイルロボットなどのダイナミクスを考慮する必要性が低いメカニカルシステムに対しても容易に展開可能である。

## 3. 研究の方法

本研究では Fig.1 に示すような1台のカメラと複数台の作業マニピュレータを有するシステムに対して、数学的にモデリングすることから始める。具体的には、カメラから観測対象の相対位置姿勢を推定するために非線形オブザーバを構成し、座標間の関係を元に各作業マニピュレータの手先から観測対象の相対位置姿勢を求め、制御目的を達成させる。さらに、より厳密にシンクロさせるために各マニピュレータ間のシンクロ偏差を生成し、シンクロ視覚フィードバック偏差システムとして非線形の微分方程式でモデリングする。

モデリングしたシステムに対して、外乱が発生してもその影響を抑えることができるような、ロバストなシンクロ視覚フィードバック制御則の提案を行う。そのために、従来のマニピュレータの同調制御に関する研究においては角度空間において定義されていたシンクロ偏差を、本研究では作業空間で定義し、角度に対してではなく作業空間における3次元相対位置姿勢に対してシンクロさせることを提案する。構成した偏差システムと提案した制御則の閉ループ系において、システムの安定性解析や制御性能解析を行う。さらに計算用のソフトウェアである MATLAB と Simulink を用いて、3次元シミュレータを作成し、提案する制御則の有効性を検証する。

## 4. 研究成果

ここでは紙面の都合上、主要結果のポイントのみを述べる。詳細は「5. 主な発表論文等」に書いた「学会発表」項目の①と②の文献を参考にされたい。



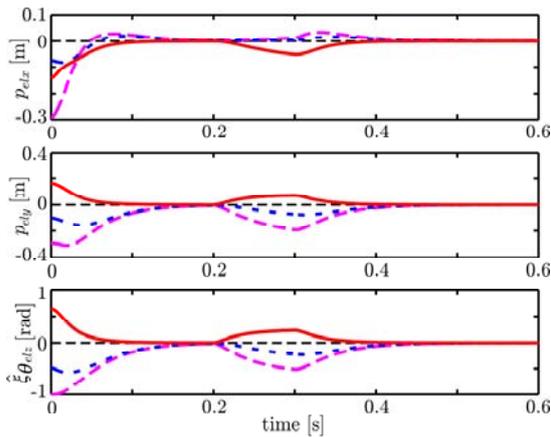


Fig. 3 同調制御のシミュレーション結果

す。これらの図は3次元空間中での  $x$ ,  $y$  軸の位置偏差と  $z$  軸の回転偏差を上から順に示している。破線が1台目、点線が2台目のマニピュレータに対する制御偏差を、実線がシンクロ偏差をそれぞれ表している。0.2秒までの偏差の減り方からわかるように、提案した同調制御の方は両制御偏差よりもシンクロ偏差の方が早く収束していることがわかる。

一方、本シミュレーションでは0.2~0.3秒時に1台目のマニピュレータにのみ外乱トルクを加えている。0.2秒以降の結果より、外乱が入った場合、偏差の大きさの最大値は同調制御を考慮している方が小さくなっていることがわかる。これは同調制御の利点の一つとして考えられる。今後は実機による実験検証も行っていきたい。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 河合宏之, 村尾俊幸, 藤田政之, 受動性に基づく固定カメラ構造の3次元視触覚フィードバック制御, システム制御情報学会論文誌, 査読有, Vol. 22, No. 7, pp. 273-279, 2009
- ② T. Murao, H. Kawai and M. Fujita, Passivity-Based Control of Dynamic Visual Feedback Systems with Movable Camera Configuration, Electronics and Communications in Japan, 査読有, Vol. 92, No. 6, pp. 1-11, 2009.
- ③ 村尾俊幸, 河合宏之, 藤田政之, 固定カメラシステムに対する安定化予測ビジュアルフィードバック制御, 電気学会論文誌 C, 査読有, Vol. 129, No. 4, pp. 630-638, 2009

[学会発表] (計4件)

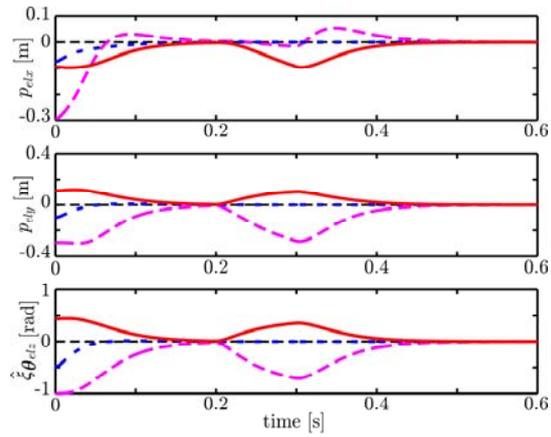


Fig. 4 同調を考慮しない制御のシミュレーション結果

- ① T. Murao, H. Kawai and M. Fujita, Passivity-based Synchronized Visual Feedback Control for Eye-to-Hand Systems, The 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Nov. 3, 2009, Porto, Portugal.
- ② 村尾俊幸, 河合宏之, 藤田政之, 受動性に基づく視覚フィードバックシステムに対する同調制御の一考察, SICE 第9回制御部門大会, Mar. 5, 2009, 広島
- ③ H. Kawai, T. Murao and M. Fujita, Passivity-based Dynamic Visual Force Feedback Control for Fixed Camera Systems, The 2nd IEEE Multi-conference on Systems and Control, Sep. 3, 2008, San Antonio, TX
- ④ T. Murao, H. Kawai and M. Fujita, Predictive Visual Feedback Control with Eye-in/to-Hand Configuration via Stabilizing Receding Horizon Approach, The 17th IFAC World Congress on Automatic Control, July 8, 2008, Seoul, Korea

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

村尾 俊幸 (MURAO TOSHIYUKI)  
産業技術大学院大学・産業技術研究科・助教  
研究者番号: 00447038

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: