

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6275115号
(P6275115)

(45) 発行日 平成30年2月7日(2018.2.7)

(24) 登録日 平成30年1月19日(2018.1.19)

(51) Int.Cl.	F 1
H05B 37/02 (2006.01)	H05B 37/02 B
H05B 37/03 (2006.01)	H05B 37/03 D
H04Q 9/00 (2006.01)	H04Q 9/00 301B

請求項の数 13 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2015-505042 (P2015-505042)
(86) (22) 出願日	平成25年4月4日(2013.4.4)
(65) 公表番号	特表2015-518246 (P2015-518246A)
(43) 公表日	平成27年6月25日(2015.6.25)
(86) 国際出願番号	PCT/IB2013/052698
(87) 国際公開番号	W02013/153490
(87) 国際公開日	平成25年10月17日(2013.10.17)
審査請求日	平成28年3月31日(2016.3.31)
(31) 優先権主張番号	61/622,110
(32) 優先日	平成24年4月10日(2012.4.10)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	516043960 フィリップス ライティング ホールディング ピー ヴィ オランダ国 5656 アーエー アイントホーフェン ハイ テク キャンパス 45
(74) 代理人	110001690 特許業務法人M&Sパートナーズ
(72) 発明者	ビルル ダグナチュー オランダ国 5656 アーエー アイントホーフェン ハイ テク キャンパス 5

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明制御用のフォトセンサの障害検出、位置特定及び性能モニタリング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

照明制御システムのセンサをモニタリングするシステムであって、ネットワークに接続された複数のセンサと、前記ネットワークに接続され、訓練サブシステム、検出サブシステム及び位置特定サブシステムを含むコンピュータデバイスと、を含み、

前記訓練サブシステムは、前記複数のセンサに対し、前記複数のセンサの履歴データの少なくとも一部について統計値を計算し、前記検出サブシステムは、前記複数のセンサから測定値を収集し、前記訓練サブシステムから提供された計算された前記統計値に少なくとも基づいて、前記複数のセンサのうち障害のあるセンサを決定し、前記位置特定サブシステムは、前記複数のセンサのそれぞれに対して決定される障害指示子に基づいて、前記複数のセンサのうち前記障害のあるセンサの場所を決定し、

前記統計値を計算することは、所与の時間 t における照度の結合確率分布関数 (P D F) を決定することを含む、システム。

【請求項 2】

前記複数のセンサは、フォトセンサである、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記検出サブシステムは、確率密度を決定する、請求項 1 に記載のシステム。

10

20

【請求項 4】

前記検出サブシステムは、前記確率密度を所定閾値と比較して、前記複数のセンサのうち障害のあるセンサがあるかどうかを決定する、請求項 3 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記位置特定サブシステムは、各センサにつき、前記センサのそれぞれの確率密度をそれぞれの所定閾値と比較して、各センサに障害があるかどうかを決定する、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

照明制御システム内のセンサをモニタリングする前記照明制御システム内の装置であつて、

10

少なくとも、ネットワークに接続された複数のセンサからデータを収集する、前記ネットワークへのインターフェースと、

訓練サブシステム、検出サブシステム及び位置特定サブシステムを含む障害検出ユニットと、

前記訓練サブシステム、前記検出サブシステム及び前記位置特定サブシステムのうちの少なくとも 1 つのシステムのデータを記憶する事前データストレージと、

を含み、

前記訓練サブシステムは、前記複数のセンサに対し、前記複数のセンサの履歴データの少なくとも一部について統計値を計算し、前記検出サブシステムは、前記複数のセンサから測定値を収集し、前記訓練サブシステムから提供された計算された前記統計値に少なくとも基づいて、前記複数のセンサのうち障害のあるセンサがあるかどうかを決定し、前記位置特定サブシステムは、前記複数のセンサのそれぞれについて決定される障害指示子に基づいて、前記複数のセンサのうち前記障害のあるセンサの場所を決定し、

20

前記統計値を計算することは、所与の時間 t における照度の結合確率分布関数 (P D F) を決定することを含む、装置。

【請求項 7】

前記複数のセンサは、フォトセンサである、請求項 6 に記載の装置。

【請求項 8】

前記検出サブシステムは更に、確率密度を決定する、請求項 6 に記載の装置。

【請求項 9】

前記検出サブシステムは更に、前記確率密度を所定閾値と比較して、前記複数のセンサのうち障害のあるセンサがあるかどうかを決定する、請求項 8 に記載の装置。

30

【請求項 10】

前記位置特定サブシステムは更に、各センサにつき、前記センサのそれぞれの確率密度をそれぞれの所定閾値と比較して、各センサに障害があるかどうかを決定する、請求項 9 に記載の装置。

【請求項 11】

照明制御システムのセンサをモニタリングする方法であつて、

所与の時間 t における照度の結合確率分布関数 (P D F) を決定するように、前記照明制御システムの複数のセンサの訓練を行うステップと、

40

前記訓練からパラメータを収集し、前記パラメータを事前データストレージに記憶するステップと、

前記複数のセンサの照度を観察するステップと、

前記事前データストレージに記憶された前記パラメータに部分的に基づいて、前記複数のセンサのうち少なくとも 1 つの障害のあるセンサがあるかどうかを決定するステップと、

