

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-76603

(P2021-76603A)

(43) 公開日 令和3年5月20日 (2021.5.20)

(51) Int.Cl.
G01S 17/86 (2020.01)

F I
G01S 17/86

テーマコード (参考)
5J084

審査請求 有 請求項の数 12 O L 外国語出願 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2020-184777 (P2020-184777)
 (22) 出願日 令和2年11月5日 (2020.11.5)
 (31) 優先権主張番号 10 2019 129 986.1
 (32) 優先日 令和1年11月7日 (2019.11.7)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 ドイツ (DE)

(71) 出願人 591005615
 ジック アーゲー
 ドイツ連邦共和国 79183 バルトキ
 ルヒ エルヴィーン-ジック-シュトラ
 セ 1
 (74) 代理人 110001069
 特許業務法人京都国際特許事務所
 (72) 発明者 トーマス ルス
 ドイツ連邦共和国、79183 バルトキ
 ルヒ、エルヴィーン-ジック-シュトラ
 セ 1
 (72) 発明者 セバスチャン ツーフ
 ドイツ連邦共和国、79183 バルトキ
 ルヒ、エルヴィーン-ジック-シュトラ
 セ 1

最終頁に続く

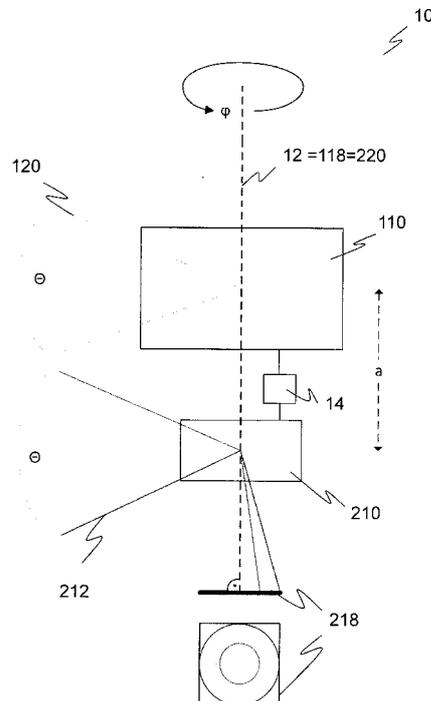
(54) 【発明の名称】 光電センサ及び物体検出方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 監視領域内の物体を検出するための光電センサを提供する。

【解決手段】 光電センサ(10)は、少なくとも1つの走査光線で監視領域(120)を走査するための、回転軸(118)を中心として回転可能な偏向ユニット、及び、走査光線が当たった各物体の3次元測定点を光伝播時間法で特定するための第1の距離測定ユニットを有するレーザスキャナ(110)と、パノラマ光学系、及び、画像点を検出するための多数の受光素子を備える画像センサ(218)を有するパノラマカメラ(210)と、前記3次元測定点と画像点とを融合するように較正された制御及び評価ユニット(14)とを備える。パノラマカメラの光軸(220)が回転軸(118)と一致している。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

監視領域（16、120、212）内の物体を検出するための光電センサ（10）であって、少なくとも1つの走査光線（126、128）で前記監視領域（120）を走査するための、回転軸（118）を中心として回転可能な偏向ユニット（112）、及び、前記走査光線（126、128）が当たった各物体の3次元測定点を光伝播時間法で特定するための第1の距離測定ユニット（140）を有するレーザスキャナ（110）と、パノラマ光学系（216）、及び、画像点を検出するための多数の受光素子を備える画像センサ（128）を有するパノラマカメラ（210）と、前記3次元測定点と前記画像点とを融合するように校正された制御及び評価ユニット（14、140、222）とを備えるセンサ（10）において、

10

前記パノラマカメラの光軸（220）が前記回転軸（118）と一致している（12）ことを特徴とするセンサ（10）。

【請求項 2】

前記パノラマカメラ（210）が光伝播時間カメラとして構成されていることを特徴とする請求項1に記載のセンサ（10）。

【請求項 3】

前記画像センサ（218）が前記回転軸（12、118）上に配置されていること、特に該回転軸（12、218）に対して垂直に向いていること及び/又は該回転軸（12、218）を中心としていることを特徴とする請求項1又は2に記載のセンサ（10）。

20

【請求項 4】

前記制御及び評価ユニット（14、140、222）が、前記偏向ユニット（112）の少なくとも1つの角度位置を前記画像センサ（218）の半径方向の線上にある受光素子に割り当てるように構成されていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のセンサ（10）。

【請求項 5】

前記制御及び評価ユニット（14、140、222）が、光軸から半径方向に一定の距離にある受光素子を1つの走査光線（126、128）に割り当てるように構成されていることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載のセンサ（10）。

【請求項 6】

前記レーザスキャナ（110）と前記パノラマカメラ（210）が前記回転軸（12、118）上で直接上下に配置されていることを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載のセンサ（10）。

30

【請求項 7】

前記制御及び評価ユニット（14、140、222）が、走査光線（126、128）により前記画像センサ（128）上に生成された光スポットを認識し、それに基づいて3次元測定点と画像点を相互に割り当てるように構成されていることを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載のセンサ（10）。

【請求項 8】

前記画像センサ（128）がイベントベースの画像センサであることを特徴とする請求項1～7のいずれかに記載のセンサ（10）。

40

【請求項 9】

前記受光素子が、該受光素子により検出される強度が変化したらそれを確認し、正確にそのときにイベントベースで画像情報を生成するように構成されており、各受光素子が強度が減少したか又は増加したかという差分情報を画像情報として生成すること、及び/又は、各受光素子は強度の変化により定まる時間窓における積分強度を画像情報として生成すること、を特徴とする請求項8に記載のセンサ（10）。

