

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6605488号  
(P6605488)

(45) 発行日 令和1年11月13日(2019. 11. 13)

(24) 登録日 令和1年10月25日(2019. 10. 25)

(51) Int.Cl. F I  
H 0 5 B 37/03 (2006.01) H 0 5 B 37/03 Z

請求項の数 15 (全 40 頁)

|                    |                               |           |                                   |
|--------------------|-------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| (21) 出願番号          | 特願2016-555327 (P2016-555327)  | (73) 特許権者 | 516043960                         |
| (86) (22) 出願日      | 平成27年2月17日 (2015. 2. 17)      |           | シグニファイ ホールディング ビー ヴ               |
| (65) 公表番号          | 特表2017-509118 (P2017-509118A) |           | イ                                 |
| (43) 公表日           | 平成29年3月30日 (2017. 3. 30)      |           | S I G N I F Y H O L D I N G B. V  |
| (86) 国際出願番号        | PCT/IB2015/051159             |           | .                                 |
| (87) 国際公開番号        | W02015/132687                 |           | オランダ国 5 6 5 6 アーエー アイン            |
| (87) 国際公開日         | 平成27年9月11日 (2015. 9. 11)      |           | トホーフエン ハイ テク キャンパス                |
| 審査請求日              | 平成30年2月15日 (2018. 2. 15)      |           | 4 8                               |
| (31) 優先権主張番号       | 61/948, 871                   |           | H i g h T e c h C a m p u s 4 8   |
| (32) 優先日           | 平成26年3月6日 (2014. 3. 6)        |           | , 5 6 5 6 A E E i n d h o v e n , |
| (33) 優先権主張国・地域又は機関 | 米国 (US)                       | (74) 代理人  | 100163821                         |
|                    |                               |           | 弁理士 柴田 沙希子                        |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 予測保全スケジューリングを用いたインテリジェント照明システム及びその動作方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

照明システムの特徴に関係し、複数の情報源から得られる特徴情報を含む照明ロギングデータを取得すること、

前記照明ロギングデータを使用して、照明システム故障トレンドを求めること、

前記照明システム故障トレンドを使用して、未来時の前記照明システム内の少なくとも1つのコンポーネント故障を予測するために少なくとも1つの複合特徴を導出すること、

予測された前記コンポーネント故障を計算するために前記複数の情報源から照明ロギングデータを選択すること、

前記少なくとも1つの複合特徴に従って、予測されたコンポーネント故障のモデルを形成すること、及び

前記モデルをメモリ内に記憶することを行う、

少なくとも1つのコントローラを含む、照明システム。

## 【請求項 2】

前記コントローラは、前記モデルを形成済みの予測されたコンポーネント故障を前記照明システムのディスプレイ上にレンダリングする、請求項 1 に記載のシステム。

## 【請求項 3】

前記コントローラは、ランプの電氣的部分、システム動作情報部分、センサ、設置構成部分、気象情報部分、交通部分、及び犯罪部分の少なくとも1つから前記照明ロギングデータを得る、請求項 1 に記載のシステム。

10

20

## 【請求項 4】

前記照明システムが複数のランプを更に含み、前記モデルを形成済みの予測されたコンポーネント故障が前記複数のランプのうちの2つ以上のランプの予測されたランプ故障、及び対応する予測故障時間を含み、前記コントローラは、前記予測されたランプ故障の少なくとも2つのクラスタを、対応するランプの地球物理学的位置及び前記予測故障時間に従って形成し、前記コントローラは、前記クラスタに関して最適だと判定される決定された時間において前記クラスタのランプを交換する保全をスケジューリングする、請求項1に記載のシステム。

## 【請求項 5】

照明システムの性能を決定する方法であって、前記方法は、前記照明システムの少なくとも1つのコントローラによって実行され、

照明システムの特徴に関係し、複数の情報源から得られる特徴情報を含む照明ロギングデータを取得するステップ、

前記照明ロギングデータを使用して、照明システム故障トレンドを求めるステップ、

前記照明システム故障トレンドを使用して、未来時の前記照明システム内の少なくとも1つのコンポーネント故障を予測するために少なくとも1つの複合特徴を導出するステップ、

予測された前記コンポーネント故障を計算するために前記複数の情報源から照明ロギングデータを選択するステップ、

前記少なくとも1つの複合特徴に従って、予測されたコンポーネント故障のモデルを形成するステップ、及び

前記モデルをメモリ内に記憶するステップを含む、方法。

## 【請求項 6】

前記モデルを形成済みの予測されたコンポーネント故障を前記照明システムのディスプレイ上にレンダリングするステップを更に含む、請求項5に記載の方法。

## 【請求項 7】

ランプの電気的部分、システム動作情報部分、センサ、設置構成部分、気象情報部分、交通部分、及び犯罪部分の少なくとも1つから前記照明ロギングデータを得る動作を更に含む、請求項5に記載の方法。

## 【請求項 8】

前記照明システムは複数のランプを更に含み、モデルを形成済みの予測されたコンポーネント故障が前記複数のランプのうちの2つ以上のランプの予測されたランプ故障、及び対応する予測故障時間を含み、前記方法は、

前記予測されたランプ故障の少なくとも2つを、対応するランプの地球物理学的位置及び予測故障時間に従ってクラスタへとクラスタ化するステップ、並びに

前記モデルに従って、前記クラスタに関して最適だと判定される決定された時間において前記クラスタのランプを交換する保全をスケジューリングするステップを更に含む、請求項5に記載の方法。

## 【請求項 9】

コンピュータ可読メモリ媒体上に記憶され、照明システムの動作を決定するコンピュータプログラムであって、前記コンピュータプログラムは、

前記照明システムの特徴に関係し、複数の情報源から得られる特徴情報を含む照明ロギングデータを取得すること、

前記照明ロギングデータを使用して、照明システム故障トレンドを求めること、

前記照明システム故障トレンドを使用して、未来時の前記照明システム内の少なくとも1つのコンポーネント故障を予測するために少なくとも1つの複合特徴を導出すること、

予測された前記コンポーネント故障を計算するために前記複数の情報源から照明ロギングデータを選択すること、

少なくとも1つの複合特徴に従って、予測されたコンポーネント故障のモデルを形成すること、及び

前記モデルをメモリ内に記憶することを行うためのプログラム部分を含む、コンピュータプログラム。

【請求項 10】

前記プログラム部分は、前記予測されたコンポーネント故障を前記照明システムのディスプレイ上にレンダリングする、請求項 9 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 11】

前記プログラム部分は、ランプの電氣的部分、システム動作情報部分、センサ、設置構成部分、気象情報部分、交通部分、及び犯罪部分の少なくとも 1 つから前記照明ロギングデータを得る、請求項 9 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 12】

前記照明システムが複数のランプを更に含み、モデルを形成済みの予測されたコンポーネント故障が前記複数のランプのうちの 2 つ以上のランプの予測されたランプ故障、及び対応する予測故障時間を含み、前記プログラム部分は、前記予測されたランプ故障の少なくとも 2 つを、対応するランプの地球物理学的位置及び前記予測故障時間に従って、クラスタを形成するようにクラスタ化し、前記プログラム部分は、前記モデルに従って、前記クラスタに関して最適だと判定される決定された時間において前記クラスタのランプを交換する保全をスケジューリングする、請求項 9 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 13】

多項式は 2 次であり、前記少なくとも 1 つの複合特徴が、特定の時点におけるランプの電圧の二次関数トレンド、別の点火指示が与えられる前に前記ランプが点火しようと試みる回数の二次関数トレンド、及び前記ランプが自然に消える回数の二次関数トレンドのうちの少なくとも 1 つを含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 14】

多項式は 2 次であり、前記少なくとも 1 つの複合特徴が、特定の時点におけるランプの電圧の二次関数トレンド、別の点火指示が与えられる前に前記ランプが点火しようと試みる回数の二次関数トレンド、及び前記ランプが自然に消える回数の二次関数トレンドのうちの少なくとも 1 つを含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 15】

多項式は 2 次であり、前記少なくとも 1 つの複合特徴が、特定の時点におけるランプの電圧の二次関数トレンド、別の点火指示が与えられる前に前記ランプが点火しようと試みる回数の二次関数トレンド、及び前記ランプが自然に消える回数の二次関数トレンドのうちの少なくとも 1 つを含む、請求項 9 に記載のコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、インテリジェント照明システムに関し、より詳細には、保全業務を予測しスケジューリングするために複数の情報空間からの情報を処理する照明システム、及びその動作方法に関する。

【背景技術】

【0002】

典型的には、街路照明システムでは、ランプが機能していないことを報告する修理要請電話に応えて、機能していないランプが整備員によって新たなランプと交換される。この過程はランプが交換される前にランプが動作しなくなることを必要とし、利用者の不便さを高め得る。更に、ランプが故障前に早めに交換される場合はランプの寿命が幾らか失われる場合があり、そのことは全体的な保全費を高め得る。

【0003】

データを記憶することがより安価になり且つ満ち溢れているが、膨大なデータセットを管理し、保全し、処理するには依然として費用がかかる。更に、典型的にはデータの多くが無関係であること、ノイズを発生させること、又は解析を遅くすることを理由に処理前に除去される。ノイズ、欠落データ、及び誤ったデータは、大規模データベースにはよく

10

20

30

40

50

ある。データ品質が十分でなければ、データ解析アプリケーションは所要の高品質の結論を供給することができない。最後に、屋外照明システムから大量のデータを送信することは、結果として生じる高ネットワークトラフィック及び記憶域の要件に対処できるより複雑且つ高価な照明システム設計を必要とする。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本明細書に記載のシステム、装置、方法、ユーザインタフェース、コンピュータプログラム、処理等（以下、別段の定めがない限りそのそれぞれがシステムと呼ばれる）は、従来技術のシステムにおける問題に対処する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本システムの実施形態によれば、照明システムの特徴に関係し、複数の特徴空間から得られる特徴情報を含む照明ロギングデータを取得すること、照明ロギングデータに従って未来時の照明システム内の少なくとも1つのコンポーネント故障を予測し、少なくとも1つの複合特徴を含む照明予測データを求めること、照明予測データに従って未来時に起こると予測される、予測されたコンポーネント故障及び保全費をモデリングすること、並びにモデリング済みの予測されたコンポーネント故障をメモリ内に記憶することを行うように構成される少なくとも1つのコントローラを含む、照明システムが開示される。

【0006】

コントローラは、モデリング済みの予測されたコンポーネント故障を照明システムのディスプレイ上にレンダリングするように更に構成されることが更に想定される。コントローラは、ランプの電氣的部分、システム動作情報部分、センサ、設置構成部分、気象情報部分、交通部分、及び犯罪部分の少なくとも1つから照明ロギングデータを得るように更に構成されることも想定される。照明システムが複数のランプを更に含んでも良く、モデリング済みの予測されたコンポーネント故障が複数のランプのうちの2つ以上のランプの予測されたランプ故障、及び対応する予測故障時間を含むことも想定される。コントローラは、予測されたランプ故障の少なくとも2つに対応するランプの地球物理学的位置及び予測故障時間に従ってクラスタ化するように更に構成されることが更に想定される。しかし更に他の実施形態では、クラスタだけが少なくとも1つのランプを含む。更に、コントローラは、クラスタに関して最適だと判定される決定された時間においてクラスタのランプを交換する保全をスケジューリングするように更に構成されることが想定される。

【0007】

例えば、システムが（例えば1つ又は複数の未来時における）予測されたランプ故障の或る予測数を有すると仮定し、システムはクラスタリング（及びランプ交換のインタムのスケジューリング）を行い、費用関数として知られる数学モデルに従って保全費を最小限に抑えることができる。次いで、費用関数を使用し、交換の巡回を行う固定費（ランプの数/位置に無関係と見なされる（例えば修理道具の費用や人件費（固定給）等を含む））、交換の巡回を行う変動費（例えばトラックの燃料費や従業員の給料（例えば時給や残業代）等を含む場合があり）修理されるランプの数及び位置の少なくとも一方に依存する）、（例えば故障が予測される複数のランプの）ランプを時期尚早に交換する（例えば寿命が無駄にされる）費用、（例えば複数のランプの）ランプをあまりに遅く交換する（例えば性能に不利な条件、市民の不満、ブランドを傷つける等の）費用、ハードウェアを交換する費用等、様々な種類の費用がシステムによって数学的に考慮される。この費用関数を所与として、システムは（例えばクラスタリングによって）1つ又は複数のクラスタ、及び少なくとも1つの対応するクラスタのランプを交換する費用が最適に最小化されると判定される時間（例えば未来の日、日付、時間）を決定することができる。システムは、クラスタリングを行うために発見的方法を使用しても良い。

【0008】

本システムの更に他の実施形態によれば、照明システムの性能を決定する方法が開示さ

10

20

30

40

50



れており、この方法は照明システムの少なくとも1つのコントローラによって実行されても良く、照明システムの特徴に関係し、複数の特徴空間から得られる特徴情報を含む照明ロギングデータを取得するステップ、照明ロギングデータに従って未来時の照明システム内の少なくとも1つのコンポーネント故障を予測し、少なくとも1つの複合特徴を含む照明予測データを求めるステップ、照明予測データに従って未来時に起こると予測される、予測されたコンポーネント故障及び保全費をモデリングするステップ、並びにモデリング済みの予測されたコンポーネント故障をメモリ内に記憶するステップのうちの1つ又は複数の動作を含む。

【0009】

この方法は、モデリング済みの予測されたコンポーネント故障を照明システムのディスプレイ上にレンダリングする動作を更に含むことも想定される。この方法は、ランプの電気的部分、システム動作情報部分、センサ、設置構成部分、気象情報部分、交通部分、及び犯罪部分の少なくとも1つから照明ロギングデータを得る動作を更に含むことも想定される。一部の実施形態によれば、照明システムが複数のランプを更に含んでも良く、モデリング済みの予測されたコンポーネント故障が複数のランプのうちの2つ以上のランプの予測されたランプ故障、及び対応する予測故障時間を含む。この方法は、予測されたランプ故障の少なくとも2つを対応するランプの地球物理学的位置及び予測故障時間に従ってクラスタ化する動作を更に含む。一部の実施形態によれば、この方法は、クラスタに関して最適だと判定される決定された時間においてクラスタのランプを交換する保全をスケジュールする動作を更に含む。

【0010】

本システムの更に他の実施形態によれば、コンピュータ可読メモリ媒体上に記憶されるコンピュータプログラムが開示されており、このコンピュータプログラムは照明システムの性能を決定するように構成され、照明システムの特徴に関係し、複数の特徴空間から得られる特徴情報を含む照明ロギングデータを取得すること、照明ロギングデータに従って未来時の照明システム内の少なくとも1つのコンポーネント故障を予測し、少なくとも1つの複合特徴を含む照明予測データを求めること、照明予測データに従って未来時に起こると予測される、予測されたコンポーネント故障及び保全費をモデリングすること、並びにモデリング済みの予測されたコンポーネント故障を照明システムのメモリ内に記憶することを行うように構成されるプログラム部分を含む。

【0011】

一部の実施形態によれば、プログラム部分は、モデリング済みの予測されたコンポーネント故障を照明システムのディスプレイ上にレンダリングするように更に構成される。プログラム部分は、ランプの電気的部分、システム動作情報部分、センサ、設置構成部分、気象情報部分、交通部分、及び犯罪部分の少なくとも1つから照明ロギングデータを得るように更に構成されることも想定される。照明システムが複数のランプを更に含んでも良く、モデリング済みの予測されたコンポーネント故障が複数のランプのうちの2つ以上のランプの予測されたランプ故障、及び対応する予測故障時間を含むことも想定される。一部の実施形態によれば、プログラム部分は、予測されたランプ故障の少なくとも2つを対応するランプの地球物理学的位置及び予測故障時間に従ってクラスタ化するように更に構成される。更に、プログラム部分は、クラスタに関して最適だと判定される決定された時間においてクラスタのランプを交換する保全をスケジュールするように更に構成される。