前記障害のあるセンサがある場合に、前記複数のセンサのそれぞれについて障害指示子を決定するステップと、

決定された前記障害指示子に基づいて、前記障害のあるセンサの位置を特定するステップと、

50

を含む、方法。

【請求項 1 2】

前記訓練からパラメータを収集するステップは更に、ガウス分布成分の最適数を決定するステップを含む、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記障害のあるセンサがあるかどうかを決定するステップは、確率密度を決定するステップを含む、請求項 1 1 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

10

本発明は、概して、照明制御、より具体的には、照明制御システムにおけるセンサの性能のモニタリングに関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

10

高度照明制御全般の普及及びその制御のためのネットワーク化されたシステムの使用は、特に増加することが予想されている。このような需要は、エネルギー節約、生態学的影響フットプリントの縮小、政府報奨金の活用に関する問題の意識、及び、特定の建築性能目標及び環境性能評価システム（L E E D）の認可証といった産業界の認可証の条件を満たす要求の増加によって刺激される。

【0 0 0 3】

20

このような進歩に対する要望の結果、照明制御システムの複雑さは、単純な光スイッチから、複数のサブシステムを組み込んだより高度で複雑なシステムに移行している。このような高度な照明制御システムの最適性能を維持するには、従来、照明制御システムにおいて一般的には適用されてきていない高度なストラテジが部分的に必要である。

【0 0 0 4】

30

照明制御システムの1つの重要な性能的側面は、例えば光センサであるそのセンサの性能である。このようなセンサの性能は、正常動作を確実にするためにモニタリングされる必要がある。異常又は欠陥のあるセンサは、高度照明制御システムの性能に明らかに影響を及ぼし、機会の喪失及び儉約の阻害につながる。光センサ異常は、例えばユーザによる不正使用、センサの表面の埃、電子的劣化、反射環境の変化、通信問題等を含む複数の原因によることがある。較正された性能に従って動作することのできない光センサは、照明制御システム全体の性能に支障を來す。通常、このような問題は気付かれないか、又は、照明制御システムの性能によるものとされる。現在では、照明システムにおける問題が、障害があって交換、修理、及び自己又は手動較正が必要な光センサに起因するのかどうかを判定するために利用可能なソリューションはない。このような照明システムのユーザは、性能全体に支障がある場合には当該システムを使用不可にする傾向があり、したがって、電力消費量を増加させるので、この点は、大きな不利点である。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 5】

40

したがって、少なくとも光センサの障害を検出するためのソリューションを有する照明制御システムを提供することが有利である。また、当該ソリューションは、問題が検出されるとすぐに、自動的に又は例えば建物の運営担当者によって、行われる補正動作を可能にすることが更に有利である。

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 6】

本明細書に開示される特定の実施形態は、照明制御システムのセンサをモニタリングするシステムを含む。当該システムは、ネットワークに接続された複数のセンサと、ネットワークに接続され、訓練サブシステム、検出サブシステム及び位置特定サブシステムを含むコンピュータデバイスとを含み、訓練サブシステムは、システムの最適動作を決定し、

50

検出サブシステムは、複数のセンサから測定値を収集し、少なくとも訓練サブシステムから提供されたデータに部分的に基づいて、複数のセンサのうち障害のあるセンサを決定し、位置特定サブシステムは、複数のセンサのそれぞれに対して決定される障害指示子に基づいて、複数のセンサのうち障害のあるセンサの場所を決定する。

【0007】

本明細書に開示される特定の実施形態は、照明制御システム内のセンサをモニタリングする当該照明システム内の装置を含む。当該装置は、少なくとも、ネットワークに接続された複数のセンサからデータを収集する、ネットワークへのインターフェースと、訓練サブシステム、検出サブシステム及び位置特定サブシステムを含む障害検出ユニットと、訓練サブシステム、検出サブシステム及び位置特定サブシステムのうちの少なくとも1つのシステムのデータを記憶する事前データストレージとを含み、訓練サブシステムは、照明制御システムの最適動作を決定し、検出サブシステムは、複数のセンサから測定値を収集し、少なくとも訓練サブシステムから提供されたデータに部分的に基づいて、複数のセンサのうち障害のセンサがあるかどうかを決定し、位置特定サブシステムは、複数のセンサのそれぞれについて決定される障害指示子に基づいて、複数のセンサのうち障害のあるセンサの場所を決定する。10

【0008】

本明細書に開示される特定の実施形態は、照明制御システムのセンサをモニタリングする方法を含む。当該方法は、所与の時間 t における照度の結合確率分布関数(PDF)を決定するように、照明制御システムの複数のセンサの訓練を行うステップと、訓練からパラメータを収集し、パラメータを事前データストレージに記憶するステップと、複数のセンサの照度を観察するステップと、事前データストレージに記憶されたパラメータに部分的に基づいて、複数のセンサのうち少なくとも1つの障害のあるセンサがあるかどうかを決定するステップと、少なくとも1つの障害のあるセンサの存在の決定と事前データとに基づいて、障害のあるセンサの位置を特定するステップとを含む。20

【0009】

本発明と見なされる主題は、明細書の結びにおける請求項に具体的に指摘され、明瞭に主張されている。本発明の上記並びに他の特徴及び利点は、添付図面と共に解説される以下の詳細な説明から明らかとなろう。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、本発明の一実施形態に係る照明制御システムの概略図である。

