

(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2012-505456

(P2012-505456A)

(43) 公表日 平成24年3月1日(2012.3.1)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G06F 17/18 (2006.01)	G06F 17/18 D	4C117
A61B 5/00 (2006.01)	A61B 5/00 G	5B056
G06Q 50/24 (2012.01)	G06F 17/60 126H	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2011-530556 (P2011-530556)	(71) 出願人	509016162 オックスフォード・バイオシグナルズ・リミテッド
(86) (22) 出願日	平成21年10月9日 (2009.10.9)		
(85) 翻訳文提出日	平成23年6月9日 (2011.6.9)		
(86) 国際出願番号	PCT/GB2009/002408		イギリス国オックスフォードシャー オー
(87) 国際公開番号	W02010/041019		エックス14 4エスイー, アビントン,
(87) 国際公開日	平成22年4月15日 (2010.4.15)		ミルトン・パーク 174, ブルック・ハウス
(31) 優先権主張番号	0818544.9	(74) 代理人	100110423 弁理士 曾我 道治
(32) 優先日	平成20年10月9日 (2008.10.9)	(74) 代理人	100084010 弁理士 古川 秀利
(33) 優先権主張国	英国 (GB)	(74) 代理人	100094695 弁理士 鈴木 憲七
		(74) 代理人	100111648 弁理士 梶並 順

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチパラメーターモニタリングにおける改善又はマルチパラメーターモニタリングに関する改善

(57) 【要約】

システムの複数のパラメーターの計測によってモニタリングされているシステムの状態の一貫した評価を取得する方法。複数のパラメーターを使用して、システムの現在の状態と正常状態との間の距離に基づいて単一次元の値を、パルザン窓確率関数を使用して計算する。一貫した単一次元の値は、元のデータセットの次元に関わらず、該単一次元の値と前記システムのステータスの確率との間の関係を求めることによって取得することができる。データセットの異なる次元について異なる関係が取得される。パラメーターのうちの異なる個々のパラメーターを無視することによって暗示される状態の確率に対する、利用可能な全てのパラメーターを測定することによって暗示される状態の確率を検査することによって、センサー故障を検出することができる。2つの確率における大幅な不一致はセンサー故障の可能性を示す。

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

システムの複数の異なるパラメーターの計測値に基づいて該システムの状態を表す新奇性指数を求めて表示する方法であって、前記複数のパラメーターは、多次元計測空間のそれぞれの次元を規定し、

該方法は、

値のセットを受信するステップであって、該セット内の各値は、前記複数のパラメーターのうちの異なる 1 つの計測値であり、各セットは、前記多次元計測空間におけるデータ点を規定する、受信するステップと、

各データ点の前記多次元計測空間における位置を、前記システムが正常状態にあることを表す前記パラメーターの計測値を含むプロトタイプデータ点のセットと比較することによって、前記データ点ごとの前記新奇性指数を計算するステップと、

を含み、前記セットの前記パラメーター値のうちの 1 つ又は複数が欠落している欠損したデータ点を受信する事象において、

該方法は、

欠落しているパラメーター値に対応する次元を除外した縮小次元空間における、該欠損したデータ点の位置に基づいて、前記欠損したデータ点の周辺新奇性指数を計算するステップと、

前記縮小次元空間に関して計算された、前記周辺新奇性指数と前記システムの異なる状態の周辺確率との間の所定の関係を使用するステップであって、システムが前記欠損したデータ点によって表される状態と少なくとも同じだけ前記正常状態に近い確率を表す周辺確率値を求める、使用するステップと、

前記多次元計測空間に関して計算された、前記新奇性指数と前記システムの異なる状態の確率との間のさらなる所定の関係を使用するステップであって、前記周辺確率値に等しい確率に対応する前記多次元計測空間における前記新奇性指数を求める、使用するステップと、

そのようにして求められた前記新奇性指数を、前記欠損したデータ点の前記新奇性指数として表示するステップと、

をさらに含む、方法。

【請求項 2】

前記欠損したデータ点の前記周辺新奇性指数は、前記縮小次元空間において、前記システムが正常状態にあることを表す前記パラメーターの計測値を含む前記プロトタイプデータ点のセットからの前記欠損したデータ点の距離を比較することに基づく、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記縮小次元空間における前記プロトタイプデータ点のセットは、前記欠落しているパラメーター値に対応する次元を除外した前記多次元計測空間におけるプロトタイプ点である、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記データ点ごとに前記新奇性指数又は前記周辺新奇性指数を計算するときに、該データ点の位置が、該データ点と前記プロトタイプデータ点のそれぞれとの間のユークリッド距離に基づく確率密度関数を使用して、前記プロトタイプデータ点のセットと比較される、請求項 1、2、又は 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記確率密度関数はパルザン窓関数である、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 6】

前記プロトタイプ点は前記データ点の複数のサンプルのトレーニングセットにおけるクラスター中心である、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

いずれのパラメーター値が欠落しているかに関わらず、前記縮小次元空間において前記

10

20

30

40

50

周辺新奇性指数を計算するときと同じクラスター中心が使用される、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記クラスター中心は、各縮小次元空間において再計算される、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 9】

前記縮小次元空間及び前記多次元計測空間における前記所定の関係は、前記データ点の複数のサンプルのトレーニングセットに基づき、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 10】

前記所定の関係は、
漸進的に最小値から最大値までの範囲をとる前記新奇性指数又は前記周辺新奇性指数の値を閾値としてとり、

該閾値のそれぞれについて、前記トレーニングセットにおける、閾値未満の前記新奇性指数を有するデータ点の割合を求め、該割合を前記新奇性指数の確率値としてとるか、又は

前記閾値のそれぞれについて、前記トレーニングセットにおける、閾値未満の前記周辺新奇性指数を有するデータ点の割合を求め、該割合を前記周辺新奇性指数の周辺確率値としてとる

ことに基づき、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

異なる前記縮小次元空間における複数の前記所定の関係が使用され、それぞれが前記データ点の同じ単一のトレーニングセットに基づき、該トレーニングセットの各前記データ点を形成する前記値のセットから、異なるパラメーター又はパラメーターの組み合わせを除外する、請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 12】

システムの複数の異なるパラメーターの計測値に基づいて該システムの状態を表す新奇性指数を求めて表示するための装置であって、

前記複数の異なるパラメーターの前記計測値を受信するための入力部と、

請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の方法ステップを実行するように構成されるプロセッサと、

前記新奇性指数を表示するためのディスプレイと、
を備える、装置。

【請求項 13】

システムの複数の異なるパラメーターの計測値に基づいて該システムの状態を表す新奇性指数を求めて表示する方法であって、

値の複数のセットを含むデータセットを受信するステップであって、各値は、前記複数のパラメーターのうちの異なる 1 つの計測値であり、値の各セットは、次元 D の計測空間におけるデータ点を規定し、ここで D は 1 より大きい正の整数である、受信するステップと、

各データ点の次元 D の前記計測空間における位置を、前記システムが正常状態にあることを表す前記パラメーターの計測値を含むプロトタイプデータ点のセットと比較することによって、前記データ点ごとの仮新奇性指数を計算するステップと、

次元 D の前記計測空間において、前記仮新奇性指数と前記システムの異なる状態の確率との間の関係を計算するステップであって、前記システムが、前記仮新奇性指数を有するデータ点によって表される状態と少なくとも同じだけ前記正常状態に近い確率を表す確率値を求める、計算するステップと、

前記計算された関係を使用するステップであって、前記データセットの前記データ点ごとに、該点の前記仮新奇性指数に対応する前記確率値を求める、使用するステップと、

次元 L の空間において規定された、前記システムの異なる状態の前記確率と新奇性指数

10

20

30

40

50

との間のさらなる所定の関係を使用するステップであって、 L は D よりも小さい正の整数であり、データ点と前記システムの前記正常状態との間の距離を比較することに基づいて、前記データセットの前記データ点ごとに、前記次元 L の空間において前記確率値に対応する前記新奇性指数を求める、使用するステップと、

そのようにして求められた前記新奇性指数を、前記データ点の前記新奇性指数として表示するステップと、

を含む、方法。

【請求項 14】

データ点ごとに前記新奇性指数又は前記仮新奇性指数を計算するときに、該指数の位置が、前記データ点と前記プロトタイプデータ点のそれぞれとの間のユークリッド距離に基づく確率密度関数を使用して、前記プロトタイプデータ点のセットと比較される、請求項 13 に記載の方法。

10

【請求項 15】

前記確率密度関数はパルザン窓関数である、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 16】

前記所定の関係は、

漸進的に最小値から最大値までの範囲をとる前記新奇性指数又は前記仮新奇性指数の値を閾値としてとり、

該閾値のそれぞれについて、閾値未満の前記新奇性指数を有するデータ点の割合を求め、該割合を前記新奇性指数の確率値としてとるか、又は

20

前記閾値のそれぞれについて、閾値未満の前記仮新奇性指数を有するデータ点の割合を求め、該割合を前記仮新奇性指数の確率値としてとることに基づく、請求項 13、14、又は 15 に記載の方法。

【請求項 17】

システムの複数の異なるパラメータの計測値に基づいて該システムの状態を表す新奇性指数を求めて表示するための装置であって、

前記複数の異なるパラメータの前記計測値を受信するための入力部と、

請求項 12 ~ 15 のいずれか 1 項に記載の方法ステップを実行するように構成されるプロセッサと、

前記新奇性指数を表示するためのディスプレイと、

30

を備える、装置。

【請求項 18】

システムのパラメータをそれぞれ計測する複数の異なるセンサーの中からセンサー故障を検出する方法であって、前記複数のパラメータは、 D 次元の計測空間のそれぞれの次元を規定し、 D は前記センサーの数に等しく、