【0012】

本システムのまた更なる実施形態によれば、現時点における照明システムの特徴に関する照明ロギングデータを取得すること、現時点における照明システムの特徴に関する照明ロギングデータによる、少なくとも1つの複合特徴を含む照明予測データを求めること、求められた照明予測データに従って未来時に起こると予測される、照明システム内の予測されたコンポーネント故障のモデルを形成すること、及び予測されたコンポーネント故障のモデルをメモリ内に記憶することを行うように構成される少なくとも1つのコント

10

20

30

40

50

ローラを含む、照明システムが開示されている。コントローラは、未来時に照明ロギングデータを収集し、未来時に収集される照明ロギングデータ及び予測されたコンポーネント故障のモデルに基づいて予測の本当の結果を明らかにし、予測されたコンポーネント故障のモデルを予測の本当の結果に従って更新するように更に構成されることも想定される。コントローラは、未来時における照明システムの特徴に関する照明ロギングデータに従い、少なくとも1つの複合特徴を含む最新の照明予測データを更に求め、且つ/又は求められた最新の照明予測データ及び更新されたモデルに従い、未来時に対して別の未来時に起こると予測される照明システム内の予測されたコンポーネント故障のモデルを形成することも想定される。

【0013】

10

本発明が添付図面に関して例として更に詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1A】本システムの実施形態による照明システム100の概略図を示す。

【図1B】本システムの実施形態による照明システムの一部の概略図を示す。

【図2】本システムの実施形態に従って動作する照明システムによって実行されるプロセス200を示す流れ図である。

【図3A】本システムの実施形態によるSONランプに関する変数の重要度を決定するための試験結果の出力を図示するグラフを示す。

【図3B】本システムの実施形態によるLEDランプに関する変数の重要度を決定するための試験結果の出力を図示するグラフを示す。

20

【図4】本システムの実施形態に従って形成されるグラフィカルユーザインタフェース(GUI)のスクリーンショットを示す。

【図5】本システムの実施形態に従って動作する照明システムによって実行されるプロセスを示す流れ図である。

【図6】本システムの実施形態によるシステムの一部を示す。

【図7】本システムの実施形態に従って生成されるランダムフォレスト予測モデルからの単一ツリーを示す。

【発明を実施するための形態】

【0015】

30

以下は、添付図面と共に解釈されるときに上記の並びに更なる特徴及び利点を実証する例示的实施形態についての説明である。以下の説明では、限定ではなく説明目的でアーキテクチャ、インタフェース、技法、要素の特質等の例示の詳細が記載されている。しかし、それらの詳細から逸脱する他の実施形態も依然として添付の特許請求の範囲に含まれると理解されることが当業者には明らかである。更に、明瞭にするために、良く知られている装置、回路、ツール、技法、及び方法の詳細な説明は本システムの説明を不明瞭にしないよう省略される。図面は解説目的で含められており、本システムの全範囲を表すものではないことが明確に理解されるべきである。添付図面では、異なる図中の同様の参照番号が同様の要素を指す。

【0016】

40

図1Aは、本システムの実施形態による照明システム100の概略図を示す。照明システム100は、コントローラ102、照明箇所106-1~106-N(全般的に106-x)、センサ108、ネットワーク110、メモリ112、情報コンソリデータ114-1から114-P(全般的に114-x)等を含む。照明箇所106-xの1つ又は複数が、所望の場合は1つ又は複数の対応する照明器群104-1~104-Mを形成することができ、センサ108の関連するセンサを含む。

【0017】

コントローラ102は、システム100の全体的な動作を制御することができ、照明箇所106-x、センサ108、メモリ112、コンソリデータ114等の1つ又は複数とネットワーク110を介して通信する。コントローラ102は、プロセッサ(例えばマイ

50

クロプロセッサ)や論理スイッチ等の1つ又は複数の論理装置を含むことができ、本システムの実施形態に従って動作するように(例えばハードウェア、ソフトウェア、及び/又はファームウェアを使用して)構成される。

【0018】

メモリ112は、任意の適切な非一時的メモリを含むことができ、局所メモリ及び/又は分散メモリを含む。例えばメモリ112は、以下で論じられる(A)屋外照明データベース、(B)公開データベース、(C)信頼性モデルデータベース、及び/又は(D)予測モデルデータベース等の複数のデータベースを含む。それらのデータベースの1つ又は複数が互いに切り離され、又は一体に形成され、任意の適切な形式で情報を記憶することができる。

10

【0019】

ネットワーク110は、有線通信方式及び/又は無線通信方式等の任意の適切な伝送方式を使用し、コントローラ102、照明箇所106-x、センサ108、メモリ112、コンソリデータ114-x等の1つ又は複数の間の通信を可能にする1つ又は複数のネットワークを含む。従って、ネットワーク110は、広域ネットワーク(WAN)、ローカルエリアネットワーク(LAN)、電話網(例えば3Gや4G等、符号分割多元接続(CDMA)、グローバルシステムフォモバイル(GSM(登録商標))ネットワーク、単純旧式電話サービス(POTS)ネットワーク)、ピアツーピア(P2P)ネットワーク、ワイファイ(WiFi(商標))ネットワーク、Bluetooth(登録商標)ネットワーク、固有ネットワーク、臨時ネットワーク等の1つ又は複数のネットワークを含む。

20

【0020】

センサ108は、照明システム100の全体にわたって分散されても良く、図1B及び図2の解説に関して以下で説明されるように照明システム100に関係する情報を感知することができ、対応するセンサ情報を任意の適切な形式で形成することができるセンサを含む。例えば、センサ情報は、更に処理するために1つ又は複数の対応するコンソリデータ114-x及び/又はコントローラ102に与えられる。センサ108の1つ又は複数、対応する照明箇所106-xと一体に(例えば局所)又は対応する照明箇所106-xから隔てて配置される。更に他の実施形態では、照明箇所106-xとのグループ化及び/若しくはネットワーク、又は照明箇所106-xの1つ若しくは複数との地球物理学的な近さに基づき、センサ108の1つ又は複数がそれらの照明箇所106-xの1つ又は複数に関連する。例えば、センサ108は、地球物理学的な位置情報を使用して決定される1つ又は複数の最も近い照明箇所106-xに関連付けられる。センサ情報は、報告側センサ108又はセンサ108を識別する情報を含む。

30

【0021】

照明箇所106-xは、1つ又は複数のランプ等の任意の適切な照明源を含む。照明箇所106-xの1つ又は複数、他の照明箇所106-xと同じでも異なっても良く、照明器具等の適切なハウジングを含む。明瞭にするために、照明箇所106-xの全てが互いに似ており、対応する単一のランプを含むと仮定する。ランプは、アーク型ランプ(例えばSONランプ、MHランプ、蛍光灯等)、発光ダイオード(LED)ランプ、フィラメント型ランプ(例えば石英灯等)等の任意の適切な照明源を含む。但し、明瞭にするために、各照明箇所106-xは単一のランプしか含まないと仮定する。更に、照明箇所106-xのそれぞれはランプ106-xと呼ばれる。照明箇所106-xの1つ又は複数、屋内及び/又は屋外の位置における柱(例えば照明柱)、壁、床、天井、橋等の適切な位置に実装されても良く、任意の適切な照明器具を含む。例えば一部の実施形態では、照明箇所106-x群が、都市照明システムの一定の地球物理学的な位置内に実装される道路/歩道の照明器具を含む。固定及び/又は可変強度の照明、固定及び/又は可変焦点の照明、固定及び/又は可変持続時間の照明、固定及び/又は可変スペクトル(例えば色)の照明等の所望の照明特性を出力するために、照明箇所106-xの1つ又は複数がコントローラ102によって制御されても良く、対応する照明情報を提供すると更に考えられる。照明箇所106-xの1つ又は複数、対応する照明箇所106-xの照明源(例え

40

50

ばランプ)に与えられる電力を制御するためのスイッチ等のアクチュエータを含む。例えば一部の実施形態では、複数の照明箇所106-xを活性化するための電力を制御するために単一のスイッチが使用される。

#### 【0022】

コンソリデータ114-xは、対応する照明箇所106-xから照明ロギングデータ(LLD: lighting logging data)を得ることができ、対応するLLDを処理して、更に処理するためにコントローラ102に与えられる移送情報(t<sub>i</sub>)を形成することができる。LLDは、対応する情報源(I<sub>S</sub>)から処理されていない形式で受信されても良く、照明システムの特徴(f)に関する特徴情報(f<sub>i</sub>)等の情報を含む。他の箇所で論じられるように、コンソリデータ114-xの1つ又は複数がLLDを処理し、対応する移送情報(TI)を形成することができる。他の箇所で論じられるように、概してコンソリデータ114-xはLLDを解析して誤った情報及び/又は欠落した情報を突き止め、誤っている及び/又は欠落していると判定される情報を(例えば推定されるデータを用いて)訂正し且つ/又は置換することができる。一部の実施形態では、コントローラ102が1つ又は複数のアキュムレータ114-xを含むと考えられる。明瞭にするために、欠落データ及び誤っているデータは、誤っているデータと共通して呼ばれる。

#### 【0023】

図1Bは、本システムの実施形態による照明システム100の一部の概略図を示す。照明システム100は、照明ロギングデータ(LLD)部分120及びコンソリデータ114を含む。LLD部分120は、ランプの電気的情報を与えることができるランプの電気的情報部分120-1、システムの動作情報を与えることができるシステム動作情報部分120-2、センサ情報を与えることができるセンサ120-3、設置構成情報を与えることができる設置構成部分120-4、気象情報を与えることができる気象情報部分120-5、交通情報を与えることができる交通部分120-6、及び犯罪情報を与えることができる犯罪部分120-7等、複数の情報源を含む。各情報源120-xは、異なる特徴空間に対応する情報を与えることができる。従って、例えばセンサ情報は第1の特徴空間の情報を含むことができ、気象情報は異なる特徴空間の情報を含む。ランプの電気的情報は、照明システム100の1つ又は複数のランプ106-xに関する電圧、電力、電流、力率、エネルギー消費量、実現される調光レベル、カラーポイント、色調、飽和度、輝度の1つ又は複数に関する情報を含む。システムの動作情報は、照明システム100の幹線電圧、ランプ制御誤り(例えばランプを制御する際の誤り)、ランプの動作スケジュール、及び所要の調光レベルの1つ又は複数に関する情報を含む。センサ情報は、システム100の光レベル、周囲温度、ランプ内温度、湿度、存在、及び感知される交通の1つ又は複数に関する情報を含む。構成情報は、システム100の1つ又は複数のランプ106-xのランプの位置(例えば全地球測位システム(GPS)の使用等、任意の適切な態様を使用して明らかにされる)、ランプの種類(例えばSON、LED、蛍光、白熱等)、ブランド名(例えばXitanium(商標)、80led350mA 96W Speedstar(商標)、BGP322 GRN84)、ランプのワット数、ランプの設置日、及び平均寿命の1つ又は複数に関する情報を含む。気象情報は、照明システム内の1つ又は複数の位置について求められる周囲温度、降雨、湿度、気圧、及び風速の1つ又は複数に関する情報を含む。提供される交通情報は、システム100の1つ又は複数の位置に関する交通密度、交通の種類、交通速度、事故、道路の種類、及び犯罪情報は、システム100内の1つ又は複数の位置に関する捜査報告、盗難、強盗、事故、及び窃盗の1つ又は複数に関する情報を含む。

#### 【0024】

気象部分120-5は、例えばインターネットを介し、Accuweather(商標)等の任意の適切な情報源から気象情報を得ることができる。気象情報は、過去の、現在の、及び/又は未来の気象(予報)情報を含む。同様に、犯罪部分120-xは、例えばインターネットを介し、警察機関や法執行機関等の任意の適切な情報源から犯罪情報を得ることができる。犯罪情報は、過去の、現在の、及び/又は未来の(例えば予報された)犯罪情報を

10

20

30

40

50

含む。更に、交通情報が、例えばインターネットを介して交通情報の情報源等の任意の適切な情報源から取得される。交通情報は、過去の、現在の、及び／又は未来の（例えば予報された）交通情報を含む。

【 0 0 2 5 】

照明ロギングデータ（LLD）は、ランプの電気的情報、動作情報、センサ情報、設置構成情報、気象情報、交通情報、及び犯罪情報の１つ又は複数を含むことができ、そのそれぞれは、システムの特徴（f）に関する情報を含む特徴情報（FI）の一部を形成する。従って、LLDはシステムの特徴（f）に関する情報を含む。ランプの電気的情報、動作情報、センサ情報、設置構成情報、気象情報、交通情報、及び犯罪情報の１つ又は複数が、１つ又は複数の時点において時間的に（例えば毎秒、毎分、毎時、毎日、毎月等）集められる。例えば、犯罪情報は１カ月に１度集められても良い。しかし、センサ情報は２０秒ごとに集められても良い。従って、例えばこのプロセスは、対応する情報が集められる時間及び／又はスケジュールを規定することができる収集時間情報を含む。収集時間情報は、システム及び／又は利用者によって設定されても良く、後で使用するためにシステムのメモリ内に記憶される。

10

【 0 0 2 6 】

コンソリデータ１１４は、照明システムの対応する部分からLLDの対応する部分を受信する１つ又は複数のコンソリデータ１１４-xを含むことができ、以下で論じられるようにLLDを処理してLLDを統合し且つ／又はクリーニングし、それにより移送情報（TI）等の移送する価値のある情報を形成することができる。

20

【 0 0 2 7 】

図２は、本システムの実施形態に従って動作する照明システムによって実行されるプロセス２００を示す流れ図である。プロセス２００は、ネットワーク上で通信する１台又は複数台のコンピュータを使用して実行されても良く、互いに局所的であり得る及び／又は互いに隔てられる１つ又は複数のメモリから情報を取得し、且つ／又はかかるメモリに情報を記憶することができる。プロセス２００は、以下の動作の１つ又は複数を含む。更に、所望の場合はそれらの動作の１つ又は複数が組み合わせられ、且つ／又は下位動作に分けられても良い。更に、それらの動作の１つ又は複数が設定に応じて飛ばされても良い。動作面では、このプロセスは動作２０１の間に開始し、動作２０３に進むことができる。

【 0 0 2 8 】

30

動作２０３の間、このプロセスは初期設定プロセスを実行することができる。初期設定プロセスは、照明箇所（以下、明瞭にするためにランプ）やセンサ等のシステムの１つ又は複数の部分を初期設定することができる。このプロセスは更に、初期設定プロセスの前に又はその後で発見プロセスを実行し、ランプ、センサ、メモリ、電力供給（例えば幹線電力やバックアップ電源等）、ネットワーク等のシステムの一部を発見することができる。更にこのプロセスは、ランプ及び／又はセンサ等のシステムの一部に動作命令（例えば動作コマンド等）を与えることができる。初期設定中、このプロセスは動作データや時間データ等のデータを同期することができる。発見プロセス中、このプロセスはシステムのメモリからシステム動作情報を取得し、且つ／又はネットワーク接続及び／若しくはメモリアクセスを確立することができる。動作２０３の完了後、このプロセスは動作２０５に進むことができる。