【図2】図2は、本発明の一実施形態に係るセンサ障害検出及び位置特定システムの概略フローチャートである。

【図3】図3は、典型的な部屋の西向きの窓から収集した照度データの照度分布を示すグラフである。

【図4】図4は、60分間の観察期間に基づいた照度データのクラスタの最適数を示すグラフである。

【図5】図5は、(ガウス混合モデル及び単一のガウスモデルに基づいた)例えば典型的な部屋の窓の付近の昼光照度の推定結合確率分布関数(PDF)の比較を示すグラフである。40

【図6】図6は、ガウス混合モデルに基づいた典型的な部屋の例えば窓付近及び扉付近の机の昼光照度の推定結合PDFを示すグラフである。

【図7】図7は、例えば典型的なダイニングルームからの照度をテストする障害検出システムを実証するタイミングチャートである。

【図8】図8は、例えば典型的なオフィスルームからの照度をテストする障害検出システムを実証するタイミングチャートである。

【図9】図9は、例えば典型的なカフェテリアルームからの照度をテストする障害検出システムを実証するタイミングチャートである。

【0011】

10

20

30

40

50

開示されている実施形態は、本明細書における革新的な教示内容の多くの有利な使用のうちの幾つかの例に過ぎないことに留意することが重要である。一般に、本願の明細書における記述は、様々な請求項に係る発明のいずれも限定するものではない。更に、一部の記述は、幾つかの発明特徴に適用されるが、他の発明特徴には適用されない場合もある。一般に、特に明記されない限り、単数の要素は複数であってもよく、また、その反対も、普遍性を失うことなく同様である。図面中、同様の参照符号は、幾つかの図面に亘って同様の部分を指す。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本明細書において説明される様々な実施形態によれば、照明制御システムの複数のセンサの固有の相関関係だけでなく、ある時間に亘る单一のセンサの相関関係が、既存のシステムに優る利点を提供する。このために、照明制御システムのセンサから履歴データが収集される。このようなデータは、センサが接続されているネットワークを介して収集される。データが一旦収集されると、各センサの動作状態と、それに対する可能な補正動作とを決定するために、幾つかのステップが取られる。

10

【0013】

図1は、本発明の一実施形態に係る照明制御システム100の例示的かつ非限定的な概略図を示す。複数のセンサ130-1乃至130-N（Nは1よりも大きい整数であり、集合的にセンサ130と呼ぶ）が、ネットワーク120に結合されている。ネットワーク120は、シリアルバス、パラレルバス、ローカルエリアネットワーク（LAN）、ワイドエリアネットワーク（WAN）等（無線又は有線に関わらず）又はこれらの任意の組み合わせを含む。ネットワーク120には、ネットワークインターフェースを介して、例えばコンピュータシステムに特有である計算回路及びプロセッサと、各センサ130の履歴データを記憶するデータストレージ112と、障害検出ユニット114とを含むコンピュータシステム110が接続されている。一実施形態では、センサ130は、フォトセンサである。

20

【0014】

障害検出ユニット114は、コンピュータシステム110によって実行されると、以下により詳細に説明される検出及び位置特定のためのステップを行う、有形コンピュータ可読媒体に埋め込まれた一連の命令を含む。障害検出ユニット114は更に、コンピュータシステム110によって行われた処理の結果を示すディスプレイ又は他の手段を含んでもよい。

30

【0015】

障害検出ユニット114は、訓練動作、障害検出動作、及び障害位置特定動作を行う。訓練動作では、幾つかの統計値が、センサ130のグループに対し、ストレージ112に含まれる履歴データの一部について計算される。このような統計値は、履歴データのグループへの分類、及び、各グループの統計変数、即ち、例えば結合分布関数のパラメータの推定であるが、限定、平均、分散及び/又は共分散によるものではない推定を含む。

【0016】

障害検出動作では、プロセスは、各時間事象又は各継続時間（例えば30分間のスパン）に対し、また、センサ130のうちの1組のセットからの特定の読み取り値に対して行われ、コンピュータシステム110は、先のセンサ測定関係が与えられて、現在測定されたデータが正しい、又は、生じる可能性が高い確率を計算する。即ち、相関関係が決定される。確率が低い場合、コンピュータシステム110は、この測定事象は、問題又は障害があると特定できる。障害は、無視できるほどの確率を有する事象、即ち、起きる可能性の低い事象として見なされ、次のように表される。

40

【数1】

$$\Pr(x(t) = x | t = n) \approx 0$$

ここで、x(t)は、チェックされたセンサ130のうちの1組のセンサの読み取り値で

50

ある。障害位置特定動作では、障害のある1つ又は複数のセンサを特定する試みがなされる。

【0017】

この動作は、特定のセンサからの測定値の尤度の評価に基づいている。センサ130のうち障害のあるセンサが特定されると、障害のあるセンサは、更なる調査が必要なセンサとしてフラグされる。その調査は、手動であってもよく、即ち、建物の運営担当者が、性能偏差の原因を調査し、当該障害のあるセンサの問題を解決してもよい。或いは、可能である場合、例えばコンピュータシステム110によって自己較正プロセスを開始してセンサ130のうちの障害のあるセンサに自己較正を行わせることによって、1つ以上の自己較正動作が行われてもよい。自己較正アルゴリズムについては、本明細書では述べない。
10
一実施形態によれば、障害又は異常は、センサ130から受信される、次の特性、即ち、低確率の偽アラーム及び低確率の誤検出を有する測定データ内で特定される。