該方法は、

値のセットを受信するステップであって、該セット内の各値は、前記センサーのうちの異なる 1 つからの計測値であり、各セットは、前記 D 次元の計測空間におけるデータ点を規定する、受信するステップと、

各データ点の前記 D 次元の計測空間における位置を、前記システムが正常状態にあることを表す前記パラメータの計測値を含むプロトタイプデータ点のセットと比較することによって、前記データ点ごとの新奇性指数を計算するステップと、

40

前記 D 次元の計測空間に関して計算された、前記新奇性の指数と前記システムの異なる状態の確率との間の所定の関係を使用することであって、前記システムが、前記データ点によって表される状態と少なくとも同じだけ前記正常状態に近い確率を表す確率値を求める、使用するステップと、

前記値のセットからの 1 つのパラメータ値を無視し、 $D - 1$ 次元の空間における前記データ点の位置を、同じく前記 $D - 1$ 次元の空間にあるプロトタイプデータ点のセットと比較することによって、前記データ点ごとに少なくとも 1 つの周辺新奇性指数を計算するステップであって、前記 $D - 1$ 次元の空間は前記無視されたパラメータに対応する次元

50

を除外する、計算するステップと、

前記 D - 1 次元の空間に関して計算された、前記周辺新奇性指数と前記システムの異なる状態の周辺確率との間のさらなる所定の関係を使用するステップであって、前記システムが、前記周辺新奇性指数によって表される状態と少なくとも同じだけ前記正常状態に近い確率を表す周辺確率値を求める、使用するステップと、

前記確率値と前記周辺確率値とを比較するステップと、

前記確率値及び前記周辺確率値が所定の閾値よりも大きく異なっている場合に、そのパラメータ値が無視されたセンサーの故障のアラートを出力するステップと、を含む、方法。

【請求項 19】

異なるパラメータ値を無視するごとに周辺新奇性指数を計算するステップ、及び前記データ点ごとに周辺確率値を求めるステップを反復すること、並びに、

各結果の周辺確率値を前記確率値と比較することであって、前記センサーのそれぞれの故障を検査する、比較することをさらに含む、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

1 つの周辺確率値のみが前記確率値から所定の閾値以上異なっている場合に前記アラートを出力することをさらに含む、請求項 18 又は 19 に記載の方法。

【請求項 21】

前記データ点ごとに前記新奇性指数又は前記周辺新奇性指数を計算するときに、該データ点の位置が、該データ点と前記プロトタイプデータ点のそれぞれとの間のユークリッド距離に基づく確率密度関数を使用して、前記プロトタイプデータ点のセットと比較される、請求項 18、19、又は 20 に記載の方法。

【請求項 22】

前記確率密度関数はパルザン窓関数である、請求項 21 に記載の方法。

【請求項 23】

前記プロトタイプ点はデータ点の複数のサンプルのトレーニングセットにおけるクラスター中心である、請求項 18、19、20、又は 21 に記載の方法。

【請求項 24】

いずれのパラメータ値が欠落しているかに関わらず、D - 1 次元空間において前記周辺新奇性指数を計算するときに同じクラスター中心が使用される、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 25】

前記 D - 1 次元空間及び前記 D 次元の計測空間における前記所定の関係は、データ点の複数のサンプルのトレーニングセットに基づく、請求項 18 ~ 24 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 26】

前記所定の関係は、

漸進的に最小値から最大値までの範囲をとる前記新奇性指数又は前記周辺新奇性指数の値を閾値としてとり、

該閾値のそれぞれについて、トレーニングセットにおける、閾値未満の前記新奇性指数を有するデータ点の割合を求め、該割合を前記新奇性指数の確率値としてとるか、又は

前記閾値のそれぞれについて、トレーニングセットにおける、閾値未満の前記周辺新奇性指数を有するデータ点の割合を求め、該割合を前記周辺新奇性指数の周辺確率値としてとることに基づく、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 27】

それぞれシステムのパラメータを計測する複数の異なるセンサーの中からセンサー故障を検出するための装置であって、

前記センサーから入力を受信するための入力部と、

請求項 18 ~ 26 のいずれか 1 項に記載の方法ステップを実行するように構成されるプロセッサと、

10

20

30

40

50

前記アラートを出力するためのデバイスとを備える、装置。

【請求項 28】

前記システムは人間又は動物である、請求項 1 ~ 27 のいずれか 1 項に記載の方法又は装置。

【請求項 29】

前記パラメータは医用計測値である、請求項 1 ~ 28 のいずれか 1 項に記載の方法又は装置。

【請求項 30】

前記パラメータは、心拍数、血圧、体温、血液酸素飽和度、呼吸数、グラスゴー昏睡スコアのうちの任意のものを含む、請求項 29 に記載の方法又は装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マルチパラメータモニタリングに関し、詳細には、異なるセンサーを使用して複数の異なるシステムパラメータを反復して計測することによってシステムの状態をモニタリングするための方法及びシステムにおける改善に関する。

【背景技術】

【0002】

多岐にわたる分野において、システムの様々な異なるパラメータをモニタリングするか又は反復して計測することによって、システムの状態をモニタリングする必要性が生じている。たとえば、工学分野では、複雑な機械、工業施設等のような物理システムをモニタリングすることによって、システムの状態をモニタリングする必要性が生じ、医学又は獣医学分野では、人間又は動物のような生体システムをモニタリングすることによって、システムの状態をモニタリングする必要性が生じている。

20

従来的には複数のパラメータがモニタリングされており、モニタリングされるパラメータごとに出力が与えられていたが、モニタリングされるパラメータが増えるにつれ、オペレーターが複数の出力を解明し、モニタリングされているシステムの異常な状態を見極めることがますます困難になっている。

この問題を克服する単純な方法は、パラメータのそれぞれに対し閾値を確立すると共に、閾値に違反した場合オペレーターに警報信号を出力することであった。しかし、複雑なシステムにおいて適切な閾値を設定することは非常に困難である。

30

閾値の不適切な設定によって、結果として異常状態がオペレーターに通知されない可能性があるか、又は過剰に多くの警報が生成される可能性がある。異常なシステム状態を逃すことは明らかに望ましくないが、オペレーターが警報を無視しがちになるので、過剰に警報が発せられることを回避することも等しく望ましくない。

【0003】

よりインテリジェントな形でパラメータ計測を自動的に解釈するための提案が行われている。しかしながら、そのような提案はほとんど、オペレーター側で実際に有用となる十分な信頼性を生み出していない。

臨床設定において実際に使用されるそのような「インテリジェント」システムの 1 つは、特許文献 1 において開示される患者状態表示である。Oxford Biosignals Ltd. 社からの「Visensia」システムは、この患者状態表示の現在の商用版である。これは、特に、重症ケアユニット又は集中治療室内の患者をモニタリングするために、臨床環境において使用されるマルチパラメータモニタリングシステムに関する。

40

そのような患者は通常、心電図 (ECG)、呼吸 (たとえば電気インピーダンス呼吸記録によって計測される)、酸素飽和度 (たとえばフィンガープローブを有するパルス酸素濃度計によって計測される)、血圧、及び体温のようないくつかのバイタルサインをモニタリングされている。当然ながら、他のバイタルサインを計測してもよく、一次計測から、心拍数、心拍数変動、呼吸数等のような二次パラメータを導出することも可能である。

50

通常、これらのパラメータは、異なるレートで収集される。たとえば、ECG（心拍数を与える）は250Hzで収集され、パルス酸素濃度計信号は81.3Hzで収集され、呼吸は64Hzで収集され、体温は1Hzで収集され、さらに血圧は30分～60分に1回で収集される。

【0004】

特許文献1に開示される技法では、パラメータ計測値は同時期の値のセットに集められ（各値は、パラメータのうちの1つの、1つの計測値である）、各セットは多次元計測空間におけるデータ点 x を規定すると見なされる。

このため、たとえば5つのパラメータが計測されている場合、多次元計測空間は5次元であり、それによって、データ点はパラメータの5つの値 $x(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ によって規定される。

5次元の空間を明確に表示するのが不可能であるため、特許文献1は、一方でデータ点を縮小次元可視化空間(reduced-dimensionality visualization space)に表示し、他方で、所与のデータ点とプロトタイプ点のセットとの間のユークリッド距離に基づく1次元の「新奇性指数(novelty index)」の計算によって患者又は患者群の正常性を表す。

このため、非常に異常なパラメータ計測値に基づくデータ点は、5次元の計測空間において、正常性からより離れていることになる。正常性は、数千個のデータ点のトレーニングセットを検査し、大幅に低減した数のクラスター中心を見つけることによって規定される。そして、これらのクラスター中心をプロトタイプ点と見なす。

患者の現在の状態を表す各新たな入来データ点は、次にプロトタイプ点と比較され、それらのプロトタイプ点からの距離（すなわち、5次元の計測空間におけるユークリッド距離）が求められる。そして、この距離を使用して新奇性指数が導出される。

新奇性指数に対する閾値が設置され、閾値を超えると、警報を生成して患者に対する臨床スタッフの注意を喚起することができる。特許文献1における特定の例では、新奇性指数はパルザン窓確率密度関数

【0005】

【数1】

$$p(\mathbf{x}) = \frac{1}{N(2\pi)^{d/2} \sigma^d} \sum_{i=1}^N \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{j=1}^d (x_j - x_{ij})^2\right\} \quad (1)$$