40

【 0 0 2 9 】

動作２０５の間、このプロセスは、照明箇所（例えばランプ）のデータ収集プロセスを実行することができ、そのプロセス中、LLD部分１２０からLLDが取得される。LLDは、特徴情報（fi）を含むことができる。LLD又はその一部は、周期的及び／又は非周期的間隔（例えば時間的に）等の様々な時点（例えばそのそれぞれが時間ステップと見なされる）において時間的に、並びに／又は例えばコンソリデータ１１４-x及び／若しくはコントローラ１０２からのクエリに回答して決定され且つ／又は伝送される。一部の実施形態では、センサ（例えば１２０-３）等のLLD部分の一部が、（例えばfiの少なくとも一部を形成する）対応するセンサ情報を５分（時間ステップに対応する各時点

50

）ごとに求め、その後、センサ情報を対応するコンソリデータ 1 1 4 - x に伝送することができる。動作 2 0 5 の完了後、このプロセスは動作 2 0 7 に進むことができる。

【 0 0 3 0 】

動作 2 0 7 の間、このプロセスは時間的なデータ統合プロセスを実行し、 $f_i$  を含む収集済みの L L D を統合することができる。明瞭にするために、L L D ではなく  $f_i$  及びそこに含まれる特徴  $f$  が以下で論じられる。但し、 $f_i$  に対して行われる操作は L L D に対して行われる操作として見なされても良く、その逆も同様である。統合に関して、以下で論じられるようにこのプロセスは入力される  $f_i$  に基づいて  $f_i$  を統合し、フル入力データセット X を形成することができる。このデータ統合プロセスは、任意の適切な方法を使用して実行される。例えば一部の実施形態では、以下のように  $f_i$  に基づく対応するフル入力データセット X を形成するために以下の数学的方法を使用して  $f_i$  が統合される。

10

【 0 0 3 1 】

例えば、1 日の時間  $h$  を

$h \quad H = [ 0 , 2 3 ] \quad \dots$  等式 ( 1 )

として表すことができ、日数 ( 1 9 7 0 年 1 月 1 日以降のカウント日 ) を

$d \quad D = [ 0 , \quad ) \quad \dots$  等式 ( 2 )

として表すことができると仮定する。

その場合、時間  $t$  は次式として定められる。

【 数 1 】

$$t = \begin{cases} d & , h < 12 \text{ の場合} \\ d + 1 & , h \geq 12 \text{ の場合} \end{cases} \quad \dots \text{ 等式 (3)}$$

20

【 0 0 3 2 】

従って、このプロセスは  $h$  が 1 2 未満かどうかを判定し、 $h$  が 1 2 未満だと判定される場合に時間  $t$  を  $d$  に等しく設定することができる。しかし、 $h$  が 1 2 未満ではないと判定される (例えば  $h$  が 1 2 以上である) 場合、このプロセスは時間  $t$  を  $d + 1$  に等しく設定することができる。

【 0 0 3 3 】

T が全ての時間  $t$  の組だと仮定し：

$T \quad [ 0 , \quad )$

F はシステム内でログを取られる 1 組の特徴  $f$  とすることができ、

$F = \{ f_1 , \dots , f_{n_F} \} \quad \dots$  等式 ( 4 )

$n_F$  は、組 F 内の特徴の数を表す。

30

【 0 0 3 4 】

特徴  $f$  に関して、特徴  $f$  は、燃焼時間、ランプの電圧、電流、電力、力率、幹線電圧、エネルギー使用量、ランプのスイッチ数、調光レベルの変化回数、調光コマンドと調光結果との差異、調光コマンドと調光動作との間の遅延、調光レベル、各調光レベルに設定されている持続時間、調光要求の成功 (例えば成功、不成功)、コンポーネントの温度、ルーメン出力、周囲温度、気圧、風速、風向き、雨量、太陽エネルギー、雲量、月相、日出時間、日没時間、自然光強度、高度、ランプの故障、安定器の故障、ランプコントローラの故障 (例えば対応するランプを制御する電子機器の故障)、光電池の故障、保全のための訪問、交通手段ごとの交通数、及び / 又は犯罪率等、システム又はシステムの一部に関する様々な情報を表す。但し、特徴  $f$  は照明システムの種類及び / 又は構成に基づいて異なる。更に、特徴  $f$  を統合するとき、時間的なデータは同じ時間ステップ内の特徴の算術的統合である。

40

【 0 0 3 5 】

特徴  $f$  の一部は、ランプと天気予報等の対応する特徴  $f$  との間の地球物理学的な近さ等の近さに基づき、1 つ又は複数のランプに結び付けられ (例えば関連付けられ) る。従ってこのプロセスは、或る領域の天気予報を、その特定の領域内にあると判定される 1 つ又

50

は複数のランプに結び付けることができる。このプロセスは、突き止められたランプの地球物理学的位置をそのランプの位置に対応する天気予報にマッチさせること等、任意の適切な方法を使用してかかる結び付けを行うことができる。更に、全地球測位システム（GPS）座標、地球物理学的なグリッド座標、システムの位置等を使用することによって等、システムの1つ又は複数の部分（システムの1つ又は複数のランプ及び/又はセンサ等）の地球物理学的位置を明らかにするために任意の適切な方法が使用される。

【0036】

$f_i$ を受信すると、 $f_i$ は以下のように処理される。例えば、観測値 $o$ がこのプロセスによって形成され、或る時間 $t$ における特定のランプの特定の特徴の或る特定の実現値を表すことができ、

10

【数2】

$$o = (id, t, \ell, f, v) \quad \dots \text{等式 (5)}$$

によって表わすことができると仮定し、

$v \in R$ は、特徴 $f$ からの時間 $t$ における（照明箇所の）ランプ

【数3】

$\ell$

の観測値を示し、 $id$ はランプの固有識別子であり、

20

【数4】

$\ell$

は、以下の等式（14）に関して説明されるように照明システムの $n_L$ ランプ柱のうちの或るランプ柱を数学的に定めることができ、 $L$ は、以下の等式（15）に定められているように全 $n_L$ ランプ柱の組であり、 $R$ は全ての実数の組を表す。従って、

【数5】

$\ell$

は1組のランプ $L$ の要素と見なされる。観測値 $o$ の全組は、

30

【数6】

$$O = \{o_1, \dots, o_{n_O} \mid t \in T, \ell \in L, f \in F\} \dots \text{等式 (6)}$$

によって表わすことができ、 $T$ 及び $F$ については上記で説明した。

【0037】

ランプ

【数7】

$\ell$

、時間 $t$ 、及び特徴 $f$ の固有の組合せごとに複数の観測値 $o$ がある。単一の時間 $t$ 、ランプ

40

【数8】

$\ell$

、及び特徴 $f$ に関する1組の全ての $n$ の観測値が関数  $\Omega : T \times L \times F \rightarrow R^n$

によって与えられるとし、

【数9】

$$\Omega(t, \ell, f) = \{v_1, \dots, v_n \mid o_i = (id_i, t, \ell, f, v_i) \in O\} \dots \text{等式 (7)}$$

50

が成立する。

【 0 0 3 8 】

1 組の観測値  $O$  を所与とし、データ点  $x$  が

【 数 1 0 】

$$x = \left( t, \ell, f, \frac{1}{|\Omega(t, \ell, f)|} \sum_{v \in \Omega(t, \ell, f)} v, \sqrt{\frac{1}{|\Omega(t, \ell, f)|} \sum_{v \in \Omega(t, \ell, f)} \left( v - \frac{1}{|\Omega(t, \ell, f)|} \sum_{v \in \Omega(t, \ell, f)} v \right)^2}, \max_{v \in \Omega(t, \ell, f)}(v), \min_{v \in \Omega(t, \ell, f)}(v), |\Omega(t, \ell, f)| \right) \quad \dots \text{ 等式 (8)}$$

10

として定められる。

【 0 0 3 9 】

その場合、フル入力データセット  $X$  は、

【 数 1 1 】

$$X = \{x_1, \dots, x_{nX} | t \in T, \ell \in L, f \in F\} \quad \dots \text{ 等式 (9)}$$

によって与えられる。

【 0 0 4 0 】

( $x, i$ ) が組  $x$  の  $i + 3$  番目の要素を表すと仮定し、即ち ( $x, 1$ ) は観測値  $O$  の平均値を示し、( $x, 5$ ) はデータ点  $x$  を作成するのに使用される観測値の数を表す。中間値、標準偏差、最大値、最小値、及び / 又は観測値の数が、ランプ、時間、及び / 又は特徴の固有の組合せごとに明らかにされる。このプロセスは、かかる固有の組合せごとにそれらを要求することができる。

20

【 0 0 4 1 】

所与の時間  $t$ 、ランプ

【 数 1 2 】

$\ell$

、及び特徴  $f$  のデータ点は、関数

:  $T \times L \times F \rightarrow X \quad \dots \text{ 等式 (10)}$

30

によって与えられる。

【 0 0 4 2 】

動作 207 の完了後、このプロセスは動作 209 に進むことができる。

【 0 0 4 3 】

動作 209 の間、このプロセスは、欠落していると判定される任意のデータを訂正し且つ / 又は誤っていると判定される任意のデータを置換するために、フル入力データセット  $X$  をクリーニングするためのクリーニングプロセスを実行することができる。

【 0 0 4 4 】

例えば動作 209 の間、このプロセスはフル入力データセット  $X$  を前処理し、誤っていると判定される全てのデータを訂正し且つ欠落していると判定される任意のデータを置換することができる。従って、フル入力データセット  $X$  内で認識される誤りが訂正される。

40

【 0 0 4 5 】

例えば、フル入力データセット  $X$  のデータを訂正するために、このプロセスは、対応する特徴  $f$  の適切なデータ範囲を示す上限 (例えば上限閾値)  $f_{up}$  及び下限 (例えば下限閾値)  $f_{low}$  のそれぞれを各特徴  $f \in F$  について定めることができる。つまり各特徴  $f \in F$  について、上限閾値及び下限閾値内の正常範囲が定められる。一部の特徴では正常範囲が予め定められても良く、例えば力率が 0 から 1 の間にあることが预期される。特徴、例えば幹線電力や温度に関して、正常範囲が学習されても良い。まず、 $v < f_{low}$  又は  $v > f_{up}$  だと判定される全ての観測値

50



## 【数 1 3】

$$o = (id, t, \ell, f, v)$$

が除去され、且つ / 又は近似値によってさもなければ訂正される。例えば本システムの一部の実施形態によれば、除去される値が欠落しているとラベル付けされ、他の欠落値と共に訂正（例えば近似値によって置換）されても良く、これは単一のステップ内でも行われる。

## 【0 0 4 6】

一部の特徴  $f$ 、例えば累積燃焼時間では、上限及び下限が動的である。その場合、

10

## 【数 1 4】

$$o_i = (id_i, t, \ell, f, v_i), \quad o_{i-1} = (id_{i-1}, t-1, \ell, f, v_{i-1})$$

について、このプロセスは  $f_{low} = v_{i-1}$  及び  $f_{up} = v_{i-1} + 2.4$  を使用することができる。上限及び下限は、入手可能である他の観測値に基づいて導出されても良い。例えばそれらの他の観測値は、対応するランプがオンにされているかオフにされているかに関する情報を含む。燃焼時間、ランプのオン時間、ランプのオフ時間のうちの1つの値が残りの2つの値を用いて検証される。従って、燃焼時間、ランプのオン時間、及びランプのオフ時間等の3つの特徴が関係する（例えば燃焼時間 = ランプのオン時間 + ランプのオフ時間）と仮定し、それらの3つの特徴の何れか1つが間違っている又は欠落していると判定される場合、このプロセスは、学習された正常挙動の方法等の任意の適切な方法を使用し、間違っている又は欠落している値を3つの特徴の残りの2つの特徴に従って訂正することができる。

20

## 【0 0 4 7】

試験結果

本システムの実施形態に従って動作するシステムの特徴のデータセット  $F$  に対して行われる試験中の、(A) エネルギー値又は燃焼時間の減少（これらは絶えず累積されるので減少すべきではない）、(B) 0 未満又は 1 を上回る力率値、(C) 0 未満又は一定の閾値（例えば現在 600 V に設定されている）を上回る幹線電圧値、(D) 幹線電圧を上回るランプ電圧、及び (E) 0 未満の電流が最も一般的な誤りであることが分かっている。

30

## 【0 0 4 8】

本システムの一部の実施形態によれば、このプロセスは、（例えばシステムのメモリから得られる）既存の大型装置に関する統計的データを使用し、特徴のデータセット  $F$  内のノイズを減らし、誤りを見つけて訂正し、且つ / 又は欠落値を埋める（例えば概算して置換する）ことができる。

## 【0 0 4 9】

従って、システムの特徴のデータセット  $F$  を処理した後、そのデータセットがクリーニングされ、欠落していると判定されるデータを置換し、誤っていると判定されるデータを訂正する。処理（例えばクリーニング等）後の特徴のデータセット  $F$  は、特徴の処理済みデータセット  $F$  と呼ばれる場合があり、移送情報 (TI) として移送される移送の準備が整ったデータセットと呼ばれる。従って、TI は移送の準備が整ったデータセット、よって特徴の処理済み（例えばクリーニング済み）データセット  $F$  を含むことができる。

40

## 【0 0 5 0】

一部の実施形態によれば、移送の準備が整ったデータセットは誤っているデータを除くことができ、欠落データを置換するための概算データを含むことができ、且つ / 又は誤っている及び / 若しくは欠落していると判定されるデータを置換するための他の概算データを含む。更に、TI は、同じ時間スタンプを有する（例えば LLD 内に含まれる）複数の未処理のデータ要素の算術的統合を含む。

## 【0 0 5 1】

しかし更に他の実施形態では、TI が（例えば LLD によって与えられる）所与の未処

50

理のデータフィールドについて、選択されたタイムスタンプだけを含む。加えて、更に他の実施形態では、システムのサーバ等のコントローラの一部内の処理資源及び記憶域資源の可用性に基づいてT Iが絶えず更新される。更に他の実施形態では、T Iが（例えば保全契約のサービス内容合意書に記載される）性能閾値を満たすために必要とされる情報を含む。

#### 【0052】

動作209の完了後、このプロセスは動作211に進むことができる。

#### 【0053】

動作211の間、このプロセスは特徴の処理済み（クリーニング済み）データセットFを、屋外照明データベース213等のシステムの任意の適切なメモリに記憶するために伝送することができる。例えば一部の実施形態によれば、このプロセスは、特徴の処理済みデータセットFを取得することができ、特徴のデータセットFを記憶するために屋外照明データベース213に伝送することができる。この屋外照明データベース213は、本システムの一部を解析し且つ／又は制御するための1つ若しくは複数のプロセス又はその一部を実行するための、バックエンドシステムの一部を形成する。従って、特徴のデータセットFが処理（例えばクリーニングされ、時間ごとに（即ち夜ごとに）グループ化）されると、そのデータセットが、記憶するためにバックエンドシステムに伝送される。動作211の完了後、このプロセスは動作217に進むことができる。

#### 【0054】

動作217の間、このプロセスは、屋外照明データベース213等のシステムのメモリから取得される記憶済みの特徴のデータセットFに対してクリーニングプロセスを実行する。クリーニングプロセスは、過去のデータ、公開データ、特徴間の関係、学習された正常挙動等の情報に基づく。この動作は、動作209に使用可能な情報及び／又は処理能力が所望の精度でデータを保護するのに不十分だと判定される場合に実行される。結果的に、このプロセスは対応するクリーニングされた特徴の処理済みデータセットFを形成することができる。動作217の完了後、このプロセスは動作219に進むことができる。

