



Title	Graph signal sampling under arbitrary signal priors
Author(s)	原, 惇也
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/98762
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (原 惇 也)

論文題名

Graph signal sampling under arbitrary signal priors
(任意の先験情報に基づくグラフ信号のサンプリング)

論文内容の要旨

This dissertation described the developments and results of graph signal sampling under arbitrary signal priors, based on research papers published within the Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering, Department of Bio-Functions and Systems Science at Tokyo University of Agriculture and Technology, and Graduate School of Engineering, Division of Electrical, Electronic, and Infocommunications Engineering at Osaka University. Contributions of this dissertation included proposing a series of graph signal sampling methods tailored to various signal models, including deterministic, random, and their mixture models. The effectiveness of these proposed methods was validated via recovery experiments with synthetic and real-world datasets. The dissertation was organized into six chapters, detailed as follows.

Chapter 1 served as the introduction, setting the stage for the dissertation by discussing the limitations of conventional signal processing and the unique challenges posed by sampling of graph signals. It outlined the necessity for a flexible sampling framework to address these issues effectively.

Chapter 2 reviewed fundamental concepts in sampling theory, from Shannon's theorem to its generalization required for graph signals. This chapter laid the groundwork by defining graph signals and introducing the concept of generalized sampling theory (GST) which was adapted for the graph domain.

Chapter 3 addressed the challenges of applying generalized graph sampling theory (GGST) to random graph signals, which were non-shift-invariant and conformed to graph wide sense stationarity (GWSS). This chapter extended the concept of wide sense stationarity from time-domain to graph signals, incorporating a correction transform to improve the accuracy of non-ideal measurements. The framework supported arbitrary sampling methods and demonstrated its effectiveness through experiments with synthetic and real datasets.

Chapter 4 presented a sampling set selection (SSS) method that operated under arbitrary signal priors, moving beyond the conventional bandlimited assumptions. This method utilized the direct sum condition between sampling and reconstruction subspaces, ensuring optimal recovery of graph signals. The effectiveness of this approach was validated through computational experiments using various graph signal models.

Chapter 5 expanded SSS method to address sensor placement problem on graphs (SPPG) with sensors of diverse specifications. It proposed a solution based on difference-of-convex (DC) optimization, balancing the maximization of coverage area with the minimization of sensing budget. Experimental results demonstrated the effectiveness of this approach.

Chapter 6 extended the GGST framework to multi-channel systems, addressing the complexities posed by full-band graph signals. This chapter not only clarified the relationships among existing analysis methods but also demonstrated the framework's effectiveness through the multi-channel sampling (MCS) of full-band graph signals.

Chapter 7 summarized the dissertation and offered comprehensive directions for future research.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (原 惇 也)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	田中 雄一
	副 査	教授	落合 秀樹
	副 査	教授	駒谷 和範
	副 査	教授	井上 恭
	副 査	教授	滝根 哲哉
	副 査	教授	丸田 章博
	副 査	教授	宮地 充子
	副 査	准教授	東 広志
	副 査	Professor	Antonio Ortega (Viterbi School of Engineering, University of Southern California)

論文審査の結果の要旨

グラフ信号処理は信号処理の一分野である。通常のデジタル信号処理の信号の定義域は時間軸であるのに対し、グラフ信号処理では頂点と辺から構成されるデータ構造であるグラフの頂点が信号の定義域となる。グラフにより、信号値間の複雑な関係性が明示的に利用できることから、グラフ信号処理はセンサネットワーク・交通網・電力網・ソーシャルネットワーク・画像処理等、様々な応用が期待されている。

信号処理の基礎的な処理にサンプリングがある。サンプリングを行うことで処理すべきデータ量の削減や効率的な処理が可能となる。通常の信号処理では、サンプリングはその黎明期から続く伝統的な研究分野である。グラフ信号処理システムにおいても、サンプリングは重要な構成要素である。一方、グラフ信号処理においては通常の信号処理との定義域の違いから、どのサンプル（信号値）を選択するかは必ずしも明確ではない。更に、サンプリング定理においてはどのような特徴を持つ信号であればサンプルから復元できるか、復元できるとすればその方法はなにか、という観点が必要であるが、グラフ信号処理においては復元可能な信号のクラスが必ずしも明確ではなかった。

本論文は、グラフ信号処理におけるサンプリング定理に関して、信号に対する先験情報を事前知識として利用することで、適切なサンプリングと復元を行う手法をまとめたものである。主たる研究成果を要約すると以下ようになる。

- (1) グラフ信号が統計的な性質を持つ場合のサンプリングと再構成に対する議論を行っている。特に、グラフ広義定常過程を従来の手法より精緻に定義した上で、信号の復元手法に関する検討を行っている (Chapter 3)。また、Chapter 3 で用いた性質を拡張し、より広いクラスの先験情報へとサンプリング・復元手法を適用可能としている (Chapter 4)。提案手法を合成データおよび実データに適用し、従来手法と比較して優れた再構成性能を示すことを明らかにしている。
- (2) Chapter 5 では、グラフ信号のサンプリングをセンサネットワークに利用する際の実際的な問題に取り組んでいる。具体的には、性能が異なるセンサを同時に利用した場合のセンサ配置問題を、グラフ信号処理のサンプリング問題として定式化している。1 種類のセンサのみを使用する場合と異なり、複数センサを用いることで費用等のコストを抑えながら精確なサンプリングが可能となることを示している。
- (3) Chapter 6 においては、複数の先験情報を用いたグラフ信号のサンプリングとして、多チャネルサンプリングを提案している。多チャネルサンプリングが特別な場合にグラフ信号処理のフィルタバンクと一致することを示している。従来の単チャネルのサンプリングと比較して、非常に小さな再構成誤差が実現できることを合成データ・実データによる実験を通じて明らかにしている。

以上のように、本論文はグラフ信号処理のサンプリングに関する数多くの有用な知見を与えており、情報通信工学、特に信号情報処理工学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。