	いじま　ひろし
氏　　名	**井 嶋　博**
学位(専攻分野)	博　士（工 学）
学 位 記 番 号	博 乙 第 １５８ 号
学位授与の日付	平成 19 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 3 条第 4 項該当
学 位 論 文 題 目	Detection and Parameter Estimation of Signals in Random Noise via Time-Frequency Analysis （不規則雑音に埋もれた信号の時間-周波数解析による検出およびパラメーター推定）
審　査　委　員	（主査） 教授　森　武宏 教授　黒江康明 教授　大倉弘之 准教授　澤田祐一 宮崎大学教授　大住　晃

論文内容の要旨

不規則雑音に埋もれた観測データから信号を検出する問題は，第 2 次世界大戦中よりレーダー信号の処理に関して研究され，これまで主として確率論的立場から考察されてきている．その主なアプローチとしては，観測データが望む信号を含んでいるか，あるいは雑音のみであるのかを決定する 2 値仮説検定問題として定式化され，それぞれの仮説に対する確率密度関数の比，すなわち尤度比関数が用いられている．この不規則雑音中の信号検出問題は,その検出すべき信号自身に付随した(未知な)パラメータの推定をも含めて，近年レーダーや音声認識，通信などの情報工学分野のみならず，機械の異常診断，医療画像や自然界の様々な信号の解析，さらには心理学におけるデータ解析などあらゆる分野にわたって重要視されてきている．

信号の解析手法の一つとして時間-周波数解析が近年盛んに研究され，信号，画像解析，FM 信号の瞬時周波数パラメータの推定や，画像データを基にした移動物体の位置や速度の推定などに応用されている．しかし，これまで提案されている手法は短時間フーリエ変換のもつ信号解像能力の問題や，ウィグナー分布のクロス干渉項の問題などがあり，それらを信号の検出やパラメータ推定に直接用いることは精度上の問題から有効でない．そこで本申請者は，これらの時間-周波数解析法のもつそれぞれの特長が十分に発揮できるように，信号検出や信号の未知パラメータの推定のアルゴリズムに組込むといった新しいアプローチを確立している．これにより，従来の方法に比べて高い精度で信号検出や未知パラメータの推定を実現している．またこれまでほとんど研究がなされていない非定常雑音に乱された観測データについても考察し，新しい信号検出と推定技術を与えている．

本論文は次の 6 章からなり立っている

第 1 章では，導入部として本研究を行うに到った背景と過去になされた研究を紹介して，本研究の意義を確認している．また，雑音に埋もれた信号の検出およびパラメータ推定問題の定式化と，これらの問題について信号と雑音に関する分類についてもあわせて記述し，主要な時間-周波数解析として短時間フーリエ変換，ウェーブレット

変換およびウィグナー分布の概要とそれぞれの特徴を述べている．

第 2 章では，ウェーブレットを用いたウィグナー分布型信号検出器を提案し，シミュレーションによって提案手法の有効性を確認している．

第 3 章では，矩形パルス信号の検出器として，オンライン処理が可能なウェーブレットを用いた信号検出器を開発している．信号検出器としては連続ウェーブレットを組み込んだ新しい関数を提案し，パルス波列信号の立上りおよび立下り時刻に，信号検出器がそれぞれ正負逆のウェーブレットの原始関数として振舞うことを解析的に求め，種々のウェーブレットに対する，それぞれの検出器の振舞いを理論的に求めている．提案した信号検出器の有効性を確認するため，シミュレーション実験を行い，さらに信号検出器の背景雑音の評価と，検出確率および検出過誤確率を理論的に求め，モンテカルロシミュレーションにより，検出器の性能評価を雑音の分散や設定パラメータの影響の観点から行っている．

第 4 章では，レーダーやソナーにおける受信信号で重要なパラメータである信号の遅延時間と伸縮パラメータの推定手法として，ウィグナー分布の特長を取り入れた方法を提案している．観測データの擬似ウィグナー分布を新しい観測データとみて，それを実現値とした尤度関数を構成し，雑音の擬似ウィグナー分布の統計的性質を理論的に導出し，証明を加えている．提案した手法の有効性を確認するため，シミュレーション実験をガウス包絡線をもつ正弦波信号，パルス信号，１周期の正弦波信号，チャープ信号（線形 FM 信号）に対して行い，超音波レーダー実験や連続波信号のパラメータ推定においてもウィグナー分布の効果により非常に明瞭な推定結果が得られることを確認している．

第 5 章では，非定常雑音に埋もれた信号の検出問題に対して新しい手法を提案している．従来，信号検出問題においては，雑音は数学的に取扱いが容易であることから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きた．しかし，現実的には観測される不規則データは非定常として取り扱うのが自然な場合が多々ある．本研究では非定常な雑音を時変係数をもつ伊藤型確率微分方程式で記述し，そのモデルパラメータを Priestley が提案している時変スペクトル理論に基づき推定し，それによって非定常観測データを定常とみなせるデータに変換するといったこれまでにない全く新しい手法を提案している．この操作を本申請者は “非定常(観測)データの定常化（stationarization of [observation] data）” と名付けている． シミュレーション実験においては，異なる時刻に異なる３つの信号のいずれについても検出が成功することを確認している．また，信号の存在を示す指標の確率密度関数から検出過誤確率を求め，その確率を固定して閾値を決定し，さらに SN 比に対する信号の検出確率を 100 回のモンテカルロシミュレーションにより求め，提案手法の検出能力の評価を行っている．

