

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-513841

(P2005-513841A)

(43) 公表日 平成17年5月12日(2005.5.12)

(51) Int. Cl.⁷

H04L 29/14

G06F 17/18

F I

H04L 13/00

3 1 5

G06F 17/18

Z

テーマコード (参考)

5 B 0 5 6

5 K 0 3 5

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2003-553487 (P2003-553487)
 (86) (22) 出願日 平成14年12月13日 (2002.12.13)
 (85) 翻訳文提出日 平成16年8月16日 (2004.8.16)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2002/039827
 (87) 国際公開番号 W02003/052670
 (87) 国際公開日 平成15年6月26日 (2003.6.26)
 (31) 優先権主張番号 10/021,895
 (32) 優先日 平成13年12月14日 (2001.12.14)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

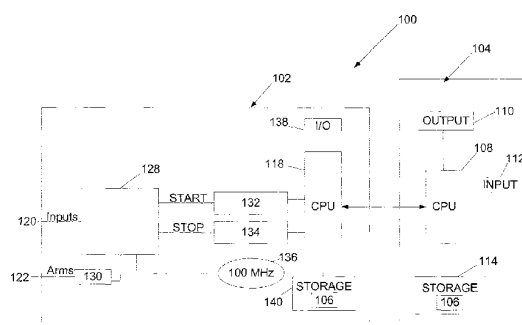
(71) 出願人 500354540
 ウェイブクレスト・コーポレーション
 アメリカ合衆国55344 ミネソタ州イー
 デン・プレーリー、ゴールデン・トライア
 ングル・ドライブ7626番
 (74) 代理人 100086405
 弁理士 河宮 治
 (74) 代理人 100098280
 弁理士 石野 正弘
 (72) 発明者 ジェ・スン
 アメリカ合衆国95014 カリフォルニア
 州クベルティノ、スティーブンス・クリ
 ク・ブルバード・ナンバー510、20
 350番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分布を解析する方法及び装置

(57) 【要約】

ランダム成分と確定的な成分とを有する測定可能な分布を解析するための方法、装置及び製品を提供する。本方法は、データを収集するステップと、複数の確定的関数と複数のランダム関数との畳み込みであるような確率密度関数を上記データに基づいて生成するステップと、少なくとも1つは未知である3つ以上のパラメータを有する確定的及びランダムな畳み込みモデルに基づいて確率密度関数を生成するステップと、逆畳み込み演算処理を用いることにより未知のパラメータを決定するステップとを含む。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ランダム成分と確定的成分とを有する測定可能な分布を解析する方法であって、

(a) データソースからデータを収集するステップと、

(b) 複数の確定的関数と複数のランダム関数との畳み込みであり、分布を定義するような確率密度関数を上記データに基づいて生成するステップと、

(c) 少なくとも 1 つのパラメータが未知である、3 つ以上のパラメータを有し、かつ確定的モデルとランダムモデルとを有する畳み込みモデルに基づいて確率密度関数を生成するステップと、

(d) 逆畳み込み演算処理を用いて未知のパラメータを決定するステップとを含む方法 10

【請求項 2】

上記確定的モデルは 1 つの確定的パラメータを有し、上記ランダムモデルは 2 つ以上のランダムパラメータを有する請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

上記確定的パラメータは時刻位置である請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】

上記確定的モデルは、少なくとも 1 つの時刻位置のパラメータと少なくとも 1 つの大きさのパラメータとを有する請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】

上記決定するステップは、

逆問題を定式化するステップと、

上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出するステップとを含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】

上記逆問題は再帰的な解を用いて解かれる請求項 5 記載の方法。

【請求項 7】

上記逆問題は最適化機能に基づく解を用いて解かれる請求項 5 記載の方法。

【請求項 8】

上記分布は信号の分布である請求項 1 記載の方法。

【請求項 9】

上記パラメータのすべては未知である請求項 1 記載の方法。

【請求項 10】

少なくとも 1 つのランダムモデルのパラメータは既知であり、

上記決定するステップはさらに、逆畳み込み演算処理を用いることにより、上記既知のランダムモデルのパラメータに基づいて確定的モデルのパラメータを決定するステップを含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 11】

上記確定的モデルは 1 つの確定的パラメータを有し、上記ランダムモデルは 2 つ以上のランダムパラメータを有する請求項 10 記載の方法。

【請求項 12】

上記確定的パラメータは時刻位置である請求項 11 記載の方法。

【請求項 13】

上記確定的モデルは、1 つの時刻位置のパラメータと 1 つの大きさのパラメータとを有する請求項 10 記載の方法。

【請求項 14】

上記決定するステップは、

逆問題を定式化するステップと、

上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出するステップとを含む請求項 10 記載の方法

【請求項 15】

上記逆問題は再帰的な解を用いて解かれる請求項 1 4 記載の方法。

【請求項 1 6】

上記逆問題は最適化機能に基づく解を用いて解かれる請求項 1 4 記載の方法。

【請求項 1 7】

上記分布は信号の分布である請求項 1 0 記載の方法。

【請求項 1 8】

上記ランダムパラメータのすべては既知である請求項 1 0 記載の方法。

【請求項 1 9】

上記決定するステップは、

逆問題を定式化するステップと、

上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出するステップとを含む請求項 1 8 記載の方法

10

【請求項 2 0】

上記逆問題は閉じた解を用いて解かれる請求項 1 9 記載の方法。

【請求項 2 1】

少なくとも 1 つの確定的モデルのパラメータは既知であり、

上記決定するステップはさらに、逆畳み込み演算処理を用いることにより、既知の確定的モデルのパラメータに基づいて上記ランダムモデルのパラメータを決定するステップを含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 2 2】

上記確定的モデルは 1 つの確定的パラメータを有し、上記ランダムモデルは 2 つ以上のランダムパラメータを有する請求項 2 1 記載の方法。

20

【請求項 2 3】

上記確定的パラメータは時刻位置である請求項 2 2 記載の方法。

【請求項 2 4】

上記確定的モデルは、1 つの時刻位置のパラメータと 1 つの大きさのパラメータとを有する請求項 2 1 記載の方法。

【請求項 2 5】

上記決定するステップは、

逆問題を定式化するステップと、

上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出するステップとを含む請求項 2 1 記載の方法

30

【請求項 2 6】

上記逆問題は再帰的な解を用いて解かれる請求項 2 5 記載の方法。

【請求項 2 7】

上記逆問題は最適化機能に基づく解を用いて解かれる請求項 2 5 記載の方法。

【請求項 2 8】

上記分布は信号の分布である請求項 2 1 記載の方法。

【請求項 2 9】

上記確定的パラメータのすべては既知である請求項 2 1 記載の方法。

40

【請求項 3 0】

上記決定するステップは、

逆問題を定式化するステップと、

上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出するステップとを含む請求項 2 9 記載の方法

【請求項 3 1】

上記逆問題は閉じた解を用いて解かれる請求項 3 0 記載の方法。

【請求項 3 2】

ランダム成分と確定的成分とを有する分布を解析する装置であって、

(a) データを収集する測定装置と、

50

(b) 上記測定装置に動作可能に接続された解析装置とを備え、
上記解析装置は、

上記測定装置からデータを収集し、

複数の確定的関数と複数のランダム関数との畳み込みであり、分布を定義するような確率密度関数を上記データに基づいて生成し、

少なくとも1つのパラメータが未知である、3つ以上のパラメータを有し、かつ確定的モデルとランダムモデルとを有する畳み込みモデルに基づいて確率密度関数を生成し、

逆畳み込み演算処理を用いることによって未知のパラメータを決定する装置。

【請求項33】

上記確定的モデルは1つの確定的パラメータを有し、上記ランダムモデルは2つ以上のランダムパラメータを有する請求項32記載の装置。 10

【請求項34】

上記確定的パラメータは時刻位置である請求項33記載の装置。

【請求項35】

上記確定的モデルは、少なくとも1つの時刻位置のパラメータと少なくとも1つの大きさのパラメータとを有する請求項32記載の装置。

【請求項36】

上記解析装置は、逆問題を定式化し、上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出する請求項32記載の装置。

【請求項37】

上記逆問題は再帰的な解を用いて解かれる請求項36記載の装置。 20

【請求項38】

上記逆問題は最適化機能に基づく解を用いて解かれる請求項36記載の装置。

【請求項39】

上記分布は信号の分布である請求項32記載の装置。

【請求項40】

上記パラメータのすべては未知である請求項32記載の装置。

【請求項41】

少なくとも1つのランダムモデルのパラメータは既知であり、

上記解析装置は、逆畳み込み演算処理を用いることにより、上記既知のランダムモデルのパラメータに基づいて確定的モデルのパラメータを決定する請求項32記載の装置。 30