【請求項 10】

前記レーザスキャナ（110）及び/又は前記パノラマカメラ（210）が前記センサ（10）から取り外したり該センサ（10）に付け足したりできるモジュールとして構成

50

されており、特に前記制御及び評価ユニット（１４、１４０、２２２）がモジュールの後付けの際に前記レーザスキャナ（１１０）と前記パノラマカメラ（２１０）を相互に較正するように構成されていることを特徴とする請求項１～９のいずれかに記載のセンサ（１０）。

【請求項１１】

監視領域（１６、１２０、２１２）内の物体を検出する方法であって、一方では、回転軸（１１８）を中心として回転可能な偏向ユニット（１１２）を有するレーザスキャナ（１１０）により少なくとも１つの走査光線（１２６、１２８）で前記監視領域（１２０）を走査することで、前記走査光線（１２６、１２８）が当たった各物体の３次元測定点を光伝播時間法で特定し、他方では、パノラマ光学系（２１６）と多数の受光素子を備える画像センサ（１２８）とを有するパノラマカメラ（２１０）により前記監視領域を捕らえることで、画像点を取得し、更に前記３次元測定点と前記画像点を融合するという方法において、

10

前記パノラマカメラ（２１０）の光軸（２２０）が前記回転軸（１１８）と一致している（１２）ことを特徴とする方法。

【請求項１２】

前記融合が、前記偏向ユニット（１１２）の走査角を前記画像センサ（１２８）上の方位角に割り当て、前記走査光線（１２６、１２８）の仰角を前記画像センサ（１２８）上での前記回転軸（１２、１１８）からの半径方向の距離に割り当てることを特徴とする請求項１１に記載の方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、請求項１又は１１のプレアンブルに記載の光電センサ並びにレーザスキャナとパノラマカメラで監視領域内の物体を検出する方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

レーザスキャナは走査光線で領域を走査し、拡散反射又は直反射された光を評価する。大抵の場合、物体の距離、輪郭又はプロファイルに関する情報をも得るために、物体の有無を決定するだけでなくその距離も同時に測定する。このような距離測定型レーザスキャナは、光がスキャナから前景へ入射して戻ってくるまでの伝播時間を測定し、光の速度に基づいて距離データを計算するという、光伝播時間の原理で作動する。２種類の光伝播時間法が広く知られている。位相ベースの方法では発光器が走査光線を変調し、参照光と受信された走査光線との間の位相差が算出される。パルスベースの方法では走査光線に有意なパターン（例えば幅が数ナノ秒しかない狭いパルス）が刻印され、そのパターンの受信時点が特定される。パルス平均法と呼ばれる一般化した方法では、複数のパルス又は１つのパルス列が送出され、受信パルスが統計的に評価される。

30

【０００３】

レーザスキャナは周期的に監視平面又はその一部を走査するために回転ミラー又はポリゴンミラーホイールを備えている。あるいは、発光器と受光器を有する能動的な測定ヘッドが回転する。３次元レーザスキャナは単なる面ではなく３次元的な空間領域を捕らえる。これは、揺動にせよ完全な回転運動にせよ、別の軸を中心とした運動により実現することができる。例えば特許文献１では発信器、受信器及び回転ミラーを含む走査ユニット全体が偏向プレートの上に配置されている。特許文献２はレーザスキャナの回転運動と追加的な傾き運動を組み合わせる多種多様な方法を開示している。

40

【０００４】

更に、仰角方向に上下に配置された複数の走査光線を有する複数位置型レーザスキャナが知られている。例えば特許文献３から、複数の走査平面に対してそれぞれ専用の発光器と受光器を設けることで個々の走査平面を所望の高さ又は仰角のラスト内で調節できるようにすることが知られている。特許文献４は距離情報を取得するための光学的なシステム

50

を開示している。この光学系の発光側には光源が列状に配置され、受光側には画像センサがアパーチャレイと共に大径の受光レンズの背後に設けられている。

【0005】

カメラは光学的に情報を取得する別の手段である。最大360°の角度まで捕らえるレーザスキャナに比べて、カメラは視野が明らかに狭いのが普通である。パノラマ光学系を用いればより広い視野が得られ、最大で360°の全方位視野を同様に得ることができる。非特許文献1では魚眼レンズが用いられている。あるいは非特許文献2や非特許文献3等のように反射屈折レンズも用いられる。

【0006】

原理的にはこのようなパノラマカメラは深さ値さえも生成すること、つまり3次元カメラとして構成することもできる。例えば特許文献5は全方向レンズを有するステレオカメラを紹介している。特許文献6、7又は8にはそれぞれ全方向レンズを用いた光伝播時間原理によるカメラが記載されている。

10

【0007】

これらのシステムのいずれも全周にわたって満足な3次元画像データを生成することができない。レーザスキャナの点の集まりは一般に垂直方向の解像度が水平方向より低い。ステレオカメラはより小さい物体を水平方向及び垂直方向のどちらでも検出できるが、深さ分解能が比較的低いという原理的な制約がある。パノラマ光学系を有する光伝播時間ベースのカメラは紙の上では論じられているものの、実践ではその価値はまだ立証されていない。

20

【0008】

それ故、組み合わせ型システムというアプローチがある。光景の幾何学的形状を検知するためにレーザスキャナが用いられる一方、カメラが光景の視覚的な感じを捕らえるとともに照明、材料又はテクスチャといった特性を捕らえる。また、カメラでも同様に3次元データを生成することで、2つのシステムが形状認識に関して互いに補うようにすることが考えられる。

【0009】

しかしこれは較正及び後段でのデータ合成のために多大なコストがかかる。そのためにはいわゆる外部変換(Extrinsic)、つまりレーザスキャナとカメラとの間の光学的な中心の変換式が分かっているなければならない。この変換は一般に3つの空間次元における平行移動と空間内での3つの回転角を含み、故に6つの自由度を有する。変換を確定することを外部較正と呼ぶ。これは、各々の局所座標系間の換算規則の決定乃至はグローバル座標系への換算規則の決定と説明することもできる。これについてはレジストレーションという概念も普通に用いられる。

30

【0010】

非特許文献4では厳密に定義された市松模様が用いられるが、これは様々な視点から見なければならない。更にそのカメラシステムには複数の光学的なチャンネルが装備されている。

