

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 13 日現在

機関番号：14403

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22540130

研究課題名（和文） ウェーブレット解析による局所超解像度解析

研究課題名（英文） Local super resolution analysis

研究代表者

芦野 隆一（ASHINO RYUICHI）

大阪教育大学・教育学部・教授

研究者番号：80249490

研究成果の概要（和文）：一般化されたソボレフ空間におけるウェーブレットフレームについて研究し、リースポテンシャルに基づいたウェーブレットフレームの構成法を提案した。この提案したウェーブレットフレームは関数やデータを超局所成分に分解することができる。四元数値フーリエ変換と四元数値窓フーリエ変換について研究し、ひとつの不確定性原理を示した。スパース表現のための辞書の構成法を提案し、その能力について数値的に調べた。

研究成果の概要（英文）：Wavelet frames in generalized Sobolev spaces were investigated. A wavelet frame design based on the Riesz potential was proposed. The proposed wavelet frame can decomposes functions or data into microlocal components. Quaternion valued Fourier and windowed Fourier transformations were investigated. An uncertainty principle was presented. A design of dictionaries for the sparse representation was proposed and its performances were numerically examined.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：数学一般(含確率論・統計数学)

科研費の分科・細目：数学一般(含確率論・統計数学)

キーワード：多重解像度解析，解析ウェーブレット，スパース表現，四元数，
ウェーブレットフレーム，短時間フーリエ変換，ウェーブレット変換

1. 研究開始当初の背景

工学において超解像度は、観測衛星や人工地震によって得られる観測データの画像解析以外にも、最近では DVD 映像や地上デジタル放送をより高解像度なフル HD テレビでリアルに表示させるためなどに、盛んに研究されている。数学においては、フル HD テレビでリアルに表示させるような単なる補

間の問題としてではなく、いろいろな形の逆問題として研究されてきた。たとえば、1990年代に M. Bertero 達により *Inverse Problems* 誌に発表された 3次元観察機能を持った共焦点レーザー顕微鏡の超解像度に関連する一連の研究や D. Donoho, *Superresolution via sparsity constraints*, *SIAM J. Math. Anal.* **23**(5) (1992),

1309--1331 などの研究があり, 2000 年に入ってから, X 線ではなく, 散乱や回折が起こるマイクロ波などを用いた回折トモグラフィでの超解像度に関連する一連の研究が K. Girtis 達により *J. Discrete Math. Sci. Cryptography* 誌などに発表されている.

2. 研究の目的

超解像度解析の研究は数多くあるが, 本研究のテーマは局所超解像度解析であり, 新たに観測などによって得られる情報を使って信号や画像の興味がある一部分の解像度を高くするという点が異なっている.

3. 研究の方法

我々は新たな情報を使って信号や画像の興味がある一部分を詳しく解析できる多重解像度解析の構成を目的として, ウェーブレットによる超局所フィルタリングや適応型多重解像度解析を使って限定的な結果を得たが, その過程で磁気共鳴画像装置 (MRI) などでも使われているブラインド信号源分離と呼ばれる逆問題をウェーブレット解析を使って解く研究をした. さらに, 我々はスパース表現に関連し, 逆問題の中心課題のひとつとなっている圧縮測定を研究してきた. 以上のような経緯を経て, 信号を測定するために適当なウェーブレットを選び, 圧縮測定となるようなサンプリングで測定し, 新たな観測も圧縮可能性を保持するサンプリングで行うことにより, 局所超解像度解析をめざす.

4. 研究成果

(i) 一般化されたソボレフ空間において, 超局所的に分解することができる隙間のないウェーブレットフレームが我々の構成法で構成できるようなソボレフ空間の重みはどのような重みであるか調べ, そのような重みを持った一般化されたソボレフ空間にウェーブレットフレームを構成し, その応用例としてある種のリースポテンシャルが超局所的に分解できることを示した. さらに, 解析ウェーブレットを用いた適応型多重解像度解析の研究を進めている.

(ii) 3次元空間における物体の回転等を高速で計算できる四元数を使ったアルゴリズムがコンピュータグラフィックス等で実用化されていることに注目し, 高速化手法の有力な候補として四元数値フーリエ変換の研究を行い, 四元数値フーリエ変換の不確定原理の一つの形を与えた. これは, 四元数値のフーリエ変換による超局所解析のひとつの理論的境界を与えるものである. さらに, 四元数値フーリエ変換の研究をもとにして, 四元数値短時間フーリエ変換および, 四元数値ウェーブレット変換の基礎的研究も進めて

いる.

(iii) 超解像度のための有力な手法と思われるスパース表現 (信号や画像を比較的少ない情報で表現すること) に関して研究を進めている. 特に逆問題の中心課題のひとつとなっている D. Donoho, E. Candes, J. Romberg, T. Tao 達の圧縮測定を研究し, その成果として, 論文が3編掲載された.

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 13 件)

(1) R. Ashino, T. Mandai, A. Morimoto:

Blind source separation of spatio-temporal mixed signals using phase information of analytic wavelet transform, *Int. J. Wavelets Multiresolut. Inf. Process.*, vol. 8, 2010, 575-594.

(2) A. Morimoto, R. Ashino, T. Mandai:

Image separation using the monogenic wavelet transform, *Proceedings of the 10th International Symposium on Communications and Information Technologies*, 2010, 707-712.

