

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | ロボットアームの適応制御における計算量の軽減に関する研究  |
| Author(s)    | Budi, Rachmanto   |
| Citation     |   |
| Issue Date   | 1997-03   |
| Type         | Thesis or Dissertation  |
| Text version | author  |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/1052">http://hdl.handle.net/10119/1052</a> |
| Rights       |   |
| Description  | Supervisor: 示村 悦二郎, 情報科学研究科, 修士   |

# ロボットアームの適応制御における 計算量の軽減に関する研究

ブディ ラフマント  
Budi Rachmanto

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1997年2月14日

キーワード: simple adaptive control, multi-robot reference adaptive system, high-speed control, nonlinear compensator, multi-joint robot.

現在の産業界では、多種多様な用途において様々な種類の多関節ロボットが幅広く使用されている。ロボット作業の多様化により、これらの多関節ロボットの制御において、今後さらなる高精度化、高速度化が強く要求されており、その実現のためより一層の研究が期待されている。

従来の制御法すなわち、実プラントのモデルを推定し、プラントモデルのパラメータ同定を行い、制御理論に基づいて導出したフィードバック係数によるフィードバック制御のような制御方法では、プラントの数式モデルの精度に大きく左右される。また、汎用性も乏しく、不確かさが存在するような制御に最適であるとはいえない。

そこでこの問題を克服するため、プラントが未知でも制御可能である適応制御が考案され始めるようになった。適応制御とは制御対象の特性の変化に応じてオンラインで制御則を自動的に変化させ、高い制御性能を維持する制御手法であり、代表的な適応制御としてモデル規範形適応制御 MRACS (Model Reference Adaptive Control System) および自己チューニング適応制御法 STR (Self-Tuning Adaptive Regulator) がある。特にモデル規範型制御である MRACS が長年にわたって脚光を浴びていた。MRACS とは、特性未知のプラントを制御するにあたって、プラントとコントローラを一体とした制御系の特性が規範モデルと呼ばれる理想モデルの特性に一致するようにコントローラを適応的に構成しようとするものである。可変パラメータを内蔵した形で適当な構造のコントローラを構成し、プラントの出力と一致するようにコントローラのパラメータが調節される。

しかし、MRACS が代表となる適応制御は適応アルゴリズムが複雑であり、 $n$  次 1 入出力連続系の MRACS においては適応コントローラを構成する積分器は約  $4n$  個必要とな

り、それに伴い制御パラメータの数も多くなり、演算回数が増大するという問題点が指摘されている。そこで適応コントローラの簡素化を目的としたのが SAC (Simple Adaptive Control - 単純適応制御) である。

SAC は Sobel から Kaufman および Mabius によって最初に提案された。「プラント伝達関数に出力フィードバックゲインを施した場合に得られる閉ループ伝達関数が強正実 (SPR) になる」という条件 (これを SPR 条件という) の下で構造の簡単な適応制御系が構成できるというものであり、

- 規範モデルに低次モデルを選択できる。
- ある種のロバスト性を有している。(MIMO 系では次数のミスマッチがあれば制御系が不安定となることがあるのに対し、SAC では閉ループ系が強正実となる定フィードバックゲイン  $k_c^*$  の存在さえ確認できれば制御系の安定性が確保されるので、この意味ではロバストである)。
- 適応コントローラの次数をプラント次数に依存しない形式で簡単に構成できる。
- 伝達特性の指定をフィードフォワードループを通じて行なっているので一種の 2 自由度制御構造をとっている。

などの特長がある。これは、標準の MIMO 系では見られない優れた性能である。プラントの数式モデルの次数が未知であっても制御可能であり、また、ロバスト性も有している。不確かさの存在する制御実験等において摩擦等のような外乱の影響の克服に特に有効である。

しかし、この単純適応制御を多入力多出力 (MIMO = Mti-Input Mti-Output) 系に拡張した場合、一般の制御手法と比較して、必ずしも優れた結果が得られているとは断言できない。MIMO 系に拡張した場合、システムが大きくなるにつれて、計算量も大きくなってしまふ。制御系 (コントローラ) の構成が複雑になることも、依然行われていた実験の結果からも判明した。特に、コントローラのメモリ使用量や制御信号を決定する計算量が膨大になり、計算時間も長くなった。

このように、MIMO 系には計算量や計算速度の問題などが発生する可能性が高く、これらの問題を克服する必要があるが、現在のところ、多変数適応制御の計算量の削減に関する研究は極めて少ない。入力および出力の数が多くなった場合、そのシステムの構造によっては、いくつかのブロックに分割することができる。大規模システムに対して一つの大きな複雑なコントローラを設計するよりも、各ブロックに対して、小さなコントローラを構成することで分散的に制御を行った方が、性能的には解析がしやすく、また、計算量および計算速度の面から見ればコスト的にも期待できると考えられる。

もう一つの問題は、標準の MIMO 系と同じように、単純適応制御は基本的に線形のプラントのために開発されている。単純適応制御を ロボット マニピュレータ のように非線形性を含んだシステムに適用しようとした時に、その非線形性を補償できるかどうかというような疑問が湧いてくるであろう。また、多関節のロボットの制御には、複数の入力およ

び出力があり、基本的に多変数システムの構造をとっているため、軸間に干渉が生じる可能性が高い。よって、これらの項に対する何らかの補償機構が必要となる。

単純適応制御の多関節ロボットの多軸制御への適用については現在のところまだ公表されていない。そこで本研究では、次の点について MIMO-SA C の設計を改善し、シミュレーション的な検討を行なう。

1. 多入出力単純適応制御 (MIMO-SA C) の構成および数値シミュレーションを行い、その結果を分析する。
2. 多入出力単純適応制御 (MIMO-SA C) におけるプラントの構造を考慮し、MIMO-SA C の高速化を図る。
3. MIMO-SA C をロボット マニピュレータの制御に適用する場合の制御系の理論的な設計を行い、その有効性を機構解析プログラム DAS および Matlab によるシミュレーションで検討する。

その結果、次のような成果が得られている。

1. 低次数 (例えば 3 入力 3 出力) システムの場合、標準の MIMO-SA C はその威力を発揮しているが、大規模なシステムにおいては、計算速度が飛躍的に低下していく。
2. 制御対象の構造を考慮すれば、標準の MIMO-SA C において余分なコントローラを取り除くことができる。サブシステム間の相互関係より、全体システムの伝達関数行列の構造が決定されるので、これに注目し、簡略化のためのアプローチを行う。影響の小さい干渉項を積極的に取り除くことで、計算量を軽減することができ、制御の高速化につながる。
3. 単純適応制御のロボットへの適用について、非線形性を補うために、非線形性補償機構の設計法を考案する。
4. 多関節ロボット制御において、軸間に発生する干渉項は SA C 本来のアルゴリズムによって補償することができるが、この干渉項が有界であれば、非線形性補償機構と併合した形で補償器が構成できることが分かった。このとき、システムが分散型となり、計算量の少ない形となる。

また、考案した手法を用いて、さらに超多自由度 (超多関節) ロボットのアーム制御への挑戦を試み、DAS によるシミュレーション結果を報告する。