【0011】

非特許文献5では、市松模様の代わりに、厳密に定義された菱形の物体が較正目標として用いられる。精密に定義された較正用物体は作製が困難であるか、高いコストをかけなければ作製できない。あるいは、例えばそれを測定キャンペーンの間に用いる場合、それは自由に利用できない。その上、ここでは走査領域の一部しかカメラで捕らえられない。

40

【0012】

非特許文献6では較正用物体が用いられない。その代わりに、変換の評価のために用いられる対応関係を手動で定義する必要があり、それが多大な時間を要する上、経験によっては誤差も多くなる。

【0013】

特許文献9はカメラとレーザスキャナの融合に関するものである。ここでは、レーザスキャナを用いてその3次元測定点に加えて拡散反射も検出され、その反射像をカメラ画像

50

と比較することにより相互の較正が行われる。特許文献 10 からカメラとレーザスキャナの外部較正が知られているが、ここでは、システムが運動していることと、較正と一緒に移動経路も取得した測定データから再構築されることにより、課題がより難しくなっている。特許文献 11 では、車両上でのカメラとレーザスキャナの融合のために、まずレーザスキャナの参照データの場所を移動経路に基づいて突き止め、そのデータの場所をカメラ画像内で突き止める。これらの例のいずれにおいてもカメラはパノラマカメラではない。

【0014】

特許文献 12 ではパノラマ画像と深さデータを取得して組み合わせる。パノラマ画像はカメラの運動により又は全周に配置された複数のカメラにより完成される。特許文献 13 にはパノラマカメラとレーザスキャナの任意の配置のための複雑な較正モデルが記載されている。自由度の数が多いため多大なコストをかけなければ較正ができない。

10

【0015】

最近、いわゆるイベントカメラ (ereignisbasierte Kamera) という新たな種類のカメラ技術が生まれている。これは視覚野に依拠してニューロモーフ (neuromorph) とも呼ばれている。従来カメラは規則的な画像再生率で全ての画素を露光し、それらを同時に読み出すことで、観察された時間毎に画像再生率に相当する数の 2 次元静止画像を得る。イベントカメラ内にも画素の行列があるが、画像再生率は一定ではなく、画素の読み出しも一斉ではない。代わりに各画素が、強度に変化が認められるかどうかを個別に調べる。変化が認められた場合に限り画像情報の出力又は読み出しが行われ、しかもそれは当該画素からのみである。従って各画素が一種の独立した運動検出器になっている。検出された運動は個々にイベントとして報告される。これにより、イベントカメラは光景の動的変化に対して極めて高速に反応する。画像の静的な部分が欠落しているため、その画像データは人間の目には直感的には捕らえられないが、機械的な評価の場合には利点もあり得る。

20

【0016】

これについては非特許文献 7 に概略的な説明がある。イベントカメラについては例えばプロフェシー (Prophesee) 社の白書に記載がある。これは同社のインターネットサイトで呼び出すことができる。特許文献 14、15 及び 16 の各々からイベントカメラ用の画素スイッチング回路が知られている。非特許文献 8 は、イベントカメラのデータからどのように運動、距離及びオプティカルフローを測定するかという方法を提示している。特許文献 17 は、イベントベースの画像処理のための装置及び方法、具体的にはオプティカルフローを測定するための装置及び方法を開示しているが、オプティカルフローはコードの読み取りに関しては特に重要ではない。

30

【0017】

イベントベースの画像センサには利点があるが、単に従来の 2 次元画像センサを置き換えたに過ぎず、従ってまず 3 次元の捕捉の改善には何ら寄与せず、ましてや特にレーザスキャナとパノラマカメラの融合に寄与するものではない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0018】

【特許文献 1】DE 10 2008 032 216 A1

40

【特許文献 2】EP 1 965 225 A2

【特許文献 3】US 8 767 190 B2

【特許文献 4】US 2017/0289524 A1

【特許文献 5】WO 2012/038601 A1

【特許文献 6】DE 20 2006 014 939 U1

【特許文献 7】DE 20 2011 052 106 U1

【特許文献 8】EP 2 354 806 A1

【特許文献 9】DE 10 2017 109 039 A1

【特許文献 10】GB 2507560 A

【特許文献 11】US 2016/0070981 A1

50

- 【特許文献 1 2】US 2018/0139431 A1
- 【特許文献 1 3】CN 105678783 B
- 【特許文献 1 4】WO 2015/036592 A1
- 【特許文献 1 5】WO 2017/174579 A1
- 【特許文献 1 6】WO 2018/073379 A1
- 【特許文献 1 7】US 2013/0335595 A1

【非特許文献】

【0019】

【非特許文献 1】Mayra, Aki, Mika Aikio, and Matti Kumpulainen. "Fisheye optics for omnidirectional perception." 2014 IEEE 10th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP). IEEE, 2014 10

【非特許文献 2】Aikio, Mika, Jukka-Tapani Mäkinen, and Bo Yang. "Omnidirectional camera." 2013 IEEE 9th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP). IEEE, 2013

【非特許文献 3】Gimkiewicz, Christiane, et al. "Ultra-miniature catadioptrical system for an omnidirectional camera." Micro-Optics 2008. Vol. 6992. International Society for Optics and Photonics, 2008

【非特許文献 4】Pandey, Gaurav, et al. "Extrinsic calibration of a 3d laser scanner and an omnidirectional camera." IFAC Proceedings Volumes 43.16 (2010): 336-341 20

【非特許文献 5】Park, Yoonsu, et al. "Calibration between color camera and 3D LIDAR instruments with a polygonal planar board." Sensors 14.3 (2014): 5333-5353

【非特許文献 6】Scaramuzza, Davide, Ahad Harati, and Roland Siegwart. "Extrinsic self calibration of a camera and a 3d laser range finder from natural scenes." Intelligent Robots and Systems, 2007. IROS 2007. IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2007