【0006】

に基づいており、ここで、

x_j （ここで j は $1 \sim d$ ）は、データ点 x の計測されたパラメータであり、たとえば、心拍数、呼吸、酸素飽和度、血圧、及び体温のパラメータに関して $d = 5$ であり、

x_{ij} は N 個のプロトタイプ点 x_N の対応するパラメータ値であり、

は全てのプロトタイプ点に割り当てられた全体幅であり、その値は、様々な方法を使用して、たとえばを10個の最近傍までの距離の平均と等しくすることによって確立される。

【0007】

新奇性指数（商業的にはVisensia指数）は以下のように規定される。

$$\text{新奇性指数} = -\log p(\mathbf{x}) + c$$

ここで、 c は、正常な入力がゼロのスコアを有することを確実にするための一定のオフセットである。Visensiaでは指数 $c = 6.0$ である。

【0008】

新奇性指数の使用、及び新奇性指数閾値に基づく警報の生成は、実際に非常に成功している。

【0009】

しかしながら、センサーのうちの1つからの信号が損失されたか又は欠落している場合に問題が存在する。たとえば、センサーが妨害されるか又は患者から落ちることは珍しいことではなく（たとえばECG電極又はパルス酸素濃度計フィンガープローブ）、センサ

10

20

30

40

50

一故障又は計測値が何らかの理由で見逃されることもある。ロバストであるためには、システムはそのような偶然性に対処する必要がある。

【0010】

このタイプのマルチパラメータ計測システムにおける手法は、欠落しているパラメータをその平均値で置き換えることであった。これによって、システムは、1つ又は複数のパラメータ計測値を損失しても入力を処理し続けることができる。

これによってシステムはロバストになるが、結果として誤った解釈が生じる可能性があり、これは潜在的に危険である。これは、欠落しているパラメータをその平均値で置き換えることが、パラメータが正常であると仮定していることに帰する。モニタリングされているシステムの全体状態が、異なるパラメータの組合せに基づいて解釈されている場合、これらのパラメータのうちの1つを正常であると強要することは、明らかに正常性に向けた全体の解釈に影響を与えるおそれがある。このため、欠落しているパラメータが正常であるという仮定に起因して、異常な状態が見逃される可能性がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】国際公開第02/096,282号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

したがって、本発明の1つの態様は、損失したセンサー出力に対処する改善された方法を提供することを目的とする。これは、入力の次元変動に関わらず一貫したスケールでシステム状態（新奇性指数等）の縮小次元評価が生成されることを確実にすることによって達成される。

本発明はまた、システム状態の縮小次元評価が単一のセンサーにおける変化によって生じているのか否かを判断することによって、センサー故障を検出することも可能にする。

【0013】

上述し国際公開第02/096,282号で開示された新奇性指数は、有用な尺度であることが分かっているが、多次元計測空間で計測されるため、実際の値は、その空間の次元数に依拠する。次元が増大したデータセット（及び上記のような信号損失を通じて次元が減少されたデータセット）に関して一貫して新奇性指数を計算することが可能となることが有用である。したがって、本発明の別の態様は、新奇性指数等のシステム状態の縮小次元評価を、次元が増大した入力データセット及び次元が減少した入力データセットに関して一貫して計算する方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0014】

リアルタイムモニタリングにおける1つ又は複数のパラメータの損失

本発明の第1の態様は、システムの複数の異なるパラメータの計測値に基づいて該システムの状態を表す新奇性指数を求めて表示する方法であって、前記複数のパラメータは、多次元計測空間のそれぞれの次元を規定し、

該方法は、

値のセット(sets)を受信するステップであって、該セット内の各値は、前記複数のパラメータのうちの異なる1つの計測値であり、各セットは、前記多次元計測空間におけるデータ点を規定する、受信するステップと、

各データ点の前記多次元計測空間における位置を、前記システムが正常状態にあることを表す前記パラメータの計測値を含むプロトタイプデータ点のセットと比較することによって、前記データ点ごとの前記新奇性指数を計算するステップと、

を含み、前記セットの前記パラメータ値のうちの1つ又は複数欠落している欠損したデータ点を受信する場合において、

該方法は、

10

20

30

40

50

欠落しているパラメータ値に対応する次元を除外した縮小次元空間において、前記欠損したデータ点の位置を前記プロトタイプデータ点のセットと比較することによって、前記欠損したデータ点の周辺新奇性指数を計算するステップと、

前記縮小次元空間に関して計算された、前記周辺新奇性指数と前記システムの異なる状態の周辺確率との間の所定の関係を使用するステップであって、システムが前記欠損したデータ点によって表される状態と少なくとも同じだけ前記正常状態に近い確率を表す周辺確率値を求める、使用するステップと、

前記多次元計測空間に関して計算された、前記新奇性指数と前記システムの異なる状態の確率との間のさらなる所定の関係を使用するステップであって、前記周辺確率値に等しい確率に対応する前記多次元計測空間における前記新奇性指数を求める、使用するステップと、

そのようにして求められた前記新奇性指数を、前記欠損したデータ点の前記新奇性指数として表示するステップと、
をさらに含む、方法を提供する。

【0015】

これにより、本発明は、確率値を利用して、入来データ点の次元の変動に関わらず新奇性指数の一貫した計算を可能にする。

【0016】

好ましくは、データ点ごとに前記新奇性指数又は前記周辺新奇性指数を計算するときに、該データ点の位置が、該データ点と前記プロトタイプデータ点のそれぞれとの間のユークリッド距離に基づく確率密度関数を使用して、前記プロトタイプデータ点のセットと比較される。前記確率密度関数は、上記の式(1)によって規定されるバルザン窓関数とすることができる。

前記プロトタイプ点はデータ点の複数のサンプルのトレーニングセットにおけるクラスター中心とすることができ、いずれのパラメータ値が欠落しているかに関わらず、前記縮小次元空間において前記周辺新奇性指数を計算するときに、同じクラスター中心を使用することができる。しかしながら、代替的な新たなクラスター中心を各縮小次元空間において計算してもよい。

【0017】

前記縮小次元空間及び前記多次元計測空間の双方において確率と新奇性指数をリンクする前記所定の関係は、前記データ点の複数のサンプルのトレーニングセットに基づくことができる。

前記関係は、

漸進的に最小値から最大値までの範囲をとる前記新奇性指数又は前記周辺新奇性指数の値を閾値としてとり、

該閾値のそれぞれについて、前記トレーニングセットにおける、閾値未満の前記新奇性指数を有するデータ点の割合(fraction)を求め、該割合を前記新奇性指数の確率値としてとるか、又は

前記閾値のそれぞれについて、前記トレーニングセットにおける、閾値未満の前記周辺新奇性指数を有するデータ点の割合を求め、該割合を前記周辺新奇性指数の周辺確率値としてとる

ことに基づくことができる。

前記トレーニングセットの各データ点を形成する前記値のセットから異なるパラメータ又はパラメータの組み合わせを毎回除外して、各異なる縮小次元空間について前記データ点の同じ単一のトレーニングセットを使用できる。

【0018】

本発明は、システムの複数の異なるパラメータの計測値に基づいて該システムの状態を表す新奇性指数を求めて表示するための装置であって、

前記複数の異なるパラメータの前記計測値を受信するための入力部と、

上記の方法ステップを実行するように構成されるプロセッサと、

10

20

30

40

50

前記新奇性指数を表示するためのディスプレイと、
を備える、装置も提供する。

【0019】

さらなるパラメータを用いて新たなデータセットの新奇性指数を求める

本発明の別の態様は、システムの複数の異なるパラメータの計測値に基づいて該システムの状態を表す新奇性指数を求めて表示する方法であって、

値の複数のセットを含むデータセットを受信するステップであって、各値は、前記複数のパラメータのうちの異なる1つの計測値であり、値の各セットは、次元Dの計測空間におけるデータ点を規定し、ここでDは1より大きい正の整数である、受信するステップと、

各データ点の次元Dの前記計測空間における位置を、前記システムが正常状態にあることを表す前記パラメータの計測値を含むプロトタイプデータ点のセットと比較することによって、前記データ点ごとの仮新奇性指数を計算するステップと、

次元Dの前記計測空間において、前記仮新奇性指数と前記システムの異なる状態の確率との間の関係を計算するステップであって、前記システムが、前記仮新奇性指数を有するデータ点によって表される状態と少なくとも同じだけ前記正常状態に近い確率を表す確率値を求める、計算するステップと、

前記計算された関係を使用するステップであって、前記データセットのデータ点ごとに、該点の仮新奇性指数に対応する前記確率値を求める、使用するステップと、

次元Lの空間において規定された、前記システムの異なる状態の前記確率と新奇性指数との間のさらなる所定の関係を使用するステップであって、LはDよりも小さい正の整数であり、データ点と前記プロトタイプデータ点との間の距離を比較することに基づいて、前記データセットの前記データ点ごとに、前記次元Lの空間において前記確率値に対応する前記新奇性指数を求める、使用するステップと、

そのようにして求められた前記新奇性指数を、前記データ点の前記新奇性指数として表示するステップと、
を含む、方法を提供する。

【0020】

好ましくは、データ点ごとに前記新奇性指数又は前記仮新奇性指数を計算するときに、該データ点の位置が、該データ点と前記プロトタイプデータ点のそれぞれとの間のユークリッド距離に基づく、パルザン窓関数のような確率密度関数を使用して前記プロトタイプデータ点のセットと比較される。

【0021】

増大されたD次元の空間及びより低いL次元の空間の双方において確率と新奇性指数とをリンクする前記所定の関係は、データ点の複数のサンプルのトレーニングセットに基づくことができる。

