

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：14403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540135

研究課題名(和文) ウェーブレットによる空間スケール解析を用いた画像分離

研究課題名(英文) Solving an image separation problem using space-scale analysis by wavelets

研究代表者

守本 晃 (Morimoto, Akira)

大阪教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：50239688

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：複数の重ね合わせ画像から元画像を分離する逆問題は、画像分離問題とよばれ、衛星画像の解析などに必要な技術である。本研究課題では、画像分離問題を題材に2次元ウェーブレット解析を研究した。画像分離問題の解法に最も適した変換として、円環分割マルチウェーブレット関数を用いる連続マルチウェーブレット変換を提案した。提案した変換とガウスの消去法を用いて、10枚の元画像が混合した11枚の観測画像(平行移動無し)を分離することができた。元画像を平行移動して重ね合わせた場合には、連続マルチウェーブレット変換の複素数値相関を用いて、4枚の元画像が混合した4枚の混合画像を分離することができた。

研究成果の概要(英文)：When we observe mixtures of original images, we want to separate original images. This inverse problem is called an image separation problem. This problem appears, analyzing satellite images. In this research, we studied two-dimensional wavelet analysis for an image separation problem. We proposed a continuous multiwavelet transformation with annular sector multiwavelets, which is the most suitable transformation for solving an image separation problem. When mixtures are superpositions of original images without translations, we can separate ten original images from eleven mixtures, using the proposed transformation and Gaussian elimination. When mixtures are superpositions of original images with translations, we can separate four original images from four mixtures, using complex-valued correlation functions of continuous multiwavelet transforms.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：数学・数学一般(含確率論・統計数学)

キーワード：ウェーブレット解析 画像分離 空間スケール解析 連続マルチウェーブレット変換 円環分割マルチウェーブレット関数 ブラインド信号源分離 応用数学

1. 研究開始当初の背景

(1) パーティ会場では、いろいろな話し声や音楽や楽器の音などの様々な音声信号が混在している。そのような複雑に重なり合った音の中から、我々は特定の音声信号のみを選択的に聞き分けることができる。この聴覚上の能力は、1953年に実験心理学者の C. Cherry により カクテルパーティ効果 と名付けられた。工学的には、複数のセンサーでとらえた観測信号から元信号を推定する逆問題であり、ブラインド信号源分離問題 とよばれている。ブラインド信号源分離問題を解くための優れた道具として 独立成分分析 がある。我々は、独立成分分析を使わずに、ウェーブレット解析 を用いてこの問題に対処することにより、ウェーブレットについての新たな知見を得たい。

(2) 前回の科研費 (C) 20540168 では、1次元信号である音声信号に対するブラインド信号源分離問題を題材にした。複素数値の解析ウェーブレット変換の位相情報を利用して、時間遅れの入った分離問題 (時空間混合問題) の解法を提案した。本研究課題では、2次元信号である画像の分離問題を取り扱う。画像分離 は、衛星画像の解析などに必要な技術である。

2. 研究の目的

本研究では画像分離問題を題材にして、2次元のウェーブレット変換による 空間スケール解析 の工学的応用について新たな知見を得ることとその数学的背景を明らかにすることが研究目的である。研究期間内に明らかしたいことは次の3点であった。

- i) 画像の平行移動無しを重ね合わせを分離する問題に適したウェーブレット変換の構成およびその理論的な意味づけと短時間フーリエ変換との違い
- ii) 複数の画像が平行移動をともなって重ね合わせられている場合の画像分離問題の解法および、その数学的背景の考察
- iii) ii) に対して、商の位相情報に対応する概念の構築とそれを用いた分離アルゴリズムのロバスト化および高速化の研究

3. 研究の方法

研究代表者の守本晃は分担者の総括を行う。この研究

は応用 (数値実験) とそれを支える理論の二つに大別できる。応用は守本晃が責任者となって分担し、画像分離問題を解くアルゴリズムに必要なアイデアを提供し、様々なウェーブレット変換による空間スケール解析の特徴や短時間フーリエ変換による空間・空間周波数解析の特徴を数値実験を用いて明らかにする。理論はウェーブレット解析を専門としている芦野隆一が責任者となって分担し、連携研究者の萬代武史がそれを補佐する。応用と理論を相互にフィードバックさせて、2次元ウェーブレット解析についての新たな知見を得る。

