

審査の結果の要旨

氏名 鄭秋宝

非線形システムのモデリングにおいて、大域的な解析モデルが得られる場合は対象の大域的な特性が1つのモデルで表現できるためモデルの表現力は高く、実装も簡単である。しかしながら、大域モデルを得るためには対象に関する多くの事前情報や、システムの大域的な特性を表現する豊富な同定用のデータが必要となる。またモデルの同定精度を向上させるのが難しく、計算のコストも高いという難点もある。これらの問題点に対して、対象に関するデータが十分得られ、数多くの局所モデルを作ることが出来る場合は、システムの大域的に複雑な特性が簡単な局所モデルで正確に表現できるだろうという発想が生まれた。近年のコンピュータ技術の発展によって大量のデータの記憶と高速な検索、読み出しが可能となったことがこの発想の実現を促し、「Just-In-Time (JIT) モデリング」という新たな同定方法が提案され活発に研究されるようになった。

従来の JIT モデリングの多くは「 k -NN (k Nearest Neighbors)」という手法に基づいているが、要求点の近傍の選択は観測データの分布を考慮してないため、局所的な非線形性や突出した観測データ(孤立点と呼ぶ)に弱いという問題点がある。これらの問題に対処するため、本論文は一連の新しい JIT 手法を提案し、それを実データに適用してその有効性を確認した。論文の構成は下の通りである。

第1章では、本論文の背景と研究動機を説明し、非線形システムのモデリング手法の中に Just-In-Time (JIT) モデリングを位置付けた。相関研究の簡単な概観を述べ本論文の成果をまとめた。

第2章では、JIT モデリングに関連する従来のモデリング手法とその理論的基礎を整理し、特にパラメトリック回帰法とノンパラメトリック回帰法について説明した。

第3章では、JIT モデリングの基本的な概念と一般的な構造を紹介し、4つの主な課題を中心に実装方法と従来の JIT 手法の問題点を述べた。これらの問題に対処するため、第4章から第7章まで、一連の新しい JIT モデリング手法を提案した。詳しい説明は下の通りである。

第4章では、要求点の近傍に含まれる情報量を増やし同定精度を向上させるため、「 k -BN (k Bipartite Neighbors)」という新しい JIT 手法を提案した。「 k -BN 法」とは、要求点の両側からもっとも近いデータをそれぞれ片側の近傍に格納し、構成された2つの片側の近傍に基づき2つの局所モデルを求め、さらにこれらを補間し対象の出力を予測するという手法である。ここで、局所モデルを補間する方法は局所モデルの空間関係により決定される。この手法では、同定問題においてしばしば現れる「Bias/Variance Tradeoff」問題をある程度軽減することができる。

第5章では、従来の JIT 手法は孤立点が存在する場合、或いは、観測データの密度が

粗い場合、あまり有効ではないという問題を解決するため、「 k -BN2」という新しい手法を提案した。「 k -BN2 法」とは、既存の同定手法の中で、2つの極端な同定手法である大域モデリングと JIT 手法を組み合わせるハイブリッドな手法である。つまり、 k -BN などの JIT モデリング法がうまく対処できないような場合（たとえば近傍のデータが少ない場合など）、大域モデリングが利用され、要求点の近くにデータの数が十分にある場合には JIT モデリングが用いられる。この手法では大域モデリングと JIT 手法どちらか一方のモデリングだけを用いる場合より、良い同定結果が得られることを実データを用いて示した。

第 6 章では、JIT 手法にとってもっとも重要な課題、つまり近傍の選択問題に関して、「 k -SBN (k Similar Bipartite Neighbors)」と呼ばれている新しい手法を提案した。この手法は、従来の JIT 手法の距離のみによる近傍の選び方ではなく、距離に加えデータの出力情報も利用することにより、できるだけ「類似した」データを要求点の近傍として選ぶ手法である。さらに、 k -SBN に基づいて各データの要求点との類似度が最適化された「 k -OS (k -BN with Outlier-Sensitive re-learning)」という手法も提案した。この方法の有効性を実データに対して示した。

第 7 章では、従来の JIT 手法は局所的な非線形性に弱いという問題点に対して、「 k -QBN (k -BN with a quasi-nonlinear local model)」という新たな JIT 手法を提案した。 k -QBN 法では、まずシステムの局所的な非線形性を軽減させるため、観測データの各要素に対して一連の非線形基底関数 (Sub-Function/Base Functions) を求める。そして、求められた基底関数を対応する要素に変形させる。さらに、変形されたデータに基づいて JIT モデリングを行う。この手法が局所的な非線形性を含む同定問題によく現れる「Bias/Variance Tradeoff」問題の解決に役に立つ。

第 8 章では、これらの新しい JIT モデリング手法を非線形システムに対する制御器の設計法へと拡張した。JIT モデリングでは非線形システムの逆モデルが簡単に得られるという特徴を利用し、従来の Feedback/Feedforward の 2 自由度制御構造を用いて、「直接型 JIT 制御」と呼ばれる設計方法を提案した。実際に、JIT 手法を通じて、従来の線形制御理論とその手法が非線形システムに対しても容易に適用できることを示した。

最後に、第 9 章において、本論文の内容をまとめ、未来の課題についても述べました。結論として、圧延製品の幅とローラの平均変形と圧延製品の材質に関する 6 つの実測データや、非線形制御 Benchmark 問題に対するシミュレーション結果により、本論文で提案された新しい JIT 手法の有効性を検証し、良好な結果を得た。従って、もし観測データが十分に蓄積されれば、JIT 手法は従来の大域的な手法の 1 つの有力な代替手法となり得る。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文のとして有効と認められる。