

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26730099

研究課題名（和文）多次元ウェーブレットの理論と応用

研究課題名（英文）A theory and applications of multidimensional wavelets

研究代表者

藤ノ木 健介（Fujinoki, Kensuke）

東海大学・理学部・講師

研究者番号：80613629

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、データ解析の道具のひとつである離散ウェーブレット変換を多次元に拡張し、その応用上の効果について多方面から研究を行った。2次元の場合においては、画像の特徴量抽出、画像復元、画像圧縮等の応用を意識しながら、画像処理に特化した新しい非分離型2次元ウェーブレットを開発した。提案手法の数学的な性質を調べ、応用上の有用性を検証した。また、研究成果を3次元空間にも展開し、曲面上のウェーブレットの構成方法について調査を行い、基礎検討を行った。新たな球面ウェーブレットを構成し、球面データ解析に応用した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we extended discrete wavelet transforms, which is one of the data analysis tools, to multidimension, and studied the effect on a range of applications. In two dimensions, we proposed a new class of nonseparable two-dimensional wavelets focused on image processing tasks such as feature extraction of images, image restoration, image compression and so on. Mathematical aspects of the proposed methods were studied, and its performance in the image processing applications was also evaluated. We also constructed spherical wavelets, and applied them to data analysis on a sphere.

研究分野：応用数学、情報科学

キーワード：ウェーブレット 画像処理 データ解析 球面

1. 研究開始当初の背景

データ解析手法のひとつであるウェーブレットは、通常は2次元、3次元と多次元へと拡張できる。しかしこれは分離型の簡易的な方法を用いた場合であり、多次元化する際にウェーブレット変換の方位選択性が欠如するという問題が生じる。データの方位成分は多次元データ解析では重要な特徴量として扱われるため、この方位選択性の欠如は致命的な障害となる場合がある。そこで、非分離型の拡張方法を用いて構成される多次元ウェーブレットの必要性が求められている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、本質的に非分離型の構造を持つ扱いやすい多次元ウェーブレットを構成し、その理論の進展と、工学の諸分野への応用の可能性について取り組むことである。特に応用上の要求が高い2次元と3次元の場合を中心に研究を推進し、応用を意識した理論体系の構築を目指す。

3. 研究の方法

研究代表者らがこれまでに開発した非分離型2次元ウェーブレットを軸に、これを出発点として様々な方面に発展させる。具体的には、2次元の場合においては、画像処理に特化した非分離型2次元ウェーブレットを構成し、画像の特徴量抽出、画像復元、画像圧縮等における各性能を検証する。3次元の場合は、2次元の結果を単位球面にも展開して理論の整合性を検討し、曲面上に定義される非分離型ウェーブレットを構成し、曲面上のデータ解析に応用する。

4. 研究成果

本研究では、これまでに開発した非分離型2次元ウェーブレットをさらに拡張し、その応用上の有用性について検証を行った。その過程で得られた研究成果を、次の4点に集約する。

- (1) 画像の方向性解析に特化した非分離型2次元ウェーブレットを構成した。離散ウェーブレット変換の方位選択性を増加する際に生じる冗長性を軽減する方法を考案し、方位選択性を大幅に改善した。計算機実験によって、画像の方向性解析における提案手法の優位性を確認した。
- (2) これまでに開発した非分離型2次元ウェーブレットにおいて、正則行列による新たな作用素を追加するアプローチに対して、従来とは異なる視点から取り組むことで、新しい解釈を得た。その画像処理における応用上の効果についての評価を行った。
- (3) 2次元格子上的平均補間法に基づく非分離型2次元双直交ウェーブレット基底を開発し、その基底関数の数理的側面について考察を行った。画像の非線形近似と逆問題の一種である画像復元問題へと応

用し、計算機実験により従来法に対する本研究の優位性と妥当性を確認した。画像復元問題を、1ノルム正則化項を導入した最小二乗推定による最適化問題として捉え、反復法に基づいて縮退を行うアルゴリズムにより検討を行った。その結果、提案手法では劣化の程度が激しい画像の復元時に生じるブロックノイズを低減できることを確認した。