【非特許文献 7】Wu, Nanjian. "Neuromorphic vision chips." Science China Information Sciences 61.6 (2018): 060421

【非特許文献 8】Gallego, Guillermo, Henri Rebecq, und Davide Scaramuzza, "A unifying contrast maximization framework for event cameras, with applications to motion, depth, and optical flow estimation", IEEE Int. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition.(CVPR), Vol. 1. 2018 30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0020】

故に本発明の課題は、レーザスキャナとカメラの組み合わせを簡単にするることである。

【課題を解決するための手段】

【0021】

この課題は、請求項 1 又は 1 1 に記載の光電センサ並びにレーザスキャナとパノラマカメラで監視領域内の物体を検出する方法により解決される。レーザスキャナとパノラマカメラという互いに組み合わせられた 2 つのシステムはいずれも単独では任意の、それ自体公知の構成を有している。レーザスキャナは一又は複数の走査光線を送出し、その光線が回転軸を中心とした偏向ユニットの回転により、場合によっては回転軸を中心とした揺動により、周期的に走査平面に沿って案内される。その走査光線が再び受光され、光伝播時間が測定される。この距離と、偏向ユニットの角度位置から分かる方位角、そして各走査光線の既知の射出方向から分かる仰角から、3次元測定点が得られる。他方、パノラマカメラはパノラマ光学系と、多数の受光素子又は画素を有する画像センサとを含む。パノラマ光学系のおかげで画像点が少なくとも 90°、それどころか 180°、最大 360°という広い角度範囲に達する。レーザスキャナとパノラマ光学系の角度範囲は少なくともほぼ一致することが好ましい。 40 50

【0022】

制御及び評価ユニットがレーザスキャナの3次元測定点とパノラマカメラの画像点を融合させる。即ち、各測定値が互いに割り当てられるか、共通の座標系に変換される。場合によっては欠落を埋めるための内挿や、出力データ及び/又は融合されたデータ内の平滑化といった追加のステップがある。これにより例えば深さ値あるいは幾何学的構造が前景の反射測定値又はテクスチャで覆われる。これには(外部)較正が前提となる。つまり制御及び評価ユニットは適切な変換又は該変換を決定するためのパラメータを知っていなければならない。それは、固定的な機械的構成によるか、適宜のパラメータの入力によるか、較正段階によるかを問わない。制御及び評価ユニットは実施形態に応じてレーザスキャナ内、パノラマカメラ内、又はそれらに接続されたシステム内に一又は複数の機能ブロックとして実装される。

10

【0023】

本発明の出発点となる基本思想は、レーザスキャナとパノラマカメラを同じ軸上に配置することにある。本センサは、レーザスキャナの回転軸とパノラマカメラの光軸が一致するように、つまり同じ直線上にあるように構築されている。パノラマカメラの光軸は特にパノラマ光学系の対称軸である。

【0024】

本発明には、最大360°までの走査角又は方位角を有するレーザスキャナとカメラの融合により非常に価値の高いの検出データが得られるという利点がある。横方向もそうであるが、特にレーザスキャナの垂直方向の分解能をカメラによって精細化することができる。これにより、既に公知の技術的な解決策の場合よりも確実、高速且つ正確な物体認識及び物体追跡が可能となる。カメラは光学的チャネルを1つしか持たないが、それでもそのチャネルを用いてレーザスキャナの走査域を可能な限り完全に捕らえる。共通の軸の上にある特別な構成によって比較的簡単なシステムが得られ、較正が著しく簡素化される。複雑な構成モデルは必要ない。

20

【0025】

パノラマカメラは光伝播時間カメラとして構成されていることが好ましい。このようにすれば、パノラマカメラにより、カラー又はグレースケール値の画像データに加えて又はそれを補う形で3次元点も捕らえられる。このようにすればレーザスキャナの3次元測定点の妥当性が確かめられる。あるいは全体としてより高い解像度を持つ3次元点を得られる。

30

【0026】

画像センサは回転軸上に配置されていること、特に回転軸に対して垂直に向いていること及び/又は回転軸を中心としていることが好ましい。このようにすれば、画像点の本来の検出も回転対称な配置になり、その結果、構成及び較正が更に簡素化される。ただし、画像センサに位置ずれや傾斜があったとしても較正により補償することができる。

【0027】

制御及び評価ユニットは、偏向ユニットの少なくとも1つの角度位置を画像センサの半径方向の線上にある受光素子に割り当てるように構成されていることが好ましい。このようにすれば、レーザスキャナの走査角とパノラマカメラの方位角との割り当てが成される、つまり回転軸を中心とする回転に関して共通の角度座標への統一が成される。前記角度位置は特に零点位置であるが、前記割り当てを確定して安全にするため、別の角度位置又は追加の角度位置を設けることも考えられる。原点又は基準点は画像センサを貫く回転軸の貫通点であることが好ましい。その場合、当然ながら、共通の世界座標を回転軸に沿って又は他の任意の方向に平行移動することは可能なままである。

40

【0028】

画像センサ上の半径方向の線に特別に割り当てるという操作の理解のために説明すると、レーザスキャナの走査平面はその都度、画像センサを貫く回転軸の貫通点を中心とする同心の円環として投影される。貫通点から外へ向かう半径はそれぞれある定まった方位角又は走査角に対応している。方位角と走査角のこの同一性は回転軸と光軸が一致していると

50

いう構成の結果である。従ってあとは零点位置又は角度 0° を較正するだけでよい。なお、これらは当然ながら共通の基準角の名称に過ぎない。零点位置は幾何学的構成により決まっているため、画像センサの配置が固定され且つ調整されていてレーザスキャナが角度 0° にあれば、実際の較正はなくてもよい。なぜなら較正は組み立てにより行われるからである。しかし、零点位置は工場で較正することもできるし、レーザスキャナをその零点位置に止めておいて制御及び評価ユニットが画像センサ上で光の当たった画素の場所を突き止め、それに対応する半径を方位角の零点位置として記憶することにより、零点位置を教え込むこともできる。

