

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究(c)
 研究期間： 2007 ~ 2008
 課題番号：19560235
 研究課題名（和文）
 M変換とウェーブレット縮退を用いる雑音除去手法とその機械計測への応用
 研究課題名（英文）
 Noise Reduction by Using M-transform and Wavelet Shrinkage
 研究代表者
 原田 博之（HARADA HIROSHI）
 熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
 研究者番号：90145285

研究成果の概要：この研究では、M変換とウェーブレット縮退を用いて、計測信号中に含まれる雑音を除去するための新たな手法を提案し、様々な機械量計測の分野への応用を行った。応用例としては、原子間力顕微鏡信号に含まれるインパルス状の雑音の除去、筋電信号の RMS 値中の雑音除去、パワースペクトル中の周期信号の除去、流れベクトル中にある孤立した誤ベクトルの除去であり、いずれの場合も良好に雑音除去が行えることが確認された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学制御

キーワード：信号処理，フィルタ，雑音，高精度表面計測信号，流れベクトル，筋電信号

1. 研究開始当初の背景

機械量の計測技術は科学研究から工学計測まで幅広い分野において実用的な側面を有する重要な技術である。計測信号は各種センサにより観測されるが、観測された信号中には必ず何らかの雑音が含まれる。これらの雑音を除去し、もとの信号を復元するフィルタリング技術は計測において最も重要で適用範囲の広い技術のひとつであり、さまざまな研究が行われてきた。コンピュータや計測器のデータ処理速度の向上に伴い、従来の困難であったフィルタリング技術が可能となっている。近年、ウェーブレット変換をもとにした新たなフィルタリング技術が提案さ

れており、従来のフィルタでは困難であった雑音の除去、たとえば、エッジ情報を保存しながら画像中のインパルス状雑音を除去する手法などが可能となっている。ウェーブレット変換を用いる雑音除去方法のなかでも、1994年に Donoho らによって提案されたウェーブレット縮退を用いる De-noising と呼ばれる方法は対象となる信号の統計的な性質が未知の場合でも有効であることから雑音除去やデータ圧縮に用いられている。しかし、この方法は除去の対象となる雑音がガウス性白色雑音であるという前提にもとづいており、白色雑音とインパルス状雑音の両方が混在するような場合にはインパルス状雑

音を除去できないという問題点があった。

この研究では、インパルス状雑音がM変換により小振幅の不規則信号に変換できるという性質を利用し、M変換した信号にウェーブレット縮退を適用することによりインパルス状雑音と白色雑音の除去を同時に行う新たな雑音除去手法を提案する。ウェーブレット変換にもとづいたフィルタリング手法の中にもわれわれの方法と同様に、インパルス状雑音と白色雑音を同時に除去する手法がいくつか提案されている。しかし、これらの方法ではインパルス状雑音を検出するために特別な演算子を用いる必要がある。雑音の種類を弁別するためのしきい値の設定が必要であり、その値を試行錯誤的に選定しなければならないなどの実用上の問題がある。これに対して提案する方法では、パラメータの設定がきわめて容易であるという点に特徴がある。

2. 研究の目的

この研究では筆者等が提案した信号処理技法であるM変換とウェーブレット縮退を用いてインパルス状雑音と白色雑音を除去する方法を新たに提案し、以下に示すような様々な機械量計測の分野への応用を行うことである。

(1) 高精度表面計測信号に含まれるインパルス状雑音除去

原子間力顕微鏡に代表される高精度表面形状計測においては、被測定表面の性状に応じた測定パラメータの設定が比較的難しく、パラメータ設定が適切でない場合や被測定面内の不純物の存在などにより測定信号にインパルス状の雑音を生じることがある。このようなインパルス状雑音の除去は難しく、また、不適切なフィルタなどにより除去を行うと本来の形状を歪ませ、正確な形状測定が困難になる。

(2) 流れベクトルの推定

視覚センサから得られた画像の輝度分布を用いてオプティカルフローを計算し、流れベクトルを求める際、不連続なベクトルが生じることがある。このような場合、不連続なベクトルの各方向成分はインパルス状に変化するものとなる。したがって、測定された流れベクトルの各方向成分に提案する雑音除去手法を適用することにより、滑らかな流れベクトルが推定できる。