【0018】

障害のあるセンサは、異常測定データを提供しているセンサであり、異常測定データは、例えはユーザの不正使用、センサの表面の埃、電子的劣化、反射環境の変化、通信問題等である様々な理由に起因する。障害のあるセンサは、センサの実際の故障に限定されない。

【0019】

センサによって測定された照度／輝度（以下、普遍性を失うことなく、「昼光度」の用語を使用する）の結合分布の効果的な推定が、効果的な障害検出システムをデザインするのに重要である。説明のために、昼光度の結合確率分布関数（PDF）を説明するためにガウス混合モデルが選択される。つまり、昼光度のPDFは、複数のガウス分布の重ね合わせによって近似される。したがって、ガウス混合モデルの次の情報、即ち、所与の時間tにおけるガウス分布成分の最適数、各ガウス分布の平均ベクトル及び共分散行列、及び、組み合わせられたときの各ガウス分布の適切な重みを求める必要がある。したがって、所与の時間tについて、ガウス分布成分の最適数は、 $L^*(t)$ と表される。 k 番目のガウス分布の平均ベクトル、共分散行列及び重みを、それぞれ、 $\mu_k(t)$ 、 $\Sigma_k(t)$ 及び $w_k(t)$ と表すと、所与の時間tにおける昼光度の結合分布が次の通りに与えられる。
20

【数2】

$$p(\mathbf{x}(t)|t, L^*(t)) = \sum_{k=1}^{L^*(t)} w_k(t) N(\mathbf{x}(t) | \mu_k(t), \Sigma_k(t))$$

ここで、 $\mathbf{x}(t)$ は、昼光度を表す列ベクトルであり、 $N(\mathbf{x}(t) | \mu_k(t), \Sigma_k(t))$ は、平均 $\mu_k(t)$ 及び共分散 $\Sigma_k(t)$ を有する多変量ガウス分布を表す。パラメータセット $\{L^*(t), \mu_1(t), \Sigma_1(t), \dots, \mu_k(t), \Sigma_k(t)\}$ は、昼光度のPDFを完全に記述する。障害検出サブシステムの一実施形態に従ってパラメータセット $\{L^*(t), \mu_1(t), \Sigma_1(t), \dots, \mu_k(t), \Sigma_k(t)\}$ を探す方法を以下により詳細に説明する。
30

【0020】

図2は、本発明の一実施形態に係るセンサ障害検出及び位置特定システムの例示的かつ非限定的なフローチャート200を示す。システム200は、3つのサブシステム、即ち、訓練サブシステム210、検出サブシステム220及び障害位置特定サブシステム230を含む。訓練サブシステム210の役割は、記憶された訓練データから、昼光度の結合確率密度関数を推定することである。訓練サブシステム210は、通常、オフラインで訓練され、検出サブシステム220及び位置特定サブシステム230に、これらのサブシステムによって使用される推定モデルパラメータを提供する。検出サブシステム220の役割は、センサ130からの測定値に障害があるか否かを検出することである。サブシステム220は、オンラインで動作し、訓練サブシステム210からの推定モデルパラメータに基づいてリアルタイム測定値をテストする。障害が検出されると、検出サブシステム
40

220は、位置特定サブシステム230に、各センサ130からの測定値をテストし、どのセンサ130が障害のある測定値を提供しているのか決定するように伝える。サブシステム210、220及び230の詳細は、以下により詳細に説明される。

【0021】

図2に示される訓練サブシステム210は、3つの動作、即ち、訓練データのグループ分け(S212)、ガウス分布の最適数 $L^*(t)$ の推定(S214)及び $\mu_k(t)$ 、 $\sigma_k(t)$ 、 $\pi_k(t)$ の推定(S216)を含む。

【0022】

S212では、訓練サブシステム210は、データの観察時間と、所望の観察期間長さとに応じて、訓練データをグループ分けする。¹⁰訓練データは、センサ130のうち機能的センサから測定された事前に記憶された標準の昼光度として規定される。観察時間は、昼光度が測定された時間インスタンスである。観察期間長さは、本来は連続的である時間情報を離散化するための継続時間である。例えば観察期間長さが30分間である場合、30分間の時間間隔ですべての昼光度測定値がグループ化され、同じPDFに従っていると見なされる。S214では、訓練サブシステム210は、ガウス分布成分の最適数を決定する。 $L^*(t)$ を見つけることは、昼光度を記述するクラスタの最適数を見つけることに相当し、クラスタは、以下により詳細に説明される。

【0023】

図3は、センサ130のうちの1つのセンサから、例えば典型的な部屋の中の西向きの窓から、16:00 - 16:01の間に集められた照度データの照度分布を示す例示的かつ非限定的なグラフである。²⁰図3を単に観察することによって、データが、照度レベルに基づいて幾つかのクラスタに大まかにグループ化できることが容易に理解できる。クラスタの最適数は、ここでは、過度なモデル複雑さをもたらすことなく、データを適切に記述するクラスタの数と規定される。例えば10の異なるクラスタへの分割よりも3つのクラスタが、図3における照度データを記述するにはふさわしい選択である。例えば、 $L^*(t)$ を見つけるために、このステップでは、X平均アルゴリズムが使用される。

