

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：12612
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2012～2014
 課題番号：24560515
 研究課題名(和文) 並進不変ウェーブレットパケット変換の多重解像度的構成法と産業応用に関する研究

 研究課題名(英文) Quasi-Shift-Invariant Complex Discrete Wavelet Transform and Its Industrial Applications

 研究代表者
 中野 和司 (Nakano, Kazushi)

 電気通信大学・情報理工学(系)研究科・教授/副学長

 研究者番号：90136531

 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：複素離散ウェーブレット変換CDWTの並進不変性(SI)の向上に関して、Conjugate Quadrature Filter(CQF)バンクを用いて、次の結果をえた。(1)従来の手法に加えて、実部と虚部の入力信号を偶数と1/2サンプルずらすことで、理論上完全なSIを構成できた。(2)SIを向上させたDWTとして、Quasi-Shift-Invariant(QSI)CDWTと名付け、上の(1)に基づく計算方法を確立した。(3)QSI-CDWTの dualフィルタバンクをlifting stepsに分解し、lifting schemeによって計算できるようにした。(4)画像処理への応用をはかった。

研究成果の概要(英文)：We focus on the Shift-Invariance (SI) in the Complex Discrete Wavelet Transform (CDWT). Our results about the SI of CDWT using the conjugate quadrature filter (CQF) bank are as follows: (1) By adding another condition to the existing well-known condition half-sample shifts of Low-pass filters, we clarified a method for constructing the perfect SI in theory. The additional condition is for establishing the relationship of half-sample shifts between real/imaginary inputs.(2) We proposed the implementation of new CDWT based on above (1), and named it the quasi-shiftinvariant (QSI) CDWT. (3) We factored filters of QSI-CDWT into lifting steps. (4) From three experiments with an application to image processing, we demonstrated that our method has higher SI than conventional SI-CDWT.

研究分野：計測制御工学

キーワード：ウェーブレット変換 複素離散ウェーブレット 並進不変性 CQFバンク 疑似並進不変性

1. 研究開始当初の背景

離散ウェーブレット変換(DWT)にはサンプリングの影響によって、信号のわずかな時間遅れ(シフト)に対して、変換結果のエネルギーが一定とならないという問題があった。これは並進不変性と呼ばれ、章らによって理論的には完全に解決された。並進不変性のウェーブレット packets 変換(WPT)への拡張は、中野ら(2008)により始められ、最近、戸田と章(2010)は、完全並進不変性を実現する複素ウェーブレット packets 変換(PTI-CWPT)を提案し、それを完全シフト不変定理として纏めた。

2. 研究の目的

本研究では、多重解像度解析の観点から、DWT および WPT における上記手法の問題点を明らかにすべく、この定理を見直し、完全にあるいは近似的にシフト不変性を実現できる実用的な手法を提案する。さらに、この手法の有効性をいくつかの産業応用事例を通じて実証し、周波数分解能、計算機実装の両面で優れた時間周波数解析のツールとして、DWT および WPT の広範な工学応用への道筋を明らかにする。

3. 研究の方法

離散ウェーブレット変換(DWT)の並進不変性の欠如は、ダウンサンプリングの副作用によって生じる。この解決には、2つの方法が提案されている。ひとつはダウンサンプリングを行わない Stationary Wavelet Transform (SWT)、もうひとつは、dual Multi-Resolution Analysis (MRA) tree を用いる Complex DWT (CDWT) である。MRA は、周波数領域の低域側を細かく分割し、信号の特徴を解析するアプローチである。離散時間信号におけるこの実現には、低域をより強調する低域通過フィルタ LPF を用いるか、信号の解像度を下げる選択肢があり、それぞれが、SWT と Complex DWT (CDWT) に対応する。本研究では、後者の CDWT を研究対象として並進不変性の問題の解決を目指す。