【請求項42】

上記確定的モデルは1つの確定的パラメータを有し、上記ランダムモデルは2つ以上のランダムパラメータを有する請求項41記載の装置。

【請求項43】

上記確定的パラメータは時刻位置である請求項42記載の装置。

【請求項44】

上記確定的モデルは、1つの時刻位置のパラメータと1つの大きさのパラメータとを有する請求項41記載の装置。

【請求項45】

上記解析装置は、逆問題を定式化し、上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出する請求項41記載の装置。 40

【請求項46】

上記逆問題は再帰的な解を用いて解かれる請求項45記載の装置。

【請求項47】

上記逆問題は最適化機能に基づく解を用いて解かれる請求項45記載の装置。

【請求項48】

上記分布は信号の分布である請求項41記載の装置。

【請求項49】

上記ランダムパラメータのすべては既知である請求項41記載の装置。 50

【請求項 5 0】

上記解析装置は、逆問題を定式化し、上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出する請求項 4 9 記載の装置。

【請求項 5 1】

上記逆問題は閉じた解を用いて解かれる請求項 5 0 記載の装置。

【請求項 5 2】

少なくとも 1 つの確定的モデルのパラメータは既知であり、

上記解析装置は、逆畳み込み演算処理を用いることにより、既知の確定的モデルのパラメータに基づいて上記ランダムモデルのパラメータを決定する請求項 3 2 記載の装置。

【請求項 5 3】

上記確定的モデルは 1 つの確定的パラメータを有し、上記ランダムモデルは 2 つ以上のランダムパラメータを有する請求項 5 2 記載の装置。

【請求項 5 4】

上記確定的パラメータは時刻位置である請求項 5 3 記載の装置。

【請求項 5 5】

上記確定的モデルは、1 つの時刻位置のパラメータと 1 つの大きさのパラメータとを有する請求項 5 2 記載の装置。

【請求項 5 6】

上記解析装置は、逆問題を定式化し、上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出する請求項 5 2 記載の装置。

【請求項 5 7】

上記逆問題は再帰的な解を用いて解かれる請求項 5 6 記載の装置。

【請求項 5 8】

上記逆問題は最適化機能に基づく解を用いて解かれる請求項 5 6 記載の装置。

【請求項 5 9】

上記分布は信号の分布である請求項 5 3 記載の装置。

【請求項 6 0】

上記確定的パラメータのすべては既知である請求項 5 3 記載の装置。

【請求項 6 1】

上記解析装置は、逆問題を定式化し、上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出する請求項 6 0 記載の装置。

【請求項 6 2】

上記逆問題は閉じた解を用いて解かれる請求項 6 1 記載の装置。

【請求項 6 3】

メモリを有するコンピュータによって読み取り可能なプログラム記憶媒体を備えた製品であって、上記媒体は、ランダム成分と確定的成分とを有する分布を解析する方法のステップを実行するために上記コンピュータによって実行可能な命令に係る 1 つ又は複数のプログラムを実体的に具現化し、上記方法は、

(a) データソースからデータを収集するステップと、

(b) 複数の確定的関数と複数のランダム関数との畳み込みであり、分布を定義するような確率密度関数を上記データに基づいて生成するステップと、

(c) 少なくとも 1 つのパラメータが未知である、3 つ以上のパラメータを有し、かつ確定的モデルとランダムモデルとを有する畳み込みモデルに基づいて確率密度関数を生成するステップと、

(d) 逆畳み込み演算処理を用いて未知のパラメータを決定するステップを含む製品。

【請求項 6 4】

上記確定的モデルは 1 つの確定的パラメータを有し、上記ランダムモデルは 2 つ以上のランダムパラメータを有する請求項 6 3 記載の方法。

【請求項 6 5】

上記確定的パラメータは時刻位置である請求項 6 4 記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 6 6】

上記確定的モデルは、少なくとも 1 つの時刻位置のパラメータと少なくとも 1 つの大きさのパラメータとを有する請求項 6 3 記載の方法。

【請求項 6 7】

上記決定するステップは、

逆問題を定式化するステップと、

上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出するステップとを含む請求項 6 3 記載の方法

。

【請求項 6 8】

上記逆問題は再帰的な解を用いて解かれる請求項 6 7 記載の方法。

10

【請求項 6 9】

上記逆問題は最適化機能に基づく解を用いて解かれる請求項 6 7 記載の方法。

【請求項 7 0】

上記分布は信号の分布である請求項 6 3 記載の方法。

【請求項 7 1】

上記パラメータのすべては未知である請求項 6 3 記載の方法。

【請求項 7 2】

少なくとも 1 つのランダムモデルのパラメータは既知であり、

上記決定するステップはさらに、逆畳み込み演算処理を用いることにより、上記既知のランダムモデルのパラメータに基づいて確定的モデルのパラメータを決定するステップを含む請求項 6 3 記載の方法。

20

【請求項 7 3】

上記確定的モデルは 1 つの確定的パラメータを有し、上記ランダムモデルは 2 つ以上のランダムパラメータを有する請求項 7 2 記載の方法。

【請求項 7 4】

上記確定的パラメータは時刻位置である請求項 7 3 記載の方法。

【請求項 7 5】

上記確定的モデルは、1 つの時刻位置のパラメータと 1 つの大きさのパラメータとを有する請求項 7 2 記載の方法。

【請求項 7 6】

上記決定するステップは、

逆問題を定式化するステップと、

上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出するステップとを含む請求項 7 2 記載の方法

。

【請求項 7 7】

上記逆問題は再帰的な解を用いて解かれる請求項 7 6 記載の方法。

【請求項 7 8】

上記逆問題は最適化機能に基づく解を用いて解かれる請求項 7 6 記載の方法。

【請求項 7 9】

上記分布は信号の分布である請求項 7 2 記載の方法。

40

【請求項 8 0】

上記ランダムパラメータのすべては既知である請求項 7 2 記載の方法。

【請求項 8 1】

上記決定するステップは、

逆問題を定式化するステップと、

上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出するステップとを含む請求項 8 0 記載の方法

。

【請求項 8 2】

上記逆問題は閉じた解を用いて解かれる請求項 8 1 記載の方法。

【請求項 8 3】

50

少なくとも1つの確定的モデルのパラメータは既知であり、

上記決定するステップはさらに、逆畳み込み演算処理を用いることにより、既知の確定的モデルのパラメータに基づいて上記ランダムモデルのパラメータを決定するステップを含む請求項63記載の方法。

【請求項84】

上記確定的モデルは1つの確定的パラメータを有し、上記ランダムモデルは2つ以上のランダムパラメータを有する請求項83記載の方法。

【請求項85】

上記確定的パラメータは時刻位置である請求項84記載の方法。

【請求項86】

上記確定的モデルは、1つの時刻位置のパラメータと1つの大きさのパラメータとを有する請求項83記載の方法。

【請求項87】

上記決定するステップは、

逆問題を定式化するステップと、

上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出するステップとを含む請求項83記載の方法

。

【請求項88】

上記逆問題は再帰的な解を用いて解かれる請求項87記載の方法。

【請求項89】

上記逆問題は最適化機能に基づく解を用いて解かれる請求項87記載の方法。

【請求項90】

上記分布は信号の分布である請求項83記載の方法。

【請求項91】

上記確定的パラメータのすべては既知である請求項83記載の方法。

【請求項92】

上記決定するステップは、

逆問題を定式化するステップと、

上記逆問題を解いて上記パラメータを抽出するステップとを含む請求項91記載の方法

。

【請求項93】

上記逆問題は閉じた解を用いて解かれる請求項92記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、分布を解析するための装置に関する。もう1つの態様において、本発明は信号解析の方法に関する。

【背景技術】

【0002】

本願は、2002年12月13日に、米国籍の企業であるウェイブクレスト・コーポレーション(Wavecrest Corporation)の名前を、米国を除くすべての国を指定国とする出願人とし、米国市民であるジェ・スン(Jie Sun)、ペン・リ(Peng Li)及びジャン・ブライアン・ウィルストラップ(Jan Brian Wilstrup)の名前を、米国のみを指定国とする出願人としたPCT国際特許出願として出願されている。

【0003】

現代のデジタル電子工学機器が動作する速度は、最近の10年間で格段に増大された。SONETを例として用いると、そのビットレートはOC-12(622Mbps)からOC-192(10Gbps)へと数度にわたって4倍化された。今では、OC-768(40Gbps)が実現されようとしている。もう1つの例としてインテル(Intel)のペンティアム(Pentium)ファミリーのマイクロプロセッサを用いると、そのクロック