【0024】

図4は、西向きの部屋の $L^*(t)$ の結果の例示的かつ非限定的な図である。³⁰図4から、照度のクラスタの最適数は、昼光の利用可能性に基づいて時間と共に変化することが分かる。例えば、昼光がない夜間では、クラスタの最適数は、たった2である一方で、西向きの部屋では、直射日光のある15:00から18:00の間では、クラスタの最適数は、8乃至11である。なお、照度のクラスタの最適数は、観察期間長さ及び建物の環境にも依存する。

【0025】

図2に戻るに、S216では、S214において見つけた $L^*(t)$ に基づいてパラメータセット $\mu_k(t)$ 、 $\sigma_k(t)$ 、 $\pi_k(t)$ を見つける必要がある。ここでは、 $1 \leq k \leq L^*(t)$ であり、 $\pi_k(t)$ は、次を満たす。

【数3】

$$0 \leq \pi_k(t) \leq 1$$

$$\sum_{k=1}^{L^*(t)} \pi_k(t) = 1$$

最適パラメータセットは、ここでは、最尤解、即ち、

【数4】

$$\{\pi_k^*(t), \mu_k^*(t), \Sigma_k^*(t)\} = \arg \max \sum_{l=1}^N \ln \left\{ \sum_{k=1}^{L(t)} \pi_k(t) N(\mathbf{x}^l(t) | \mu_k(t), \Sigma_k(t)) \right\}$$

と規定される。最適な $\mu_k(t)$ 、 $\sigma_k(t)$ 、 $\pi_k(t)$ を見つけるための閉形式はないが、効率的な期待値最大化(EM)アルゴリズムを直接的に適用して解を見つけてよい。⁵⁰

【0026】

図5は、ガウス混合モデル及び従来の單一ガウスモデル（曲線520）に基づいた16:00-16:01（1分間の観察期間）の間の典型的な部屋の西向きの窓付近の昼光照度（赤実線曲線510として示される）の推定PDFを比較する例示的かつ非限定的なグラフを示す。従来の單一ガウス分布仮定520に比べて、ガウス混合モデル510は、はあるかにより正確に昼光照度を記述し、昼光照度分布の多様な性質を明瞭に具現化している。図6に、2つの昼光測定値についてのガウス混合モデルの別の例が示される。具体的には、図6は、2つの測定値を有するガウス混合モデルに基づいた16:00-16:01（1分間の観察期間）の間の典型的な部屋の西向きの窓付近及び当該部屋の扉付近の机における昼光照度の推定結合PDFを示すグラフを提供する。

10

【0027】

図2に戻るに、システムが訓練サブシステム210によって訓練されると、検出サブシステム220は、S222において、新しい入力観察 $x(t)$ を受信する。当該新しい入力観察について、対応する確率密度が、先に見つけられたパラメータセット、

【数5】

$$I(t) = p(x(t) | t, L^*(t), \pi_k^*(t), \mu_k^*(t), \Sigma_k^*(t))$$

に基づいて、S224において決定される。その後、S226において、確率密度は、次の単純な検出規則：

【数6】

$$\begin{cases} I(t) > \delta & x(t) \text{は正常な観察} \\ I(t) \leq \delta & x(t) \text{は障害がある観察} \end{cases}$$

に基づいた所定の閾値と比較される。つまり、 $I(t) >$ の場合、観察は、S228において、正常と表示される。しかし、 $I(t) \leq$ の場合、観察には障害があり、センサ130のうちどれが障害のあるセンサであるか判定するために位置特定サブシステム230によって処理が続けられる。

【0028】

最後に、位置特定サブシステム230は、測定値を評価し、センサ130のうちの障害のある1つ（又は複数）のセンサの位置を特定する。図2に示されるように、障害のあるセンサは、それらの障害指示子 $I_j(t)$ を試験することによって位置が特定される。ここで、 j は、センサの番号 130_{-j} を表す。本発明に係る障害指示子は、特定のセンサからの測定値の尤度の評価と規定される。障害指示子は、測定値の尤度を反映できる限り、異なる関数であってもよい。例えばセンサ j の障害指示子は、次の条件付き確率密度であってもよい。

30

【数7】

$$I_j(t) = p(x_j(t) | x_i(t), t, L^*(t), \pi_k^*(t), \mu_k^*(t), \Sigma_k^*(t)), \quad \forall i \neq j, 1 \leq i \leq D$$

ここで、Dは、センサの総数である。別の例として、障害指示子は、センサ j の周辺確率密度として求められてもよい。

40

【数8】

$$\begin{aligned} I_j(t) &= p(x_j(t) | t, L^*(t), \pi_k^*(t), \mu_k^*(t), \Sigma_k^*(t)) \\ &= \sum_{k=1}^{L^*(t)} \pi_k^*(t) N(x_j(t) | \mu_{k,j}(t), \Sigma_{k,j,j}(t)) \end{aligned}$$