該関係は、

漸進的に最小値から最大値までの範囲をとる前記新奇性指数の値を閾値としてとり、

該閾値のそれぞれについて、前記トレーニングセットにおける、閾値未満の新奇性指数を有するデータ点の割合を求め、

該割合を前記新奇性指数の確率値としてとることに基づくことができる。

【0022】

本発明のこの態様は、上記の方法を使用して、次元が増大したデータセットに基づいてシステムの状態を表す新奇性の一貫した指数を求めて表示するための装置、及び該新奇性指数を表示するためのディスプレイも提供する。

【0023】

センサー不具合の検出

本発明の第3の態様は、システムのパラメータをそれぞれ計測する複数の異なるセンサーの中からセンサー故障を検出する方法であって、前記複数のパラメータは、D次元の計測空間のそれぞれの次元を規定し、Dは前記センサーの数に等しく、

10

20

30

40

50

該方法は、

値のセットを受信するステップであって、該セット内の各値は、前記センサーのうちの異なる1つからの計測値であり、各セットは、前記D次元の計測空間におけるデータ点を規定する、受信するステップと、

各データ点の前記D次元の計測空間における位置を、前記システムが正常状態にあることを表す前記パラメータの計測値を含むプロトタイプデータ点のセットと比較することによって、前記データ点ごとの新奇性指数を計算するステップと、

前記D次元の計測空間に関して計算された、前記新奇性の指数と前記システムの異なる状態の確率との間の所定の関係を使用することであって、前記システムが、前記データ点によって表される状態と少なくとも同じだけ前記正常状態に近い確率を表す確率値を求める、使用するステップと、

前記値のセットからの1つのパラメータ値を無視し、D - 1次元の空間における前記データ点の位置を、同じく前記D - 1次元の空間にあるプロトタイプデータ点のセットと比較することによって、前記データ点ごとに少なくとも1つの周辺新奇性指数を計算するステップであって、前記D - 1次元の空間は前記無視されたパラメータに対応する次元を除外する、計算するステップと、

前記D - 1次元の空間に関して計算された、前記周辺新奇性指数と前記システムの異なる状態の周辺確率との間のさらなる所定の関係を使用するステップであって、前記システムが、前記周辺新奇性指数によって表される状態と少なくとも同じだけ前記正常状態に近い確率を表す周辺確率値を求める、使用するステップと、

前記確率値と前記周辺確率値とを比較するステップと、

前記確率値及び前記周辺確率値が所定の閾値よりも大きく異なっている場合、そのパラメータ値が無視されたセンサーの故障のアラートを出力するステップと、を含む、方法を提供する。

【0024】

好ましくは、本方法は、

異なるパラメータ値を無視するごとに、周辺新奇性指数を計算するステップ、及び前記データ点ごとに周辺確率値を求めるステップを反復すること、並びに、

各結果の周辺確率値を前記確率値と比較することであって、前記センサーのそれぞれの故障を検査する、比較することをさらに含む。

【0025】

好ましくは、前記アラートは、前記周辺確率値のうちの1つのみが前記確率値から所定の閾値以上異なっている場合に出力される。

【0026】

新奇性指数は、そのデータ点とプロトタイプデータ点のそれぞれとの間で、パルザン窓関数のような、ユークリッド距離に基づく確率密度関数を使用して計算することができる。プロトタイプ点は、データ点の複数のサンプルのトレーニングセットにおけるクラスター中心とすることができ、上述したように、いずれのパラメータ値が欠落しているかに関わらず、D - 1次元空間において前記周辺新奇性指数を計算するときに同じクラスター中心を使用することができるが、代替的にD - 1次元の空間ごとに新たなクラスター中心を計算してもよい。

【0027】

再び以前と同様に、上記D - 1次元空間及び上記D次元の計測空間の所定の関係は、データ点の複数のサンプルのトレーニングセットに基づくことができる。それらは、新奇性指数の確率値を求めるために新奇性指数値に閾値を設ける同じ手法に基づくことができる。

【0028】

本発明のこの態様は、それぞれシステムのパラメータを計測する複数の異なるセンサーの中からセンサー故障を検出するための装置であって、前記センサーから入力を受信するための入力部と、上記の方法を実行するように構成されるプロセッサと、アラートを出

10

20

30

40

50

力するためのデバイスとを備える、装置も提供する。

【0029】

本発明の様々な態様は、マルチパラメータモニタリングを受ける様々なシステムに適用可能である。システムは特に、人間又は動物のような生体システムを含み、このとき、パラメータは医用計測値である。このように、本発明は医療モニタリングデバイスに適用することができる。例として、計測されるパラメータは上述した5つのバイタルサイン、すなわち(ECGからの)心拍数、血圧、体温、酸素飽和度(SaO₂)、呼吸数、及びグラスゴー昏睡スケール(GCS)スコアのような他のものとすることができる。

【0030】

本発明の方法におけるデータ処理ステップは、ソフトウェアにおいて具現化することができる。このように、本発明は、本発明の方法をデータプロセッサ上で実行するプログラムコード手段を備えるコンピュータプログラム、及びそのようなコンピュータプログラムを保持するデータキャリアのようなストレージ手段に拡張される。

【0031】

本発明は、添付の図面を参照して例としてさらに説明される。

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図1】本発明の一実施形態による装置を概略的に示す図である。

【図2】本発明の一実施形態における、確率と新奇性指数との間の関係の計算を説明する流れ図である。

【図3】1つ又は複数の損失したパラメータ値を有するデータ点を受信した場合の本発明の一実施形態の動作を説明する流れ図である。

【図4】次元が増大したデータセットの場合の一貫したスケールでの新奇性指数の計算を説明する流れ図である。

【図5】センサー故障を検出する本発明の一実施形態を説明する流れ図である。

【図6】(A)は、様々な次元データセットにおける新奇性指数及び確率に関連する曲線を示す図であり、(B)は、様々な次元データセットにおける周辺新奇性指数及び周辺確率に関連する曲線を示す図である。

【図7】サンプルの5次元のセットに関する新奇性指数と確率との間の計算された関係を示す図である。

【図8】(A)から(G)は、データ損失の期間が人工的に生成された、患者からのバイタルサインデータの12時間のマルチパラメータ記録に対する本発明の一実施形態の動作を示す図である。

【図9】特定の患者に関するバイタルサインデータのサンプルの12時間のマルチパラメータ記録におけるアラートの生成時の新奇性指数再計算の効果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0033】

図1は、本発明の一実施形態による装置を概略的に示している。本装置は、モニタリングされているシステムのパラメータをそれぞれ計測する複数のセンサーからの信号を受信するための入力部3を備える。たとえば、臨床モニターの場合、入力部は、心拍数、血圧、酸素飽和度、体温、及び呼吸数である。これらは連続して計測されるが、上述したように異なる収集レートで計測される。

計測値はプロセッサ5に入力され、プロセッサ5は下記で詳細に説明されるようにパラメータ計測値を処理し、これらの計測値に基づいて、患者の状態の示度(indication)をディスプレイ7に出力する。

【0034】

便宜上、パラメータ計測値は、パラメータごとに1つの、同時期の値のセットにグループ化され、それによって各セットは、たとえば心拍数計測値、体温計測値、血圧計測値、酸素飽和度計測値、及び呼吸数計測値から構成される。比較的低いレートでしか収集されないパラメータの場合、同じ計測値が、いくつかの連続した値のセットにおいて現

10

20

30

40

50

れる場合があることが理解されよう。

値の各セットは、多次元計測空間におけるデータ点を規定するものと見なすことができる。上記の例では、各セット内に5つのパラメータ値が存在するため、計測空間は5次元である。

【0035】

本発明のこの実施形態は、たとえばセンサー故障に起因する、パラメータ計測値のうちの1つ又は複数の損失に対処すると共に、任意の所与の時点において利用可能な異なるパラメータの数に関わらず、一貫した意味 (consistent meaning) を有する新奇性指数計測を提供するように設計される。

【0036】

したがって、装置の全体的な機能を示す図3を参照すると、ステップ31において値の新たなセットが受信された後、該セットがステップ32において検査され、何らかのパラメータが欠落しているか否かが判断される。

たとえば、システムが上述した5つのバイタルサインをモニタリングしている場合、計測空間における次元dが5であることに対応して5つのパラメータが存在するはずである。予期される通りパラメータの数が5つである場合、処理はステップ33に渡り、ステップ33において、上記で説明したように量を評価することによって新奇性指数が計算される。

$$\text{新奇性指数} = -\log p(x) + c \quad (2)$$

ここで、

【0037】

【数2】

$$p(x) = \frac{1}{N(2\pi)^{d/2} \sigma^d} \sum_{i=1}^N \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{j=1}^d (x_j - x_{ij})^2\right\} \quad (1)$$

【0038】

である。

【0039】

次に、この新奇性指数はステップ34においてディスプレイ7に表示され、オプションで、閾値と比較される。該閾値は、閾値を超えている場合にアラートの生成のためのものである。下記の例及び国際公開第02/096,282号のデバイスの現在の商用実装においては、3.2の新奇性閾値が使用される。このため、新奇性指数が3.2を超えるデータ点は、アラートを引き起こす。

【0040】

上記の式(1)の調査によって、新奇性指数が、データ点xと複数のプロトタイプ点 x_N との間の多次元計測空間における距離、すなわち $|x - x_N|$ に基づいていることが明らかである。

1つ又は複数のパラメータが欠落している場合には、上記で記述したように、新奇性指数の計算が行われることを可能にするために、これらのパラメータをそれらの平均値で置き換えることは望ましくない。