10

20

30

40

50

速度は、１９９３年の初代のペンティアムプロセッサで６０ＭＨｚ及び６６ＭＨｚであったが、今日、それは、ペンティアム４のプロセッサで１．４ＧＨｚ及び１．５ＧＨｚになっている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

このような高速アプリケーションの場合、信号強度はますます重要な問題点となっているが、中でもジッタは依然として決定的な性能の基準であり続けている。

【課題を解決するための手段】

【０００５】

本発明によれば、本発明は、ランダム成分と確定的な成分とを有する測定可能な分布を解析するための方法、装置及び製品を開示する。本方法は、データを収集するステップと、複数の確定的関数と複数のランダム関数との畳み込みであるような確率密度関数を上記データに基づいて生成するステップと、パラメータの少なくとも１つは未知である、３つ以上のパラメータを有する確定的かつランダムな畳み込みモデルに基づいて確率密度関数を生成するステップと、逆畳み込み演算処理を用いることにより未知のパラメータを決定するステップとを含む。

【０００６】

ある実施形態では、少なくとも１つのランダムパラメータが既知であり、複数の確定的パラメータが、１つ又は複数の既知のランダムパラメータに基づいて逆畳み込み演算処理を用いて決定される。

【０００７】

もう１つの実施形態では、すべてのランダムパラメータが既知であり、複数の確定的パラメータは既知のランダムパラメータに基づいて逆畳み込み演算処理を用いて決定される。

【０００８】

もう１つの実施形態では、少なくとも１つの確定的パラメータが既知であり、複数のランダムパラメータは１つ又は複数の確定的パラメータに基づいて逆畳み込み演算処理を用いて決定される。

【０００９】

もう１つの実施形態では、すべての確定的パラメータが既知であり、複数のランダムパラメータは既知の確定的パラメータに基づいて逆畳み込み演算処理を用いて決定される。

【００１０】

もう１つの実施形態では、いずれのパラメータも既知ではなく、確定的パラメータ及びランダムパラメータは逆畳み込み演算処理を用いて決定される。

【００１１】

さらに他の実施形態では、上記分布は信号の分布である。

【００１２】

本発明は、コンピュータプロセス、コンピューティングシステムとして、もしくはコンピュータプログラム製品又はコンピュータ可読媒体のような製品として実装されることが可能である。コンピュータプログラム製品は、コンピュータシステムによって読み取り可能なコンピュータ記憶媒体であり、かつコンピュータプロセスを実行するための命令のコンピュータプログラムを符号化したコンピュータ記憶媒体であることが可能である。コンピュータプログラム製品はまた、コンピューティングシステムによって読み取り可能であり、コンピュータプロセスを実行するための命令のコンピュータプログラムを符号化した、キャリア上で伝搬される信号であることも可能である。

【００１３】

本発明を特徴付けるこれらの特徴及び優位点と他の様々な特徴及び優位点とは、以下の詳細な説明を読みかつ付随した図面を見て検討することにより明らかとなるであろう。

【００１４】

10

20

30

40

50

本発明は、添付の図面に関連する以下の様々な実施形態の詳細な説明を考慮すれば、より完全に理解されることが可能である。

【 0 0 1 5 】

本発明は様々な変形例及び代替形態に容易に改変可能であり、図面ではその特定の例を例として示し、以下これらを詳細に説明する。しかしながら、本発明を以下で説明する特定の実施形態に限定することは意図していないという点は理解される必要がある。逆に、本発明は、本発明の精神及び範囲内にあるすべての変形物、等価物及び代替物を包含するものである。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 6 】

本発明は、分布を解析するための方法及び装置に適用可能であると考えられる。以下の例は、ジッタの解析に関するものである。本発明はこれに限定されるものではなく、それとともに、以下に提示される例についての議論を通じて、本発明の様々な態様についての理解が得られるであろう。

【 0 0 1 7 】

図 1 は、本発明の一実施形態に係る、信号解析システム 1 0 0 のための代表的なハードウェア環境を例示的に示す図である。典型的な構成は、カウンタを用いて 2 つのイベント（開始と停止）間の時間間隔を測定する測定装置 1 0 2 を含むことが可能である。ある測定装置が、米国特許第 4 , 9 0 8 , 7 8 4 号の明細書に開示されている。典型的な測定装置は、ミネソタ州イーデン・プレーリーのウェイブクレスト・コーポレーションから入手可能な、ウェイブクレスト D T S - 2 0 7 5 (Wavecrest DTS-2075) である。

【 0 0 1 8 】

当業者は、現実の測定値（すなわち、理想的でない場合又は不確実性にさらされている場合の測定値）に基づいた信号 / 分布の解析を可能にする他のシステムも適用可能であることを認識するであろう。一般に、これは、分布のソースとして動作できる任意の製品を含む。これらの装置は、オシロスコープ、自動試験装置 (Automated Test Equipment : A T E) 、スペクトルアナライザ、ネットワークアナライザ、T I A (時間間隔アナライザ) 、汎用時間周波数カウンタ、及び変調領域アナライザを含む。他の装置は、C C D 、X 線カメラ、M R I 、及び超音波を含む可能性がある。

【 0 0 1 9 】

測定装置 1 0 2 は、ワークステーション 1 0 4 とインタフェースをとり、ワークステーション 1 0 4 上に常駐する解析プログラム 1 0 6 の制御下で動作する。解析プログラム 1 0 6 は、典型的にはデータ解析ソフトウェアを用いて実装される。市販されている解析ソフトウェアの 1 つは、ミネソタ州イーデン・プレーリーのウェイブクレスト・コーポレーションから利用可能な、ウェイブクレスト・バーチャル・インスツルメント (Virtual Instrument : V I) ソフトウェアである。他の解析ソフトウェアは、とりわけ、ラブビュー (LABVIEW) 、マスカッド (MathCad) 、マットラブ (MATLAB) 、マスマティカ (Mathematica) を含む。ワークステーション 1 0 4 は、プロセッサ 1 0 8 と、ランダムアクセスメモリ (R A M) 、読み取り専用メモリ (R O M) 及び / 又は他の構成要素を含むメモリとを備える。ワークステーション 1 0 4 は、上記メモリに記憶された U N I X (登録商標) 又はマイクロソフト (登録商標) のウィンドウズ N T オペレーティングシステム等のオペレーティングシステムの制御下で動作して、出力装置 1 1 0 上でユーザにデータを提示し、かつキーボード又はマウス等の入力装置 1 1 2 を介してユーザからの処理コマンドを受け入れる。

【 0 0 2 0 】

本発明の解析プログラム 1 0 6 は、好適には、ワークステーション 1 0 4 によって実行される 1 つ又は複数のコンピュータプログラム又はアプリケーションを用いて実装される。当業者は、ワークステーション 1 0 4 の機能が代替のハードウェア構成で実装可能であるということを認識するであろう。ここで、この代替のハードウェア構成は、測定装置 1 0 2 が C P U 1 1 8 とメモリ 1 4 0 と I / O 1 3 8 とを含み、解析プログラム 1 0 6 によ

10

20

30

40

50

り実行されるステップのうちのいくつか又はすべてを実装可能な構成を含む。一般に、本発明を実装するオペレーティングシステム及びコンピュータプログラムは、例えば、ジップドライブ、フロッピーディスクドライブ、ハードドライブ、CD-ROMドライブ、ファームウェア、あるいはテープドライブ等の1つ又は複数のデータ記憶装置114である、コンピュータ可読媒体において実体的に具現化される。しかしながら、このようなプログラムは、遠隔のサーバ、パーソナルコンピュータ又は他のコンピュータ装置上に常駐することも可能である。コンピュータ可読媒体は、コンピューティングシステムによってアクセスされることが可能な、利用可能な任意の媒体であることが可能である。例として、ただしそれに限定するものではないが、コンピュータ可読媒体はコンピュータ記憶媒体及び通信媒体を含むことも可能である。

10

【0021】

コンピュータ記憶媒体は、コンピュータが読み取り可能な命令、データ構造、プログラムモジュール又は他のデータ等の情報を記憶するための、任意の方法又は技術で実装された、揮発性及び不揮発性の、着脱可能な媒体及び取り外し不可能な媒体を含む。コンピュータ記憶媒体は、RAM、ROM、EPROM、フラッシュメモリ又は他のメモリ技術、CD-ROM、デジタルバーサタイルディスク(DVD)又は他の光記憶装置、磁気カセット、磁気テープ、磁気ディスク記憶装置又は他の磁気記憶装置、あるいは所望の情報を記憶するために使用可能でありかつコンピューティングシステムによりアクセス可能な他の任意の媒体を含むが、これらに限定されない。