4. 研究成果

CDWT では、実部と虚部で 1/2 サンプルずれたフィルタを用いることで、ウェーブレット関数がヒルベルト変換対になることが大変よく知られており、この実現方法について多くの研究成果が報告されている。これらの基底による CDWT では、並進不変性が向上することが知られている。著者らは、この論文において、Conjugate Quadrature Filter (CQF) バンクを用いる場合に限定して、CDWT に関して取り組んだ 4 つの新しい成果(1)-(4)を報告する

(1)既に知られたフィルタの 1/2 サンプルずれに加えて、実部と虚部の入力信号を偶数と 1/2 サンプルずらすことで、理論上完全

な並進不変性を獲得できる仕組みを明らかにした。

(2)並進不変性を向上させた DWT として、Quasi-Shift-Invariant (QSI) CDWT と名付け、上の(1)の議論に基づく計算方法を確立した。この方法は、事前処理と虚部の MRA ツリーを追加するだけで、従来の CDWT よりも並進不変性を向上させることができるようになった。

(3)QSI-CDWT の dual フィルタバンクを lifting steps に分解し、lifting scheme によって計算できるようにした。これにより、STFT のようなバッチ処理的な畳み込みを行う必要がなくなり、リアルタイム処理との親和性が向上した。

(4)3つの実験を通して、中野らの手法が並進不変性を向上させることを確認した。ひとつが、インパルス信号に対する単一パケットのみの再構成信号の確認と、画像への適用の実験である。もうひとつが、ステップ応答を用いて信号の立ち上がりの位置標定の安定性の向上と、画像におけるエッジの検出力向上を確認する実験である。最後に、任意に設計された FIR フィルタが並進不変性を獲得することを確認する実験である。最後の実験では、DWT にとどまらず、CQF バンクとして一般化した議論においても、並進不変性向上の効果が得られたことが確認できた。

本研究の産業応用についての成果を下記に記す。

- (1) 地中レーダ受信信号における埋設管反射波の検出、および強調
- (2) 地中レーダ受信信号のノイズ解析とその除去手法
- (3) ガボールウェーブレット変換による地中レーダ受信信号の強調
- (4) 地中レーダ受信信号における減衰の自動評価
- (5) Wavelet-based Position Detection of Buried Pipes from GPR Signals by Use of Angle Information
- (6) A Diagnosing Method for Detecting Reflected Waves from Buried Objects by Ground-penetrating Radar
- (7) A Method for Emphasizing Reflection Waves from Buried Objects by Using Ground-penetrating Radar
- (8) Dirichlet Process Crescent-signal Mixture Model for Ground-Penetrating Radar Signal
- (9) Emphasis of GPR Signals Reflected from Buried Pipes Using Statistical Clustering Techniques
- (10) ウェーブレット変換による状態遷移を含む心室細動の識別
- (11) スペクトルの特徴量を用いた電氣的除細動の効果の予測
- (12) Denoising and Detection of Reflected

Waves from Buried Pipes with Ground-penetrating Radar Data
(13) A Wavelet Approach to Identification of Ventricular Fibrillation Including State Transition

本研究で残された課題は、次の(1) - (3)である。

- (1) 双直交ウェーブレットを用いた DWT では、CQF バンクの条件を保証しないため、著者らが制約したもとは、ウェーブレット係数の並進不変性が議論できない。
- (2) 成果(2)のとおり、事前処理によって解像度を上げて、MRA ツリーの最大分解レベルをインクリメントしなければならないので、使用メモリ・計算コストが増加する。
- (3) 中野らの議論に基づくならば、WPT のパケットのうち、MRA のツリーに該当するパケットは並進不変となるが、すべてのパケットで並進不変となることができない。

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 4 件)

- 1) 小林 允, 中野 和司, “地中レーダ受信信号における反射波の強調手法,” 電気学会論文誌 D, Vol.132, No.4, pp.487-500, 2012.
- 2) 小林 允, 中野 和司, “地中レーダ受信信号のノイズ解析とその除去手法,” 電気学会論文誌 D, Vol.132, No.6, pp.1-11, 2012.
- 3) M. Kobayashi and K. Nakano, “A Denoising Method for Detecting Reflected Waves from Buried Objects by Ground-penetrating Radar,” Electronics and Communications in Japan, Vol.96, Issue 9, pp.1-13, 2013.
- 4) M. Kobayashi and K. Nakano, “A Method for Emphasizing Reflection Waves from Buried Objects by Using Ground-penetrating Radar,” Electronics and Communications in Japan, Vol.96, Issue 10, pp.22-36, 2013.

