

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4846954号
(P4846954)

(45) 発行日 平成23年12月28日 (2011.12.28)

(24) 登録日 平成23年10月21日 (2011.10.21)

(51) Int.Cl.

F I

G O 5 B 23/02 (2006.01)

G O 5 B 23/02 P

H O 4 B 17/00 (2006.01)

H O 4 B 17/00 Z

請求項の数 26 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2001-566282 (P2001-566282)	(73) 特許権者	502327355
(86) (22) 出願日	平成13年3月9日 (2001.3.9)		スマートシグナル・コーポレーション
(65) 公表番号	特表2003-526859 (P2003-526859A)		アメリカ合衆国、イリノイ州 60532
(43) 公表日	平成15年9月9日 (2003.9.9)		リースル、スウィート 300、ワレン
(86) 国際出願番号	PCT/US2001/007490		ビル・ロード 901
(87) 国際公開番号	W02001/067623	(74) 代理人	100084618
(87) 国際公開日	平成13年9月13日 (2001.9.13)		弁理士 村松 貞男
審査請求日	平成20年2月26日 (2008.2.26)	(74) 代理人	100092196
(31) 優先権主張番号	60/187, 949		弁理士 橋本 良郎
(32) 優先日	平成12年3月9日 (2000.3.9)	(74) 代理人	100095441
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 白根 俊郎
(31) 優先権主張番号	09/800, 977	(72) 発明者	ウェガリッチ、ステファン・ダブリュ
(32) 優先日	平成13年3月8日 (2001.3.8)		アメリカ合衆国、イリノイ州 60139
(33) 優先権主張国	米国 (US)		グレンデイル・ハイツ、ゴルフビュー・
			ドライブ 133
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複雑な信号の分解およびモデリング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

システムの動作状態を監視する装置において、
システムの動作を特徴付ける時間的に変化する信号を捕捉するセンサ手段と、
前記時間的に変化する信号を複数の実際のコンポーネント値へ分解する手段と、
既知の動作状態に対する基準コンポーネント値の複数の基準スナップショットであって、
各基準スナップショットが複数の基準コンポーネント値を備えている、複数の基準スナ
ップショットを記憶するメモリと、
前記分解する手段に応答し、推定コンポーネント値を計算するために実際のコンポーネ
ント値と基準コンポーネント値との両者を用いた計算を行なう、用例ベースの多変数実験
的モデル化エンジンを使用して、推定コンポーネント値を生成するように配置されたプロ
セッサ手段と、
システムのずれた動作状態を決定するために、推定コンポーネント値と、対応する実際の
コンポーネント値との差を計算することによって残余値を生成する手段と、
を具備している装置。

【請求項 2】

前記分解する手段は前記実際のコンポーネント値を与えるように時間的に変化する信号
を係数に分解するためにウェーブレット解析を使用する請求項 1 記載の装置。

【請求項 3】

前記分解する手段は、前記実際のコンポーネント値を与えるように、時間的に変化する

信号の複数の周波数範囲のそれぞれにおけるパワーの測度を生成する請求項 1 記載の装置。

【請求項 4】

前記プロセッサ手段は、さらに前記システムのずれた動作状態を決定するために少なくとも 1 つの前記残余値をしきい値に対して比較する請求項 1 記載の装置。

【請求項 5】

前記プロセッサ手段はさらに、システムのずれた動作状態を決定するために少なくとも 1 つの前記残余値の連続的な値において逐次的確率比テストを行う請求項 1 記載の装置。

【請求項 6】

前記センサ手段は、前記システムの振動を測定する請求項 1 記載の装置。

10

【請求項 7】

前記センサ手段は、前記システムにより放出される音響エネルギーを測定する請求項 1 記載の装置。

【請求項 8】

前記センサ手段は、前記システムで使用される電流を測定する請求項 1 記載の装置。

【請求項 9】

前記センサ手段は心電図を測定し、前記システムは心臓である請求項 1 記載の装置。

【請求項 10】

前記用例ベースの多変数実験的モデル化エンジンは、推定コンポーネント値を生成する計算において類似性演算を使用する請求項 1 記載の装置。

20

【請求項 11】

前記用例ベースの多変数実験的モデル化エンジンは、

【数 1 a】

\bar{y}_{input} は前記複数の実際のコンポーネント値のベクトルであり、

D は前記基準スナップショットのマトリックスであり、

⊗ は前記類似性の演算である場合に、

$$\bar{y}_{expected} = D \cdot (D^T \otimes D)^{-1} \cdot (D^T \otimes \bar{y}_{input})$$

30

にしたがって、推定コンポーネント値の推定スナップショット $\bar{y}_{expected}$ を生成す

る、

請求項 10 記載の装置。

【請求項 12】

ずれの決定に応答して、監視されるシステムの動作状態の診断を生成する診断装置をさらに具備している請求項 11 記載の装置。

40

【請求項 13】

システムの動作状態を監視する方法において、

システムの動作を特徴付ける時間的に変化する信号を捕捉するステップと、

前記時間的に変化する信号から得られた実際のコンポーネント値を有する多変数の実際の観察値であって、各実際の観察値は複数の実際のコンポーネント値を含んでいる、多変数の実際の観察値を周期的に抽出するステップと、

前記システムの許容可能な動作の特性と基準コンポーネント値とからなる多変数の基準観察値のライブラリに記憶されている基準コンポーネント値と、実際のコンポーネント値

50

との両者を使用する計算を行なう、用例ベースの多変数実験的モデル化エンジンを使用して、前記実際の観察値における実際のコンポーネント値のうちの少なくとも1つに対する推定コンポーネント値を生成するステップと、

前記監視されているシステムのずれた動作状態を決定するために使用される少なくとも1つの残余値を生成するように、前記推定コンポーネント値のうちの少なくとも1つと、前記実際の観察値の対応する抽出された実際のコンポーネント値との差を計算するステップとを含む、方法。

【請求項14】

前記抽出するステップは、前記実際のコンポーネント値として時間的に変化する信号から係数を導出するためにウェーブレット解析を使用する請求項13記載の方法。

10

【請求項15】

前記抽出するステップは、前記コンポーネント値を導出するために時間的に変化する信号の複数の周波数範囲の各々におけるパワーの測度を生成するステップを含んでいる請求項13記載の方法。

【請求項16】

さらに前記残余値がしきい値を超えるか否かを決定するステップを含んでいる請求項13記載の方法。

【請求項17】

さらに前記残余値に対して逐次的確率比テストを行うステップを含んでいる請求項13記載の方法。

20

【請求項18】

前記時間的に変化する信号は、前記システムの振動の測度である請求項13記載の方法。

【請求項19】

前記時間的に変化する信号は、前記システムにより放出される音響エネルギーの測度である請求項13記載の方法。

【請求項20】

前記時間的に変化する信号は、前記システムで使用される電流の測度である請求項13記載の方法。

【請求項21】

30

前記時間的に変化する信号は心電図であり、前記システムは心臓である請求項13記載の方法。

【請求項22】

前記用例ベースの多変数実験的モデル化エンジンは、推定コンポーネント値を生成する計算において類似性演算を使用する請求項13記載の方法。

【請求項23】

前記用例ベースの多変数実験的モデル化エンジンは、

【数 1 b】

\bar{y}_{input} は前記複数の実際のコンポーネント値のベクトル(又は観察値)であり、

Dは前記基準観察値のマトリックスであり、

⊗は前記類似性の演算である場合に、

$$\bar{y}_{expected} = D \cdot (D^T \otimes D)^{-1} \cdot (D^T \otimes \bar{y}_{input})$$

10

にしたがって、推定コンポーネント値の推定観察値 $\bar{y}_{expected}$ を生成する、

請求項 2 2 記載の方法。

【請求項 2 4】

さらに、前記差を計算するステップに応答して前記監視されるシステムの状態を診断するステップを含んでいる請求項 2 3 記載の方法。

【請求項 2 5】

各スナップショットは、同じ瞬間を表わす 2 以上のコンポーネント値を含む、請求項 1 記載の装置。

20

【請求項 2 6】

各観察値は、同じ瞬間を表わす 2 以上のコンポーネント値を含む、請求項 1 3 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、特に複雑または周期的な信号を使用するモデリングおよび監視のプロセスに関し、さらに任意のマシン、プロセスまたは信号の動作状態の監視に使用するための複雑な信号の分解、モデリング、分類に関する。特に、複雑な信号は健康監視または情報の修正のために本発明を使用して分類されることができる。