【0022】

通信媒体は、典型的には、搬送波のような変調されたデータ信号又は他の転送機構において、コンピュータが読み取り可能な命令、データ構造、プログラムモジュール又は他のデータを具現化し、かつ任意の情報伝送媒体を含む。「変調されたデータ信号」という用語は、信号内に情報を符号化するように当該信号の特性の1つ又はそれ以上が設定されているか又は変更されている信号を意味する。例として、ただしそれに限定するものではないが、通信媒体は、有線ネットワーク又は直接的な有線接続等の有線媒体と、音波、RF、赤外線及び他の無線媒体等の無線媒体とを含む。上述されたものの任意の組み合わせもまた、コンピュータ可読媒体の範囲内に含まれるべきである。またコンピュータ可読媒体は、コンピュータプログラム製品と呼ばれる場合もある。

20

【0023】

解析プログラム106は、異なる測定/解析オプション及び測定シーケンスを提供する。解析プログラム106は、回路基板上(オンボード)のCPU118を介して測定装置102と対話的に動作する。ある実施形態では、測定装置102は、装置102が信号を同期的又は非同期的のいずれかで測定できるようにアーミング(arming)/イネーブル機能を提供する。信号は、アーミング/イネーブル制御120、122、124及び126が入力されたチャンネルに供給され、測定はこれらのイベントに対して実行される。カウンタ/複数の補間器128、130及び132は、開始イベントと停止イベントとの間の時間間隔を測定する。補間器は、最小で0.8psの細密な時間分解能を提供する。入力制御120、122、124及び126に 응답して、マルチプレクサ134はクロック136の信号に基づいてカウンタ/複数の補間器128、130及び132を制御する。クロック136は、典型的には正確な水晶発振器である。

30

40

【0024】

当業者は、図1に示す例示的環境が本発明を限定することを意図したものではないということを認識するであろう。実際、当業者であれば、本発明の範囲を逸脱することなく他の代替のハードウェア環境を使用可能であるということを認識するであろう。

【0025】

本発明の様々な実施形態に係る論理演算は、(1)コンピュータに実装される複数の動作又はコンピューティングシステム上で実行される複数のプログラムモジュールのシーケンスとして、及び/又は(2)コンピューティングシステム内の相互接続された複数のマシンの論理回路又は複数の回路モジュールとして実装される。本実装は、本発明を実装し

50

たコンピューティングシステムの性能の必要条件に依存する選択の問題である。従って、ここに説明した本発明の実施形態を構成する論理演算は、動作、構造装置、動作又はモジュールのように様々に呼ばれる。当業者は、本発明の精神及び範囲を逸脱することなく、これらの動作、構造装置、動作及びモジュールが、ソフトウェアにおいて、ファームウェアにおいて、特定用途のデジタル論理回路において、及びこれらの任意の組み合わせにおいて実装可能であるということを認識するであろう。

【0026】

図2は、本発明の一実施形態に係る、逆畳み込み演算処理を用いて確定的モデルのパラメータ及びランダムモデルのパラメータを決定する解析プログラム106によって実行されるステップを示すフローチャートである。本発明は、分布の確定的成分及びランダム成分の解析を目的としている。本発明の一実施形態では、解析プログラム106は信号のジッタを解析する。他の実施形態では、解析プログラムは、電圧、空間、圧力、温度、速度、電流、周波数、波長、電力及びエネルギーを含む他の物理量に関連付けられたノイズを解析することができる。

10

【0027】

シリアルデータ通信におけるジッタは、理想的なビットクロックのアクティブな遷移時間に対するデータ遷移時間の差分である。デジタルシステムにおけるジッタは、理想的なクロック周期と実際のクロック周期との間の差分である。すべての信号の場合と同様に、ジッタは確定的成分とランダム成分とを有する。確定的ジッタ(DJ)は有界な振幅を有し、ピークとピークとの間で測定されることが可能である。ランダムジッタ(RJ)は本来、非有界な振幅とガウス分布を有する。RJは確率的であるので、標準偏差推定量の1つのシグマによって定量化される必要がある。RJは、1つ又は複数のガウス分布によってモデル化される。

20

【0028】

ブロック200は、解析プログラム106が測定装置102からデータを収集することを表す。データは、物理的なものに基づいていてもよく、あるいはモデル化されたものに基づいていてもよい。ブロック202は、確率密度関数(PDF)が分布を定義するように、解析プログラム106がデータに基づいて合計の当該確率密度関数(PDF)を生成することを表す。この分布は典型的にはヒストグラムであるが、可変なビン幅によって、又はスライドするウィンドウによって定義される分布を含む他の分布も使用可能である。合計のPDFは、典型的には、確定的成分のPDFとランダム成分のPDFとの畳み込みである。

30

【0029】

ブロック204は、解析プログラム106が、合計で3つ以上のパラメータを有する確定的モデル及びランダムモデルに基づいて複数のPDFを生成することを表す。いくつかの実施形態では、ただ1つのランダムモデルのパラメータ(シグマ)が存在する。他の実施形態では、2つ以上のランダムモデルのパラメータが存在する場合がある。信号解析アプリケーションの場合、確定的モデルの複数のパラメータは、インパルス信号の時刻位置(time locations)及び大きさである可能性がある。ここに説明するように、複数のパラメータは相対的な感知方法で測定される。

40

【0030】

いくつかの実施形態では、ただ1つの確定的な時刻位置のパラメータとランダムモデルの2つのパラメータとが存在し、確定的モデルの大きさは一樣であると仮定される。他の実施形態では、確定的モデルの2つ以上のパラメータが存在する場合がある。

【0031】

逆畳み込み演算の方法は、好適には3つ以上の合計のパラメータを有する。パラメータの数は、複数のモデルに対する最小のパラメータ数を用いて計算される。例えば、3個のパラメータのモデルは、1つの確定的な時刻位置のパラメータと、1つの確定的な相対的な大きさのパラメータと、1つのランダムなシグマのパラメータとを有する可能性がある。3個のパラメータのモデルはまた、1つの確定的な時刻位置のパラメータと、2つのラン

50

ダムなシグマのパラメータとを有する可能性がある。

【0032】

図9は、本発明の一実施形態に係る、合計で7個の確定的モデルのパラメータ及びランダムモデルのパラメータを有する分布を示す。上記確定的モデルは、3つのデルタによって構成される。大きさのパラメータは $d(2)$ 及び $d(3)$ であり、このとき、 $d(1) = 1$ である。時刻パラメータは t_2 及び t_3 であり、このとき、 $t_1 = 0$ である。従って、4つの確定的パラメータは $d(2)$ 、 $d(3)$ 、 t_2 及び t_3 である。ランダムモデルは、標準偏差 σ_1 、 σ_2 及び σ_3 をそれぞれ有する3個の正規化されたガウス関数で構成される。従って、3つのランダムパラメータは σ_1 、 σ_2 及び σ_3 である。

【0033】

ブロック206は、解析プログラム106が、逆畳み込み演算（又は分解）処理を用いることによって、確定的モデル及びランダムモデルに対する複数のパラメータを決定することを表す。

【0034】

合計の分布は、確定的分布（deterministic distribution）とランダム分布（random distribution）との畳み込み（又は合成）である。ジッタの例では、合計のジッタ（ T_J ）は D_J と R_J との畳み込みである。従って、 D_J のPDF及び R_J のPDFはともに、 T_J のPDFを生成するように寄与する。合計PDFが生成されると、逆畳み込み演算（又は分解）処理は、逆問題を解くことによって D_J のPDF及び/又は R_J のPDFを決定するということになる。

【0035】

図6は、逆畳み込み演算処理を用いる際に、解析プログラム106により実行されるステップを表すブロック図である。

【0036】

ブロック600は、解析プログラム106が逆問題を定義することを表す。

【0037】

ブロック602は、解析プログラム106が逆問題を数学的に定式化することを表す。

【0038】

ブロック604は、解析プログラム106が逆問題を解くことを表す。

【0039】

上記問題は、例えば、線形方程式のセット、畳み込み/逆畳み込み演算、多項式除算、変換領域の除算、及び/又は他の既知の方法として定式化されることが可能である。逆問題を解くためのアプローチは、最適化機能（オブティマイザ）に基づいた場合及び基づかない場合の手順と、反復的及び非反復的手順とを含む。これらの手順のための初期値データは、「未知」である場合もあれば、「部分的に知られて」いる場合もある。「知られている」とは、モデルのパラメータについて知識のレベルを示す。一般に、複数の確定的成分は複数のデルタを含む分布としてモデル化され、複数のランダム成分は1つ又は複数のガウス分布としてモデル化されることが知られている。確定的パラメータ又はランダムパラメータが未知である場合又は部分的に知られている場合には、知識は「未知」又は「部分的に既知」と記述されることが可能である。本発明に係る様々な実施形態では、逆問題を解く際におけるパラメータについての知識は、（1）確定的パラメータのうちのいくつか又はすべてが既知であり、複数のランダムパラメータが未知であるものとして、（2）複数の確定的パラメータが未知であり、ランダムパラメータのうちのいくつか又はすべてが既知であるものとして、及び（3）確定的パラメータ及びランダムパラメータがともに未知であるものとして記述されることが可能である。

