

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03623

研究課題名（和文）ウェーブレット，位相的データ解析，深層学習に基づいた画像特徴抽出とその理論構築

研究課題名（英文）Image feature extraction based on wavelet, topological data analysis, deep learning, and its theory

研究代表者

皆本 晃弥（Minamoto, Teruya）

佐賀大学・理工学部・教授

研究者番号：00294900

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ウェーブレット解析と位相的データ解析のマルチスケール性に着目し、画像から解釈可能な「良質な特徴量」を抽出する手法を開発した。そして、この特徴量と機械学習手法を組み合わせることで、様々な画像処理・解析法を開発した。具体的には、二重ツリー複素数離散Wavelet変換に基づく早期大腸がんの検出法や非参照型電子透かし法の開発、Dyadic Wavelet変換に基づく歩容検出や染色アスベストの検出、Lifting Waveletを用いたDysplasia検出、Curveletを用いた早期胃がんの検出などを行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、ウェーブレット解析と位相的データ解析のマルチスケール性を活用して画像から人間が解釈可能な特徴量を抽出する手法を開発し、機械学習モデルの説明可能性の向上にも寄与した。特に、早期がん検出法の開発は医療分野での早期診断に貢献し、患者の治療成功率と生存率の向上につながる。また、非参照型電子透かし法や歩行検出などの開発は、セキュリティや監視システムの向上に寄与する。これらの成果は科学的知見の進歩だけでなく、医療、セキュリティ、社会全体の福祉向上にも寄与すると言える。

研究成果の概要（英文）：Focusing on the multi-scale property of wavelet and topological data analysis, we developed methods to extract interpretable "high-quality features" from images. Then, by combining these features with machine learning methods, we developed various image processing and analysis methods. Specifically, we developed methods for detecting early-stage colorectal cancer and a non-reference watermarking method based on the dual-tree complex discrete Wavelet transform, methods for detecting gait and stained asbestos based on the Dyadic Wavelet transform, a method for detecting dysplasia using Lifting Wavelets, and a method for detecting early gastric cancer using Curvelets.

研究分野：応用数学

キーワード：ウェーブレット解析 位相的データ解析 早期がん検出 電子透かし 歩容

1. 研究開始当初の背景

国内外で、人工知能、とりわけ、深層学習(ディープラーニング)の研究が、性能向上手法の開発と応用の開拓という両面から急速なペースで進んでいる。しかし、深層学習では、特徴量を自ら獲得するため、人間には、何を学習しているのか分からない。また、深層学習は多層ニューラルネットワークから構成されるが、例えば、なぜ多層だと性能が高くなるのか、数学的・理論的に納得できる説明は見つかっておらず、個々の問題に対する有効性は実験してみなければ分からないし、うまくいかなかった場合に何が悪いのかも判断できない。

2. 研究の目的

本研究では、ウェーブレット解析と位相的データ解析のマルチスケール性に着目し、画像から数学的に解釈可能な「良質な特徴量」を抽出する方法を開発することとした。そして、これらをもとに内視鏡画像から高精度に早期がんを検出する方法を開発する。これにより、早期がんの検出率向上が図れるだけでなく、優秀な医師の育成にもつながる。また、防犯カメラの解析にも適用すれば、犯罪捜査の支援にも大きく貢献し、電子透かし法に適用すれば、セキュリティや著作権保護にもつながると考えた。

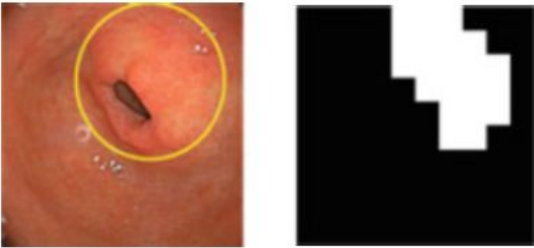
3. 研究の方法

- (1) ウェーブレット解析や位相的データ解析に基づいた画像特徴抽出法を開発し、それを内視鏡画像からのがん検出、カメラ映像からの歩容抽出、電子透かし法、顕微鏡画像からの染色アスベスト検出法へ応用した。
- (2) 新たに Gyrator 変換を導入し、これと Dyadic Wavelet 変換を組み合わせた画像特徴抽出法を開発し、電子透かし法へ応用した。

