

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4886302号
(P4886302)

(45) 発行日 平成24年2月29日(2012.2.29)

(24) 登録日 平成23年12月16日(2011.12.16)

(51) Int. Cl. F I
G05D 1/02 (2006.01) G O 5 D 1/02 K
G09B 29/00 (2006.01) G O 9 B 29/00 Z

請求項の数 24 (全 41 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-16141 (P2006-16141) (22) 出願日 平成18年1月25日(2006.1.25) (65) 公開番号 特開2006-209770 (P2006-209770A) (43) 公開日 平成18年8月10日(2006.8.10) 審査請求日 平成18年9月28日(2006.9.28) (31) 優先権主張番号 10-2005-0006573 (32) 優先日 平成17年1月25日(2005.1.25) (33) 優先権主張国 韓国 (KR)</p>	<p>(73) 特許権者 390019839 三星電子株式会社 Samsung Electronics Co., Ltd. 大韓民国京畿道水原市靈通区梅灘洞416 416, Maetan-dong, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea (74) 代理人 100121382 弁理士 山下 託嗣 (74) 代理人 100094145 弁理士 小野 由己男 (74) 代理人 100106367 弁理士 稲積 朋子</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 移動体の位置の推定及び地図の生成装置とその方法、並びにその装置を制御するコンピュータプログラムを保存するコンピュータで読み取り可能な記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

移動体に付着されたカメラを用いて前記移動体の位置した環境の上部を撮影して獲得した現在上部映像で、コーナーを表すコーナー点を検出する映像特徴情報抽出部と、

前記現在上部映像以前に獲得された以前上部映像よりも以前にあらかじめ登録されたランドマーク及びランドマーク候補のうち、前記以前上部映像に属するランドマーク及びランドマーク候補に対して、前記現在上部映像での位置を予測するランドマーク及びランドマーク候補予測部と、

前記予測されたランドマーク及びランドマーク候補と前記検出されたコーナー点との距離を比較し、前記以前上部映像で、前記ランドマークでも前記ランドマーク候補でもないコーナー点をランドマーク候補と登録するか、または前記ランドマークまたは前記ランドマーク候補が検出された回数を示すフラグをアップカウンティングする観測及び登録部と、

前記登録されたランドマーク候補のうち、前記フラグを参照して所定回数以上コーナー点として検出されたランドマーク候補をランドマークと登録するランドマーク登録部と、

前記登録されたランドマークから前記移動体の位置を推定し、かつ地図を生成する位置及び地図演算部と、

を備え、

前記観測及び登録部は、

前記コーナー点のそれぞれに対して、前記コーナー点と最も近い予測ランドマークやラ

ンドマーク候補を探すランドマーク及びランドマーク候補検索部と、

前記コーナー点のそれぞれに対して、前記コーナー点と前記検出されたランドマークやランドマーク候補との間の距離を計算する第1距離計算部と、

前記第1距離計算部で計算された距離と第1所定距離とを比較する第1比較部と、

前記第1比較部で比較された結果によって前記第1距離計算部で計算された距離が前記第1所定距離以下である場合、前記コーナー点の映像特徴周辺記述子と、前記検出されたランドマークやランドマーク候補の映像特徴周辺記述子との間の距離を計算する第2距離計算部と、

前記第2距離計算部で計算された距離と第2所定距離とを比較する第2比較部と、

前記第2比較部で比較された結果によって前記第2距離計算部で計算された距離が前記第2所定距離以下である場合、前記コーナー点と最も近い位置に前記ランドマークが存在するか、それとも前記ランドマーク候補が存在するかを識別するランドマーク及びランドマーク候補識別部と、

前記識別された結果によって、ランドマークが存在すると識別された場合、前記ランドマークが検出された回数を示すランドマークフラグをアップカウンティングし、ランドマーク候補が存在すると識別された場合、前記ランドマーク候補が検出された回数を表すランドマーク候補フラグをアップカウンティングするカウンターと、

前記第1比較部及び前記第2比較部で比較された結果によって、前記第1距離計算部で計算された距離が前記第1所定距離より大きいか、または前記第2距離計算部で計算された距離が前記第2所定距離より大きい場合、前記コーナー点のうち、前記以前上部映像で前記ランドマークでもなく、前記ランドマーク候補でもなかったコーナー点を、前記新たなランドマーク候補として見つけ、検出された前記新たなランドマーク候補を登録するランドマーク候補初期化部と、を備えることを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置。

【請求項2】

前記移動体が位置した環境の上部映像を獲得する映像獲得部と、

前記映像獲得部から入力した前記獲得された映像をバッファリングし、バッファリングされた結果を前記以前上部映像として出力する映像バッファと、

をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置。

【請求項3】

前記映像獲得部は、

前記移動体の位置した環境の前記上部映像を獲得する上部映像獲得部と、

前記獲得された上部映像の歪曲を補正する歪曲補正部と、を備えることを特徴とする請求項2に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置。

【請求項4】

前記映像獲得部は、

前記移動体の位置した環境の前記上部映像を獲得する上部映像獲得部と、

前記獲得された上部映像を低域通過フィルタリングする低域通過フィルタと、を備えることを特徴とする請求項2に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置。

【請求項5】

前記映像獲得部は、

前記歪曲が補正された結果を低域通過フィルタリングする低域通過フィルタをさらに備えることを特徴とする請求項3に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置。

【請求項6】

前記歪曲補正部は、

前記獲得された上部映像で関心領域を設定し、設定された関心領域のみに対して前記歪曲を補正することを特徴とする請求項3に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及

10

20

30

40

50

び地図の生成装置。

【請求項 7】

前記映像特徴情報抽出部は、

前記現在上部映像で前記コーナ点を検出し、前記検出されたコーナ点の座標を出力するコーナ点検出部と、

前記検出されたコーナ点の周辺の映像を分析し、前記分析された結果から前記コーナ点別に前記映像特徴周辺記述子を演算する記述子演算部と、を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置。

【請求項 8】

前記コーナ点検出部は、下記式の R 値が 0 より大きく、R 値が局所最大点となる点を前記コーナ点として決定することを特徴とする請求項 7 に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置：

【数 1】

$$R = \det(M) - k(\text{tr}(M))^2$$

(ここで、tr は、トレース演算を表し、det は、行列式演算を表し、M は、下記の通りであり、

$$M = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I'}{\partial x}\right)^2 & \left(\frac{\partial I'}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I'}{\partial y}\right) \\ \left(\frac{\partial I'}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I'}{\partial y}\right) & \left(\frac{\partial I'}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix}$$

(x, y) は、前記現在上部映像の映像座標系に対する座標を表し、I' は、前記現在上部映像の輝度強度を表す)。

【請求項 9】

前記記述子演算部で演算される前記映像特徴周辺記述子は、スケール不変特徴変換記述子であることを特徴とする請求項 7 に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置。

【請求項 10】

前記ランドマーク及びランドマーク候補予測部は、

前記以前上部映像よりも以前に予め登録された前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補の位置の 3 次元座標を、前記以前上部映像が入力された時の前記移動体の位置及び方位角を利用して、前記以前上部映像の映像座標系を基準に 2 次元に変換する映像座標変換部と、

前記映像座標変換部から入力した変換された 2 次元座標を有する前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補のうち、前記以前上部映像に属する前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補のみを選択する選択部と、

前記映像獲得部から入力した前記現在上部映像と、前記映像バッファから入力した前記以前上部映像との間の変化量を、前記選択された結果について計算し、前記計算された変化量を利用して、前記現在上部映像にある前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補を予測する位置予測部と、を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置。

【請求項 11】

前記位置予測部は、

オプティカルフロートラッカーを利用して、前記現在上部映像にある前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補の位置を予測することを特徴とする請求項 10 に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置。

【請求項 12】

前記登録されたランドマーク候補のうち、互いに重複しているランドマーク候補を除去し、重複していないランドマーク候補の 2 次元映像座標から高さ情報を抽出して 3 次元映

10

20

30

40

50

像座標を推定するランドマーク候補処理部をさらに備え、

前記ランドマーク登録部は、前記重複していないランドマーク候補のうち、前記所定回数以上前記コーナー点として検出されたランドマーク候補を前記ランドマークとして登録することを特徴とする請求項1に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置。

【請求項13】

前記ランドマーク候補処理部は、

前記登録されたランドマーク候補のそれぞれに対して、最も近いランドマーク候補間の最小距離を計算する第3距離計算部と、

前記各最小距離と第3所定距離とを比較する第3比較部と、

前記第3比較部で比較された結果によって、前記各最小距離が前記第3所定距離以下である場合、前記各ランドマーク候補が重複していると決定し、重複しているランドマーク候補を除去するランドマーク候補除去部と、

前記第3比較部で比較された結果によって、前記各最小距離が前記第3所定距離より大きい場合、前記各ランドマーク候補が重複していないと決定し、前記重複していないランドマーク候補の3次元映像座標を推定する座標推定部と、を備えることを特徴とする請求項12に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置。

【請求項14】

前記位置及び地図演算部は、拡張されたカルマンフィルタを利用して、前記ランドマークから前記移動体の前記位置を推定し、かつ前記地図を生成することを特徴とする請求項1に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置。

【請求項15】

移動体に付着されたカメラを用いて前記移動体の位置した環境の上部を撮影して獲得した現在上部映像でコーナーを表すコーナー点を検出するステップと、

前記現在上部映像以前に獲得された以前上部映像よりも以前にあらかじめ登録されたランドマーク及びランドマーク候補のうち、前記以前上部映像に属するランドマーク及びランドマーク候補に対して前記現在上部映像での位置を予測するステップと、

前記予測されたランドマーク及びランドマーク候補と前記検出されたコーナー点との距離を比較し、前記以前上部映像で前記ランドマークでもなく前記ランドマーク候補でもなかったコーナー点をランドマーク候補として登録するか、または前記ランドマークまたは前記ランドマーク候補が検出された回数を示すフラグをアップカウンティングするステップと、

前記登録されたランドマーク候補のうち、前記フラグを参照して所定回数以上コーナー点として検出されたランドマーク候補をランドマークとして登録するステップと、

前記登録されたランドマークから前記移動体の位置を推定し、かつ地図を生成するステップと、を含み、

前記登録するか、前記アップカウンティングするステップは、

前記コーナー点のそれぞれに対して、前記コーナー点と最も近い予測ランドマークやランドマーク候補を探すステップと、

前記コーナー点のそれぞれに対して、前記コーナー点と前記検出されたランドマークやランドマーク候補との間の距離が第1所定距離以下であるか否かを判断するステップと、

前記コーナー点と前記検出されたランドマークやランドマーク候補との距離が前記第1所定距離以下であるコーナー点のそれぞれに対して、前記コーナー点の映像特徴周辺記述子と、前記検出されたランドマークやランドマーク候補の映像特徴周辺記述子との間の距離が第2所定距離以下であるか否かを判断するステップと、

前記コーナー点の映像特徴周辺記述子と、前記検出されたランドマークやランドマーク候補の映像特徴周辺記述子との間の距離が前記第2所定距離以下であると判断されれば、前記コーナー点と最も近い位置に前記ランドマークが存在するか、それとも前記ランドマーク候補が存在するかを判断するステップと、

前記ランドマークが存在すると判断されれば、前記ランドマークが検出された回数を表

10

20

30

40

50

すランドマークフラグをアップカウンティングするステップと、

前記ランドマーク候補が存在すると判断されれば、前記ランドマーク候補が検出された回数を表すランドマーク候補フラグをアップカウンティングするステップと、

前記検出されたランドマークやランドマーク候補及び前記第 1 所定距離より遠く位置したコーナ点、または前記検出されたランドマークやランドマーク候補の映像特徴周辺記述子及び前記第 2 所定距離より遠く位置した前記映像特徴周辺記述子に該当するコーナ点を、前記新たなランドマーク候補として決定し、決定された前記新たなランドマーク候補を登録するステップと、を含むことを特徴とする移動体の位置推定及び地図生成方法。

【請求項 1 6】

前記移動体の位置した環境の上部映像を獲得するステップと、

前記獲得された映像をバッファリングし、バッファリングされた結果を前記以前上部映像として決定するステップと、をさらに含むことを特徴とする請求項 1 5 に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法。

【請求項 1 7】

前記上部映像を獲得するステップは、

前記移動体の位置した環境の前記上部映像を獲得するステップと、

前記獲得された上部映像の歪曲を補正するステップと、を含むことを特徴とする請求項 1 6 に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法。

【請求項 1 8】

前記上部映像を獲得するステップは、

前記移動体の位置した環境の前記上部映像を獲得するステップと、

前記獲得された上部映像を低域通過フィルタリングするステップと、を含むことを特徴とする請求項 1 6 に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法。

【請求項 1 9】

前記上部映像を獲得するステップは、

前記歪曲が補正された結果を低域通過フィルタリングするステップをさらに含むことを特徴とする請求項 1 7 に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法。

【請求項 2 0】

前記コーナ点を検出するステップは、前記現在上部映像で前記コーナ点を検出し、前記検出されたコーナ点の座標を求め、

前記検出されたコーナ点の周辺に映像を分析し、前記分析された結果を利用して、前記コーナ点別に前記映像特徴周辺記述子を求めるステップを含むことを特徴とする請求項 1 5 に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法。