【0029】

制御及び評価ユニットは、光軸から半径方向に一定の距離にある受光素子を1つの走査光線に割り当てるように構成されていることが好ましい。本センサの特殊な構成の故に、この距離が方位角及び走査角のほかに唯一の較正対象となる自由度であり、この自由度の下で、その都度の走査光線が、特定の距離にある物体に対し、その方位角に対応しつつ、複数の同心円のうち特定の円、つまり貫通点から半径方向の一定の距離に割り当てられる。ここでもそれは全て幾何学により、いまの場合はとりわけパララックスにより決まり、これが今度は回転軸上でのレーザスキャナとパノラマカメラの相互の距離に依存している。較正の計算を行って調整済みの状態で組み立てる代わりに、工場渡し時に又は現場で較正手続きを行うことも考えられる。そのためにはレーザスキャナの特定の走査光線をオンにし、一定の物体距離で、画像センサ上に投影された同心の円環の場所を突き止める。半径方向におけるその離散的な連続が仰角方向における走査光線の重なった配置の連続と一義的に対応する。

10

20

【0030】

レーザスキャナとパノラマカメラは回転軸上で直接上下に配置されていることが好ましい。パララックスを小さくし、3次元測定点と画像点が互いにできるだけ良好に一致した状態にするため、2つのシステムの間隔をできるだけ小さくしておく。画像点の距離の補正は、その都度の走査点の距離情報、レーザスキャナとパノラマカメラの間隔、及びパノラマカメラの既知の投影特性に基づいて、半径方向に一義的なやり方で行うことができる。ここで、走査領域全体にわたって分解能ができるだけ均一に保たれるようにするためにも、画像センサ上での半径方向の位置ができるだけ仰角に比例するようにパノラマ光学系を設計することが有利である。

30

【0031】

制御及び評価ユニットは、走査光線により画像センサ上に生成された光スポットを認識し、それに基づいて3次元測定点と画像点を相互に割り当てるように構成されていることが好ましい。このようにすれば、駆動中に動的な較正又は較正の更新を行うことで、特に各測定データの時間的な関係さえも非常に正確に一致させることができる。

【0032】

画像センサはイベントベースの画像センサであることが好ましい。このようなイベントベース又はニューロモーフの画像センサについては冒頭で簡単に紹介した。このセンサは、該センサを移動体に応用する場合のように、運動する又は高速で変化する前景を監視するのに非常に好適である。

40

【0033】

その場合、各受光素子は、該受光素子により検出される強度が変化したらそれを確認し、正確にそのときにイベントベースで画像情報を生成するように構成されていることが好ましい。受光素子は、検出された強度が変化したかどうかを調べる。それだけがイベントであり、イベントが生じた場合にだけ画像情報の出力又は読み出しが行われる。強度の変化がまだ所定の小さすぎる変化であるときは受光素子がそれをイベントとみなさず無視するという、一種のヒステリシスも考えられる。

【0034】

各受光素子は強度が減少したか又は増加したかという差分情報を画像情報として生成することが好ましい。即ち、この受光素子から読み出される情報は例えば強度変化の方向に

50

対応した + 1 又は - 1 という符号である。その際、強度変化の閾値を設定し、その値までは受光素子がまだイベントを引き起こさないようにすることができる。後段で更なる評価のために用いられる内部表現においてはイベントが検出されなかった時間に値ゼロを補うことができる。

【 0 0 3 5 】

各受光素子は強度の変化により定まる時間窓における積分強度を画像情報として生成することが好ましい。ここでは情報が強度変化の方向に限定されず、イベントにより確定される時間窓において入射光が積分され、それによりグレースケール値が決まる。従ってこの測定値は従来のカメラの測定値に相当するが、検出の時点はイベントベースのままであり、強度変化に結びつけられている。

10

【 0 0 3 6 】

各受光素子は画像情報を少なくとも 1 K H z 又はそれどころか少なくとも 1 0 K H z の更新周波数で出力することが好ましい。従来のカメラの更新周波数は画像再生周波数又はフレーム率である。このような共通の画像再生周波数はイベントベースの画像センサにはない。なぜなら受光素子はその画像情報を個別にイベントベースで出力又は更新するからである。一方、応答時間は極めて短い。それは従来のカメラでは莫大なコストをかけて毎秒千枚以上の画像を使わなければ達成できず、イベントベースなら常に可能な 1 0 K H z 又は数十 K H z という更新周波数でも従来のカメラでは技術的にもはや考えられない。この高い時間分解能には人為的な動き（動きのぶれ）がほとんどないという利点もある。極めて短い更新周期（これは従来露光に相当する）の範囲内では物体が更に複数画素も移動することはなく、故にぼやけた画像が撮影されることもない。好ましくはこの極めて高速な撮像を、レーザスポットを高い時間分解能で検出して高精度の較正を達成又は追跡するために利用する。

20

【 0 0 3 7 】

レーザスキャナ及び/又はパノラマカメラがセンサから取り外したりセンサに付け足したりできるモジュールとして構成されており、特に制御及び評価ユニットがモジュールの後付けの際にレーザスキャナとパノラマカメラを相互に較正するように構成されていることが好ましい。モジュール式の構成によりパノラマカメラ又はレーザスキャナを事後的に稼働場所でも必要に応じて補うことができる。その場合、較正は例えば学習プロセスを発動することにより行われる。これは共通の軸上にある構造のおかげでより簡単に行うことができる。一方、従来一般的な較正モデルでは、前景に較正用物体を置き、非常に複雑な計算をそれ相応の大量の較正データを用いて行う必要がある。

30

【 0 0 3 8 】

本発明に係る方法は、前記と同様のやり方で仕上げていくことが可能であり、それにより同様の効果を奏する。そのような効果をもたらす特徴は、例えば本願の独立請求項に続く従属請求項に模範的に記載されているが、それらに限られるものではない。