(3) 筋電信号処理への応用

筋電信号は人間が筋肉を動かすときに発生する生体信号であり、筋肉の活動レベルを表す。このため、人体に装着して動作する人間動作補助用ロボットと人間とのインターフェースとして利用されている。このような場合、筋電信号の特長抽出に Root Mean Square(RMS)信号がしばしば用いられるが、

RMS 信号にはインパルス状雑音や白色雑音が多く含まれており、これを利用した機械動作の制御などへの応用のためにはさらなる信号処理が必要となる。本研究では、筋電信号の雑音除去に M 変換を用いる雑音除去手法を適用し、その有効性を確認する。さらに、提案する雑音除去手法を筋電信号のパワースペクトル解析に適用し、筋電信号中に含まれる交流電源からの正弦波状雑音の影響を除去する。

3. 研究の方法

(1) 高精度表面計測信号に含まれるインパルス状雑音除去

提案した雑音除去方法を原子間力顕微鏡信号に含まれるインパルス状雑音の除去に適用した。使用した画像は半導体デバイス用に鏡面研磨したシリコン表面を走査速度 1Hz、 $25.57 \times 25.57 \mu\text{m}$ の範囲で測定した信号から取り出した 127×127 画素を取り出したものである。

(2) 流れベクトルの推定

まず、水槽に浮遊物体を浮かべ、ゆるやかな水流を発生したときの連続画像を CCD カメラで撮像し、時空間微分法によりオプティカルフローを計算することにより速度ベクトルを求めた。その結果、得られたオプティカルフロー中に孤立した誤ベクトルが多数存在することがわかった。これは、時空間微分法を用いてオプティカルフローを求める際に画像の輝度値の差分で微分値を近似することによる計算誤差等の影響によるものである。そこで、オプティカルフローから 127×127 の流れベクトルを取り出し、流れベクトルの推定を行った。

(3) 筋電信号処理への応用

筋電信号の測定は、以下の手順で行われた。2つの電極を用いて、上腕二頭筋および上腕三頭筋の筋電信号を測定した。また、手首にかけられたベルトは床面に固定されたロードセルにつながっており、筋肉により発生した張力をひじ関節を回転の中心としたトルクに換算し、測定するために使用される。筋電信号およびロードセルの出力はサンプリング周波数 10kHz で 12 秒間測定された。筋電信号およびトルクの測定は 2 回行われ、最初の実験により測定された筋電信号およびトルクは後述の重回帰分析の回帰係数を求めるために使用され、第 2 回目の測定結果は得られた回帰係数を用いて筋電信号からトルクを推定するために使用した。さらに、上腕三頭筋の筋電信号に関しては信号中に含まれる正弦波状雑音の影響を調べるためにパワースペクトルを求めた。

4. 研究成果

研究成果は以下のとおりである。

(1) 高精度表面計測信号に含まれるインパルス状雑音除去

図 1, 2 にもとの AFM 信号と雑音除去後の AFM 信号を示す. 両者を比較すると, 被測定表面上の異物に起因すると思われる図 1 の画像中の大きなインパルス状雑音が除去されており, 試料表面の溝状の部分が明確になっていることがわかる.

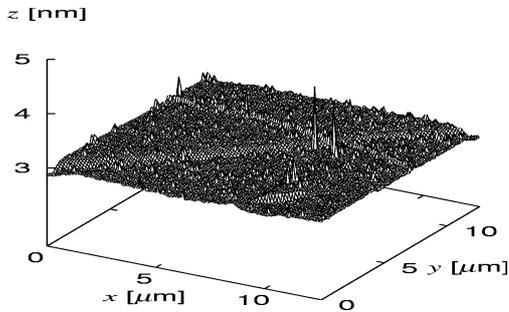


図 1 もとの AFM 信号

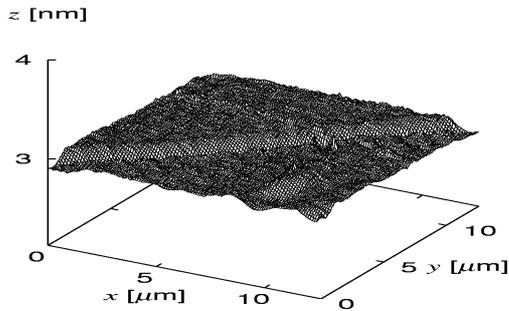


図 2 雑音除去後の AFM 信号

(2) 流れベクトルの推定

図 3, 4 にオプティカルフローより求めた流れベクトルとこれをもとに提案する方法により推定された流れベクトルを示す. 両者を比較すると, 図 3 に示すもとのオプティカルフロー中にみられる孤立した誤ベクトルが図 4 では除去されており, 良好な流れベクトルの推定が行われていることがわかる.