【請求項 2 1】

前記予測するステップは、

前記以前上部映像よりも以前にあらかじめ登録された前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補の位置の 3 次元座標を、前記以前上部映像が入力された時の前記移動体の位置及び方位角を利用して、前記以前上部映像の映像座標系を基準に 2 次元に変換するステップと、

前記変換された 2 次元座標を有する前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補のうち、前記以前上部映像に属する前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補のみを選択するステップと、

前記現在上部映像と前記以前上部映像との間の変化量を、前記選択された結果について計算し、前記計算された変化量を利用して、前記現在上部映像にある前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補を予測するステップと、を含むことを特徴とする請求項 1 5 に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法。

【請求項 2 2】

前記登録されたランドマーク候補のうち、互いに重複しているランドマーク候補を除去し、重複していないランドマーク候補の 2 次元映像座標から高さ情報を抽出して 3 次元映像座標を推定するステップをさらに備えることを特徴とする請求項 1 5 に記載の上部映像

10

20

30

40

50

を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法。

【請求項 2 3】

前記映像座標を推定するステップは、

前記登録されたランドマーク候補のそれぞれに対して、最も近いランドマーク候補間の最小距離を求めるステップと、

前記最小距離が第 3 所定距離以下であるか否かを判断するステップと、

前記第 3 所定距離以下の最小距離を有するランドマーク候補は互いに重複していると決定し、重複しているランドマーク候補を除去するステップと、

前記第 3 所定距離より遠く離れた最小距離を有するランドマーク候補は互いに重複していないと決定し、前記重複していないランドマーク候補の 3 次元映像座標を推定するステップと、を含むことを特徴とする請求項 2 2 に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法。

10

【請求項 2 4】

請求項 1 5 ~ 2 3 のいずれかに記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法をコンピュータで実行するプログラムを記録したコンピュータで読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、移動体の位置推定及び地図の生成装置とその方法、並びにその装置を制御するコンピュータプログラムを保存するコンピュータで読み取り可能な記録媒体に関する。

20

【背景技術】

【0 0 0 2】

従来、ロボットの地図生成方法は、スキャンマッチング (scan matching) 方式を利用して非常に正確な地図が得られるが、地図を獲得するためにレーザーレンジファインダー (laser range finder) のような非常に高価なセンサーを要求するという問題点がある。このような従来の方法の一つが、非特許文献 1 に発表された論文に開示されている。ここに開示された従来の方法は、レーザーレンジファインダーの他にも、天井映像 (ceiling images) を利用して地図を生成する方法を提案しているが、天井映像を全て完全に保存せねばならないため、多くの演算量を要求するだけでなく、ロボットの位置認識及び地図生成を同時に行えないという問題点がある。従来の方法の他の一つが、非特許文献 2 に発表された論文に開示されている。ここに開示された従来の方法は、主に野外で使用されるように考案された方法であり、地図作成及び位置認識を同時に行えるが、それはまた、高価なレーザーレンジファインダーを利用するという問題点がある。さらに他の従来の方法が、非特許文献 3 に発表された論文及び特許文献 1 に開示されている。ここに開示された従来の方法も、ロボットの位置認識及び地図生成を同時に行えないという問題点を有する。

30

【0 0 0 3】

また、従来、ロボットの位置を認識すると共に地図を生成する方法が、非特許文献 4 に発表された論文に開示されている。ここに、開示された従来の方法は、照明に敏感に影響を受けるといった問題点を有する。さらに他の従来の方法が、非特許文献 5 に発表された論文に開示されている。ここに開示された従来の方法は、2 台のカメラを利用せねばならないだけでなく、照明の変化にも敏感であり、位置及び地図を正確に認識して生成できないという問題点を有する。

40

【特許文献 1】米国特許 US 5,793,934、“Method for the orientation, routepanning and control of an autonomous mobile unit”

【非特許文献 1】“Robust Monte Carlo Localization for Mobile Robots”、S. Thrun、D. Fox、W. Burgard 及び F. Dellaert、Artificial Intelligence, Vol. 128, No. 1~2, 2000、pp.99~141

50

【非特許文献2】“ Simultaneous localization and map building using natural features and absolute information ”、Jose Guivant、Favio Masson及びEduardo Nebot、Robotics and Autonomous Systems, 984 (2002)。pp.1~12

【非特許文献3】“ Visual Correction of Orientation Error for a Mobile Robot ”、S. Lang、F. Yili及びS. K. Tso、Proc. of International Conf. on Intelligent Robots and Systems, 1999、pp.1328~1333

10

【非特許文献4】“ Real-Time 3D SLAM with Wide-Angle Vision ”、Andrew J. Davison、Yolanda Gonzalez Cid及びNobuyuki Kita、Proc. IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles, 2004

【非特許文献5】“ Mobile Robot Localization and Mapping with Uncertainty using Scale-Invariant Visual Landmarks ”、Stephen Se、David Lowe及びJim Little、International Journal of Robotics Research, Volume 21, Number 8, August 2002、pp.735~758

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述のように、非特許文献1の方法では、天井映像を用いることでより演算量が多くなり、ロボットの位置認識及び地図生成を同時に行えない。また、非特許文献2の方法では、地図作成及び位置認識を同時に行えるが、高価なレーザーレンジファインダーが必要となってしまう。非特許文献3及び特許文献1の方法では、ロボットの位置認識及び地図生成を同時に行えないという問題点を有する。非特許文献4の方法では、地図作成及び位置認識を同時に行えるが、照明に対して敏感に影響を受けて位置及び地図を正確に認識して生成できない。さらに、非特許文献5の方法では、2台のカメラを利用せねばならないだけでなく、照明の変化にも敏感であり、位置及び地図を正確に認識して生成できない。

30

【0005】

そこで、本発明が達成しようとする技術的課題は、移動体の位置を正確に認識するとともに地図作成を正確に行うことが可能な移動体の位置推定及び地図の生成装置、その方法、並びにその装置を制御するコンピュータプログラムを保存するコンピュータで読み取り可能な記録媒体を提供するところにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

前記課題を達成するための本願第1発明は、移動体に付着されたカメラを用いて前記移動体の位置した環境の上部を撮影して獲得した現在上部映像で、コーナーを表すコーナー点を検出する映像特徴情報抽出部と、前記現在上部映像以前に獲得された以前上部映像よりも以前にあらかじめ登録されたランドマーク及びランドマーク候補のうち、前記以前上部映像に属するランドマーク及びランドマーク候補に対して、前記現在上部映像での位置を予測するランドマーク及びランドマーク候補予測部と、前記予測されたランドマーク及びランドマーク候補と前記検出されたコーナー点との距離を比較し、前記以前上部映像で、前記ランドマークでも前記ランドマーク候補でもないコーナー点をランドマーク候補と登録するか、または前記ランドマークまたは前記ランドマーク候補が検出された回数を示すフラグをアップカウンティングする観測及び登録部と、前記登録されたランドマーク候補のうち、前記フラグを参照して所定回数以上コーナー点として検出されたランドマー

40

50

ク候補をランドマークと登録するランドマーク登録部と、前記登録されたランドマークから前記移動体の位置を推定し、かつ地図を生成する位置及び地図演算部と、を備えることを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置から構成されることが好ましい。

前記観測及び登録部は、

前記コーナー点のそれぞれに対して、前記コーナー点と最も近い予測ランドマークやランドマーク候補を探すランドマーク及びランドマーク候補検索部と、

前記コーナー点のそれぞれに対して、前記コーナー点と前記検出されたランドマークやランドマーク候補との間の距離を計算する第1距離計算部と、

前記第1距離計算部で計算された距離と第1所定距離とを比較する第1比較部と、

前記第1比較部で比較された結果によって前記第1距離計算部で計算された距離が前記第1所定距離以下である場合、前記コーナー点の映像特徴周辺記述子と、前記検出されたランドマークやランドマーク候補の映像特徴周辺記述子との間の距離を計算する第2距離計算部と、

前記第2距離計算部で計算された距離と第2所定距離とを比較する第2比較部と、

前記第2比較部で比較された結果によって前記第2距離計算部で計算された距離が前記第2所定距離以下である場合、前記コーナー点と最も近い位置に前記ランドマークが存在するか、それとも前記ランドマーク候補が存在するかを識別するランドマーク及びランドマーク候補識別部と、

前記識別された結果によって、ランドマークが存在すると識別された場合、前記ランドマークが検出された回数を示すランドマークフラグをアップカウンティングし、ランドマーク候補が存在すると識別された場合、前記ランドマーク候補が検出された回数を表すランドマーク候補フラグをアップカウンティングするカウンターと、

前記第1比較部及び前記第2比較部で比較された結果によって、前記第1距離計算部で計算された距離が前記第1所定距離より大きいか、または前記第2距離計算部で計算された距離が前記第2所定距離より大きい場合、前記コーナー点のうち、前記以前上部映像で前記ランドマークでもなく、前記ランドマーク候補でもなかったコーナー点を、前記新たなランドマーク候補として見つけ、検出された前記新たなランドマーク候補を登録するランドマーク候補初期化部と、を備える。

【0007】

コーナー点を観測してランドマークを生成するため、上部映像そのものを保存したり演算することなくランドマークを生成することができ、演算量を減らすことができる。演算量が減少するため、生成したランドマークからの位置の推定及び地図の作成をともしることが可能となる。

また、カメラなどを用いて上部映像を取得することでランドマークを生成するため、レーザーレンジファインダーのような高価なカメラが不要である。このとき、上部映像を取得するために、安価の一台のカメラのみを利用すれば良いため、製造コストを低減させることができる。

【0008】

上述の通り、ランドマークは、上部映像に基づいて自動的に生成される。よって、例えば、赤外線ランドマーク、色パターンのような人工ランドマークなどの別途の付着物によりランドマークを生成する必要がない。このような別途の付着物によるランドマークを用いた場合には、これらのランドマークをセンシングする際に、照明などの影響を受けてランドマークを正確に取得することが出来ない場合がある。しかし、本発明のように、上部映像に基づいてランドマークを生成する場合には、前述のような照明の影響を受けることが無く正確にランドマークを生成でき、正確な位置の推定及び正確な地図作製を行うことができる。

【0009】

コーナー点や映像特徴周辺記述子を用いてランドマークを生成するため、上部映像そのものを用いる場合よりも大幅に演算量を削減することができる。

10

20

30

40

50

ランドマークの候補を新たに登録する時、コーナー点の特徴を表すSIFT (Scale Invariant Feature Transform) 記述子のような映像特徴周辺記述子を利用する場合には、移動体の位置した室内環境の全体の照度が変化しても、映像の輝度変化は一定である。よって、移動体の位置した照明の変化にロバスト性を有するランドマークを見つけて登録できる。これにより移動体の位置認識及び地図作成を正確に行わせることができる。例えば、移動体の平均距離誤差を約6cm以内に維持し、方位角の平均誤差を約2度以内に維持できる。ここで、ロバスト性とは、外乱や設計誤差などの不確定な変動に対して、システム特性が現状を維持できることを意味する。

【0010】

位置及び地図演算部は、走行処理部からの走行についての情報を取得することで、移動体の位置を正確に取得し、また正確な地図を生成することができる。

10

第2発明は、第1発明において、前記移動体が位置した環境の上部映像を獲得する映像獲得部と、前記映像獲得部から入力した前記獲得された映像をバッファリングし、バッファリングされた結果を前記以前上部映像として出力する映像バッファと、をさらに備えるを備えることを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置を提供する。

【0011】

現在上部映像のコーナー点を随時検出し、そのコーナー点のうち、以前上部映像でランドマーク及びランドマーク候補でもなかったコーナー点を新たなランドマーク候補として登録することで、随時新たなランドマークを生成することができる。

20

【0012】

第3発明は、第2発明において、前記映像獲得部は、前記移動体の位置した環境の前記上部映像を獲得する上部映像獲得部と、前記獲得された上部映像の歪曲を補正する歪曲補正部と、を備えることを特徴とする。

【0013】

第4発明は、第2発明において、前記映像獲得部は、前記移動体の位置した環境の前記上部映像を獲得する上部映像獲得部と、前記獲得された上部映像を低域通過フィルタリングする低域通過フィルタと、を備えることを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置を提供する。

【0014】

30

第5発明は、第3発明において、前記映像獲得部は、前記歪曲が補正された結果を低域通過フィルタリングする低域通過フィルタをさらに備えることを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置を提供する。

【0015】

第6発明は、第3発明において、前記歪曲補正部は、前記獲得された上部映像で関心領域を設定し、設定された関心領域のみに対して前記歪曲を補正することを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置を提供する。

設定された関心領域のみに対して歪曲を補正することで、演算量を削減することができる。

【0016】

40

第7発明は、第1発明において、前記映像特徴情報抽出部は、前記現在上部映像で前記コーナー点を検出し、前記検出されたコーナー点の座標を出力するコーナー点検出部と、前記検出されたコーナー点の周辺に映像を分析し、前記分析された結果から前記コーナー点別に前記映像特徴周辺記述子を演算する記述子演算部と、を備えることを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置を提供する。

