

平成21年 6月 3日現在

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18760064  
 研究課題名 (和文) 定常化操作による非定常不規則雑音に埋もれた信号検出の基礎研究  
 研究課題名 (英文) Fundamental Studies on Detection of Signals in Nonstationary Random Noise via Stationarization Approach  
 研究代表者  
 井嶋 博 (HIROSHI IJIMA)  
 和歌山大学・教育学部・講師  
 研究者番号：90397604

研究成果の概要：非定常雑音に埋もれた信号の検出問題に対して，本研究では非定常観測データを定常なデータに変換する手法を開発し，これを定常化操作と名づけた。この手法を用いることによって，観測データは定常な雑音と信号で構成されることになり，従来の信号検出問題として取り扱うことが可能となる。また本研究では，従来手法とは別に，観測データの定常化で，信号の存在する区間において，うまく定常化が行えないのではないかと考え，定常性の検定による信号検出手法を提案した。これらの手法の有効性をシミュレーションおよび，実験により確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	700,000	0	700,000
2007年度	1,700,000	0	1,700,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	180,000	3,180,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

キーワード：信号検出，非定常雑音，信号処理，時変スペクトル，カルマンフィルタ

## 1. 研究開始当初の背景

不規則雑音に乱された観測データから，信号を検出する信号検出問題は，従来通信技術やレーダー，ソナーなどの計測技術における分野で研究がなされ，心理学実験における被験者に与えられる刺激の有無の検定，海底に沈む沈没船の探索，あるいは生体信号，地殻の亀裂信号の検出などに応用範囲が広がり，広く自然科学分野などで利用できる技術として認識されている。観測データに介在する不

規則雑音の原因はさまざまであるが，これまで提案されている手法において雑音は，数学的取扱いの容易さからその統計的性質が時間的に変化しない定常確率過程として取り扱われていることが多い。しかし，実際に観測される雑音は，電磁波や地磁気の乱れ，地震，風や海洋の潮流など非定常的に変動するものが多く，観測雑音も統計的性質が時間変化する非定常雑音である。本研究は，実際に観測される雑音を，本来の性質である非定常

過程としてとらえることが出来ないか？といった動機付けに基づいて開始した。これまで、雑音を非定常としてとらえた研究は国内外いずれも殆ど無く、定常過程として扱った手法にパラメータ調整を時々刻々行うといった適応的な手法が提案されているのみであった。また、本研究では非定常雑音をモデリングすることにより、検出能力を高める予定であり、非定常雑音の数学モデルを用いる必要があり、その数学モデルは種々提案されていた。本研究では信号検出手法に用いることができる雑音モデルの選定から研究を開始した。

## 2. 研究の目的

本研究では、不規則雑音に埋もれた信号の検出問題のなかでも、現実と直面する非定常確率過程が雑音である問題に対して、非定常雑音を非定常確率過程として扱うといった新しい信号検出手法の開発を目的としている。より具体的には、非定常雑音を定常な雑音に変換し、従来の定常雑音に埋もれた信号の検出問題に帰着させるといった考えに基づき、

- ① 非定常雑音モデルの数学的構築とパラメータ同定手法の確立。
- ② 非定常過程の定常過程への変換方法の開発と信号の検出方法の開発。
- ③ シミュレーションによる開発手法の有効性の確認。
- ④ 開発アルゴリズムの高速化および実実験の実施。
- ⑤ 本研究で開発した手法の多分野への応用についての見当。

の5項目を主要な目的に挙げた。

## 3. 研究の方法

研究目標に従い、以下の計画および方法で研究を実施した。

### (1) 平成18年度

初年度は、信号検出に先立ち、非定常雑音のモデル化とそのモデルパラメータの同定方法を開発および、非定常過程の定常化手法の提案として、

- ① 非定常雑音の数学モデルの構築とモデルパラメータの同定方法の開発
- ② ①により得られた数学モデルに基づいた、非定常雑音の定常化手法の確立
- ③ シミュレーションおよび実データによる開発手法の性能評価

の3点を計画し、非定常雑音モデルを、実在の観測雑音の性質に基づいて導出し、そのモデルパラメータの同定手法を開発する。また同定したパラメータを基に、非定常雑音を定常過程に変換する手法を開発する。といった方法で研究を進めた。

開発した定常化手法の評価については、計算機により生成した様々な非定常過程を用

い、分散やスペクトル情報などの統計的性質の変化を調べることによって定常化が理論通りに実現されていることを確認し、さらに、代表的な非定常雑音である地震データなどの実データと比較した。

非定常過程はあらゆる不規則雑音を含む定義であるため、そのモデル化において、全ての過程を想定することは本来的に不可能であり、本研究における非定常過程の適用範囲を限定することが必要であるが、それを明確に設定するのは困難であると予想される。このような問題を解決するに当たっては、研究協力者等の助言を得、考えられる雑音環境を出来る限り網羅するようにモデル化し、提案手法の適用可能範囲について明らかにすることで対応した。

