

Title	ロボットマニピュレータのロバスト視覚サーボ --- 厳密なリアプノフ関数によるアプローチ ---
Author(s)	齊藤, 亜紀
Citation	
Issue Date	1998-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1110
Rights	
Description	Supervisor: 藤田 政之, 情報科学研究科, 修士

ロボットマニピュレータのロバスト視覚サーボ — 厳密なリアプノフ関数によるアプローチ —

齊藤 亜紀

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1998 年 2 月 13 日

キーワード： ロバスト視覚サーボ, 厳密なリアプノフ関数, マニピュレータダイナミクス.

近年, 計算機の発展やカメラの性能の向上などにより, 画像処理の高速化が実現されてきたため, 画像情報を実時間でフィードバックすることによりマニピュレータを制御する視覚サーボの研究が注目を浴びるようになった. 視覚情報によるマニピュレータ制御の目的は未知の環境においてもロボットの自律的な制御を行なえるようにすることである.

視覚サーボの研究は様々な手法で行なわれているが, その多くはマニピュレータのダイナミクスを無視し, 理想的な線形かつ非干渉なシステムを対象に行なわれている. しかしながら, マニピュレータダイナミクスは非線形なシステムであるため, 視覚サーボ制御においても, マニピュレータダイナミクスを補償することは不可欠なことである.

マニピュレータの関節空間の制御において, そのダイナミクスを補償することは古くから数多く研究されている. 特に近年, リアプノフ法に基づく手法が注目を浴びている. この方法はロボットのもつ総エネルギーをリアプノフ関数として, 漸近安定性を補償するものである. そのうえ, 有本はそのリアプノフ関数に交差項を加えた新たな関数を用いることによって, 指数安定性まで証明している. Kelly らもまた, 交差項を加えたリアプノフ関数を用いて, ロボットの適応制御法の設計に応用している. この交差項を加えたリアプノフ関数それ自体でシステムの漸近安定性を証明でき, さらに指数安定性までも証明可能である. このことから, “厳密なリアプノフ関数” とよばれている.

リアプノフ法に基づく方法は正確なマニピュレータのモデルを必要とする. しかし, ロボットダイナミクスに存在するモデルの不確かさのために一般的には正確なモデルを得ることはできない. Spong はその不確かさをマニピュレータのリグレッサ表現に基づいたパラメータベクトルで表し, ダイナミクスをリグレッサ表現を用いた制御則を提案した. そして, スイッチング動作を行なう入力を加えることにより, 不確かさの影響を抑えて, システムの一樣終局有界性を補償している.

最近になり、視覚サーボの研究においても、Kelly らや丸山らはリアプノフ法に基づいて、マニピュレータダイナミクスの影響を補償する制御法の提案を行なっている。しかし、漸近安定性のみの証明であり、指数安定性までの証明は行なわれていない。そのうえ、マニピュレータのモデルに不確かさが存在する場合の考察も行なっていない。

そこで、本研究では、eye-in-hand 構造をもつ 2 自由度平面マニピュレータに対する視覚サーボ制御問題に関して、リアプノフ法に基づく方法を用いて考察を行なう。そのなかでも、本研究の特徴は以下のようなものである。

- 提案する視覚サーボシステムの漸近安定性をリアプノフ法の直接法のみで証明する。そのために、“厳密なリアプノフ関数”を利用することを提案し、指数安定性の証明まで行なう。
- マニピュレータモデル、特に重力項に存在するパラメトリックな不確かさをリグレッサ表現を用いて表す。その不確かさに対して、一様終局有界を補償する制御則の提案を行なう。ここでも、証明においては、“厳密なリアプノフ関数”を利用する。

本研究を通しての制御問題を、静止対象物の画像面上の位置にマニピュレータの手先効果器の位置、すなわち、カメラの位置が一致するようにマニピュレータを平面内で移動させる定置制御問題とする。平面マニピュレータの定置制御に制御問題を限定することによって、非線形なマニピュレータダイナミクスを十分に考慮した厳密な安定性解析によって裏付けられた単純なコントローラを設計することが可能である。この問題は結局、画像平面上の対象物の位置および関節速度の収束問題に帰着する。

まず、マニピュレータの制御系を設計する上で重要となるシステムのモデリングを行なう。マニピュレータダイナミクスにはラグランジュの運動方程式を用いる。このダイナミクスの持つ性質は安定性の証明において重要な役割を果たす。マニピュレータキネマティクスは Brockett の提案による指数関数表現を用いてモデリングを行なう。この指数関数表現はリー群論に基づいたものであり、その性質を用いた幾何学的な考察を行なうことが可能である。カメラモデルには透視変換を用いている。これらのモデルをもとに、視覚サーボ問題の定式化を行ない、リアプノフ法に基づいて制御則を提案する。提案する制御則は重力補償つき PD 制御則であり、焦点距離などのカメラの内部パラメータのキャリブレーション誤差に対してロバスト性が期待される。また、制御則が容易に実現可能である。提案した制御則に対するシステムの安定性について、リアプノフ関数に交差項を加えた“厳密なリアプノフ関数”を用いて行ない、最終的には指数安定性までの証明を行なった。

つぎに、モデルの不確かさを考慮した場合の考察を行なう。したがって、マニピュレータモデル、特に重力項のパラメトリックな不確かさ（リンク長さ、リンク質量、慣性モーメントなど）に着目し、一様終局有界性を達成するような制御法の提案を行なう。不確かさが存在する場合には平衡点への漸近収束は保証できない。不確かさの取り扱いが容易になるように、リグレッサと物理パラメータによる線形表現を行なうが、これにより、不確かさの大きさが物理パラメータの大きさとして考えることができる。不確かさの影響を

抑えるために加える入力は飽和関数の形をしており，スイッチング機能を果たす．不確かさを考慮した場合のシステムの安定性の証明にも“厳密なリアプノフ関数”を用いる．