【0017】

第8発明は、第7発明において、前記コーナー点検出部は、下記式のR値が0より大きく、R値が局所最大点となる点を前記コーナー点として決定することを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置を提供する

【数 1】

$$R = \det(M) - k(\text{tr}(M))^2$$

(ここで、 tr は、トレース演算を表し、 \det は、行列式演算を表し、 M は、下記の通りであり、

$$M = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I'}{\partial x}\right)^2 & \left(\frac{\partial I'}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I'}{\partial y}\right) \\ \left(\frac{\partial I'}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I'}{\partial y}\right) & \left(\frac{\partial I'}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix}$$

(x , y)は、前記現在上部映像の映像座標系に対する座標を表し、 I' は、前記現在上部映像の輝度強度を表す。

10

【0018】

第9発明は、第7発明において、前記記述子演算部で演算される前記映像特徴周辺記述子は、スケール不変特徴変換記述子であることを特徴とする請求項9に記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置を提供する。

【0019】

スケール不変特徴変換(SIFT: Scale Invariant Feature Transform)記述子を用いることで、コーナー点の周辺の映像の輝度変化分布などを利用してコーナー点の特徴を表現することができる。

20

【0020】

第10発明は、第1発明において、前記ランドマーク及びランドマーク候補予測部は、前記以前上部映像よりも以前に予め登録された前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補の位置の3次元座標を、前記以前上部映像が入力された時の前記移動体の位置及び方位角を利用して、前記以前上部映像の映像座標系を基準に2次元に変換する映像座標変換部と、前記映像座標変換部から入力した変換された2次元座標を有する前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補のうち、前記以前上部映像に属する前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補のみを選択する選択部と、前記映像獲得部から入力した前記現在上部映像と、前記映像バッファから入力した前記以前上部映像との間の変化量を、前記選択された結果について計算し、前記計算された変化量を利用して、前記現在上部映像にある前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補を予測する位置予測部と、を備えることを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置を提供する。

30

【0021】

第11発明は、第10発明において、前記位置予測部は、オプティカルフロートラッカーを利用して、前記現在上部映像にある前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補の位置を予測することを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置を提供する。

オプティカルフロートラッキングと映像特徴周辺記述子とを何れも利用する場合には、従来のSLAM技法の問題であるデータ関連問題、すなわち、Large closed loop問題を解決でき、EKF基盤のSLAM(Simultaneous Localization And Map Building)技法の安定性を確保できる。

40

【0022】

第12発明は、第1発明において、前記ランドマーク生成部は、前記登録されたランドマーク候補のうち、互いに重複しているランドマーク候補を除去し、重複していないランドマーク候補の2次元映像座標から高さ情報を抽出して3次元映像座標を推定するランドマーク候補処理部をさらに備え、前記ランドマーク登録部は、前記重複していないランドマーク候補のうち、前記所定回数以上前記コーナー点として検出されたランドマーク候補を前記ランドマークとして登録することを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置を提供する。

【0023】

50

第13発明は、第12発明において、前記ランドマーク候補処理部は、前記登録されたランドマーク候補のそれぞれに対して、最も近いランドマーク候補間の最小距離を計算する第3距離計算部と、前記各最小距離と第3所定距離とを比較する第3比較部と、前記第3比較部で比較された結果によって、前記各最小距離が前記第3所定距離以下である場合、前記各ランドマーク候補が重複していると決定し、重複しているランドマーク候補を除去するランドマーク候補除去部と、前記第3比較部で比較された結果によって、前記各最小距離が前記第3所定距離より大きい場合、前記各ランドマーク候補が重複していないと決定し、前記重複していないランドマーク候補の3次元映像座標を推定する座標推定部と、を備えることを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置を提供する。

10

【0024】

第14発明は、第1発明において、前記位置及び地図演算部は、拡張されたカルマンフィルタを利用して、前記ランドマークから前記移動体の前記位置を推定し、かつ前記地図を生成することを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置を提供する。

【0025】

前記他の課題を達成するための本願第15発明は、移動体に付着されたカメラを用いて前記移動体の位置した環境の上部を撮影して獲得した現在上部映像でコーナーを表すコーナー点を検出するステップと、前記現在上部映像以前に獲得された以前上部映像よりも以前にあらかじめ登録されたランドマーク及びランドマーク候補のうち、前記以前上部映像に属するランドマーク及びランドマーク候補に対して前記現在上部映像での位置を予測するステップと、前記予測されたランドマーク及びランドマーク候補と前記検出されたコーナー点との距離を比較し、前記以前上部映像で前記ランドマークでもなく前記ランドマーク候補でもなかったコーナー点をランドマーク候補として登録するか、または前記ランドマークまたは前記ランドマーク候補が検出された回数を示すフラグをアップカウンティングするステップと、前記登録されたランドマーク候補のうち、前記フラグを参照して所定回数以上コーナー点として検出されたランドマーク候補をランドマークとして登録するステップと、前記登録されたランドマークから前記移動体の位置を推定し、かつ地図を生成するステップと、を含むことを特徴とすることが好ましい。

20

前記登録するか、前記アップカウンティングするステップでは、前記検出されたコーナー点と、前記予測されたランドマーク及びランドマーク候補のうち最も近いと予測されたランドマークやランドマーク候補との間の距離、及び、前記コーナー点の映像特徴周辺記述子と、前記予測されたランドマーク及びランドマーク候補のうち最も近いと予測されたランドマークやランドマーク候補の映像特徴周辺記述子と、の間の距離を比較する。

30

【0026】

第16発明は、第15発明において、前記移動体の位置した環境の上部映像を獲得するステップと、前記獲得された映像をバッファリングし、バッファリングされた結果を前記以前上部映像として決定するステップと、をさらに含むことを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法を提供する。

【0027】

第17発明は、第16発明において、前記上部映像を獲得するステップは、前記移動体の位置した環境の前記上部映像を獲得するステップと、前記獲得された上部映像の歪曲を補正するステップと、を含むことを特徴とする記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法を提供する。

40

【0028】

第18発明は、第16発明において、前記上部映像を獲得するステップは、前記移動体の位置した環境の前記上部映像を獲得するステップと、前記獲得された上部映像を低域通過フィルタリングするステップと、を含むことを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法を提供する。

【0029】

50

第19発明は、第17発明において、前記上部映像を獲得するステップは、前記歪曲が補正された結果を低域通過フィルタリングするステップをさらに含むことを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法。

第20発明は、第15発明において、前記コーナー点を検出するステップは、前記現在上部映像で前記コーナー点を検出し、前記検出されたコーナー点の座標を求めるステップと、前記検出されたコーナー点の周辺に映像を分析し、前記分析された結果を利用して、前記コーナー点別に前記映像特徴周辺記述子を求めるステップを含むことを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法を提供する。

【0030】

第21発明は、第15発明において、前記予測するステップは、前記以前上部映像よりも以前にあらかじめ登録された前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補の位置の3次元座標を、前記以前上部映像が入力された時の前記移動体の位置及び方位角を利用して、前記以前上部映像の映像座標系を基準に2次元に変換するステップと、前記変換された2次元座標を有する前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補のうち、前記以前上部映像に属する前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補のみを選択するステップと、前記現在上部映像と前記以前上部映像との間の変化量を、前記選択された結果について計算し、前記計算された変化量を利用して、前記現在上部映像にある前記ランドマーク及び前記ランドマーク候補を予測するステップと、を含むことを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法。

【0031】

第22発明は、第15発明において、前記登録されたランドマーク候補のうち、互いに重複しているランドマーク候補を除去し、重複していないランドマーク候補の2次元映像座標から高さ情報を抽出して3次元映像座標を推定するステップをさらに備えることを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法を提供する。

【0032】

第23発明は、第22発明において、前記映像座標を推定するステップは、前記登録されたランドマーク候補のそれぞれに対して、最も近いランドマーク候補間の最小距離を求めるステップと、前記最小距離が第3所定距離以下であるか否かを判断するステップと、前記第3所定距離以下の最小距離を有するランドマーク候補は互いに重複していると決定し、重複しているランドマーク候補を除去するステップと、前記第3所定距離より遠く離れた最小距離を有するランドマーク候補は互いに重複していないと決定し、前記重複していないランドマーク候補の3次元映像座標を推定するステップと、を含むことを特徴とする上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法を提供する。

【0033】

前記さらに他の課題を達成するためのコンピュータプログラムを保存するコンピュータで読み取り可能な記録媒体は、発明15～23のいずれかに記載の上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法を実行するコンピュータプログラムを保存する。

【発明の効果】

【0034】

本発明によれば、移動体の位置を正確に認識するとともに地図作成を正確に行うことが可能な移動体の位置推定及び地図の生成装置、その方法、並びにその装置を制御するコンピュータプログラムを保存するコンピュータで読み取り可能な記録媒体を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0035】

以下、添付した図面を参照して、本発明による上部（upper）映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置及びその装置の実施形態のそれぞれの構成と動作、並びにその装置と、その実施形態で行われる上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成の方法とを説明すれば、次の通りである。

図1は、本発明による上部映像を利用して、移動体の位置を推定し、かつ移動体周辺の

10

20

30

40

50

地図を生成するための装置に係る実施形態のブロック図である。図 1 に示す装置は、ランドマーク生成部 10、位置及び地図演算部 12 及び走行処理部 14 から構成される。

【0036】

図 2 は、本発明による上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法の実施形態を説明するためのフローチャートである。図 2 に示すフローチャートは、ランドマーク (landmark) を生成するステップ (ステップ 20) 及び位置を推定して地図を生成するステップ (ステップ 22) からなる。

図 1 に示すランドマーク生成部 10 は、上部映像でコーナー点を観測し、観測されたコーナー点から、目印や境界線となるランドマークを生成する (ステップ 20)。この時、ランドマークは、自動的に生成されうる。

10

【0037】

本発明によれば、ステップ 20 でランドマーク生成部 10 は、現在の上部映像から観測されたコーナー点の座標及び映像特徴周辺記述子 (Local Feature Descriptor: 以下、LFD) のうち、少なくとも一つを利用して、観測されたコーナー点のうち以前の上部映像でランドマークやランドマーク候補であったコーナー点を検出する。そして、現在の上部映像のうち、以前の上部映像でランドマークやランドマーク候補ではなかったコーナー点を新たなランドマーク候補として登録する。さらに、既に登録されたランドマーク候補のうち、所定回数以上コーナー点として観測されたランドマーク候補をランドマークとして登録し、登録されたランドマークを位置及び地図演算部 12 に出力する (ステップ 20)。

20

【0038】

ここで、コーナー点とは、上部映像においてコーナーを表す点を意味し、LFDとは、コーナー点の周辺映像を分析した結果を利用して、コーナー点そのものの特徴を表すデータであって、コーナー点を互いに区分する役割を行う。上部映像とは、移動体 (図示せず) のある室内環境の上部に対して、移動体に付着された、上部を見渡すカメラ (図示せず) で獲得された映像を意味する。現在上部映像とは、現在、獲得された上部映像を意味し、以前上部映像とは、以前に獲得して、後述される図 3 に示す映像バッファ 32 に保存された映像を意味する。ここで、上部に対して獲得された映像は、移動体の位置した室内環境の天井だけでなく、その天井に隣接した壁面も含みうる。移動体とは、ロボットのように、映像を撮影しつつ移動できる物体を意味する。また、ランドマークとは、現在の上部映像のうち、以前の上部映像でランドマークやランドマーク候補ではなかったコーナー点

30

が、所定回数以上ランドマーク候補として登録されたものである。一方、ランドマーク候補とは、所定回数未満しか登録されていないものである。

【0039】

図 3 は、図 1 に示すランドマーク生成部 10 の本発明による好ましい実施形態 10A のブロック図であって、映像獲得部 30、映像バッファ 32、ランドマーク及びランドマーク候補予測部 34、映像特徴情報抽出部 36、観測及び登録部 38、ランドマーク候補処理部 40 及びランドマーク登録部 42 から構成される。

図 4 は、図 2 に示すステップ 20 についての本発明による実施形態 20A を説明するためのフローチャートであって、上部映像を獲得してバッファリングするステップ (ステップ 50、52)、映像特徴情報を抽出して、以前のランドマーク及びランドマーク候補を、現在上部映像に基づいて予測するステップ (ステップ 54、56)、新たなランドマーク候補を登録して、以前のランドマーク及びランドマーク候補を管理するステップ (ステップ 58)、及びランドマーク候補を処理して、該当するランドマーク候補をランドマークとして登録するステップ (ステップ 60、62) からなる。

40

【0040】

図 3 に示す映像獲得部 30 は、移動体が位置している環境の上部映像を獲得し、獲得した映像を映像バッファ 32、ランドマーク及びランドマーク候補予測部 34 及び映像特徴情報抽出部 36 にそれぞれ出力する (ステップ 50)。

図 5 は、図 3 に示す映像獲得部 30 の本発明による実施形態 30A のブロック図であっ

50

て、上部映像獲得部 70、歪曲補正部 72 及び低域通過フィルタ 74 から構成される。

【0041】

図 6 は、図 4 に示すステップ 50 についての本発明による実施形態 50A を説明するためのフローチャートであって、上部映像を獲得するステップ（ステップ 80）。及び映像の歪曲を補正して低域通過フィルタリングを行うステップ（ステップ 82、84）からなる。