【0040】

以下では、逆問題を解くために使用可能な手順について説明する。当業者は、ここに示した限られた数の例示的な手順が本発明を限定するよう意図したものではないということを認識するであろう。実際、当業者は、本発明の範囲を逸脱することなく他の手順が使用可能であるということを認識するであろう。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 1 】

D J の P D F のモデルを $P_{DJ}(t)$ で示すことにする。ここで、次式が成り立つ。

【 0 0 4 2 】

【 数 1 】

$$P_{DJ}(t) = \sum_{n=1}^N d(n) \delta(t - t_n) \quad (1)$$

【 0 0 4 3 】

式 (1) において、 $d(1) = 1$ であり、 $t_1 = 0$ である。

10

【 0 0 4 4 】

明らかに、 t_n は、D J の P D F に係る n 番目のデルタインパルスの位置を表し、 $P_{DJ}(t_n) = d(n)$ であり、これに関連付けられた R J の P D F は、次式で示される。

【 0 0 4 5 】

【 数 2 】

$$P_{RJ-n}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} e^{-\frac{(t-t_n)^2}{2\sigma_n^2}} \quad (2)$$

20

【 0 0 4 6 】

t_1, t_N は各々、D J の P D F に関する最初 (最小) の位置と最後 (最大) の位置を表す。D J の P D F を記述するために合計で N 個のデルタインパルスが存在して、ここで、 $N - 1$ 個の独立した相対的大きさのパラメータ ($d(1) = 1$ を含まない) と、 $N - 1$ 個の時刻パラメータ ($t_1 = 0$ を含まない) とが伴われる。R J の P D F を記述するために最大で N 個の標準偏差パラメータが存在する。T J の P D F モデルを $P_{TJ}(t)$ と示すことにする。T J の P D F と D J 及び R J の P D F との関係を、次式で表せることは明らかである。

30

【 0 0 4 7 】

【 数 3 】

$$\begin{aligned} P_{TJ}(t) &= \sum_{n=1}^N d(n) P_{RJ-n} \\ &= \sum_{n=1}^N \frac{d(n)}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} e^{-\frac{(t-t_n)^2}{2\sigma_n^2}} \end{aligned} \quad (3)$$

40

【 0 0 4 8 】

すなわち、T J の P D F は、複数のガウス関数の重み付けされかつシフトされた総和である。測定された T J の P D F は、 $P_{TJM}(t)$ で示される。

【 0 0 4 9 】

手順 1 :

これは、当該技術において知られた、最適化機能に基づいた伝統的な手順であり、確定的モデルのパラメータ及び / 又はランダムモデルのパラメータのうちのいくつか又はすべてが未知である場合に使用可能である。

50

【 0 0 5 0 】

以下、この手順に含まれる典型的なステップを示す。

【 0 0 5 1 】

ステップ 1 : 初期条件を仮定する。すなわち、すべての未知のデルタインパルスの大きさと、すべての未知のガウス関数の標準偏差とに対して、所定の初期値を仮定する。

ステップ 2 : これらの初期値を用いて、式 (3) に基づいて、T J の P D F のモデルを推定する。

ステップ 3 : 測定された T J の P D F 及び計算された T J の P D F に基づいて、誤差関数を定義する。われわれは、所定の精度の目標を達成するように、モデルの複数のパラメータを制御することによってこの誤差関数を最小化することをわれわれの目的とする。

ステップ 4 : 本手順は、反復的であることも、あるいは適応的であることも可能である。目標が達成されると、モデルのパラメータが決定される。

【 0 0 5 2 】

最適化機能に基づいた手順に関するさらなる詳細は、参考文献として、例えば、ディー・エイ・ピエール、「最適化理論とアプリケーション」、ドーバー・パブリケーションズ・インコーポレイテッド、ニューヨーク、1986年 (Optimization Theory and Applications, DA, Pierre, Dover Publications, Inc., New York, 1986) と、ダブリュー・エイチ・プレス、エス・エイ・テウコルスキー、ダブリュー・ティー・ヴェターリング及びビーピー・フラナリー、「C 言語による数値計算のレシピ」、第 2 版、ケンブリッジ・ユニバーシティ・プレス、1992年 (Numerical Recipes in C, WH Press, SA Teukolsky, WT Vetterling and BP Flannery, 2nd, Cambridge University Press, 1992) とを参照されたい。

【 0 0 5 3 】

手順 2 :

これは、パラメータのうちのいくつか又はすべてが未知である場合に使用可能な、反復的な、最適化機能に基づかない手順である。

【 0 0 5 4 】

隣接する D J のサンプルの間の区間を M 個のビンにさらに分割することを仮定し、次式の Δt を定義する。

【 0 0 5 5 】

【数 4】

$$\Delta t = \frac{t_{n+1} - t_n}{M}$$

【 0 0 5 6 】

ステップ 1 : D J の P D F に係る最初のデルタインパルスについて、すなわち $t = t_1$ の場合について考察し、次式を得る。

【 0 0 5 7 】

【数 5】

$$\begin{cases} \frac{d(1)}{\sqrt{2\pi\sigma_1}} = P_{TJ-M}(t_1) \\ \frac{d(1)}{\sqrt{2\pi\sigma_1}} \exp\left(\frac{\Delta t}{\sqrt{2\sigma_1}}\right)^2 = P_{TJ-M}(t_1 - \Delta t) \end{cases} \quad (4)$$

【 0 0 5 8 】

これは、次式をもたらす。

【 0 0 5 9 】

【 数 6 】

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 = \frac{\Delta t}{\sqrt{2} \left[\ln \frac{P_{TJ-M}(t_1)}{P_{TJ-M}(t_1 - \Delta t)} \right]^{1/2}} \\ d(1) = \frac{\sqrt{\pi} P_{TJ-M}(t_1) \Delta t}{\left[\ln \frac{P_{TJ-M}(t_1)}{P_{TJ-M}(t_1 - \Delta t)} \right]^{1/2}} \end{array} \right. \quad (5)$$

10

【 0 0 6 0 】

ステップ 2 : D J の P D F に係る第 2 のデルタインパルスについて、すなわち $t = t_2$ の場合について考察し、次式を得る。

20

【 0 0 6 1 】

【 数 7 】

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d(1)}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left(\frac{\Delta t}{\sqrt{2}\sigma_1}\right)^2 + \frac{d(2)}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp\left(\frac{N\Delta t}{\sqrt{2}\sigma_2}\right)^2 = P_{TJ-M}(t_1 + \Delta t) \\ \frac{d(1)}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left(\frac{N\Delta t}{\sqrt{2}\sigma_1}\right)^2 + \frac{d(2)}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} = P_{TJ-M}(t_2) \end{array} \right. \quad (6)$$

30

【 0 0 6 2 】

これは、次式をもたらす。

【 0 0 6 3 】

【 数 8 】

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_2 = \frac{N\Delta t}{\sqrt{2} \left[\ln \frac{P_{TJ-M}(t_1 + \Delta t) - P_{RJ-1}(\Delta t)}{P_{TJ-M}(t_2) - P_{RJ-1}(N\Delta t)} \right]^{1/2}} \\ d(2) = \sqrt{2\pi}\sigma_2 [P_{TJ-M}(t_2) - P_{RJ-1}(N\Delta t)] \end{array} \right. \quad (7)$$

40

【 0 0 6 4 】

ステップ 3 : 次に、D J の P D F に係る n 番目のデルタインパルスについて、すなわち $t = t_n$ の場合について考察し、次式を得る。

【 0 0 6 5 】

【数 9】

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_n = \frac{N\Delta t}{\sqrt{2} \left[\ln \frac{P_{TJ-M}(t_{n-1} + \Delta t) - P_{RJ-(n-1)}(\Delta t)}{P_{TJ-M}(t_n) - P_{RJ-(n-1)}(N\Delta t)} \right]^{1/2}} \\ d(n) = \sqrt{2\pi}\sigma_n [P_{TJ-M}(t_n) - P_{RJ-(n-1)}(N\Delta t)] \end{array} \right. \quad (8)$$

10

【0066】

$P_{TJ-M}(t)$ が離散形式であれば、 $P_{TJ-M}(t_n)$ は、線形補間又は多項式補間によって推定可能である。DJのデルタインパルスの時間間隔は、RJのシグマ値より格段に大きいことが有利である。本プロセスは、隣接した2つのデルタの間における様々なサンプリングの組み合わせについて反復されて、平均値をとることが可能である。デルタ及びピンの数は、均一に分布されることを必要としない。

【0067】

手順 3 .