30

【0002】

【従来の技術】

よく知られた一般的なモデリング(モデル化)および解析方法は、装置またはプロセス、通常は“システム”を監視するために動作システムパラメータを測定する幾つかのセンサを使用する。センサからの関連する信号はシステムが機能している態様を理解するために直接観察されることができる。その代わりに、無人のオペレーションでは、自動化された方法で記憶されたまたは予め定められたしきい値に対して実時間センサ信号を比較する方法がよく知られている。信号がこれらのしきい値を超えたとき、例外状態または警報が発生され、したがってセンサのデータ値が対応するしきい値を超えたときしか人間の介入を必要としない。このような方法はセンサの瞬時値と、システムの現在状態を示す他のパラメータを使用することに注目しているが、センサ信号でロックされている時間ドメイン情報を利用しない。システムを良好に監視し、(多数の許容可能な状態の中で)システムの動作状態を決定するためにこのような時間ドメイン情報を利用することが有効である。

40

【0003】

振動解析の分野では、回転または循環装置を監視する手段を与えるために加速度計からのパワースペクトル密度関数または音響ピックアップを検査する方法が知られている。典型的に、関係する周波数が検査され、しきい値(下限または上限)がこれらの周波数に対して予測されるパワーレベルに設定される。しきい値が突破されるならば、これは不適切な動作状態または問題の発生を示している。この方法で監視される装置の各特定のピースに

50

対して関係する周波数および予測されるパワーレベルを識別するために多くの作業が含まれる。問題の診断も典型的に特定の問題の出現によって与えられる指示の種類に非常に特有であり、各マシンに対して特別に解決されなければならない。1以上の振動または音響信号に基づいて、健康またはマシンの動作状態を決定する実験的なデータ駆動方法を有することが有効である。

【0004】

異なる技術領域では、ケーブル（例えばCat.5、同軸ケーブル等）または無線送信（例えば放送、デジタル通信、IEEE 802.11bインターフェース）によるデジタルデータの送信がアナログ搬送波信号の変調により頻繁に行われる。さらに、データ送信速度を改良するために、送信されるデータは圧縮され、典型的に正弦波エンコード2進データとして波の位相および振幅において送信信号搬送波へコード化される。現在、よく知られたデータエンコードおよび送信技術には直交振幅変調（QAM）およびディスクリートなマルチトーン（DMT）が含まれている。このようなコード化されたデータを抽出するよく知られた方法は周波数濾波、信号分解、ウェーブレット解析を含んでいる。

10

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、送信中、これらのタイプの信号は例えば雑音または伝送媒体の劣化により減衰および干渉を受ける可能性がある。幾つかのケースでは、雑音および信号劣化はもとの送信された信号を抹消するのに十分であり、従来技術を使用してここでコード化されたデータを抽出することを不可能にする。したがって雑音または劣化が高いとき、受信される雑音および/または減衰された信号から意味のある信号を再構成できることが必要である。これは特に、減衰された信号が最も似ている有限のデータグラムセットを決定することに相当する。もとの信号を抽出するために単一の複雑な信号に対して信号解析方法を行うことが必要とされる。

20

【0006】

技術で知られている1つの実験的なモデルベースの監視技術はGrossの米国特許第5,764,509号明細書に記載されており、この明細書はここで参考文献とされる。この技術では、物理的に相関されているパラメータを測定する多数のセンサ信号はこれらの値の推定値を与えるために実験的な技術でモデル化される。推定値と、センサからの実際値との不一致はプロセスまたはマシンの故障またはセンサの故障の発生を示している。モデルは既知の動作状態を表しているセンサ値の選択された経歴的スナップショットの基準ライブラリを使用して推定値を発生する。しかしながら、そこで説明されている実施形態はセンサ信号中の時間ドメイン情報を使用せず、代わりに、異なるおよび切断された同時性のスナップショットのデータを通常処理する。時間ドメイン情報と共に使用するGross等の実験的モデリングの種類を与えることが有効である。Gross等のような多変数モデリングシステムへの入力として複雑な信号を使用する方法も必要とされる。

30

【0007】

時間ドメイン情報が1以上のセンサ、または計装されたプロセスまたはマシンから検出されたパラメータ信号でロックされる場合、1以上の許容可能で識別可能な動作状態に対する時間ドメイン信号によりプロセスまたはマシンをモデル化し、これらの状態を近似する第1の原理の式に到達するために多量の時間と労力を注ぎ込まずにこれを行う方法が必要とされる。さらに、複雑な信号に基づいてシステムの動作状態をカテゴリ化または分類する方法も必要とされる。

40

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明は複雑な信号分解技術と組合わせて実験的モデル化エンジンを使用し、少なくとも1つの単一の複雑な信号から多変数情報を抽出することによって前述の要件を実現する。抽出されたコンポーネントは実験的モデル化エンジンへ個々の入力として与えられる。実験的モデル化エンジンは、実際のまたは発生した信号についてまたは信号を発生するシステム状態についてのさらに多くの情報を得るために抽出されたコンポーネント入力を予測

50

値に対して比較する。

【 0 0 0 9 】

時間的に変化する電気信号（例えば心電図）のような複雑な信号またはパラメータは帯域ノッチ濾波、ウェーブレット解析またはその他の手段により多数の関連する信号に分解される。多数の信号は基本的に実験的モデル化エンジンへの多変数入力を形成し、これはその入力に応答して信号推定値を発生する。モデル化エンジンは推定値を発生するために、従来知られた多変数スナップショットの記憶された基準セットを使用する。推定値と実際の信号はそれらの間の偏差を検出するために感知統計テストで比較され、認識されていない動作状態を示す。代わりに、実験的モデル化エンジンは最も入力に類似している基準セットスナップショットを決定するために多変数入力スナップショットを基準セットの
10
スナップショットと比較する。最高の類似性を有する記憶された基準スナップショットに
関係する分類は入力の分類として選択され、複雑な信号により表される動作状態はしたが
って基準セットで表されるこのような既知の状態の有限セットから決定される。したがっ
て、カテゴリ化される複雑な信号を与えるシステムの動作状態だけでなく、デジタルデー
タ送信のために劣化したエンコード搬送波からオリジナルデータグラムが再構成されるこ
とができ、それによってより大きな範囲と正確性を与える。

【 0 0 1 0 】

簡単に要約すると、本発明はコンピュータまたは他のプロセッサで実行され、実験的
な過去の観察から決定された関連する信号値および関連する分類または状態のスナップシ
ョットの基準セットを記憶するメモリを有する。入力手段はデータバス、メッセージング
ネットワークまたは直接データ獲得装置である。プロセッサは推定値を計算するように構
成され、差を決定するためにこれらを実際の入力と比較し、または代わりにその入力に対
して最高の類似性を有する基準セットから分類を選択するように構成される。分類または
20
差の検出はスクリーンまたはデータファイルへ出力されることができ、ページングメッセ
ージ、eメールまたはファックスを送信するために使用され、または同一のコンピュータ
またはネットワークまたはバス接続を共有する別のコンピュータ処理システムのデータ処
理アプリケーションへダウンロードするために利用できるようにする。

【 0 0 1 1 】

【発明の実施の形態】

本発明のすぐれた特徴は特許請求の範囲に記載されている。しかしながら、本発明自体は
30
好ましい使用モードと、さらにその目的および利点と共に、添付図面を伴った実施形態の
以下の詳細な説明を参照して最良に理解されよう。

図面を参照すると、図1は本発明の好ましい実施形態の信号分解およびモデリングシステ
ム100を示しており、これは信号受信機108、信号分解モジュール102、基準ライブラリ
104、実験的モデル化エンジン106を含んでいる。信号受信機108は複素数信号等の複雑
な信号を信号分解モジュール102へ与え、信号分解モジュール102は信号を複数の相関さ
れたコンポーネント信号へ変換する。実験的モデル化エンジン106は複数の入力を受信す
るように配置され、分類情報を実施するデータのセットまたは基準ライブラリ104に記憶
されている既知の動作情報を参照にして、そこから得られた複雑な信号およびシステムに
40
ついての指示を出力する。