本発明の一実施形態によれば、上部映像獲得部 70 は、移動体が位置している環境の上部映像を獲得し、獲得した映像を歪曲補正部 72 に出力する（ステップ 80）。

【0042】

ステップ 80 の後に、歪曲補正部 72 は、上部映像獲得部 70 で獲得された上部映像の歪曲を補正し、歪曲が補正された結果を低域通過フィルタ 74 に出力する（ステップ 82）。本発明によれば、演算量を減らすために、歪曲補正部 72 は、上部映像獲得部 70 で獲得された上部映像で関心領域（ROI: Region Of Interest）を設定し、設定された ROI のみに対して歪曲を補正してもよい。つまり、着目する領域を限定することで、演算量を削減する。

【0043】

図 7A は、歪曲補正部 72 に入力される映像の一例を示し、図 7B は、歪曲補正部 72 から出力される映像の一例を示す。

例えば、移動体の上部に装着されうる上部映像獲得部 70 が、移動体の位置した環境の上部でさらに広い領域の映像を獲得するために、広角カメラ（図示せず）及び魚眼レンズカメラ（図示せず）で具現される場合、上部映像獲得部 70 で獲得される映像は、例えば、図 7A に示すように歪曲される。したがって、歪曲補正部 72 は、図 7A に示すような歪曲された映像を入力して歪曲を補正し、歪曲が補正された結果である図 7B に示す映像を出力する。この時、前記のように演算量を減らすために、歪曲補正部 72 は、図 7B に示すような限定された領域の ROI 90 のみに対して歪曲を補正することもできる。

【0044】

映像歪曲補正に対しては、'S. Shah' 及び 'J. K. Aggarwal'、"A simple calibration procedure for fish-eye (high distortion) lens camera"、IEEE International Conf. on Robotics and Automation の vol. 4, May 1994、pp. のページ 3422 ~ 3427 に掲載された論文に開示されている。

【0045】

ステップ 82 の後に、低域通過フィルタ 74 は、歪曲補正部 72 で歪曲が補正された結果から高周波成分のノイズを除去するために、歪曲が補正された結果を低域通過フィルタリングし、低域通過フィルタリングされた結果を出力端子 OUT 4 を介して出力する（ステップ 84）。このように、低域通過フィルタ 74 を利用して映像に含まれた高周波ノイズ成分を除去する場合、映像のスモーキング効果を提供できる。このために、低域通過フィルタ 74 は、ガウスフィルタ（図示せず）で具現されうる。

【0046】

例えば、 3×3 ガウスカーネルの場合、低域通過フィルタ 74 は、次の数式 (1) のようなフィルタリングされた結果を、出力端子 OUT 4 を介して出力する。

【0047】

【数 2】

$$I'(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^1 I(x+i,y+j)G(i+1,j+1)}{\sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^1 G(i+1,j+1)} \dots (1)$$

10

20

30

40

50

ここで、 $I'(x, y)$ は、低域通過フィルタ 74 から出力される映像の空間上の座標 (x, y) での輝度強度を意味し、 $I(x+i, y+j)$ は、低域通過フィルタ 74 に入力される映像の空間上の座標 $(x+i, y+j)$ での輝度強度を意味し、 $G(m, n) = G_{mn}$ は、次の数式 (2) のように表現される行列 G の元素である。

【0048】

【数3】

$$G = \begin{bmatrix} G(0,0) & G(0,1) & G(0,2) \\ G(1,0) & G(1,1) & G(1,2) \\ G(2,0) & G(2,1) & G(2,2) \end{bmatrix} \dots (2)$$

10

ここで、 G は、例えば、次の数式 (3) のように表現されてもよい。

【0049】

【数4】

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \dots (3)$$

20

本発明の他の実施形態によれば、図5に示すところとは違って、映像獲得部 30 は、上部映像獲得部 70 のみで具現されうる。この場合、図6に示すところとは違って、ステップ 50 は、ステップ 80 のみで具現される。この時、上部映像獲得部 70 で獲得された映像が映像バッファ 32、ランドマーク及びランドマーク候補予測部 34 及び映像特徴情報抽出部 36 に出力される。

【0050】

本発明のさらに他の実施形態によれば、図5に示すところとは違って、映像獲得部 30 は、上部映像獲得部 70 及び歪曲補正部 72 のみで具現できる。この場合、図6に示すところとは違って、ステップ 50 は、ステップ 80 及びステップ 82 のみで具現される。この時、歪曲補正部 72 で歪曲補正された結果は、映像バッファ 32、ランドマーク及びラ

30

【0051】

本発明のさらに他の実施形態によれば、図5に示すところとは違って、映像獲得部 30 は、上部映像獲得部 70 及び低域通過フィルタ 74 のみで具現できる。この場合、図6に示すところとは違って、ステップ 50 は、ステップ 80 及びステップ 84 のみで具現される。この時、低域通過フィルタ 74 は、上部映像獲得部 70 で獲得された上部映像を低域通過フィルタリングし、低域通過フィルタリングされた結果を出力端子 OUT 4 を介して出力する (ステップ 84)。

【0052】

一方、ステップ 50 の後に、映像バッファ 32 は、映像獲得部 30 で獲得された映像をバッファリングし、バッファリングされた結果を以前上部映像としてランドマーク及びランドマーク候補予測部 34 に出力する (ステップ 52)。すなわち、映像バッファ 32 は、現在上部映像を受信して記憶すると共に、直前の映像である以前上部映像を出力する。

40

ステップ 52 の後に、映像特徴情報抽出部 36 は、映像獲得部 30 で現在獲得された現在上部映像のコーナー点の座標及び LFD のうち、少なくとも一つを映像特徴情報として抽出し、抽出された映像特徴情報を観測及び登録部 38 に出力する (ステップ 54)。

【0053】

図8は、図3に示す映像特徴情報抽出部 36 の本発明による実施形態 36A のブロック図であって、コーナー点検出部 100 及び記述子演算部 102 から構成される。

図9は、図4に示すステップ S54 についての本発明による実施形態 54A を説明する

50

ためのフローチャートであって、コーナー点を検出するステップ(ステップ110)及びLFDを求めるステップ(ステップ112)からなる。

【0054】

コーナー点検出部100は、入力端子IN2を介して、映像獲得部30から入力した現在上部映像でコーナー点を検出し、検出されたコーナー点の座標を記述子演算部102に出力する一方、出力端子OUT5を介して映像特徴情報として出力する(ステップ110)。

図10A及び図10Bは、コーナー点検出部100の理解を容易にするための写真であって、図10Aは、コーナー点検出部100に輸入される映像の一例を示し、図10Bは、コーナー点検出部100で検出されたコーナー点を十字架状に示す。

10

【0055】

本発明によれば、コーナー点検出部100は、多様な方法のうち最も性能の良いと知られた、例えば、ハリスコーナー点の検出法によりコーナー点を検出できる。ここで、ハリスコーナー点の検出法については、'C. J. Harris'及び'M. Stephens'、"A combined corner and edge detector"、In Proc. 4th Alvey Vision Conf., Manchester, 1988、pp. 147~151に開示されている。この場合、例えば、コーナー点検出部100は、図10Aに示すような映像を入力して、図10Bに示すようにコーナー点を検出できる。

【0056】

20

例えば、ハリスコーナー点の検出法によれば、コーナー点検出部100は、次の数式(4)のように表現されるR値が0より大きく、R値が局所最大点となる点をコーナー点として決定できる。

【0057】

【数5】

$$R = \det(M) - k(\text{tr}(M))^2 \dots (4)$$

ここで、trは、トレース演算を表し、detは、行列式(determinant)演算を表し、Mは、映像強度の変化の程度をもって、次の数式(5)のように求められる行列である。本発明によれば、kは、0.04となりうる。

30

【0058】

【数6】

$$M = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I'}{\partial x}\right)^2 & \left(\frac{\partial I'}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I'}{\partial y}\right) \\ \left(\frac{\partial I'}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I'}{\partial y}\right) & \left(\frac{\partial I'}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix} \dots (5)$$

ここで、I'は、前記の数式(1)で表現される輝度強度を表す。

40

ステップ110の後に、記述子演算部102は、コーナー点検出部100で検出されたコーナー点の周辺の映像を分析する。そして、分析された結果を利用して、コーナー点にLFDを演算し、演算されたLFDを出力端子OUT6を介して映像特徴情報として出力する(ステップ112)。本発明によれば、記述子演算部102で演算されるLFDは、多様な記述子のうち、好ましくは、スケール不変特徴変換(SIFT: Scale Invariant Feature Transform)記述子を意味することもある。SIFT記述子は、コーナー点の周辺の映像の輝度変化分布などを利用してコーナー点の特徴を表現する。このために、記述子演算部102は、入力端子IN2を介して映像獲得部30から現在上部映像を入力し、コーナー点検出部100で検出されたコーナー点の座標を入力し、例えば、128バイトからなるLFDを出力する。

50

【0059】

‘K. Mikolajczyk’及び‘C. Schmid’、“A performance evaluation of local descriptors”、IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 2003によれば、前記のSIFT記述子は、最も優れていると知られている。また、SIFT記述子の生成方法については、‘David G. Lowe’、“Distinctive image features from scale-invariant keypoints”、International Journal of Computer Vision, 60, 2 (2004)、pp. 91~110に掲載された論文に開示されている。

10

【0060】

一方、ステップ54の後に、ランドマーク及びランドマーク候補予測部34は、以前上部映像でのランドマーク及びランドマーク候補が、現在上部映像のどの位置にあるかを予測する。そして、現在上部映像で予測ランドマーク及びランドマーク候補の位置を、観測及び登録部38に出力する(ステップ56)。このような予測により、図3に示す観測及び登録部38は、現在上部映像に対して検出されたコーナー点のうち、以前にあらかじめ登録されたランドマーク及びランドマーク候補点であったコーナー点を見つけ得る。

【0061】

一方、ランドマーク及びランドマーク候補予測部34では、映像が入力されるごとに予測が行われる。各映像で持続的に追従されたランドマーク候補点の場合、各映像での2次元映像座標軌跡と、映像が入力される時の移動体の位置及び方位角とを保存する。保存されたそれらの情報は、ランドマーク候補点がランドマークとして登録される時、ランドマークの3次元座標値を推定可能にする。

20

【0062】

図3に示すランドマーク及びランドマーク候補予測部34は、図1に示す位置及び地図演算部12からランドマーク情報、移動体の位置及び移動体の方位角を入力端子IN1を介して受信する。そして、ランドマーク登録部42からランドマーク候補情報を受信し、映像バッファ32から以前上部映像を受信し、映像獲得部30から現在上部映像を受信する。ここで、ランドマーク情報は、ランドマークの位置、すなわち、基準座標系でランドマークに対する3次元座標及びランドマークに対するLFDを含む。ランドマーク候補情報は、ランドマーク候補の位置、すなわち、基準座標系でランドマーク候補に対する3次元座標及びランドマーク候補に対するLFDを含む。

30

【0063】

図11は、図3に示すランドマーク及びランドマーク候補予測部34の本発明による好ましい実施形態34Aのブロック図であって、映像座標変換部130、選択部132及び位置予測部134から構成される。

図12は、図4に示すステップ56についての本発明による好ましい実施形態56Aを説明するためのフローチャートであって、座標を変換するステップ(ステップ140)、ランドマーク及びランドマーク候補のうち、以前の映像に属するランドマーク及びランドマーク候補を選択するステップ(ステップ142)、及び現在上部映像でのランドマーク及びランドマーク候補の座標、すなわち、位置を予測するステップ(ステップ144)からなる。

40

【0064】

ステップ54後に、映像座標変換部130は、以前上部映像を基準として以前にあらかじめ登録されたランドマーク及びランドマーク候補情報を、入力端子IN3を介して受信する。受信したランドマーク及びランドマーク候補情報にそれぞれ含まれる、ランドマーク及びランドマーク候補の位置の3次元座標を、以前上部映像が入力された時の移動体の位置及び移動体の方位角を利用して、以前上部映像の映像座標系を基準に2次元座標に変換する。そして、変換された2次元座標を有するランドマーク及びランドマーク候補情報を選択部132に出力する(ステップ140)。このために、移動体の位置及び移動体の

50

方位角は、入力端子 I N 4 を介して映像座標変換部 1 3 0 に入力される。

【 0 0 6 5 】

図 1 3 は、映像座標変換部 1 3 0 の動作を説明するための座標系を例示的に示す図面である。

図 1 3 に示すように、映像座標系で二つの座標軸 x_v 、 Y_v (以下、 v は、映像座標系を意味する添字である) が存在し、移動体座標系で二つの座標軸 X_r 、 Y_r (以下、 r は、移動体座標系を意味する添字である) が存在し、基準座標系は三つの座標軸 X_w 、 Y_w 、 Z_w (以下、 w は、基準座標系を意味する添字である) で定義される。ここで、二つの車輪 1 5 4 及び 1 5 6 を有する移動体は、矢印 1 5 2 方向に進むと仮定し、移動体の位置座標は、基準座標系で $(x, y, z)_w$ で表現される。ここで、 x 、 y は、位置座標を表し、 z は方位角を表す。この時、図 1 3 に示す破線で囲まれた参照符号 1 5 0 は、映像獲得部 3 0 で獲得された映像を、移動体が位置した物理的な空間上にカメラの撮像領域を考慮して仮想的に表示したものである。