4. 研究成果

(1) 最初に、画像分離問題について (2) で簡単に説明する。研究目的 i) に関しては、(3)、(4) の成果を得た。研究目的 ii) に関しては、(5) の成果を得た。研究目的 iii) に関しては、(6) で述べる。

(2) 画像分離問題とは、未知個数の元画像をある未知の混合モデルを用いて混合する。本研究では、得られる観測画像の枚数は元画像の枚数以上であると仮定している。図1の例では、4枚の元画像を $[0.2, 0.8]$ の一様乱数で発生させた混合行列にしたがって、重ね合わせた4枚の観測画像である。

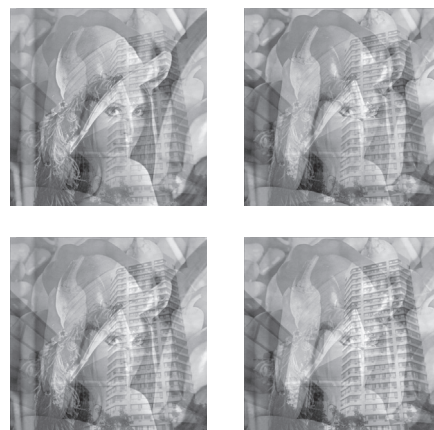


図1: 観測画像 (混合画像)。

観測画像から、混合モデルのモデルパラメータ (元画像の枚数や混合行列) を推定し、画像分離 (図2参照) を行う。ただし、推定した元画像は順番と定数倍 (ポジ・ネガも含む) の任意性を持つ。



図 2: 分離した画像．順番および定数倍の任意性がある．

(3) 以下の様々なウェーブレット関数を画像分離問題の解法に用いてみた．定常離散ウェーブレット変換 (論文④, 発表①), リース変換を用いたモノジェニック・ウェーブレット変換 (論文①, ④, 発表③), スクウェアマルチウェーブレット関数 (論文①, ⑤, 発表②, ④, ⑤), 円環分割マルチウェーブレット関数 (論文①, ⑦, 発表④, ⑤, ⑦)．結果として, 円環分割マルチウェーブレット関数を用いた連続マルチウェーブレット変換が優れていることが分かった．円環分割マルチウェーブレット関数は, フーリエ空間で原点中心の円環を動径方向に分割した関数を逆フーリエ変換することで得られる．

(4) 平行移動無しの重ね合わせモデルの解法で, ガウスの消去法を用いた逐次分離法を提案した (論文②, ⑪, ⑫, ⑮, 発表⑧, ⑨, ⑪, ⑫)．従来法では 4 枚の観測画像から 4 枚の元画像を分離するのがやっとであったが, 提案方法を用いると, 11 枚の観測画像から 10 枚の元画像を分離できるようになった．また, 提案方法は音声信号の分離にも有効であることを示した (論文②)．

(5) 平行移動を含む重ね合わせモデルでは, 図 3 の混合画像から, 図 4 の様に画像分離を行う．分離画像では, 平行移動の基準点, 順番および定数倍の任意性がある．この数理モデルの解法として, 円環分割マルチウェーブレット関数を用いた連続マルチウェーブレット変換の複素数相関関数を用いる方法を提案した (論文⑭, 発表⑲, ⑳, ㉑, ㉒, ㉓, ㉔)．平行移動量が画素の

