

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 27 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400206

研究課題名(和文)シフト不変ウェーブレットと数値解析手法による電子透かしとその理論構築

研究課題名(英文)Digital watermarking based on shift invariant wavelets and numerical computations and its mathematical theory

研究代表者

皆本 晃弥 (Minamoto, Teruya)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00294900

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：シフト不変ウェーブレットの1つであるダイアディック・ウェーブレット変換と区間演算の性質を数学的に明らかにし、これに基づいて新しい電子透かし法を開発した。この方法は、様々な画像処理に耐性がある。また、デジタル画像の画質に対して、一般には、人間による主観評価とコンピュータによる客観評価は一致しないが、ウェーブレット変換とノルム評価方法を組み合わせて、これらが近くなるような新しい画質評価方法を開発した。さらに、これらの開発で得られた知見をもとに、ウェーブレット分解とフラクタル次元等の組み合わせにより、内視鏡画像から早期食道癌を強調した画像の生成にも成功した。

研究成果の概要(英文)：We propose a new digital image watermarking method based on the dyadic wavelet packet transform (DYWPT) and fast interval arithmetic (IA) techniques. This method produces watermarked images that have better quality and are robust with respect to various types of attacks. We also propose a new image quality degradation assessment method based on the dual-tree complex discrete wavelet transform (DT-CDWT) for evaluating the image quality. Moreover, we propose a new computer-aided method for diagnosing early esophageal cancer from endoscopic images by using the dyadic wavelet transform and the fractal dimension, and a new detection method for early esophageal cancer from flexible spectral imaging color enhancement (FICE) mode based on the Daubechies wavelet transform.

研究分野：応用数学

キーワード：電子透かし ウェーブレット解析 画質評価 早期癌強調 内視鏡画像

### 1. 研究開始当初の背景

電子透かし法とは、紙幣の透かしのようにデジタルコンテンツ(DC)へ第三者に分からない情報(透かし)を埋め込み、必要に応じ、透かしの有無やその内容を確認する技術である。この技術は、DCの著作権保護やデータの真正性を保証する上で重要だが、今までは場当たりに開発されており、決定的な方法はない。このような状況下で、研究代表者(皆本)らは、ウェーブレット変換と区間演算に基づく変換を提案し、その数学的背景を調べるとともに、新たな電子透かし法を提案してきた。また、これまでの知見から、様々な画像処理にも耐えうる電子透かし法の開発には、シフト不変なウェーブレット変換が有効だと分かっている。しかしながら、シフト不変なウェーブレット変換を電子透かしに利用するため際に必要となる数学的な理論整備や電子透かし法のベンチマークに必要な画質評価方法の開発などはほとんど行われていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、シフト不変なウェーブレットに基づき、電子透かし法に要求される条件や計算方法などに関して数学的な理論を構築し、さらに数値解析的手法を組み合わせた電子透かし法の開発を通じて、ウェーブレットや数値解析に対する新たな知見・応用を得ることである。また、これらの知見に基づき、電子透かし法のベンチマークに有効な画質評価方法を開発することを目的とする。

### 3. 研究の方法

研究代表者らが開発した複素数離散ウェーブレットやダイアディック・ウェーブレット変換に基づく電子透かし法において、数学的に理論整備ができていない点について、問題点を明らかにした上で理論を整備し、新たな電子透かしアルゴリズムを考案する。また、電子透かし法の性能、特に、画質を客観的に測定するために、PSNRやSSIMといった既存の画質評価法では十分に評価できない画像に対する、新たな画質評価指標を開発し、それに基づく画質評価方法を考案する。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著として国内外の学会で発表する。さらに、研究成果は、すべて査読付き英文論文誌に投稿し、成果を内外に周知する。

### 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。

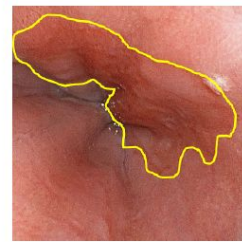
- (1) ダイアディック・ウェーブレット変換と区間演算に基づく電子透かし法を開発するとともに、その方法の性質を数学的に明らかにした。そして、それ

