

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6924251号
(P6924251)

(45) 発行日 令和3年8月25日(2021.8.25)

(24) 登録日 令和3年8月3日(2021.8.3)

(51) Int.Cl. F I
G06T 7/80 (2017.01) G O 6 T 7/80
H04N 5/232 (2006.01) H O 4 N 5/232

請求項の数 19 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2019-218641 (P2019-218641) (22) 出願日 令和1年12月3日(2019.12.3) (65) 公開番号 特開2020-98591 (P2020-98591A) (43) 公開日 令和2年6月25日(2020.6.25) 審査請求日 令和1年12月3日(2019.12.3) (31) 優先権主張番号 1820572.4 (32) 優先日 平成30年12月18日(2018.12.18) (33) 優先権主張国・地域又は機関 英国 (GB)</p>	<p>(73) 特許権者 508097870 コンチネンタル オートモーティブ ゲゼ ルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツング Continental Automot ive GmbH ドイツ連邦共和国 ハノーファー フェー レンヴァルダー シュトラッセ 9 Vahrenwalder Strass e 9, D-30165 Hannov er, Germany (74) 代理人 100069556 弁理士 江崎 光史 (74) 代理人 100111486 弁理士 鍛冶澤 實</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像センサの外因性パラメータを較正するための方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するための方法が、
 前記画像センサによって捕捉された画像フレームに現れる第1の平行フィーチャエッジ
 セットを選択することと、

前記第1の平行フィーチャエッジセットの基準消失点を決定することであって、前記基
 準消失点が、前記画像センサの射影基準系上に位置することと、

前記画像センサによって捕捉された前記画像フレーム内に、前記第1の平行フィーチャ
 エッジセットと平行な第2の平行フィーチャエッジセットを選択することと、

前記画像センサの既存の射影行列に基づいて、前記第2の平行フィーチャエッジセット
 からの複数の点を前記射影基準系上に射影することと、

前記第2の平行フィーチャエッジセットに関して、前記射影基準系上に位置する第2の
 消失点を決定することと、

を備え、

前記基準消失点からの前記第2の消失点の場所の偏差が1つ又は複数の所定の限度内と
 なるまで、少なくとも

前記外因性パラメータの1つ又は複数調整することによって前記既存の射影行列を
 修正することと、

前記修正された既存の射影行列を使用して、前記第2の平行フィーチャエッジセット
 からの複数の点を前記射影基準系上に射影することと、

10

20

射影後に前記第 2 の消失点を決定することと、
を再帰的に行うことによって前記偏差を減少させることと、
を備える、方法。

【請求項 2】

前記画像センサが、球カメラモデルを使用してモデリングすることができる画像センサである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記画像センサの前記射影基準系が、前記画像センサの画像平面であり、前記第 1 の平行フィーチャエッジセットの前記第 1 の対の基準消失点を決定することが、

第 1 の円及び第 2 の円を前記第 1 の平行フィーチャエッジセットにおける第 1 のフィーチャエッジ及び第 2 のフィーチャエッジの画像点にフィッティングさせること、及び前記第 1 の円及び前記第 2 の円が交差する場所を決定することを含む、請求項 2 に記載の方法。

10

【請求項 4】

前記第 2 の平行フィーチャエッジセットの前記第 2 の消失点を決定することが、
前記画像センサの既存の射影行列に基づいて、前記第 2 の平行フィーチャエッジセットの第 3 のフィーチャエッジ及び第 4 のフィーチャエッジからの複数の点を前記画像平面上に射影することによって取得された第 3 の円及び第 4 の円を前記第 2 の平行フィーチャエッジセットの前記第 3 のフィーチャエッジ及び前記第 4 のフィーチャエッジの画像点にフィッティングさせること、及び

20

前記第 3 の円及び前記第 4 の円が交差する場所を決定すること、
を含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

少なくとも、前記第 1 の円、前記第 2 の円、前記第 3 の円、又は前記第 4 の円のフィッティングが、 L_{ose} 関数を最小にすることに基づく、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記基準消失点からの前記第 2 の消失点の場所の偏差を、前記偏差が前記 1 つ又は複数の所定の限度内となるまで減少させることが、

前記基準消失点をつなぐ第 1 の接続線を引くことと、

前記第 2 の消失点をつなぐ第 2 の接続線を引くことと、

をさらに含む、請求項 2 から 5 の何れか一項に記載の方法。

30

【請求項 7】

前記外因性パラメータの 1 つ又は複数を調整することにより前記既存の射影行列を修正することが、前記第 1 の接続線からの前記第 2 の接続線の場所又は長さの偏差を減少させるように前記 1 つ又は複数の外因性パラメータを調整する前に、前記第 2 の接続線と前記第 1 の接続線との間の勾配偏差が勾配限度内となるまで、前記勾配偏差を減少させるように前記 1 つ又は複数の外因性パラメータを最初に調整することを含む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記第 2 の接続線と前記第 1 の接続線との間の前記勾配偏差が前記勾配限度内となるまで、前記勾配偏差を減少させるように前記 1 つ又は複数の外因性パラメータを最初に調整することが、向き関連の前記外因性パラメータの 1 つ又は複数を調整することを含む、請求項 7 に記載の方法。

40

【請求項 9】

前記第 1 の接続線及び前記第 2 の接続線の場所及び / 又は長さの偏差を減少させるように前記 1 つ又は複数の外因性パラメータを調整することが、並進関連の前記外因性パラメータの 1 つ又は複数を調整することを含む、請求項 7 又は 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記射影基準系が単位球である、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 11】

50

前記画像センサが、車両に取り付けられ、第1の平行フィーチャエッジセットを選択することが、

前記画像フレームにおける少なくとも2つのフィーチャエッジを検出することと、

前記画像フレームが捕捉されたときの前記車両の少なくともステアリング角又はホイール角をチェックすることにより、前記フィーチャエッジが平行であるかどうかを決定することと、

を含む、請求項1から10の何れか一項に記載の方法。

【請求項12】

前記画像センサが、車両に取り付けられ、前記第2の平行フィーチャエッジセットが、前記車両の横軸に沿って位置する前記車両の座標軸に沿って前記第1の平行フィーチャエッジセットをシフトすることによって取得される、請求項1から11の何れか一項に記載の方法。

10

【請求項13】

前記第2の平行フィーチャエッジセットが仮想フィーチャエッジである、請求項1から12の何れか一項に記載の方法。

【請求項14】

画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するための装置であって、プロセッサと、

前記プロセッサに結合される少なくとも1つのメモリであって、

前記画像センサによって捕捉された画像フレームに現れる第1の平行フィーチャエッジセットを選択することと、

20

前記第1の平行フィーチャエッジセットの基準消失点を決定することであって、前記基準消失点が、前記画像センサの射影基準系上に位置することと、

前記画像センサによって捕捉された前記画像フレーム内に、前記第1の平行フィーチャエッジセットと平行な第2の平行フィーチャエッジセットを選択することと、

前記画像センサの既存の射影行列に基づいて、前記第2の平行フィーチャエッジセットからの複数の点を前記射影基準系上に射影することと、

前記第2の平行フィーチャエッジセットに関して、前記射影基準系上に位置する第2の消失点を決定することと、

前記基準消失点からの前記第2の消失点の場所の偏差が1つ又は複数の所定の限度内となるまで、少なくとも

30

前記外因性パラメータの1つ又は複数調整することによって前記既存の射影行列を修正することと、

前記修正された既存の射影行列を使用して、前記第2の平行フィーチャエッジセットからの複数の点を前記射影基準系上に射影することと、

射影後に前記第2の消失点を決定することと、

を再帰的に行うことによって前記偏差を減少させることと、

を前記プロセッサに行わせる、前記プロセッサによって実行可能な命令を保存する、少なくとも1つのメモリと、

を備える、装置。

40

【請求項15】

前記画像センサが、球カメラモデルを使用してモデリングすることができる画像センサであり、前記射影基準系が、前記画像センサの画像平面であり、前記少なくとも1つのメモリが、

第1の円及び第2の円を前記第1の平行フィーチャエッジセットにおける第1のフィーチャエッジ及び第2のフィーチャエッジの画像点にフィッティングさせることにより前記基準消失点を決定することであって、前記基準消失点が、前記第1の円及び前記第2の円が交差する場所に位置することと、

前記第2の平行フィーチャエッジセットの第3のフィーチャエッジ及び第4のフィーチャエッジからの複数の点を前記画像センサの前記画像平面上に射影することによって取得

50

された第3の円及び第4の円を前記第3のフィーチャエッジ及び前記第4のフィーチャエッジの画像点にフィッティングさせることにより前記第2の消失点を決定することであって、前記第2の消失点が、前記第3の円及び前記第4の円が交差する場所に位置することと、

を前記プロセッサに行わせる、請求項14に記載の装置。

【請求項16】

前記画像センサが、車両に取り付けられ、前記少なくとも1つのメモリが、少なくとも

前記画像フレームにおける少なくとも2つの直線フィーチャエッジを検出すること、及び

前記画像フレームが捕捉されたときの前記車両の少なくともステアリング角又はホイール角をチェックすることにより、前記直線フィーチャエッジが平行であるかどうかを決定すること、

によって第1の平行フィーチャエッジセットを前記プロセッサに選択させる、請求項14又は15に記載の装置。

【請求項17】

前記画像センサが、車両に取り付けられ、前記少なくとも1つのメモリが、前記車両の横軸に沿って位置する前記車両の座標軸に沿って前記第1の平行フィーチャエッジセットをシフトすることによって、第2の平行フィーチャエッジセットを前記プロセッサに選択させる、請求項14から16の何れか一項に記載の装置。

