

令和元年 7 月 19 日

埼玉工業大学大学院工学研究科長殿

学位論文審査委員会

主査 曹 建庭 教授



副査 吉澤 浩和 教授



副査 山崎 隆治 教授



副査 田中 聡久 教授



副査 趙 肩 斌 客員教授



### 学位（博士）論文及び最終試験の審査結果について（報告）

専攻名：博士後期課程 電子工学専攻

学籍番号：1622005

院生氏名：原 龍昊

論文題目：テンソルリング分解理論構築及び高次元データの補正と雑音除去に関する研究

上記の学位（博士）論文について、令和元年 7 月 19 日に審査および最終試験を行い、その結果を下記のとおり報告します。

#### 記

1 学位論文の内容の要旨（別紙）

2 審査意見：

本審査委員会は、申請者から提出した学位申請論文「テンソルリング分解理論構築及び高次元データの補正と雑音除去に関する研究」の最終審査を行い、本論文が博士学位申請に値するものと認定した。また、本学課程博士学位審査基準に照らして学位申請を行う諸条件を満たすものであることを認定し、全員一致で学位論文及び最終試験が合格とする結論を達した。

3 学位に付記する専攻分野の名称（いずれかを○で囲む）

工学

学術

4 学位を授与できるか否かの意見

1) 審査結果（いずれかを○で囲む）

① 学位論文及び最終試験の判定  合格  不合格

2) 意見

## 論文概要

多視点センサとデータ記憶技術の開発に伴い、取得したデータはしばしば高次、大規模かつ高複雑性の特性を示す。これらのデータを如何に効率的に処理するかは重要な問題である。テンソル (Tensor) は行列とベクトルを一般化した高次的なものであり、自然にデータの高次の関係とオブジェクトを表すことができる。近年、テンソル法はデータ処理問題を解決するための強力なツールとなっており、信号処理、機械学習、データマイニング、画像処理、計算神経科学において、テンソル法で多数の応用事例が開発されている。

テンソル法の中で、テンソル分解は最も重要で基本的なツールの一つである。テンソル分解とはテンソルを低次元の潜在的因子のセットに分解することである。潜在的な因子は、データの潜在的な特徴を含んでおり、データを強力的に圧縮する方法で表現する。CANDECOMP/PARAFAC分解 (CPD) と Tucker分解 (TKD) は、1世紀以上に渡って研究されてきた最も古典的なテンソル分解モデルである。しかし、これらのテンソル分解モデルは、大規模または非常に高次のテンソルを扱うときに計算の限界を示している。近年では、テンソルリング分解 (tensor ring decomposition, TRD) と呼ばれる最新のテンソル分解モデルが、その高い表現能力および多重線形特性のために人々の注目を集めている。TRDの最も重要な利点は、モデルの複雑さがテンソルの次数によって指数関数的に増加しないことである。このようにして、TRDは「次元の呪い」を効果的に克服し、大規模で高次のテンソルを処理するための強力なツールとなった。

本論文では、TRD の理論と応用を探ることに焦点を当てる。主な貢献は、高効率と高性能の様々な TRD ベースのアルゴリズムを提案する。第一に、画像修復の問題において、勾配ベースのテンソル補完アルゴリズムを開発した。既存の方法と比較して、我々が提案するアルゴリズムは、高次と欠陥率が高い画像の修復において著しく良い性能を示した。第二に、TR 因子の核規範に基づく2つのランクロバスト TRD アルゴリズムを提案した。このアルゴリズムは、テンソルと TR 因子の間のランク関係の理論的証明に基づいており、テンソル補完の課題におけるランク選択の負担を著しく軽減することができた。第三に、独創的な TR マックスノルマ (TR-max-norm) に基づいた効率的な TRD アルゴリズムを提案した。このノルマはテンソルの TR ランクを正則化したことで、我々の研究で理論的に証明された。既存のアルゴリズムと比較して、我々が提案したアルゴリズムは大規模なテンソル補完の課題において、安定した収束性と高い性能を示した。第四に、テンソルランダムプロジェクション (tensor random projection) と呼ばれる最新の技術に基づいて、高速 TRD アルゴリズムを提案した。このアルゴリズムは既存のものと比較して計算コストを大幅に削減し、大規模テンソル雑音除去に適用できる。この論文は TRD の理論研究と応用をより充実にし、それによってテンソル方法論に貢献し、研究と産業分野においても良い参考となる。