

## 論文内容の要旨

博士論文題目

Manifold Learning from High-Dimensional Data for System Modeling,  
Prediction and Robot Tactile Perception

(システムモデリング・予測・ロボットの触知覚のための高次元データからの  
多様体学習)

氏名 田中 大介

(論文内容の要旨)

近年、様々なセンサを組合せて構築されたシステムの有用性が認識されている。予測や制御を目的として、実世界から得られるデータからモデリング等の演算を行う際、センサから得られる全データをそのまま信号ベクトルにまとめると高次元になるため、次元の呪いが問題になる。一方、高次元データは実世界を反映して低次元の多様体上に偏って存在していることが多いため、これに非線形次元削減法として知られる多様体学習法を適用することにより、次元の呪いを回避しながらモデリングを達成できる。しかし、このようにデータを低次元化した上で導かれたモデルを用いた場合、タスクのことを考慮した次元削減ではないため必ずしもタスクが成功しない場合がある。

そこで本論文では、既存の多様体学習法で用いられてきた評価基準に、予測や制御などの目的に起因する制約を加え、新たな評価基準を構築することによってタスクに適した多様体学習法の構築を試みる。また、このように多様体学習とモデリングを同時に行うことによりタスク達成度を高める。具体的には以下の2つの課題を通して提案法の検証を行う。

まず、高次元入出力データから線形システムを同定する手法を検討する。センサから得られた入出力データはそれぞれある多様体上に拘束されており、また多様体間には線形動的システムとして表される関係が存在すると仮定する。本研究では予測精度の高いモデルを得るため、低次元表現間の線形ダイナミクスへの当てはめ誤差を同時に考慮する新たな評価基準を提案する。この評価基準を用いることで、入出力データの次元削減と線形システムの同定を同時に達成する。人工データを用いた数値実験により提案手法の有効性を検証した。

氏名	田中 大介
----	-------

(論文審査結果の要旨)

平成 28 年 1 月 29 日に開催した公聴会の結果を参考に、平成 28 年 2 月 19 日に本博士論文の審査を行った。

本論文はシステム制御工学におけるモデリング・予測・ロボット触知覚などの問題に対して、新たな視点からの信号処理手法を提案するものである。機械学習の分野で注目を集めている高次元データからの多様体学習法をシステムのモデリング手法と統合することにより、タスクに適合した低次元化を達成している。具体的には既存の多様体学習法で用いられている評価関数に予測や制御などの目的に応じた制約を加味して新たな評価関数を構築し、これを最適化するアルゴリズムを開発し、以下に示す 2 つの工学的問題に適用した。

1. 高次元入出力信号から比較的低次元の線形システムを同定する問題

システム制御では入出力信号を一定期間、観測することでモデル式を同定することがよくあるが、多数のセンサからの信号が物理量を反映している場合、それを直接低次元化するのでなく、入出力間の動的な関係までも考慮に入れて同定と低次元化を達成するという問題に提案の手法を適用し、数値実験により有効性を検証した。

2. 触覚センサ付きロボットハンドによる物体認識問題

ハンドには圧力や温度などを計測する多数のセンサが装備されており、そこから得られる多次元信号をもとに触った物体の認識を行う。物体の認識に有効なハンドの行動（触り方）計画に必要なセンサ信号-行動-物体間の関係を考慮しつつ、物体を低次元変数で表現する多様体学習法を開発し、数値実験および実機実験により有効性を検証した。

これらの結果は理論研究として優れた着眼点に基づくものであり、また、様々な面での発展や応用が期待され、十分な学術的意義があるものと評価できる。さらに、数値実験に留まらず実機実験による検証まで行ったことも評価に値する。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。