T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A Study of Designs and Applications of Generalized Moreau Enhancement Matrix for Sparsity Aware LiGME Models
著者(和文)	CHEN YANG
Author(English)	Yang Chen
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12393号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山田 功,植松 友彦,府川 和彦,SLAVAKIS KONSTANTINOS,實松 豊
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12393号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	情報通信 系 情報通信 コース		申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	Yang Chen		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)		山田 功
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)		

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は“A Study of Designs and Applications of Generalized Moreau Enhancement Matrix for Sparsity Aware LiGME Models（スパース性を考慮した LiGME モデルのための一般化 Moreau 強化行列の設計と応用に関する研究）”と題し，英文6章よりなっている。

第1章“Introduction(序論)”では，まず，信号処理や機械学習の領域で広く採用されてきた Lasso モデル(ℓ_1ノルムをスパース性促進用正則化項に採用した最小二乗推定モデル)の一般形として，LiGME モデル(線形変換域のスパース性促進機能を備えた非凸正則化項付き最小二乗推定モデル)を紹介している。次に LiGME モデルでは，一般化 Moreau 強化行列（GME 行列）の適切な設計が全体凸性担保の鍵となり，これにより LiGME モデルの大域的最適解の探索が可能になることを述べている。更に，既存の代数的 GME 行列設計法の適用対象が，行フルランク性を満たす線形変換を利用する場合に限定されていたことを指摘し，本研究の目的が一般の線形変換に適用可能な代数的 GME 行列設計法の実現であることを述べている。

第2章“Preliminaries(準備)”では，まず，本研究の基礎となる凸最適化理論と不動点理論に関する有用な概念を紹介した後，LiGME モデルの全体凸性条件と最適解の不動点表現法を概説している。更に，グループスパース性を活用する信号処理の典型例として，信号復元問題とクラス分類問題を先行研究の手法と共に紹介している。

第3章“Properties and GME Matrix Designs for LiGME Models（LiGME モデルの性質と GME 行列の設計法）”では，まず， LiGME モデルの大域的最適解の存在を保証する幾つかの十分条件を整理した後，一般の線形変換に対して，LiGME モデルの全体凸性条件を満たす代数的 GME 行列設計法を新しく提案している。提案法は既存の代数的 GME 行列設計法[Abe, Yamagishi and Yamada 2020]の一般化となっており，1回の LDU 分解と部分空間への直交射影計算で完結し，固有値分解や反復計算を必要としない。この特長により，提案法は，各回の更新毎に非負定値行列集合への非線形射影計算を要する逐次近似型 GME 行列設計法[Liu and Chi 2022]に比べて低計算量で実現できる。

第4章“Application to Group Sparsity Aware Signal Recovery（グループスパース性を活用した信号復元問題への応用）”では，3章で提案した代数的 GME 行列設計法の有効性を実証するために，グループスパース性を信号復元問題に活用する方法を提案している。まず，グループ間の重なりを許した一般のグループ構造を統一的に表現するために，グループ化写像を定義している。次に，標準的なグループ Lasso モデル[Yuan and Lin 2006]の一般化モデルとして， $\ell_{2,1}$ノルムの Moreau 強化関数とグループ化写像を用いた LiGME モデルを提案し，このモデルを未知のグループ構造を持つグループスパース信号の復元問題に応用している。その結果，グループ間の重なりを最大限許容するグループ化写像（行フルランク性を満たさない）の採用により，信号復元性能が向上することを数値実験で示し，本研究で提案する代数的 GME 行列設計法の有効性を実証している。

第5章“Application to Group Sparse Classification（グループスパース性を活用したクラス分類問題への応用）”では，4章で導入した LiGME モデルをクラス分類問題に応用する方法を提案している。この応用では，特にクラス毎に訓練用サンプル数が異なる状況で従来のグループ Lasso モデルによるクラス分類法が著しい性能劣化を招くことを明らかにすると共に，4章で導入した LiGME モデルによるクラス分類法は，同じ状況下でも高いクラス分類性能を維持することを数値実験で実証している。

第6章“Conclusions(結論)”では，本論文で得られた成果を総括している。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	情報通信 系 情報通信 コース		申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	Yang Chen		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	山田 功	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)		

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

In this thesis, we study certain fundamental properties of the Linearly involved Generalized-Moreau-Enhanced (LiGME) model, novel design strategies of the Generalized Moreau Enhancement matrix (GME matrix), and applications of the LiGME model to group sparsity aware estimations.

In Chapter 2, we first present useful tools in the convex optimization and the fixed point theory of nonexpansive operators, and then present a brief review on the LiGME model. We also present a brief review of the prior arts for group sparsity aware signal recovery and group sparse classification.

In Chapter 3, we first summarize some fundamental properties of the LiGME model. Then, we propose a new algebraic design of the GME matrix which can be viewed as a generalization of the existing algebraic designs, and the proposed design is applicable to general linear operator in the LiGME model. Moreover, the proposed design requires only a single LDU decomposition and an orthogonal projection to a subspace, which does not require any eigendecomposition or iteration.

In Chapter 4, after introducing the grouping operator for general group configurations which allows overlapping, we propose a new LiGME model for group sparsity aware signal recovery, where the proposed model can cope with signals of unknown group structure. The numerical experiments show the effectiveness of the proposed LiGME model based on the proposed GME matrix design.

In Chapter 5, we apply the proposed LiGME model to group sparse classification. The numerical experiments demonstrate the effectiveness of the proposed LiGME model compared with the standard Group Lasso model in the scenario of group sparse classification, especially for unbalanced training sets.

In Chapter 6, we conclude this thesis with few additional remarks.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).