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)	CHENYANG
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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）

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		CHEN YANG	
論文審査 審 査 員		氏　名	職　名		氏　名	職　名
	主査	山田　功	教授	審査員	實松 豊	准教授
	審査員	植松　友彦	教授			
		府川　和彦	教授			
		ｽﾗｳﾞｧｷｽ ｺﾝｽﾀﾝﾃｨﾉｽ	教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

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。

以上を要するに，本論文は，信号処理分野で広範な応用が期待されるLiGMEモデルに対して，一般の線形変換に適用可能な代数的GME行列設計法を提案し，グループスパース性を活用した2つの信号処理問題への応用を通して,その有効性を示したものであり,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。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」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。