

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A Study of Approximate Simultaneous Matrix Diagonalization and Robust Tensor Decomposition via Structured Low-Rank Approximation
著者(和文)	明間陸
Author(English)	Riku Akema
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11938号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山田 功,熊澤 逸夫,植松 友彦,府川 和彦,尾形 わかは
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11938号, Conferred date:2021/3/26, 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	明間 陸	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	山田 功	教授	尾形 わかは	教授
	審査員	熊澤 逸夫	教授		
		植松 友彦	教授		
	府川 和彦	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は“A Study of Approximate Simultaneous Matrix Diagonalization and Robust Tensor Decomposition via Structured Low-Rank Approximation (構造付き低ランク近似を用いた行列組近似同時対角化とロバストテンソル分解に関する研究)”と題し、英文5章よりなっている。

第1章“Introduction(序論)”では、まず、複数の同サイズ正方行列組を共通の相似変換行列によって対角化する「同時対角化問題」が、ブラインド信号分離問題やテンソル正準多項分解(CP分解)問題など、信号処理分野の横断的領域で本質的役割を担っていることを紹介している。次に、これらの領域に現れる「近似同時対角化」で要請されるのは「観測行列組から雑音を取り除いた理想的な同時対角化可能行列組」を同時対角化する相似変換行列推定であり、相似変換後の非対角成分抑圧方針に基づく従来法では「同時対角化可能行列組の特徴」を活かした雑音除去が実現されていないことを指摘している。さらに、本研究の目的が「同時対角化可能行列組の可換性を活用した雑音除去機能付き近似同時対角化法の実現と近似CP分解への応用」であることを述べている。

第2章“Preliminaries(準備)”では、本論文で用いる行列およびテンソルの表現法や基本演算を紹介している。また、行列組の同時対角化やテンソルのCP分解に関する基本性質を纏めている。

第3章“Robust Approximate Simultaneous Diagonalization via Structured Low-Rank Approximation (構造付き低ランク近似を用いた行列組近似同時対角化)”では、まず、従来の近似同時対角化法によって非対角成分抑圧ができない例を示し、従来法の問題点を明らかにしている。次に、近似同時対角化問題を「観測行列組に近い同時対角化可能行列組を探索する問題(ステップ1: 雑音除去)」と「ステップ1で探索した行列組を同時対角化する相似変換行列を探索する問題(ステップ2: 同時対角化)」に分割し、各々の解法を組み合わせた「可換近似付き同時対角化法(ATDS法)」を提案している。ステップ1に対しては、同時対角化可能行列組が満たす可換性が単一行列の構造付き低ランク条件によって特徴付けられることを示した後、「構造付き低ランク行列近似」により、観測行列組に近い同時対角化可能行列組を探索する解法を提案している。ステップ2に対しては、同時対角化可能性と可換性を結びつける定理の構成論的証明を活かした解法を提案している。これらを組み合わせたATDS法が「同時対角化可能観測行列組に対する同時対角化」を保証しているばかりでなく、雑音に埋れていた同時対角化可能行列組に対する共通相似変換行列の推定精度でも従来法を凌駕することを数値実験によって実証している。

第4章“Robust Tensor Decomposition via Structured Low-Rank Approximation (構造付き低ランク近似を用いたロバストテンソル分解)”では、「特別なランク条件を満たすテンソル」のCP分解が、テンソルから構成された行列組の同時対角化問題に帰着される事実(De Lathauwer *et al.*, 2004)に着目し、第3章で提案したATDS法の拡張として「雑音除去機能付き近似CP分解法」を提案している。まず、特別なランク条件を満たすテンソルが、単一行列に対する新たな構造付き低ランク条件によって特徴付けられることを明らかにしている。次に「構造付き低ランク行列近似」で探索された「特別なランク条件を満たすテンソル」から構成した行列組をATDS法のステップ2の解法で同時対角化する近似CP分解の手法を提案している。さらに、従来法(Alternating Least Squares法)に著しい性能劣化を引き起こす悪条件の観測データテンソルを対象とした数値実験により、提案法が従来法に比べて雑音に頑健で高精度な近似CP分解を達成することを実証している。

第5章“Conclusions(結論)”では、本論文で得られた結果を総括している。

以上を要するに、本論文は、信号処理分野の横断的領域に現れる近似同時対角化問題とその応用である近似CP分解に対して、従来見過ごされてきた数理的特徴を有効活用する優れた手法を提案しており、工学上並びに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のあるものと認める。