### (2) 平成19年度

初年度に開発した定常化手法を踏まえ、既存の信号検出理論を組合せることで、非定常雑音に埋もれた信号の検出手法を完成させ、従来とは異なる検出手法の開発を計画し、局所信号がその操作に影響を及ぼすと考え、定常性などのデータの性質を解析する方法を開発した。また、初年度に開発した手法は雑音モデルに含まれるパラメータの推定精度が低く、また考えられる雑音の適用範囲をより拡大することが困難なため、雑音モデルをより一般化できるものに変更し、その中に含まれるパラメータの同定手法についても再考した。

### (3) 平成20年度

最終年度は前年度に開発した雑音モデルに含まれるパラメータの同定手法に対して、より同定精度を向上させるため、雑音モデルの修正を行い、パラメータの同定手法についても改良し、これまで開発した手法の有効性を確認するためシミュレーションおよび実実験の実施を計画した。

## 4. 研究成果

本研究の研究者は、受信器で観測される非定常雑音は、定常過程が何らかの影響により非定常過程に変換され、非定常観測データをその定常過程に変換できると考え、また非定常確率過程の数学モデルは数多く提案されているが、そのなかには、線形システムの入力が定常過程であったり、時不変なスペクトルが含まれているなど、定常過程が何らかの形で関わっているものが多く存在することから、非定常観測データを定常なデータに変換する手法を提案した。その手法を本研究では「観測データの定常化」と呼び、信号検出に用いた。この定常化の方法は研究期間中に

- ① 非定常雑音を伊藤型確率微分方程式によりモデル化しそのモデルに含まれるパラ

メータを時変スペクトル理論を用いて同定する手法。

- ② 非定常雑音を時変パラメータを持つ ARMA モデルによりモデル化し、その時変パラメータをカルマンフィルタにより推定する手法。

の2つを開発した。①では1階の伊藤型確率微分方程式つまり連続モデルで雑音を表現し、そのスペクトル表現を Priestley が提案している時変スペクトル(Evolutionary spectrum)とみなし、スペクトルからモデルパラメータを同定する手法を開発した。また、同定したモデルパラメータを用いて伊藤型確率微分方程式の表現に用いられるウィナー過程の増分を抽出する逆変換の手法を開発し、これを定常化されたデータとして用いた。図1は定常化を行なったシミュレーションの例であるが、明らかに非定常な振舞いをしている上図に対して下図はうまく定常過程に変換されていることがわかる。

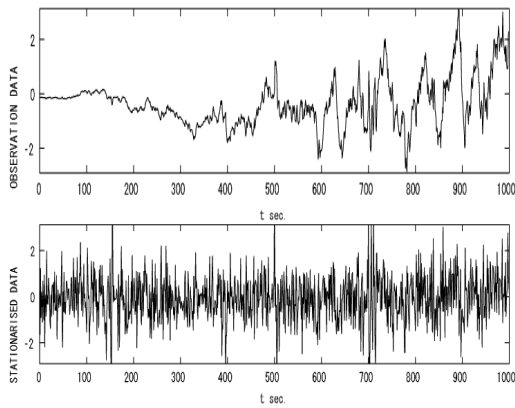


図1 伊藤型確率微分方程式と時変スペクトルを用いた定常化(非定常データ(上図)と定常化データ(下図))。

本手法は1階の確率微分方程式によるモデルの場合には有効であることは確認されているが、2階以上の微分方程式を用いた場合、微分方程式の係数である時変パラメータの同定の精度が著しく低下し、定常化に用いることが困難である。本研究ではこの問題を解決するために、②に示した非定常雑音を時変パラメータを持つ ARMA モデルで表現する手法を開発した。時変パラメータはカルマンフィルタにより推定する手法を開発し、この手法では高次遅れのモデルであっても、定常化がうまく行なえることが確認された。図2, 3はこの手法を用いた信号検出のシミュレーション例である。図2の上図は3次遅れのAR要素を持つ ARMA モデルにより生成した非定常観測データ、中図はその中に含まれる信号であり下図は定常化されたデータである。この定常化されたデータに対して従来の信号検出器として用いられる尤度比関数を図

3に示している。信号が存在する時刻近傍において大きなピークを持っていることが確認できる。

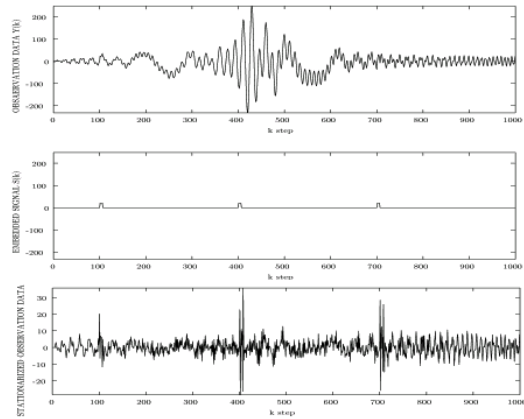


図2 ARMA モデルとカルマンフィルタを用いた定常化(非定常観測データ(上図), 矩形パルス信号(中図), および定常化データ(下図))