整数倍の場合には, 4 枚の元画像が混合した 4 枚の観測画像は分離可能である．今後 Full paper にして投稿する予定である．

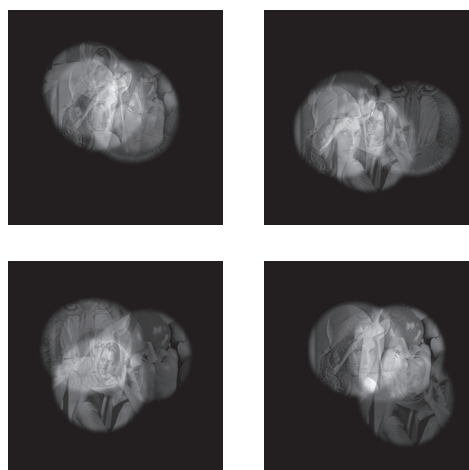


図 3: 平行移動を含む観測画像 (混合画像)．

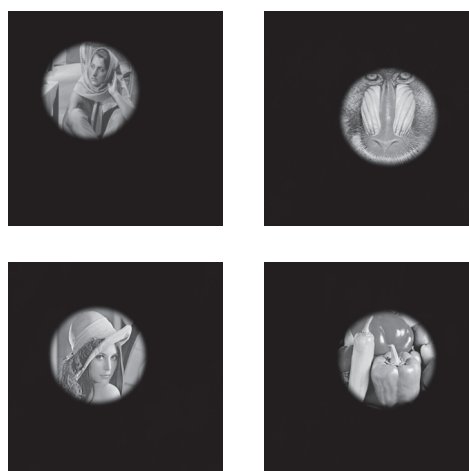


図 4: 図 3 を分離した画像．平行移動の基準点, 順番および定数倍の任意性がある．

(6) ノイズが付加された場合の画像分離については, 論文⑩, 発表⑥ で述べた．連続ウェーブレット変換を用いた画像分離では, 観測画像の枚数が元画像の枚数以上必要であるという制約があった．そこで, 離散ウェーブレット変換に基づいたウェーブレットフレームを構築しスパース表現 (論文⑳) などを使った信号源分離が望まれる．そのための準備として, N 分木離

散ウェーブレット変換を考案して電子透かしに応用した(論文⑬, 発表⑭)。また, 様々なウェーブレット関数に対して, N 分木離散ウェーブレット変換を構築するために, 論文⑮ を発展させる研究を行っている。

(7) 以下の研究集会の開催補助費として用いた。文部科学省 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ「ウェーブレット理論と工学への応用」を平成 23, 24, 25 年と 3 回開催した。国際会議 Information 2013 で, Special Workshop on Applicable Mathematics と国際会議 ISAAC 2013 で, OS 15: WAVELET THEORY AND ITS RELATED TOPICS をオーガナイズした。

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(24)件

うち査読付き論文 計(18)件

① R. Ashino, S. Kataoka, T. Mandai, and A. Morimoto, Blind image source separations by wavelet analysis, Appl. Anal., Vol. 91(4), 査読有, Vol. 91(4), 617–644, 2012.

DOI:10.1080/00036811.2011.616497

② R. Ashino, T. Mandai, and A. Morimoto, Multi-stage blind source separations by wavelet analysis, Int. J. Wavelets Multiresolut. Inf. Process., 査読有, 校正済み段階で 25 ページ, 掲載決定.

<http://www.worldscientific.com/worldscinet/ijwmp> からダウンロードできる

③ R. Ashino, T. Mandai, and A. Morimoto, Scaling functions generating fractional Hilbert transforms of a wavelet function, J. Math. Soc. Japan, 査読有, 投稿時 23 ページ, 掲載決定.

④ A. Morimoto, R. Ashino, S. Kataoka, and T. Mandai, Image separation using monogenic signal of stationary wavelet transform, Proceedings of the 2011 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 査読有, Vol. 1, 239–244, 2011.

⑤ R. Ashino, S. Kataoka, T. Mandai, and A. Morimoto, Image separation using multiwavelets, Proceedings of the 2011 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 査読有,

Vol. 1, 245–250, 2011.

⑥ R. Ashino, S. Kataoka, T. Mandai, and A. Morimoto, Signal and image source separations by wavelet analysis, International Conference on Inverse Problems 2010, 査読無, Journal of Physics: Conference Series Vol. 290, 012002, 1–5, 2011.

DOI:10.1088/1742-6596/290/1/012002

⑦ 守本晃, 連続マルチウェーブレット変換に基づく画像分離, 平成 23 年度・文部科学省・数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ「ウェーブレット理論と工学への応用」プロシーディングス, 査読無, Vol. 1, 87–106, 2011.

<http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~morimoto/WSPRO/index.html>

⑧ 守本晃・芦野隆一・片岡秀輔・萬代武史, フーリエ乗算作用素を用いた画像分離, 可視化情報 第 39 回可視化シンポジウム講演論文集, 査読無, Vol. 31, Suppl. No.1, 449–454, 2011.

⑨ 片岡秀輔・芦野隆一・萬代武史・守本晃, 画像分離におけるエッジ解析法の比較, 第 54 回 自動制御連合講演会論文集, 査読無, Vol. 1, 1294–1298, 2011.

⑩ 守本晃・芦野隆一・片岡秀輔・萬代武史, ウェーブレット解析に基づいた雑音が付加された混合画像の分離法, 第 54 回 自動制御連合講演会論文集, 査読無, Vol. 1, 1299–1304, 2011.