本発明のこの実施形態では、確率理論における周辺化のプロセスに類似した、より良好な手法が採用される。周辺化は、発生している何らかの他の事象に関わらず、1つの事象の確率を計算することを指す。この「周辺確率」は、不要な事象にわたって同時確率を合算することによって求められる。本発明者らは、変数の全てがガウスであり関連性がないという仮定の下で、1つのパラメータの周辺化は該パラメータを無視することに等しいことを発見した。

【0041】

したがって、この着想を新奇性指数の計算に適用する際、欠落しているパラメータに対応する次元を単に除外して、縮小次元空間における新たな周辺新奇性指数を計算するこ

10

20

30

40

50

とが可能である。

【0042】

多くのパラメーターが欠落しているため、1つのパラメーターしか残されていないか又はパラメーターが全く残されていない場合、新奇性は計算されず、これは図3に示すプロセスのステップ35及び36において検査及び提供されることに留意すべきである。

【0043】

たとえば、1つのパラメーターが欠落していると仮定すると、図3のステップ37において、新たに受信したデータ点の $(d - 1)$ 個のパラメーター及び複数のプロトタイプ点の同じ対応する $(d - 1)$ 個のパラメーターのみを使用して周辺新奇性指数が計算される。

10

たとえば、酸素飽和度値が新たに受信したデータ点から欠落している場合、新たに受信したデータ点及び N 個のプロトタイプデータ点の双方について、心拍数、体温、血圧、及び呼吸数の4つのパラメーターのみを使用して、式(1)における距離計算が4次元のみの計測空間において行われる。

【0044】

この計算によって、周辺新奇性指数の数値が生成されるが、この数値は必ずしも、5次元全てが存在した場合に生成されたであろう新奇性指数の値と等しいわけではないことを理解すべきである。

【0045】

したがって、新奇性指数の一貫したスケール(consistent scale)を異なる次元にわたって達成するために、本発明は、ステップ37において計算された周辺新奇性指数を、完全な5次元について計算された新奇性指数と一貫した(矛盾しない)正常な新奇性指数スケールに変換する方法を提供する。

20

特に、これは、新奇性指数を、トレーニングセット内の全ての状態に基づく確率値に変換することによって達成される。システムが特定の状態にある確率は、その状態を記述するのに使用される次元数と共に変動せず、従って異なる次元空間間で変換する好都合な一貫した方法を提供する。このため、 $(d - 1)$ 次元における周辺新奇性指数に対応する確率値を求めた後、同じ確率値を与える d 次元の新奇性指数を探す。

【0046】

本実施形態では、新奇性指数を確率に関連させる図6A及び図6Bに示す曲線が(下記でより詳細に説明されるように)異なる次元空間のそれぞれについて準備されている。このため、ステップ38において、図6Bの $(d - 1)$ 次元データセットに適切なカーブを使用して、ステップ37において取得された周辺新奇性指数に対応する周辺確率値が読み取られる。

30

【0047】

次に、ステップ39において、図6Aに示すような d 次元(たとえば5D)のデータセットの同様な曲線を使用して、ステップ38において求められた周辺確率と同じ確率を有する新奇性指数(たとえば5次元)を求める。ステップ39において求められる新奇性指数は、次に、ステップ34において、そのデータ点の新奇性指数として表示される。

【0048】

40

図6Bは、心拍数、血圧、酸素飽和度、体温、及び呼吸数を順番に除外することによってデータのトレーニングセットから計算された5つの4D空間のそれぞれについての周辺確率と周辺新奇性指数とを関連させる5つの曲線を示している。5つの曲線は類似しているが、図示されるようにわずかに異なっている。

図6Aは、5つ全てのパラメーター値が存在する5次元のデータセットについての、対応する曲線を示している。

図6A及び図6Bに示すように、心拍数パラメーターを除外した4次元のデータセットにおけるデータ点が2の新奇性指数を与える場合、これは周辺確率 0.891 (これはステップ36において周辺確率値 P' として読み取られる)に対応する。

図6Aにおいて、確率値 0.891 は新奇性値 3.8 (これはステップ37において新

50

奇性指数として読み取られる)に対応する。

このため、3.8が、心拍数パラメーターが欠けたそのようなデータ点に関する表示に適した新奇性指数である。

【0049】

図2は、図6A及び図6Bに示すような曲線が、本方法のステップ36及び37における使用のためにどのように計算されるかを示している。

新奇性指数値を確率値に変換するために、サンプルデータ点のトレーニングセットを有することが必要である。本発明のこの実施形態は、トレーニングデータからパルザン窓を使用して推定された分布をサンプリングすることによって生成された1000万個のデータ点から成るトレーニングセットを使用する。

このため図2のステップ21において、それぞれd(たとえば5)次元のN(=1000万)個のサンプル点を取り、ステップ22において、生理学的知識に基づくパラメーターごとの上限及び下限を使用して、アーチファクト除去プロセス(artefact rejection process)が適用される。たとえば、心拍数における上限は300拍/分であり、下限は30拍/分である。上限及び下限の外側のサンプルは、生理学的にもっともらしくないものとして除去される。

【0050】

次に、アーチファクト除去の後に残ったサンプル点ごとに新奇性指数が計算される。これは、式(1)及び式(2)を評価することを伴う。

【0051】

上述したように、本発明者らは、異なる次元の空間において生成された新奇性指数(これは確率密度に基づくものである)を関連付ける1つの方法は、(規定により0と1との間にある)確率値を使用することであると発見した。該確率値は、トレーニングセット内の全てのシステム状態と比較した、異なるシステム状態の確率を表す。

このため、新奇性指数値は同じシステム状態に関して次元と共に変動する場合があるが、確率は次元に関わらず一貫したスケールを提供する。

確率は、利用可能な情報に依拠する。心拍数及び呼吸数のデータが利用可能であり、かつそれらが異常である場合、確率は、同じ心拍数及び呼吸数のデータが、完全に正常な血圧と共に利用可能である場合よりも低くなる。システム状態に関する情報が増えると確率が変化する。

【0052】

したがって、そのような確率値を求めるために、ステップ24において、新奇性指数の一連の連続「閾値」が、最小予想新奇性指数から最大予想新奇性指数まで規定され、閾値ごとに、該閾値よりも低い新奇性指数を有するサンプル点の数がカウントされる。

この数は、サンプルの総数の割合として表され、システムがその新奇性指数閾値により意味される状態にあるか、又はシステムがその新奇性指数閾値により意味される状態よりも正常に近い状態にある確率を与える。

最大予想新奇性指数及び最小予想新奇性指数は、トレーニングセットを調査することによって自由に選択することができ、この例では最小の新奇性指数1.83及び最大の新奇性指数40.04が選択された。

次に、0.01のステップサイズによって分離される連続した新奇性指数値が生成され、各連続した閾値未満の閾値指数を有するサンプルの数がカウントされた。

【0053】

図7は、0と10との間の $-\log p(x) + 6.0$ の値(式(2)によって計算された新奇性指数値に対応する)に関して、ステップ25においてプロットされるような各連続した新奇性指数閾値の確率の結果としての値を示している。

図7は、完全な5次元のデータセットに関するプロットである。ステップ26において、5つのパラメーターのうちの異なる1つを無視することによって取得される4次元のデータセットごとにプロセスが反復される。プロセスは再び、5つのパラメーターのうちの異なる2つを無視することによって取得される3次元のデータセットごとに反復され、次

10

20

30

40

50

に再び、5つのパラメーターのうちの異なる3つを無視することによって取得される2次元のデータセットごとに反復される。このため、データセットの可能な異なる次元ごとに計26個の異なる曲線が取得される。

【0054】

正常性を表すプロトタイプ点は（適切な次元におけるプロトタイプ点を再計算することによって）異なる次元データセットごとに再計算することができるが、単純にするために、この実施形態では、単に除外されている1つ又は複数の関連パラメーターを無視して、同じプロトタイプ点が次元ごとに使用されたことに留意すべきである。

【0055】

図6Aは、5次元のモデルの曲線を、図6Bにおける5つの異なる4Dモデルに関する5つの異なる曲線と並べて示している。

10

【0056】

図8は、図3の方法を患者の5つ全てのバイタルサインの6時間の記録に適用した結果を示している。ここで、或る特定の期間、パラメーターのうちの1つ、2つ、又は3つが（人工的に）除去され、新奇性指数が、図3の方法によって見積もられると共に、比較のために損失したパラメーターをその平均と置き換えることによって見積もられる。したがって、これはセンサー故障又は損失の効果を再現する。

【0057】

図8(A)では、任意の欠落しているパラメーターの周辺化を使用して計算された新奇性指数（点線）が、全ての元データを使用する元の5Dモデルを使用して生成された出力（実線）と比較して示されている。

20

さらなる比較として、図8(B)は、欠落しているパラメーターをトレーニングデータにおけるそれらの平均と置き換え、元の5Dモデルを使用して新奇性指数を計算することによる欠落しているパラメーターの対処を示している。これは、点線で示されており、ここでもまた、全てのデータを使用して計算された新奇性の実線が示されている。

【0058】

図8(C)～図8(G)は、新奇性指数を計算するのに使用されるバイタルサインのそれぞれを示している。プロットされる値は、上部の2つのプロット（図(A)及び(B)）における点線で描かれたデータを生成するのに使用される計算からそのバイタルサインが除去されているときに点線で描かれる。比較のために、時間軸に沿って6つの1時間セグメントが規定された。第1のセグメントは、全てのバイタルサインが1時間全体にわたって利用可能であることに対応する。第2～第6のセグメントはそれぞれ、異なる組合せの欠落しているバイタルサインを伴う最初の30分の期間、及び全てのバイタルサインが利用可能である次の30分の期間に対応する。