【 0 0 1 2 】

システム100はシステム、システム動作またはシステムで実行されるプロセスから得られ
た自然発生した、または適切な受信機108により信号分解およびモデル化システム100で
受信された自然または人工的な任意の複雑な信号への応用を有する。特に、複雑な信号は
例えば生物学的プロセスまたはシステムを含んでいるシステム、プロセスまたはマシンの
物理的なパラメータを表わすものであってもよい。特に、複雑な信号は心臓を監視する心
電図の信号、電気モータのパワー抽出の電流シグネチャ、金属スタンピングマシンからの
圧力トランスデューサ信号等である。さらに複雑な信号は、例えば直交振幅変調（QAM）
またはディスクリットなマルチトーン（DMT）送信等の通信送信から情報がエンコー
ダされた送信搬送波信号であっててもよい。前述の複雑な信号の例は単なる例示として与え
50

られたものであり、本発明を限定することを意図するものではない。

【0013】

本発明はコンピュータソフトウェアにおいて実施されることが好ましく、これは例えばハードディスク、コンパクトディスク(CD)、読取り専用メモリ(ROM)、フロッピーディスク、デジタル多能性ディスクRom(DVD-ROM)等のコンピュータ記憶媒体に含まれてもよい。本発明はまた基準ライブラリの記憶に利用可能な記憶装置によりマイクロプロセッサまたはマイクロ制御装置に構成またはそこで実行されることができる。本発明のシステム、方法、プログラムプロダクトは実時間で製造プロセスを監視し、または監視されたプロセスまたはその他の装置の動作状態についての情報を含む複雑な信号を検出する器機を備えている装置から受信された信号とを監視するために使用されることができる。本発明はまた例えば雑音があるか非常に劣化されている通信伝送信号から情報を抽出するためにも使用されることができる。さらに、本発明は例えば株式市場データまたは他の財務データのような複雑なデータ流の状態を評価するのに応用されてもよい。さらに、本発明はまた心臓信号、脳波またはその他の重要な複雑な生物学的信号を監視し、分類するために応用されてもよい。

10

【0014】

受信機108の複雑な信号は実時間ソースから捕捉され、またはデータファイル中に記憶されたフレームとして捕捉される。例えば複雑な信号はプロセスまたは装置ピースの単一の物理的パラメータを監視している加速度計または音響ピックアップ装置により発生されてもよい。複雑な波形は装置のピースの振動または運動の動作についての情報を含んでもよい。実時間ソースはデータ捕捉カードであるか、またはフィールドバスのようなネットワークにわたってプロトコルとして実行されるメッセージングソケットを含むことができ、その場合、センサデータはアップストリーム処理によりネットワークのアクセス可能なデータソケットに変換される。信号は信号分解モジュール102中でデジタル化され、分解される。信号分解モジュール102は信号処理の技術で知られている任意の複数の適切な信号分解技術の1つを使用することができる。定期的に、複雑な信号はスナップショット Y_{input} を与えるために同期観察で抽出された1組の入力を形成する個々の信号成分に分解される。好ましくはウェーブレット解析が複雑な信号を分解するために使用される。代わりに、複雑な信号は各周波数フィルタの帯域通過内の個々の信号成分を抽出するために周波数フィルタを使用して分解されてもよい。信号は分解前または分解後のいずれかでデジタル化されてもよく、信号成分は分解のデジタル結果である。したがって、信号分解モジュール102の出力 Y_{input} は多数の相関された信号成分である。例えば1つの周波数フィルタからのこれらの相関された各成分は対応する周波数に対する係数、即ち入力ベクトル Y_{input} を形成する全ての周波数に対する係数として表されてもよい。

20

30

【0015】

基準ライブラリ104は通常、予測された信号成分値の特徴である過去のデータを含んでいる。この過去のデータは既知の状態で作動する実際のプロセスまたはマシンから得られた集められたデータから抽出されることができる。その代わりに、劣化されエンコードされた通信信号を修正する場合、基準ライブラリの過去のデータはアルゴリズムにより生成される例示的なデータグラムである。いずれの場合でも、基準ライブラリはそれぞれ類似した数のエレメントを含んでいる少なくとも複数のスナップショットまたはベクトルを含んでいる。各エレメントは複雑な信号を含むコンポーネント信号の値である。したがって、複雑な信号が周波数帯域フィルタを使用してモジュール102中で分解されるならば、所定のベクトルはこれらのコンポーネント信号の単一の観察で各コンポーネント周波数帯域信号の振幅を有する。複雑な信号がディスクリートなウェーブレット変換を使用して分解されるならば、基準セットベクトルは複数の代替の方法、即ち例えばベクトルエレメント値としてディスクリートなウェーブレット変換の選択されたレベルの係数を使用することによる方法で構成されることができる。いずれにせよ、本発明にしたがって、基準ライブラリは好ましくは少なくとも2つのエレメントを有するベクトルを含む。さらに、全てのベクトルは同一数のエレメントをもたなければならない。最後に、各ベクトルのエレメン

40

50

トは同一の対応するソースから来なければならず、例えば各ベクトルの第 1 のエレメントは第 1 のコンポーネント信号から来なければならず、第 2 のエレメントは常に第 2 のコンポーネント信号値であり、以下同様である。

【 0 0 1 6 】

典型的に、経歴的な信号成分値（シグネチャベクトル）は基準ライブラリ104 で（ここではDで示されている）マトリックス形態で維持される。各シグネチャベクトルは経歴マトリックスDの列（または行）であり、選択された期間における複雑な信号の先の分解を表し、即ち信号のスナップショットであり、複雑な信号を有する各コンポーネントのエントリを含んでいる（以下の説明を参照）。マトリックスDのエレメントのセットはここでは信号シグネチャセットと呼ばれる。基準ライブラリ104 の信号シグネチャセットのスナップショット（シグネチャベクトル）は典型的に公称上の信号から得られ、予測された複雑な信号の状態の表示である。

10

【 0 0 1 7 】

実験的モデル化モジュール106 は信号スナップショットまたはデータフレームとして分解された信号サンプル（即ち信号成分） Y_{input} を周期的に受信する。各スナップショット Y_{input} は基準ライブラリ104 のマトリックスDのデータスナップショットと比較される。実験的モデル化モジュール106 は分解モジュール102 から受信された現在の信号スナップショット Y_{input} を“類似性”について基準セットスナップショットと比較する。この“類似性”の測定は類似性演算子を使用して計算される。本発明によると、比較されるスナップショットまたはベクトル対に対する類似性演算は典型的にゼロと1の間に値を戻し、ゼロは非類似性を表し、1は完全に同一のスナップショットを表す。エレメントごとのベースで作用する類似性演算子の1クラスにしたがって、類似性測定は次式にしたがって計算される。

20

【 数 1 】

$$\vec{S} = \vec{D}^T \otimes \vec{Y}_{input} \quad (1)$$

ここでDはスナップショットの基準ライブラリセットであり、

Y_{input} は入力スナップショットであり、

30

Sは（ Y_{input} と基準スナップショットとのそれぞれの比較のための）

全てのスナップショットの類似性のベクトルであり、

類似性の演算は符号 \otimes により示される。

【 0 0 1 8 】

類似性の演算は、第 1 のオペランドの行と第 2 のオペランドの列の類似性または数値的な近似性の尺度を生成する種々の既知の演算子から選択されることができる。通常 2 つのマトリックスオペランドへ与えられるときの演算結果は類似性マトリックスであり、ここでは i 番目の行と j 番目の列の類似性の値は第 1 のオペランドの i 番目の行と、第 2 のオペランドの j 番目の列から決定される（前述のオペランドはベクトル Y_{input} でありただ 1 つの列を有する）。結果的なエレメント（i, j）はこれらの 2 つのベクトルの同一性の尺度である。本発明では、第 1 のオペランドの i 番目の行は通常、プロセスまたはマシンからの複雑な信号の所定の分解に対する一時的に関連されたコンポーネント値に対応するエレメントを有し、同じことは第 2 のオペランドの j 番目の列でも当てはまる。実効的に、類似性測定の結果のアレイは 1 つのオペランドの基準ベクトルと、他のオペランドの現在の入力ベクトルとの類似性を表している。

40

【 0 0 1 9 】

例示により説明すると、使用されることができる 1 つの類似性演算子はエレメント毎のベ

50

ースで2つのベクトル（ i 番目の行と j 番目の列）を比較する。対応するエレメント、即ちエレメント（ i, m ）とエレメント（ n, j ）ではなくエレメント（ i, m ）とエレメント（ m, j ）だけが比較される。それぞれのこのような比較では、類似性は2つの値のうちの大きい方の値により割算される2つのうちの小さい方の絶対値に等しい。値が同一ならば、類似性は1に等しく、値が非常に異なるならば、類似性はゼロに接近する。全てのエレメントの類似性が計算されるとき、2つのベクトルの全体的な類似性はエレメントの類似性の平均に等しい。エレメントの類似性の異なる統計的な組合わせはまた平均、例えば中央値の代わりに使用されることができる。