10

【 0 0 6 6 】

映像座標変換部 1 3 0 の入力端子 I N 3 を介して入力されるランドマーク及びランドマーク候補情報にそれぞれ含まれるランドマーク及びランドマーク候補の位置は、図 1 3 に示す基準座標系を基準に 3 次元座標である $(x, y, z)_w$ で表示されうる。また、映像座標変換部 1 3 0 で変換されたランドマーク及びランドマーク候補の座標のそれぞれは、図 1 3 に示す映像座標系を基準とする 2 次元座標 $(x, y)_v$ で表示されうる。ここで、 v は、映像座標系を意味する添字である。

20

【 0 0 6 7 】

一方、ステップ 1 4 0 の後に、選択部 1 3 2 は、映像座標変換部 1 3 0 から受信した、変換された 2 次元座標を有するランドマーク及びランドマーク候補のうち、以前上部映像に属するランドマーク及びランドマーク候補のみを選択し、選択された結果を位置予測部 1 3 4 に出力する (ステップ 1 4 2)。

図 1 4 は、図 1 1 に示す選択部 1 3 2 の理解を容易にするための図面であって、複数のランドマーク 1 6 0、1 6 2、1 6 4、1 6 6、1 6 8 及び 1 7 0 及び複数のランドマーク候補 1 8 0、1 8 2、1 8 4 及び 1 8 6 を表す。本発明の理解を容易にするために、図 1 4 でランドマーク及びランドマーク候補は、記号でもって区分して表示したが、本発明は、必ずしもこれに限定されるものではない。ここで、参照符号 1 9 0 及び 1 9 2 は、それぞれ以前上部映像 1 9 0 及び現在上部映像 1 9 2 である。

30

【 0 0 6 8 】

図 1 4 に示すように、選択部 1 3 2 は、変換された 2 次元座標を有するランドマーク 1 6 0、1 6 2、1 6 4、1 6 6、1 6 8 及び 1 7 0 とランドマーク候補 1 8 0、1 8 2、1 8 4 及び 1 8 6 のうち、以前上部映像 1 9 0 に属するランドマーク 1 6 8 とランドマーク候補 1 8 4 及び 1 8 6 のみを選択し、選択されたランドマーク 1 6 8 とランドマーク候補 1 8 4 及び 1 8 6 についての情報を位置予測部 1 3 4 に出力する。

【 0 0 6 9 】

ステップ 1 4 2 の後に、位置予測部 1 3 4 は、映像獲得部 3 0 から入力端子 I N 5 を介して受信した現在上部映像と、映像バッファ 3 2 から入力端子 I N 6 を介して受信した以前上部映像との間の変化量を、選択部 1 3 2 から受信した選択された結果、すなわち、選択された各ランドマーク及び選択された各ランドマーク候補から計算する。そして、計算された変化量を利用して、現在上部映像にあるランドマーク及びランドマーク候補の座標を予測し、予測結果を出力端子 O U T 7 を介して観測及び登録部 3 8 に出力する (第 1 4 4 ステップ)。この時、選択部 1 3 2 で選択された結果及び位置予測部 1 3 4 で予測結果の座標のそれぞれは、映像座標系を基準とする 2 次元座標である。

40

【 0 0 7 0 】

図 1 5 は、位置予測部 1 3 4 の理解を容易にするための図面であって、以前上部映像 1 9 0 を獲得する時の移動体 2 0 0 と、現在上部映像 1 9 2 を獲得する時の移動体 2 0 2 とを示す。

50

図14及び図15に示すように、位置予測部134は、現在上部映像192と以前上部映像190との間の変化量を、選択部132で選択されたランドマーク168と選択されたランドマーク候補184及び186とのそれぞれについて計算する。そして、計算された変化量を利用して、現在上部映像192にあるランドマーク168とランドマーク候補184及び186とのそれぞれの座標を予測し、予測結果を出力端子OUT7を介して観測及び登録部38に出力する。

【0071】

本発明によれば、位置予測部134は、オプティカルフロートラッカーを利用して、現在上部映像にあるランドマーク及びランドマーク候補の位置を予測できる。ここで、オプティカルフローとは、現在上部映像と以前上部映像との間の輝度変化情報を利用して、映像の移動量及び回転量が分かる動きベクトルを意味する。オプティカルフロートラッカーとして広く知られたLucas-Kanadeオプティカルフロートラッカーについては、'Lucas, B.'及び'Kanade, T.', "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision", Proc. of 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), pp.674~679に掲載された論文に開示されている。

【0072】

本発明によれば、図4に示すところとは違って、ステップ54及びステップ56は、同時に実行されてもよく、ステップ56がステップ54より先に行われてもよい。

一方、ステップ56の後に、観測及び登録部38は、ランドマーク及びランドマーク候補予測部34で予測ランドマーク及びランドマーク候補についての情報と、映像特徴情報抽出部36から受信した映像特徴情報とを比較する。比較された結果を利用して、現在上部映像で検索されたコーナー点のうち、以前上部映像でランドマークやランドマーク候補であったコーナー点を観測して見つける。そして、以前上部映像でランドマークでもなくランドマーク候補でもなかったコーナー点を新たなランドマーク候補として登録する一方、検出されたコーナー点に該当するランドマークやランドマーク候補についての情報を管理する(ステップ58)。この時、観測及び登録部38は、登録された新たなランドマーク候補と管理されたランドマーク候補とについてのランドマーク候補情報を、ランドマーク候補処理部40に出力する一方、管理されたランドマークについてのランドマーク情報を、出力端子OUT2を介して図1に示す位置及び地図演算部12に出力する。

【0073】

図16は、図3に示す観測及び登録部38の本発明による実施形態38Aのブロック図であって、ランドマーク及びランドマーク候補検索部220、第1距離計算部222及び第2距離計算部226、第1比較部224及び第2比較部228、ランドマーク及びランドマーク候補識別部230、カウンター232及びランドマーク候補初期化部234から構成される。

【0074】

図17は、図4に示すステップ58についての本発明による実施形態58Aを説明するためのフローチャートであって、コーナー点のそれぞれに対して最近接の予測ランドマークや予測ランドマーク候補を探すステップ(ステップ250)、距離の長さに対応して新たなランドマーク候補を登録するか、またはランドマーク及びランドマーク候補を管理するステップ(ステップ252~ステップ262)からなる。

【0075】

図18は、図16に示す観測及び登録部38Aの理解を容易にするための例示的な図面である。ランドマーク及びランドマーク候補予測部34において現在上部映像について予測ランドマーク300、ランドマーク及びランドマーク候補予測部34で現在上部映像について予測ランドマーク候補306及び312、及び映像特徴情報抽出部36から入力した現在上部映像で検索されたコーナー点302、304、308、310及び314から

10

20

30

40

50

構成される。

【 0 0 7 6 】

ランドマーク及びランドマーク候補検索部 2 2 0 は、入力端子 I N 7 を介して映像特徴情報抽出部 3 6 から受信した映像特徴情報に含まれたコーナー点と、入力端子 I N 8 を介してランドマーク及びランドマーク候補予測部 3 4 で予測ランドマーク及び/またはランドマーク候補についての情報を受信する。そして、受信したコーナー点のそれぞれについて、予測ランドマークやランドマーク候補のうち、コーナー点と最も近いランドマークやランドマーク候補を探す(ステップ 2 5 0)。

【 0 0 7 7 】

図 1 8 に示すように、ステップ 2 5 0 で、ランドマーク及びランドマーク候補検索部 2 2 0 は、コーナー点 3 0 2、3 0 4、3 0 8、3 1 0 及び 3 1 4 のそれぞれについて、コーナー点 3 0 2、3 0 4、3 0 8、3 1 0 または 3 1 4 と最近接した予測ランドマークや予測ランドマーク候補を探す。すなわち、ランドマーク及びランドマーク候補検索部 2 2 0 は、コーナー点 3 0 2 と最も近い予測ランドマーク 3 0 0 を見つけ、コーナー点 3 0 4 と最も近い予測ランドマーク候補 3 0 6 を見つけ、コーナー点 3 0 8 と最も近い予測ランドマーク候補 3 1 2 を検出し、コーナー点 3 1 0 と最も近い予測ランドマーク候補 3 1 2 を見つけ、コーナー点 3 1 4 と最も近い予測ランドマーク候補 3 1 2 を探す。この時、ランドマーク及びランドマーク候補検索部 2 2 0 は、図 1 8 に示すように、コーナー点と最も近い予測ランドマークや予測ランドマーク候補を互いに対としてまとめ、その対についての情報を出力する。すなわち、コーナー点 3 0 2 と予測ランドマーク 3 0 0 とが対 2 7 0 となり、コーナー点 3 0 4 と予測ランドマーク候補 3 0 6 とが対 2 7 8 となり、コーナー点 3 0 8 と予測ランドマーク候補 3 1 2 とが対 2 7 2 となり、コーナー点 3 1 0 と予測ランドマーク候補 3 1 2 とが対 2 7 4 となり、コーナー点 3 1 4 と予測ランドマーク候補 3 1 2 とが対 2 7 6 となる。すなわち、各対 2 7 0、2 7 2、2 7 4、2 7 6 または 2 7 8 に属する元素は、コーナー点及び予測ランドマークまたは予測ランドマーク候補である。

【 0 0 7 8 】

ステップ 2 5 0 の後に、コーナー点のそれぞれについて、コーナー点と予測ランドマークや予測ランドマーク候補との間の距離が、第 1 所定距離以下であるか否かを判断する(ステップ 2 5 2)。このために、第 1 距離計算部 2 2 2 は、ランドマーク及びランドマーク候補検索部 2 2 0 から受信したコーナー点のそれぞれに対して、コーナー点と検出されたランドマークやランドマーク候補との間の距離を計算し、計算された距離を第 1 比較部 2 2 4 に出力する。この時、第 1 比較部 2 2 4 は、第 1 距離計算部 2 2 2 で計算された距離と第 1 所定距離とを比較し、比較された結果を出力する。例えば、第 1 所定距離は、1 5 ピクセル距離となりうる。ここで、1 ピクセル距離は、一つのピクセルが占める空間上の長さを意味する。

【 0 0 7 9 】

図 1 8 に示すように、第 1 距離計算部 2 2 2 は、ランドマーク及びランドマーク候補検索部 2 2 0 から入力した対 2 7 0、2 7 2、2 7 4、2 7 6 及び 2 7 8 のそれぞれに対して、コーナー点と検出されたランドマークやランドマーク候補間の距離を計算し、計算された距離のそれぞれを第 1 比較部 2 2 4 に出力する。

もし、検出されたランドマークやランドマーク候補との距離が第 1 所定距離以下である場合、それらのコーナー点のそれぞれに対して、コーナー点の L F D と検出されたランドマークやランドマーク候補の L F D との間の距離が、第 2 所定距離以下であるか否かを判断する(ステップ 2 5 4)。このために、第 2 距離計算部 2 2 6 は、第 1 比較部 2 2 4 で比較された結果により、コーナー点と検出されたランドマークやランドマーク候補との距離が第 1 所定距離以下であると認識されれば、そのコーナー点の L F D と検出されたランドマークやランドマーク候補の L F D との間のユークリッド距離を計算し、計算された距離を第 2 比較部 2 2 8 に出力する。このために、第 2 距離計算部 2 2 6 は、L F D をランドマーク及びランドマーク候補検索部 2 2 0 から受信する。この時、第 2 比較部 2 2 8 は

10

20

30

40

50

、第2距離計算部226で計算された距離と第2所定距離とを比較し、比較された結果を出力する。例えば、LFDが128個の元素を有するベクトルから構成され、各元素がバイト値を有して、そのバイト値の範囲が0ないし255の値を有する場合、第2所定距離は、638となりうる。

【0080】

図18に示すように、第2距離計算部226は、第1比較部224で比較された結果により、ランドマーク及びランドマーク候補検索部220から受信した対270、272、274、276及び278のうち、コーナー点と検出されたランドマークや検出されたランドマーク候補との距離が第1所定距離以下であると認識される各対を選別する。そして、第2距離計算部226は、選別された対に属するコーナー点のLFDと、選別された対に属する検出されたランドマークやランドマーク候補のLFDと、の間のユークリッド距離を計算し、計算された距離を第2比較部228に出力する。

10

【0081】

もし、コーナー点のLFDと検出されたランドマークや検出されたランドマーク候補のLFDとの間の距離が第2所定距離以下であると判断されれば、コーナー点と最も近い位置にランドマークが存在するか、それともランドマーク候補が存在するかを判断する(ステップ256)。このために、第2比較部228で比較された結果により、コーナー点のLFDと検出されたランドマークや検出されたランドマーク候補のLFDとの間の距離が第2所定距離以下であると認識されれば、ランドマーク及びランドマーク候補識別部230は、そのコーナー点と最も近い位置にランドマークが存在するか、それともランドマーク候補が存在するかを識別し、識別された結果をカウンター232に出力する。