⑪ A. Morimoto, R. Ashino, and T. Mandai, Source Reduction Method using Wavelets for the Source Separation Problem, Proceedings of the 2012 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 査読有, Vol. 1, 346–351, 2012.

⑫ A. Morimoto, R. Ashino, and T. Mandai, Application of the Source Reduction Method with Multiwavelets to Image Separation, Proceedings of the 2012 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 査読有, Vol. 1, 384–389, 2012.

⑬ N. Ikawa, A. Morimoto, and R. Ashino, Waveform Analysis of 40-Hz Auditory Steady-State Response using Wavelet Analysis, Proceedings of the 2012 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 査読有, Vol. 1, 397–402, 2012.

⑭ M. Bahri, R. Ashino, and R. Vaillancourt, Two-dimensional quaternion Fourier transform of type

II and quaternion wavelet transform, Proceedings of the 2012 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 査読有, Vol. 1, 359–364, 2012.

⑮ 守本晃・芦野隆一・萬代武史, 連続マルチウェーブレット変換とガウスの消去法を用いた画像分離, 第40回可視化シンポジウム講演論文集, 査読無, Vol. 32, Suppl. No.1, 197–202, 2012.

⑯ A. Morimoto, Blind signal and image separation by wavelet transform, Proceedings of the Sixth International Conference on Information, 査読有, Vol. 1, 30–33, 2013.

⑰ A. Morimoto, K. Ikebe, Y. Ishida, Y. Oshima, M. Tatsumi, and H. Tsuji, An application of N -tree discretewavelet transform to digital watermarking, Proceedings of the 2013 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 査読有, Vol. 1, 73–78, 2013.

⑱ N. Ikawa, A. Morimoto, and R. Ashino, An application of wavelet analysis to procedure of averaging waveform of 40-hz auditory steady-state response, Proceedings of the 2013 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 査読有, Vol. 1, 79–84, 2013.

⑲ M. Bahri and R. Ashino, Correlation theorems for type ii quaternion fourier transform, Proceedings of the 2013 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 査読有, Vol. 1, 136–141, 2013.

⑳ 芦野隆一, ウェーブレット理論と工学への応用, 数学, 査読有, Vol. 66(1), 90–95, 2014.

㉑ M. Bahri, R. Ashino, and R. Vaillancourt, Convolution and correlation based on discrete quaternion Fourier transform, INFORMATION, 査読有, Vol. 16(11), 7837–7848, 2013.

㉒ M. Bahri, R. Ashino, and R. Vaillancourt, Convolution theorems for quaternion Fourier transform: properties and applications, Abstr. Appl. Anal., 査読有, Vol. 162769, 1–10, 2013.

DOI:10.1155/2013/162769

㉓ R. Ashino and R. Vaillancourt, Phase transitions in error correcting and compressed sensing by ℓ_1 linear programming, Int. J. Wavelets Multiresolut.

Inf. Process., 査読有, Vol. 11(4) 1360004, (16 pages), 2013.

DOI: 10.1142/S0219691313600047

㉔ R. Ashino, T. Mandai, and A. Morimoto, An estimation method of shift parameters in image separation problem, the proceedings of the 9th ISAAC Congress, 査読有, 7 ページ, 掲載決定.

〔学会発表〕計 (25) 件

うち招待講演 計 (5) 件

① A. Morimoto, Image separation using monogenic signal of stationary wavelet transform, the 2011 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 中国桂林, 2011 年 7 月 13 日.

② R. Ashino, Image separation using multiwavelets, the 2011 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 中国桂林, 2011 年 7 月 13 日.

③ 守本晃, フーリエ乗算作用素を用いた画像分離, 第39回可視化情報シンポジウム, 工学院大学 新宿キャンパス, 2011 年 7 月 19 日.

④ 守本晃, 連続マルチウェーブレット変換に基づく画像分離, 平成 23 年度・文部科学省・数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ「ウェーブレット理論と工学への応用」, 招待講演, 大阪教育大学 天王寺キャンパス, 2011 年 9 月 13 日.

⑤ 守本晃, 連続マルチウェーブレット変換と画像分離について, 応用数学会 2011 年度年会, 招待講演, 同志社大学 今出川キャンパス, 2011 年 9 月 14 日.