30

【0059】

図8における0分～60分の期間は、全てのバイタルサインが利用可能であることに対応し、結果として4つ全ての新奇性指数トレース（図8(A)及び図8(B)の双方における実線及び点線）が同一である。

60分と90分の間では、体温が計算から除外されていることから、体温トレースは点線で描かれている。記録された体温値は、トレーニングデータセットにおける平均（36.05）に非常に近い。この結果として、欠落しているパラメーターをトレーニングデータにおけるその平均と置き換えることによって計算された新奇性指数（図8(B)において点線で描かれる）と、全ての元データを使用して計算された新奇性指数（実線）とを識別することは困難である。

40

図8(A)において、周辺化されたモデルに対応する新奇性指数（点線）は、全てのデータを使用して計算された新奇性指数（実線）よりも高い。体温が正常な値を有するという知識はもはや存在しないため、この情報が存在しないとき、他の4つのバイタルサインを含むパターン（システム状態）は、より特異に見え、それに応じて、新奇性指数は全てのデータを使用して計算された新奇性指数（実線）よりも高くなる。

【0060】

50

90分～120分の期間では、再び5つ全てのバイタルサインが利用可能であり、4つ全ての新奇性指数プロットが同一である。

120分と150分の間では、血圧(SDA)及び体温の双方が人工的に除去される。体温はここでもまたトレーニングデータにおけるその平均に近く、SDAはトレーニングデータセットにおける平均値を上回る0.86の標準偏差である(94.7mmHg)。

双方の値が極めて正常であるため、図8(B)において、欠落しているパラメーターをトレーニングデータにおける平均と置き換えることによって計算された新奇性指数(点線)は、全てのデータを使用して計算された新奇性指数(実線)に近い。ただし、双方のパラメーターが平均値と等しいという仮定は正しくないため、実際の値を使用して計算された新奇性指数は少し高くなる。

図8(A)では、図3の周辺化モデルを使用して計算された新奇性指数(点線)は、全てのデータを使用して計算された新奇性(実線)よりも大幅に高い。正常な体温及びSDAという背景がない心拍数、呼吸数、及び血液酸素飽和度の異常性によって、新奇性指数は、他のパラメーターの値も使用されるときよりも高くなる。

【0061】

150分～180分の期間中、再び5つ全てのバイタルサインが利用可能であり、4つ全ての新奇性指数プロットが同一である。

180分と210分の間では、血液酸素飽和度及び体温の双方が人工的に除去される。この期間中、体温はより低く、平均を下回って0.35～0.66の平均偏差の範囲をとる。血液酸素飽和度は100%であり、したがって、トレーニングデータにおける平均を上回る1.4の標準偏差である。

欠落しているパラメーターの双方が平均から或る距離離れているため、それらがトレーニングデータにおける平均と等しいと仮定して計算された新奇性指数(図8(B)における点線)は、真の値を使用して計算された新奇性指数(実線)よりも大幅に低い。

図8(A)において、周辺化モデルを使用して計算された新奇性指数は、全てのバイタルサイン値を使用して計算された新奇性指数に近い。周辺化は、欠落しているパラメーターに関して何ら仮定を行っておらず、それらに関する情報がないとき、残りの3つのパラメーターから計算された新奇性指数は高い。

【0062】

210分～240分において、再び5つ全てのバイタルサインが利用可能であり、4つ全ての新奇性指数プロットが同一である。

240分と270分の間では、血圧(SDA)、体温、及び呼吸数が全て人工的に除去される。すなわち、心拍数及び血液酸素飽和度のみを使用して、図8(A)及び図8(B)において点線で示される新奇性指数を計算する。

この期間の間、SDAは平均を上回る1.1の標準偏差であり、体温は、平均を下回る0.3の標準偏差であり、呼吸数は、平均を下回る1.6の標準偏差と、平均を上回る0.9の標準偏差との間である。

3つの欠落しているパラメーターのうちの2つが平均から概ね1の標準偏差であるため、それらをトレーニングデータの平均と置き換えて図8(B)における新奇性指数を生成するとき、新奇性指数は真の値を使用して計算された新奇性指数(実線)よりも低い。

この期間において、心拍数は平均を下回る0.4の標準偏差と、平均を上回る0.93の標準偏差との間であり、血液酸素飽和度は平均を上回る1.4の標準偏差を保つ。

図8(A)において点線でプロットされた新奇性指数は、5つ全てのパラメーターのデータを使用して計算された新奇性指数よりも大幅に高い。この理由は、SDA、体温、及び呼吸数計測の背景がない場合、血液酸素飽和度及び心拍数の値の特異な対が低い確率を有するためである。

【0063】

300分～330分の期間において、再び5つ全てのバイタルサインが利用可能であり、4つ全ての新奇性指数プロットが同一である。

10

20

30

40

50

330分と360分との間、SDA、血液酸素飽和度、及び体温が全て人工的に除去される。すなわち、心拍数及び呼吸数のみを使用して、2つの点線で示されるプロットにおける新奇性指数を計算する。

SDAは、平均を上回る1.1の標準偏差であり、血液酸素飽和度は、平均を下回る1.4の標準偏差であり、体温は、平均を下回る0.2の標準偏差である。

欠落しているパラメーターのうちの2つが平均から1より大きい標準偏差であるため、欠落しているパラメーターをトレーニングデータにおける平均と置き換えて計算された新奇性指数(図8(B)において点線で示されている)は、全てのバイタルサインデータを使用して計算された新奇性指数(実線)よりも大幅に低い。図8(A)では、周辺化モデルを使用して計算された新奇性(点線)は、全ての利用可能なデータを使用して計算された新奇性により近い。

10

【0064】

300分～330分の期間において、心拍数は、平均を下回る0.33の標準偏差と、平均を上回る0.4の標準偏差との間で変動し、呼吸数は、平均を下回る1.2の標準偏差と、平均を上回る1.1の標準偏差との間で変動する。

図8(A)では、周辺化モデルにおいてこれらの値を使用して計算された新奇性(点線)は、平均して、全てのバイタルサインデータを使用して計算された新奇性に近い。

周辺化モデルを使用して計算された新奇性指数は、5つ全てのパラメーターを使用して計算された新奇性指数よりも、トレーニングデータにおける平均を上回る呼吸数及び心拍数における動揺、並びにトレーニングデータにおける平均を下回る呼吸数及び心拍数における動揺に対し、より敏感であることに留意すべきである。

20

これは、他の3つのパラメーターに対して心拍数及び呼吸数の確率を調整しない場合、心拍数、呼吸数の値における小さな変動が、バイタルサインパターン(システム状態)の確率に対し、より重大な影響を有するためである。

図面の最後の30分(330分～360分)は、全てのバイタルサインデータを使用する全てのモデルに対応し、再び4つの新奇性指数トレースが同一である。

【0065】

序論において言及したように、新奇性指数の計算の1つの用途は、患者の状態が或る閾値量よりも多く正常性から逸脱したときにアラートを生成する際に使用することである。図9は、特定の患者に関するサンプルの12時間の記録におけるアラートの生成時に、上記で説明したように、新奇性指数を再計算する効果を示している。

30

【0066】

図9は、そのような12時間の期間の新奇性及びバイタルサインを示している。

図9(A)は、元のモデルを使用して生成された新奇性指数及びアラートを示しており、ここで平均値を使用して欠落しているパラメーターが置き換られている。図9(B)は、本発明の方法を使用して計算された新奇性指数を示している。

心拍数、呼吸数、血液酸素飽和度、及びSDAが全て利用可能である期間中、たとえば02:30と03:00との間、2つの新奇性指数プロットは類似している。それらの新奇性指数は、本発明を使用して計算された新奇性指数がわずかに高くなる傾向にあるため、同一でない。これは、本発明が、全体の記録から欠けている体温データがトレーニングデータにおけるその平均と等しい(したがって正常である)という仮定を行わないことに起因する。

40

【0067】

2つのパラメーターが欠落しているとき、たとえば03:00と04:30の間では、双方の新奇性指数は近いが、ここでもまた、双方の欠落しているパラメーター(体温及びSDA)が正常であると仮定されないため、その新奇性指数がより高い。

3つのパラメーターが欠落しているとき、たとえば04:30と05:15の間では、新奇性指数は、本発明の方法を使用してのみ計算され(図9(B))、異常な高い呼吸数は、短期間に3.2のアラート閾値を超える高い値の新奇性指数に寄与する。

この期間中、本発明の方法は、心拍数及び呼吸数の情報のみが利用可能であるときの特

50

異なるバイタルサインの期間中に新奇性指数を計算することを可能にする。図9(A)から見て取ることができるように、平均による置き換えの方法は、そのような期間中新奇性指数を全く返さない。

【0068】

図9(B)の08:30において、追加のアラートを見て取ることができる。双方のモデルを使用して計算された新奇性指数が閾値を超えるが、アラートは2つの理由で元のモデルによって生成されない。

第1に、心拍数及び血液酸素飽和度の双方が欠落しているため、元のモデルによって新奇性指数が計算されないときがある。

第2に、心拍数のみが欠落している(血液酸素飽和度は再び利用可能となっている)とき、図9Bにおける新奇性指数はより高い。なぜなら、体温及び心拍数の双方がトレーニングデータにおけるそれらの平均(正常値)と等しいと仮定されないとき、バイタルサインパターンの確度が下がるためである。

【0069】

双方のモデルにおいて、10:10において警報が存在する。しかしながら、この警報は、図9(B)において、新奇性指数がより高いため、より長く続く。体温を除いた全てのパラメーターが利用可能であるため、欠落している体温が正常であるともはや仮定しないことの結果としてのみ新奇性指数がより高くなる。