20

【0082】

図18に示すように、ランドマーク及びランドマーク候補識別部230は、ランドマーク及びランドマーク候補検索部220から受信したコーナー点とランドマークやランドマーク候補との間の距離が第1所定距離以下である対のうち、第2比較部228で比較された結果によりLFD間の距離が第2所定距離以下であると認識される各対について、コーナー点と最も近い位置にランドマークが存在するか、それともランドマーク候補が存在するかを識別し、識別された結果をカウンター232に出力する。例えば、図18に示す対270で、コーナー点302のLFDとランドマーク300のLFDとの間の距離が第2所定距離以下であると認識される場合、ランドマーク及びランドマーク候補識別部230は、コーナー点302と対をなすものがランドマーク300であると識別する。また、図18に示す対274で、コーナー点310のLFDとランドマーク候補312のLFDとの間の距離が第2所定距離以下であると認識される場合、ランドマーク及びランドマーク候補識別部230は、コーナー点310と対をなすものがランドマーク候補312であると識別する。

30

【0083】

もし、ランドマーク及びランドマーク候補識別部230により識別された結果により、コーナー点と最も近い位置に、ランドマーク候補ではなくランドマークが存在することと認識されれば、カウンター232は、ランドマークが観測された回数を表すランドマークフラグをアップカウンティングする。そして、カウンティングされた結果を出力端子OUT8を介して出力する(ステップ258)。しかし、ランドマーク及びランドマーク候補識別部230からの識別された結果を通じ、コーナー点と最も近い位置にランドマークではなくランドマーク候補が存在することと認識されれば、カウンター232は、ランドマーク候補が観測された回数を表すランドマーク候補フラグをアップカウンティングし、カウンティングされた結果を出力端子OUT8を介して出力する(ステップ260)。すなわち、カウンター232は、ランドマーク及びランドマーク候補識別部230で識別された結果に応答して、ランドマークが観測された回数を表すランドマークフラグをアップカウンティングするか、またはランドマーク候補が観測された回数を表すランドマーク候補フラグをアップカウンティングし、カウンティングされた結果を出力端子OUT8を介して出力する。ここで、カウンター232でランドマークフラグをアップカウンテ

40

50

ィングした結果は、ランドマーク情報として出力され、カウンター 232 からランドマーク候補フラグをアッパーカウンティングした結果は、ランドマーク候補情報として出力される。

【0084】

例えば、図 18 に示す対 270、274 及び 278 で、図 17 に示す第 252 及び第 254 ステップを経た LFD 間の距離が第 2 所定距離以下であると認識された場合、カウンター 232 は、ランドマーク 300 が観測されたため、ランドマーク情報に含まれたランドマークフラグ値をアッパーカウンティングし、二つのランドマーク候補 306 及び 312 も観測されたため、同様にランドマーク候補情報に含まれたそれぞれのランドマーク候補フラグ値をアッパーカウンティングする。

10

【0085】

もし、検出されたランドマークやランドマーク候補と第 1 所定距離より遠くに位置したコーナー点、または検出されたランドマークやランドマーク候補の LFD と第 2 所定距離より遠くに位置した LFD とを有するコーナー点については、新たなランドマーク候補として決定し、決定された新たなランドマーク候補についての情報を登録する（ステップ 262）。このために、ランドマーク候補初期化部 234 は、第 1 比較部 222 で比較された結果により、コーナー点と検出されたランドマークや検出されたランドマーク候補との間の距離が第 1 所定距離より長いと認識され場合には、該当する各対に含まれるコーナー点を、新たなランドマーク候補として決定する。そして、決定された新たなランドマーク候補についての情報をランドマーク候補情報として登録する。また、ランドマーク候補初期化部 234 は、第 2 比較部 226 で比較された結果により、LFD 間の距離が第 2 所定距離より長いと認識された場合は、該当する各対に含まれるコーナー点を、新たなランドマーク候補として決定し、決定された新たなランドマーク候補についての情報をランドマーク候補情報として登録する。ここで、新たなランドマーク候補として登録されるランドマーク候補情報に含まれるランドマーク候補フラグは、'0' に初期化される。

20

【0086】

例えば、図 18 に示す対 272、276 及び 278 に含まれたコーナー点 308、314 及び 304 が、以前上部映像でランドマークでもなくランドマーク候補でもなかったと認識されれば、コーナー点 308、304 及び 314 を新たなランドマーク候補として決定し、決定されたランドマーク候補 304、308 及び 314 についてのランドマーク候補情報を登録する。例えば、図 18 に示す対 272 に含まれたコーナー点 308 とランドマーク候補 312 との間の距離が第 1 所定距離より長い、またはコーナー点 308 の LFD とランドマーク候補 312 の LFD との間の距離が第 2 所定距離より長いと認識されれば、コーナー点 308 を新たなランドマーク候補として決定し、決定されたランドマーク候補 308 についてのランドマーク候補情報を登録する。

30

【0087】

一方、ステップ 58 の後に、ランドマーク候補処理部 40 は、観測及び登録部 38 で登録されたランドマーク候補のうち、互いに重複しているランドマーク候補を除去する。そして、重複していないランドマーク候補の 2 次元映像座標から 3 次元映像座標を推定する。重複していないランドマーク候補のうち、推定された 3 次元映像座標を有するものをランドマーク登録部 42 に出力する（第 60 ステップ）。この時、観測及び登録部 38 からランドマーク候補処理部 40 に入力される、登録されたランドマーク候補のそれぞれの座標は、映像座標系で表現される 2 次元座標である。

40

【0088】

図 19 は、図 3 に示すランドマーク候補処理部 40 の本発明による実施形態 40A のブロック図であって、第 3 距離計算部 330、第 3 比較部 332、ランドマーク候補除去部 334 及び座標推定部 336 から構成される。

図 20 は、図 4 に示す第 60 ステップについての本発明による実施形態 60A を説明するためのフローチャートであって、最小距離と第 3 所定距離とを比較した結果によって重複しているランドマーク候補を除去するか、または重複していないランドマーク候補の 3

50

次元座標を推定するステップ（ステップ 350、356）からなる。

【0089】

ステップ 58 の後に、第 3 距離計算部 330 は、観測及び登録部 38 から入力端子 IN9 を介して、登録されたランドマーク候補を受信する。そして、登録されたランドマーク候補のそれぞれに対して、登録されたランドマーク候補と最も近い他の登録されたランドマーク候補との間の最小距離を計算し、計算された最小距離を第 3 比較部 332 に出力する（ステップ 350）。

【0090】

ステップ 350 の後に、最小距離が第 3 所定距離以下であるか否かを判断する（ステップ 352）。このために、第 3 比較部 332 は、第 3 距離計算部 330 から受信した各最小距離と第 3 所定距離とを比較し、比較された結果をランドマーク候補除去部 334 に出力する。本発明によれば、第 3 所定距離は、5 ピクセル距離に設定されうる。

ランドマーク候補除去部 334 は、第 3 比較部 332 で比較された結果により、第 3 所定距離以下の最小距離を有するランドマーク候補は、互いに重複していると決定する。そして、ランドマーク候補除去部 334 は、入力端子 IN9 を介して観測及び登録部 38 から受信したランドマーク候補のうち、重複しているランドマーク候補を除去する（ステップ 354）。

【0091】

例えば、図 18 に示すコーナー点 308、304 及び 314 が新たなランドマーク候補として決定され、決定されたランドマーク候補 308、304 及び 314 についてのランドマーク候補情報が観測及び登録部 38 で登録されたとする。この場合、コーナー点 308 及び 304 の間の最小距離が第 3 所定距離以下であれば、新たなランドマーク候補 308 及び 304 の一つは除去される。

【0092】

しかし、第 3 所定距離より遠く離れた最小距離を有するランドマーク候補は、互いに重複していないと決定する。そして、映像座標系で 2 次元座標により表現される重複していないランドマーク候補の 3 次元映像座標を、その 2 次元座標から、例えば、三角法により推定する（ステップ 356）。このために、本発明の一実施形態によれば、第 3 比較部 332 で比較された結果により、第 3 所定距離より遠く離れた最小距離を有するランドマーク候補は、互いに重複していないと認識される。そして、座標推定部 336 は、観測及び登録部 38 から入力端子 IN9 を介して受信した、重複していないランドマーク候補の 3 次元映像座標を推定し、推定された 3 次元座標を有するランドマーク候補を、ランドマーク登録部 42 に出力端子 OUT10 を介して出力する。

【0093】

または、本発明の他の実施形態によれば、ランドマーク候補除去部 334 が入力端子 IN9 を介して観測及び登録部 38 から受信したランドマーク候補のうち、除去されていないランドマーク候補のみを座標推定部 336 に出力したとする。この場合、座標推定部 336 は、ランドマーク候補除去部 334 で除去されていないランドマーク候補をランドマーク候補除去部 334 から受信し、この受信した重複していないランドマーク候補の 3 次元映像座標を推定する。そして、推定された 3 次元座標を有するランドマーク候補を、ランドマーク登録部 42 に出力端子 OUT10 を介して出力する。

【0094】

もし、前記のように、図 11 に示す位置予測部 134 が、オプティカルフロートラッカーを利用して、現在上部映像にあるランドマーク及びランドマーク候補の位置を予測すれば、図 19 に示す座標推定部 336 は、重複していないランドマーク候補の 2 次元座標の軌跡、移動体の位置及び方位角の軌跡から 3 次元映像座標をさらに容易に推定できる。

図 21 は、図 19 に示す座標推定部 336 で三角法を利用して高さ情報を抽出する過程の理解を容易にするための図面であって、基準座標系で位置 P_1 、 P_2 及び P_L の座標を示す。

【0095】

10

20

30

40

50

図 2 1 に示すように、移動体が位置 P₁ に位置する時の移動体の位置及び方位角値は、(x_{R1}, y_{R1}, r_{R1})_w として表現され、移動体が位置 P₂ に位置する時の移動体の位置及び方位角値は (x_{R2}, y_{R2}, r_{R2})_w として表現される。一方、位置マーク P_L が基準座標系に対して (x_L, y_L, r_L)_w に位置し、このランドマークを P₁ 及び位置 P₂ でそれぞれ上部映像を介して観測すれば、各映像座標系に対して (x_{L1}, y_{L1})_v 及び (x_{L2}, y_{L2})_v 値を求めうる。ここで、映像座標系と基準座標系との関係は、図 1 3 に示した通りである。たとえ、ロボットのような移動体の位置が基準座標系で P₁ から P₂ に変わるとしても、基準座標系でランドマークは、同じ点 (x_L, y_L, r_L)_w で表現されるが、映像座標系上では、P₁ でのランドマークの座標が、(x_{L1}, y_{L1})_v で表現され、P₂ でのランドマークの座標が、(x_{L2}, y_{L2})_v で表現される。そして、映像座標系上の点は、ランド

10

マーク P_L がロボットカメラの撮像平面に投射された点となる。この時、座標推定部 3 3 6 は、移動体が位置 P₁ から位置 P₂ に移動した距離 r_{R1} 及び角度 r_{R2} と、各映像座標系に対して求めたランドマークについての観測値 (x_{L1}, y_{L1})_v 及び (x_{L2}, y_{L2})_v とから、三角法により位置 P_L に位置した実際のランドマーク候補の高さを推定できる。

【 0 0 9 6 】

図 2 2 は、映像座標系を移動体座標系に変換する一例を示す図面であり、図 2 3 は、移動体座標系を基準座標系に変換する一例を示す図面である。

図 2 2 及び図 2 3 に示すように、まず、座標推定部 3 3 6 は、映像座標系でランドマーク候補の 2 次元座標を、次の数式 (6) のように移動体座標系に変換する。

【 0 0 9 7 】

【 数 7 】

$$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ 1 \end{bmatrix}_R = \begin{bmatrix} 0 & -s_y & s_y o_y \\ s_x & 0 & -s_x o_x \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ 1 \end{bmatrix}_V \dots (6)$$

ここで、

$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ 1 \end{bmatrix}_R$ は、移動体座標系で表現されるランドマーク候補の 2 次元座標を表し、

$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ 1 \end{bmatrix}_V$ は、映像座標系で表現されるランドマーク候補の 2 次元座標を表し、

o_x 及び o_y は、ビジョン (vision) 座標系に対する光学中心座標を表し、

s_x 及び s_y は、ビジョン座標系に対して各方向でのスケール因子を表す。

数式 (6) で、 $\begin{bmatrix} 0 & -s_y & s_y o_y \\ s_x & 0 & -s_x o_x \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ は、変換行列 T^R_V であって、次の数式 (7) のように表現されうる。

【 0 0 9 8 】

【 数 8 】

$$T_V^R = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_x & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(90^\circ) & -\sin(90^\circ) & 0 \\ \sin(90^\circ) & \cos(90^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -o_x \\ 0 & 1 & -o_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots (7)$$

次いで、座標推定部 3 3 6 は、移動体座標系でのランドマーク候補の 2 次元座標を、次の数式 (8) のように基準座標系に変換する。

【 0 0 9 9 】

10

20

30

40

【数 9】

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix}_W = T_R^W \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix}_R \quad \dots (8)$$

