

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Supervised Machine Learning for Tensor Structured Models with Scaled Latent Trace Norm Regularization
著者(和文)	WimalawarneKishan
Author(English)	Kishan Wimalawarne
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10237号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:杉山 将,徳永 健伸,篠田 浩一,村田 剛志,藤井 敦
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10237号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Kishan Wimalawarne	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	杉山 将	連携教授	藤井 敦	准教授
	審査員	徳永 健伸	教授		
		篠田 浩一	教授		
村田 剛志		准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Supervised Machine Learning for Tensor Structured Models with Scaled Latent Trace Norm Regularization」と題し、英文5章から成っている。

第1章「Introduction」は、テンソル構造を用いた教師付き機械学習およびマルチタスク学習について論じている。標準的な教師付き学習手法では入力データがベクトルで与えられるのに対し、入力データがテンソルで与えられる場合は、テンソルデータに対応するパラメータテンソルを低ランクに制限することにより学習精度が改善できる。マルチタスク学習手法でも、各学習タスクに対応するパラメータベクトルをテンソル形状に並べ、そのテンソルを低ランクに制限することにより学習精度が改善できる。これらの手法では共通して、低ランク性を誘発するテンソルノルムを正則化項として学習に用いている。本論文の目的は、テンソルに対する新しいノルムを提案し、テンソルに基づく機械学習の理論を深化させる点にあることを述べている。

第2章「Scaled Latent Trace Norm」では、まず、テンソルの数学的な基礎概念を概観するとともに、これまでに提案されている代表的なテンソルノルムの定義と性質を紹介している。重複トレースノルムは最も標準的なテンソルノルムであり、テンソルを各モード方向に個別に行列化し、得られた行列のトレースノルム（特異値の和）の和を計算する。重複トレースノルムでは、単一のテンソルを複数の行列に表現し直すため、同じ要素が重複して現れる。この重複を回避する目的で導入されたのが潜在トレースノルムである。潜在トレースノルムでは、テンソルをそのモード数分の潜在的なテンソルの和で表現し直し、 $k$  番目の潜在テンソルをモード  $k$  方向に行列化し、得られた行列のトレースノルムの和を計算する。これにより、同じ要素が重複して現れる問題を回避できるようになった。しかし本論文は、潜在トレースノルムでは各潜在テンソルのトレースノルムが適切に正規化されていないことを指摘した上で、それを解決する調整潜在トレースノルム (Scaled Latent Trace Norm) を提案している。

第3章「Tensor Based Regression and Classification」では、入力データがテンソルの場合に対する回帰と分類のアルゴリズムを提案している。提案法では、調整潜在トレースノルムを正則化項として用いており、双対交互方向乗数法とよばれる最適化手法によって、効率よく解が計算できることを示している。また、重複トレースノルム、潜在トレースノルム、調整潜在トレースノルムそれぞれを正則化項として用いた場合の汎化誤差の理論的上界を導出し、重複トレースノルムはテンソルとコアテンソルの形状が共に超立方体に近い場合に汎化誤差上界が小さくなること、潜在トレースノルムはテンソルの形状が超立方体に近くコアテンソルの形状が偏っている場合に汎化誤差上界が小さくなること、調整潜在トレースノルムはテンソルとコアテンソルの形状がともに偏っている場合に汎化誤差上界が小さくなることを示している。最後に、計算機実験を通して、提案手法の有効性を示している。

第4章「Tensor Based Multitask Learning」では、潜在トレースノルムを用いたマルチタスク学習アルゴリズムを提案している。第3章と同様に、効率的な最適化アルゴリズムの導出と汎化誤差上界の理論的解析を行い、提案アルゴリズムの有効性を計算機実験により示している。

第5章「Conclusions and Future Work」では、本論文の成果を総括し、今後の課題を述べている。

以上を要するに本論文は、機械学習分野におけるテンソル構造を活かした学習技術を発展させるものであり、工学上、及び、工業上貢献するところが大きい。よって我々は、本論文が博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと認める。