12:10におけるアラートは、双方のモデルに関してほとんど同一である。

13:20において、図9(B)においてのみさらなるアラートが存在する。ここでもまた、体温を除いた全てのパラメーターが利用可能であり、このため、単に体温を除外した結果、アラートをトリガーする新奇性指数が高くなる。

13:40における最終アラートは、同じ理由で図9Bにおいて部分的により長く続く。

【0070】

次元が増大したデータセットの扱い

確率を使用して異なる次元のデータセット間の新奇性指数の変換を可能にするという着想は、上述した低い次元のみでなく、高い次元を有するデータセットを扱うように拡張することができる。そのような状況は、たとえば、以前に計測されていない別のパラメーターの計測値を含む新たなデータセットが提供される場合に生じることがある。

ここでもまた、新たなデータセットの新奇性指数を計算することが可能であり、かつこの新奇性指数が、追加のパラメーターを含まないデータセットの新奇性指数と一貫したスケールにあることが有用である。

本発明の上記の概念は、これが行われることを可能にする。

図4は、プロセスを広義に説明している。理解を容易にするために、患者の意識のインジケーションであるグラスゴー昏睡スコア(GCS)のような1つの追加のパラメーターと共に、患者における上記の5つのバイタルサインの計測値から構成されるデータセットの新奇性指数の計算を参照して説明される。しかし、本方法は、2つ以上の新たなパラメーターの追加に適用可能である。

【0071】

ステップ41において、新たなデータセットが取られる。該データセットにおいて、各データ点は、上述した5つのバイタルサイン及びグラスゴー昏睡スコアの同時期の計測値から構成される。このため、データセットは6次元を有する。

より一般的には、図4において、これは次元 $D = d + 1$ として示される。5つの元のバイタルサイン(次元 $d = 5$)のみから構成されるデータセットに対して計算された新奇性指数と一貫する(consistent)新奇性指数を計算することが目的である。

したがって、ステップ42において、データ点ごとに、式(1)及び式(2)を使用することによって、6次元の計測空間において「仮」新奇性指数が計算される。これは、各データ点の距離を、正常性を表す複数のプロトタイプデータ点と比較することを伴う。

これらのプロトタイプデータ点は、 $D = d + 1$ 次元を有する新たなトレーニングデータ

10

20

30

40

50

セットから計算される。代替形態として、元の d 次元のデータセットからの確率に、新たなパラメータ（独立していると仮定する）の一次元の確率を乗算する。

【0072】

次に、ステップ43において、様々なシステム状態の確率と仮新奇性との間の関係を計算して、（ D 次元に関して）図7に示す曲線と等価な曲線をプロットする。

このため、仮新奇性指数の最大値及び最小値が選択される。次に、最小値から始まり、選択されたステップサイズだけ増大させて最大値まで順番に、連続した仮新奇性指数閾値がとられる。そして、そのそれぞれについて、閾値未満の仮新奇性指数を有するデータ点の割合が、その仮新奇性指数に対応する確率値としてとられる。

【0073】

次に、ステップ44において、データ点（又は少なくとも表示される各データ点）ごとに、その仮新奇性指数に対応する確率値が、ステップ43において計算された曲線から読み取られる。

ステップ45において、この確率値を、より低い次元計測空間に関して計算された関係（たとえば図7に関係が示される5次元の正常計測値）と共に使用して、同じ確率値を有する5次元の新奇性指数を求める。

そのようにして求められた新奇性指数は、そのデータ点の適切な新奇性指数と見なされ、ステップ46において表示される（より低い d 次元の計測空間の関係は、より高い $D = d + 1$ 次元のデータセットから、1つのパラメータを無視することによって、又は d 次元のデータセットを使用することによって計算することができることに留意されたい）。

【0074】

上記の説明は、ステップ43において $D = d + 1$ 次元のデータ空間における関係を計算した後、予め存在するデータセットをいずれが扱うかを説明しているが、次にこの関係を、ステップ47において示されるように $D = d + 1$ 個のパラメータを有する新たなデータ点を受け取るリアルタイムデータモニターにおいて使用することができる。

ステップ48において、新たなデータ点ごとに $D = d + 1$ 次元の仮新奇性指数が計算され、ステップ43において生成された曲線から確率値が読み取られ、ステップ45において D 次元の対応する新奇性指数を求めるのに使用される。

【0075】

センサー故障の検出

本発明の概念は、マルチパラメータモニタリングデバイスにおけるセンサー故障の検出を可能にするためにも適用可能である。ここで使用される用語「センサー故障」は、感知デバイス自体の故障を意味するのみでなく、センサーが落ちている可能性があるか、又はセンサーとモニタリングデバイスとの間に接続の問題が存在する可能性がある状況も意味する。

【0076】

本発明がそのようなセンサー故障の検出を可能にする方法は、全てのセンサー入力によって表されるようなシステムの現在の状態の、新奇性指数に基づく確率値と、センサー入力の個々の入力を（順番に）無視することによって計算される確率値とを比較することである。

たとえば m 番目のセンサーを無視することによって計算された確率値が、全てのセンサー入力を使用することによって計算された確率値よりもはるかに高い（より正常である）場合、その単一の m 番目のセンサーに関して問題が存在する可能性が高い。これは、モニタリングされているシステムの真に異常な状態は、2つ以上のセンサーにおける異常な値によって反映される傾向にあるという推定に基づく。

【0077】

図5は、プロセスフローを示している。このプロセスは、図1に示す装置のプロセッサ1によって実行される。

【0078】

ステップ50は、 d 個のセンサーのそれぞれから1つずつ、 d 個のパラメータを有す

10

20

30

40

50

るデータ点の受信を示している。

ステップ51において、式(1)及び式(2)を使用して新奇性指数が計算され、次に、新奇性指数と、図7(5次元の場合)に示す確率値のような確率値との間のd次元の関係を使用して対応する確率値が求められる。

これによって、完全な5次元のデータ点に基づいて確率値 P_d が与えられる。

【0079】

ステップ52において、データ点のd個のパラメータのうちの異なる1つを順番に無視することによってデータ点が計算される。このようにして、元々5次元のデータ点の場合、異なる4次元の空間のそれぞれに1つずつ計算される5つの異なる周辺新奇性指数が存在する。

ステップ53において、周辺確率と、図6(B)において示される周辺新奇性指数のような周辺新奇性指数との間の関係から、周辺確率 P'_{d-1} が取得される。

このようにして、データ点ごとに、5つの異なる周辺確率が取得され、それぞれの周辺確率はパラメータのうちの異なる1つを無視した確率値に対応する。

【0080】

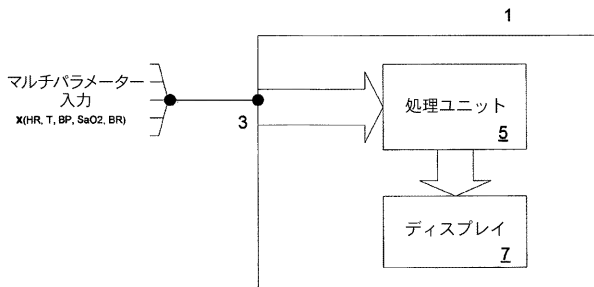
ステップ54において、周辺確率値 P'_{d-1} のそれぞれが、d個全てのパラメータに関して計算された確率値 P_d と比較される。

次に、ステップ55において示されるように、周辺確率値のうちの1つのみと、完全なd次元の確率値 P_d との間に重大な不一致が存在する(すなわち差異の大きさが所定の閾値よりも大きい)場合、その周辺確率値に関してパラメータが無視されたセンサーの性能不良のアラートが生成される。