【請求項18】

請求項1から13の何れか一項に記載の方法を実施するコンピュータ可読命令を含む非一時的コンピュータ可読ストレージ媒体。

【請求項19】

請求項14から17の何れか一項に記載の画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するための装置を備える車両。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するための方法、デバイス、及びコンピュータ可読ストレージ媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

現代の車両は、車両の運転において運転者を支援することを意図した様々な電子システムをよく装備している。これらの電子システムは、車両及びその外部環境の画像を捕捉するために使用される1つ又は複数の車載画像センサの使用を伴うことが多い。捕捉された画像は、分析され、及び単独で、又は物体検出、車線逸脱警報、駐車支援、及び距離測定などの1つ又は複数の運転者支援機能を提供する他の環境センサからの入力と組み合わせで使用され得る。以前には取得できなかった視点へのアクセスを含む、外部環境のより包括的なビューを運転者に提供するために、車載視覚ベースセンサも使用され得る。これは、車両の異なる複数の部分に取り付けられた複数の視覚ベースセンサからの画像をつなぎ合わせることによって生成された合成画像を運転者に表示することによって達成される。一例は、多くの場合、車両の前部、後部、及び両サイドに外的に取り付けられた4つの広角視覚ベースセンサを含むサラウンドビューシステムである。サラウンドビューシステムにおける画像センサは、一般的に、180度を超える水平視野を持つ。車両環境の360度ビューは、サラウンドビュー画像センサからの画像をつなぎ合わせるによって取得される。

【0003】

しかし、合成画像を生成するプロセスは、異なる複数の画像センサからの画像をつなぎ合わせる前に、それらの位置合わせを行うことを伴う。これは、実世界における三次元点

10

20

30

40

50

を画像センサの二次元画像平面にマッピングするために使用される射影行列の知識を必要とする。同様に、射影行列の知識は、画像からの距離測定などの他の画像ベース運転者支援機能の動作にも必要とされる。画像センサに関連する実際の射影行列は、使用されるセンサのタイプによって異なり得るが、射影行列は、一般に、画像センサに関連する内因性パラメータ及び外因性パラメータを用いて定義される。内因性パラメータは、一般に、画像センサの光学系、すなわち、どのように光が画像センサを通過してセンサの画像平面上に射影されるかに関係する。内因性パラメータには、焦点距離及び焦点などのパラメータが含まれる。一方、外因性パラメータは、画像センサの位置及び向きに関し、基準系（すなわち、絶対外因性パラメータ）として使用される座標軸に対して定義され得る。位置関連外因性パラメータは、基準系の x 、 y 、及び z 軸に沿って画像センサの場所を表すが、向き関連外因性パラメータは、 x 、 y 、及び z 軸に沿った画像センサの回転を表す。外因性パラメータの基準系としてよく使用される座標軸の例には、座標軸の原点が車両自体にある車両座標系、及び世界座標系が含まれる。画像センサの外因性パラメータも、他の画像センサのものとは比べて（すなわち、相対外因性パラメータ）測定され得る。

10

【0004】

従って、画像ベース運転者支援機能の適切な動作を促進するために、画像センサの外因性パラメータを確立するための較正が必須である。しかし、画像センサの位置及び/又は向きは、車両の積載、摩損の影響、様々な車両部品の交換、及びでこぼこ道やドアを強く閉めることによって生じる振動などの様々なファクタによって引き起こされる変化を受けるといった問題が生じる。その結果として、これは、画像センサの外因性パラメータの変化を生じさせる。

20

【0005】

上記に鑑みて、既知のジオメトリを有する専用較正構造を必要とせず、車両の工場環境外で行うことが可能なロバストなオンライン外因性パラメータ較正方法が望ましい。

【発明の概要】**【課題を解決するための手段】****【0006】**

本開示の局面は、画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するための方法、デバイス、及びコンピュータ可読ストレージ媒体を提供する。

【0007】

本開示の第1の局面は、画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するための方法であって、画像センサによって捕捉された画像フレームに現れる第1の平行フィーチャエッジセットを選択することと、第1の平行フィーチャエッジセットの基準消失点を決定することであって、基準消失点が、画像センサの射影基準系上に位置することを含む方法を提供する。第1の平行フィーチャエッジセットは、2つの平行なフィーチャエッジを含み得る。幾つかの実装では、第1の平行フィーチャエッジセットは、車線標示、駐車線、又は道路境界線の少なくとも1つを含み得る。本方法は、第1の平行フィーチャエッジセットと平行な第2の平行フィーチャエッジセットを選択することと、画像センサの既存の射影行列に基づいて、第2の平行フィーチャエッジセットからの複数の点を射影基準系上に射影することと、第2の平行フィーチャエッジセットに関して、射影基準系上に位置する第2の消失点を決定することとも含む。第2の平行フィーチャエッジセットは、実生活において存在するフィーチャエッジ又は仮想フィーチャエッジでもよい。基準消失点からの第2の消失点の場所の偏差を、偏差が1つ又は複数の所定の限度内となるまで、少なくとも以下のステップ：外因性パラメータの1つ又は複数調整することによって既存の射影行列を修正すること、修正された既存の射影行列を使用して、第2の平行フィーチャエッジセットからの複数の点を射影基準系上に射影すること、及び射影後に第2の消失点を決定することを再帰的に行うことによって減少させる。

30

40

【0008】

幾つかの実装では、画像センサは、球カメラモデルを使用してモデリングすることができる画像センサである。球カメラ画像センサが使用される、ある変形形態では、第1の平

50

行フィーチャエッジセットの第1の対の基準消失点を決定することが、第1の円及び第2の円を第1の平行フィーチャエッジセットにおける第1のフィーチャエッジ及び第2のフィーチャエッジの画像点にフィッティングさせることと、第1の円及び第2の円が交差する場所を決定することとを含み得る。この場合、画像センサの射影基準系は、画像センサの画像平面である。同様に、第2の平行フィーチャエッジセットの第2の消失点は、画像センサの既存の射影行列に基づいて、第2の平行フィーチャエッジセットの第3のフィーチャエッジ及び第4のフィーチャエッジからの複数の点を画像平面上に射影することによって取得された第3の円及び第4の円を第2の平行フィーチャエッジセットの第3のフィーチャエッジ及び第4のフィーチャエッジの画像点にフィッティングさせることと、第3の円及び第4の円が交差する場所を決定することによって決定され得る。少なくとも、第1の円、第2の円、第3の円、又は第4の円のフィッティングは、 $L o s e$ 関数を最小にすることに基づき得る。ある任意選択の実装では、基準消失点からの第2の消失点の場所の偏差を、偏差が1つ又は複数の所定の限度内となるまで減少させることは、基準消失点をつなぐ第1の接続線を引くことと、第2の消失点をつなぐ第2の接続線を引くこととを含む。外因性パラメータの1つ又は複数調整することにより既存の射影行列を修正することは、第1の接続線からの第2の接続線の場所又は長さの偏差を減少させるように1つ又は複数の外因性パラメータを調整する前に、第2の接続線と第1の接続線との間の勾配偏差が勾配限度内となるまで、勾配偏差を減少させるように1つ又は複数の外因性パラメータを最初に調整することを含み得る。基準消失点からの第2の消失点の場所の偏差が1つ又は複数の所定の限度内となるまで、第2の平行フィーチャエッジセットからの複数の点

10

20

【0009】

別の例示の実装では、画像センサは、車両に取り付けられる。第1の平行フィーチャエッジセットを選択することは、画像フレームにおける少なくとも2つのフィーチャエッジを検出することと、画像フレームが捕捉されたときの車両の少なくともステアリング角又はホイール角をチェックすることにより、フィーチャエッジが平行であるかどうかを決定することとを含み得る。幾つかの実装では、第2の平行フィーチャエッジセットは、車両の横軸に沿って位置する車両の座標軸に沿って第1の平行フィーチャエッジセットをシフトすることによって取得され得る。

30

【0010】

本開示の別の局面は、画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するためのデバイスであって、プロセッサと、プロセッサに結合される少なくとも1つのメモリであって、画像センサによって捕捉された画像フレームに現れる第1の平行フィーチャエッジセットを選択することと、第1の平行フィーチャエッジセットの基準消失点を決定することであって、基準消失点が、画像センサの射影基準系上に位置することとをプロセッサに行わせる、プロセッサによって実行可能な命令を保存する、少なくとも1つのメモリとを含むデバイスを提供する。プロセッサは、第1の平行フィーチャエッジセットと平行な第2の平行フィーチャエッジセットを選択すること、画像センサの既存の射影行列に基づいて、第2の平行フィーチャエッジセットからの複数の点を射影基準系上に射影すること、及び第2の平行フィーチャエッジセットに関して、射影基準系上に位置する第2の消失点を決定することも行わせられる。基準消失点からの第2の消失点の場所の偏差は、偏差が1つ又は複数の所定の限度内となるまで、少なくとも以下のステップ：外因性パラメータ

40

50

の1つ又は複数を調整することによって既存の射影行列を修正すること、修正された既存の射影行列を使用して、第2の平行フィーチャエッジセットからの複数の点を射影基準系上に射影すること、及び射影後に第2の消失点を決定することを再帰的に行うことによって減少される。