【0020】

本発明で使用されることのできる別の類似性演算子は米国特許第5,987,399号明細書に記載されているbounded area ratio test（BART）であり、この明細書は参考文献とされている。BARTは従来技術の類似性演算子であり、内角は2つの値の類似性を測定するために使用される。直角三角形は特定のコンポーネントに対する信号シグネチャセットの全てのスナップショットにわたる予測された大きさの範囲によって境界を定められているそれぞれの直角三角形のベース（斜辺）により各信号成分で形成される。直角の頂点は好ましくはその範囲の中点または平均を超える点および直角を形成する高さ h に位置され、直角の頂点は直角三角形の頂点である。システム監視中のそれぞれの比較では、BARTは2つの点 X_1 と X_0 をベースにマップし、一方の点は予測されたコンポーネント値を表し、第2の点は現在のコンポーネント値である。これらの2つの点はそれらの大きさにしたがって信号シグネチャセットの値の範囲内でベースに位置される。内部の比較角度

$$= \tan^{-1}(h/X_1) - \tan^{-1}(h/X_0) \quad (2)$$

内角は2つの値が類似性について比較される基礎であり、即ち同一の点は 0° 角度を生じ、完全に異なる点は直角を生じる。その後、 i 番目のエレメントの基本的な類似性は、

$$s_i = 1 - (\theta_i / (\pi/2)) \quad (3)$$

前述したように、基本的な類似性は統計的に平均されることができ、そうでなければ、本発明で説明されているように、1つのスナップショットと別のスナップショットとの全体的な類似性を生成するように統計的に処理される。

【0021】

本発明で使用されることができさらに別のクラスの類似性演算子は n 空間で1つのシグネチャベクトルと別のベクトルとの近似性を説明することを含んでおり、ここで n は監視されるプロセスまたはマシンの現在のスナップショットのベクトルの次元である。近似性が比較的近いならば、2つのベクトルの類似性は高く、一方、近似性が離れているかまたは大きいならば、類似性は減少し、最終的に消滅する。例示により、2つのベクトル間のユークリッド距離は類似性を決定するのに使用されることができる。例えば20のコンポーネントに分解される複雑な信号では、それぞれ基準ライブラリ中の20のエレメントベクトルを具備する現在監視されているスナップショット間の20次元空間におけるユークリッド距離は、以下示すように類似性の尺度を与える。

【数2】

$$S = \frac{1}{1 + \frac{\|\vec{x} - \vec{d}\|^2}{c}} \quad (4)$$

【0022】

ここで X は現在のスナップショットであり、 d は基準ライブラリからのベクトルであり、 c はユーザの選択可能な定数である。

【 0 0 2 3 】

特定の類似性演算子をここで説明したが、任意の通常の類似性演算子が本発明の実験的モデル化エンジンで使用されてもよいことを理解すべきである。図 1 の実験的モデル化エンジン106 の出力は、基準ライブラリベクトルと入力ベクトルとの各比較で生成される類似性の尺度に基づいた指示である。いくつかの変形について以下説明する。

【 0 0 2 4 】

図 2 を参照すると、初期故障、センサ故障または動作状態変化を検出するためのプロセスまたはマシンの動作を監視する本発明の実施形態が示されている。図 1 と同一のアイテムは同様にラベルを付けられている。実験的モデル化エンジン106 は、以下説明するように基準ライブラリ104 による類似性尺度に基づいて入力スナップショット Y_{input} に応答して、推定されたまたは予測された値のスナップショット $Y_{expected}$ を発生する。現在の分解されたスナップショット Y_{input} はコンポーネントの残り値を生成するために加算器110 において推定値 $Y_{expected}$ から減算される。分解されたスナップショット Y_{input} と予測されたスナップショット $Y_{expected}$ のコンポーネントが近いとき、残余は非常にゼロに近く、初期故障または状態変化がないことを示している。これらが異なるとき、残余はゼロではない。精巧な試験を使用するとき、この差は残余がシステムの雑音帯域内であっても確かめられることができる。試験モジュール112 は偏差が残余中で明瞭であるか否かを初期の決定可能な観察で決定するために残余を受信して試験するために与えられている。モデルの各コンポーネント信号には通常 1 つの残余が存在する。コンポーネント信号の予測された値と実際の値の差の指示は、受信機108 への複雑な信号入力を使用して測定されたとき、監視されたプロセスまたはマシンの演算の偏差を指している。最後に、診断検索テーブル114 は、試験モジュール112 により残余中で検出されたパターンまたは偏差に応答して可能性のある故障モードを出力するために選択的に与えられることができる。

【 0 0 2 5 】

実験的モデル化エンジン106 は次式にしたがって複雑な信号成分の予測された値を決定する。

【 数 3 】

$$\vec{y}_{Expected} = \overline{D} \bullet \vec{W} \quad (5)$$

【 0 0 2 6 】

ここで W は基準ライブラリ D 104 中に列（またはスナップショット）が存在するときと同数の素子 N を有する加重ベクトルであり、次式により生成される。

【 数 4 】

$$\vec{W} = \frac{\hat{W}}{\left(\sum_{j=1}^N \hat{W}(j) \right)} \quad (6)$$

$$\underline{\hat{W}} = \left(\overline{D}^T \otimes \overline{D} \right)^{-1} \bullet \left(\overline{D}^T \otimes \vec{y}_{input} \right) \quad (7)$$

【 0 0 2 7 】

ここで、類似性演算中には斜交線を有する円により表されている。上付きの “ T ” はここではマトリックスの転位を表し、マトリックスまたは結果的なアレイの反転は上付き “ - 1 ” により表されている。重要なことに、 D 中の行 Y_{input} および $Y_{expected}$ に対しては

類似の信号成分に対する行の一致が存在しなければならない。即ち参照マトリックスDの第1の行が分解された複雑な信号の第1の成分の値に対応するならば、 Y_{input} の最初のエレメントもその同じ第1のコンポーネントの現在値（実時間で動作するならば）でなければならない。

【0028】

試験モジュール112は、基準ライブラリに記憶されている認識された状態からの複雑な信号のずれについて警報が出力されるべきときを決定するために、残余と選択されたしきい値とを比較することができる。代わりに、統計的なテスト、好ましくは逐次的確率比試験（SPRT）を使用して、ずれが生じたときを決定することができる。SPRT技術の基本的な方法はサンプルされたパラメータの連続的な観察値を解析することである。監視されたコンポーネント信号に対する生成され予測された値と実際の値との間のサンプルされた差のシーケンスは、約ゼロ平均の付近のある種の分布関数にしたがって分布されるべきである。典型的に、これはガウスの分布であるが、異なる分布であってもよく、例えば2つのみのディスクリートな値を有するパラメータの二項分布であってもよい（これは通信およびネットワーク化されたマシンおよびプロセスにおいて共通である）。その後、それぞれの観察によって、試験統計が計算され1以上の決定限度またはしきい値と比較される。SPRT試験統計は通常、尤度比 l_n であり、これは仮説 H_1 が真である確率と、仮説 H_0 が真である確率との比率である。即ち、

$$l_n = (y_1, y_2, \dots, y_n | H_1) / (y_1, y_2, \dots, y_n | H_0) \quad (8)$$

ここで、 Y_n は個々の観察であり、 H_n はこれらの仮説に対する確率分布である。この通常のSPRT試験比は任意の観察による決定に到達するように決定しきい値と比較されることができる。例えば、結果が0.80よりも大きいならば、決定 H_1 は実情であり、0.20よりも小さいならば、決定 H_0 は実情であり、それらの値の間であるならば、決定を行わない。

【0029】

SPRT試験はそれぞれの分布の種々の統計的尺度に対して適用されることができる。即ち、ガウスの分布では、第1のSPRT試験は平均値に対して適用され、第2のSPRT試験は変数に対して適用されることができる。例えば、ゼロ周辺に分布すべき残余のようなデータに正の平均値試験と負の平均値試験が存在する。正の平均値試験は、値のシーケンスがゼロ周辺の分布 H_0 に属する尤度と、典型的に1のゼロを超える標準的な偏差である正の値の周辺の分布 H_1 に属する尤度との比を含んでいる。負の平均値試験は、 H_1 がゼロ周辺マイナス1の標準的な偏差である点を除いて類似している。さらに、変数SPRT試験は、値のシーケンスが既知の変数を有する第1の分布 H_0 に属するか、または既知の変数の倍数に等しい変数を有する第2の分布 H_2 に属するかを試験することができる。