- (4) 2次元で得た研究成果の一部を拡張して曲面上に展開し、曲面上の正規直交基底を構成する条件について調査を行った。単位球面において、ウェーブレットが正規直交基底、あるいは双直交基底になるためには基底関数を構成する正則行列のパラメータ設定に依存することがわかり、種々のノルムを尺度に基底関数を構成した。基底関数を球面データ解析に応用し、非線形近似における性能を比較検討した。その結果、ある種の制約の中では、直交の場合の方が双直交の場合に比べてより優れている傾向があることを確認した。また、実際の近似誤差を最小にするような正則行列のパラメータを数値実験により算出し、新たな球面上の正規直交基底を構成した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9件)

- ① Kensuke Fujinoki and Keita Ashizawa, Directional Redundant Polyphase Transforms, Proceedings of the 13th International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR 2016), pp. 258-263, 2016, DOI: 10.1109/ICWAPR.2016.7731650 (査読有)。
- ② Kensuke Fujinoki, Biorthogonal Wavelet Expansions on the Sphere, INFORMATION, Vol.19, No.6(B), pp. 2079-2088, 2016 (査読有)。
- ③ Kensuke Fujinoki, Multiscale Spherical Wavelet Decompositions, Proceedings of the Seventh International Conference on Information, pp. 53-56, 2015 (査読有)。
- ④ Kensuke Fujinoki, Image Restoration with Triangular Orthogonal Wavelets, Proceedings of the 12th International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR 2015), pp. 124-127, 2015, DOI: 10.1109/ICWAPR.2015.7295937 (査読有)。
- ⑤ Kensuke Fujinoki, Image Compression with Average Interpolating Lifting Scheme on Triangular Lattice, Proceedings of the 12th International