【0011】

幾つかの実装では、画像センサは、球カメラモデルを使用してモデリングすることができる画像センサであり、射影基準系は、画像センサの画像平面であり、少なくとも1つのメモリは、第1の円及び第2の円を第1の平行フィーチャエッジセットにおける第1のフィーチャエッジ及び第2のフィーチャエッジの画像点にフィッティングさせることにより基準消失点を決定することであって、基準消失点が、第1の円及び第2の円が交差する場所10
に位置することと、第2の平行フィーチャエッジセットの第3のフィーチャエッジ及び第4のフィーチャエッジからの複数の点を画像センサの画像平面上に射影することによって取得された第3の円及び第4の円を第3のフィーチャエッジ及び第4のフィーチャエッジの画像点にフィッティングさせることにより第2の消失点を決定することと、をプロセッサ10
に行わせる。第2の消失点は、第3の円及び第4の円が交差する場所に位置する。画像センサが車両に取り付けられる場合、少なくとも1つのメモリは、少なくとも以下のステップ：画像フレームにおける少なくとも2つの直線フィーチャエッジを検出すること、及び画像フレームが捕捉されたときの車両の少なくともステアリング角又はホイール角を
20
チェックすることにより、直線フィーチャエッジが平行であるかどうかを決定することによって第1の平行フィーチャエッジセットをプロセッサに選択させ得る。また、少なくとも1つのメモリは、車両の横軸に沿って位置する車両の座標軸に沿って第1の平行フィーチャエッジセットをシフトすることによって、第2の平行フィーチャエッジセットをプロセッサに選択させ得る。

【0012】

本開示の他の局面は、本開示で述べた方法を実施するためのコンピュータ可読命令を含む非一時的コンピュータ可読ストレージ媒体も含み得る。別の変形形態では、本開示による画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するためのデバイスを含む車両が提供され得る。

【0013】

本開示の1つ又は複数の実装の詳細が、添付の図面及び以下の発明の詳細な説明に記載される。他の局面、特徴、及び利点は、発明の詳細な説明及び図面から、並びに特許請求の範囲から明らかとなるだろう。30

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本開示のある実装による画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するように機能する機械視覚モジュールを含むシステム100の機能ブロック図である。

【図2】外因性パラメータの較正に使用される第1の平行フィーチャエッジセットの画像を捕捉する車載画像センサの例示的シナリオを示す。

【図3】本開示の一実装による画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するための自動方法を示すフロー図である。40

【図4A】図4Aは、実世界において現れる例示的一對の平行車線標示を示し、図4Bは、魚眼カメラによって捕捉された図4Aの車線標示の画像を示す。

【図4B】図4Aは、実世界において現れる例示的一對の平行車線標示を示し、図4Bは、魚眼カメラによって捕捉された図4Aの車線標示の画像を示す。

【図5】円を各フィーチャエッジの画像点にフィッティングさせることによって、第1の平行フィーチャエッジセットに関連する基準消失点を決定する例示的方法を示す。

【図6】第2の平行フィーチャエッジセットを選択するための例示的方法を示す。

【図7】図5の第1の平行フィーチャエッジセットの画像点、及び既存の射影行列を使用した射影によって取得された第2の平行フィーチャエッジセットの画像点を含む画像平面を示す。50

【図 8 A】第 1 の平行フィーチャエッジセットの画像点を単位球の表面上にピクセルマッピングすることによって基準消失点を決定する別の例示的方法を示す。

【図 8 B】第 2 の平行フィーチャエッジセットに関連する第 2 の消失点を含む単位球を示し、第 2 の平行フィーチャエッジセットは、図 8 B において第 1 の平行フィーチャエッジセットと平行である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 5 】

以下の詳細な説明では、添付の図面が参照される。図面では、文脈上他の意味に解すべき場合を除き、一般的に、同様の記号は同様のコンポーネントを識別する。

【 0 0 1 6 】

二次元画像平面への実世界の三次元点の透視射影のために、無限シーン線が、消失点で終了する線として画像化される。同じ理論により、互いに平行な世界線（車線標示など）が、共通の消失点を持つ収束線として画像化される。この開示は、画像センサの外因性パラメータ較正を行うための基準として、上記の消失点概念に依拠する。較正される画像センサにおいて使用されるレンズ系のタイプに応じて、本開示は、少なくとも 2 つの実世界平行フィーチャエッジを含む較正構造が存在する限り、外因性パラメータ較正が行われることを可能にする。例えば、球カメラモデルに基づく画像センサの外因性パラメータは、2 つの実世界平行フィーチャエッジから成る第 1 の平行フィーチャエッジセットを使用して較正され得る。第 2 の平行フィーチャエッジセットは、実世界に存在するフィーチャエッジ、又は仮想フィーチャエッジでもよい。この開示に関連する利点の 1 つは、オフライン較正方法で使用されるものなどの既知の寸法を有する専用較正構造が較正に必須ではない点である。較正は、通常の道路上で利用可能なフィーチャエッジを使用して行われ得る。例えば、車線 / 路面標示、駐車線、縁石又は道路の側面、又はそれらの組み合わせなどの道路上でよく見つけられる平行フィーチャが使用され得る。従って、本開示は、オフライン外因性較正方法及びオンライン外因性較正方法の両方に適用され得る。一般に、車線標示及び駐車線は、世界中で非常に標準化されているので、ここに記載される較正方法及び装置は、車両プラットフォームに取り付けられた機械視覚モジュールにおいてロバストに展開され得る。

【 0 0 1 7 】

図 1 は、本開示のある実装による画像センサの 1 つ又は複数の外因性パラメータを較正するための自動方法を行うように構成された機械視覚モジュール 1 4 0 を含む例示的システム 1 0 0 の機能ブロック図である。この較正方法は、実世界座標において互いに平行な、第 1 の平行フィーチャエッジセット及び第 2 の平行フィーチャエッジセットに関連する消失点を比較することに基づく。第 1 の平行フィーチャエッジセットは、実世界に存在するフィーチャエッジであるが、第 2 の平行フィーチャエッジセットに関しては、実フィーチャエッジ又は仮想フィーチャエッジのどちらかが使用され得る。第 2 の平行フィーチャエッジセットに関する消失点は、画像センサの既存の射影行列に基づいて、第 2 の平行フィーチャエッジセットからの複数の点を画像センサの射影基準系上に射影することによって導出され得る。1 つ又は複数の外因性パラメータは、既存の射影行列の再帰的修正を、外因性パラメータの 1 つ又は複数調整し、修正された既存の射影行列を使用して第 2 の平行フィーチャエッジセットからの複数の点を射影基準系上に射影し、射影後の結果として生じる第 2 の消失点の場所における偏差が 1 つ又は複数の所定の限度内にあるかどうかをチェックすることによって行うことにより、偏差が 1 つ又は複数の所定の限度内となるまで、第 2 の消失点の場所における基準消失点からの偏差を減少させることにより導出される。

【 0 0 1 8 】

車両に関連付けられたシステム 1 0 0 は、共に機械視覚モジュール 1 4 0 と通信する環境モジュール 1 2 0 及び車両システム 1 6 0 も含む。環境モジュール 1 2 0 は、車両の外部環境を感知し、車両の外部環境に関する情報を収集するように機能する環境センサを含む。図 1 の実装では、環境モジュールは、車両の複数の異なる部分に外的に取り付けられ

10

20

30

40

50

た4つの画像センサ(124~127)を含む画像センサモジュール122を含む。各画像センサは、それ自体の外因性パラメータセットを有する。例として、画像センサは、図2の例の場合のように、車両のサイドミラー及び後部バンパーに外的に取り付けられた広角カメラ(124~127)でもよい。画像センサモジュール122は、他のタイプの画像センサ(例えば、視覚ベース単眼カメラ)及び異なる数の画像センサも含み得ることが当業者には認識されるだろう。さらに、レーダー、ライダー、及び超音波センサなどの他のタイプの環境センサも環境モジュールに含まれ得る。

【0019】

図1の実装における機械視覚モジュール140は、コンピューティングプロセッサ142と、プロセッサ142と通信するハードウェアメモリ144とを含む。コンピューティングプロセッサ142は、例えば、マイクロコントローラでもよく、情報を保存し、及び保存された命令を実行するためにメモリ144にアクセスすることが可能なグラフィックスプロセッシングユニット(GPU)も使用され得る。メモリ144は、非一時的メモリ(例えば、ハードドライブ、フラッシュメモリ、ランダムアクセスメモリ)、一時的メモリ、又はそれらの組み合わせを含み得る。或いは、プロセッサ142及びメモリ144は、単一の集積回路に集積されてもよい。メモリ144は、プロセッサ142によってアクセス可能な情報、及びプロセッサ142によって保存、取り出し、又はその他の使用が行われ得るデータを保存する。例えば、プロセッサ142は、メモリ144に保存された命令に基づいて、本開示による画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するための自動方法を実行し得る。メモリは、画像フレームが外因性パラメータの較正に使用され得るかどうかをプロセッサ142が決定する命令も含み得る。これは、画像フレームに関連する特徴が1つ又は複数の画像選択基準を満たすかどうかをチェックすることによって達成され得る。画像選択基準は、サンプル画像における適宜の較正構造の利用可能性に関連する少なくとも1つ又は複数の条件を含むだろう。前述の通り、本開示における外因性パラメータ較正方法は、消失点の概念に基づき、互いに平行な少なくとも2つの較正フィーチャエッジを含む第1の平行フィーチャエッジセットが必要とされる。幾つかの実装では、画像フレームが第1の平行フィーチャエッジセットを含むかどうかを決定するプロセスは、直線フィーチャエッジの存在を検出すること、及びそれらが平行かどうかをチェックすることを含み得る。直線フィーチャエッジの検出は、画像フレームにおけるエッジの存在を検出すること、及び検出されたエッジのどれが直線であるかを決定することを伴い得る。或いは、潜在的較正構造は、所定の構造リストから選択されてもよく、これらの構造は、較正構造としての実際の適合性に関してチェックされ得る。例えば、所定のリストは、潜在的較正構造として車線標示及び路面標示を含み得る。幾つかの実装では、フィーチャエッジの平行度が、画像フレームが撮影された際の車両の移動方向などの様々な方法を使用して検証され得る。移動方向は、プロセッサ142が車両システム160の1つ又は複数のサブモジュールから取得できるステアリング角情報及び/又はホイール角情報から取得され得る。例えば、ESCシステム162におけるステアリング角センサ164及びホイール角センサ166。画像選択基準は、サンプル画像の質、特にサンプル画像の潜在的較正構造の画質と関係した要素も含み得る。