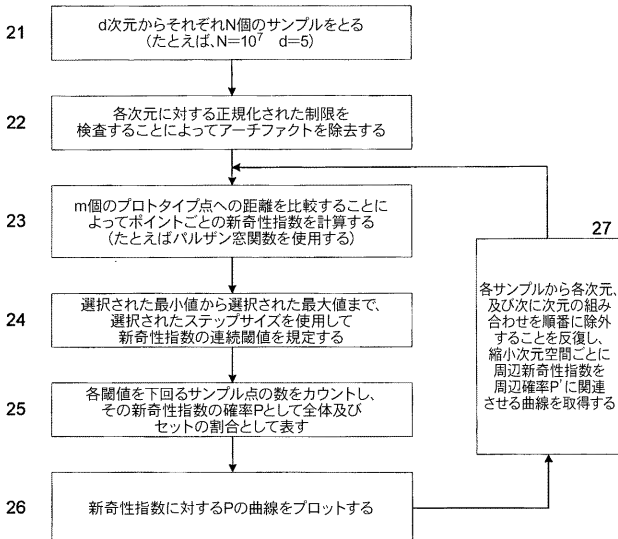
10

20

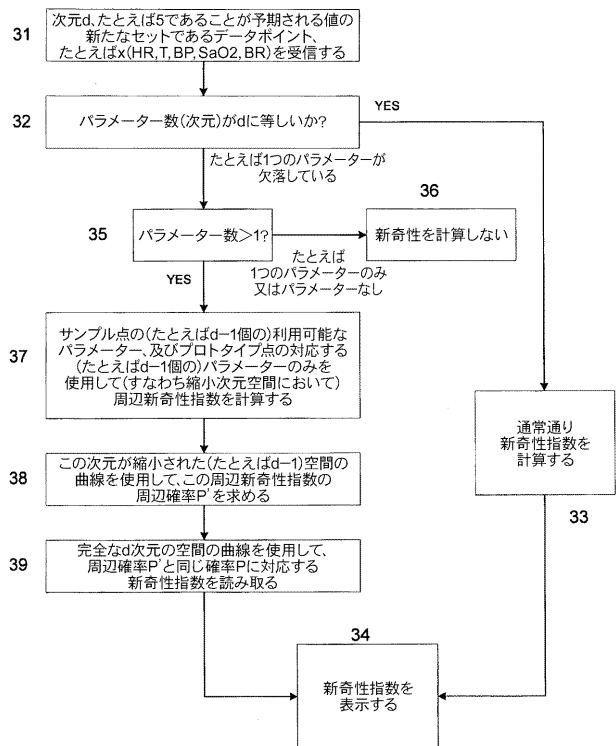
【図1】



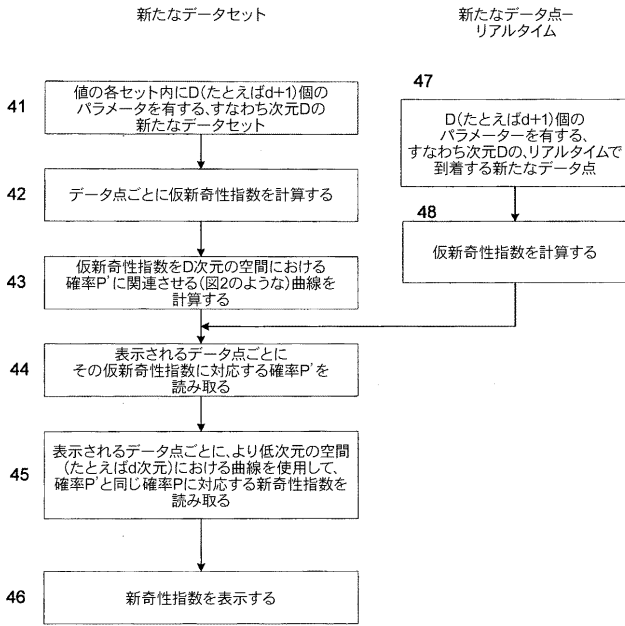
【図2】



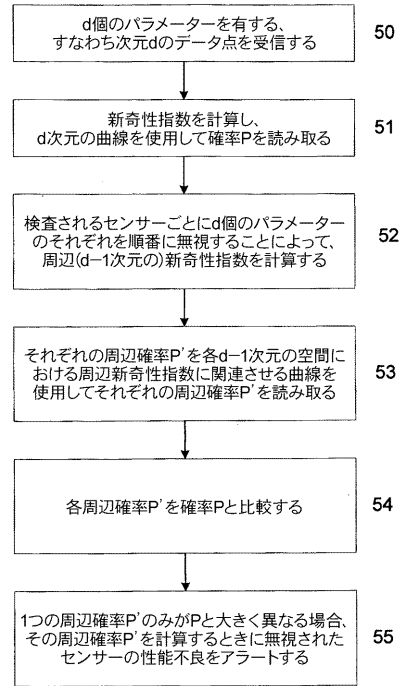
【図3】



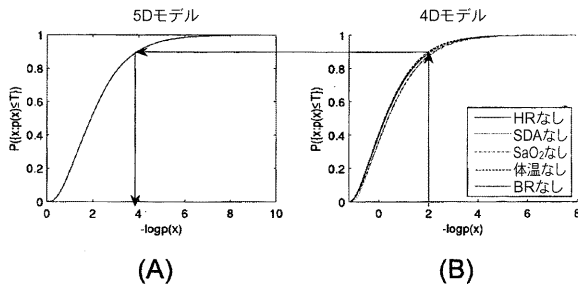
【 図 4 】



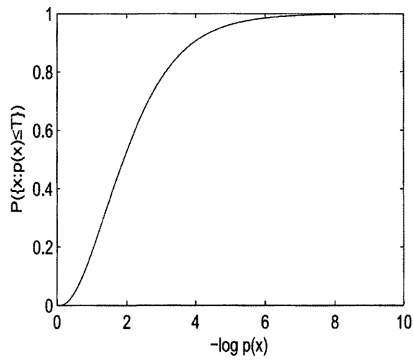
【 図 5 】



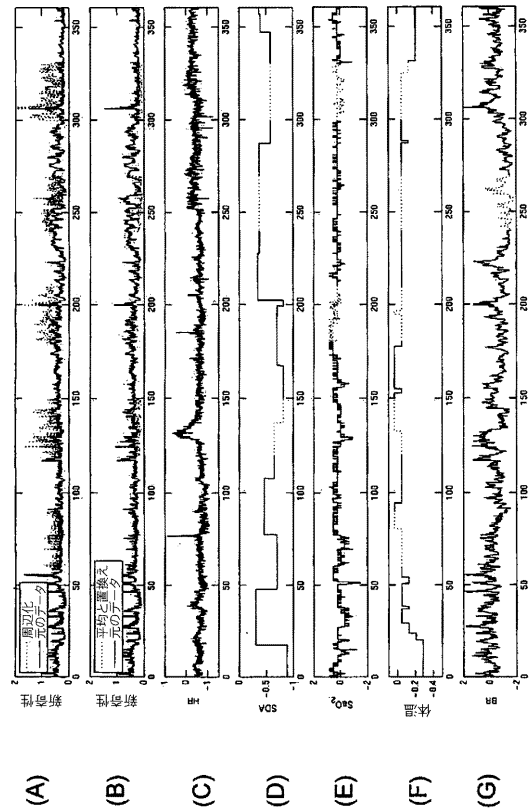
【 図 6 】

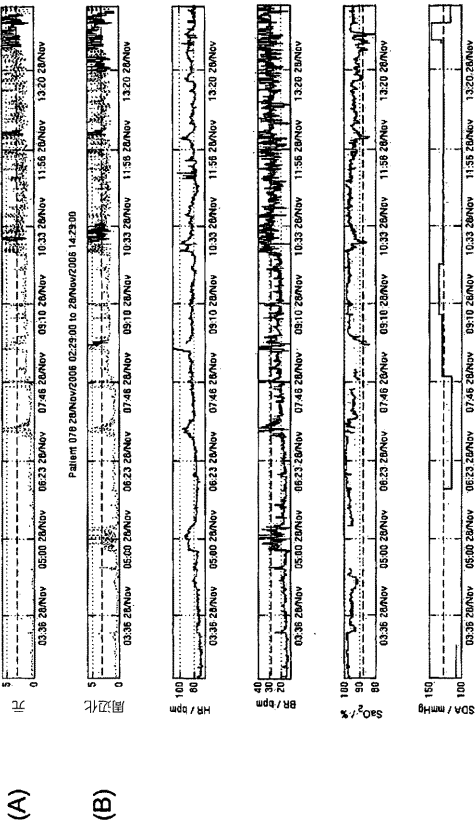


【 図 7 】



【 図 8 】





フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, 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, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(74)代理人 100147500

弁理士 田口 雅啓

(74)代理人 100166235

弁理士 大井 一郎

(72)発明者 ハン、アリスティア

イギリス国、オックスフォードシャー・オーエックス14・4エスイー、アビンドン、ミルトン・パーク 174、ブルック・ハウス、オックスフォード・バイオシグナルズ・リミテッド

(72)発明者 タラセンコ、ライオネル

イギリス国、オックスフォード・オーエックス3・7ディーキュー、オールド・ロード・キャンパス・リサーチ・ビルディング、ユニヴァーシティ・オヴ・オックスフォード、ディパートメント・オヴ・エンジニアリング・サイエンス、インスティテュート・オヴ・バイオメディカル・エンジニアリング

Fターム(参考) 4C117 XB03 XE58

5B056 BB64

专利名称(译)	多参数监测中改进或多参数监测的改进		
公开(公告)号	JP2012505456A	公开(公告)日	2012-03-01
申请号	JP2011530556	申请日	2009-10-09
[标]申请(专利权)人(译)	牛津大学的生物信号的有限		
申请(专利权)人(译)	牛津生物信号的有限		
[标]发明人	ハンアリステア タラセンコライオネル		
发明人	ハン、アリステア タラセンコ、ライオネル		
IPC分类号	G06F17/18 A61B5/00 G06Q50/24 G06F19/00 G16H10/60		
CPC分类号	A61B5/02055 A61B5/021 A61B5/0245 A61B5/0816 A61B5/145 A61B5/6843 A61B2560/0276 G06K9/00536 G06K9/6284 G16H10/00 G16H40/67 G16H50/70 G06F19/36		
FI分类号	G06F17/18.D A61B5/00.G G06F17/60.126.H		
F-TERM分类号	4C117/XB03 4C117/XE58 5B056/BB64		
代理人(译)	英年古河 Kajinami秩序 田口MiyabiAkira 爱一郎		
优先权	2008018544 2008-10-09 GB		
其他公开文献	JP5544365B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

如何通过测量系统的多个参数来获得对被监视系统状态的一致评估。使用多个参数，基于系统的当前状态和正常状态之间的距离，使用Parzan窗口概率函数来计算单维值。无论原始数据集的维度如何，都可以通过确定单维值与系统状态概率之间的关系来获得一致的单维值。针对数据集的不同维度获得不同的关系。通过忽略不同的参数，通过测量所有可用参数与隐含状态的概率来检查隐含状态的概率来检测传感器故障可以。两个概率的主要差异表明存在传感器故障的可能性。

05]

$$\frac{1}{N(2\pi)^{d/2} \sigma^d} \sum_{i=1}^N \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{j=1}^d (x_j - x_{ij})^2 \right\}$$