(3) M. Bahri, E. Hitzer, R. Ashino, R. Vaillancourt:

Windowed Fourier transform of two-dimensional quaternionic signals, *Appl. Math. Comput.* Vol. 216, 2010, 2366-2379.

(4) R. Ashino, R. Vaillancourt:

Equivalent mean breakdown points for linear codes and compressed sensing by l_1 optimization, *Proceedings of the 10th International Symposium on Communications and Information Technologies*, 2010, 701-706.

(5) R. Ashino, R. Vaillancourt:

Mean breakdown points for compressed sensing by uniformly distributed matrices, *JSIAM Letters*, Vol. 2, 2010, 111-114.

(6) 芦野隆一:

圧縮センシングの基礎とその研究動向, システム制御情報学会誌, 55, 2010, 88-93.

(7) B. Mawardi, R. Ashino, R. Vaillancourt:

Two-dimensional quaternion wavelet transform, *Appl. Math. Comput.*, 218(1), 2011, 10-21.

(8) R. Ashino, S. Kataoka, T. Mandai, A. Morimoto:

Image separation using multiwavelets,
Proceedings of the 2011 International
Conference on Wavelet Analysis and
Pattern Recognition, 2011, 245-250.
ISBN:978-1-4577-0280-8, IEEE Catalogue
Number: CFP1119C-PRT.

(9) A. Morimoto, R. Ashino, S. Kataoka, T. Mandai:

Image separation using monogenic signal
of stationary wavelet transform,
Proceedings of the 2011 International
Conference on Wavelet Analysis and
Pattern Recognition, 2011, 239-244.
ISBN:978-1-4577-0280-8, IEEE Catalogue
Number: CFP1119C-PRT.

(10) R. Ashino, S. Kataoka, T. Mandai, A. Morimoto:

Blind image source separations by wavelet
analysis,
Appl. Anal. 94(4), 2012, 617-644.

(11) A. Morimoto, R. Ashino, T. Mandai:

Source reduction method using wavelets for
the source separation problem,
IEEE Conference Publications, 2012
International Conference on Wavelet
Analysis and Pattern Recognition
(ICWAPR), 2012, 346-351.

(12) A. Morimoto, R. Ashino, T. Mandai:

Application of the source reduction method
with multiwavelets to image separation,
IEEE Conference Publications, 2012
International Conference on Wavelet
Analysis and Pattern Recognition
(ICWAPR), 2012, 384-389.

(13) B. Mawardi, R. Ashino, R.
Vaillancourt:

Two-dimensional quaternion Fourier
transform of type II and quaternion
wavelet transform,
IEEE Conference Publications, 2012
International Conference on Wavelet
Analysis and Pattern Recognition
(ICWAPR), 2012, 359-364.

[学会発表] (計 8 件)

(1) 芦野隆一, R. Vaillancourt:

圧縮可能測定と線形符号,
研究集会「偏微分方程式の逆問題解析とその
周辺分野に関する研究」2010年6月22日
京都大学数理解析研究所

(2) R. Ashino, T. Mandai, A. Morimoto:

Wavelet and signal source separation,
Forum "Math-for-Industry" 2010 2010年
10月23日 Hilton Fukuoka Sea Hawk,
Fukuoka-shi

(3) R. Ashino:

Introduction to wavelet analysis,
The series of lectures at Banaras Hindu
University, 2010年11月30日 Banaras Hindu
University, Varanasi-221005, India

(4) R. Ashino, S. Kataoka, T. Mandai, A. Morimoto:

Signal and image source separations by
wavelet analysis,
International Conference on Inverse
Problems, 2010年12月15日 City University
of Hong Kong, Hong Kong

(5) 芦野隆一, 解析ウェーブレット変換とそ
の応用,

日本数学会秋季総合分科会 実函数論分科
会 特別講演 2011年9月28日信州大学

(6) B. Mawardi, R. Ashino, R. Vaillancourt:

Two-dimensional quaternion Fourier
transform of type II and quaternion
wavelet transform,
2012 International Conference on Wavelet
Analysis and Pattern Recognition,
2012年7月17日, Xian, China

(7) R. Ashino:

Image separation by wavelet analysis,
Workshop on Microlocal Methods in Medical
Imaging, 2012年09月16日, Fields
Institute, Toronto.

(8) R. Ashino:

Two-dimensional quaternion wavelet
transform,
TAIWAN-JAPAN Joint Conference on PDE and
Analysis, 2012年12月26日, National
Taiwan university

[図書] (計 2 件)

(1) 山田道夫・榊原進・佐々木文夫・芦野隆一:
計算力学理論ハンドブック, 7章 数値
シミュレーションにおける適応ウェーブ
レット法, 朝倉書店, 2010, 146-189.

(2) B. Mawardi and R. Ashino:

Fourier Transforms -Approach Scientific
Principles の 13 章 Two-Dimensional
Quaternionic Windowed Fourier Transform,
2011, 468, INTECH.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芦野 隆一 (ASHINO RYUICHI)

大阪教育大学・教育学部・教授

研究者番号：80249490

(2) 研究分担者

萬代 武史 (MANDAI TAKESHI)

大阪電気通信大学・工学部・教授

研究者番号：10181843

(3) 研究分担者

守本 晃 (MORIMOTO AKIRA)

大阪教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：50239688