ここで、

【数9】

$$\mu_{k,j}^*(t)$$

は、ベクトル

【数10】

$$\mu_k^*(t)$$

のj番目の要素を表し、

【数11】

$$\Sigma_{k,j,j}^*(t)$$

は、行列

【数12】

$$\Sigma_k^*(t)$$

のj番目の行及びj番目の列の要素を表す。したがって、この場合、ガウス混合モデルの各成分が、単一の変量ガウスになる。個々のセンサのそれぞれの障害指示子が上記の通りに又は別の方法で計算されると、センサjがエラーを有するか否かを判定する規則は、次の通りに、単に、 $I_j(t)$ を閾値 δ_j と比較することによって求められる。

【数13】

$$\begin{cases} I_j(t) > \delta_j & \text{センサ } j \text{ は正常} \\ I_j(t) \leq \delta_j & \text{センサ } j \text{ は障害がある} \end{cases}$$

つまり、 $I_j(t)$ が δ_j よりも大きい場合、センサjは、正常に動作していると判定される(236)。また、そうでなければ、障害があると判定される(238)。一実施形態では、各センサ130のステータスはコンピュータシステム110によって表示される。当然ながら、障害検出及び位置特定のための閾値は同じである必要はない。閾値の適切な値は、訓練データから得られる。例えば、障害指示子が周辺確率密度である場合、閾値は、次の通りに見出される。

【数14】

$$\begin{aligned} \delta &= \eta \min_{\mathbf{x}(t)} p(\mathbf{x}(t) | t, L^*(t), \pi_k^*(t), \mu_k^*(t), \Sigma_k^*(t)) \\ \delta_j &= \eta \min_{\mathbf{x}_j(t)} \sum_{k=1}^{l^*(t)} \pi_k^*(t) N(\mathbf{x}_j(t) | \mu_{k,j}^*(t), \Sigma_{k,j,j}^*(t)) \quad \forall \mathbf{x}(t) \text{ in training data set} \end{aligned}$$

ここで、 η は、サブシステム220及び230による障害検出のマージンを提供するスカラ(例えば 10^{-2})である。

【0029】

図7乃至図9に関する以下の記述は、非限定的な例によって、本発明の様々な実施形態に係る照明システムの動作を説明する。例示のために、3つの異なる環境、即ち、ダイニングルーム(図7)、オフィスルーム(図8)及び建物の廊下(図9)について説明される。実験におけるすべてのセンサのサンプルレートは、1サンプル/分である。観察期間長さは、1分間である。ダイニングルームには、5個のセンサが配備され、オフィスルームには、13個のセンサが配備され、建物の廊下には、4つのセンサが配備されている。これらのセンサは、様々な場所に置かれている。オフィスルーム及びダイニングルームの場合、センサは、天井、テーブル/机及び窓に置かれている。廊下の場合、センサは、廊下に沿って様々な場所にある窓に置かれている。

【0030】

図7は、上記した典型的なダイニングルームからの照度をテストする障害検出及び位置

10

20

30

40

50

特定システムを論証する例示的かつ非限定的なタイミングチャートを提供する。この例では、訓練データは、28日間の期間に亘って集められ、障害検出及び位置特定システムを訓練するために、5個すべてのセンサからの測定値が使用されている。この例では、9つの30分間の人為的な障害のある期間が、照度データにランダムに挿入されている。各障害のある期間の間、窓を通した照度を測定しているセンサ（図7では、「センサ#1：窓」と表される）に障害があると推定されている。

【0031】

図7の上のグラフは、障害のある測定値が挿入された照度データを示す。図7の下のグラフは、サブシステム220及び230によって行われた検出の出力を示す。障害が検出されると、出力は1であり、そうでなければ、出力は0である。閾値は、周辺確率密度である障害指示子に基づいて設定されている。10

【0032】

様々な照度測定値間の相関関係を効果的に利用することによって、障害検出サブシステム220は、障害のある測定値が正常測定値に近い場合でも、当該障害のある測定値を検出することができる。例えば、丸印710、720及び730でハイライトされた障害のある測定値は、正常測定値に似ている。しかし、サブシステム220及び230は、対応する丸印715、725及び735によって示されるように、僅かな異常も検出する。

【0033】

図8は、例えば13個のセンサを有する典型的なオフィスルームからの照度をテストするシステム100の動作を論証する例示的かつ非限定的なタイミングチャートを提供する。20 この例では、訓練データは、30日間の期間に亘って集められ、障害検出及び位置特定システムを訓練するために、13個すべてのセンサからの測定値が使用されている。ここでも、9つの30分間の人為的な障害のある期間が、照度データにランダムに挿入されている。各障害のある期間の間、窓を通した照度を測定しているセンサ（図8では、「センサ#1：東向きの窓」と表される）に障害があると推定されている。図8の上のグラフが、障害のある測定値が挿入された照度データを示す。

【0034】

図8の下のグラフは、サブシステム220及び230の出力を示す。障害が検出されると、出力は1であり、そうでなければ、出力は0である。閾値は、周辺確率密度である障害指示子に基づいて設定されている。様々な照度測定値間の相関関係を効果的に利用することによって、障害検出サブシステムは、障害のある測定値が正常測定値に近い場合でも、当該障害のある測定値を検出することができる。例えば、丸印810及び820でハイライトされた障害のある測定値は、正常測定値に似ている。しかし、検出器は、対応する丸印815及び825によって示されるように、僅かな異常も検出する。30