【0030】

予測されたような複雑な信号からコンポーネント信号を獲得する残余では、平均値はゼロであり、変数が決定されることができる。実行時間の監視モードでは、平均SPRT試験に対して、 H_0 が真である尤度（平均値がゼロで変数が σ^2 ）が次式により与えられる。

【数5】

$$L(y_1, y_2, \dots, y_n | H_0) = \frac{1}{(2\pi\sigma)^{n/2}} e^{\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{k=1}^n y_k^2 \right]} \quad (9)$$

【0031】

同様に、平均値が M （典型的にゼロより下または上の1つの標準的な偏差であり、公称上の演算からの残余に対して決定される変化を使用する）であり、変数が σ^2 である H_1 （変数は同一であると仮定される）では、

【数 6】

$$L(y_1, y_2, \dots, y_n | H_1) = \frac{1}{(2\pi\sigma)^{n/2}} e^{\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\sum_{k=1}^n y_k^2 - 2 \sum_{k=1}^n y_k M + \sum_{k=1}^n M^2 \right) \right]} \quad (10)$$

【0032】

式 9 と 10 からの比 l_n は次式のようにになる。

10

【数 7】

$$l_n = e^{\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{k=1}^n M(M - 2y_k) \right]} \quad (11)$$

【0033】

SPRT 統計は式 11 で指数関数であるように平均値試験に対して規定される。

【数 8】

20

$$SPRT_{mean} = -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{k=1}^n M(M - 2y_k) \quad (12)$$

【0034】

ユーザの選択可能な誤警報確率 と誤った警報確率 はしきい値を与えることができ、SPRT_{mean} は決定を行うために試験されることができるので、SPRT 試験は有効である。

1. SPRT_{mean} $1n \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right)$ であるならば、仮説 H_0 を真と認める。
2. SPRT_{mean} $1n \left((1 - \alpha) / \beta \right)$ であるならば、仮説 H_1 を真と認める。
3. $1n \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right) < SPRT_{mean} < 1n \left((1 - \alpha) / \beta \right)$ であるならば、決定を行わず、サンプリングを継続する。

30

変数 SPRT 試験では、問題は 2 つの仮説、即ち残余がゼロ平均値と V^{-2} の変数でガウス確率密度関数を形成する H_2 と、残余がゼロ平均値と σ^2 の変数でガウス確率密度関数を形成する H_0 との間で決定を行うことである。 H_2 が真である尤度は次式により与えられる。

【数 9】

$$L(y_1, y_2, \dots, y_n | H_2) = \frac{1}{(2\pi V^{1/2} \sigma)^{n/2}} e^{\left[-\frac{1}{2V\sigma^2} \sum_{k=1}^n y_k^2 \right]} \quad (13)$$

40

【0035】

比率 l_n は式 13 と式 9 の比として変数 SPRT 試験で与えられ、次式が与えられる。

【数 10】

50

$$l_n = V^{-1/2} e^{\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{k=1}^n y_k^2 \left(\frac{1-V}{V} \right) \right]} \quad (14)$$

【 0 0 3 6 】

変数試験に対する S P R T 統計は次式になる。

【 数 1 1 】

$$SPRT_{\text{variance}} = \frac{1}{2\sigma^2} \left(\frac{V-1}{V} \right) \sum_{k=1}^n y_k^2 - \frac{\ln V}{2} \quad (15)$$

10

【 0 0 3 7 】

その後、前述の試験 (1) 乃至 (3) は前述したように適用される。

- 1 . S P R T_{variance} $1 \ln \left(\frac{1}{1-V} \right)$ であるならば、仮説 H_0 を真と認める。
- 2 . S P R T_{variance} $1 \ln \left((1-V) / \right)$ であるならば、仮説 H_2 を真と認める。
- 3 . $1 \ln \left(\frac{1}{1-V} \right) < SPRT_{\text{variance}} < 1 \ln \left((1-V) / \right)$ であるならば、決定を行わず、サンプリングを継続する。

20

【 0 0 3 8 】

S P R T 試験モジュールに送られる残余の各スナップショット (複雑な信号からのコンポーネント信号毎に 1 つの残余 “ 信号 ”) はスナップショットの各パラメータに対して正の平均値、負の平均値および変数の S P R T 試験決定を行うことができる。本発明による実験的モデルベースの監視システムでは、 H_0 以外の仮説の結果が真として認められる任意のこのようなパラメータにおける任意のこのような S P R T 試験はそのパラメータにおいて実効的に警報である。勿論、これは S P R T 試験と出力警報との間に論理が挿入されるので本発明の技術的範囲内にあり、それによって警報がそのパラメータまたは幾つかの他のこのようなルールに対して生成されるように、 H_0 ではない結果の組み合わせが平均値と変数 S P R T 試験との両者に必要とされる。

30

【 0 0 3 9 】

S P R T 試験モジュール 112 の出力は、推定値が異なるか同一であるかに関してそれぞれの分解された信号入力に対する決定を表す。これらの決定は、監視されるプロセスまたは装置の状態を診断するために使用されることができる。他の同一性決定を伴った幾つかの差決定を行うことは、将来可能性のあるマシンの正常さまたはプロセス状態のインジケータとして使用されることができる。S P R T 決定は診断検索データベースヘインデックスするために使用されることができ、監視されているプロセスまたは装置の状態を自動的に診断する。

【 0 0 4 0 】

通常、当業者に知られているように任意の統計的な仮説試験は前述の S P R T の適用に置換されることができる。さらに、ファジー論理セットおよびニューラルネットワークのような技術で知られている決定方法は推定値および実際値の同一性または差に関して決定を行うために使用されることができる。

40

【 0 0 4 1 】

図 2 で示されている本発明の実施形態のセットアップおよび実行段階では、複雑な信号のピックアップからの公称上のデータはシステムを監視する前に集められる。公称上のデータはプロセスまたは装置の予測された動作状態、および知られているように許容可能または所望の動作状態で集められる。公称上のデータはサンプルされた信号成分値を周期的に与えるために基準ライブラリ中のシグネチャベクトルのように監視中に使用される分解方法を使用して分解される。各ベクトルは観察またはスナップショット、即ち時間相関さ

50

れた値のセット、各分解されたコンポーネントからの1値を表す。したがって、例えば監視された電気モータからの電流信号のような複素数波形が本発明を使用して解析されるならば、これは2つの極性のそれぞれで例えば $< 58\text{ Hz}$ 、 58 Hz 乃至 62 Hz と、 $> 62\text{ Hz}$ の3つの周波数範囲のコンポーネントを与えるために周波数フィルタを使用して分解され、6つの入力をモデルに与える。基準ライブラリベクトルは6エレメントベクトルを具備し、各エレメントは各6つの周波数帯域のコンポーネント信号から時間相関された瞬間における信号振幅である。

【0042】

集められた公称データは基準ライブラリで全体的に使用されるわけではない。むしろ、データはこのようなスナップショットの集団を特徴付けるのに十分な代表的なセットに抽出される。これを実行する1方法は前述の米国特許第5,764,509号明細書に記載され、ここではMin-Maxとして記載されている。基本的に、ベクトルはこれらが公称値セット全体を通してベクトルエレメントの任意の1つにおいて最小または最大値を含むならば、基準ライブラリに含まれるように選択される。これによりベクトルのセットはベクトルエレメント数の2倍より少ない数で列挙される。このベクトルのグループは任意の数の方法を使用して、公称データセットからのさらに別のベクトルによって増加されることができる。

【0043】

図3は本発明の別の応用を示しており、監視システム120は雑音のある通信信号、例えばQAMまたはDMT信号からコード化されたデータをデコードする。図1のシステムと同一のエレメントは同一のラベルが付けられている。このような通信信号に対しては、最初に送信されたもとの信号は典型的に、1セットの重畳された正弦波で、その振幅および期間は搬送波でコード化されるデータビットを決定する。典型的に、特定のデータワードの長さはこれらの重畳された波で共にエンコードされ、したがって受信端において波をデコードすることによって同一のビット長、例えば16ビットのデータワードを生じる。搬送波が有する重畳された波の総“ボキャブラリ”はしたがって予め知られており、有限の状態またはデータグラムのセットを構成する(例えば簡単なQAMでは16)。ここからの偏差は伝送ラインに存在する雑音または劣化である。図3の実施形態は基準ライブラリで最も送信された信号に類似するデータグラムと、意図した可能性が最も高いもとのデータグラムとを発見する計算の効率のよい方法を有効に与える。この実施形態では、技術で行われているように、エンコードされたデータを抽出するために受信された雑音のある通信信号を直接デコードする代わりに、雑音のある信号は実験的モデル化エンジン106で基準ライブラリ104からの信号シグネチャベクトルと比較される。雑音のある入力信号により最も近く一致するシグネチャベクトルが識別され、一致した信号シグネチャセットベクトルはその比較に基づいてデコードされる。一致したベクトルは例えば検索テーブル122を使用してデコードされ、デコードされた結果的なデジタル出力124として出力される。