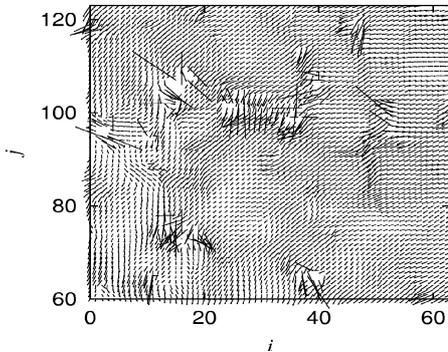


図 3 もとの流れベクトル

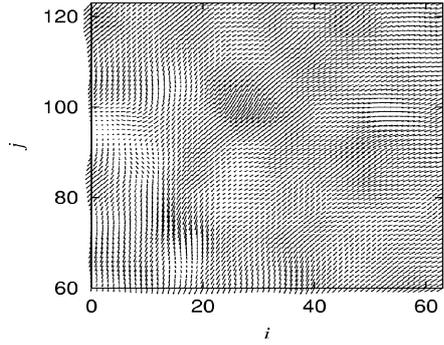


図 4 推定された流れベクトル

(3) 筋電信号への応用

図 5, 6 は雑音除去前後の上腕二頭筋から測定した筋電信号の RMS 値である. 両者を比較すると, 提案する方法により RMS 信号中のインパルス状雑音が除去され, 滑らかな推定値が得られていることがわかる.

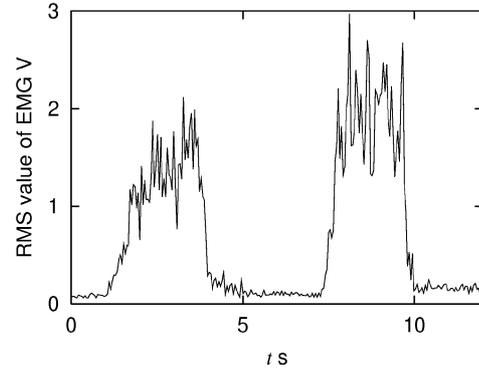


図 5 雑音除去前の筋電信号

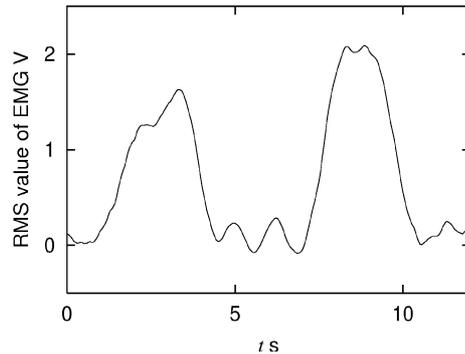


図 6 雑音除去後の筋電信号

さらに, 提案した雑音除去手法の有効性を確認するため, 得られた筋電信号とトルクを用いて重回帰分析を行った. まず, 1 回目の測定で得られた雑音除去後の上腕二頭筋および上腕三頭筋の筋電信号の RMS 値を用いて最小二乗方により偏自己回帰係数を計算する. つぎに, 新たに測定した筋電信号と偏自己回

帰係数を用いてトルクの推定値を求め、実測値との比較を行った結果を図7に示す。

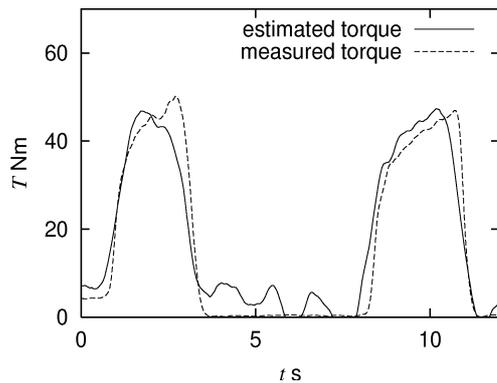


図7 トルクに実測値と推定値の比較

図中で実線、点線はそれぞれ推定されたトルクと実測値を表す。図より提案した方法によりインパルス状雑音を除去した後のRMS値を用いて推定されたトルクは実測値とよく一致していることがわかる。