考案したアルゴリズムの実装については、その一部を研究代表者の研究室に所属する大学院生にも協力してもらい、その成果を学生と共に国内外の学会で発表した。さらに、研究成果は、すべて査読付き英文論文誌(国際会議論文を含む)に投稿し、成果を内外に周知した。

4. 研究成果

研究代表者と大学院生が協力して研究目的および研究方法にしたがって検討を進めた結果、以下の成果が得られた。

- (1) Dyadic Wavelet 変換と画質評価法である SSIM を用いて新たな歩容特徴を抽出する方法を提案した。本手法は、低解像度の場合、既存手法と比べて認証率が高かった。
- (2) Curvelet 変換と Wavelet Transform Modulus Maxima を用いて早期胃がんの自動検出方法を提案した。右図において、左側は、医師が早期胃がん部位をマークしたものであり、右側が本手法による検出結果である。
- (3) Haar Wavelet 変換に基づく内視鏡画像から早期食道がん検出法を開発した。
- (4) Lifting Wavelet 変換を用いて内視鏡画像から異形成(dysplasia)を検出する方法を提案した。実験の結果、形成異常の輪郭パターンを学習したリフティングウェーブレット変換を用いることで、異常部位の特徴を反映した画像を作成できることがわかった。
- (5) DT-CDWT(二重ツリー複素離散ウェーブレット変換)と位相的データ解析手法であるパーシステントホモロジーの特徴に基づいて、内視鏡画像から食道の異常領域を検出する方法を提案した。この方法では、異常領域を直接的に検出するのではなく、正常領域を検出することで、異常領域を検出する。実験結果は、提案方法が正確に正常領域を検出できることを示し、さらに、異常領域が含まれる画像でも正常領域を正確に検出できることが示された。これにより、内視鏡診断における医師の支援が可能となると期待される。

- (6) 染色されたアスベストの顕微鏡画像に対して、シフト不変の特性を持つ Dyadic Wavelet 変換を適用し、アスベスト特有の繊維形状のテクスチャ特徴を抽出したクリソタイル検出法を提案した。抽出された特徴はサポートベクターマシン (SVM) で分類し、90%以上の精度でクリソタイル画像を識別できることを確認した。ただし、薄く染色された画像の場合、分類は失敗し、分類が彩度値に強く影響されることが示唆された。この手法は、従来のアスベスト検出法に比べて低コストかつ迅速である。なお、右図は、アスベスト検出例である。



- (7) Gyrator 変換と Dyadic Wavelet 変換に基づく新しい電子透かし法を提案した。実験により、従来の方法と比較して PSNR 値が改善され、切り取り、JPEG 圧縮、幾何学的操作などの様々な攻撃に対する耐性が確認された。JPEG 圧縮画像については、抽出された透かし文字が視覚的に従来法よりも明瞭に読み取ることができた。さらに、抽出時の検出キーに Gyrator 変換の回転角パラメータを加えることで、機密性が向上した。透かし入り画像 (左) と JPEG 圧縮された透かし入り画像から抽出された透かし (右) を以下に示す。



PSNR = 32.4163 PSNR = 35.3504 PSNR = 31.0669 PSNR = 31.1505

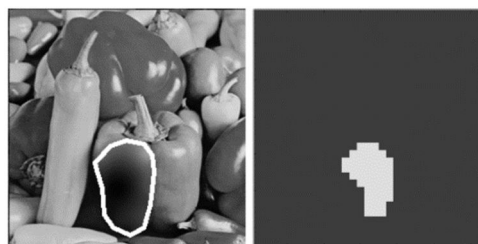


20.36% 19.75% 20.08% 20.44%

- (8) 複素 Wavelet Packet 変換と主成分分析にもとづいた早期大腸がん検出方法を開発した。ラベル付けされたデータが不足する状況でも早期の大腸がんを 92%の精度で検出することが可能となった。また、複素ウェーブレットよりも複素ウェーブレット変換を用いた方が検出精度は高く、早期大腸がんの特徴抽出には複素ウェーブレットパッケージ変換の方が適していることが確認された。右図の数値は、早期大腸がん判定された確率を表す。