【0020】

次いで、プロセッサ142は、第1の平行フィーチャエッジセット及び第2の平行フィーチャエッジセットに関して、較正されている画像センサの射影基準系上に位置する消失点を決定し得る。例えば、射影基準系は、画像センサの画像平面、又は単位球などの中間射影基準系でもよい。例として、球カメラモデルを使用してモデリングされ得る画像センサは、射影基準系として画像平面を使用することができ、第1の平行フィーチャエッジセットの基準消失点は、円を第1の平行フィーチャエッジセットにおける平行フィーチャエッジの画像点にフィッティングさせることによって決定される。一方、第2の平行フィーチャエッジセットに関連する第2の消失点は、既存の射影行列を使用して平行フィーチャエッジからの点を画像平面上に射影し、及び結果として生じるフィーチャエッジの画像間の交点を求めることによって導出される。別の実装では、代わりに、球カメラ画像センサ較正プ

10

20

30

40

50

ロセスにおける射影基準系として単位球が使用され得る。単位球上の基準消失点の場所は、ピクセルマッピングによって導出され得るが、同じ単位球上の第2の消失点の場所は、既存の射影行列に基づいて、第2の平行フィーチャエッジセットからの複数の点を単位球上に射影することによって取得され得る。ピクセルマッピングは、それぞれの円としての円フィッティングによるピクセルごとの単位球上への第1の平行フィーチャエッジセットのフィーチャエッジと関連する画像点のマッピングを指す。図1は、機能的にプロセッサ142及びメモリ144が同じブロック内にあると示すが、プロセッサ及びメモリは実際に、異なるハウジング内に位置する複数のプロセッサ及び/又は複数のメモリを含み得ることが当業者には認識されるだろう。従って、プロセッサ又はメモリへの言及は、本開示に記載される機械視覚モジュールの機能を行うことが可能なプロセッサ及び/又はメモリ

10

の一群への言及を含むと理解されるだろう。さらに、機械視覚モジュールは、他のモジュール又はコンポーネントとは独立して存在し得ることが当業者には認識されるだろう。或いは、それは、他のモジュール、プログラム、又はハードウェアの共有要素又はプロセスであってもよい。例えば、プロセッサ142及びメモリ144は、物体検出機能及び/又は車線維持支援機能を行うように構成されてもよい。

【0021】

幾つかの実装では、機械視覚モジュール140は、他の車両モジュールからの情報に基づいて、自動画像センサ較正機能を提供するように構成され得る。例えば、図1の実装では、機械視覚モジュール140は、電子安定制御(ESC)システム162を含む車両システム160と通信する。ESCシステムは、ハンドル位置角及び回転速度を測定するステアリング角センサ164、ホイール角センサ166、及びESC電子制御装置(ECU)168を含み得る。幾つかの変形形態では、機械視覚モジュール140は、ESCシステム162からの情報を使用して、サンプル画像が1つ又は複数の画像選択基準を満たすかどうかを決定し得る。例えば、較正に使用される第1の平行フィーチャエッジセットが車線標示又は道路境界線を含む場合には、画像選択基準の1つは、第1のセットにおけるフィーチャエッジが互いに平行となるようにサンプル画像が撮影された際に車両が実質的に真っ直ぐに走行していることを必要とし得る。車両の走行方向に関する情報は、車両のハンドル位置角を測定するステアリング角センサ164、ホイール角センサ166、又はそれらの組み合わせから取得され得る。

20

【0022】

図2は、図1に示したようなシステムを装備した車両210の一例を示す。提供される例は、車両に取り付けられた画像センサの外因性パラメータを較正するという状況下で使用される方法及びデバイスを示すが、これは、限定であることを意図されたものではないことを認識されたい。本開示は、固定型、可動型、自律性、或いは非自律性を問わず他のタイプのプラットフォームに取り付けられた画像センサを較正するためにも適用され得る。図2では、車両210は、魚眼レンズを備えた4つの広角画像センサ(124~127)を含む。4つの画像センサは、車両の各側面に位置するサイドビューミラー(124、125)、及び後部バンパーの隅(126、127)に取り付けられる。画像センサからの画像は、車両の周囲360度ビューを運転者に提供するために統合され得る。較正は、広角カメラの代わりに単眼カメラ及びステレオカメラなどの、車両に取り付けられた他の

30

40

タイプの画像センサにも適用され得る。画像センサ(124~127)によって捕捉された画像は、機械視覚モジュール140へと送信され、そこで、それらの画像は、本開示に記載の方法を使用して各画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するためにプロセッサ142によって使用され得る。幾つかの実装では、画像は、例えば、機械視覚モジュール140へと送信される前に、ノイズ及び歪みを除去するために前処理が行われてもよい。前処理は、例えば環境モジュール120のプロセッサによって行われ得る。前処理は、較正のための画像の使用に先立ち、プロセッサ142によって着手されてもよい。図2では、車両210は、二次元x-y世界座標空間に広がり、且つ図2の平面から外れて垂直方向に延在するz軸と交差する地面平面220を形成する道路上を移動している。地面平面220は、車両210の両側に配置された平行車線標示(240a、240b

50

)を含む。右のサイドビューミラーに取り付けられた第1の画像センサ124は、参照番号124aで示される視野を持つ。例として、機械視覚モジュール140は、第1の画像センサ124によって捕捉された画像に現れる第1の平行フィーチャエッジセットを使用して、第1の画像センサ124の1つ又は複数の外因性パラメータを較正するように構成され得る。前述の通り、本開示は、球カメラ画像センサなどの画像センサの外因性パラメータの較正のために、2つの平行フィーチャエッジを含む第1の平行フィーチャエッジセットのみを必要とする。既知の寸法を有する専用構造も必須ではない。例えば、第1の平行フィーチャエッジセットは、平行車線標示(240a、240b)を含み得る。路面標示や縁石又は道路の側面などの他の平行フィーチャエッジも、第1の平行フィーチャエッジセットを形成するために、代替手段として、又は車線標示と組み合わせて使用され得る。例えば、第1の平行フィーチャエッジセットは、縁石と組み合わせた車線標示の列を含み得る。

10

【0023】

図3は、前述の消失点概念に基づく画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するための自動方法300を示す例示的フロー図である。ある実装によれば、この方法は、図1に示すようなシステム100内に位置する機械視覚モジュール140によって行われ得る。しかしこれは、本開示の限定となることは意図されず、他のハードウェア構成及びソフトウェア構成も適し得ることが認識されるだろう。例えば、本方法を行うために使用されるプロセッサは、機械視覚モジュール以外の他の場所に位置してもよく、方法300は、異なる複数のモジュールに位置し、本方法の様々なステップを集団で行う複数のプロセッサの組み合わせによって実施され得る。方法300は、ブロック301から始まり、機械視覚モジュール140のプロセッサ142が画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するリクエストを受信すると開始され得る。このようなリクエストは、例えば、較正を必要とする画像センサ、又は環境モジュール120内に位置するプロセッサによって行われ得る。また、リクエストは、反復的に、及び/又は1つ又は複数の指定の事象の発生に基づいて行われ得る。例えば、リクエストは、車両による走行距離及び/又は車両の始動回数に基づいて反復的に行われ得る。また、リクエストは、外因性パラメータの変化をトリガし得る事象などの事象の発生に基づいて、又は外因性パラメータの潜在的ドリフトが検出された際にトリガされ得る。例には、車両の積載の変化が指定の閾値を超えたとき、1つ又は複数の画像センサからの画像に依拠する1つ又は複数の機能の動作の低下が検出されたとき、又はそれらの組み合わせが含まれる。ブロック301におけるプロセスの開始後に、プロセスは、機械視覚モジュールがサンプル画像フレームを選択する(このサンプル画像フレームは、それを撮影した画像センサの較正に使用され得る)ブロック302に進む。画像センサは、ブロック301における方法300の開始時にサンプル画像フレームを捕捉するようにトリガされ得る。画像センサのトリガは、車線標示などの較正に使用されるフィーチャエッジが画像フレームにおいて平行に見えるように車両が真っ直ぐに移動しているか否かなどの追加の基準に基づいてもよい。他の変形形態では、画像センサは、一旦イグニッションがスイッチをオンにされると車両の環境の画像を継続的に捕捉するように構成されてもよく、サンプル画像フレームは、これらの画像から選択される。

20

30

40

【0024】

ブロック302でサンプル画像フレームが選択された後に、プロセスは、選択されたサンプル画像が1つ又は複数の画像選択基準を満たすかどうかをプロセッサ142が決定する決定ブロック304に移る。画像選択基準は、サンプル画像フレームが1つ又は複数の外因性パラメータの較正における使用に適しているかどうかを決定する。画像選択基準は、サンプル画像における適切な較正構造の利用可能性に関連する少なくとも1つ又は複数の条件を含むだろう。前述の通り、本開示における外因性パラメータ較正は、消失点の概念に基づき、第1の平行フィーチャエッジセットが較正構造として必要とされる。使用される画像センサのタイプによって、第1の平行フィーチャエッジセットは、基準消失点を決定するために、より多くの平行フィーチャエッジを必要とし得る。しかし、第1の平行