これは、最適化機能に基づかず、かつ非再帰的な閉じた手順であり、すべての確定的パラメータ又はすべてのランダムパラメータが既知である場合に使用可能である。

20

【0068】

他の実施形態では、この閉じた手順は連立方程式を解くことを含み得るが、これに限定されない。

【0069】

図3は、本発明のもう1つの実施形態に係る、分布を解析する際に解析プログラム106により実行されるステップを示すフローチャートである。ブロック300は、解析プログラム106が測定装置102からデータを収集することを表す。データは、物理的なものに基づいていてもよく、あるいはモデル化されたものに基づいていてもよい。

【0070】

ブロック302は、確率密度関数(PDF)が分布を定義するように、解析プログラム106がデータに基づいて当該確率密度関数(PDF)を生成することを表す。この分布は典型的にはヒストグラムであるが、可変なピン幅又はスライドするウィンドウによって定義される分布を含む他の分布も使用可能である。PDFは、複数の確定的関数と複数のランダム関数との畳み込みである。この実施形態では、ランダム関数は既知のパラメータを有する。複数のランダムパラメータは、1つのシグマであることも、あるいは複数のシグマであることも可能である。

30

【0071】

ブロック304は、解析プログラム106が、逆畳み込み演算処理を用いることによって、既知のランダムモデルの複数のパラメータに基づいて確定的関数の複数のパラメータを決定することを表す。いくつかの実施形態では、既知の1つのランダムパラメータ(シグマ)が存在する。他の実施形態では、2つ以上の既知のランダムパラメータが存在する場合がある。様々な実施形態では、確定的関数の複数のパラメータは、インパルス信号の時刻位置及び大きさを含む。

40

【0072】

図4は、本発明のもう1つの実施形態に係る、分布を解析する際に解析プログラム106により実行されるステップを示すフローチャートである。ブロック402は、解析プログラム106が、各時間ピンにおける局所的な統計量を計算することによりジッタのヒストグラムを生成することを表す。ヒストグラムは、測定された複数の物理的なパラメータの分布に係る統計的な表現である。ピンのサイズは、与えられた分布に対して固定されていてもよく、あるいは可変であってもよい。数学的には、ヒストグラムは、測定されるパラ

50

メータに対して測定値の数がどのように変化するかを示す。ヒストグラムを生成するための一般的な手順は、１）測定装置１０２が信号パラメータ（例えば周期、周波数、デューティサイクルなど）を繰り返し測定して統計的サンプルを取得し、２）解析プログラム１０６がデータを降順（昇順）でソーティングし、３）解析プログラム１０６がピンのサイズを自動的に定義し、次いでピンの範囲内に入る測定値の合計の個数が累算され、４）測定される様々なパラメータに対する測定値の個数であるデータセット、すなわちヒストグラムが構成されてグラフにプロットされ得る、というものである。本実施形態はヒストグラムについて説明しているが、本発明はいかなる種類の分布に対しても適用可能である。例としては、時間に対する振幅（波形）、周波数に対する振幅（スペクトル）、時間に対する時間（ジッタ時間関数）、周波数に対する時間（ジッタのスペクトル）がある。

10

【００７３】

ブロック４０４は、解析プログラム１０６が１次及び２次の導関数を用いた方法によりヒストグラムの複数の裾部を検索して決定することを表す。裾部は、分布の孤立した任意の領域において発見されることが可能である。例示的な実施形態では、裾部の分布は、ヒストグラムの最も左側の端部から始まり最初の極大に至る（又は、ヒストグラムの最後の極大から始まり、最も右側の端部で終わる）。さらなる情報は、米国特許第６，２９８，３１５号の明細書に記載されている。

【００７４】

ブロック４０６は、解析プログラム１０６が χ^2 （カイ２乗）の方法を開始してヒストグラム分布の複数の裾部をあてはめる（フィッティングする）ことを表す。 χ^2 は、次式で定義される。

20

【００７５】

【数１０】

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{y_{\text{mod}} - y_i}{\Delta y_i} \right)^2 \quad (9)$$

【００７６】

ここで、 y_{mod} は、次式で定義されるモデルの期待値である。

30

【００７７】

【数１１】

$$y_{\text{mod}} = y_{\text{max}} e^{-\left(\frac{x-\mu}{\sqrt{2}\sigma} \right)^2} \quad (10)$$

【００７８】

ここで、 y_{max} はガウス関数の最大値であり、 μ は平均値であり、 σ は標準偏差である。これらは、あてはめのパラメータである。 x_i 及び y_i は、分布を合成するデータに対する（ヒストグラムの場合、 x_i は測定されたパラメータであり、 y_i は x_i に対応する累算されたイベントである。）。 y_i は、 y_i データの誤差である。最良のあてはめのパラメータは、 χ^2 を最小化することによって得られる。 y_{mod} は、任意のかつて関数であることが可能である。 χ^2 は、誤差及び統計的な変動にされされる測定値を用いて、正確なモデルのパラメータを導出して提供する。

40

【００７９】

ブロック４０８は、解析プログラム１０６がガウス分布の複数のパラメータを取得することを表す。パラメータ μ 及び σ は、分布の第１（左）の裾部及び第２（右）の裾部に対して取得される。

【００８０】

50

ブロック 4 1 0 は、解析プログラム 1 0 6 が R J の P D F を生成することを表す。

【 0 0 8 1 】

ブロック 4 1 2 は、解析プログラム 1 0 6 が逆問題を解くことによって確定的成分の P D F を取得することを表す。ある実施形態では、逆問題を解くために直接的な時間領域法が使用される。当業者は、本発明の範囲を逸脱することなく他の方法も使用可能であるということを認識するであろう。例えば、上で議論されたものと同様の最適化アプローチを使用可能である。

【 0 0 8 2 】

P_{DJ} が有限長の N を有し、かつ P_{RJ} が有限長の M ($M > N$) を有する場合、 P_{TJ} は有限長の $N + M - 1$ を有する。明らかに、確定的成分のピーク間の値を表すために、 $N \times$ 単位間隔 (UI) が使用可能である。単一のガウス分布を有する RJ の P D F を仮定するとき、式 (3) を単に次式で書き直すことが可能である。

【 0 0 8 3 】

【 数 1 2 】

$$P_{TJ}(l) = t(l) = \sum_{n=1}^N d(n) P_{RJ}(l-n) = \sum_{n=1}^N d(n) g(l-n) \quad (12)$$

【 0 0 8 4 】

この式の行列形式を次式で書き表すことができる。

【 0 0 8 5 】

【 数 1 】

$$t = G d \quad (13)$$

【 0 0 8 6 】

すなわち、次式が成り立つ。

【 0 0 8 7 】

【 数 1 3 】

$$\begin{bmatrix} t(1) \\ t(2) \\ t(3) \\ \vdots \\ t(L) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overbrace{g(1) \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0}^{L \times N} \\ g(2) \quad g(1) \quad 0 \quad \dots \quad 0 \\ g(3) \quad g(2) \quad g(1) \quad \dots \quad 0 \\ \vdots \\ g(N) \quad g(N-1) \quad g(N-2) \quad \dots \quad g(1) \\ g(N+1) \quad g(N) \quad g(N-1) \quad \dots \quad g(2) \\ \vdots \\ g(M) \quad g(M-1) \quad g(M-2) \quad \dots \quad g(M-N+1) \\ 0 \quad g(M) \quad g(M-1) \quad \dots \quad g(M-N+2) \\ \vdots \\ 0 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad g(M) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d(1) \\ d(2) \\ d(3) \\ \vdots \\ d(N) \end{bmatrix} \quad (14)$$

【 0 0 8 8 】

これで、われわれは、 L を $N + N - 1$ に等しくなるように選択し、このとき、式 (1 4) は過剰決定問題を表す。行列 G はテプリッツ行列であり、また、式 (1 3) からは、行列 G がランダム成分の P D F によって決定されるということが明らかである。

【 0 0 8 9 】

本発明に係る一実施形態では、畳み込みの、線形方程式での定式化が使用可能である。確定的成分に対する P D F の推定値を、式 (1 4) を解くことによって得ることができる。