ここで、

$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix}_R$ は、移動体座標系で表現されるランドマーク候補の2次元座標を表し、 10

$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix}_W$ は、基準座標系で表現されるランドマーク候補の2次元座標を表し、
 T_R^W は、変換行列であって、次の数式(9)のように表現される。

【0 1 0 0】

【数 1 0】

$$T_R^W = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & x \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (9) \quad 20$$

結局、座標推定部336は、次の数式(10)のように、ランドマーク候補の基準座標系での3次元座標を求めうる。

【0 1 0 1】

【数 1 1】

$$X_L = (H^T H)^{-1} H^T X_R \quad \dots (10) \quad 30$$

ここで、

X_L は、ランドマーク候補の基準座標系での3次元座標を表し、次の数式(11)のように表現され、

X_R は、ランドマーク候補の映像座標系での2次元座標を表し、次の数式(12)のように表現され、

Tは、転置を表し、

Hは、次の数式(13)のように表現され、座標系変換を表す数式(14)と、三角法を表す数式(15)とから誘導される。

【0 1 0 2】

【数 1 2】

$$X_L = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad \dots (11) \quad 40$$

【0 1 0 3】

【数 1 3】

$$X_R = \begin{bmatrix} x_{R1} \\ y_{R1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_{RN} \\ y_{RN} \end{bmatrix} \quad \dots (12) \quad 10$$

【0 1 0 4】

【数 1 4】

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{-(x'_{11}-x_{R1})}{f} & 1 & 0 & \frac{-(x'_{1N}-x_{RN})}{f} \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ 0 & 1 & \frac{-(y'_{11}-y_{R1})}{f} & 0 & 1 & \frac{-(y'_{1N}-y_{RN})}{f} \end{bmatrix} \quad \dots (13) \quad 20$$

【0 1 0 5】

【数 1 5】

$$\begin{bmatrix} x_{11} \\ y_{11} \end{bmatrix}_V \rightarrow \begin{bmatrix} x'_{11} \\ y'_{11} \end{bmatrix}_W$$

$$\cdot$$

$$\cdot$$

$$\cdot$$

$$\begin{bmatrix} x_{1N} \\ y_{1N} \end{bmatrix}_V \rightarrow \begin{bmatrix} x'_{1N} \\ y'_{1N} \end{bmatrix}_W \quad \dots (14) \quad 30$$

【0 1 0 6】

【数 16】

$$\frac{Z_1}{f} \begin{bmatrix} X'_{11} - X_{R1} \\ Y'_{11} - Y_{R1} \end{bmatrix}_W = \begin{bmatrix} X_1 - X_{R1} \\ Y_1 - Y_{R1} \end{bmatrix}_W$$

⋮

$$\frac{Z_1}{f} \begin{bmatrix} X'_{IN} - X_{RN} \\ Y'_{IN} - Y_{RN} \end{bmatrix}_W = \begin{bmatrix} X_1 - X_{RN} \\ Y_1 - Y_{RN} \end{bmatrix}_W$$

10

⋯ (15)

本発明によれば、図 3 に示すランドマーク生成部 10 A は、ランドマーク候補処理部 40 を設けなくてもよい。その場合、図 4 に示すステップ 20 A は、ステップ 60 を含んでいなくてもよい。

【0107】

一方、ステップ 60 の後に、ランドマーク登録部 42 は、ランドマーク候補のうち、所定回数以上コーナー点として観測されたランドマーク候補をランドマークとして新たに登録し、登録されたランドマークを出力端子 OUT3 を介して出力する。逆に、ランドマーク候補のうち、所定回数より少なくコーナー点として観測されたランドマーク候補についてのランドマーク候補情報をランドマーク及びランドマーク候補予測部 34 に出力する（ステップ 62）。ここで、所定回数は、例えば、'5' に設定されうる。ステップ 62 で、ランドマーク登録部 42 が新たにランドマークを登録する手順を説明すれば、まず、拡張されたカルマンフィルタ（Extended Kalman Filter：EKF）の共分散行列の大きさを大きくし、関連ランドマーク位置を共分散行列のサブマトリックスに挿入し、関連ランドマークノイズをノイズ共分散行列に挿入する。

20

【0108】

一方、ステップ 20 の後に、位置及び地図演算部 12 は、ランドマーク生成部 10 から受信したランドマーク情報を利用して、移動体の位置を推定すると共に地図を生成し、推定された位置及び生成された地図を、出力端子 OUT1 を介して出力する。一方、ランドマーク情報と移動体の位置及び方位角などをランドマーク生成部 10、すなわち、図 3 に示すランドマーク及びランドマーク候補予測部 34 に出力する（ステップ 22）。このために、図 1 に示す移動体の位置推定及び地図の生成装置は、走行処理部 14 をさらに設けうる。

30

【0109】

ここで、走行処理部 14 は、移動体の走行を制御し、走行についての情報を位置及び地図演算部 12 に出力する。ここで、走行についての情報とは、移動体、例えば、移動ロボットの左右輪に設けられたエンコーダ（図示せず）から獲得したセンサー値、すなわち、ロボット駆動情報となりうる。

40

この時、位置及び地図演算部 12 は、走行処理部 14 から受信した走行についての情報と、ランドマーク生成部 10 から入力したランドマークとから移動体の位置を推定すると共に、地図を生成して、ランドマークについての情報をランドマーク生成部 10 に出力する。

【0110】

本発明によれば、位置及び地図演算部 12 は、拡張されたカルマンフィルタ（EKF）を利用してランドマークから移動する移動体の位置を認識すると共にランドマークについての地図を生成する SLAM 演算部（図示せず）で具現されうる。

図 3 に示すランドマーク登録部 42 で新たなランドマークを登録する前記の手順と、図 1 に示す位置及び地図演算部 12 とについては、'M. W. M. G a m i n i D i s s

50

anayake', 'Paul Newman', 'Steven Clark', 'Hugh F. Durrant-Whyte' 及び 'M. Csorba', "A Solution to the Simultaneous Localization and Map Building (SLAM) Problem", IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol.17, No.3, June 2001に開示されている。

【0111】

以下、位置及び地図演算部12で行われるSLAM更新について、次のように添付された図24及び図25を参照して説明する。

EKF基盤のSLAM技法(自己位置と地図情報の同時推定手法)の場合、一般的な方法論及びSLAM技法についての理論的な証明を含んでいるが、本発明で提示された動きモデル、観測モデルなどの一連の方法を含んでいない。すなわち、本発明の図1に示すランドマーク生成部10を介して、移動体の位置、方位角演算及び地図作成の性能を一般的なEKF基盤のSLAM技法に比べて向上させた。

【0112】

図24は、処理モデルを説明するための図面であって、基準座標系で移動体400の座標 (x_k, y_k) を表す。ここで、媒介物処理モデル、すなわち、移動体の位置モデルは、次の数式(16)のように表現され、ランドマーク処理モデル、すなわち、地図のモデルは、次の数式(17)のように表現されうる。

【0113】

【数17】

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= x_k + T v \cos(\theta_k) \\ y_{k+1} &= y_k + T v \sin(\theta_k) \\ \theta_{k+1} &= \theta_k + T w \end{aligned} \quad \dots (16)$$

ここで、

(x_k, y_k, θ_k) は、基準座標系上で以前上部映像を獲得する時の移動体の位置及び角度を表し、

$(x_{k+1}, y_{k+1}, \theta_{k+1})$ は、基準座標系上で現在上部映像を獲得する時の移動体の位置及び角度を表し、

v は、移動体の線速度を表し、 w は、移動体の角速度を表し、 T は、サンプリング時間を表す。

【0114】

【数18】

$$\begin{bmatrix} x_i(k+1) \\ y_i(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i(k) \\ y_i(k) \end{bmatrix} \quad \dots (17)$$

図25は、観測モデルを説明するための図面であって、 x 、 y 及び z は、基準座標系の軸を表し、 x_v 及び y_v は、映像座標系の軸を表し、 (x_j, y_l, z_l) は、基準座標系でのランドマークの座標を表し、 $(x_R, y_R$ 及び $z_R)$ は、移動体座標系でのランドマークの座標をそれぞれ表す。

【0115】

図25に示すように、映像座標系上で中心点 (x_v, y_v, z_v) から点402までの距離 d_v は、次の数式(18)のように表現され、映像座標系上で x_v 軸及び点402までのベクトルがなす角度 α_v は、次の数式(19)のように表現されうる。

【 0 1 1 6 】

【 数 1 9 】

$$d_v = \sqrt{(x_R - x_L)^2 + (y_R - y_L)^2} \frac{f}{z_L} \quad \dots (18)$$

ここで、 f は、スケールファクターを表し、物理的には、カメラレンズの焦点距離を意味する。

【 0 1 1 7 】

【 数 2 0 】

$$\Psi = \tan^{-1} \left(\frac{y_R - y_L}{x_R - x_L} \right) - \theta_R \quad \dots (19)$$

ここで、角度 ϕ_v は、映像座標系上で x_v 軸及び点 4 0 2 までのベクトル \vec{z} がなす角度である。

以下、数式 (16) 及び数式 (17) で与えられた処理モデル、数式 (18) 及び数式 (19) で与えられた観測モデル、'M. W. M. Gaminini Dissanayake', 'Paul Newman', 'Steven Clark', 'Hugh F. Durrant-Whyte' 及び 'M. Csorba', "A Solution to the Simultaneous Localization and Map Building (SLAM) Problem", IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 17, No. 3, June 2001 に開示された方法、及び前記の実施形態を参照すれば、本発明の実施形態は当業者により容易に具現されうる。

【 0 1 1 8 】

一方、前記の本発明の実施形態は、コンピュータで実行されうるプログラムで作成可能であり、コンピュータで読み取り可能な記録媒体を利用して前記プログラムを動作させる汎用デジタルコンピュータで具現されうる。前記コンピュータで読み取り可能な記録媒体は、マグネチック保存媒体 (例えば、ROM (Read Only Memory)、フレキシブルディスク、ハードディスク等)、光学的な読み取り媒体 (例えば、CD-ROM、DVD (Digital Versatile Display) 等) 及びキャリアウェーブ (例えば、インターネットを介した伝送) のような保存媒体を含む。

【 0 1 1 9 】

コンピュータで読み取り可能な記録媒体に保存されるコンピュータプログラムは、移動体の位置した周囲の上部を撮影して獲得した上部映像でコーナーを表すコーナー点を観測させ、観測されたコーナー点からランドマークを生成させるステップ及びランドマークから移動体の位置を推定させて地図を生成させるステップを行う。

ランドマークを生成させるステップでは、現在上部映像でコーナーを表すコーナー点の座標及びコーナー点を互いに区分する LFD のうち、少なくとも一つを利用する。そして、コーナー点の座標及び/又は LFD を利用して、コーナー点のうち、以前上部映像でランドマークやランドマーク候補であったコーナー点を観測させて検出する。以前上部映像でランドマークでもなくランドマーク候補でもなかったコーナー点を、新たなランドマーク候補として登録させ、ランドマーク候補のうち、所定回数以上コーナー点として観測されたランドマーク候補をランドマークとして登録させる。この時、ランドマークを登録させるステップは、移動体の位置した環境の上部映像を獲得させるステップと、獲得された映像をバッファリングさせ、バッファリングされた結果を以前上部映像として決定するステップと、現在上部映像のコーナー点の座標及び LFD のうち、少なくとも一つを映像特徴情報として抽出させるステップと、以前上部映像でのランドマーク及びランドマーク候

10

20

30

40

50

補を現在上部映像で予測させるステップと、予測ランドマーク及びランドマーク候補についての情報と映像特徴情報とを比較させ、比較された結果を利用して、コーナー点のうち、以前上部映像でランドマークやランドマーク候補であったコーナー点を観測させ、以前上部映像でランドマークでもなくランドマーク候補でもなかったコーナー点を新たなランドマーク候補として登録させるステップと、ランドマーク候補のうち、所定回数以上コーナー点として観測されたランドマーク候補をランドマークとして登録させるステップと、を行う。

【0120】

映像を獲得させるステップは、移動体の位置した環境の上部映像を獲得させるステップ、及び獲得された上部映像の歪曲を補正させるステップを行う。映像を獲得させるステップは、歪曲が補正された結果を低域通過フィルタリングさせるステップをさらに行う。または、映像を獲得させるステップは、移動体の位置した周囲の上部映像を獲得させるステップ、及び獲得された上部映像を低域通過フィルタリングさせるステップを行う。映像特徴情報を抽出させるステップは、現在上部映像でコーナー点を検出させ、検出されたコーナー点の座標を求めさせるステップ、及び検出されたコーナー点の周辺の映像を分析させ、分析された結果を利用して、コーナー点別にLFDを求めさせるステップを行う。ランドマーク及びランドマーク候補の位置を現在上部映像で予測させるステップは、以前上部映像で登録されたランドマーク及びランドマーク候補の位置の3次元座標を、前記以前上部映像が入力された時の移動体の位置及び方位角を利用して、以前上部映像の映像座標系を基準に2次元に変換させるステップと、変換された2次元座標を有するランドマーク及びランドマーク候補のうち、以前上部映像に属するランドマーク及びランドマーク候補のみを選択させるステップ、及び現在上部映像と以前上部映像との間の変化量を、選択された結果について計算させ、計算された変化量を利用して、現在上部映像にあるランドマーク及びランドマーク候補を予測させるステップを行う。