#### 【0055】

動作219の間、このプロセスは任意の適切な方法を使用して情報伝達的数据特徴を求めることができる。例えば、情報伝達的数据特徴は、情報伝達的数据特徴を形成する複合特徴（CF：complex feature）を導出するための複合特徴抽出プロセスを実行することによって求められる。情報伝達的数据特徴は、ランプ故障を含むコンポーネント故障等、解析されている照明システムの未来の動作性能を明らかにするためにプロセスによって使用されても良く、対応する複合特徴を含む。例えば、情報伝達的数据特徴は、ランプ故障等の照明システムのコンポーネント故障を予測することができる。この動作の間、このプロセスは任意の適切な方法を使用して情報伝達的数据特徴を計算し、又は他の方法で求めることができる。例えば、情報伝達的数据特徴は関数：

$$: X \times L \rightarrow R^m \quad \dots \text{等式 (11)}$$

によって表わされても良く、この関数は1つ又は複数のランプ柱パラメータ（LPP：lamp pole parameter）（例えば等式（12）参照）、及びフル入力データセットXの1つ又は複数の特徴（f）に応じて1つ又は複数の情報伝達的数据特徴を計算するために処理される。従って、AがX及びLに基づいて決定される1組の情報伝達的数据特徴として定められる場合、Aは次式で定義される。

$$A = (X, L) \quad \dots \text{等式 (12)}$$

このプロセスは、等式11及び等式12を使用し、フル入力データセットX及び情報伝達的数据特徴Aを含むデータセットDを計算することができ、Dは次式で定義される。

$$D = X \cup A \quad \dots \text{等式 (13)}$$

#### 【0056】

ランプ柱 $l_n$ ごとに、照明システムに対するランプ柱 $l_n$ の種類及び（地球物理学的）位置を定める幾つかの変数（例えばランプ柱パラメータ（LPP））があると仮定する。その場合、ランプ柱 $l_n$ は

10

20

30

40

50

## 【数 15】

$$\ell = (l_{id}, l_{type}, l_{OLC}, l_{loc}, l_{pow}, l_{pow\_cor}, l_{inst}, l_{life}, l_{brand}, l_x, l_y, \dots) \quad \dots \text{等式 (14)}$$

として数学的に定義されても良く、 $l_{id}$  はランプの識別情報 (ID)、 $l_{type}$  はランプの種類、 $l_{OLC}$  は屋外照明コントローラ (OLC: outdoor lighting controller) の種類、 $l_{loc}$  は位置の種類、 $l_{pow}$  は電力、 $l_{pow\_cor}$  は電力補正、 $l_{inst}$  は設置日 (例えば設置された日付)、 $l_{life}$  は寿命、 $l_{brand}$  はブランド、 $l_x$  はランプの緯度、 $l_y$  はランプの経度を示す。位置の種類に関して、この変数は対応するランプ柱の地球物理学的位置を定めるために使用される方法を規定する。例えば一部の実施形態では、位置の種類が GPS 位置情報を含む。しかし、更に他の実施形態では、位置の種類が (例えば行 / 列形式を使用する) グリッドタイプのものである。しかし更に他の実施形態では、位置の種類は、以下の表 1 に示されているように (例えば位置の種類を参照されたい) 照明システム又はランプ等のその一部が設置されている位置によって定められる、都心、地方、ビーチ、空地、競技場、都市の横町、都市の高速道路、郊外的高速道路、田舎の高速道路、駐車場、市街地、郊外地域等の記述的な値を使用して位置を定義できると想定される。等式 (14) に示されている変数 (例えば  $l_{id}$ 、 $l_{type}$ 、 $l_{OLC}$ 、 $l_{loc}$ 、 $l_{pow}$ 、 $l_{pow\_cor}$ 、 $l_{inst}$ 、 $l_{life}$ 、 $l_{brand}$ 、 $l_x$ 、及び / 又は  $l_y$ ) は、システム及び / 又は利用者によって定められる。様々なパラメータに関する幾つかのあり得る値が以下の表 1 に定められている。

【0057】

【表 1】

表1

| 変数             | 任意選択項目   |
|----------------|--|
| ランプの種類         | 発光ダイオード(LED)<br>ナトリウム(SON)<br>メタルハライド(MH)<br>蛍光<br>フィラメント等 |
| OLCの種類         | 7020等  |
| 位置             | GPS位置  |
| 位置の種類(例えば設置場所) | ビーチ、内陸、街、都心、<br>郊外等  |
| 電力及び電力補正       | 72及び14.4.  |
| 設置日            | 2010-03-25 15:27:34  |
| 寿命             | 14400時間  |
| ブランド           | Master CityWhite™<br>CDO-xT 70W - dim 1-10V                |

【0058】

L に関して、L が照明システムの全 n L ランプ柱の組であると設定される場合、L は次式で定義される。

【数 16】

$$L = \{\ell_1, \dots, \ell_{nL}\} \quad \dots \text{等式 (15)}$$

【0059】

フル入力データセット X 及びランプ柱パラメータ L を所与とし、このプロセスは情報伝達のデータ特徴を求めることができる。このプロセスによって求められる情報伝達のデー

タ特徴は、照明システムの未来の性能を予測するために使用される場合、実働時間（例えば 800 時間）や寿命時間（例えば 950 時間）等の標準データよりも多くの情報を与える。

【0060】

一部の実施形態によれば、このプロセスは、ランプの寿命末期を予測するために使用される以下の表 2 に示されている下記の情報伝達のデータ特徴を求めることができる。情報伝達のデータ特徴は、照明システムが構成され、照明システムに関する情報が後で使用するためにシステムのメモリ内に記憶される場合に求められると仮定される。しかし、更に他の実施形態では、情報伝達のデータ特徴が時間的に（例えば周期的に、非周期的に、利用者の要求時に等）求められても良いと想定される。

10

【0061】

【表 2】

表2

| 情報伝達のデータ特徴  |  |
|---|--|
| 説明  | 複合特徴を導出するために<br>プロセスによって実行される動作  |
| 寿命末期の前に一部のランプの電圧は急激に上がる。従って、このプロセスはランプの電圧を経時的に記録することができる。この現象を発見するために、このプロセスは2次の多項式(例えば $(c_0+c_1x+c_2x^2)$ )を電圧の特徴(例えば経時的なランプの電圧)に適合させ、 $c_2$ の値を「電圧の二次関数トレンド」と名付けられる新たな導出済みの複合特徴として使用することができる。          | 例えば2次の多項式(例えば $(c_0+c_1x+c_2x^2)$ )をランプの電圧の特徴に適合させ、 $c_2$ の値を「電圧の二次関数トレンド」と名付けられる複合特徴として使用することによって電圧の二次関数トレンドを求める  |
| 電子機器の温度と周囲温度との相対的差異を求めることによって一部のランプの故障が予測され得る。測候所及びランプ柱のGPS座標を使用して各ランプを最寄りの測候所に結び付けることにより、気象データが個々のランプに結び付けられ得る。これにより次の複合特徴が得られる:(周囲温度-電子機器の温度)/周囲温度。   | (周囲温度-電子機器の温度)/周囲温度を求める  |
| 一部のランプでは、ランプが消耗するにつれて点火しにくくなる。その結果、幾つかの試みが要求され得る。このプロセスは、別の指示が与えられる前にランプが点火しようと試みる回数を記録することによって、又は所定の期間内にこの現象を測定することができる。ランプが自らの寿命時間の間に行った総点火試行回数も記録される。上記の電圧の例と同様に、ここでもこのプロセスは点火試行回数の二次関数トレンドを求めることができる。 | <p>既定の間隔内の点火試行回数を数える(C1)</p> <p>ランプの寿命の間の点火試行回数を数える(C2)</p> <p>2次の多項式(例えば<math>(c_0+c_1x+c_2x^2)</math>)をC1に適合させ、<math>c_2</math>の値を「点火試行の二次関数トレンド」と名付けられる複合特徴として使用する</p> <p>2次の多項式(例えば<math>(c_0+c_1x+c_2x^2)</math>)をC2に適合させ、<math>c_2</math>の値を「寿命時間の点火試行の二次関数トレンド」と名付けられる複合特徴として使用する</p> |

【表 3】

|   |   |    |
|---|---|----|
| 一部のランプでは、ランプが消耗するにつれてより頻繁に自然に消える。このプロセスは、それが起こる回数を点火時及び減光時の両方の動作に基づいて記録することができる。点火試行と同様に、このプロセスはランプが寿命時間内で消えた合計回数、既定の間隔内で消えた合計回数、及び両方における二次関数トレンドを求めることができる。  | 2次の多項式(例えば $(c_0+c_1x+c_2x^2)$ )をランプが自然に消える記録済みの回数に対応するデータに適合させ、 $c_2$ の値を「点火試行の二次関数トレンド」と名付けられる複合特徴として使用する | 10 |
| 1日当たり使用されるエネルギー量は、記録するための標準的なパラメータであるそれまでに(例えば電球の全寿命にわたって)使用された総エネルギー量よりも多くの情報を提供する。  | 1日当たり(又は或る期間当たり)使用される総エネルギー量を(電球によって寿命開始から使用される総エネルギー量以外に)求める。  |    |
| 調光コマンドと調光結果との間の差異及び遅延。  | 調光コマンドと調光結果との間の差異及び/又は遅延を求める  |    |
| これまでの調光レベルの合計変化回数。  | 調光レベルの合計変化回数を求める  | 20 |
| これまでのランプの総燃焼時間割る $x\%$ のランプが故障する統計的に予期される寿命。 $x$ の典型的な値は50%, 5%, 10%, 及び20%である。   | これまでのランプの総燃焼時間割る $x\%$ のランプが故障する統計的に予期される寿命を求める   |    |
| 一部のランプは調光され得る前にウォームアップ期間が必要である。このウォームアップ期間の持続時間は、使用されるランプの特定のバージョンによって決まる。このプロセスはウォームアップの持続時間を記録し、その情報(例えばランプのバージョンごとの静的値であるウォームアップ期間を示す情報)を使用してランプがオンになるときから第1の調光動作の時点までの持続時間を正規化することができる。この正規化された持続時間は将来の故障を予測するのに有益である一方、元の値は有益ではない。 | ウォームアップの持続時間を求め、その情報(例えばランプのバージョンごとの静的値であるウォームアップ期間を示す情報)を使用してランプがオンになるときから第1の調光動作の時点までの持続時間を正規化する。         | 30 |

## 【0063】

更に他の実施形態では、このプロセスは以下の表3内に挙げられているような情報伝達的数据特徴を求めることができる。例えば一部の実施形態によれば、このプロセスはランプの電圧の二次関数トレンドを(例えば或る期間にわたって、特定の時点において)求めることができる。

## 【0064】

10

20

30

40

【表 4】

表3

| 対応するランプに関する情報伝達のデータ特徴                                |
|--|
| ランプの電圧の(例えば経時的な、特定の時点における)二次関数トレンド                   |
| 求められた内部温度と周囲温度との相対的差異                                |
| 求められた点火試行回数、及びその二次関数トレンド                             |
| 求められた点火時及び調光時の自然なランプ消灯事象の回数、及びその二次関数トレンド。            |
| 調光コマンドと調光結果との間の求められた差異及び遅延、並びに調光動作の累積数               |
| ランプによって決まる静的ウォームアップ期間と比較された、点火から第1の調光要求までの求められた相対的遅延 |
| コンポーネント(ランプ等)の予期される寿命に対する、求められた総稼働時間数                |
| 1日当たりの(例えばランプの)エネルギー使用量                              |

10

## 【0065】

更に他の実施形態によれば、情報伝達のデータ特徴は、メインサーバ内の処理資源及び記憶域資源の可用性に基づいて絶えず更新される。情報伝達のデータ特徴は、やがて起こる故障を予測するのに最も有用であり、従って記憶域の可用性が限られている場合はそれらの特徴だけが記憶され、情報伝達の特徴が計算されるとフル入力セットXが記憶域から除去される。加えて、情報伝達の特徴及び/又は入力セットXは、後で使用するために重要度に応じて順位付けされる。記憶域の可用性に応じて、最も高い順位の特徴が最初に記憶される。処理の可用性が限られている場合、情報伝達の特徴の計算はその順位に従って行われる。処理が一時的に限られているだけの場合は計算が遅延される。

20

## 【0066】

更に他の実施形態では、情報伝達のデータ特徴が、保全契約内で概要が説明されるサービス内容合意書を守るのに必要且つ十分なデータを含む。

## 【0067】

一部の実施形態によれば、サービス内容合意書は、性能を測定するための少なくとも1つのパラメータを含むことができ、一覧として表わされる。例えばそれらのパラメータは、情報伝達の特徴の一覧内に含まれる。更に、情報伝達のデータ特徴は、サービスを実行する(即ち保全を計画して実行する)ために保全業者によって使用される特徴であり得る。更に、以下で論じられる追加の情報伝達のデータ特徴がサービス内容合意書を守るために必要とされる一覧に含まれても良い。

30

## 【0068】

更に多くの追加の情報伝達のデータ特徴が、このプロセスにより関数  $X \times L \rightarrow R^m$  に従って求められても良く、この関数は上記の1つ又は複数のランプパラメータ(例えばL)及び1つ又は複数のデータ特徴(例えばX)に応じて新たな複合特徴を計算するためのプロセスである。次いで、上記のように情報伝達のデータ特徴Aが計算されても良く、且つ/又はデータセットDが定義されても良く、後で使用するために屋外照明データベース213等のシステムのメモリ内に記憶される。従って、情報伝達のデータ特徴は、求められた複合特徴を含む照明予測データを形成する。それらの複合特徴は、ランプの電気的情報、システムの動作情報、センサ情報、設置構成情報、気象情報、交通情報、及び犯罪情報に少なくとも部分的に基づく。屋外照明予測データは、未来日における予測されたランプ故障等、照明システムのコンポーネント故障を予測する情報を含む。

40

## 【0069】

動作219の完了後、このプロセスは動作221に進むことができる。

## 【0070】

動作221の間、このプロセスはデータセットDの変数の重要度を決定することができ

50

る。このプロセスは、ランダムフォレスト法等の任意の適切な統計的方法を使用し、（例えばDのデータセット内の）最も重要な特徴を決定することができる。最も重要な特徴fを決定する前に、データから説明され又は予測される必要がある特徴D<sup>P</sup>を選択することが大切である。従って、D<sup>P</sup>はDの1つの要素、即ち予測対象である1つの特徴である。  
【0071】

例えば、特定のランプについて特定の種類の故障が選択期間中に起こったかどうかを示すブール値。varをD<sup>H</sup> = D \ D<sup>P</sup>内の変数の数とする。D<sup>P</sup>は実数値のデータ、カテゴリカルデータ、ブールデータ、又は整数データである。データ（例えばD<sup>P</sup>）がブール又は整数である場合、そのデータはカテゴリカルとしても見なされる。データD<sup>P</sup>がカテゴリカルである場合、このプロセスはD<sup>P</sup>内のそれぞれの固有値を別々のクラスとして示すことができる。1組のクラスが次式によって与えられるとする。

$$C = \{c_1, \dots, c_{n_c}\} \quad \dots \text{等式(16)}$$

【0072】

実数値のデータを予測するためにランダムフォレストも使用されるが、明瞭にするためにクラスを予測することについて言及する。但し、実数値のデータを予測するためにRFが拡張されても良いことが理解されるべきである。

【0073】

概して、ランダムフォレストRFはNのツリーで構成され：

$$RF = \{TR_1, \dots, TR_N\} \quad \dots \text{等式(17)}$$

各ツリーTR<sub>i</sub>は、全ての入力データを含む根ノード<sub>0</sub>で始まり、即ち<sub>0</sub> = D<sup>H</sup>が成立し、その後、データセット内の特徴の1つに沿ってノード