【 0 0 3 9 】

本方法において融合は、偏向ユニットの走査角を画像センサ上の方位角に割り当て、走査光線の仰角を画像センサ上での回転軸からの半径方向の距離に割り当てることであることが好ましい。この簡単な較正及び換算の基礎を成すのは、レーザスキャナの走査平面を画像センサ上で回転軸を中心とする同心の円環に投影するということであるが、これについては既に説明した。即ち、半径はその都度、決まった方位角及び走査角に同時に対応し、各円環の半径方向の距離は特定の距離に物体がある場合に特定の走査光線に一義的に割り当てられる。

40

【 0 0 4 0 】

以下、本発明について、更なる特徴及び利点をも考慮しつつ、模範的な実施形態に基づき、添付の図面を参照しながら詳しく説明する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 1 】

【 図 1 】レーザスキャナの概略断面図。

50

【図2】パノラマカメラの概略断面図。

【図3】レーザスキャナとパノラマカメラを組み合わせた光電センサの概略断面図。

【図4】図3に示したセンサの視野と、パノラマカメラの画像センサ上に該視野を投影したものを示す図。

【発明を実施するための形態】

【0042】

図1は模範的なレーザスキャナ110の概略断面図である。レーザスキャナ110は大きく分けて可動の走査ユニット112と、台座ユニット114とを含んでいる。走査ユニット112は光学的な測定ヘッドであり、台座ユニット114には給電部、評価用電子機器、接続部等、他の要素が収納されている。動作中は、台座ユニット114の駆動部116により走査ユニット112が回転軸118を中心として回転駆動されることで、監視領域120を周期的に走査する。

10

【0043】

走査ユニット112において、複数の光源122a（例えばLED又は端面放射型発光器若しくはVCSELの形をしたレーザ）を有する発光器122が、共通の発光光学系124を用いて、互いに対して角度のずれを持つ複数の発射光線126を生成し、これらの光線が監視領域120内へ送出される。あるいは、この複数の発射光線126を、より少数の光源又は単独の光源と少なくとも1つの光線分割素子又はパターン生成素子とを用いて発生させることもできる。なお、走査光線126が4本であるのは例に過ぎず、その数はより多くても少なくしてもよいし、発射光線が1本だけでもよい。

20

【0044】

発射光線126が監視領域120内で物体に当たると、それに対応する反射光線128がレーザスキャナ110まで戻ってくる。反射光線128は受光光学系130により複数の受光素子132aを有する発光器132へと導かれ、各受光素子132aがそれぞれ電氣的な受光信号を生成する。受光素子132aは別々の部品でも、統合されたマトリクス配置の画素であってもよく、例えばフォトダイオード、APD（アバランシェダイオード）、又はSPAD（シングルフォトンアバランシェダイオード）である。

【0045】

発光器122と受光器132は、図1に示した実施形態では共に回路基板134上に配置されている。この基板は回転軸118上にあり、駆動部116のシャフト136に結合されている。なお、これは単なる模範例と理解すべきであり、実際には任意の数及び配置の回路基板が考えられる。発光器122と受光器132が二軸型で隣接している光学的な基本構造も必須ではなく、単一光線式の光電センサ又はレーザスキャナに関係する公知のいかなる構造でも置き換え可能である。一例としてビームスプリッタを持つ又は持たない同軸配置が挙げられる。

30

【0046】

非接触式の給電及びデータインターフェイス138が可動式の走査ユニット112と静止した台座ユニット114とを接続している。台座ユニット114内には距離測定ユニット140があるが、少なくともその一部は走査ユニット112内の回路基板134上又は他の場所に収納されていてもよい。距離測定ユニット140は発光器122を制御し、受光器132の受光信号を受け取って更に評価する。また、同ユニットは駆動部116を制御し、レーザスキャナに関して公知である角度測定ユニット（図示せず）の信号を受け取る。角度測定ユニットは各時点における走査ユニット112の角度位置を特定する。

40

【0047】

前記評価のため、好ましくは、検知された物体までの距離が公知の光伝播時間法で測定される。これを角度測定ユニットから得られる角度位置に関する情報と合わせれば、走査平面内にある全ての対象点の2次元極座標が各走査周期の完了毎に角度と距離で利用可能となる。各時点の走査平面はその都度の反射光線128の識別情報と受光素子132aのいずれかにおける該光線の検出とを通じて同様に分かるから、結果として全体で3次元的な空間領域が走査される。これにより物体の位置又は輪郭が分かり、それをセンサインタ

50

ーフェイス 1 4 2 経由で例えば 3 次元の点の集まりとして出力することができる。センサ
インターフェイス 1 4 2 又は別の接続部（図示せず）は逆にパラメータ設定用インターフ
ェイスとして機能する。

【 0 0 4 8 】

図示したレーザスキャナ 1 1 0 は回転式の測定ヘッド、即ち走査ユニット 1 1 2 を有し
ている。そこにはここで描いたように発光・受光モジュールを 1 つ搭載できるだけでなく
、他にも同様のモジュールを高さのずれ又は回転軸 1 1 8 を基準とする角度のずれをつけ
て設けることが考えられる。あるいは、回転ミラーや切り子面ミラーホイールを用いて周
期的な偏向を行うことも考えられる。これには追加の考慮が必要となる。なぜなら、複数
の発射光線 1 2 6 が監視領域 2 0 へどのように入射するかがその都度の回転位置に依存す
るからである。それらの光線はいわば回転ミラーの運動と共にお互いの回りを回転するが
、その回転は予測可能であり、故に 3 次元測定点において補償可能である。

10

【 0 0 4 9 】

レーザスキャナ 1 1 0 の回転中、各発射光線 1 2 6 によりそれぞれ 1 つの面が走査され
る。偏向角が 0 ° の場合、つまり図 1 にはない水平な発射光線によってのみ、監視領域 1
2 0 の平面が走査される。他の発射光線は、偏向角に応じて異なる鋭さで形成される円錐
の側面を走査する。上方及び下方に異なる角度で偏向される複数の発射光線 1 2 6 の場合
、全体的な走査構造は複数の砂時計を入れ子にしたようなものになる。本明細書ではこれ
らの円錐側面も単に走査平面と呼ぶことがある。