に基づいて新たにダイアディック・ウェーブレット・パケット変換に基づく電子透かし法を開発した。この方法は、複数の画像変換に対しても耐性がある。(雑誌論文4)



左：電子透かし入り画像に、回転、サイズ変換、JPEG2000圧縮を施した画像 右：抽出された電子透かし

- (2) 連続ウェーブレット変換に基づいた新たな画質評価指標を提案(雑誌論文8)し、この指標と2重複素離散ウェーブレットに基づき従来のSSIMやPSNRよりも主観評価に近い新たな画質劣化評価方法を提案した(雑誌論文1,6)。
- (3) 画質劣化を測定するだけでなく、与えられた画像の画質を測定する方法を開発した。(雑誌論文5)
- (4) これらの開発で得られた知見をもとに、内視鏡画像からの早期食道癌の自動検出法の開発にも取り組んだ結果、ウェーブレット変換とフラクタル次元や統計量等の組み合わせにより、早期食道癌を強調した画像の生成にも成功した(雑誌論文2,3,7)。



左：開発した手法で強調した内視鏡画像、右：医師による早期癌部位のマーキング

### 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8件)

1. HAJIME OMURA, TERUYA MINAMOTO, IMAGE QUALITY DEGRADATION ASSESSMENT BASED ON THE DUAL-TREE COMPLEX DISCRETE WAVELET TRANSFORM FOR EVALUATING DIGITAL IMAGE WATERMARKING, Proceedings of the 2016 International Conference on Wavelet Analysis and

- Pattern Recognition, 2016, pp.270-275, DOI:10.1109/ICWAPR.2016.7731652, 査読あり
2. Ohura, R., Omura, H., Sakata, Y., Minamoto, T., Computer-aided diagnosis method for detecting early esophageal cancer from endoscopic image by using dyadic wavelet transform and fractal dimension, Advances in Intelligent Systems and Computing, 2016, Vol.448, pp.929-938, DOI: 10.1007/978-3-319-32467-8\_80, 査読あり
  3. Matsunaga, H., Omura, H., Ohura, R., Minamoto, T., Daubechies wavelet-based method for early esophageal cancer detection from flexible spectral imaging color enhancement image, Advances in Intelligent Systems and Computing, 2016, Vol.448, pp.939-948, DOI: 10.1007/978-3-319-32467-8\_81, 査読あり
  4. Ryuji Ohura and Teruya Minamoto, A blind digital image watermarking method based on the dyadic wavelet packet transform and fast interval arithmetic techniques, International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing, Vol.13, 2015, 26pages, DOI: 10.1142/S021969131550040X, 査読あり
  5. Akihiko Yoneyama and Teruya Minamoto, No-reference image blur assessment in the DWT domain and blurred image classification, Proceedings of the 2015 12th International Conference on Information Technology: New Generations, 2015, pp.329-334, DOI: 10.1109/ITNG.2015.59, 査読あり
  6. Hajime Omura and Teruya Minamoto, Image quality assessment for measuring degradation based on the dual-tree complex discrete wavelet transform, Proceedings of the 2015 12th International Conference on Information Technology: New Generations, 2015, pp.323-328, DOI: 10.1109/ITNG.2015.58, 査読あり
  7. Jumpei Yamaguchi, Akihiko Yoneyama, Teruya Minamoto, Automatic detection of early esophageal cancer from endoscope image using fractal dimension and discrete wavelet transform, ITNG '15: Proceedings of the 2015 12th International Conference on Information Technology: New Generations, 2015, pp.317-322, DOI: 10.1109/ITNG.2015.57, 査読あり
  8. TERUYA MINAMOTO, HAJIME OHMURA, INDICES FOR IMAGE QUALITY DEGRADATION EVALUATION BASED ON WAVELET TRANSFORMS, Proceedings of the 2014 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 2014, pp.146-152, DOI: 10.1109/ICWAPR.2014.6961306, 査読あり
- 〔学会発表〕(計 10 件)
1. HAJIME OMURA, TERUYA MINAMOTO, IMAGE QUALITY DEGRADATION ASSESSMENT BASED ON THE DUAL-TREE COMPLEX DISCRETE WAVELET TRANSFORM FOR EVALUATING DIGITAL IMAGE WATERMARKING, 2016 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, ICWAPR 2016 (国際学会), 2016年07月10日~2016年07月13日, Maison Glad Jeju, Jeju Island; South Korea
  2. Ohura, R., Omura, H., Sakata, Y., Minamoto, T., Computer-aided diagnosis method for detecting early esophageal cancer from endoscopic image by using dyadic wavelet transform and fractal dimension, 2016 13th International Conference on Information Technology: New Generations (国際学会), 2016年04月11日~2016年04月13日, Las Vegas, USA
  3. Matsunaga, H., Omura, H., Ohura, R., Minamoto, T., Daubechies wavelet-based method for early esophageal cancer detection from flexible spectral imaging color enhancement image, 2016 13th International Conference on Information Technology: New Generations (国際学会), 2016年04月11日~2016年04月13日, Las Vegas, USA
  4. 大村 肇・皆本晃弥, 二重ツリー複素数離散ウェーブレット変換とCIIに基づいたコントラスト評価指標, 平成27年度(第68回)電気・情報関係学会九州支部連合大会, 2015年09月26日~2015年09月27日, 福岡大学
  5. 米山明彦・皆本晃弥, 顔特徴点に基づいた就職活動時に好印象を与える証明写真の自動判別, 平成27年度(第68回)電気・情報関係学会九州支部連合大会, 2015年09月26日~2015年09月27日, 福岡大学
  6. Akihiko Yoneyama and Teruya Minamoto, No-reference image blur assessment in the DWT domain and blurred image classification, 12th International Conference on Information Technology: New Generations (国際学会), 2015年04月13日~2015年04月15日, アメリカ・ラスベガス
  7. Hajime Omura and Teruya Minamoto,