50

フィーチャエッジセットは、互いに平行な少なくとも2つのフィーチャエッジを含むべきである。幾つかの実装では、機械視覚モジュール140は、最初に、サンプル画像における直線フィーチャエッジの存在を検出することによって潜在的較正構造を識別するように構成され得る。このような検出に先立ち、サンプル画像は、色補正、カラーマスキング、及びノイズフィルタリングなどのエッジ検出能力を向上させるように設計された画像強調プロセスを受けてもよい。直線フィーチャエッジの検出は、エッジの存在を検出すること、及び次いで検出されたエッジのどれが直線であるかを決定することを伴い得る。検出プロセスは、サンプル画像全体又は較正構造が見つけれられる可能性の高い特定の領域のみに適用され得る。例には、車線標示及び車線又は道路境界線の境界を定めるために使用される他のフィーチャが位置する車両用道路の部分が含まれる。キャニーエッジ検出アルゴリズム、SUSAN (smallest univalued segment assimilating nucleus) エッジ検出アルゴリズム、ソーベルフィルタ、及びキャニーエッジ検出に基づく他のアルゴリズムなどのエッジ検出アルゴリズムが、エッジの存在の検出に使用され得るが、検出されたエッジのどれが直線であるかを検出するためにはハフ変換が使用され得る。一旦直線フィーチャエッジ(もしあれば)が識別されると、それらは、潜在的平行フィーチャエッジのそれぞれのセットにグループ化され、且つ関心領域(ROI)としてフラグが立てられ得る。別の実装では、潜在的較正構造は、所定の構造リストから選択されてもよく、これらの構造は、較正構造としての実際の適合性に関してチェックされ得る。例えば、所定のリストは、潜在的較正構造として車線標示及び路面標示を含み得る。機械視覚モジュールは、ある画像における車線標示の場所に関する情報のために、車線維持機能などの他の動作からの情報に依拠し得る。潜在的な第1の平行フィーチャセットを識別した後に、プロセスは、これらの潜在的フィーチャエッジが平行であるかどうかをチェックし得る。幾つかの実装では、平行度は、サンプル画像が記録されたときの車両の移動方向を見ることによって推測され得る。例えば、一对の車線標示が較正構造として使用される場合、それらの車線標示は、画像フレームが捕捉されたときにステアリング角及びノ又はホイール角がゼロに近ければ(例えば、0.2度以下)、その画像フレームにおいて平行であると仮定され得る。車両のステアリング角及びホイール角は、ステアリング角センサ164及びホイール角センサ166からそれぞれ取得され得る。例示として図2のシナリオを使用して、車両座標系は、車両の縦軸に沿って延在するx軸、2つのサイドホイールをつなぐ車軸などの車両の横軸に沿って延在するy軸、及びx軸及びy軸と垂直に紙面から外れて延在するz軸を含む。通常動作中は、車両の移動方向212が車両座標系のx軸に沿う場合には、車両のステアリング角及びホイール角はゼロである。従って、車両のステアリング角が実質的にゼロの場合、車線標示(240a、240b)は、車両210のx軸が車線標示と平行となるので、第1の画像センサ124によって捕捉される画像において実質的に平行に見える。

【0025】

画像選択基準は、サンプル画像の質、特にサンプル画像の潜在的較正構造の画質と関係した要素も含み得る。画質は、フィーチャの鮮明さ、ノイズレベル、歪みのレベル、コントラスト、及び解像度などの1つ又は複数のファクタに基づいて評価され得る。例えば、サンプル画像は、露出不足にも露出過度にもなるべきではない。また、較正構造として使用されるフィーチャエッジは、鮮明であり、且つぼやけていない、或いは焦点がぼけていないエッジを有するべきである。画質関連基準は、較正構造がはっきりと目に見えるように、潜在的較正構造と路面などの背景との間に最低限のコントラストレベルも必要とし得る。例えば、潜在的較正構造が図2の例のような車線標示を含む場合には、サンプル画像フレームにおいて、車線標示が路面とはっきりと区別できるように、車線標示と路面との間に十分なコントラストが存在すべきである。サンプル画像において2つ以上の潜在的較正構造が識別された場合には、画質関連要件を満たさない構造は、除外され得る。幾つかの実装では、画像選択基準は、車両の外部環境に関係した要件も含み得る。例には、車両が湾曲や傾きのない平坦な路面上を移動しているときに画像が撮影されることを必要とすることが含まれる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 6 】

サンプル画像が画像選択基準を満たす場合には、プロセスは、ブロック 3 1 0 に移る。一方、画像選択基準が満たされない場合には、プロセスは、ブロック 3 0 2 に戻り、第 1 の画像センサから別のサンプル画像が選択される。ブロック 3 0 2 及び 3 0 4 のステップは、画像選択基準を満たすサンプル画像が取得されるまで繰り返される。ブロック 3 1 0 では、第 1 の平行フィーチャエッジセットの形式の較正構造が選択される。第 1 の平行フィーチャエッジセットは、互いに平行な少なくとも 2 つのフィーチャエッジを含む。必要とされる実際の平行フィーチャエッジの数は、較正される画像センサのタイプの基準消失点を決定するために必要とされる平行フィーチャエッジの数に応じて異なり得る。例えば、魚眼レンズを使用した中心反射屈折光学系を含む球カメラモデルを使用してモデリングされ得る画像センサは、較正に使用され得る基準消失点を決定するために、2 つの平行フィーチャエッジのみを必要とする。1 つ又は複数の較正構造選択基準を使用することにより、較正構造としての使用に適した 2 つ以上のフィーチャエッジセット間で 1 つを決定し得る。例えば、フィーチャエッジの画質に関係する特徴が使用され得る。選択された第 1 の平行フィーチャエッジセットの画像は、フィーチャエッジの鮮明さを向上させるように構成された画像処理ステップを受け得る。例えば、処理は、連結成分分析を行うことにより偽エッジを抑制することができ、及び RANSAC (random sample consensus) アルゴリズムを使用することにより、セットにおいてフィーチャエッジの一部を形成しない誤った画像点を除去することができる。

10

【 0 0 2 7 】

次いで、プロセスは、ブロック 3 2 0 における第 1 の平行フィーチャエッジセットの基準消失点の決定に移る。基準消失点は、射影基準系上に位置する。射影基準系は、画像フレームに現れる二次元画像平面、又は実世界の三次元点を二次元画像平面に射影する過程に關与する中間射影基準系を指し得る。例えば、球カメラモデル画像センサの場合、二次元画像への実世界の三次元点のマッピングは、2 つの射影ステップを伴う。1 つ目は、単位球上の点への三次元点の射影であり、2 つ目は、単位球からセンサの画像平面への透視射影である。この場合、単位球及び画像平面の両方が、射影基準系として機能し得る。図 4 A は、一对の平行縦方向フィーチャエッジ (4 1 0 a、4 1 0 b) を含む第 1 の平行フィーチャエッジセット 4 1 0 の例示的な実際のビューを示す。ある実装では、縦方向フィーチャエッジは、図 2 に示される車線標示 2 4 0 a 及び 2 4 0 b などの車線標示の 2 つの平行トラックの一部を形成する。図 4 B は、魚眼レンズを使用した画像センサなどの、球カメラモデルを使用してモデリングされ得る画像センサによって捕捉されたときの図 4 A における第 1 の平行フィーチャエッジセットの対応画像 4 2 0 である。球カメラモデルに基づく画像センサの場合、実世界の直線は、非線形歪みにより円の一部として近似され得る円すい曲線として画像平面に射影されることが分かっている。これは、図 4 A の直線の第 1 及び第 2 のフィーチャエッジ (4 1 0 a、4 1 0 b) が、魚眼画像平面において円すい曲線 (4 2 0 a、4 2 0 b) として射影される図 4 B に示される。

20

30

【 0 0 2 8 】

画像センサが球カメラモデルに基づくある実装では、画像平面における第 1 の平行フィーチャエッジセットの基準消失点は、円を第 1 及び第 2 のフィーチャエッジの魚眼画像 (4 2 0 a、4 2 0 b) にフィッティングさせ、及び 2 つの円間の交点を求めることによって決定され得る。基準消失点を導出するために、逆魚眼マッピングなどの他の方法も使用され得る。第 1 及び第 2 のフィーチャエッジが実世界座標において平行でない場合には、それらは、最大でも 1 つの点で交差し、2 つの点では交差ししない。この理論は、第 1 の平行フィーチャエッジセットのフィーチャエッジが平行であるかどうかを決定するための手段としても使用され得る。一例として図 4 A 及び図 4 B の一对の平行縦方向フィーチャエッジを使用して、第 1 の円 (5 2 0 a) が第 1 のフィーチャエッジの画像 (4 2 0 a) にフィッティングされ、第 2 の円 (5 2 0 b) が第 2 のフィーチャエッジの画像 (4 2 0 b) にフィッティングされる。第 1 及び第 2 のフィーチャエッジの画像は、図 5 において白色の曲線として示される。各円の半径及び中心は、各フィーチャエッジの画像点の大部分

40

50

が円上に位置するように選ばれる。このために、画像点の最低閾値割合が設定され得る。例えば、円は、フィーチャエッジ（例えば、図4Bにおける420a、420b）からの画像点の95%以上が円上に収まるようにフィッティングされ得る。幾つかの実装では、勾配降下手法を使用することにより、最大数の画像点に最も良く適合する円を求めることができる。この手法は、半径 R_j 及び中心 u_{0j} 及び v_{0j} のフィッティングされた円に対するフィーチャエッジを形成する各画像点の誤差関数が、円の中心までの各画像点のユークリッド距離によって定義され、及び円の半径によってバイアスがかけられるLoss関数(L)を使用する。各画像点の誤差が計算され、及び合計される。