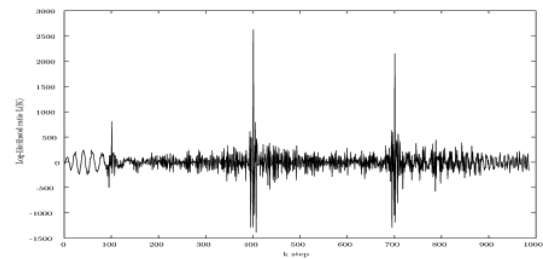


図3 尤度比関数(信号検出器)

以上のように本研究では非定常観測データを定常なデータに変換することで非定常雑音の問題を従来の定常雑音に埋もれた信号の検出問題に帰着させ、既が開発されている信号検出器を用いることができることを確認した。また、本研究ではこのような従来法とは異なる新しい検出器についても開発を行なった。非定常雑音に含まれる信号は微小区間のみ存在するものとする、本研究で提案したデータの定常化において、信号成分、雑音それぞれの非定常性が異なりうまく定常化されないと考え、定常化後のデータの定常性をチェックすることにより信号の検出を行なう方法を開発した。図4はそのシミュレーション結果である。上図に示した非定常観測データには1周期、5周期の正弦波および矩形パルス信号といった種類の異なる信号(中図)を埋め込んでいる。この観測データ定常化しそのデータの定常性検定を行なった結果が下図である。それぞれの信号が存在する時刻近傍に大きなピークが存在することが分かる。また、この手法において検出能力の評価方法を理論的に導出し、SN比が0 db (信号の振幅: 雑音の標準偏差が 1:1)で

検出過誤確率 1%と設定したときの検出確率は 100% と高い検出能力を持つことをモンテカルロシミュレーションにより確認した。

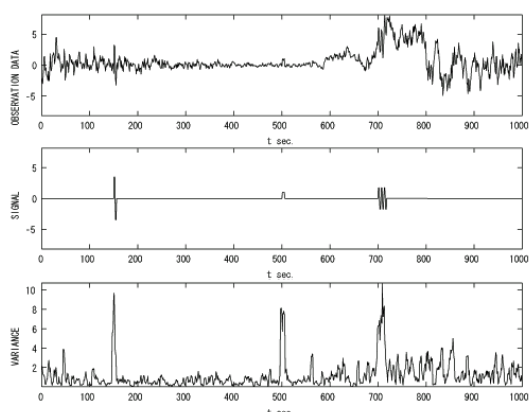


図4 定常性検定による信号検出（非定常観測データ（上図）、信号（中図）、定常性の検定結果（下図））

#### 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7件）

- ① 井嶋博：非定常雑音に埋もれた信号の検出—定常化操作によるアプローチ，システム/制御/情報，Vol. 52, No. 11, 2008, pp. 401-406（査読有）。
- ② H. Ijima and A. Ohsumi: Detection of Signals Corrupted by Nonstationary Random Noise via Kalman Filter-Based Stationarization Approach, Proc. 16th European Signal Processing Conference (EUSIPCO2008), Lausanne, Switzerland, 2008, CD-ROM（査読有）。
- ③ H. Ijima, Y. Yamashita, and A. Ohsumi: Detection of Signals in Nonstationary Random Noise via Stationarization of Data Incorporated with Kalman Filter, Proc. 7th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT 2007), Cairo, Egypt, 2007, pp. 1077-1081（査読有）。
- ④ H. Ijima, A. Matsuoka, T. Nakajima, and A. Ohsumi: Estimation of Motion Parameters of Moving Target Using Wigner Distribution, Proc. 2007 IEEE International Conference on Signal Processing and Communication (ICSPC07), Dubai, UAE, 2007, pp. 688-691（査読有）。
- ⑤ H. Ijima, A. Ohsumi, and S. Yamaguchi: Time-delay Estimation of Signals in Nonstationary Random Noise via Stationarization and Wigner

Distribution-based Approach, Proc. 14th European Signal Processing Conference, 2006, CD-ROM（査読有）。

- ⑥ H. Ijima, A. Ohsumi, and S. Yamaguchi: Nonlinear Parametric Estimation for Signals in Nonstationary Random Noise via Stationarization and Wigner Distribution, Proc. 2006 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 2006, pp. 851-854（査読有）。
- ⑦ 井嶋博・大住晃・奥井亮：定常化操作による非定常雑音に埋もれた信号の検出の一手法，電子情報通信学会論文誌，J89-A 巻6号，2006，pp. 535-543（査読有）。

〔学会発表〕（計1件）

- ① 井嶋博・大住晃：非定常雑音に埋もれた信号のカルマンフィルタを用いた定常化操作による検出，第52回システム制御情報学会研究発表講演会，京都，2008，pp. 693-694。

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

井嶋 博 (HIROSHI IJIMA)  
和歌山大学・教育学部・講師  
研究者番号：90397604