【 0 0 9 0 】

行列 G の性質は、この問題を解く際に、特に、次式を満たす逆行列 G^{-1} が存在するかどうかを解決する際に重要である。

【 0 0 9 1 】

[数 2]

$$G^{-1} G = I \quad (15)$$

10

【 0 0 9 2 】

ここで、I は対角成分のみの単位行列であり、よって、式 (1 3) の真の解、すなわち次式の d を得ることができる。

【 0 0 9 3 】

[数 3]

$$d = G^{-1} t \quad (16)$$

【 0 0 9 4 】

しかしながら、G の逆行列が常に存在するという事実をあてにすることは非現実的であり、またおそらくは、行列 G は、仮に特異でないにしても悪い条件下にある (ill conditioned) 。行列 G が逆行列を有するか否かを考慮することなく、簡単な擬似逆行列を用いたアプローチが使用可能である。

【 0 0 9 5 】

L × N 行列 G が与えられた場合、G の擬似逆行列である N × L 行列 G^+ を定義することにする。($G' G$) の逆行列が存在するものと仮定すると、 G^+ は次式で与えられる。

【 0 0 9 6 】

[数 4]

$$G^+ = (G' G)^{-1} G' \quad (17)$$

【 0 0 9 7 】

ここで、 G' は G の転置行列である。われわれは、式 (7) の最小 2 乗解である次式の d^+ を得ることができる。

30

【 0 0 9 8 】

[数 5]

$$d^+ = G^+ t \quad (18)$$

【 0 0 9 9 】

すなわち、 d^+ は d を制御することによって、次式を満たす。

【 0 1 0 0 】

[数 1 4]

$$\min_d \|t - Gd\| \quad (19)$$

40

【 0 1 0 1 】

擬似逆行列は、ムーア・ペンローズ (Moore-Penrose) の一般化された逆行列とも呼ばれる。式 (1 8) は式 (1 3) の最もよく近似された解であり、この解は、最短の最小 2 乗解、最小ノルムの最小 2 乗解、又は最小フロベニウス (ユークリッド) ノルム解とも呼ばれる。

【 0 1 0 2 】

G の逆行列が存在する場合には、擬似逆行列は、逆行列を直に計算するための不経済な方法というだけにすぎず、すなわちこの場合、結論を言えば、 G^{-1} を計算するために依然として擬似逆行列が使用可能である。これに対して、逆行列 G が存在しない場合、われ

50

われは、 G^{-1} の特性のすべてではないがいく分かを有する G^{+} を常に得ることができる。

【0103】

($G^{+}G$) は自己相関行列であり、悪い条件下にある可能性がある。いくつかの実施形態では、当該技術における通常の技能を有する者に知られたように、解を安定化させるために行列の対角成分に白色ノイズを付加することが可能である。ある実施形態では、自己相関行列 ($G^{+}G$) の対角成分の値の 1% に等しい定数 () が、逆行列を計算する前に対角成分の各々に付加される。

【0104】

測定値にノイズが存在しない場合にのみ、式 (18) は、安定した解を得るために利用可能である。われわれは、上述のアルゴリズムを用いる前にノイズを低減するために T J の P D F の未処理データを予め処理すべきであるということ、例えば以下の例で説明するような部分空間でのノイズ低減を提案する。さらなる情報に関しては、文献として、例えば、ケー・ヘルムス、アイ・ドログロウ、ピー・ワムバック及びディー・バイ・コンパルノル、「頑健な音声認識のための完全適応型の S V D に基づくノイズ除去」、ユーロスピーチ 99 講演論文集、ハンガリー、ブダペスト、1999 年 9 月、第 V 巻、1951 - 1954 ページ ("Fully Adaptive SVD-based noise removal for robust speech recognition," K Hermus, I Dologlou, P Wambacq and DV Compernelle, Proc. EuroSpeech 99, Vol. V, Budapest, Hungary, Sept., 1999, pages: 1951-1954) と、ティーケー・ムーン及びダブリューシー・スターリング、「信号処理の数学的方法とアルゴリズム」、プレントイスホール、ニュージャージー州アッパーサドルリバー 07458、2000 年 (Mathematical Methods and Algorithms for Signal Processing, TK Moon and WC Stirling, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, 2000) とを参照されたい。

【0105】

図 7 は、ジッタの例におけるノイズのない場合での確定的成分に対する P D F の決定を示す。プロット 700 は、元の D J の P D F と、擬似逆行列を用いて復元された D J の P D F とを示すが、これらは見分けがつかない。プロット 702 は、安定化後の復元された P D F を示す。プロット 704 は、ランダム成分に対する単一のガウス分布を有する P D F を示す。プロット 706 は T J の P D F を示す。

【0106】

図 8 は、ノイズのある場合における確定的成分に対する P D F の決定を示す。プロット 800 は、確定的成分に対する元の P D F を表す。プロット 802 は、安定化後の復元された D J の P D F を示す。プロット 804 は、ノイズのない T J の P D F を示す。プロット 806 は、ノイズ低減を用いた場合の T J の P D F を示す。プロット 808 は、ノイズのある T J の P D F を示す。

【0107】

ノイズは、モンテカルロ法に基づき、乱数発生器を用いて発生されることが可能であり、これは、ゼロの平均値と、最大の組み合わせられた P D F の 10% の標準偏差とを有する。ノイズ低減アルゴリズムを用いるためには、まずノイズの分散が評価される必要がある。本実施形態では、この評価は、裾部でのあてはめ (tailfit) が行われたセグメントからのデータを用いて実行される。

【0108】

図 5 は、本発明のもう 1 つの実施形態に係る、分布を解析する際に解析プログラム 106 により実行されるステップを示すフローチャートである。ブロック 500 は、解析プログラム 106 が測定装置 102 からデータを収集することを表す。データは、物理的なものに基づいていてもよく、あるいはモデル化されたものに基づいていてもよい。

【0109】

ブロック 502 は、確率密度関数 (P D F) が分布を定義するように、解析プログラム 106 がデータに基づいて当該確率密度関数 (P D F) を生成することを表す。P D F は、複数の確定的関数と複数のランダム関数の畳み込みである。本実施形態では、確定的関

10

20

30

40

50

数は既知のパラメータを有する。いくつかの実施形態では、確定的パラメータは、インパルス信号の時刻位置及び大きさを含むことが可能である。

【0110】

ブロック504は、解析プログラム106が、逆畳み込み演算処理を用いることにより、既知の確定的関数の複数のパラメータに基づいてランダム関数の複数のパラメータを決定することを表す。

【0111】

上述の図面は、本発明の方法を実行するように実装され得るプログラムステップの方法論、ルーチン及び/又は論理フローを表すということが理解されるであろう。他のプログラミングステップが含まれることも可能であり、このような特定の論理フローは好適なルーチンを例示するものとして意図されている。

10

【0112】

時間のジッタを解析することに関して本発明を説明してきたが、添付の請求の範囲において定義されている本発明は、必ずしもここに記載したジッタの例に限定されないということが理解されるべきである。例として、電圧、空間、圧力、温度、速度、電流、周波数、波長、電力、エネルギー及び財務上の量を含むがこれらに限定されない他の測定可能な量が解析されることも可能である。

【0113】

上述の様々な実施形態は例示としてのみ提示されたものであり、本発明を限定するものとして解釈されるべきではない。当業者は、ここに図示されかつ記載された例示的な実施形態及びアプリケーションに従うことなくかつ本発明の真の精神及び範囲を逸脱することなく本発明に対して行われ得る様々な変更及び変形を容易に認識するであろう。

20

【図面の簡単な説明】

【0114】

【図1】本発明の一実施形態に係る信号解析システムの代表的なハードウェア環境を例示的に示す図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る、逆畳み込み演算処理を用いて確定的モデルのパラメータ及びランダムモデルのパラメータを決定する解析プログラムによって実行されるステップを示すフローチャートである。