【数17】

$$\eta_i = D_i^H$$

をより小さい2つのノード

【数18】

$$\eta_{j_1} = D_{j_1}^H \text{ 及び } \eta_{j_2} = D_{j_2}^H$$

に分け、

【数19】

$$D_i^H = \eta_i = \eta_{j_1} \cup \eta_{j_2} = D_{j_1}^H \cup D_{j_2}^H$$

が成立する。対応するノードが単一のクラスに属するデータしか含まないと判定される場合、そのノードはそれ以上分けられず、葉ノードと呼ばれる。このように、ツリーはノードの集まりによって形成される。

$$TR_i = \{ \quad_0, \quad_1, \dots, \quad_q \} \quad \dots \text{等式(18)}$$

【0074】

次いでs( <sub>i</sub> )がノード <sub>i</sub> のサイズを示すとし、即ち次式が成立する。

【数20】

$$s(\eta_i) = |D_i^H| \quad \dots \text{等式(19)}$$

ノードの予測 ( <sub>i</sub> )は、そのデータセット内で最も起こると決定されるクラスによって与えられる。

【数21】

$$\gamma(\eta_i) = \arg \max_{c \in C} \left| \{c = D_i^P(y) | y \in D_i^H\} \right| \quad \dots \text{等式(20)}$$

【0075】

次いで、或るデータ点yのクラスを予測するために、データ点yが葉ノードまでNツリ

10

20

30

40

50



ーのそれぞれにプットダウン (put down) され、ツリーごとに葉ノードの予測を返し、それにより  $y$  に関する  $N$  の分類がもたらされる。関数  $x$  がデータ点  $y$  に関するツリーの予測を与え、即ち次式が成立する。

$$x : RF \times R^{var} \rightarrow C \quad \dots \text{等式 (21)}$$

【0076】

更に、データ点  $y$  に関するフォレスト  $RF$  の 1 組のクラス予測が

$$(y) = \{x(RF_1, y), \dots, x(RF_N, y)\} \quad \dots \text{等式 (22)}$$

によって与えられ、データ点  $y$  がクラス  $c$  に属する確率が

【数22】

$$\Pr(c, y) = \frac{1}{N} |\{(y) = c\}| \quad \dots \text{等式 (23)}$$

10

によって与えられると仮定し、その場合、フォレストは最も高い確率、即ち最も多い票を有する分類  $c(y)$  を選択する。

$$c(y) = \max(\{\Pr(c, y) \mid c \in C\}) \quad \dots \text{等式 (24)}$$

【0077】

ランダムフォレストを作成するために、元のデータ  $D^H$  と同じ大きさの入力データ  $D^H$  のブートストラップサンプルから開始して各ツリーが作成される。ブートストラップサンプルは、入力データ  $D^H$  から 1 つのデータ点  $y$  を繰り返し無作為に選択することによって作成される。従って、各ツリーは異なるブートストラップサンプルから作成される。  $i$  番目のツリーを作成するために使用されるブートストラップサンプルが  $B_i$  によって与えられるとする。その場合、次式が成立する。

$$B_i \subset D^H \quad \dots \text{等式 (25)}$$

加えて、フォレストを作成するための 1 組の総ブートストラップサンプルは

$$B = \{B_1, \dots, B_N\} \quad \dots \text{等式 (26)}$$

によって与えられる。

【0078】

ツリーを作成するために、標準方式では、各ノードにおいて変数のうちの  $K$  が (例えばこのプロセスによって) 無作為に選択され、最良の分割を得るためにそれらの変数だけが探索される。例えば、このプロセスは

【数23】

$$K = \sqrt{\text{var}} \quad \dots \text{等式 (27)}$$

20

30

を選択することができる。

【0079】

但し、屋外照明システムの試験結果から、ビーチの近くにあるランプと内陸にあるランプとではランプの故障挙動にかなりの違いがあることが明らかにされている。具体的には、ビーチの位置では、内陸の位置よりも気象データが故障予測に重要であることが明らかにされている。従って故障を予測するために、内陸のランプに比べてビーチのランプの場合は気象データの重みが強い確率分布関数 (pdf: probability distribution function) を使用する。その結果、このことはプロセスが変数のうちの  $K$  を均一に (即ち完全に無作為に) 選択しなくても良く、確率ベクトル  $v$  に従って選択することを意味する。確率ベクトル  $v$  を求めるために、このプロセスは以下で論じられる変数の重要度の測度の正規化バージョンを使用することができる。確率の各要素が 0 から 1 の間にあり、全ての要素を合計すると 1 になるように、変数の重要度の測度が正規化される必要がある。

40

【0080】

次いで、このプロセスは最良の分割を求めることができ、最良の分割を求めるために、このプロセスは

【数 2 4】

$$g(\eta) = 1 - \sum_{i \in C} p_i^2 \quad \dots \text{等式(28)}$$

として定義されるジニ不純度を使用することができ、 $p_i$  はクラス  $i$  からのノード内のデータ点の比率である。

【0081】

これ（例えばジニ）は、無作為に選択される要素が部分集合内のラベルの分布に従って無作為にラベル付けされる場合、組から無作為に選択される要素がどの程度頻繁に間違っ

10

【0082】

2つの子  $n_1$  及び  $n_2$  へのノードの最良の分割は、最も低いジニ不純度の値、即ち  $\arg \min g(n_1) + g(n_2) \dots$  等式(29)

をもたらす分割であることが分かっている。

【0083】

変数  $i$  による  $n_1$  及び  $n_2$  への最良の分割によるノードのジニ不純度の減少  $\Delta(i)$  は

【数 2 5】

20

$$\Delta(i) = \begin{cases} g(\eta) - g(\eta_1) - g(\eta_2) & \text{分割が } i \text{ による場合} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases} \quad \dots \text{等式(30)}$$

に等しい。

【0084】

データ点  $y$  のマージン  $M$  は、真のクラスに対する票の比率から他のクラスに対する票の最大比率を引いたもの、即ち

$$M(y) = \Pr(y, D^P(y)) - \max \{ \Pr(y, c) \mid c \in D^P(y) \} \dots \text{等式(31)}$$

30

である。

【0085】

マージン  $M$  の大きさは、分類がどの程度確信的であるのかの測度を与える。この実施形態では、2つのクラス及び真のクラス  $c$  だけを想定し、それにより次式が成立する。

【数 2 6】

$$M(y) = \frac{\Pr(y, D^P(y))}{N} - \left( 1 - \frac{\Pr(y, D^P(y))}{N} \right) = \frac{2\Pr(y, D^P(y))}{N} - 1 \quad \dots \text{等式(32)}$$

【0086】

40

ランダムフォレストは、どの変数が予測に最も重要かを決定するために使用可能な4つの手段を与える。これらの手段を定めるために、まず幾つかの追加の定義を紹介する。

【0087】

関数  $\sigma$  :  $\mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$  が入力値  $D^H$  を無作為に並べ替えるものとし、即ち値の順序が無作為に変えられる。 $D^H(i)$  が  $D^H$  の  $i$  番目の変数を示すものとする。すると  $D^H$  の  $i$  番目の変数の値の無作為の並べ替えが  $(D^H(i))$  によって与えられる。更に次式が定義される。

【数 2 7】

$$\tilde{D}^H(i) = \{D^H(1), \dots, D^H(i-1), \Pi(D^H(i)), D^H(i+1), \dots, D^H(\text{var})\} \quad \dots \text{等式 (33)}$$

【0 0 8 8】

【数 2 8】

$$\tilde{y}(i) \in \tilde{D}^H(i)$$

は、i 番目の変数が並べ替えられた状態の  $y \in D^H$  のマッチングデータ点を示すものとする。その場合、個々のツリーの分類が

10

【数 2 9】

$$\tilde{\Lambda}^T(y, i) = \left\{ \chi(RF_j, \tilde{y}(i)) \mid y \notin B_j, j=1, \dots, N \right\} \quad \dots \text{等式 (34)}$$

によって与えられ、クラスの確率が

【数 3 0】

$$\tilde{\text{Pr}}^T(c, y, i) = \frac{|\tilde{\Lambda}^T(y, i) = c|}{|\tilde{\Lambda}^T(y, i)|} \quad \dots \text{等式 (35)}$$

によって与えられ、最終的な分類が

20

【数 3 1】

$$\tilde{c}^T(y, i) = \max \left\{ \tilde{\text{Pr}}^T(c, y, i) \mid c \in C \right\} \quad \dots \text{等式 (36)}$$

によって与えられる。

【0 0 8 9】

その結果生じる試験エラーは

【数 3 2】

$$\tilde{E}(i) = \frac{|\{\tilde{c}^T(y, i) \neq D^P(y) \mid y \in D^H\}|}{|D^H|} \quad \dots \text{等式 (37)}$$

30

になり、マージンは

【数 3 3】

$$\tilde{M}^T(y, i) = \tilde{\text{Pr}}^T(y, D^P(y), i) - \max \left\{ \tilde{\text{Pr}}^T(y, c, i) \mid c \neq D^P(y) \right\} \quad \dots \text{等式 (38)}$$

になる。

【0 0 9 0】

次に4つの試験手段1から4 ( $M_1$  から  $M_4$  のそれぞれ) が定義され、それぞれの試験に関する変数の重要度を決定するために使用される。

40

【0 0 9 1】

手段1 . k 番目のツリーの残されたデータ点内で、i 番目の変数の全ての値を無作為に並べ替え、それらの新たなデータ点を分類し、新たな試験セットの誤り率を求める。この新たな試験セットの誤りが元の試験セットの誤りを超える量が i 番目の変数の重要度として定められる。公式的に、この手段は次式で定義される。

【数 3 4】

$$M_1(i) = \tilde{E}(i) - E \quad \dots \text{等式 (39)}$$

【0 0 9 2】

50

手段 2 . k 番目のツリーの残されたデータ点について i 番目の変数が無作為に並べ替えられる場合の、全てのデータ点にわたるマージンの平均の低下。公式的に、この手段は次式で定義される。

【数 3 5】

$$M_2(i) = \frac{1}{|D^H|} \sum_{y \in D^H} \{M(y) - \tilde{M}(y, i)\} \quad \dots \text{等式 (40)}$$

【0 0 9 3】

手段 3 . k 番目のツリーの残されたデータ点について i 番目の変数が無作為に並べ替えられる場合の、下げられたマージンの数引く上げられたマージンの数。

10

【数 3 6】

$$M_3(i) = \left| \{M(y) > \tilde{M}(y, i) | y \in D^H\} \right| - \left| \{M(y) < \tilde{M}(y, i) | y \in D^H\} \right| \quad \dots \text{等式 (41)}$$

【0 0 9 4】

手段 4 . 全ての分割において、分割を形成するために K t r y 変数の 1 つが使用され、結果としてジニ値の低下が生じる。ツリーの数によって正規化される、所与の変数によるフォレスト内の全ての低下の和が手段 4、即ち

【数 3 7】

$$M_4(i) = \frac{1}{N} \sum \Delta(i) \quad \dots \text{等式 (42)}$$

20

を形成する。

【0 0 9 5】

故障を予測する問題では、典型的には非故障（例えばクラス 0）と比較した故障数（例えばクラス 1）は非常に少ない。これは不均衡予測問題と呼ばれる。クラスが不均衡なので（即ち或るクラスからの要素の数が別のクラスからの要素の数よりもはるかに多い）、データを無作為に並べ替えることは誤解を与える結果を招く。例えば、クラス 1 のインスタンスが 10 個あり、クラス 2 のインスタンスが 90 個ある場合、そのデータを無作為に並べ替えることは依然としてクラス 2 内にあるクラス 2 の 90 % \* 90 = 81 個のインスタンスを平均して与え、9 個のインスタンスがクラス 1 に変わっている。古いクラス 1 では、平均して 9 個のインスタンスがクラス 2 になる一方、クラス 1 には 1 個のインスタンスしか残らない。従って、クラス 2 の新たなデータを分類することは精度の面で僅かに（10 %）低下するだけだが、クラス 1 の新たなデータの精度は 90 % 低下する可能性がある。最初の 3 つの手段（例えば M<sub>1</sub> から M<sub>3</sub>）はそれぞれこの問題に見舞われるので、手段 4（例えば M<sub>4</sub>）を参照する。

30

【0 0 9 6】

手段 4（M<sub>4</sub>）はこの問題に見舞われないが、使用される比率がツリーの根において既に不均衡問題に関して大きく又は小さい（例えば不均衡問題では或るクラスのデータの比率が小さく、そのため他のクラスのデータの比率が定義上大きい）。所与の例における根について、このプロセスは（例えば単一ノードツリーでは） $g(\text{root}) = 1 - 0.9^2 - 0.1^2 = 1 - 0.81 - 0.01 = 0.18$  等の根を得ることができる。次いで、根が（例えば 2 ノードツリーを得るために）2 つのノードに分割され、ノード 1 はクラス 1 のインスタンスを 9 個及びクラス 2 のインスタンスを 8 個有し、ノード 2 はクラス 1 のインスタンスを 1 個及びクラス 2 のインスタンスを 82 個有する。この場合、

40

【数 3 8】

$$g(\text{node1}) = 1 - \frac{9}{17}^2 - \frac{8}{17}^2 = 0.4983 \text{ 及び } g(\text{node2}) = 1 - \frac{1}{83}^2 - \frac{82}{83}^2 = 0.0238$$

となる。目標は 2 つのジニ値の和、即ち  $0.0238 + 0.4983 = 0.5221$  を最

50

小化することなのでこの分割は劣化と見なされる。このことはジニ値の変化によって判定されても良く、ジニ値の変化はこの例では  $0.18 - 0.4983 - 0.0238 = -0.3421$ 、即ち 0 未満である。実際には、このツリーはノード 2 ではクラス 2 を予測することになり、クラス 1 のデータ点がクラス 2 として予測されるインスタンスは 1 つだけとなる。ノード 1 ではクラス 1 を予測することになり、クラス 1 として誤って予測されるインスタンスは 8 個となる。合計して誤った予測は 9 個になり、根ノードは全てのデータをクラス 2 として予測する（即ち 10 個の誤った予測）。従って、このツリー（例えば 2 ノードツリー）の感度及び特定性が前のツリー（例えば単一ノードツリー）と比較される場合、精度は 90% から 91% へとほんの少し改善し、感度は 100% から 92% へと低下し、特定性は 0% から 90% へと劇的に改善していると判定される。従って、根ノードだけで構成されるツリー（例えば単一ノードツリー）は本質的に無益であるのに対し、新たなツリー（例えば 2 ノードツリー）は優れた品質を有する。

10

【0097】

従って、以下で説明されるように、最良の分割を選択するための新たな基準並びに最も重要な特徴を選択するための新たな基準が定義される。

【0098】

最良の分割及び最も重要な特徴の選択

$w_i$  がデータセット  $D^H$  内のクラス  $i$  のデータ点の小数 (fraction) を示すとする。この例では、データ  $D^P$  から  $w_1 = 0.1$ 、 $w_2 = 0.9$  である。

【数39】

20

$$q_i = \frac{p_i}{w_i}$$

とした場合、次式が成立する。

【数40】

$$g^{NEW}(\eta) = 1 - \sum_{i \in C} \left( \frac{q_i}{\sum_{i \in C} q_i} \right)^2 \quad \dots \text{等式 (43)}$$