【数1】

$$\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N |er_{ij}| \cdot ((u_{ij} - u_{0j})^2 + (v_{ji} - v_{0j})^2 - R_j^2)^2 \quad \text{----- (1)} \quad 10$$

式中、 (u_{ij}, v_{ij}) は、平行フィーチャエッジ上のi、jにおける画像点であり、 (u_{0j}, v_{0j}) 及び R_j は、それぞれフィッティングされた円の中心及び半径である。

【0029】

最初に、第1の反復において、中心 (u_0, v_0) 及び半径 (R_0) を有する円から開始して、式(1)を使用してLoss関数(L)を計算する。誤差関数(この例では、これはLoss関数(L)である)が閾値限度内となるように、誤差関数を最小にする、又は減少させる中心及び半径を有する円を取得するまで、同じことを円の中心の場所及びその半径を変えることにより反復的に繰り返す。閾値限度は、円上に位置すべき画像点の閾値割合に基づいて定義され得る。Loss関数以外に、円のフィッティングを行う他の公式も適し得ることが当業者には認識されるだろう。図5は、第1及び第2の円(520a、520b)が、それぞれ第1及び第2のフィーチャエッジ(420a、420b)の画像点にフィッティングされる例を示す。第1及び第2の円を第1及び第2のフィーチャエッジにフィッティングさせた後に、第1及び第2の円が交差する場所を決定することによって、第1の平行フィーチャエッジセットの基準消失点が導出され得る。例えば、図4~5の図示では、消失点は、参照番号540及び560によって示される点に位置する。ある実装では、基準消失点 $[v_{11} \ v_{12}]^T$ 及び $[v_{h1} \ v_{h2}]^T$ は、以下の円方程式が満たされる $[v_{11} \ v_{12}]^T$ 及び $[v_{h1} \ v_{h2}]^T$ の値を求めることにより決定され得る。

$$(u - u_{01})^2 + (v - v_{01})^2 - R_{01}^2 = 0 \quad \text{--- (2)}$$

$$(u - u_{02})^2 + (v - v_{02})^2 - R_{02}^2 = 0 \quad \text{--- (3)}$$

$(u_{01}, v_{01}), R_1$ = 第1の円の中心及び半径

$(u_{02}, v_{02}), R_2$ = 第2の円の中心及び半径

【0030】

基準消失点の決定後に、本方法は、第1の平行フィーチャエッジセットと平行な地面平面上の第2の平行フィーチャエッジセットが選択されるブロック330に移る。第2の平行フィーチャエッジセットは、実世界に存在する実際のフィーチャエッジ、又は仮想フィーチャエッジでもよい。図6は、第2の平行フィーチャエッジセットの仮想フィーチャエッジを選択する例示的方法を示す。2つの平行車線標示(620、640)の形式の第1の平行フィーチャエッジセットを含む路面又は地面平面610が示されている。説明のために、画像センサが、車両の縦軸に沿って延在するx軸、2つのサイドホイールをつなぐ車軸などの車両の横軸に沿って延在するy軸、及びx軸及びy軸と垂直に紙面から外れて延在するz軸を含む車両座標系を有する車両660に取り付けられると仮定する。車両座標系に対する車線標示の少なくとも一方(例えば、620)上の2点以上の実世界座標は、画像フレームから導出される。地面平面610上に位置し、且つ車線標示(620、640)に平行な第2の平行フィーチャエッジセットは、車両のy軸に沿って車線標示の少なくとも一方(例えば620)上の点の座標をシフトすることによって導出され得る。説明のために、第1の車線標示620が、座標 $(x = -100, y = 0, z = 0)$ を有する点620aと、座標 $(x = -10, y = 0, z = 0)$ を有する別の点620bとを含むと

仮定する。第2の平行フィーチャエッジセットに属する第3のフィーチャエッジは、車両座標系のy軸に沿って点620a及び620bをシフトすることによって取得され得る。前述の通り、車両のステアリング角及び/又はホイール角がゼロに近ければ、車線標示(620、640)は、車両座標系のx軸と平行となる。従って、x及びz座標は一定に維持しながら車両座標系のy軸に沿って移動することにより、第1の車線標示620と平行な線を通る点を取得することができる。この原理を図6の例に適用して、車線標示620上の点620a及び620bをy軸に沿ってシフトし、その結果、それぞれ座標(x = -100、y = 50、z = 0)及び座標(x = -10、y = 50、z = 0)を有する点670a及び670bを取得することによって、第2の平行フィーチャエッジセットの第3のフィーチャエッジ670が導出される。車線標示620と平行な第3のフィーチャエッジ670は、点670a及び670bを通る。同様に、第2の平行フィーチャエッジセットの第4のフィーチャエッジ680は、図6において参照番号680a及び680bで表される点(x = -100、y = 150、z = 0)及び(x = -10、y = 150、z = 0)を通る線として定義され得る。点680a及び680bは、車両座標系のy軸に沿って点620a及び620bを変位させることによって取得され得る。

10

【0031】

ブロック330において第2の平行フィーチャエッジセットを選択した後に、本方法は、プロセッサが、画像センサの既存の射影行列に基づいて、第2の平行フィーチャエッジセットからの複数の点を画像センサの射影基準系上に射影するブロック340に移る。この目的のために、Cam2アルゴリズムなどの知られているモデリングソフトウェアが使用され得る。ここでの目的は、第2の平行フィーチャエッジセットの消失点と、基準消失点との間の偏差をチェックすることであるので、第2の平行フィーチャエッジセットからの点が、対して基準消失点が導出されたものと同じになる射影基準系。例えば、図4~5の例では、基準消失点は、画像平面に対してブロック320に導出される。従って、第2の平行フィーチャエッジセットからの点も、画像平面上の第2の消失点が決定され得るように、ブロック340において画像平面上に射影される。画像センサの射影行列は、一般に、画像センサの内因性パラメータ及び外因性パラメータを用いて表される。これが射影基準系上への1回目の射影である場合には、最後の既知の内因性パラメータ及び外因性パラメータに基づく既存の射影行列が、第2の平行フィーチャエッジセットの射影を行うために使用される。図4~5と同じ球カメラモデル画像センサ例を使用して、第2の平行フィーチャエッジセットからの複数の点を画像センサの画像平面上に射影することにより、円の一部分として近似され得る円すい曲線として現れる第3及び第4のフィーチャエッジ(770、780)の画像がもたらされる(図7を参照)。

20

30

【0032】

ブロック350では、プロセッサは、第2の平行フィーチャエッジセットに関して、射影基準系上に位置する第2の消失点を決定する。図4~5の例に戻り、画像センサが球カメラモデルに基づくので、第2の平行フィーチャエッジセットの消失点も、円を第3及び第4のフィーチャエッジ(770、780)の画像点にフィッティングさせることにより、導出され得る。第1の平行フィーチャエッジセットに関連する第1及び第2の円を導出するために使用されたのと同じ円フィッティング手法が、ここでも展開され得る。式4は、第1の反復においてフィッティングされた円及び半径に適用されたLoss関数を示す。

40

【数2】

$$L_R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m e_{r_{ij}} \cdot ((ur_{ij} - ur_0)^2 + (vr_{ij} - vr_0)^2 + Rr_0^2) \text{----- (4)}$$

式中、

(ur_{ij}、vr_{ij})は、i、jにおける射影されたフィーチャエッジの画像点であり、
(ur₀、vr₀)及びRr₀は、それぞれ第1の反復におけるフィッティングされた円

50

の中心及び半径である。

【0033】

図7は、それぞれ第3及び第4のフィーチャエッジ(770、780)の画像点へのフィッティングにより取得された第3の円775及び第4の円785を示す。第3及び第4のフィーチャエッジが平行であるので、第3及び第4の円は、画像平面上の第2の平行フィーチャエッジセットの消失点(すなわち、第2の消失点)に対応する点790及び792において交差する。同様に、第2の消失点は、ブロック320で基準消失点を導出するための円方程式に類似した円方程式を解くことによって取得され得る。例として、第2の消失点 $[v_{r11} \ v_{r12}]^T$ 及び $[v_{rh1} \ v_{rh2}]^T$ は、以下の円方程式を解くことによって決定され得る。

$(u - u_{01})^2 + (v - v_{01})^2 - r_{r01}^2 = 0 \dots (5)$

$(u - u_{r02})^2 + (v - v_{r02})^2 - r_{r02}^2 = 0 \dots (6)$

$(u_{r01}, v_{r01})、r_{r1}$ = 第3の円の中心及び半径

$(u_{r02}, v_{r02})、r_{r2}$ = 第4の円の中心及び半径

【0034】

第2の消失点の決定後に、本方法は、ブロック360において、基準消失点からの第2の消失点の差異をチェックする。前述の消失点概念に基づき、第1及び第2の平行フィーチャエッジセットの消失点は、実世界においてそれらのフィーチャエッジが全て互いに平行であるので、一致するはずである。しかし、第2の平行フィーチャエッジセットからの点を射影基準系上に射影するために使用される射影行列に誤差がある場合には、第2の平行フィーチャエッジセットは、もはや、画像平面の第1のセット又は使用されるその他の射影基準系と平行ではなくなる。従って、第2の消失点は、基準消失点と一致しない。例えば、図7では、第2の平行フィーチャエッジセットからの点を射影することによりブロック350で導出された第2の消失点(790、792)、及びブロック330で導出された基準消失点(540、560)は、実世界の状況で第1及び第2の平行フィーチャエッジセットが互いに平行であるように第2の平行フィーチャエッジセットが選択されたにもかかわらず、一致しない。このような消失点の場所の偏差は、既存の射影行列の誤差を表す。次いで、本方法は、基準消失点の場所からの第2の消失点の場所の偏差が、許容可能な所定の限度内にあるかどうかをチェックする決定ブロック370に移る。差異が許容可能な所定の限度外である場合には、本方法は、ブロック340に戻り、第2の消失点の場所の偏差が許容可能な所定の限度内に入るまでブロック340~360を繰り返す前に、外因性パラメータの1つ又は複数を調整することによって、既存の射影行列が修正されるステップ380へと進む。ここでの仮定は、射影行列における誤差が、焦点距離や光学的中心などの内因性パラメータ値ではなく1つ又は複数の外因性パラメータのシフトに起因するということである。一方、基準消失点と第2の消失点との間の差異が所定の限度内である場合には、相違が元々許容可能な限度内にあるため、或いは1つ又は複数の外因性パラメータ値の調整後に相違が許容可能な限度内となったため、プロセスは、ブロック390に進む。