【 0 0 5 0 】

図 2 は模範的なパノラマカメラ 2 1 0 の断面図である。その監視領域 2 1 2 内から受信
光 2 1 4 がパノラマ光学系 2 1 6 を通じて画像センサ 2 1 8 へ導かれる。パノラマ光学系
は最大 3 6 0 ° までの広い方位角範囲にわたって光を受け取ることができる。この光学系
は例えば魚眼レンズ、反射屈折レンズ又は全方向レンズとして構成されている。具体的な
実装方法はいくつが冒頭で引用したとおりである。

20

【 0 0 5 1 】

画像センサ 2 1 8 は好ましくはパノラマカメラ 2 1 0 乃至はパノラマ光学系 2 1 6 の対
称軸 2 2 0 に垂直になっており、更に好ましくは対称軸 2 2 0 の貫通点が画像センサ 2 1
8 の中心にある。カラー又はモノクロ撮影用の画素を有する CCD 又は CMOS のマトリ
クスとしての実施形態の他に、冒頭で触れたイベントベース又はニューロモーフの画像セ
ンサとしての実施形態も考えられる。最大 5 0 K H z 以上というその極めて高速な撮影に
より、このようなイベントベースの画像センサは特に高速の連続的な物体追跡に適してい
る。これは、典型的な回転周波数が 5 0 H z というレーザスキャナ 1 1 0 の比較的低い繰
り返し率を補うものであり、時間的な多様性の意味で非常に有利である。後で説明するレ
ーザスキャナ 1 1 0 とパノラマカメラ 2 1 0 から成る組み合わせシステムでは、動く発射
光線 1 2 6 のスポットを高い時間分解能で撮影できるため、両システム 1 1 0 、 2 1 0 の
測定点の時間的な割り当てをイベントベースの画像センサの高い時間分解能で行うことが
できるようになる。

30

【 0 0 5 2 】

画像センサ 2 1 8 の各画素の位置はそれ自体、各時点で検出された物体点の位置情報を
持っている。即ち、対称軸 2 2 0 の貫通点を中心とする角度方向が方位角、半径方向の位
置が仰角である。これについては後で図 3 及び 4 を参照してより詳しく説明する。

40

【 0 0 5 3 】

画像読み出しユニット 2 2 2 が画像センサ 2 1 8 と接続されており、検出された画像点
を出力部 2 2 4 を通じて出力する。別の実施形態ではパノラマカメラが追加の照明を備え
ている。この照明は、例えば分割ミラーを用いて同軸状にパノラマ光学系 2 1 6 の光路と
結合されるか、あるいは専用のパノラマ光学系を備えている。このようにすれば、画像読
み出しユニット 2 2 2 を拡張して、適宜に変調した照明により光伝播時間を測定すること
もできる。実際には、このような 3 次元パノラマカメラには光伝播時間測定又は少なくと
も予備的な復調を画像センサ 2 1 8 の画素内で既に実行するものが多いため、その場合は

50

図 2 に示したような 2 つの別々の構成要素 2 1 8、2 2 2 への分割は少なくとも部分的に無くなる。3 次元パノラマカメラを用いて、すぐ後で説明する融合のために 3 次元画像点がカラー又はグレースケール値の画像点を補足又は置換する形で生成される。

【 0 0 5 4 】

図 3 はレーザスキャナ 1 1 0 とパノラマカメラ 2 1 0 を組み合わせた光電センサ 1 0 の概略断面図である。レーザスキャナ 1 1 0 とパノラマカメラ 2 1 0 という 2 つのシステムの各々は前述のような態様か、それ自体公知である他の態様で構成することができる。ここからはそれらのシステムを純粹に象徴的に機能ブロックとして描くことにする。実際には、各々の測定データの融合及び更なる処理は、レーザスキャナ 1 1 0 の距離測定ユニット 1 4 0、パノラマ光学系の画像読み出しユニット 2 2 2、共通のデータ処理ユニット 1 4 及び / 又は接続された別のシステム（上位の制御装置やクラウド等）に任意に分散させて行うことができる。

10

【 0 0 5 5 】

レーザスキャナ 1 1 0 とパノラマカメラ 2 1 0 は、レーザスキャナ 1 1 0 の回転軸 1 1 8 と対称軸 2 2 0 が共通の軸 1 2 と一致するように、統合されて共通のセンサ 1 0 を構成している。つまりそれらの機械的な結合は、回転軸 1 1 8 と対称軸 2 2 0 が同一になるように、あるいは画像センサ 2 1 8 がレーザスキャナ 1 1 0 の回転軸 1 1 8 上で垂直になるように成されている。これにより、外部較正と、それによるレーザスキャナ 1 1 0 の 3 次元測定点とパノラマカメラ 2 1 0 の画像点との間の割り当てが著しく容易になる。

【 0 0 5 6 】

これはまず、パノラマカメラ 2 1 0 の使用により全部で 2 つのシステムを較正するだけで済むということによる。更に、センサ 1 0 の特殊な構成により、レーザスキャナ 1 1 0 の回転運動の走査角とパノラマカメラの方位角の両方が共通の角 で記述される。ここで不足しているのは零点位置の一致だけである。それぞれの高さ角又は仰角 も同様に簡単に半径方向の距離に割り当てることができる。これは図 3 の下部に画像センサ 2 1 8 の上面図で概略的に描かれている。

20

【 0 0 5 7 】

この略図が図 4 の右側に拡大して再度示されている。同図の左側にはセンサ 1 0 とその共通の監視領域 1 6 が再度示されている。大きな縮尺で描かれた図 3 では各監視領域 1 2 0、2 1 2 がシステムの非常に近くで分かれて見えるが、それらが好ましくはこの共通の監視領域 1 6 においてできるだけ完全に重なり合う。共通の軸 1 2 上での相互の間隔 a をできるだけ小さくすればそれが促進される。方位方向 においては各時点において少なくとも 90° 、少なくとも 180° 又はそれどころか 360° 若しくは適宜の中間値 (270° 等) という広い角度領域が捕らえられる。