【0035】

図9は、例えば4個のセンサを有する建物の廊下からの照度をテストする障害検出システムを論証する例示的かつ非限定的なタイミングチャートを提供する。この例では、訓練データは、30日間の期間に亘って集められ、障害検出及び位置特定システムを訓練するために、4個すべてのセンサからの測定値が使用されている。ここでも、9つの30分間の人為的な障害のある期間が、照度データにランダムに挿入されている。各障害のある期間の間、窓を通した照度を測定しているセンサ（図9では、「センサ#1：西向きのカフェテリア」と表される）に障害があると想定されている。図9の上のグラフが、障害のある測定値が挿入された照度データを示す。40

【0036】

図9の下のグラフは、サブシステム220及び230の出力を示す。障害が検出されると、出力は1であり、そうでなければ、出力は0である。閾値は、周辺確率密度である障害指示子に基づいて設定されている。様々な照度測定値間の相関関係を効果的に利用することによって、障害検出サブシステムは、障害のある測定値が正常測定値に近い場合でも、当該障害のある測定値を検出することができる。例えば、丸印910、920及び930でハイライトされた障害のある測定値は、正常測定値に似ている。しかし、検出器は、50

対応する丸印 915、925 及び 935 によって示されるように、僅かな異常を依然として検出できる。

【0037】

本明細書に開示されている様々な実施形態は、ハードウェア、ファームウェア、ソフトウェア又はこれらの任意の組み合わせとして実施可能である。更に、ソフトウェアは、デジタル回路、アナログ回路、磁気媒体又はこれらの組み合わせの形であってよいプログラム記憶ユニット、非一時的コンピュータ可読媒体又は非一時的マシン可読記憶媒体上に明白に具現化されるアプリケーションプログラムとして実施されることが好適である。アプリケーションプログラムは、任意の適切なアーキテクチャを含むマシンにアップロードされ、実行される。好適には、マシンは、1つ以上の中央処理演算ユニット（「CPU」）、メモリ、及び／又は、出入力インターフェースといったハードウェアを有するコンピュータプラットフォーム上に実施される。コンピュータプラットフォームは更に、オペレーティングシステム及びマイクロ命令コードを含んでもよい。本明細書において説明される様々な処理及び機能は、コンピュータ又はプロセッサが明示的に示されているかいないかに関わらず、CPUによって実行されるマイクロ命令コードの一部であっても、アプリケーションプログラムの一部であっても、又は、それらの組み合わせであってもよい。更に、追加のデータ記憶ユニット及び印刷ユニットといった様々な他の周辺ユニットがコンピュータプラットフォームに接続されていてもよい。

10

【0038】

本発明は、幾つかの説明された実施形態について相当に詳しく及び特殊性と共に説明されたが、任意のそのような詳細若しくは実施形態又は任意の特定の実施形態に本発明を限定することを意図しておらず、本発明は、添付の請求項を参照して解釈されるべきであり、これにより、従来技術に鑑みて、当該請求項の最も広義の解釈を提供し、したがって、本発明の意図する範囲を効果的に包含するものである。更に、上記は、本発明を、発明者によって予見されている、実施可能とする説明が利用可能となっている実施形態について説明しているが、現在予見されていない本発明の実体のない変更態様も、当該実施形態の等価物を表している。