【図3】本発明のもう1つの実施形態に係る、解析プログラムにより分布を解析する際に実行されるステップを示すフローチャートである。

30

【図4】本発明のもう1つの実施形態に係る、解析プログラムにより分布を解析する際に実行されるステップを示すフローチャートである。

【図5】本発明のもう1つの実施形態に係る、解析プログラムにより分布を解析する際に実行されるステップを示すフローチャートである。

【図6】逆畳み込み演算処理を用いるときに解析プログラムにより実行されるステップを表すブロック図である。

【図7】ノイズのない場合における確定的成分のPDFの決定を示す図である。

【図8】ノイズのある場合における確定的成分のPDFの決定を示す図である。

【図9】本発明の一実施形態に係る、合計で7個の確定的モデルのパラメータ及びランダムモデルのパラメータを有する分布を示す図である。

40

【符号の説明】

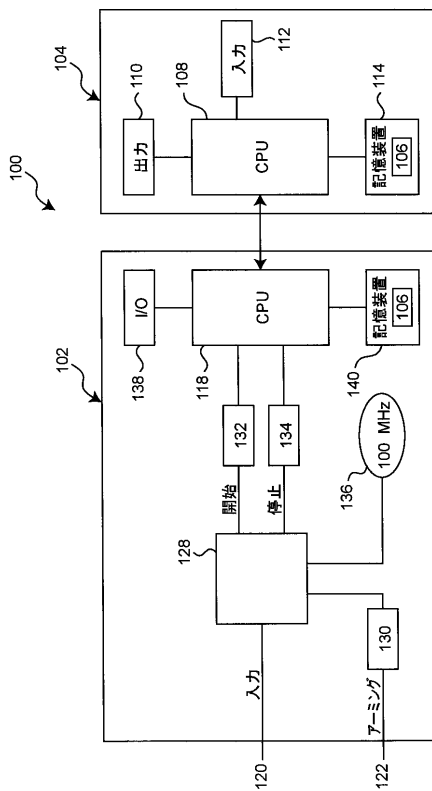
【0115】

100 ... 信号解析システム、
102 ... 測定装置、
104 ... ワークステーション、
106 ... 解析プログラム、
108 ... プロセッサ、
110 ... 出力装置、
112 ... 入力装置、

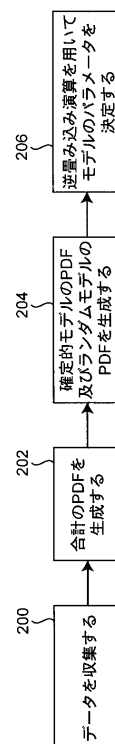
50

- 1 1 4 ... データ記憶装置、
- 1 1 8 ... C P U、
- 1 2 0 , 1 2 2 ... アーミング / イネーブル制御、
- 1 2 8 , 1 3 0 , 1 3 2 ... カウンタ / 複数の補間器、
- 1 3 4 ... マルチプレクサ、
- 1 3 6 ... クロック、
- 1 3 8 ... I / O、
- 1 4 0 ... メモリ。

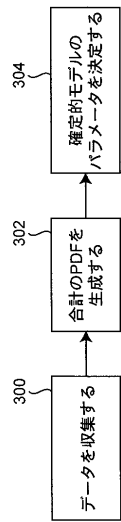
【図 1】



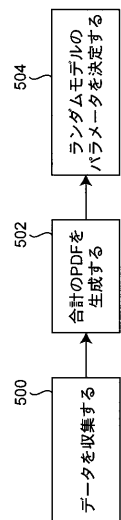
【図 2】



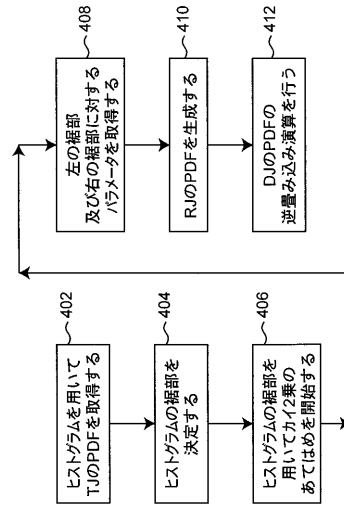
【図 3】



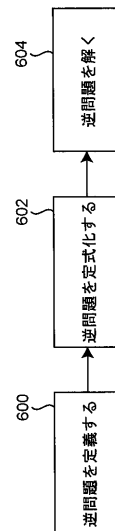
【図 5】



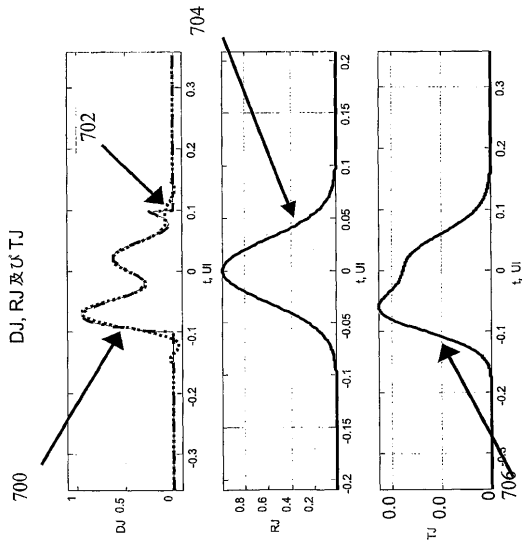
【図 4】



【図 6】



【 図 7 】



【 図 8 】

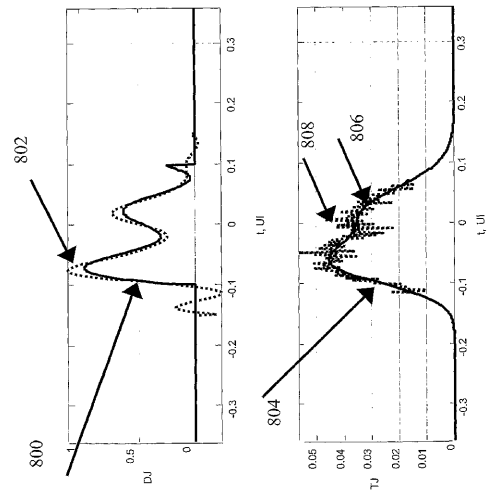


FIG. 8

【 図 9 】

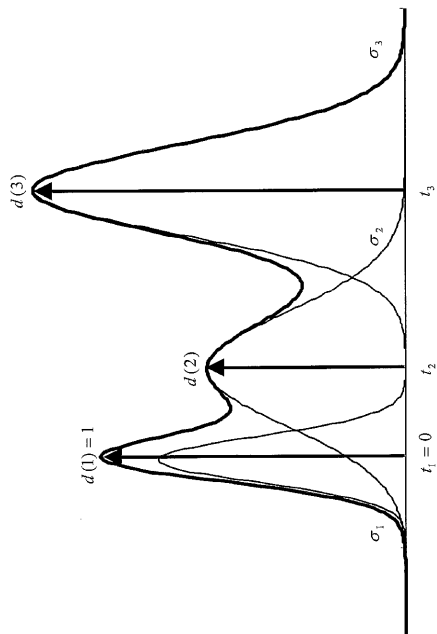
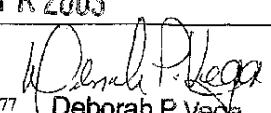


FIG. 9

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US02/39827
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC(7) : G06F 101/14 US CL : 702/181 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 702/181,57,58,65,66,67,182,183,128,69,70,for108,110,114,134,135,137,164,166; 700/51,52,93; 375/130,226,355,356,371		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) East Search		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	2003/0004664 A (Ward et al) 02 January 2003 (02.01.2003), Paragraphs 0003,0007,0026,0028, and 0036.	1-5, 8, 9, 32-36, 39, 40, 63-67, 70, and 71
A	US 2001/0036288 A (Skafidas et al) 01 November 2001 (01.11.2001), paragraphs 0056-0063.	6, 7, 37, 38, 68, and 69
A	US 2002/0003843 A (Martone) 10 January 2002 (10.01.2002), paragraph 0070.	10-14, 17-19, 21-25, 28-30, 41-45, 48-50, 52-56, 59-61, 72-76, 79-81, 83-87, and 90-92
A	US 6,028,895 (Dinsel et al) 22 February 2000 (22.02.2000), col. 1, line 38 to col. 2, line 29.	20, 31, 51, 62, 82, and 93
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 10 February 2003 (10.02.2003)		Date of mailing of the international search report 10 APR 2003
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703)305-3230		Authorized officer Marc S. Hoff Telephone No. (703)308-1677  Deborah P. Vega

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

Paralegal Specialist
Technology Center 2800
(703) 308-3078

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ, GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE, ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,M Z,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(特許庁注：以下のものは登録商標)

ペンティアム

P E N T I U M

フロッピー

ウィンドウズ

(72)発明者 ペン・リ

アメリカ合衆国 9 4 3 0 3 カリフォルニア州パロ・アルト、コロラド・アベニュー 8 6 6 番

(72)発明者 ジャン・ブライアン・ウィルストラップ

アメリカ合衆国 5 5 1 1 2 ミネソタ州マウンズ・ビュー、ボナ・ロード 7 8 5 7 番

Fターム(参考) 5B056 BB64 HH01

5K035 AA03 BB01 DD01 EE01 MM01