⑥ 守本晃, ウェーブレット解析に基づいた雑音が付加された混合画像の分離法, 第 54 回自動制御連合講演会, 豊橋技術科学大学, 2011 年 11 月 20 日.

⑦ 守本晃, 連続マルチウェーブレット変換を用いた画像分離問題の逐次解法について, 日本応用数学会 2012 年研究部会連合発表会, 九州大学 伊都キャンパス数理 IMI 棟, 2012 年 3 月 9 日.

⑧ A. Morimoto, Source reduction method using wavelets for the source separation problem, the 2012 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 中国西安, 2012 年 7 月 17 日.

⑨ A. Morimoto, Application of the source reduction method with multiwavelets to image separation, the 2012 International Conference on Wavelet Analysis

様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

and Pattern Recognition, 中国西安, 2012年7月17日.

⑩ R. Ashino, Two-dimensional quaternion Fourier transform of type II and quaternion wavelet transform, the 2012 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 中国西安, 2012年7月17日.

⑪ 守本晃, 連続マルチウェーブレット変換とガウスの消去法を用いた画像分離, 第40回可視化情報シンポジウム, 工学院大学 新宿キャンパス, 2012年7月25日.

⑫ 守本晃, ガウスの消去法を用いた信号源縮減について, 応用数学会 2012年度年会, 稚内全日空ホテル, 2012年8月31日.

⑬ R. Ashino, Image separation by wavelet analysis, Workshop on Microlocal Methods in Medical Imaging, 招待講演, Fields Institute, Toronto, 2012年9月16日.

⑭ A. Morimoto, Signal and image separations by wavelet analysis, TAIWAN-JAPAN Joint Conference on PDE and Analysis, National Taiwan University, 2012年12月26日.

⑮ R. Ashino, Two-dimensional quaternion wavelet transform, TAIWAN-JAPAN Joint Conference on PDE and Analysis, National Taiwan University, 2012年12月26日.

⑯ A. Morimoto, Blind signal and image separation by wavelet transform, Information 2013, 東京アルカディア市ヶ谷, 2013年5月8日.

⑰ R. Ashino, Two-dimensional quaternion wavelet transform, Information 2013, 東京アルカディア市ヶ谷, 2013年5月8日.

⑱ A. Morimoto, An application of N -tree discrete-wavelet transform to digital watermarking, the 2013 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 中国天津, 2013年7月15日.

⑲ R. Ashino, Correlation theorems for type ii quaternion fourier transform, the 2013 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 中国天津, 2013年7月15日.

⑳ A. Morimoto, An estimation method of shift parameters in image separation problem, the 9th International ISAAC Congress, Pedagogical University, Krakow, Poland, 2013年8月6日.

㉑ 守本晃, マルチウェーブレット変換による平行移動を含んだ混合画像の分離法, 応用数学会 2013年会, アクロス福岡, 2013年9月11日.

㉒ 守本晃, マルチウェーブレット変換を用いた平行移動を含んだ混合画像の分離について, 可視化情報全国講演会(2013会津), 会津大学, 2013年9月27日.

㉓ 守本晃, ウェーブレットを利用した画像分離問題の解法について, 2013 RIMS 共同研究「ウェーブレット解析とサンプリング理論」, 招待講演, 京都大学数理解析研究所 111号室, 2013年10月24日.

㉔ 芦野隆一, スパース表現と圧縮センシング, 地球流体現象の疎構造・科学技術試験研究委託事業「数学協働プロジェクト」, 招待講演, 京都大学数理解析研究所 110号室, 2014年3月14日.

㉕ 守本晃, 連続マルチウェーブレット変換の相関関数を用いた画像分離法, 第10回日本応用数学会 研究部会連合発表会, 京都大学吉田キャンパス 本部構内総合研究8号館, 2014年3月20日.

〔図書〕計(1)件

① 守本晃, 離散ウェーブレット変換, 500-503, 芦野隆一, ウェーブレット解析の発展, 516-517, 応用数理ハンドブック(薩摩順吉・大石進一・杉原正顯(編集)), 朝倉書店, 2013.

〔その他〕

ホームページ

<http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~morimoto/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

守本 晃 (MORIMOTO, Akira)
大阪教育大学教育学部・准教授
研究者番号: 50239688

(2) 研究分担者

芦野 隆一 (ASHINO, Ryuichi)
大阪教育大学教育学部・教授
研究者番号: 80249490

(3) 連携研究者

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