【0044】

出力124は基準ライブラリからのリテラルデータ値または、信号シグネチャセットへのインデックスであり、またはこの例で示されているように、出力124はデコードされた値を検索テーブル122の位置で選択するインデックスである。この例では、類似性の演算は実験モデル化モジュール106で行われ、これは雑音のある減衰されたまたは劣化された複雑な入力信号から分解された入力スナップショットをシグネチャセットのスナップショット、即ちシグネチャベクトルと比較する。各入力スナップショットに対して、この比較は入力信号の現在状態、即ち現在の入力スナップショットに対する最大の類似性尺度を有する1つの基準ライブラリスナップショットを前述の類似性演算子を使用して識別する。キー値は各シグネチャベクトルに関連され、検索テーブルにリンクされ、したがって各シグネチャベクトルと対応するデコードされたデジタル値を識別する。もとの信号に対応するデジタル値はそれぞれの一致で検索テーブル122から出力される。

【0045】

コード化された情報送信、例えばQAMまたはDMTからデータを抽出するために使用さ

10

20

30

40

50

れるシステムを構成するため、プロセスまたはマシン監視のケースのように基準ライブラリは実験データからポピュレートされる必要はない。代わりに、データグラムのもとの有限のセットは予め知られているので、基準ライブラリはこれらから直接構成されることができる。

【0046】

図4は例えばQAMを使用して情報を伝送する16の予測された信号状態(例えばエンコードされた送信信号)を示し、各状態は4ビットデジタルコードの異なる1つに対応する。これらの16の予測された状態またはシグネチャはサンプルされ、例えばウェーブレット解析を使用してシグネチャ特徴化段階中にコンポーネント信号に分解される。各状態は詳細レベルと呼ばれるものを形成するためにウェーブレット係数に分解される。詳細レベル1は64のウェーブレット係数を含んでおり、詳細レベル2は32のウェーブレット係数を含み、詳細レベル3は16のウェーブレット係数を含み、詳細レベル4は8のウェーブレット係数を含み、詳細レベル5は4のウェーブレット係数を含む。詳細レベル3、4、5と近似レベル5からのウェーブレット係数は32のウェーブレット係数(それぞれ16、8、4、4)を生み、各16のシグネチャを特徴付けする十分な情報を与える。したがって、これらのデータグラムをデコードするための基準ライブラリは16ベクトルを含み、それぞれ32のウェーブレット係数の値に対応して32エレメントを有する。動作において、送信信号(解析される複雑な信号)はウィンドウで処理され、データグラムを表す適切なウィンドウは同一のディスクリットなウェーブレット変形を使用して詳細レベル3、4、5と近似レベル5へ分解され、32エレメントのベクトルを与える。この入力ベクトルは実験モデル化エンジン中の類似性演算子を使用して各16の基準ライブラリベクトルと比較され、最高の類似性は目的とするデータグラムを指定する。

【0047】

図5は図4の信号番号4のディスクリットなウェーブレット変換の1例を示している。この例では、詳細レベル1と2が示されているが、信号シグネチャセットまたは類似性解析に含まれず、それ故、基準ライブラリ中の信号番号4を表すように形成されたベクトルは図5で示されている32のエレメント、即ち詳細レベル3からの16と、詳細レベル4からの8と、詳細レベル4からの4と、近似レベル5からの4とを含んでいる。しかしながら、詳細レベル1および2からの未使用のウェーブレット係数は所望ならば含まれてもよいことが理解されよう。複雑な信号の十分なウェーブレットパケット分解ツリーを展開し、いずれの詳細レベルといずれの近似が重要な情報を含んでいるかを確かめる方法が技術で知られている。これらの従来技術の方法は基準ライブラリと入力スナップショットを作成するベクトルの組成を決定するために本発明と共に使用されることができる。実験的モデル化エンジンは、丁度1つのウェーブレット解析が入力および基準ライブラリを処理するために選択される限り、使用されるウェーブレット分解にかかわらず、各比較に対する類似性スコアを与えることができる。

【0048】

図4からの各シグネチャの雑音または歪みのある形態の例が図6に示されている。ランダムな付加雑音が図6のシグネチャに付加されるが、信号は減衰されていない。分解モジュール102はそれぞれ16のシグネチャのうちの1つでエンコードされているこれらの歪みのある複雑な信号を受信し、これらを分解する。分解モジュール102は特に、ディスクリットなデータグラムが基本的に連続した搬送波で伝送されるときに分解のため複雑な信号のウィンドウを最初に識別するように配置されてもよい。ウィンドウを識別するため特別な周波数および/または振幅のスタートパルスおよびストップパルス等を含むような、このウィンドウイングを実現する種々の方法が通信技術で知られている。その代わりとして、分解モジュール102は固定した幅のシフトウィンドウにわたって搬送波信号を連続的に分解でき、それぞれのこのようなシフトされたウィンドウの分解されたコンポーネントは実験モデル化エンジン106により類似性に対して処理されることができ、それによって最小のしきい値を超える類似性だけがデータグラムの識別を生成する。技術で知られている他の方法もウィンドウ処理のため本発明で使用されることができる。

【 0 0 4 9 】

実時間の雑音を有する複雑な信号は、再び詳細レベル1および2なしで、32ウェーブレット係数の現在のスナップショットを生成するために（選択されたウィンドウイング方法にしたがって）周期的に詳細レベルのコンポーネントに分解される。実験的モデル化エンジン106は詳細レベルのコンポーネントを記憶された信号シグネチャベクトルに対して比較する。それ故実験的モデル化エンジン106は各スナップショット、即ち詳細レベル3、4、5と近似レベル5のウェーブレット係数を受取り、スナップショット対基準ライブラリ信号シグネチャセット中の16のシグネチャベクトルのそれぞれの類似性演算を実行する。特に、各シグネチャの比較では、32ウェーブレット係数のセットの対（1つの信号シグネチャベクトルと、実際の入力から分解されたスナップショット）が比較され、対のそれぞれに対応するエレメントを比較する。この比較は入力スナップショットに最も近く一致するシグネチャセット中の16の入力スナップショットの最も近く一致する1つのシグネチャベクトルを識別する。その後、実験的モデル化エンジン106は検索テーブル122からの一致するシグネチャベクトルに対応する4ビットコードを選択し、デジタル出力124としてコードを出力する。

10

【 0 0 5 0 】

それ故、例えば、比較のための境界を有する角度比率試験（BART）を使用して、直角三角形の斜辺の各端部の最小および最大値は基準ライブラリの16の全てのシグネチャにわたって所定の係数に対して発見される範囲を規定する。入力信号係数は類似性のために比較され、各入力係数と、対応するシグネチャベクトル係数をその範囲内の係数値にしたがって特定の斜辺に沿ってマッピングする。ラインセグメントが各マップされた点から頂点まで引かれる。引かれたラインセグメント間の内角は90度以下である。その内角は90度に正規化され、正規化された結果は1から減算され、1とゼロとの間の類似性値を生成する。この類似性値は対応するエレメントの対に対する類似性の尺度であり、（1）は同一性を示し、（0）は非類似性を示す。各対の全ての32コンポーネント（即ちウェーブレット係数）の類似性値はシグネチャ間の類似性の全体的な尺度を与えるように平均される。

20

【 0 0 5 1 】

図7を参照すると、図6の雑音のある信号と、図4のオリジナルデータグラムとの間の類似性の測定の結果が示されている。各16のグラフは図6の雑音および歪みのある信号のグラフの1つに対応する。各グラフ内には棒グラフを構成する16のバーが存在し、基準ライブラリを構成する図4からの16モデル信号のそれぞれに対して1つのバーが存在する。各バーはそのグラフの図6からの特定の雑音を有するデータグラムに対する基準ライブラリデータグラムのベクトル類似性値を表している。各比較では、1つの基準ライブラリシグネチャは雑音のある入力ベクトルに最も近いものとして識別される。一致は最高の類似性値を有するバー上のアスタリスクにより指示される。16の比較のそれぞれでは、好ましい実施形態のシステムは正確な雑音のある入力信号を、オリジナルの基準ライブラリシグネチャに最も類似するとして自動的にスコアする。

