

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K12716

研究課題名（和文）ウェーブレット変換の拡張と多次元データ解析への応用

研究課題名（英文）Extension of wavelet transforms and their applications to multidimensional data analysis

研究代表者

藤ノ木 健介 (Fujinoki, Kensuke)

東海大学・理学部・准教授

研究者番号：80613629

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：多次元におけるウェーブレット解析とその応用について研究を行った。方位選択性を改良した2次元のウェーブレット変換を提案し、画像処理のエッジ検出等における優位性を確認した。より柔軟な枠組みの中でデータ解析に主眼を置いた線形変換の開発についても取り組み、自由度の高い設計が実現できる可能性を見出した。フレームとマルチレート信号処理、リフティングスキームの関連性を多次元で考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

画像の特徴量を捉えることは画像処理の主要な目的の一つである。画像処理手法における方位選択性等を改良したことにより、エッジ等の画像の局所の特徴量がより扱いやすくなることが期待されることから意義は大きい。また、フレームとマルチレート信号処理およびリフティングスキームとの関連性を多次元で精査したことで、より柔軟で、よりデータ解析寄りの実用的な線形変換の可能性を見出すことができたことは、今後の展開を考える上で重要な成果であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, wavelet analysis in multiple dimensions was investigated. We proposed a two-dimensional wavelet transform with improved directional selectivity, and confirmed that it is effective for edge detection in image processing. We also worked on the development of a linear transform focusing on data analysis in a more flexible framework, and found the possibility of realizing a design with a high degree of freedom. The relationship between frames and multirate signal processing was examined in terms of a multidimensional multirate lifting scheme.

研究分野：ウェーブレット解析

キーワード：ウェーブレット 時間周波数解析 フレーム 信号処理 データ解析 画像処理

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

ウェーブレット解析は数学的には現代数学における調和解析の分野に位置付けられているが、その歴史的発展の経緯には異分野融合の背景があり興味深い。ウェーブレット解析のアイデアが生まれた背景には主に産業界のニーズがあったが、当初は解析手法の有効性もさることながら、その数学的正当性などの理論研究が中心に進められた。その後は、時間周波数解析や画像処理といった信号処理やデータ解析などの工学分野における応用研究において、理論と応用が連動して発展してきたという経緯がある。そして近年ではその一般化や多次元化において、理論または応用主導の両面から研究が進められてきている。

2. 研究の目的

本研究はウェーブレット解析に関連するこれまでの歴史的経緯の延長線上にあるものであり、ウェーブレット解析の多次元化について理論と応用の両面からのアプローチを試みることで、ウェーブレット理論の発展と信号処理への応用及び工学的諸問題の解決について取り組むことを目的とする。なお、多次元化には1次元の場合の組み合わせ等による単純なエクステンションと、本質的多次元な手法を構成する二種類のアプローチが存在するが、本研究で扱う多次元化とは後者の本質的多次元化の場合を指すものとする。

3. 研究の方法

本研究は、研究内容を理論パートと応用パートに分けて、各パートにおける研究課題を並行して推進する。具体的には、理論研究で獲得した成果や知見を計算機で実装し、数値実験によって手法の有効性を従来法と比較しながら検証する方法で研究を進めていく。主な研究内容は以下のとおりである。

- (1) これまでに代表者が提案してきた2次元のウェーブレット変換をさらに改良し、画像処理における2次元ウェーブレットの方位選択性を改善することを目指す。効率的な実装アルゴリズムも検討し、エッジ等における画像の特徴量抽出における有効性を従来法と比較検討する。
- (2) 可分ヒルベルト空間におけるフレームについて研究する。特に、フレームとマルチレート信号処理の関連性に着目し、二乗総和可能な数列空間におけるフレームと多次元のマルチレートフィルタバンクとの関係や、二乗可積分空間における多次元マルチウェーブレットフレームの条件について調査する。
- (3) フレーム研究の知見を応用して、ウェーブレット解析に要求される条件を緩めて、データを点列として扱うことでより柔軟な枠組みの中で多次元データ解析を行う線形変換を検討する。開発手法の優位性を、計算機による従来法との比較数値実験により検証する。

4. 研究成果

本研究によって得られた主な研究成果は、次の4点である。

- (1) これまでに提案してきた2次元のウェーブレット変換をさらに改良した。2次元ウェーブレットを用いた画像処理では方位選択性が要求される場面があるが、これまでの提案手法は従来のウェーブレット変換よりも方位選択性を改善したものであった。今回はその方位選択性をさらに飛躍的に向上させた。
また、変換処理を効率的に行うアルゴリズムを考案し、様々な画像処理問題に対して計算機数値実験によって提案手法の有効性を検証した。その結果、画像の特徴抽出においてこれまでの性能を上回る良好な結果が得られた。画像の特徴量を捉えることは画像処理の主要な目的の一つであることから、画像処理手法における方位選択性等を改良したことは、エッジ等の画像の局所の特徴量がより扱いやすくなる可能性が期待され、その意義は大きいと考える。
- (2) ウェーブレット解析に要求される条件を緩めて、より柔軟な枠組みの中でデータ解析に主眼を置いた線形変換の開発について取り組み、自由度の高い変換の設計が実現できる可能性を見出した。この研究の流れの中でフレームに関連する既存研究のレビューも行い、申請者がこれまでに提案してきた方位選択性を有する重複ウェーブレット変換との関連性と位置付けを明確にした。
- (3) フレームとマルチレート信号処理の関連性を多次元で精査し、ウェーブレットフレームを生成するためのユニタリー拡張定理について考察を行なった。フレームとマルチレ