【0035】

基準消失点及び第2の消失点が円フィッティングによって導出される幾つかの球カメラ画像センサの実装では、基準消失点と第2の消失点との間の差異を減少させるプロセスは、基準消失点(540、560)をつなぐ第1の接続線(R)、及び第2の消失点(790、792)をつなぐ第2の接続線(S)を引くことを含み得る。図4~5及び図7に示す例に戻り、第1の接続線Rの式は、

【数3】

$(u - v_{l2}) = \frac{(v_{l2} - v_{h2})}{(v_{l1} - v_{h1})} \cdot (v - v_{l1}) \dots (7)$

として表すことができ、及び第1の接続線の勾配は、

10

20

30

40

【数4】

$$\frac{(v_{l2}-v_{h2})}{(v_{l1}-v_{h1})} \text{-----} (8)$$

として表すことができる。

同様に、第2の接続線Sの式は、

【数5】

$$(u - vr_{l2}) = \frac{(vr_{l2}-vr_{h2})}{(vr_{l1}-vr_{h1})} \cdot (v - vr_{l1}) \text{-----} (9)$$

として表すことができ、及び第2の接続線の勾配は、

【数6】

$$\frac{(vr_{l2}-vr_{h2})}{(vr_{l1}-vr_{h1})} \text{-----} (10)$$

10

として表すことができる。

【0036】

別の任意の変形形態では、1つ又は複数の外因性パラメータは、第2の接続線と第1の接続線との間の勾配の違いを減少させるように最初に調整される。ここでの狙いは、第2の接続線の勾配を第1の接続線の勾配と一致させることである。減少させる第2の接続線の全傾斜誤差は、

【数7】

$$\left| \frac{(v_{l2}-v_{h2})}{(v_{l1}-v_{h1})} - \frac{(vr_{l2}-vr_{h2})}{(vr_{l1}-vr_{h1})} \right| \text{-----} (11)$$

20

として表すことができる。

【0037】

向き関連外因性パラメータの変化は、第2の接続線の傾斜の変化として現れる傾向があるが、並進関連外因性パラメータの変化は、第2の接続線の傾斜にあまり影響を与えないことを本発明者は発見した。従って、好適な実施形態では、勾配を一致させる目的で1つ又は複数の外因性パラメータを調整することは、好ましくは、1つ又は複数の向き関連外因性パラメータの調整を伴う。第2の接続線と第1の接続線との間の勾配偏差が、勾配限度内にある場合には、第2の接続線の場所及び/又は長さは、外因性パラメータの1つ又は複数を調整することによって、第1の接続線のものと同じように調整され得る。好ましくは、調整される外因性パラメータは、並進関連のものである。特に、y及びz並進外因性パラメータの変化は、第1の接続線と第2の接続線との間の場所の相違を生じさせる傾向があることを本発明者は発見した。一方、x並進外因性パラメータは、第2の接続線の長さが第1の接続線の長さから逸脱することを生じさせる傾向がある。

30

【0038】

第2の接続線と第1の接続線との間の勾配偏差を減少させるために行われる調整(もしあれば)の結果、第1及び第2の接続線が互いに実質的に平行となり、そのため、これらの間の距離は、これら2つの間の垂直距離として近似され得る。また、勾配偏差を減少させるように第2の接続線を調整した結果、第2の消失点の場所が、u方向に沿ってuの距離、及びv方向に沿ってvの距離だけ移動する。従って、新しい第2の消失点のセットは、 $[vr_{l1} + u_{l1} \quad vr_{l2} + v_{l1}]^T$ 及び $[vr_{h1} + u_{l2} \quad vr_{h2} + v_{l2}]^T$ である。従って、基準消失線と、勾配調整後の新しい第2の接続線との間の距離は、消失線対に対応するユークリッド距離によって近似され得る。例えば、図7の基準消失点540を上側基準消失点と呼び、第2の消失点790を上側第2の消失点と呼ぶ場合、それらと新しい第2の消失点のセットとの間の誤差関数の相違は、

40

$$(vr_{l1} + u_{l1} - v_{l1})^2 + (vr_{l2} + v_{l1} - v_{l2})^2 \text{---} (12)$$

として表すことができる。

【0039】

この距離は、y及びz並進外因性パラメータを再帰的に異ならせることによって減少さ

50

れ得る。距離偏差が許容可能な誤差の範囲内であれば、第1の接続線及び調整された第2の接続線の長さは、好ましくは、長さの相違を最小にする、又は許容可能なレベルにまで減少させるように、x並進外因性パラメータを調整することによって調整され得る。第1及び第2の接続線の長さは、以下の式(13)及び(14)に示される公式によって表され得る。第2の接続線上の座標は、第1の接続線と第2の接続線との間の勾配及び/又は場所の偏差に関する以前の調整後のものである。

第1の接続線の長さは、

【数8】

$$l_1 = \sqrt{(u_{l1} - u_{l2})^2 + (v_{l1} - v_{l2})^2} \quad \text{---- (13)}$$

10

であり、

第2の接続線の長さは、

【数9】

$$l_2 = \sqrt{(ur_{l1} - ur_{l2})^2 + (vr_{l1} - vr_{l2})^2} \quad \text{----- (14)}$$

である。

【0040】

従って、長さの偏差は、 l_1 と l_2 との間の絶対差として表現され得る。基準消失点からの第2の消失点の偏差が所定の限度内にある場合には、プロセスは、ブロック390に進む。本方法は、ブロック390で終了する。1つ又は複数の外因性パラメータが変化した場合には、ブロック340~360の再帰的実行によって導出された1つ又は複数の訂正外因性パラメータが、射影行列で使用される新しい外因性パラメータ値となる。

20

【0041】

前述の通り、射影基準系は、中間射影基準系であってもよい。例えば、球カメラモデルによれば、二次元画像への実世界の三次元点のマッピングは、単位球上の点への三次元点の第1の射影、及び単位球からセンサの画像平面への第2の透視射影を含む。従って、球カメラモデルを使用してモデリングされ得る画像センサは、射影基準系として、画像平面又は単位球を使用し得る。単位球上の基準消失点の場所は、第1の平行フィーチャエッジセットのピクセルマッピング画像点によって導出され得る。図8Aは、第1の平行フィーチャエッジセットにおける第1及び第2の平行フィーチャエッジに関連する画像点が第1及び第2の円(820a、820b)として円フィッティングによりピクセルごとに単位球上にマッピングされる単位球810の一例を示す。球カメラモデル下で、直線は、円として単位球の表面上に射影され、平行線は、単位球上でこれらの円が交差する場所に対応する2つの消失点で交差する。従って、図8Aでは、第1及び第2のフィーチャエッジの消失点は、第1及び第2の円が交差する点822及び826に位置する。図8Bは、画像センサの既存の射影行列に基づいて、実世界座標による第3及び第4の平行フィーチャエッジからの複数の点を単位球810上に射影することによって取得された白色の第3及び第4の円(850a、850b)を示す。射影のために、cam2モジュールが使用され得る。第3及び第4のフィーチャエッジは、第1の平行フィーチャエッジセットと平行な第2の平行フィーチャエッジセットを形成する。単位球上で第3及び第4の円(850a、850b)が交差する点は、単位球射影基準系上の第2の平行フィーチャエッジセットの第2の消失点(852、856)に対応する。図8Bの例では、第2の消失点(852、856)は、基準消失点(822、826)とは場所が異なる。これは、画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータが、その既存値から離れ、その結果、射影行列の精度に影響を与えることを示す。自動外因性パラメータ較正プロセスは、図3の方法におけるブロック360と同様に、それらの相違が許容可能な所定の限度内にあるかどうかをチェックするとともに、1つ又は複数の外因性パラメータを再帰的に調整し、及び第2の消失点の新しい場所をチェックすることによって、それらが許容可能な所定の限度内となるまで、それらの相違を減少させ得る。幾つかの実装では、それぞれ基準消失点(822、826)及び第2の消失点(852、856)を接続する第1及び第2の接続線(R、S)が

30

40

50

描かれ得る。次いで、基準消失点と第2の消失点との間の場所の相違が、最初に、第1の接続線(R)の長さからの第2の接続線(S)の長さの偏差を減少させ、次に、接続線(R、S)間の角度を減少させることによって減少され得る。第2の接続線(S)の長さは、z並進外因性パラメータを調整することによって第1の接続線の長さとも一致させられ、向き関連外因性パラメータは、許容可能な誤差の範囲内に角度を減少させるように調整され得る。