30

【 0 0 5 2 】

したがって、本発明のシステムは雑音のある入力シグネチャから正確な基準シグネチャを正確に識別することができ、それによって劣化した搬送波信号から正確な情報内容を抽出することを容易にするために送信雑音に対する優れたフィルタとして作用する。基準ライブラリはまた各ベクトルに関連して、検索テーブルの検索を誘導するインデックスを有し、それによってエンコードされたデジタル情報はこれまで実現されてきた正確性よりも非常に高い程度の正確性で自動的に抽出され、デコードされる。

40

【 0 0 5 3 】

図8は本発明の好ましい実施形態のステップを示すフロー図130である。最初にステップ132で、信号が受信され、分解装置に送られる。その後、ステップ134で、信号は例えばウェーブレット分解または信号フィルタを使用してコンポーネントに分解される。次にステップ136で、分解された信号コンポーネントは信号シグネチャセットに対して比較され

50

る。ステップ138で、付加的なステップが取られるか、付加的な解析が比較結果について行われるか否かを決定するためにチェックが行われ、イエスであるならば、ステップ140で比較結果が出力される。

【0054】

付加的なステップが比較結果について行われると、ステップ142で、データ、例えば通信データが信号から抽出されたか否かを決定するためにチェックが行われる。信号がエンコードされたデータを含んでいる（例えば信号はデータ送信信号）ことが決定されたならば、ステップ144で、入力スナップショットに最も近い信号シグネチャベクトルが識別される。ステップ146では、検索テーブルは一致するベクトルに対応するデジタル値をサーチし、その対応するデジタル値は出力に送られる。

10

【0055】

信号がエンコードされたデータを伝送しておらず、代わりにシステムを監視するセンサからの信号であるならば、ステップ150で、Gマトリックスが決定され、前述の式7からの第1の項に等しい。

【数12】

$$\hat{\underline{W}} = \bar{G}^{-1} \cdot (\bar{D}^T \otimes \vec{y}_{input}) \quad (16)$$

$$\bar{G} = (\bar{D}^T \otimes \bar{D}) \quad (17)$$

20

【0056】

Gマトリックスは任意の信号を受信する前に生成され、その後、局部的に記憶され、ステップ150で使用するために検索され、その後のシステム解析で利用可能にされてもよいことに注意すべきである。ステップ152で、前述の式5を参照して予測された信号はGマトリックスと類似性値ベクトルとを乗算することにより生成される。ステップ154で、予測された信号と入力信号との差が計算される。ステップ156でS P R T解析がステップ154からの計算された結果に対して適用される。最後にステップ158で、適切な診断がS P R T結果に対して行われる。

30

【0057】

本発明は多くの分野において広い応用を有し、多数の物理的实施形態を行うことが考えられる。任意のプロセス制御設定では、本発明はネットワークに接続されたコンピュータまたはプロセス制御システムで実施され、ここで複雑な信号はデータ捕捉カードまたはネットワークカードによって受信され、メモリ中のソフトウェア命令にしたがってコンピュータプロセッサで処理される。コンピュータの実施形態の出力はコンピュータのスクリーンに与えられ、またはネットワーク接続によって、制御システム自体のようにダウンストリーム処理、または別のコンピュータのウェブブラウザのように遠隔観察に利用可能にされる。別の実施形態では、本発明は心搏または電気モータ電流等の特に複雑な信号を解析するためのハードウェア装置を具備している。この実施形態では、プロセッサはデータおよびモデムまたは基準データを記憶するメモリと共に典型的に装置に設けられる。装置はその後、問題の複雑な信号を検出するためにセンサまたはセンサのセットおよび電気信号接続を含んでいることが好ましい。搭載された実施形態では、本発明は自動車または電気モータのような、マシンに組み込まれて動作するさらに広いデジタル信号プロセッサ(DSP)の命令セットの一部であるマイクロプロセッサ命令のセットを含んでいる。この場合、複雑な信号の受信は電圧計等の既存のセンサのように典型的に既に組み込まれているDSPで行われている。最後に、本発明は標準的なデスクトップまたはワークステーション環境でプログラムとしてオフラインで実施されることもでき、ここでは複雑な信号はメディアに記憶されたデータファイルとして与えられる。一般的に、これらの実施形態を通して、信号分解モジュールはソフトウェア駆動プロセッサ、DSPまたはタスクに専用の他のマ

40

50

マイクロプロセッサ、ハードウェアで分解するようにカスタム化された特定用途用集積回路（ASIC）、または処理のためのデジタル化前に、アナログ状態で複雑な信号を分解する簡単な回路エレメント（フィルタ等）の配置である。

【0058】

広い範囲の変化および変形がここで説明したように本発明の実施形態に対して行われることを認識すべきである。したがって、前述の詳細な説明は技術的範囲を限定するものではなく例示とみなされ、全ての均等物を含んで以下の特許請求の範囲によって本発明の技術的範囲が限定されることを意図している。

【図面の簡単な説明】

【図1】 信号分解および実験的モデリングのための本発明の一般的な実施形態のブロック図。

10

【図2】 動作の偏差の検出のための本発明の1実施形態のブロック図。

【図3】 圧縮され、減衰または劣化されている変調されたアナログ搬送波にコード化されるデジタル信号をデコードするための本発明の1実施形態のブロック図。

【図4】 コード化されたデジタル情報を伝送するための16の予め定められた複合波形図。

【図5】 ハールウェーブレットを使用している図4で示された信号番号4のディスクリートなウェーブレット変換の1例の図。

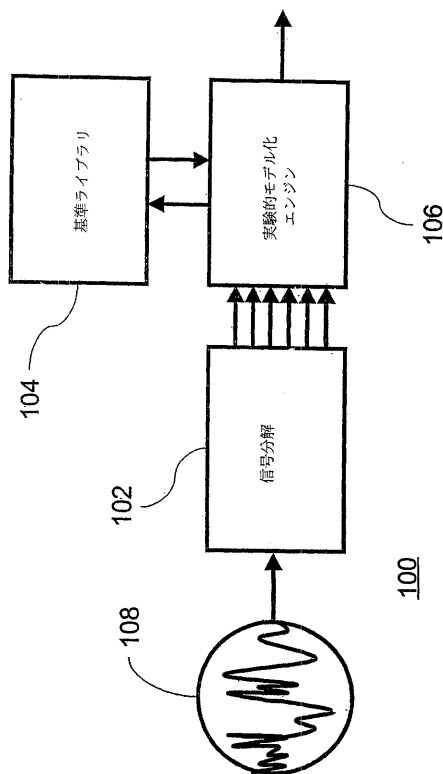
【図6】 送信中の歪みをエミュレートするためにランダムな付加雑音を有する図4の16の複合波形を示した波形図。

20

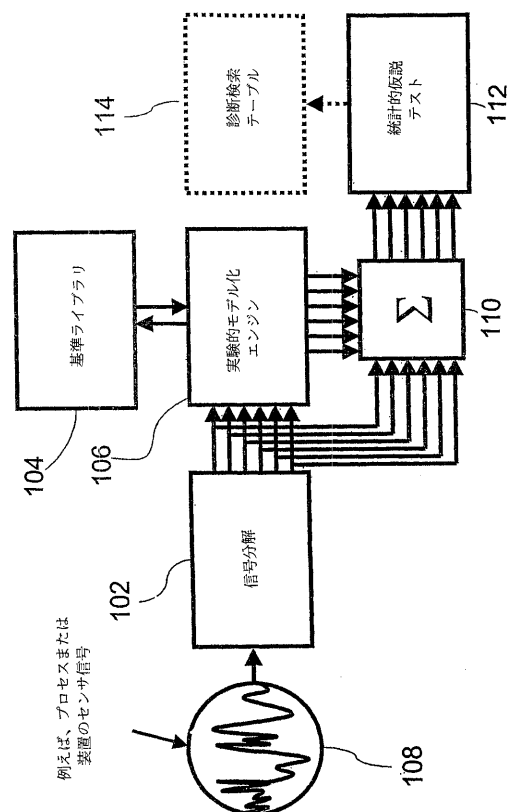
【図7】 図6の雑音を有する信号と比較したときの図4の16のシグネチャーの類似性値を示す棒グラフ。