最終章では，本研究で得られた結果がまとめられている．

第 2～第 5 章においては，十分な数値シミュレーションがなされており， また第 4 章では実実験を実施し，それぞれの提案手法の有効性を裏付けている．

論文審査の結果の要旨

不規則雑音に埋もれた信号を観測データから検出する信号検出問題とその信号に付随したパラメータの推定問題に対して，本学位申請者は，近年盛んに研究されている時間-周波数解析法のひとつであるウィグナー分布をそのまま用いるのではなく，それの実現値をもとに尤度関数を数学的に導出し，未知パラメータの推定をも行うというアプローチを確立している．このアプローチは全く新しく，しかも従来より提案されている方法よりも非常に精度がよいことが数値シミュレーションによって確認されている．さらに，一般的に取扱いが難しい非定常雑音に乱された観測データに対しても理論を発展させ，有効な手法を提案している．以上のことから本論文は学問的にも高く評価できる．

本論文の基礎となったのは下記に示す 15 編の学術論文で、そのうち 11 編は申請者が筆頭著者である. 15 編の学術論文のうち, 6 編は学会論文誌に掲載され, 他の 9 編は査読制度のある学会のプロシーディングスに掲載されている.

本論文は，雑音に埋もれた信号の検出およびパラメータ推定問題に対してこれまでにない新しいアプローチを確立しており，応用的価値や独創性も高く，学術的価値も有することから，本審査委員会は本論文を学位授与に十分値すると認める．

1．大住晃・黒石知樹・井嶋博: 不規則雑音に埋もれたパルス波列のウェーブレットによるオンライン検出, 計測自動制御学会論文誌, 33 巻 7 号, 665 頁-673 頁, 1997.
2．A. Ohsumi, H. Ijima, and T. Kuroishi: Wavelet-based On-line Detectors for Pulse Signals in Random Noise and Their Performance Analysis, *Intelligent Automation and Control---Recent Trends in Development and Applications*, vol. 6 (Eds: M. Jamshidi and C. W. de Silva), TSI Press, pp.265-272, 1998.
3．A. Ohsumi, H. Ijima, and T. Kuroishi: Online Detection of Pulse Sequence in Random Noise Using a Wavelet, *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.47, no.9, pp.2526-2531, 1999.
4．A. Ohsumi, H. Ijima, and T. Sodeoka: High Resolution Detector for Signals in Random Noise Using Wavelet-based Wigner Distribution, *Proc. 2000 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, (*ICASSP2000*), Istanbul, Turkey, vol.1, pp.596-599, 2000.
5．H. Ijima, A. Ohsumi, T. Sodeoka, and H. Sato: On a Signal Detector Using Wavelet-based Quadratic Time-Frequency Distribution, *Advances in Signal Processing and Computer Technologies* (Eds: G. Antoniou, N. Mastorakis, and O. Paufulov), WSES Press, pp.42-47, 2001.
6．H. Ijima, A. Ohsumi, T. Sodeoka, and H. Sato: The Enhanced Detector of Noisy Signals Using Pseudo-Wigner Distribution, *Proc. of IASTED Int. Conf. on Signal Processing, Pattern Recognition and Applications* (*SPPRA 2001*), Rhodes, Greece, pp.95-100, 2001.
7．H. Ijima, A. Ohsumi, H. Sato, and I. Djurović: Maximum Likelihood Estimation for Signal Parameters Using Pseudo-Wigner Distribution, *Proc. of SICE Annual Conf. 2002 in Osaka*, pp.1598-1603, 2002.
8．H. Ijima and A. Ohsumi: Maximum Likelihood Estimation of Time-delay of Ultrasonic Signals Based on Wigner Distribution, *Proc. of SICE Annual Conf. 2003 in Fukui*, pp.1774-1778, 2003.
9．井嶋博・大住晃・Igor Djurović・佐藤秀明・大倉弘之: 不規則雑音に埋もれた信号の未知パラメータ推定: 擬似ウィグナー分布によるアプローチ, 電子情報通信学会論文誌, J86-A巻, 11 号, 1158 頁-1169 頁, 2003.

１０．H. Ijima, A. Ohsumi, and I. Djurović: Parameter Estimation of Chirp Signals in Random Noise Using Wigner Distribution, *Proc. of 47th IEEE Int. Midwest Symp. Circuits and Systems* (*MWSCAS 2004*), Hiroshima, Japan, vol.II, pp.177-180, 2004.
１１．H. Ijima, A. Ohsumi, and I. Djurović: Parameter Estimation of FM Signals in Random Noise Using Wigner Distribution, *Proc. of SICE Annual Conf. 2004 in Sapporo*, pp.1417-1420, 2004.

１２．H. Ijima, R. Okui, and A. Ohsumi: Detection of Signals in Nonstationary Random Noise via Stationarization and Stationarity Test, *Proc. of the IEEE Workshop on Statistical Signal Processing* (*SSP'05*), Bordeaux, France, Paper ID 68, 2005.
１３．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, 535 頁-543 頁, 2006.
１４．H. Ijima, A. Ohsumi, and S. Yamaguchi: Time-delay Estimation of Signals in Nonstationary Random Noise via Stationarization and Wigner Distribution-based Approach, *Proc. of 14th European Signal Processing Conf.* (*EUSIPCO 2006*), Florence, Italy, 2006.
１５．H. Ijima, A. Ohsumi, and S. Yamaguchi: Nonlinear Parametric Estimation for Signals in Nonstationary Random Noise via Stationarization and Wigner Distribution, *Proc. of 2006 Int. Symp. on Nonlinear Theory and its Applications* (*NOLTA 2006*), Bologna, Italy, pp.851-854, 2006.