- Image quality assessment for measuring degradation based on the dual-tree complex discrete wavelet transform, 12th International Conference on Information Technology: New Generations (国際学会), 2015年04月13日~2015年04月15日, アメリカ・ラスベガス
8. Jumpei Yamaguchi, Akihiko Yoneyama, Teruya Minamoto, Automatic detection of early esophageal cancer from endoscope image using fractal dimension and discrete wavelet transform, 12th International Conference on Information Technology: New Generations, 2015年04月13日~2015年04月15日, アメリカ、ラスベガス
9. 羽原伸一, 皆本晃弥, Curvelet 変換とコントラスト強調に基づく内視鏡画像からの早期食道癌の自動検出, 情報処理学会第77回全国大会, 2015年03月17日~2015年03月17日, 京都大学
10. TERUYA MINAMOTO, HAJIME OHMURA, INDICES FOR IMAGE QUALITY DEGRADATION EVALUATION BASED ON WAVELET TRANSFORMS, 2014 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 2014年07月13日~2014年07月16日, 中国、蘭州

〔図書〕(計 1 件)

1. 皆本晃弥, スッキリわかる確率統計定理のくわしい証明つき, 近代科学社, 2015年, 総ページ296

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 内視鏡画像処理装置、内視鏡画像処理方法及び内視鏡画像処理プログラム  
 発明者: 皆本晃弥  
 権利者: 佐賀大学  
 種類: 特許  
 番号: 特願 2015-154569  
 出願年月日: 2015年08月04日  
 国内外の別: 国内

取得状況(計 件)

名称:  
 発明者:  
 権利者:  
 種類:  
 番号:  
 取得年月日:  
 国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ma.is.saga-u.ac.jp/~minamoto/research.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

皆本 晃弥 (Minamoto, Teruya)

佐賀大学・工学系研究科・教授

研究者番号: 00294900

研究者番号:

(2)研究分担者

( )

研究者番号:

(3)連携研究者

( )

研究者番号:

(4)研究協力者

( )