ート信号処理およびリフティングスキームとの関連性を多次元で検討したことにより、より柔軟で、よりデータ解析寄りの実用的な線形変換の可能性を見出すことができたことは、今後の展開を考える上で重要な成果であると考えられる。

- (4) 従来のハール変換を拡張し、画像の4近傍画素の相関を分析するハールライク直交変換を提案した。従来法はハールウェーブレットをテンソル積で2次元にしたものから得られ、画像を 2×2 のブロックに分けることで各ブロックの4画素を平均成分と3つの差分成分の合計4画素に分解する変換であった。本研究では従来のハール変換を拡張し、画像を 2×2 のブロックではない4画素ごとの互いに素な部分集合に分割することで、各部分集合ごとにハール変換と類似する直交変換を行う方法を提案した。

提案手法において、部分集合への分割方法にはいくつかの候補が存在するが、この選択肢が画像処理へ与える影響について、画像の非線形近似と復元問題に対して計算機数値実験によって比較検討を行なった。その結果、部分集合の組み合わせによっては、従来法よりも良好な結果が得られることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kensuke Fujinoki	4. 巻 -
2. 論文標題 Properties of Haar-Like Four-Point Orthogonal Transforms for Image Processing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 In: Latifi S. (eds) 17th International Conference on Information Technology - New Generations (ITNG 2020). Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 233 ~ 239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-43020-7_31	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kensuke Fujinoki	4. 巻 -
2. 論文標題 Two-Dimensional Directional Lifting Schemes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analysis, Probability, Applications, and Computation	6. 最初と最後の頁 525 ~ 531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-04459-6_50	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kensuke Fujinoki	4. 巻 -
2. 論文標題 Nonlinear Approximation of Images with Haar-Like Four-Point Orthogonal Transforms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 16th International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR 2019)	6. 最初と最後の頁 110 ~ 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR48189.2019.8946488	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 藤ノ木 健介	4. 巻 28
2. 論文標題 リフティングスキームによるウェーブレットの構成法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本応用数学会論文誌	6. 最初と最後の頁 72 ~ 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11540/jsiamt.28.2_72	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kensuke Fujinoki	4. 巻 2102
2. 論文標題 A Note on Curvelets and Multiscale Directional Transforms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 8 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kensuke Fujinoki and Keita Ashizawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Directional Lifting-based Wavelet Transforms and their Applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Ninth International Conference on Information	6. 最初と最後の頁 47 ~ 50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujinoki Kensuke	4. 巻 -
2. 論文標題 A Generalization of Average Interpolating Wavelets	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 New trends in analysis and interdisciplinary applications, Trends Math. Res. Perspect.	6. 最初と最後の頁 565 ~ 571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-48812-7_71	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kensuke Fujinoki and Keita Ahizawa	4. 巻 -
2. 論文標題 A lapped directional wavelet transform based on B-splines	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2017 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR 2017)	6. 最初と最後の頁 43 ~ 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR.2017.8076661	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計15件(うち招待講演 4件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Kensuke Fujinoki
2. 発表標題 Properties of Haar-Like Four-Point Orthogonal Transforms for Image Processing
3. 学会等名 The 17th International Conference on Information Technology - New Generations (ITNG 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kensuke Fujinoki
2. 発表標題 Aspects of Frame Analysis
3. 学会等名 2019 RIMS Joint Research, Advanced Innovation powered by Mathematics Platform (AIMaP) "Multidimensional Stockwell Transforms and Time-Frequency Analysis" (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kensuke Fujinoki
2. 発表標題 Two-Dimensional Frames for Multidirectional Decompositions
3. 学会等名 The 12th International Society for Analysis, its Applications and Computation Congress (ISAAC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kensuke Fujinoki
2. 発表標題 Nonlinear Approximation of Images with Haar-Like Four-Point Orthogonal Transforms
3. 学会等名 The 16th International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤ノ木 健介
2. 発表標題 Haar-Like直交変換による非線形画像近似
3. 学会等名 日本応用数理学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本紘史, 木下保, 藤ノ木 健介
2. 発表標題 On Directional Frames Having Lipschitz Continuous Fourier Transforms
3. 学会等名 日本応用数理学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kensuke Fujinoki and Keita Ashizawa
2. 発表標題 Directional Lifting-based Wavelet Transforms and their Applications
3. 学会等名 The Ninth International Conference on Information (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木下保, 藤ノ木 健介
2. 発表標題 On Parseval Frames for Multidirectional Expansions and a Discretization Scheme of the Inversion of the Radon Transform
3. 学会等名 日本応用数理学会2019年研究部会連合発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤ノ木 健介
2. 発表標題 2変数関数の時間周波数解析について
3. 学会等名 釧路高専第8回若手理・工学セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤ノ木 健介
2. 発表標題 ウェーブレット入門講義
3. 学会等名 東京都市大学調和解析セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kensuke Fujinoki
2. 発表標題 Two-dimensional time-frequency analysis
3. 学会等名 Harmonic Analysis Forum at Tokyo City University (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kensuke Fujinoki
2. 発表標題 Multi-lapped directional wavelet transforms and their applications to image analysis
3. 学会等名 2017 RIMS Joint Research, Advanced Innovation powered by Mathematics Platform (AIMaP), Signal analysis and time-frequency analysis (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kensuke Fujinoki
2. 発表標題 A two-dimensional lapped directional wavelet transform with directional lifting
3. 学会等名 The 11th International Society for Analysis, its Applications and Computation Congress (ISAAC 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kensuke Fujinoki and Keita Ahizawa
2. 発表標題 A lapped directional wavelet transform based on B-splines
3. 学会等名 The 2017 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤ノ木健介
2. 発表標題 ウェーブレット解析と多次元信号処理
3. 学会等名 第45回可視化情報シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------