30

【 0 0 5 8 】

図 4 の右側では、共通の監視領域 1 6 が画像センサ 2 1 8 上でどのように円環に投影されるかが分かる。半径 K_1 の内側の境界円は最も上の仰角に対応し、半径 K_2 の外側の境界円は最も下の仰角に対応している。決まった角 での物体点は半径に沿った線分 r に投影される。それがどこになるかはパララックスに大きく左右されるため、間隔 a をできるだけ小さく保つことが推奨される。対応して走査光線 1 2 6、1 2 8 もその走査運動の間にそれぞれの仰角 に対応した K_1 と K_2 の間の半径を持つ円を描く。決まった走査角では上下に重なった走査光線 1 2 6、1 2 8 が半径に沿った線分 r を描く。

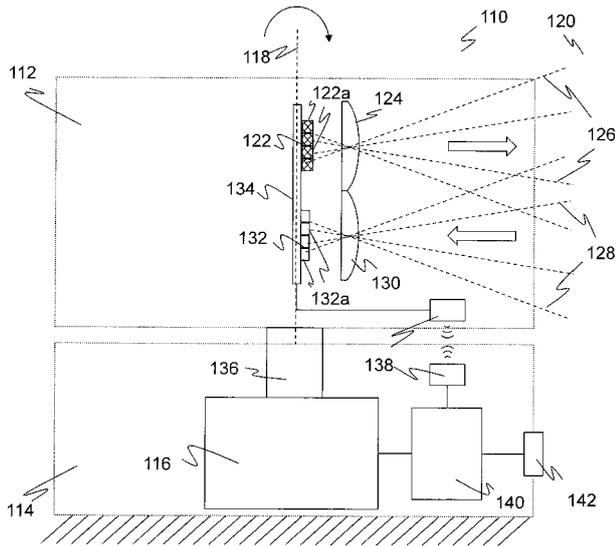
40

【 0 0 5 9 】

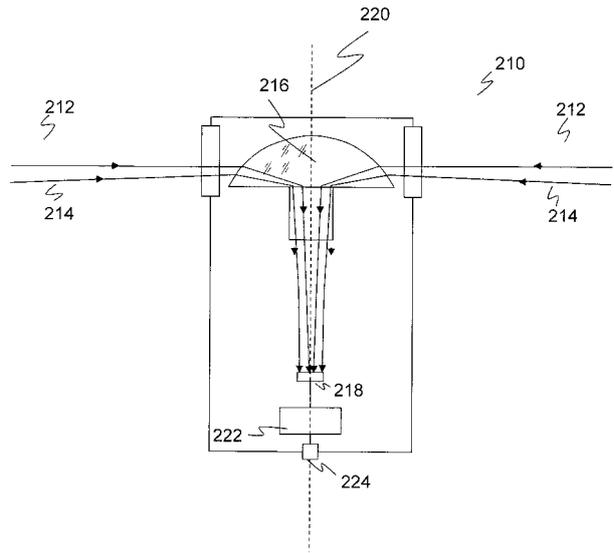
故に較正では、例えば共通の零点位置で走査角と方位角を合わせること、そして線分 r に沿った点を各走査光線 1 2 6、1 2 8 に割り当てることだけ行えばよい。これらの関係はセンサ 1 0 内の幾何学的な構造により予め決まっているため計算することができる。あるいは、走査ユニット 1 1 2 が静止している状態での走査光線 1 2 6、1 2 8 のスポットの場所、及び / 又は、周期的走査運動の間の円環の場所が画像センサ 2 1 8 上で突き止められる。特にイベントベースの画像センサ 2 1 8 を用いる場合はそれを駆動中に動的に行うことさえできる。複雑な較正モデルはもはや必要ない。

50

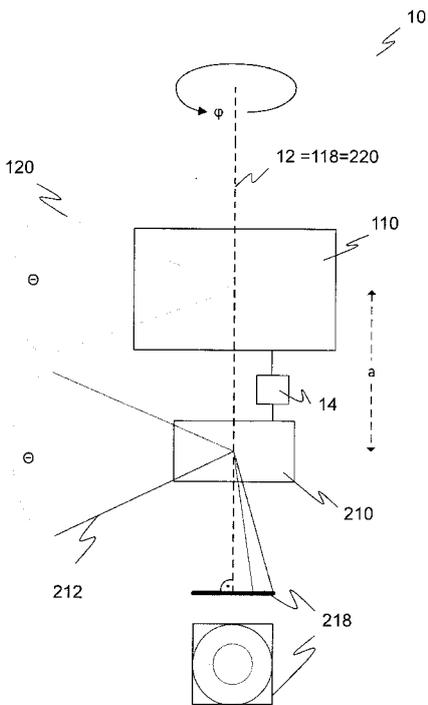
【 図 1 】



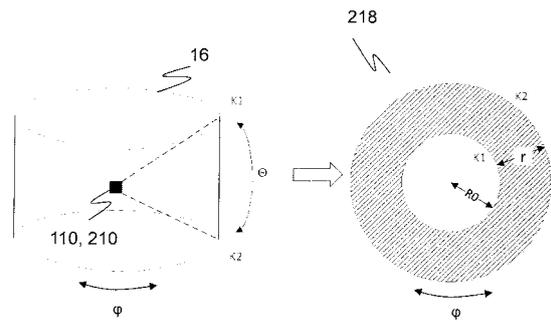
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 ロマン ミューラー

ドイツ連邦共和国、7 9 1 8 3 パルトキルヒ、エルヴィーン - ジック - シュトラーセ 1

Fターム(参考) 5J084 AA05 AD01 BB01 DA01 DA07 EA04

【外国語明細書】

2021076603000001.pdf