

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Estimating Time-Varying Signals over Dynamic Graphs via Proximal Splitting Techniques
著者(和文)	山縣英介
Author(English)	Eisuke Yamagata
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第370号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小野 峻佑,小野 功,高安 美佐子,村田 剛志,横田 理央
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第370号, Conferred date:2025/3/26, 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	山縣 英介	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	小野 峻佑	准教授	横田 理央	教授
	審査員	小野 功	教授		
		高安 美佐子	教授		
村田 剛志		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、グラフ信号処理と近接分離最適化に基づく動的グラフ上の時系列グラフ信号推定手法の提案および実際のデータ解析応用における有効性の検証を行ったものであり、「Estimating Time-Varying Signals over Dynamic Graphs via Proximal Splitting Techniques」と題し、英文5章より構成される。

第1章「Introduction」では、まず、時系列信号処理およびグラフ信号処理分野における本研究の位置づけについて説明している。具体的には、従来の研究が仮定していた静的グラフ表現の限界について触れ、複雑な構造をもつ時系列信号の解析における動的グラフ表現の必要性を提起するとともに、本研究の目的を導いている。最後に、本研究の貢献を整理し、概説している。

第2章「Preliminaries」では、本研究において重要な役割を担う近接分離最適化技術の基礎知識を紹介している。また、本論文を通して同様に重要なグラフ信号処理の基礎概念に関する導入も行っている。具体的には、グラフラプラシアンや隣接行列など、グラフを数学的に扱うための基礎を導入した上で、グラフラプラシアン二次形式やグラフ全変動などの最適化において広く活用される関数を紹介している。

第3章「Robust Time-Varying Graph Signal Recovery for Dynamic Physical Sensor Network Data」では、動的グラフ上で観測される多様なノイズに汚染された観測データから、所望のグラフ信号を推定するための時系列グラフ信号復元手法を提案している。まず、センサーネットワークが静的であるという従来の仮定から脱却し、センサーネットワークが信号と同様に時間変化するというモデルを導入している。次に、このモデルに基づいた動的グラフの構築と、これを取り入れた最適化問題の設計を行っている。この最適化問題は、観測データに重畳するガウスノイズ、スパースノイズ、欠損といった幅広い種類の劣化に対応しながら、データの性質に応じて正則化項を選択できるよう定式化されている。当該最適化問題の解を効果的に計算するために、近接分離最適化技術の一種である主-双対近接分離法に基づく求解アルゴリズムを開発している。最後に、実際のセンシングネットワークデータと合成データの両方を用いて包括的な検証実験を行うことで、静的グラフを仮定した従来手法に対する優位性を実証している。

第4章「Market Graph Integrated Sparse Index Tracking」では、L0 ノルム制約に基づいたスパース性とマーケットグラフを活用したリスク管理性を導入したインデックストラッキング手法を提案している。まず、金融指数のパフォーマンスを再現するポートフォリオを構築する上で、ポートフォリオがスパースであることと、セクターニュートラル性が必要であることを概説している。その上で、従来手法が抱えるスパース度合いの制御が困難であるという課題を改善するために、これを厳密に制御できるL0 ノルム制約に基づいたトラッキング手法を提案している。さらに、従来手法によって構築されるポートフォリオが厳密にセクターニュートラルではないという問題を挙げ、セクターニュートラル性を満たすための機構を提案手法に導入している。その際、市場のダイナミクスを捉えるために、変化の少ない既存のセクターに代わって、マーケットグラフをクラスタリングして構築したグループ分けを使用することも提案している。この問題の近似解を効果的に計算するために、第3章と同様に主-双対近接分離法に基づく求解アルゴリズムを開発している。最後に、S&P500やRUSSELL3000といった実データで投資シミュレーションの実験を行い、提案手法の優位性と、市場を捉える上で静的なセクターよりも動的なマーケットグラフの方が適していることを確認している。

第5章「General Conclusion」では、本論文の成果と意義を総括するとともに、本研究の境界とそれを踏まえた今後の研究の方向性について、グラフのダイナミクスに関する正則化の導入、時間方向のエッジを含むグラフ構造の導入、扱える解析タスクの拡張、の三つの観点から論じている。

以上を要するに、本論文は、動的グラフ上の時系列グラフ信号推定手法を提案し、物理的および非物理的データを扱う各種アプリケーションでその有効性を検討することで、複雑な構造をもつ時系列信号の解析における動的グラフ表現の重要性を提起すると同時に、それを活用するための方法論を確立したものである。これらの成果は時系列信号処理・グラフ信号処理分野における新たな汎用的基盤技術となるものであり、その工学的貢献は極めて大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものであると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東京科学大学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。