【図8】 好ましい実施形態の信号比較方法のフロー図。

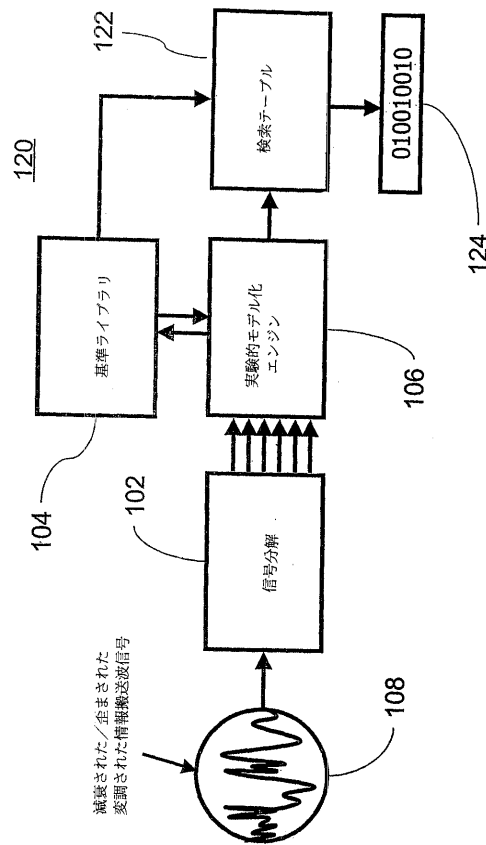
【図1】



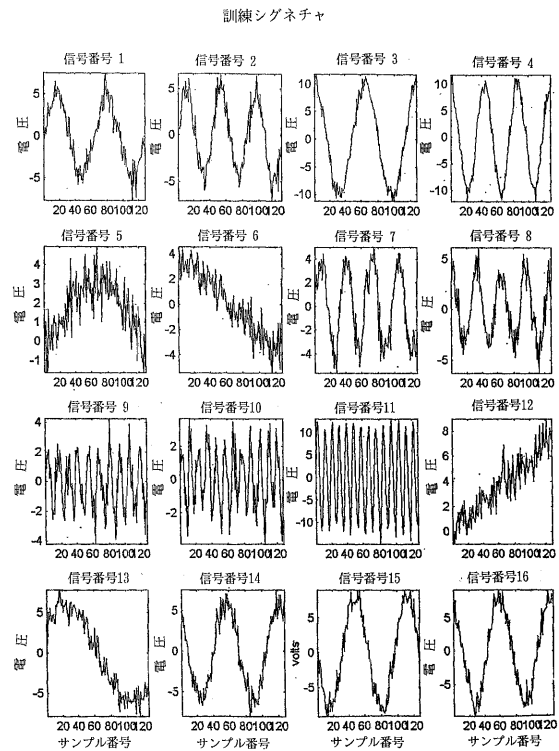
【図2】



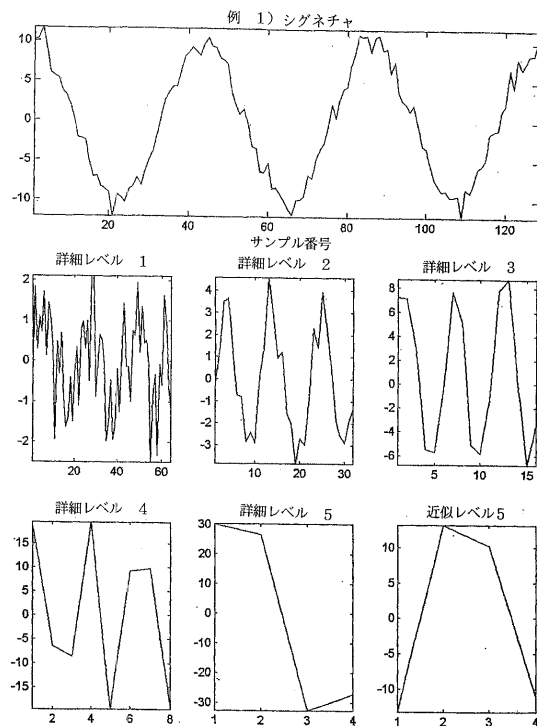
【図 3】



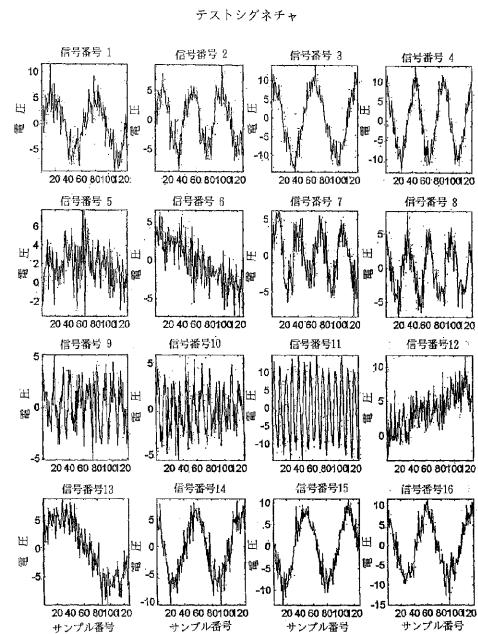
【図 4】



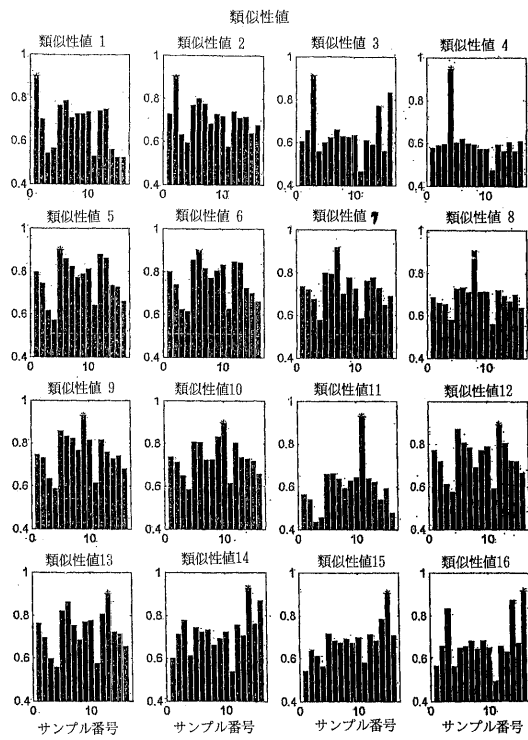
【図 5】



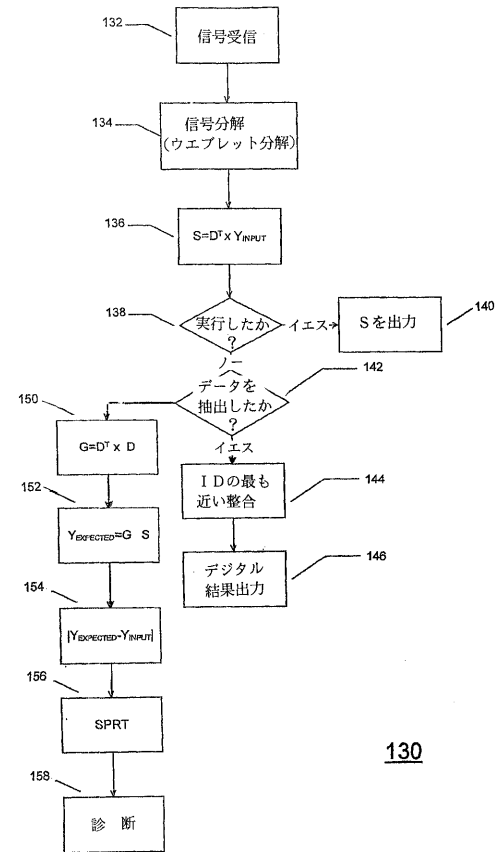
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

審査官 柿崎 拓

- (56)参考文献 特開平 0 2 - 0 0 4 3 0 0 (J P , A)
特開平 0 8 - 0 4 3 1 9 2 (J P , A)
特開平 1 1 - 3 1 1 5 9 1 (J P , A)
特開平 0 9 - 1 6 6 4 8 3 (J P , A)
特開昭 6 1 - 1 6 0 1 1 1 (J P , A)
特開平 5 - 1 2 6 9 8 0 (J P , A)
特開平 6 - 2 7 4 7 8 4 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G05B 23/02