20

【図1】

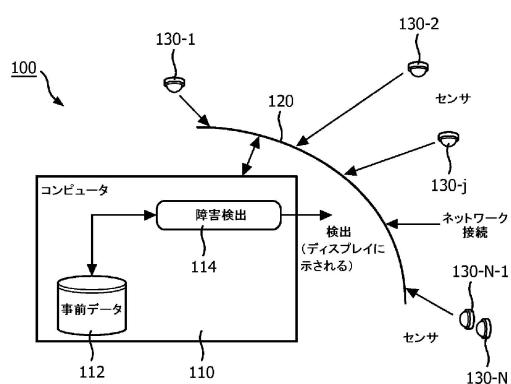


図1

【図2】

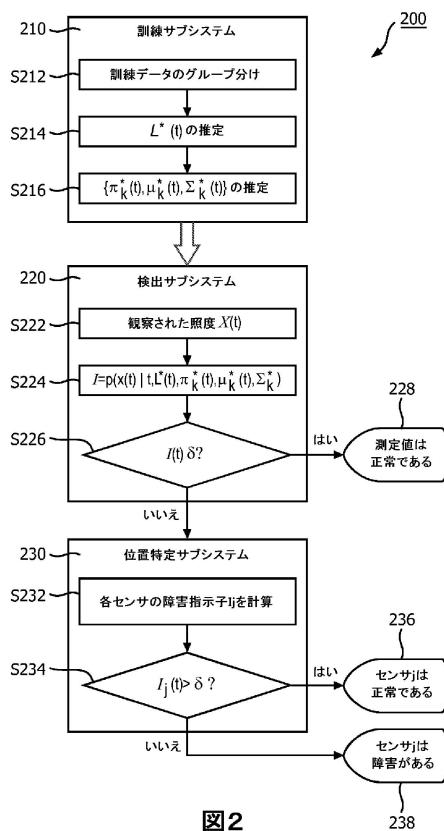


図2

【図3】

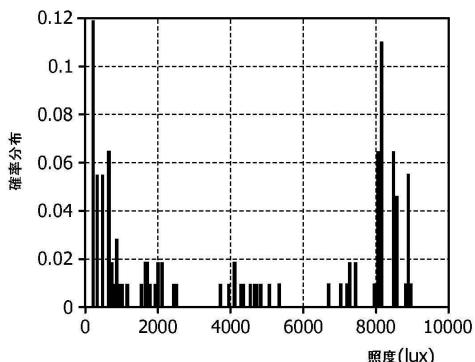


図3

【図4】

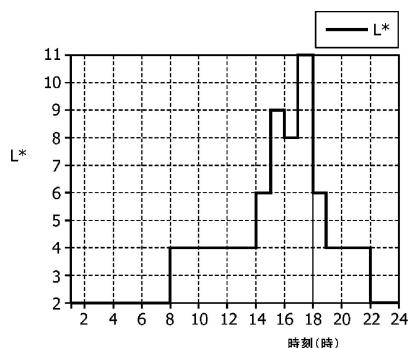


図4

【図5】

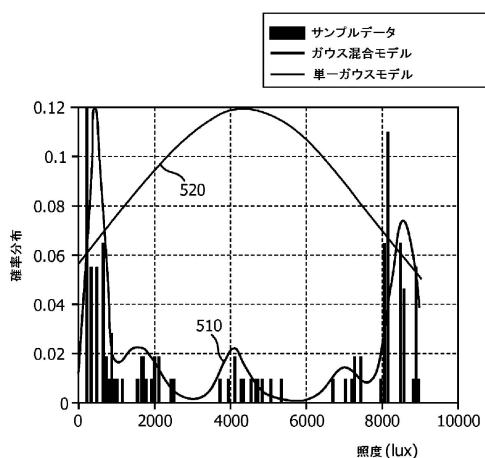


図5

【図6】

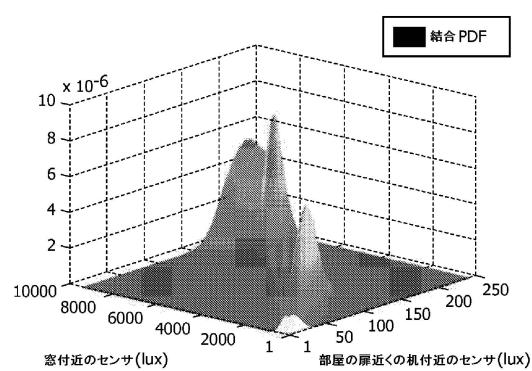


図6

【図7】

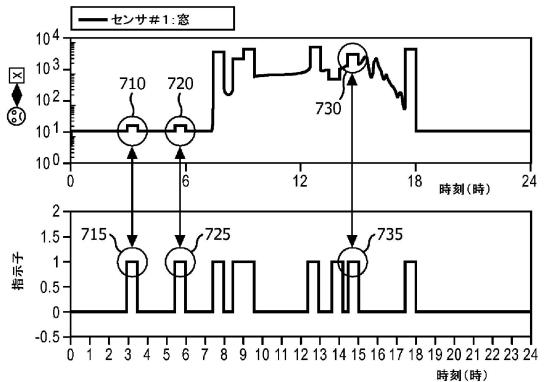


図7

【図8】

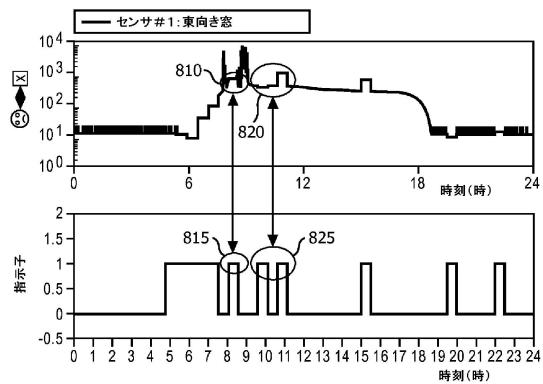


図8

【図9】

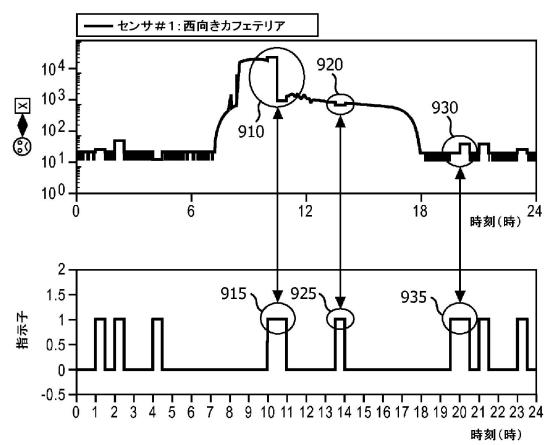


図9

フロントページの続き

(72)発明者 ワン ティアンキ

オランダ国 5656 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5

審査官 松本 泰典

(56)参考文献 特開2009-158183(JP,A)

特表2002-509324(JP,A)

特表2012-516533(JP,A)

国際公開第1999/032856(WO,A1)

米国特許出願公開第2011/0202151(US,A1)

米国特許第05987399(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05B 37/02

H04Q 9/00

H05B 37/03