30

【0099】

次いで、この例の実施形態による等式 (43) を使用して  $g^{NEW}$  について解くことで  $g(\text{root})$ 、 $g(\text{node1})$ 、 $g(\text{node2})$  の以下の結果をもたらす。

$$g(\text{root}) = 1 - (1/2)^2 - (1/2)^2 = 0.5$$

【数41】

$$g(\text{node1}) = 1 - \left( \frac{\frac{9}{17}}{\frac{9}{17} + \frac{8}{17}} \right)^2 - \left( \frac{\frac{8}{17}}{\frac{9}{17} + \frac{8}{17}} \right)^2 = 0.1620, \text{ 及び}$$

40

$$g(\text{node2}) = 1 - \left( \frac{\frac{1}{83}}{\frac{1}{83} + \frac{82}{83}} \right)^2 - \left( \frac{\frac{82}{83}}{\frac{1}{83} + \frac{82}{83}} \right)^2 = 0.1782$$

【0100】

この新しい（例えば等式 (43) によって定められる）方法を使用し、ジニ値が 0.5 から  $0.1620 + 0.1782 = 0.3402$  に下がる。今度は、変数の重要度の測度 ( $M_5$ )（例えば変数の重要度）が次式の通りとなる。

50

【数 4 2】

$$M_s(i) = \frac{1}{N} \sum \Delta^{NEW}(i)$$

但し

【数 4 3】

$$\Delta^{NEW}(i) = \begin{cases} g^{NEW}(\eta) - g^{NEW}(\eta_1) - g^{NEW}(\eta_2) & \text{分割が} i \text{ による場合} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases}$$

..... 等式 (44)

10

【0 1 0 1】

従って動作 2 2 1 の間、このプロセスは、変数の重要度を等式 (4 4) 等の上記の等式の少なくとも 1 つを使用して、及び入力データ D に応じて決定することができる。次いで、動作 2 1 9 の間に決定された複合特徴ごとに変数の重要度が決定される。動作 2 2 1 の完了後、このプロセスは動作 2 2 3 に進むことができる。

【0 1 0 2】

動作 2 2 3 の間、このプロセスは最も高い重要度を有する (1 つ又は複数の) 変数を選択することができる。従って、このプロセスは変数の重要度値のそれぞれを比較し、任意の適切な方法を使用して最も大きい変数の重要度値を決定し、対応する複合特徴を選択することができる。例えば一部の実施形態では、このプロセスは最も大きい変数の重要度値のうちの選択された数 (例えば 2 等) だけを選択することができ、選択される数は整数とすることができ、利用者及び / 又はシステムによって選択される。例えば一部の実施形態では、このプロセスは最も大きい変数の重要度値を 2 つ、及び関連する情報伝達的数据特徴を選択することができる。しかし、更に他の実施形態では、このプロセスは変数の重要度値のそれぞれを対応する閾値と比較し、対応する閾値以上だと判定される変数の重要度値だけを選択することができる。従って、例えば一部の実施形態では、このプロセスは 0 . 2 等を上回る変数の重要度値を選択することができる。

20

【0 1 0 3】

試験結果

30

図 3 A は、本システムの実施形態による SON ランプに関する変数の重要度を決定するための試験結果の出力を図示するグラフ 3 0 0 A を示し、図 3 B は、本システムの実施形態による LED ランプに関する変数の重要度を決定するための試験結果の出力を図示するグラフ 3 0 0 B を示す。グラフ 3 0 0 A 及び 3 0 0 B は、特徴 (例えば動作 2 1 9 の間に決定される複合特徴) に応じた変数の重要度を示す。グラフ 3 0 0 A 及び 3 0 0 B 内の複合特徴は、明瞭にするために 3 次元の棒グラフを用いて表されている。しかし更に他の実施形態では、所望の場合は複合特徴が同じ軸上に配置されても良い。グラフ 3 0 0 A 及び 3 0 0 B は次のように読まれるものとする。「データの種類」の軸上で例えば「エネルギー」と述べられ、「特徴」の軸上で例えば「線形トレンド」と述べられ、それらの 2 つのラベルが一緒になって「エネルギーの線形トレンド」という複合特徴の名称を形成し、関連する変数の重要度は垂直軸上にある。

40

【0 1 0 4】

例えば SON ランプに関して、グラフ 3 0 0 A は、最も重要な複合特徴がエネルギー及び稼働時間 (例えば「エネルギー割る燃焼時間」) 3 0 3 A、及びランプの調光コマンドとその実行との間の遅延 (例えば「ランプコマンドに対するランプレベルの遅延」) 3 0 5 A だと示す一方、LED ランプの故障については、最も重要な特徴は平均気温 (「平均気温」) 3 0 3 B 及び最低気圧 (「最低気圧」) 3 0 5 B である。但し、グラフ 3 0 3 B に関して、括弧 3 0 7 B によって示されているように最も重要な特徴が概して天候に関連していることが見て取れる。一部の実施形態では、データの種類の情報が所定の順序で順に配置される。例えば、天候関連のデータの種類の種類がまとめられても良い。例えば他のグループ

50

は、構成関連のグループ、ランプのスイッチング／調光のスケジュール関連のグループ、犯罪関連のグループ、交通関連のグループ等を含むと考えられる。動作 2 2 3 の完了後、このプロセスは動作 2 2 5 に進むことができる。

#### 【 0 1 0 5 】

動作 2 2 5 の間、このプロセスは予測モデルを作成することができる。本システムの実施形態によれば、このプロセスは保全計画の結果（例えば保全のスケジューリング）に従って予測モデルを適合させることができる。以下で論じられ、次に更に詳細に説明されるように、予測モデルは分類を決定することができる。

#### 【 0 1 0 6 】

使用される予測精度の定義

10

本実施形態の少なくとも一部に関係する精度の主な概念は、 $B$  として表わされるバイアスの概念である。 $T$ （その平均値が  $E[T]$  で表わされる無作為の量）が故障時間を表すランプを検討されたい。このプロセスの実施形態は、計算手順を利用して故障時間  $T$  を予測することができ、対応する予測値は  $T_{pred}$  である。このプロセスは、バイアス  $B$  を次式で定めることができる。

$$B = E[T] - T_{pred} \quad \dots \text{等式 (45)}$$

#### 【 0 1 0 7 】

バイアス  $B$  が正の場合、そのことはランプが予想よりも早く故障すると予測されることを示すのに対し、バイアス  $B$  が負の場合、ランプは予想よりも遅く故障すると予測される。つまり、ランプの予想寿命が過大評価される場合がある。

20

#### 【 0 1 0 8 】

保全計画アルゴリズム及び性能結果

このプロセスは、以下の表 4 に示されているような、本システムの実施形態による照明システム内のランプの保全に関連する 1 つ又は複数の費用を考慮に入れることができる。

#### 【 0 1 0 9 】

#### 【表 5】

表4

| ランプ交換費の表   |
|--|
| ランプの設置費：照明システム内に新たなランプを設置する費用に関する。                                       |
| 早く交換されることによってランプの寿命が無駄にされる費用：ランプが時期尚早に交換される場合、ランプの寿命の或る割合が無駄にされ費用と見なされる。 |
| 利用者の不便さの費用：ランプの交換が遅すぎると、或る期間にわたって地面に光がなくなり幾らかの費用を発生させる。                  |
| 整備員の費用：現場に整備員を配置する費用。  |
| 保全トラックの燃料及び動作費用：この費用は各保全ミッション(事態)内で対象とされる距離に比例し得る。                       |

30

#### 【 0 1 1 0 】

40

屋外照明システムのランプを最適に保全する問題は興味深い複雑性を示す。つまり、照明システムの各ランプが故障後に交換される最も単純な保全アルゴリズムは、多くの異なる保全の往訪が必要になる可能性があるので運営費が高くなり過ぎる原因となる。この費用をなし崩しにするために、ランプの（例えばクラスタの）集合の交換を同時に行うことが有益だと分かっている。照明システムの全てのランプが同時に故障する確率は低いので、このことは一部のランプが時期尚早に交換され（無駄なランプ寿命の費用を招く）、一部のランプの交換が遅すぎる可能性がある（利用者の不便さの費用を招く）ことを必然的に意味する。

#### 【 0 1 1 1 】

本システムの実施形態によれば、保全スケジューリングアルゴリズムが以下の動作を使

50

用して保全スケジュールを計算する。

( i ) 照明システムのランプの故障時間を ( ことによると幾らかのバイアス B と共に ) 予測する。

( i i ) 予測された故障時間及び地理的位置に基づいてランプをクラスタ化する。共通のクラスタ内にあると判定される全てのランプは、そのクラスタに関して最適な時点における保全の同一往訪内での交換がスケジュールされる。

( i i i ) 本システムの実施形態に従ってクラスタのそれぞれを交換するために保全トラックが辿るのに最適な経路を計算する。

#### 【 0 1 1 2 】

保全スケジュールリングアルゴリズムの全体的性能は、ランプの故障時間が予測される精度によって決まる。とりわけ、バイアス B が最終的な解に影響を及ぼす。全体的費用に対するバイアス B の影響は、本システムの実施形態に従ってシミュレートされる。それらのシミュレーションの結果として、ランプを遅く交換することに関する利用者の不便さの費用がランプの費用に比べて低い場合、負バイアスがより低い全体的費用をもたらすのに対し、ランプを遅く交換することに関する利用者の不便さの費用が高い場合は正バイアスがより低い全体的費用をもたらすことが実験的に明らかにされている。

#### 【 0 1 1 3 】

所望のバイアスは、保全業務に関与する費用に基づいて適合される。例えば、ランプを遅く交換することに関する利用者の不便さの費用がランプの費用に比べて低い ( 例えば費用の閾値を下回る ) 場合、負バイアス ( 例えば 0 未満 ) がより低い全体的費用をもたらすのに対し、ランプを遅く交換することに関する利用者の不便さの費用が高い場合は正バイアス ( 例えば 0 を上回る ) がより低い全体的費用をもたらす。そのため、最初の事例では ( 例えば不便さの費用がランプの費用に比べて低いとプロセスが判定する場合 )、所望のバイアスが ( 0 である ) 正常に比べて負の値に設定され ( 且つ / 又は現在値から下げられ )、第 2 の事例では、所望のバイアスが正常に比べて正の値に設定される ( 且つ / 又は現在値から上げられる )。上記の事例を判定するために、このプロセスは ( 例えばランプを遅く交換することを示す ) 費用の閾値を設定することができる。次いで、このプロセスは不便さの費用を費用の閾値と比較することができる。不便さの費用が費用の閾値を下回ると判定される場合、このプロセスはバイアス値 B を 0 未満 ( 例えば負の値 ) に設定することができる。その場合、所望のバイアス B は ( 0 である ) 正常に比べて下げられる。しかし、不便さの費用が費用の閾値以上だと判定される場合、このプロセスはバイアス値 B を 0 超に ( 例えば正の値 ) に設定することができる。その場合、所望のバイアス B は正常に比べて上げられる。従ってこのプロセスは、全体的費用を下げるために、費用の決定に従ってバイアス B を決定しさもなければ調節することができる。バイアス値 B は、所望の結果が得られるまで漸進的に上げられ又は下げられることに留意すべきである。事例として、バイアス値 b の大きさを設定するために、何らかの既定値に設定された、例えば 1 日や 1 週間に設定された固定された大きさの漸進的変更を使用することができる。既定値は、典型的には利用者がシステム内で使用する粒度によって決まる。従って、例えば最適な保全スケジュールが毎週決定される場合、1 週間の既定値が概して使用される。

#### 【 0 1 1 4 】

費用に基づくモデル訓練の適合

予測モデルの作成時に誤分類の費用を考慮に入れるために、ランダムフォレストの手法は訓練セット内のクラス分布を調節するものである。しかし、照明の故障を予測する際に不均衡なデータセットが通常はありと考え、この手法 ( 例えば訓練セット内のクラス分布を調節する上記の方法 ) には問題があり、それはかかる方法が 2 つの効果を同時に実行させるからであり、2 つの効果とはつまり費用の影響及び不均衡の問題である。費用の影響及び不均衡の問題は 1 つずつ影響されることが好ましい。従って本システムの実施形態は、訓練セットではなく分類を決定するための方法又はノードを分割するための方法を適合させ、後者は照明故障予測問題の重要な変数を決定するように最適化されている ( 例えば上記の動作 2 2 1 及び 2 2 3 参照 )。従って、本システムの実施形態に従って分類を決定

10

20

30

40

50



するための方法が次に論じられる。

【0115】

まず、上記の等式(17)～(20)のそれぞれによって定められているように、1組のクラスC、ランダムフォレストRF、ツリーTR<sub>i</sub>、s(<sub>i</sub>)、及び標準予測ノード(<sub>i</sub>)が与えられると仮定する。

【0116】

次いで、(例えば動作221～223に関して論じられた何らかのデータ点yのクラスとは対照的に)誤分類の費用を考慮に入れるためにこの予測(例えば標準予測ノード(<sub>i</sub>))が適合される。<sub>i</sub>は、<sub>i</sub> = 0, <sub>i</sub> Cとしながらクラスiをクラスjとして分類する費用だと仮定する。このプロセスは、(最も高い確率を有するクラス、例えばマジョリティクラスではなく)最も低い費用をもたらすクラスをノードの予測として解釈することができる。次いで、<sub>j</sub>をノード <sub>i</sub> におけるクラスjのデータ点の数、即ち

10

【数44】

$$k_j^i = |\{c = D_i^p(y) | y \in D_i^H\}|$$

とすると、次式が成立する。

【数45】

$$\tilde{\gamma}(\eta_i) = \arg \min_{c \in C} \sum_{j \in C} \alpha_{jc} k_j^i \quad \dots \text{等式(46)}$$

20

【0117】

次いで、或るデータ点yのクラスを予測するために、データ点yが葉ノードまでNツリーのそれぞれにプットダウンされ、ツリーごとに葉ノードの予測(<sub>i</sub>)を返し、それによりyに関するNの分類がもたらされる。関数xがデータ点yに関するツリーの予測を与え、即ち次式が成立する。

$$x : RF \times R^{V \times r} \rightarrow C \quad \dots \text{等式(47)}$$

【0118】

更に、データ点yに関するフォレストRFの1組のクラス予測が

30

(y) = {x(RF<sub>1</sub>, y), ..., x(RF<sub>N</sub>, y)} ... 等式(48)  
によって与えられ、データ点yがクラスcに属する確率が

【数46】

$$\Pr(c, y) = \frac{1}{N} |\{\Lambda(y) = c\}| \quad \dots \text{等式(49)}$$

によって与えられると仮定する。

【0119】

その場合、フォレストは最も高い確率、即ち最も多い票を有する分類c(y)を選択する。

$$c(y) = \max(\{\Pr(c, y) | c \in C\}) \quad \dots \text{等式(50)}$$

40

【0120】

次いで、プロセスはこの予測を適合させて誤分類の費用を考慮に入れることができる。但し、最も多い票を有するクラスを選択するのではなく、このプロセスは最小費用をもたらすクラスを選択することができる。

【数47】

$$\tilde{c}(y) = \min_{c \in C} \left( \sum_{j \in C} \alpha_{jc} |\{\Lambda(y) = j\}| \right) \quad \dots \text{等式(51)}$$