1.0	0.24	0.0	0.0
1.0	0.0	0.0	0.0

- (9) Dyadic Wavelet 変換、Wavelet transform modulus maxima、Jensen-Shannon divergence を用いて、画像中の悪意のあるぼかし領域 (改ざん領域) を検出する手法を開発した。実験によれば、この手法は、画像のエッジの影響を受けずに改ざん箇所を見つけ出すことができ、検出精度は 93.6%である。右図において、左がぼかし領域 (マーク部分) 右が検出結果である。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Daigo Takano, Teruya Minamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Feature Extraction Method for Early-Stage Colorectal Cancer Using Dual-Tree Complex Wavelet Packet Transform	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR54887.2021.9736150	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 Takaki Hiramatsu, Teruya Manamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Detection of Maliciously Blurred Image Portions Using Dyadic Wavelet Transform and Jensen-Shannon Divergence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR)	6. 最初と最後の頁 5-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR54887.2021.9736145	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 Masayuki Shimoshinbara, Teruya Minamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 A digital image watermarking based on high-frequency components with additive low-frequency of the dual-tree complex discrete wavelet transform	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Conference Proceedings of The 40th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST2021)	6. 最初と最後の頁 12-15
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 Takaki Hiramatsu, Teruya Minamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Detection of maliciously image blurred portions using dyadic wavelet transform	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Conference Proceedings of The 40th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST2021)	6. 最初と最後の頁 16-19
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 Daigo Takano, Teruya Minamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Feature Extraction Method for Detecting Early Stage Colorectal Cancer from Endoscopic Images Using Dual-Tree ComplexWavelet Packet Transform	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Conference Proceedings of The 40th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST2021)	6. 最初と最後の頁 20-23
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 Watarai Kohei, Omura Hajime, Minamoto Teruya	4. 巻 1134
2. 論文標題 Esophageal Abnormality Detection from Endoscopic Images Using DT-CDWT and Persistent Homology	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 227 ~ 232
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_30	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 Arata Ide, Ryuji Ohura, Teruya Minamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Digital Image Watermarking Method Using The Gyrator And Dyadic Wavelet Transforms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2020 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 -
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 Takeda Hiroaki, Minamoto Teruya	4. 巻 Volume 2019-July
2. 論文標題 Detection Of Dysplasia From Endoscopic Images Using Daubechies 2 Wavelet Lifting Wavelet Transform	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 8946452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR48189.2019.8946452	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 Watarai Kohei, Minamoto Teruya	4. 巻 Volume 2019-July
2. 論文標題 Detection of Early Esophageal Cancer from Endoscopic Images Based on a Haar Wavelet Feature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 8946486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR48189.2019.8946486	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 Omura Hajime, Minamoto Teruya	4. 巻 800
2. 論文標題 Gait Feature Extraction Using Dyadic Wavelet Transform and Structural Similarity for Gait Recognition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 373 ~ 377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-14070-0_51	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 Tanaka Yuya, Watarai Kohei, Minamoto Teruya	4. 巻 800
2. 論文標題 Automatic Detection of Early Gastric Cancer from Endoscopic Images Using Fast Discrete Curvelet Transform and Wavelet Transform Modulus Maxima	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 379 ~ 383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-14070-0_52	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 Tomita Hikaru, Minamoto Teruya	4. 巻 1
2. 論文標題 Detection of Stained Chrysotile in Microscopic Images Using Wavelet-Based Texture Features	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2022 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 19 ~ 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR56446.2022.9947130	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 Shimoshimbara Masayuki, Muraoka Ken, Minamoto Teruya	4. 巻 1