筋電信号のパワースペクトルは速筋や遅筋などの筋繊維の種類により変化することが知られており、筋肉の活動状態の評価にも有用である。しかし、実際に測定された信号中に交流電源等からの周期雑音が混入した場合、正確なパワースペクトルを得ることは不可能である。一例を図8に示す。これは、上腕三頭筋の筋電信号より求めたパワースペクトルであるが、無線通信により生体信号を測定しているため、通信中に交流電源からの60Hzの周期雑音およびその高調波成分が混入していることがわかる。

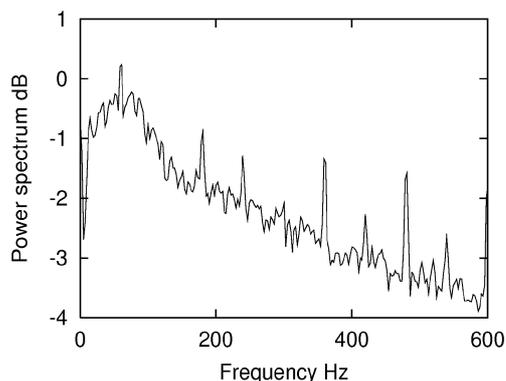


図8 筋電信号のパワースペクトル

周期信号のパワースペクトルは周波数軸上ではインパルス状となるため、提案した雑音除去手法を周波数領域で適用することにより、パワースペクトルの推定が可能となる。図8のパワースペクトルに対してM変換を用いる雑音除去手法を適用した結果が図9に示すパワースペクトルである。

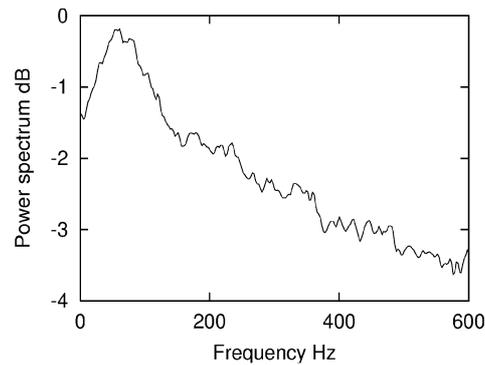


図9 推定されたパワースペクトル

図8と図9を比較すると、パワースペクトル中に含まれていた周期雑音のスペクトルが除去され、変動の少ない滑らかなパワースペクトルが得られていることがわかる。

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3件)

原田博之、大淵慶史、西村光、柏木潤、山口晃生、M変換を用いる筋電信号処理、精密工学会誌、75巻、掲載予定(2009)、査読有

Hiroshi HARADA、Hiroshi Kashiwagi、Hikaru Nishimura、Yoshifumi Ohbuchi、Teruo Yamaguchi、Electromyogram Signal Processing by Using M-transform, Proceedings of International Conference on Control, Automation and Systems, 2446, 2449, (2008), 査読有

原田博之、柏木潤、全修均、大淵慶史、桜一喜、M変換とウェーブレット縮退を用いる高精度表面計測信号中のインパルス状雑音の除去、日本機械学会論文集 C 編、73巻、2449, 2455, 発表年(2007)、査読有

[学会発表](計2件)

原田博之、大淵慶史、西村光、柏木潤、山口晃生、M変換を用いる筋電信号処理、精密工学会九州支部福岡地方講演会、2008年12月6日、九州大学

廣瀬公章、原田博之、柏木潤、大淵慶史、M変換を用いる生体信号処理の研究、計測自動制御学会九州支部学術講演会、2007年12月2日、鹿児島大学

6 . 研究組織

(1)研究代表者

原田 博之 (HARADA HIROSHI)
熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号：90145285

(2)研究分担者

大淵 慶史 (OHBUCHI YOSHIKUMI)
熊本大学・工学部・准教授
研究者番号：10176993

(3) 研究分担者

山口 晃生 (YAMAGUCHI TERUO)
熊本大学・大学院自然科学研究科・講師
研究者番号：50230363