【0042】

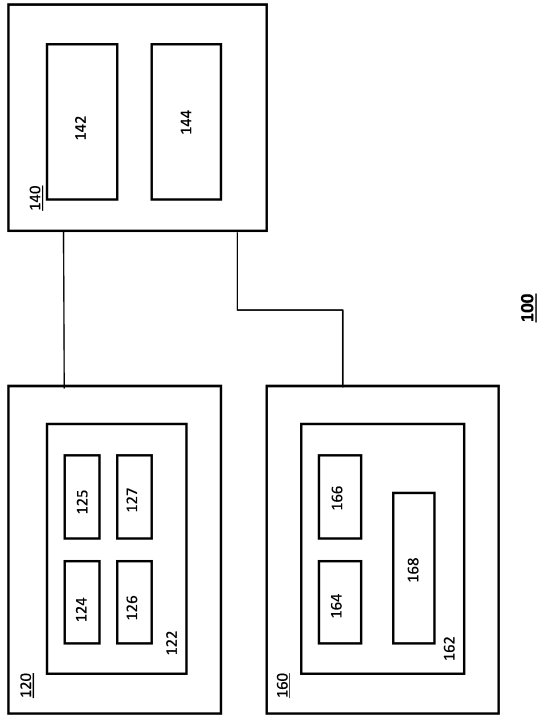
様々な局面及び実装をここに開示したが、他の局面及び実装が、当業者には明らかとなるだろう。例えば、上記の説明は、車両プラットフォーム上に取り付けられた画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するために適用された本開示を示すが、画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するための較正方法及びデバイスは、固定型、可動型、自律性、或いは非自律性を問わず他のタイプのプラットフォームに取り付けられた画像センサにも適用され得る。本明細書に開示の様々な局面及び実装は、例示を目的としており、限定であることを意図したものではなく、真の範囲及び精神は、以下の特許請求の範囲、並びにその特許請求の範囲が権利を有する均等物の全範囲によって示される。また、本明細書で使用用語は、単に特定の実装を説明する目的のものであり、限定であることを意図したものではないことが理解されるものとする。

【符号の説明】

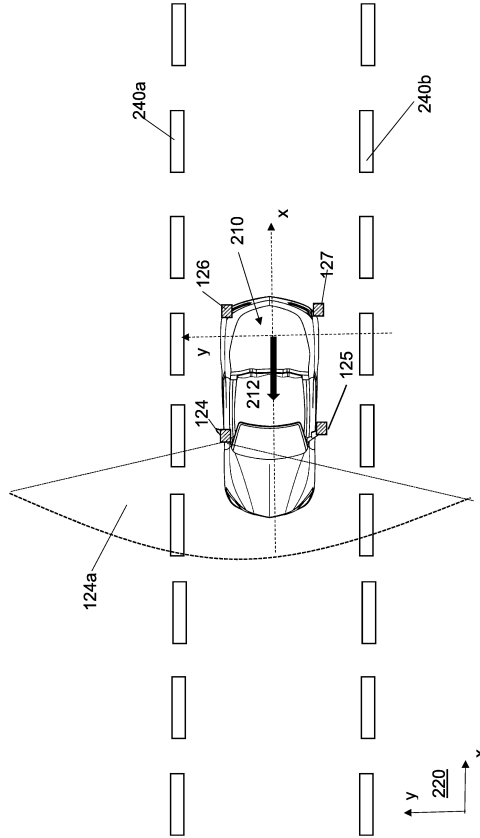
【0043】

- | | | |
|-----------------|---------------------------------|----|
| 300 | 画像センサの1つ又は複数の外因性パラメータを較正するための方法 | 20 |
| 124、125、126、127 | 画像センサ | |
| 410 | 第1の平行フィーチャエッジセット | |
| 822、826 | 基準消失点 | |
| 790、792、852、856 | 第2の消失点 | |
| 520a、820a | 第1の円 | |
| 520b、820b | 第2の円 | |
| 420a | 第1のフィーチャエッジ | |
| 420b | 第2のフィーチャエッジ | |
| 775 | 第3の円 | |
| 785 | 第4の円 | 30 |
| 670、770 | 第3のフィーチャエッジ | |
| 680、780 | 第4のフィーチャエッジ | |
| L | Loss関数 | |
| R | 第1の接続線 | |
| S | 第2の接続線 | |
| 810 | 単位球 | |
| 210、660 | 車両 | |
| 142 | プロセッサ | |
| 144 | メモリ | |

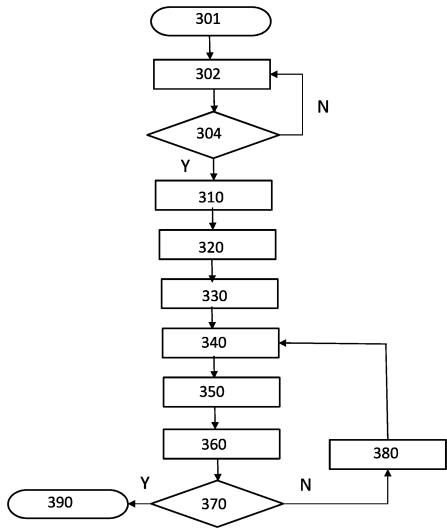
【 図 1 】



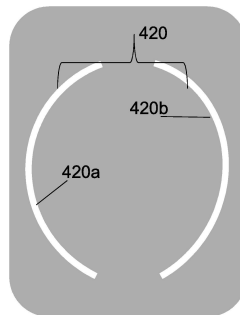
【 図 2 】



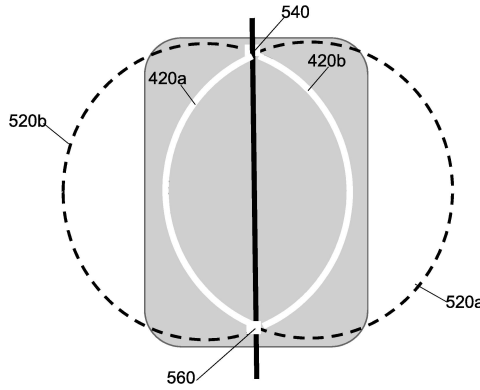
【 図 3 】



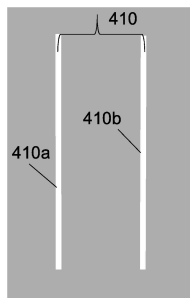
【 図 4 B 】



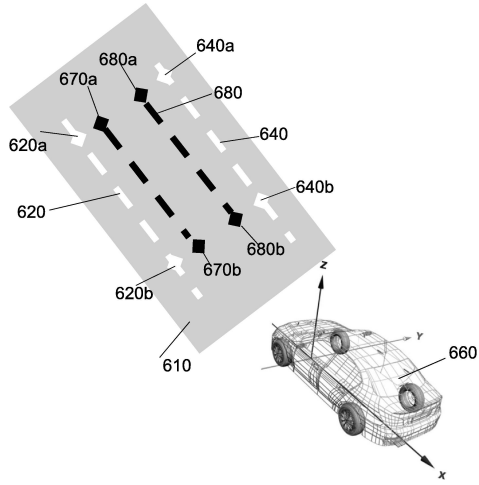
【 図 5 】



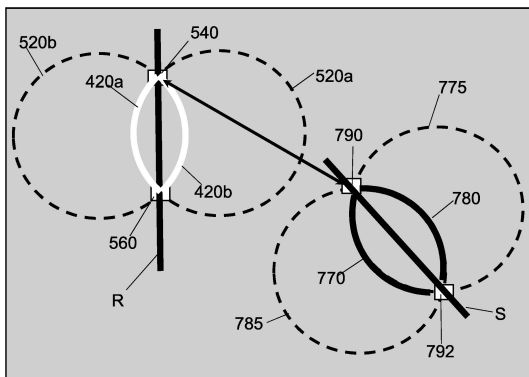
【 図 4 A 】



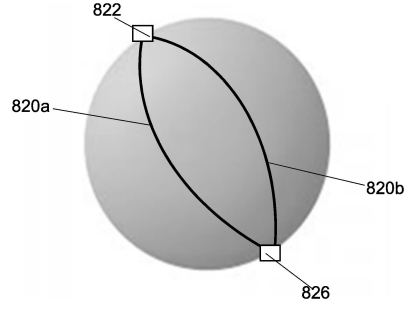
【 図 6 】



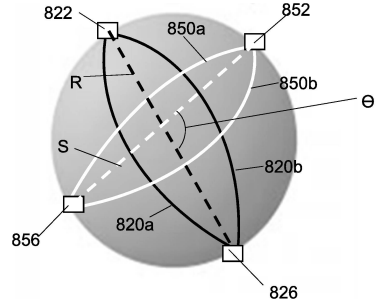
【 図 7 】



【 図 8 A 】



【 図 8 B 】



フロントページの続き

(74)代理人 100191835

弁理士 中村 真介

(74)代理人 100208258

弁理士 鈴木 友子

(72)発明者 スリージート・マルッカセリー

シンガポール共和国、339780 シンガポール、ブーン・ケン・ロード、80、コンチネンタル・ビルディング、ケア・オブ・コンチネンタル・オートモーティブ・シンガポール・プライベート・リミテッド、インテレクチュアル・プロパティ

審査官 高野 美帆子

(56)参考文献 国際公開第2010/146695(WO, A1)

特開2011-215063(JP, A)

特開2008-269139(JP, A)

国際公開第2017/122552(WO, A1)

米国特許出願公開第2016/0227207(US, A1)

米国特許出願公開第2010/0322476(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 7/80

H04N 5/222 - 5/257