- Conference on Information Technology - New Generations (ITNG 2015), pp. 335-340, 2015, DOI:10.1109/ITNG.2015.60 (査読有).
- ⑥ Kensuke Fujinoki, Redundant Multiscale Haar Wavelet Transforms, Current Trends in Analysis and Its Applications (Proceedings of the 9th ISAAC Congress, Krakow 2013), V. Mityushev, M. V. Ruzhansky (Eds.), Birkhauser, pp. 443-449, 2015, DOI: 10.1007/978-3-319-12577-0 (査読有).
- ⑦ 藤ノ木 健介, 非分離型 2 次元ウェーブレットと画像処理への応用, 京都大学数理解析研究所講究録, No.1928, pp. 63-88, 2014 年(査読無)
- ⑧ Kensuke Fujinoki, Multiscale Keypoint Analysis with Triangular Biorthogonal Wavelets Via Redundant Lifting, Proceedings of the 22nd European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2014), pp.1-4, 2014 (査読有).
- ⑨ Kensuke Fujinoki, A Design of Triangular Biorthogonal Wavelet Filters with Average Interpolation Scheme, Proceedings of the 11th International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR 2014), pp. 159-163, 2014, DOI: 10.1109/ICWAPR.2014.6961308(査読有).
- [学会発表] (計 20 件)
- ① 藤ノ木 健介, 芦澤 恵太, 重複ウェーブレット変換による画像の方向性解析, 日本応用数学会 2017 年研究部会連合発表会, 電気通信大学(東京都調布市), 2017 年 3 月 6 日-7 日
- ② Kensuke Fujinoki, Biorthogonal Wavelet Constructions with Lifting Operators and its Applications to Signal Processing, Harmonic Analysis Forum at Tokyo City University, Tokyo, Japan, February 18, 2017.
- ③ 藤ノ木 健介, 芦澤 恵太, 重複ウェーブレット変換と画像処理への応用, 統計数理研究所共同研究集会「複雑系の逆問題とその周辺」, 統計数理研究所(東京都立川市), 2016 年 12 月 9 日-10 日
- ④ 藤ノ木 健介, 芦澤 恵太, 非分離型半重複双直交ウェーブレット分解, 日本応用数学会 2016 年度年会, 北九州国際会議場(福岡県北九州市), 2016 年 9 月 12 日-14 日
- ⑤ Kensuke Fujinoki and Keita Ashizawa, Directional Redundant Polyphase Transforms, The 13th International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR 2016), Jeju Island, South Korea, July 10-13, 2016.
- ⑥ 藤ノ木 健介, 球面上の離散ウェーブレット変換について, 日本応用数学会 2016 年研究部会連合発表会, 神戸学院大学ポートアイランドキャンパス(兵庫県神戸市), 2016 年 3 月 4 日-5 日
- ⑦ Kensuke Fujinoki, Multiscale Spherical Wavelet Decompositions, The 7th International Conference on Information, Taipei, Taiwan, November 25-28 2015.
- ⑧ 藤ノ木 健介, リフティングスキームによるウェーブレットの構成について, 2015 年度第 4 回富山大学理学部数学科談話会, 富山大学(富山県富山市), 2015 年 10 月 23 日
- ⑨ 藤ノ木 健介, 3 角形直交ウェーブレットによる画像復元, 日本応用数学会 2015 年度年会, 金沢大学(石川県金沢市), 2015 年 9 月 9 日-11 日
- ⑩ Kensuke Fujinoki, Properties of Two-dimensional Nonseparable Average Interpolating Wavelets, The 10th International Society for Analysis, its Applications and Computation Congress (ISAAC 2015), Macaw, China, August 3-8, 2015.
- ⑪ Kensuke Fujinoki, Image Restoration with Triangular Orthogonal Wavelets, The 12th International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR 2015), Guangzhou, China, July 12-15, 2015.
- ⑫ Kensuke Fujinoki, Image Compression with Average Interpolating Lifting Scheme on Triangular Lattice, The 12th International Conference on Information Technology - New Generations (ITNG 2015), Las Vegas, USA, April 13-15, 2015.
- ⑬ 藤ノ木 健介, 平均補間型リフティングスキームによる画像の非線形近似, 日本応用数学会 2015 年研究部会連合発表会, 明治大学中野キャンパス(東京都中野区), 2015 年 3 月 6 日-7 日
- ⑭ 藤ノ木 健介, 結晶構造の定式化を基にした非分離型 2 次元ウェーブレットの構成と応用, 第 29 回信号処理シンポジウム, ビナリオ嵯峨嵐山(京都府京都市), 2014 年 11 月 11 日-14 日
- ⑮ 藤ノ木 健介, リフティングウェーブレットと信号解析, 平成 26 年度数学協働プログラム「ウェーブレット理論と工学への応用」, 大阪教育大学天王寺キャンパス(大阪府大阪市), 2014 年 11 月 7 日-8 日
- ⑯ 藤ノ木 健介, 3 角形ウェーブレットを用いた等方的画像解析, 日本応用数学会 2014 年度第 3 回ウェーブレット研究部会セミナー, 富山大学(富山県富山市), 2014 年 10 月 18 日
- ⑰ 藤ノ木 健介, 平均補間法による 3 角形双

直交ウェーブレットの構成, 第7回ウェーブレット変換およびその応用に関するワークショップ, 豊橋技術科学大学 (愛知県豊橋市), 2014年10月2日-3日

- ⑱ Kensuke Fujinoki, Multiscale Keypoint Analysis with Triangular Biorthogonal Wavelets Via Redundant Lifting, The 22nd European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2014), Lisbon, Portugal, September 2014.
- ⑲ 藤ノ木 健介, 3角形ウェーブレットの拡張について, 日本応用数理学会 2014年度第1回ウェーブレット研究部会セミナー, 大阪教育大学柏原キャンパス (大阪府柏原市), 2014年8月8日
- ⑳ Kensuke Fujinoki, A Design of Triangular Biorthogonal Wavelet Filters with Average Interpolation Scheme, The 11th International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR 2014), Lanzhou, China, July 2014.

[その他]

ホームページ等

<http://wave.ss.u-tokai.ac.jp/fujinoki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤ノ木 健介 (FUJINOKI, Kensuke)

東海大学・理学部・講師

研究者番号: 80613629