[学会発表](計 11 件)

- 1) 荻野 義大, 中野 和司, 船戸 徹郎, 大屋 英稔, 大西 慶秀, 西田 祐気, “スペクトルの特徴量を用いた電氣的除細動の効果の予測,” 電気学会全国大会, 東京都市大学, 東京, 2015.
- 2) M. Kobayashi and K. Nakano, “Dirichlet Process Crescent - signal Mixture Model for Ground-Penetrating Radar Signal,” 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society,

Dallas, TX, USA, pp. 3431-3437, 2014.

- 3) E. R. Jaramillo, K. Hirose, Y. Ogino, K. Nakano, T. Funato and H. Oya, “A Wavelet Approach to Identification of Ventricular Fibrillation Including State Transition,” International Symposium on Artificial Life and Robotics, Beppu, Japan, 2014.
- 4) Y. Ogino, T. Uchikado, K. Nakano, Y. Nakamura, T. Ogawa and T. Matsuyama, “Denoising and Detection of Reflected Waves from Buried Pipes with Ground-penetrating Radar Data,” Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar, Tukuba, Japan, 2013.
- 5) T. Uchikado, M. Kobayashi, K. Nakano and S. Shin, “Emphasis of GPR Signals Reflected from Buried Pipes Using Statistical Clustering Techniques,” International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, Xian, China, 2012.
- 6) M. Kobayashi, T. Uchikado and K. Nakano, “Wavelet-based Position Detection of Buried Pipes from GPR Signals by Use of Angle Information,” International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, Xian, China, 2012.
- 7) 小林 允, 中野 和司, “地中レーダ受信信号における減衰の自動評価,” 電気学会電気学会産業計測制御研究会資料, 芝浦工業大学, 東京, 2014.
- 8) 廣瀬 勝弘, 中野 和司, 大屋 英稔, 田中 航介, 山口 芳裕, 宮内 洋, 玉田 尚, 岡井 貴之, “ウェーブレット変換を用いた状態遷移を含む心電図波形の識別,” 電気学会産業計測制御研究会資料, 千葉工業大学, 千葉, 2013.
- 9) 内門 知博, 中野 和司, 中村 泰之, 小川 智久, “地中レーダ信号におけるノイズ除去および埋設管反射波の検出,” 電気学会産業計測制御研究会資料, 千葉工業大学, 千葉, 2013.
- 10) 廣瀬 勝弘, 中野 和司, 大屋 英稔, 山口 芳裕, 宮内 洋, “ウェーブレット変換による状態遷移を含む心室細動の識別,” 電気学会産業計測制御研究会資料, 横浜国立大学, 神奈川, 2012.
- 11) 中野 和司, 小林 允, 内門 知博, “地中レーダによる埋設管の位置標定の現状と問題点,” 平成 24 年度 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, pp.49-73, 大阪教育大学, 大阪, 2012.

[その他]

○受賞

- 1) 廣瀬 勝弘(2013年度 博士前期課程2年)、

中野 和司、大屋 英稔 ら

「電気学会 優秀論文発表賞（創立 100 周年記念基金学術振興助成規程による本部表彰）」(2014.3)

- 2) 廣瀬 勝弘(2013年度 博士前期課程2年)、
中野 和司、大屋 英稔 ら
「電気学会 産業計測制御技術委員会 優秀論文発表賞」(2014.1)

○ホームページ

<http://www.ljung.ee.uec.ac.jp/katsuyaku.html>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

中野 和司 (Nakano Kazushi)
電気通信大学・情報理工学研究科・教授/
副学長
研究者番号：90136531

(2)研究分担者

新 誠一 (Shin Seiichi)
電気通信大学・情報理工学研究科・教授
研究者番号：20134463