【0121】

従って、動作225の上記の等式を解くことにより、このプロセスは最小費用をもたらすクラスを選択することができる。予測は予測モデルを形成することができ、その後、後

50

で使用するために予測モデルデータベース 227 等のシステムのメモリ内にプロセスによって記憶される。

【0122】

図7は、本システムの実施形態に従って生成されるランダムフォレスト予測モデルの単一ツリーのグラフ700を示す。グラフ700の予測モデルは、照明システムのランプが現時点から4週間以内に故障するかどうかを予測する。この予測は本システムの実施形態に従ってモデリングされても良く、照明システムの対応するランプごとの特徴に応じて少なくとも部分的に基づく。照明システムの複数のランプのランプごとに、ランダムフォレストツリーは、今後4週間以内に故障が予測されない場合は0に等しい値を出力し、又は故障が予測される場合は1に等しい値を出力する。

10

【0123】

動作225の完了後、このプロセスは動作229及び/又は動作239に進むことができる。

【0124】

再び動作225を参照し、この動作の間、一部の実施形態によればこのプロセスは、一定の予測精度を所与として最適な保全計画に従って予測モデルを最適化することができる。更に他の実施形態では、予測精度が予測内のバイアスとして定義される。更に他の実施形態では、保全計画の費用がランプの費用、早く交換する費用、遅く交換する費用、交換作業隊の費用、(交換作業隊の)移動費用を含む。また更なる実施形態では、予測モデルを最適化するために最小費用の保全計画のバイアスが使用される。他の実施形態では、所望のバイアスをもたらすために予測モデルの決定境界が作成される。また更なる実施形態では、コントローラのサーバ等、照明システムの一部の処理資源及び記憶域資源の可用性に基づいて保全計画及び/又は所望のバイアスが絶えず更新される。更に他の実施形態では、コントローラによって取得される最新情報に基づいて予測モデルの決定境界が絶えず更新される。また更なる実施形態では、サービスレベル閾値を維持するのに十分であるように予測モデルが決定される(例えば閾値は保全契約内で概要が説明される合意内に記載され、システムのメモリ内に記憶される)。保全契約は性能に関する合意を含む。この保全の性能が予測モデルの所要の性能ということになる。本システムの実施形態によれば、この所要の性能は、必要とされる感度及び特定性(以下参照)並びに/又はどの程度先の時点まで(例えばどれ位先まで)故障が予測されなければならないのかを含む。予測モデルは、性能要件等の要件が満たされるようにバイアス及び/又は決定境界を適合させることによって作成される。従って、例えばサービスレベル閾値が満たされ又は超えられるように、予測モデルがこのプロセスによって形成される。

20

30

【0125】

動作229の間、このプロセスは、動作225の間に作成された予測モデルに基づいて故障予測を形成することができる。例えば、予測モデル内に含まれる複合特徴が計算され、作成済みの予測モデルによって供給されても良く、所望の通りに真又は偽或いは故障確率に等しい故障予測がもたらされる。動作229の完了後、このプロセスは動作231及び235の一方又は両方に進むことができる。例えば、故障予測のレンダリングを利用者が閲覧したいと判定される場合、このプロセスは動作235に進むことができる。しかし、保全スケジュールが望まれると判定される場合(例えばプロセス及び/又は利用者によって要求される)、このプロセスは動作231に進むことができる。

40

【0126】

動作239の間、このプロセスは動作225の間に作成された予測モデルを改善することができる。従って、このプロセスは信頼性モデルデータベース237から信頼性モデルを得ることができる。信頼性モデルデータベースは、ランプのブランド及び種類ごとに寿命の統計的分布を含む。この情報は、とりわけ予測モデルの精度がより低い可能性があるより遠い未来の比較的広範囲の予測について、予測モデルを向上させるために使用される。

【0127】

50

動作 2 3 1 の間、このプロセスは動作 2 2 9 の間に形成された故障予測モデルに従って保全スケジュールを形成することができる。例えばこのプロセスは、或る日付までに交換されるべき特定のクラスタの全てのランプの位置を求めることができる。その後、このプロセスは、交換が必要なクラスタのそれらのランプを交換するために使用される経路を明らかにすることができる。この経路は（例えば移動時間や移動距離等の所望の変数を最小限にするための）最小費用の経路とすることができ、ランプを交換するために使用される経路を規定することができる。経路を決定するために、巡回セールスマン式の方法がこのプロセスによって適用される。動作 2 3 1 の完了後、このプロセスは動作 2 3 3 に進むことができる。

#### 【 0 1 2 8 】

10

動作 2 3 3 の間、このプロセスは現地の保全情報を実時間で得ることができる。例えばランプが交換されると、その情報が（例えば特徴情報  $f_i$  として）システムのコントローラに伝送される。その後、コントローラは交換を反映させるために照明システムの特徴  $f$  を更新することができる。より具体的には、一部の実施形態によれば、後で使用するための適切な情報を提供するために、構成及び／又はランプ柱のパラメータに関係する少なくとも幾つの特徴  $f$  が交換に応じて更新される。動作 2 3 3 の完了後、このプロセスは動作 2 3 5 に進むことができる。

#### 【 0 1 2 9 】

動作 2 3 5 の間、このプロセスは利用者の便宜のために、システムのディスプレイ等のユーザインタフェース上にシステムの視覚化をレンダリングすることができる。従ってこのプロセスは、一目で分かる最も重要な側面の明確な概要を維持し、更に利用者が照明システムの任意の特定の部分に関する更なる詳細を望む場合は十分な自由度を認めながら、このプロセスの決定（例えば計算）の何れかによって生成されるデータ等、照明システムに関するデータを視覚化できるようにするグラフィカルユーザインタフェース（GUI）を生成する。特に一部の実施形態によれば、このプロセスは、システム設定及び／又はユーザ選択に応じてレンダリング時に 1 つ又は複数の（例えば選択された又は全ての）ランプを市街地図、衛星画像、ストリートビュー画像等の所望の背景上に示すことができる GUI を生成する。更に、利用者が例えば未来時、現時点、過去の時点、或る時間範囲等の所望の時間や時間範囲にスクロールできるようにするために、1 つ又は複数のメニュー及び／又は他の選択手段（例えばスライダ等）が生成され且つ／又は提供される。次いでこのプロセスは、システムのメモリから情報を取得して選択された時間に対応する所望の情報の視覚化を生成し、その視覚化をレンダリングすることができる。所望の情報は、所望の時間に故障すると（例えばこのプロセスによって）予測されるシステムの 1 つ又は複数のランプ等、システムの 1 つ又は複数の部分に関する情報を含む。

20

30

#### 【 0 1 3 0 】

従って例えばこのプロセスは、本システムの実施形態に従い、システムの 1 つ又は複数のランプの将来の故障が予測されるときを示すグラフィカル表現をレンダリングすることができる。従ってこのプロセスは、利用者が未来に向けてスクロールし（例えばスライダを使用して選択された日付及び／又は日付の範囲にスクロールし）、様々なランプの故障が予測されるときを観察するための任意選択機能を与える GUI をレンダリングすることができる。この予測は、動作 2 2 9 の間に形成され、予測モデルデータベース 2 2 7 から取得される故障予測に従って決定される。ランプ又はランプ群が選択されると、このプロセスは選択されたランプ又はランプ群（例えばクラスタ）に関する現在の状態及び／又は将来予測される状態（例えば電圧、電流、電力、燃焼時間等）、並びに設定点（例えば使用スケジュール及び／又は正常動作範囲）を示す GUI を生成することができる。例えば一部の実施形態では、選択された対応するランプ又はランプ群の 1 つ又は複数の特徴が、選択されたランプ又はランプ群に関連して取得され且つ／又はレンダリングされる。

40

#### 【 0 1 3 1 】

図 4 は、本システムの実施形態に従って形成されるグラフィカルユーザインタフェース（GUI）4 0 0 のスクリーンショットを示す。GUI 4 0 0 は、本発明の実施形態によ

50

る、システムの1つ又は複数のランプが将来故障することが予測されるときを示す情報を含む。このGUIは、日付情報を含む日付領域413と、日付及び/又は日付の範囲を選択するために利用者によって選択されるスライダ412とを含む。日付は時間尺度を使って表わされる。日付又は日付の範囲は、過去の、現在の、及び/又は未来の日付若しくは日付の範囲を含む。例えばこの実施形態では、選択された日付から、利用者が2020年2月20日等の未来の日付を選択していると見なされる。GUI400はマップ402を含むことができ、マップ402は、マップ402の表示部分内の道406沿いにあるシステムの設置ランプ404等、照明システムの1つ又は複数の部分の説明を含む。このプロセスは、選択された日付についての予測された(累積的な)ランプ故障に関する情報を得ることができ、選択された日付に故障していると予測されるランプを示す外枠のみの円409を使用すること等、任意の適切な方法を使用してその情報をレンダリングすることができる。同様に、選択された日付に機能していると予測されるランプ404は、塗潰された円408を使用して示される。更に、GUI400は、利用者が所望の場合にズームイン及び/又はズームアウトしてマップ402のより広い部分及び/又はより狭い部分をそれぞれ見るように構成される。従って、例えば閲覧者がマップ402をズームアウトする場合、照明システムの更に多くのランプ404が表示される。予測されるランプ故障は累積的であるので、その数は利用者が更に先の日付を選択するとき増加する。但し、更に他の実施形態では、予測されるランプ故障が、選択された日付に故障するランプについてのみ示されても良い。

10

#### 【0132】

20

スライダ412はシステムによって生成されても良く、選択された日付の照明システムの予測された状態を利用者が観察することを可能にする。選択された日付を利用者が更に先に設定すると、故障することが予測されるランプの数が増加し、故障しているますます多くのランプ409が示される。従って利用者は、ランプが故障すると予測されるときを明らかにし、その情報に基づいて保全及び/又は交換の労力を調節することができる。このGUIは、ランプの総数、(現在の日付の)現在のランプ故障数、選択された日付(例えば2027年11月20日)までに予測されるランプ故障数、新たなシステム及びランプに関する情報へのリンク、並びに予測される交換費のうちの1つ又は複数等、照明システムに関する情報410を更に含む。

#### 【0133】

30

利用者がマップ402上のランプ404又はランプ群を選択すると、このプロセスは、実際の及び要求された調光状態416、燃焼時間、ランプ電圧418、電流414、力率422、幹線電圧424、安定器の温度420等、選択されたランプに関する主要パラメータをレンダリングすることができる。このプロセスは、選択されたランプ全てのパラメータの平均値を更に求めることができる。例えば、群のランプのそれぞれによって使用される電流の平均値(群全体にわたって算出される)が明らかにされ、利用者の便宜を図ってシステムのディスプレイ上にレンダリングされる。このプロセスは、実際の及び要求された調光状態416、燃焼時間、ランプ電圧418、電流414、力率422、幹線電圧424、安定器の温度420等の選択された値についてそれを行うことができる。

#### 【0134】

40

このプロセスは、複数のランプの利用者又はシステムによって選択されるランプ群(1つ又は複数のランプを含む)の実際の及び要求された調光状態、燃焼時間、ランプ電圧、電流、電力、幹線電圧、及び平均レベル(例えば実際の及び要求された調光状態、燃焼時間、ランプ電圧、電流、電力、幹線電圧の平均値)の少なくとも1つのグラフィック表現を含むようにGUIを更に生成することも決定されている。所望の場合、このプロセスは、対応する値の平均がランプ群の対応する平均値を上回る又は下回るランプを強調表示することができる。

#### 【0135】

少なくとも1つのパラメータについて品質測度が求められ、レンダリングされる。例えば、要求された調光状態と実際の調光状態との差が大きいことは低品質の現れである。従

50

って、赤色の強調表示等の対応する色を使って品質測度が示される。燃焼時間では、統計的寿命と比較された現在のランプの寿命が示される。更に（幹線）電圧、電流、及び電力では、実際の（予測）値と共に示される通常の適切な動作範囲がある。主要パラメータの隣に、右パネルはランプの種類、及び例えばランプの色温度や位置等の主要な静的情報も示すことができる。従って、本システムの実施形態は、照明システムの予測される将来の展望を利用者に与えることができ、それによりパラメータがそれに応じて調節されても良く、保全がしかるべくスケジューリングされ且つ／又は実行される。

#### 【 0 1 3 6 】

図 5 は、本システムの実施形態に従って動作する照明システムによって実行されるプロセス 500 を示す流れ図である。プロセス 500 は、ネットワーク上で通信する 1 台又は複数台のコンピュータを使用して実行されても良く、互いに局所的であり得る及び／又は互いから隔てられる 1 つ又は複数のメモリから情報を取得し、且つ／又はかかるメモリに情報を記憶することができる。プロセス 500 は、以下の動作の 1 つ又は複数を含む。更に、所望の場合はそれらの動作の 1 つ又は複数が組み合わせられ、且つ／又は下位動作に分けられても良い。更に、それらの動作の 1 つ又は複数が設定に応じて飛ばされても良い。動作面では、このプロセスは動作 501 中に開始し、動作 503 に進むことができる。

#### 【 0 1 3 7 】

動作 503 の間、このプロセスは、照明システムの特徴（f）に関係し、複数の特徴空間から得られる特徴情報を含む照明ロギングデータを得ることができる。従ってこのプロセスは、図 2 の動作 205 に関して説明された照明箇所データ収集プロセスを使用して照明ロギングデータを得ることができる。次いで、上記の動作 207 に関して説明されている可能性があるように、このプロセスは照明ロギングデータを処理してデータの統合を実行し、欠落している及び／又は間違っている値を識別し且つ／又は訂正することができる。更にこのプロセスは、入力データセット X を形成することによって等、照明ロギングデータから 1 つ又は複数のデータセットを任意の適切な形式で形成することができる。このプロセスは、クリーニング操作を 1 回又は複数回実行し、例えば入力データセット X を更にクリーニングして脱落している及び／又は間違っていると判定される情報を置換することができる。動作 503 の完了後、このプロセスは動作 505 に進むことができる。

#### 【 0 1 3 8 】

動作 505 の間、このプロセスは、照明ロギングデータに従って未来時の照明システム内の少なくとも 1 つのコンポーネント故障を予測し、少なくとも 1 つの複合特徴を含む照明予測データを求めることができる。この動作は任意の適切な方法を使用して実行される。例えば一部の実施形態によれば、このプロセスは、上記の動作 219 に関して説明された方法等の任意の適切な方法を使用し、複合特徴等の入力データセット X 内の情報伝達のデータ特徴を識別することができる。その後このプロセスは、動作 221 及び 223 のそれぞれに関して説明された方法等の任意の適切な方法を使用して変数の重要度を決定し、変数を選択することができる。動作 505 の完了後、このプロセスは動作 507 に進むことができる。

#### 【 0 1 3 9 】

動作 507 の間、このプロセスは、照明予測データに従って未来時に起こると予測される、予測されたコンポーネント故障及び保全費をモデリングすることができる。この動作は、上記の動作 225 に関して説明された方法等の任意の適切な方法を使用して実行される。従ってこのプロセスは、未来の期間（例えば現時点から 2040 年 1 月 1 日等の何らかの未来時）における照明システム内のランプ故障等のコンポーネント故障を保全費等の費用に照らして予測し、予測されたコンポーネント故障の対応するモデルを形成することができ、そのモデルは後で使用するためにシステムのメモリ内に任意選択的に記憶される。動作 507 の完了後、このプロセスは動作 509 に進むことができる。

#### 【 0 1 4 0 】

動作 509 の間、このプロセスは、モデリング済みの予測されたコンポーネント故障を照明システムのディスプレイ等のシステムのレンダリング装置上にレンダリングすること

10

20

30

40

50

ができる。このプロセスはメニューを更に提供することができ、利用者はプロセスによって生成される情報を閲覧するためにそのメニューを使用してプロセスと対話することができる。動作 5 0 9 の完了後、このプロセスは、プロセスが終了する動作 5 1 1 に進むことができる。