2. 論文標題 Watermarking Method Using Dual-Tree Complex Discrete Wavelet Transform and Quantization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2022 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 13~18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR56446.2022.9947102	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 Takano Daigo, Minamoto Teruya	4. 巻 1421
2. 論文標題 A Detection Method for Early-Stage Colorectal Cancer Using Dual-Tree Complex Wavelet Packet Transform	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in Intelligent Systems and Computing book series	6. 最初と最後の頁 205~210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-97652-1_25	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17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Takaki Hiramatsu, Teruya Minamoto
2. 発表標題 Detection Of Maliciously Blurred Image Portions Using Dyadic Wavelet Transform And Jensen Shannon Divergence
3. 学会等名 the 2021 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daigo Takano, Teruya Minamoto
2. 発表標題 Feature Extraction Method For Early-Stage Colorectal Cancer Using Dual-Tree Complexwavelet Packet Transform
3. 学会等名 the 2021 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masayuki Shimoshinbara, Teruya Minamoto
2. 発表標題 A digital image watermarking based on high-frequency components with additive low-frequency of the dual-tree complex discrete wavelet transform
3. 学会等名 The 40th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaki Hiramatsu, Teruya Minamoto
2. 発表標題 Detection of maliciously image blurred portions using dyadic wavelet transform
3. 学会等名 The 40th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daigo Takano, Teruya Minamoto
2. 発表標題 Feature Extraction Method for Detecting Early Stage Colorectal Cancer from Endoscopic Images Using Dual-Tree ComplexWavelet Packet Transform
3. 学会等名 The 40th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Arata Ide, Ryuji Ohura, Teruya Minamoto
2. 発表標題 Digital Image Watermarking Method Using The Gyrator And Dyadic Wavelet Transforms
3. 学会等名 the 2020 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Watarai, K., Omura, H., Minamoto, T
2. 発表標題 Esophageal Abnormality Detection from Endoscopic Images Using DT-CDWT and Persistent Homology
3. 学会等名 2020 17th International Conference on Information Technology: New Generations (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeda Hiroaki, Minamoto Teruya
2. 発表標題 Detection of Dysplasia from Endoscopic Images Using Daubechies 2 Wavelet Lifting Wavelet Transform
3. 学会等名 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watarai Kohei, Minamoto Teruya
2. 発表標題 Detection of Early Esophageal Cancer from Endoscopic Images Based on a Haar Wavelet Feature
3. 学会等名 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuya Tanaka, Kohei Watarai and Teruya Minamoto
2. 発表標題 Automatic detection of early gastric cancer from endoscopic images using fast discrete curvelet transform and wavelet transform modulus maxima
3. 学会等名 2019 16th International Conference on Information Technology: New Generations (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hajime Omura and Teruya Minamoto
2. 発表標題 Gait feature extraction using dyadic wavelet transform and structural similarity for gait recognition
3. 学会等名 2019 16th International Conference on Information Technology: New Generations (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayuki Shimoshimbara, Ken Muraoka, Teruya Minamoto
2. 発表標題 Watermarking Method Using Dual-tree Complex Discrete Wavelet Transform and Quantization
3. 学会等名 the 2022 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hikaru Tomita, Teruya Minamoto
2. 発表標題 Detection of Stained Chrysotile in Microscopic Images Using Wavelet-based Texture Features
3. 学会等名 the 2022 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daigo Takano, Teruya Minamoto
2. 発表標題 A Detection Method for Early-Stage Colorectal Cancer Using Dual-Tree Complex Wavelet Packet Transform
3. 学会等名 19th International Conference on Information Technology: New Generations (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

佐賀大学大学院理工学研究科 皆本研究室
<https://www.ma.is.saga-u.ac.jp/minamoto/>

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
研究協力者	大村 肇 (Omura Hajime)		
研究協力者	大浦 龍二 (Ohura Ryuji)		
研究協力者	田中 雄也 (Tanaka Yuya)		
研究協力者	竹田 大晃 (Takeda Hiroaki)		
研究協力者	井手 新 (Ide Arata)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	渡会 航平 (Watarai Kohei)		
研究協力者	下新原 昌志 (Shimoshimbara Masayuki)		
研究協力者	平松 高貴 (Hiramatsu Takaki)		
研究協力者	高野 大悟 (Takano Daigo)		
研究協力者	富田 光向 (Tomita Hikaru)		
研究協力者	村岡 拳 (Muraoka Ken)		

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
---------	---------