#### 【 0 1 4 1 】

従って、本システムの実施形態は、本システムの実施形態に従って実行されるデータマイニング技法に基づいて照明サービスを提供することができる。本システムは、照明システムの予測保全のスケジューリングを可能にするために、保全への洞察等、屋外照明システムへのより優れた事実に基づく洞察を生成するための優れたツールとしてデータ解析を使用することができる ( R 1 及び R 2 )。

10

#### 【 0 1 4 2 】

屋外照明の予測保全は、現場から収集される屋外照明データに基づく保全サービス及びシステム ( R 3 ) を使用可能にする。本システムの実施形態によれば、このプロセスはまず、保全の観点から最も重要であるパラメータを識別することができる。このことはインテリジェント屋外照明システムの最適化を可能にする。第 2 に、このプロセスは、最も重要なパラメータの解析に基づいてシステムの動作中の故障時間を予測することができる。予測された故障時間は、故障の修理を最適化し、(例えば性能保証書に記載の)性能閾値を設定してモニタし、屋外照明システムの現在の及び未来の予測された状態を視覚化するために使用される。上記のステップのどちらでも、このプロセスは、本システムの実施形態に従って適合されるランダムフォレスト ( R 7 ) 技法等の統計に基づく技法を使用することができる。ランダムフォレストは、医療、例えば ( R 4 )、配電網 ( R 5 )、金融 ( R 6 ) 等の領域で決定を行うために使用されている。しかし、照明動作への応用は新規であり、本システムの実施形態において克服される特定の困難を引き起こす。

20

#### 【 0 1 4 3 】

図 6 は、本システムの実施形態によるシステムの一部 6 0 0 を示す。例えば、本システムの一部 6 0 0 は、メモリ 6 2 0 に動作可能に結合されるプロセッサ 6 1 0 (例えばコントローラ)、ユーザインタフェース 6 3 0、センサ 6 4 0、及びユーザ入力装置 6 7 0 を含む。メモリ 6 2 0 は、説明された動作に関係するアプリケーションデータ並びに他のデータを記憶するための任意の種類の装置とすることができる。本システムによる稼働動作を実行するようにプロセッサ 6 1 0 を構成 (例えばプログラミング) するために、アプリケーションデータ及び他のデータがプロセッサ 6 1 0 によって受信される。そのように構成されるプロセッサ 6 1 0 は、本システムの実施形態に従って動作するのにとりわけ適した専用マシンになる。センサは、本システムの実施形態に従って対応する情報を検出し、その情報を更に処理するためにプロセッサ 6 1 0 に与えることができる、ランプの電気センサ、調光レベルセンサ、電圧センサ、電流センサ、電力センサ、色センサ、光出力 (ルーメン) センサ、温度センサ、振動センサ、交通 (速さ、速度、流量等の) センサ、気象センサ (例えば気温、湿度、降雨、気圧、レーダ、衛星)、レーダセンサ、超音波センサ等のセンサを含む。

30

#### 【 0 1 4 4 】

可動動作は、例えばユーザ入力、センサ 6 4 0、及び / 又はメモリ 6 2 0 から情報を取得するようにプロセッサ 6 1 0 を構成することによってシステム 6 0 0 を構成すること、及びその情報を本システムの実施形態に従って処理し、本システムの実施形態に従って動作可能な照明システムに関する情報を得ることを含む。ユーザ入力部 6 7 0 は、キーボード、マウス、トラックボール、及び / 又はタッチセンスディスプレイを含む他の装置を含むことができ、これらは独立型とすることができ、又は任意の動作可能なリンクを介してプロセッサ 6 1 0 と通信するためのパーソナルコンピュータ、ノートブックコンピュータ、ネットブック、タブレット、スマートフォン、携帯情報端末 ( P D A )、携帯電話や他の装置の一部のようにシステムの一部とすることができる。ユーザ入力部 6 7 0 は、本明細書に記載の U I 内での対話を可能にするを含め、プロセッサ 6 1 0 と対話するために動作可能である。明らかに、プロセッサ 6 1 0、メモリ 6 2 0、U I 6 3 0、及び / 又

40

50

はユーザ入力装置 670 は全て若しくは部分的に、本明細書に記載のクライアント及び / 又はサーバ等の、コンピュータシステム又は他の装置の一部である。

【0145】

可動動作は、例えば本システムの実施形態に従って動作する照明システムに関する情報等の情報を要求すること、提供すること、形成すること、及び / 又はレンダリングすることを含む。プロセッサ 610 は、システムのディスプレイ上等、UI 630 上に情報をレンダリングすることができる。センサは、本システムの実施形態に従って更に処理するために所望のセンサ情報をプロセッサ 610 に与えるのに適したセンサを更に含む。

【0146】

本システムの方法は、コンピュータソフトウェアプログラムによってプログラムされたプロセッサによって実行されるのに特に適しており、かかるプログラムは、記載され且つ / 又は本システムによって想定される個々のステップ又は動作のうちの 1 つ又は複数に対応するモジュールを含む。

【0147】

プロセッサ 610 は、ユーザ入力装置 670 からの入力信号に応答して、並びにネットワークの他の装置に応答して制御信号を提供し且つ / 又は操作を実行するように、及びメモリ 620 内に記憶された命令を実行するように動作可能である。例えばプロセッサ 610 は、センサ 640 からセンサ情報を取得することができ、その情報を処理してシステムの状態を少なくとも部分的に明らかにすることができる。センサは、照明ロギングデータを更に処理するためにプロセッサ 610 に与えることができる照明ロギングデータ部の一部である。プロセッサ 610 は、マイクロプロセッサ、特定用途向け集積回路、汎用集積回路、論理装置等の 1 つ又は複数を含む。更に、プロセッサ 610 は、本システムに従って機能するための専用プロセッサとすることができ、又は本システムに従って機能するために多くの機能のうちの 1 つしか動作しない汎用プロセッサでも良い。プロセッサ 610 は、プログラム部分、複数のプログラムセグメントを利用して動作することができ、又は専用集積回路若しくは多目的集積回路を利用するハードウェア装置とすることができる。

【0148】

本システムの更なる改変形態が当業者に容易に思い付き、添付の特許請求の範囲に含まれる。

【0149】

最後に、上記の解説は本システムの例示に過ぎないことが意図され、添付の特許請求の範囲を或る特定の実施形態又は実施形態群に限定するものとして解釈されるべきではない。従って、本発明が例示的实施形態に関して説明されてきたが、添付の特許請求の範囲に記載の本システムのより広範且つ意図される趣旨及び範囲から逸脱することなく、数多くの修正形態及び代替的实施形態が当業者によって考案されることも理解されるべきである。加えて、本明細書に含まれる節の見出しは、検討を容易にすることを意図するが本システムの範囲を限定することは意図しない。従って、本明細書及び図面は説明的方法で考慮されるべきであり、添付の特許請求の範囲を限定することは意図しない。

【0150】

本明細書に含まれる節の見出しは検討を容易にすることを意図するが本システムの範囲を限定することは意図しない。従って、本明細書及び図面は説明的方法で考慮されるべきであり、添付の特許請求の範囲を限定することは意図しない。

【0151】

添付の特許請求の範囲を解釈する際は以下を理解すべきである。

a) 「含む」という語は、所与の請求項の中で列挙されている以外の要素又は動作があることを除外しない。

b) 或る要素の前に来る語「a」又は「an」は、その要素が複数あることを除外しない。

c) 特許請求の範囲の中の如何なる参照記号もその範囲を限定しない。

d) 同一のアイテム、ハードウェア、又はソフトウェアによって実装される構造若しく

10

20

30

40

50

は機能によって幾つかの「手段」が表わされる。

e) 開示された要素のどれもハードウェア部分(例えばディスプレイ電子回路及び集積電子回路を含む)、ソフトウェア部分(例えばコンピュータプログラミング)、及びそれらの任意の組合せで構成される。

f) ハードウェア部分は、アナログ部分及びデジタル部分の一方又は両方で構成される。

g) 開示された装置又はその一部の何れも、別段の定めがない限り一緒に組み合わせられ又は更なる部分に分けられる。

h) 明確な指示がない限り、動作又はステップの如何なる特定の順序も必要とされることを意図しない。

i) 「複数の」要素という語は、主張された要素を2つ以上含み、要素の如何なる特定の数値範囲も含意せず、つまり複数の要素は僅か2つの要素とすることができ、膨大な数の要素も含む。

【0152】

参考文献：

以下に記載の参考文献1～7は参照により本明細書に援用され、参照番号R1からR7のそれぞれを使用して本明細書の全体を通して言及されている。例えばR1は、第1の参考文献(例えばAccenture Technology Vision 2013)に言及する。

(1) Accenture Technology Vision 2013 ([www.accenture.com/SiteCollectionDocuments/PDF/Accenture-Technology-Vision-2013](http://www.accenture.com/SiteCollectionDocuments/PDF/Accenture-Technology-Vision-2013)で入手可能)

(2) Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity ([www.mckinsey.com/insights/business\\_technology/big\\_data\\_the\\_next\\_frontier\\_for\\_innovation](http://www.mckinsey.com/insights/business_technology/big_data_the_next_frontier_for_innovation)で入手可能)

(3) Philips Starsense Outdoor Lighting System ([www.lighting.philips.nl/pwc\\_li/nl\\_nl/connect/Assets/downloads/online-documentatie/Brochure\\_starsense\\_NL.pdf](http://www.lighting.philips.nl/pwc_li/nl_nl/connect/Assets/downloads/online-documentatie/Brochure_starsense_NL.pdf)で入手可能)

(4) E. Hsieh et al, Identifying Important Risk Factors for Survival in Patient With Systolic Heart Failure Using Random Survival Forests, Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes, vol. 4, pp. 39-45, 2011

(5) Dutta, Haimonti, et al. "Estimating the Time Between Failures of Electrical Feeders in the New York Power Grid." Next Generation Data Mining Summit, N GDM (2009)

(6) Chi, Der-Jang, Ching-Chiang Yeh, and Ming-Cheng Lai. "A Hybrid Approach of DEA, rough set theory and random forests for credit rating." International Journal of Innovative Computing, Information and Control 7.8 (2011): 4885-4897

(7) Breiman, Manual--Setting Up, Using, And Understanding Random Forests V4.0 ([ftp.stat.berkeley.edu/pub/users/breiman/Using\\_random\\_forests\\_v4.0.pdf](http://ftp.stat.berkeley.edu/pub/users/breiman/Using_random_forests_v4.0.pdf) ,2003で入手可能)

10

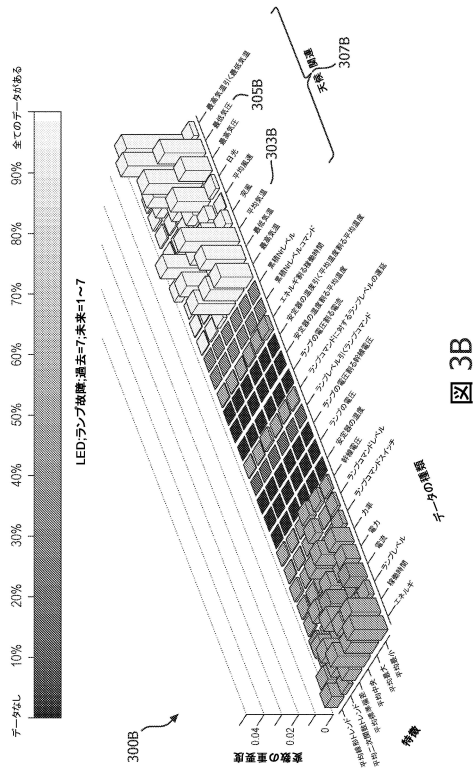
20

30

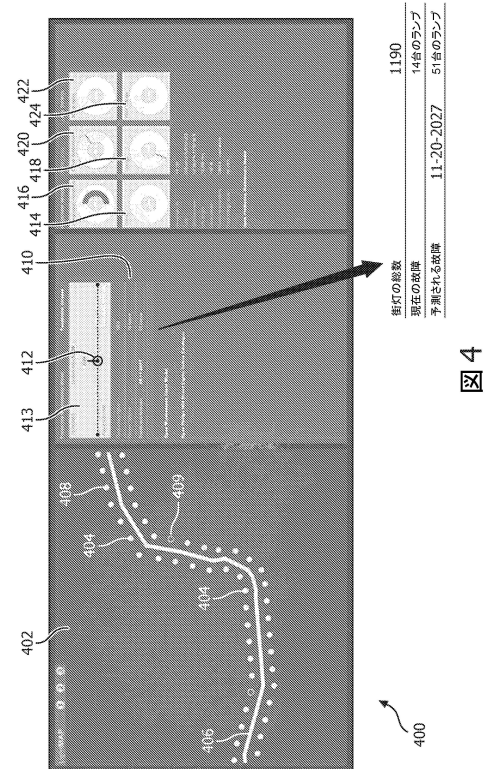




【 図 3 B 】



【 図 4 】



【 図 5 】

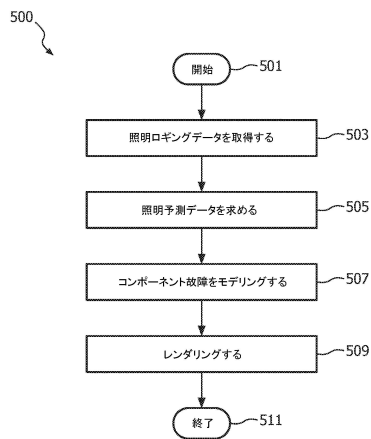


図 5

【 図 6 】

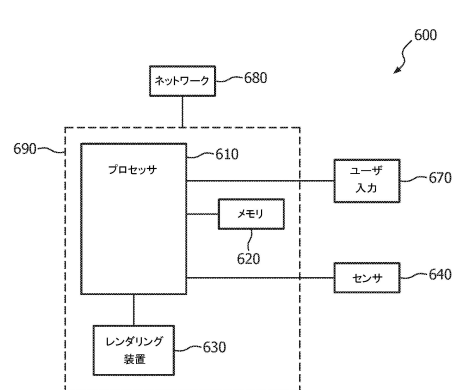


図 6

【図 7】

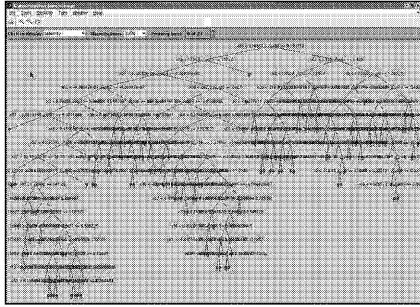


FIG. 7

## フロントページの続き

- (72)発明者 フリンセンベルグ イングリッド クリスティーナ マリア  
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アイントホーフェン ハイ テク キャンパス ビルディング  
5
- (72)発明者 デ ボン ヨハンナ マリア  
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アイントホーフェン ハイ テク キャンパス ビルディング  
5
- (72)発明者 シニツィン アレクサンドル ゲオルギーヴィッチ  
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アイントホーフェン ハイ テク キャンパス ビルディング  
5
- (72)発明者 バゲリ サイード レザ  
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アイントホーフェン ハイ テク キャンパス ビルディング  
5
- (72)発明者 シャー パリクシット  
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アイントホーフェン ハイ テク キャンパス ビルディング  
5

審査官 安食 泰秀

- (56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 0 8 / 0 2 7 8 3 5 0 ( U S , A 1 )  
国際公開第 2 0 1 4 / 0 0 9 8 8 8 ( W O , A 1 )  
特表 2 0 1 3 - 5 2 8 9 2 3 ( J P , A )

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
H 0 5 B 3 7 / 0 3