【0121】

コーナー点を観測して新たなランドマーク候補を登録させるステップは、コーナー点のそれぞれに対して、コーナー点と最も近い予測ランドマークやランドマーク候補を見つけさせるステップと、コーナー点のそれぞれに対して、コーナー点と検出されたランドマークやランドマーク候補との間の距離が第1所定距離以下であるか否かを判断させるステップと、検出されたランドマークやランドマーク候補との距離が第1所定距離以下のコーナー点のそれぞれに対して、コーナー点のLFDと検出されたランドマークやランドマーク候補のLFDとの間の距離が第2所定距離以下であるか否かを判断させるステップと、コーナー点のLFDと検出されたランドマークやランドマーク候補のLFDとの間の距離が第2所定距離以下であると判断されれば、コーナー点と最も近い位置にランドマークが存在するか、それともランドマーク候補が存在するかを判断させるステップと、ランドマークが存在すると判断されれば、ランドマークが観測された回数を表すランドマークフラグをアップカウンティングさせるステップと、ランドマーク候補が存在すると判断されれば、ランドマーク候補が観測された回数を表すランドマーク候補フラグをアップカウンティングさせるステップ、及び検出されたランドマークやランドマーク候補及び第1所定距離より遠く位置したコーナー点、または検出されたランドマークやランドマーク候補のLFD及び第2所定距離より遠く位置したLFDに該当するコーナー点を新たなランドマーク候補として決定し、決定された新たなランドマーク候補についての情報を登録させるステップを行う。

【0122】

ランドマークを登録するステップは、登録されたランドマーク候補のうち、互いに重複しているランドマーク候補を除去させ、重複していないランドマーク候補の2次元映像座標から3次元映像座標を推定させるステップをさらに行う。映像座標を推定させるステップは、登録されたランドマーク候補のそれぞれに対して、最も近いランドマーク候補間の最小距離を求めさせるステップと、最小距離が第3所定距離以下であるか否かを判断させるステップと、第3所定距離以下の最小距離を有するランドマーク候補は互いに重複して

10

20

30

40

50

いると決定し、重複しているランドマーク候補を除去させるステップ、及び第3所定距離より遠く離れた最小距離を有するランドマーク候補は互いに重複していないと決定し、重複していないランドマーク候補の3次元映像座標を推定させるステップを行う。

【0123】

以下、移動体としてロボットを採択しつつ、本発明による上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置と方法、並びにその装置を制御するコンピュータプログラムを保存するコンピュータで読み取り可能な記録媒体により、ロボットの自身の位置及び方位角をテストした結果を、添付された図面を参照して次の通りに説明する。

まず、ロボットの各位置での距離誤差の和を総サンプル数で除算した結果を距離平均誤差として定義し、ロボットの各位置での方位角度の誤差の和を総サンプル数で除算した結果を方位角の平均誤差として定義する。このような誤差を計算するために、まず、ロボットが学習を始めた初期位置を基準座標系の原点に設定し、その初期位置でのロボットの進行方向を基準座標系のx軸方向と一致させる。この時、ロボットの実際の位置及び方位角を (x_d, y_d, θ_d) として表記し、ロボットの測定位置及び方位角を (x, y, θ) として表記する場合、距離誤差 e_d は、次の数式(20)のように表現され、cmの単位を有し、方位角誤差 e_θ は、次の数式(21)のように表現され、degreeの単位を有しうる。

【0124】

【数21】

$$e_d = \sqrt{(x_d - x)^2 + (y_d - y)^2} \quad \dots (20)$$

【0125】

【数22】

$$e_\theta = |\theta_d - \theta| \quad \dots (21)$$

一方、ロボットが移動するテスト環境がアパートの居間であるとする時、まず、居間でロボットが移動する経路をあらかじめ設定する。そして、ロボットを経路によって自動的に移動させた後、ロボットの移動時にリアルタイムで居間の地図を作成し、位置を認識させた。この時、ロボットが移動する経路上の決まったポイント、例えば、15ヶ所のポイントにロボットを移動させた後、各ポイントで所定回数、例えば、3回にわたってロボットの位置及び方位角を実測する。この時、ロボット内のプロセッサ上で計算された位置及び方位角と、測定された位置及び方位角との間の距離誤差及び方位角誤差を所定数、例えば、45個ほどサンプルデータとして獲得する。

【0126】

図26は、テストするロボットの外観を示す写真であって、輪駆動部550、ロボット551、上部カメラ552及び天井554を示す。ここで、図3に示す映像特徴情報抽出部36は、天井554で複数のコーナー点560ないし578を検出できる。

図26に示す輪駆動部550は、図1に示す走行処理部14の役割を行い、上部カメラ552は、図3に示す映像獲得部30に内蔵されうる。

【0127】

図27A及び図27Bは、ロボットが移動する経路を例示的に示す図面であって、図27Aは、ロボットが走行するアパートの居間をはじめとして、アパートの平面図を示し、図27Bは、ロボットが走行する経路を例示的に示す図面である。各矢印に対応する数字は、実際mm単位で表示された距離値を意味する。図27Bに示す経路は、基準座標系で表示される。

【0128】

図27Aに示すアパートの居間で、ロボットは、図27Bに示す矢印方向の経路によって地図を自動的に学習する。この時、ロボットを図27Bに示す学習開始点(0, 0)6

10

20

30

40

50

00で学習を開始させる。この時、図27Bに示す各ポイントで、基準座標系でロボットの座標値を実測により求め、学習が終わった後、それらのポイントで位置及び方位角の誤差を測定する。

【0129】

一方、定規と分度器とを使用して、ロボットの位置及び方位角を測定し、位置及び方位角を測定する順序は、次の通りである。

図28は、ロボットの外観を示す図面であり、図29Aないし図29Dは、ロボットの位置測定を示す写真である。

まず、ロボットをテストポイント、例えば、図27Bに示すポイント602ないし622のうち、何れか1箇所のポイントに位置させた後、ロボットの輪軸634と左右輪の外側面630及び632とが出合う点を地面方向に投影した時、地面と出合う点を図29A及び図29Bに示すように印を付ける。この時、ロボットを移動させた後、図29Cに示すように、地面に印を付けられた二つのマークを連結する線分を描いた後、線分の中心点と原点との距離をロボットの距離として測定する。さらに、図29Dに示すように、線分が地面の基準線となす角度をロボットの角度として設定する。

【0130】

図30は、前記の測定方法を利用して、15個のポイントのそれぞれに対して3回測定して、45個のサンプルデータを獲得する場合、測定データの一例を示す図面である。

図31は、図30から得られた距離誤差に対するMinitabというデータ分析プログラムを利用して実施した、統計的分析結果を説明するための図面であって、最大許容距離誤差(USL、Upper Specification Limit)が10cmである場合、測定された距離誤差についての統計分析結果を表すグラフであって、縦軸は、確率分布を表し、横軸は、距離誤差の範囲を表す。

【0131】

図31からUSLが10cmである場合、30個の観測データ数に対して平均距離誤差は5.9018cmであり、この時、分散程度を測定するシグマレベルは、全体工程能力に対して $Z \cdot Bench + 1.5$ の数式で2.74シグマレベルであるということが分かる。シグマレベルは、本来、不良率を表す指標であって、6シグマレベルは、100万個の生産時、3.4個の不良が発生するレベルを意味する。このシックスシグマとは、設計製造やサービス提供に関連するビジネス・プロセス上の欠陥を最小化することにより、業務パフォーマンスを改善するための経営・品質管理手法である。

図32は、方位角の誤差に対してMinitabというデータ分析プログラムを利用して実施した統計的な分析結果を説明するための図面であって、最大方位角の許容誤差が5度である場合、測定された方位角誤差についての統計分析結果を表すグラフであって、縦軸は、観測された方位角データの確率分布を表し、横軸は、方位角誤差の範囲を表す。

【0132】

図32からUSLが5度である場合、30個の観測データ数に対して平均距離誤差は1.94333度であり、この時、分散程度を測定するシグマレベルは、全体の工程能力に対して $Z \cdot Bench + 1.5$ の数式で3.43シグマレベルであるということが分かる。ここで、シグマは誤差に対する偏差が良好であることを示すものであり、前記の結果から本発明の方法が極めてロバスト(robust)であることを統計的に示している。

【0133】

以上のように、本発明では、コーナ点や映像特徴周辺記述子を用いてランドマークを生成するため、上部映像そのものを保存したり上部映像そのものを用いて演算することなくランドマークを生成することができ、演算量を大幅に減らすことができる。演算量が減少するため、生成したランドマークからの位置の推定及び地図の作成をともに行うことが可能となる。

【0134】

また、カメラなどを用いて上部映像を取得することでランドマークを生成するため、レーザーレンジファインダーのような高価なカメラが不要である。このとき、上部映像を取

10

20

30

40

50

得するために、安価の一台のカメラのみを利用すれば良いため、製造コストを低減させることができる。

また、上述の通り、ランドマークは、上部映像に基づいて自動的に生成される。よって、例えば、赤外線ランドマーク、色パターンのような人工ランドマークなどの別途の付着物によりランドマークを生成する必要がない。このような別途の付着物によるランドマークを用いた場合には、これらのランドマークをセンシングする際に、照明などの影響を受けてランドマークを正確に取得することが出来ない場合がある。しかし、本発明のように、上部映像に基づいてランドマークを生成する場合には、前述のような照明の影響を受けることが無く正確にランドマークを生成でき、正確な位置の推定及び正確な地図作製を行うことができる。

10

【0135】

ランドマークの候補を新たに登録する時、コーナー点の特徴を表すSIFT (Scale Invariant Feature Transform) 記述子のような映像特徴周辺記述子を利用する場合には、移動体の位置した室内環境の全体の照度が変化するとしても、映像の輝度変化は一定である。よって、移動体の位置した照明の変化にロバスト性を有するランドマークを見つけて登録できる。これにより移動体の位置認識及び地図作成を正確に行わせることができる。例えば、移動体の平均距離誤差を約6cm以内に維持し、方位角の平均誤差を約2度以内に維持できる。ここで、ロバスト性とは、外乱や設計誤差などの不確定な変動に対して、システム特性が現状を維持できることを意味する。

【0136】

さらに、オプティカルフロートラッキングと映像特徴周辺記述子とを何れも利用する場合には、従来のSLAM技法の問題であるデータ関連問題、すなわち、Large closed loop問題を解決でき、EKF基盤のSLAM (Simultaneous Location And Map Building) 技法の安定性を確保できる。

20

【産業上の利用可能性】

【0137】

本発明は、ロボットに関連した技術分野に好適に適用され得る。

【図面の簡単な説明】

【0138】

【図1】本発明による上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図の生成装置の実施形態のブロック図である。

30

【図2】本発明による上部映像を利用した移動体の位置推定及び地図生成方法の実施形態を説明するためのフローチャートである。

【図3】図1に示すランドマーク生成部の本発明による好ましい実施形態のブロック図である。

【図4】図2に示す第20ステップについての本発明による実施形態を説明するためのフローチャートである。

【図5】図3に示す映像獲得部の本発明による実施形態のブロック図である。

【図6】図4に示す第50ステップについての本発明による実施形態を説明するためのフローチャートである。

40

【図7A】歪曲補正部に入力される映像の一例を示す写真である。

【図7B】歪曲補正部から出力される映像の一例を示す写真である。

【図8】図3に示す映像特徴情報抽出部の本発明による実施形態のブロック図である。

【図9】図4に示す第54ステップについての本発明による実施形態を説明するためのフローチャートである。

【図10A】コーナー点検出部の理解を容易にするための写真である。

【図10B】コーナー点検出部の理解を容易にするための写真である。

【図11】図3に示すランドマーク及びランドマーク候補予測部の本発明による好ましい実施形態のブロック図である。

50

【図12】図4に示す第56ステップについての本発明による好ましい実施形態を説明するためのフローチャートである。

【図13】映像座標変換部の動作を説明するための座標系を例示的に示す図面である。

【図14】図11に示す選択部の理解を容易にするための図面である。

【図15】位置予測部の理解を容易にするための図面である。

【図16】図3に示す観測及び登録部の本発明による実施形態のブロック図である。

【図17】図4に示す第58ステップについての本発明による実施形態を説明するためのフローチャートである。

【図18】図16に示す観測及び登録部の理解を容易にするための例示的な図面である。

【図19】図3に示すランドマーク候補処理部の本発明による実施形態のブロック図である。

10

【図20】図4に示す第60ステップについての本発明による実施形態を説明するためのフローチャートである。

【図21】図19に示す座標推定部で三角法を利用して、高さ情報を抽出する過程の理解を容易にするための図面である。

【図22】映像座標系を移動体座標系に変換する一例を示す図面である。

【図23】移動体座標系を基準座標系に変換する一例を示す図面である。

【図24】処理モデルを説明するための図面である。

【図25】観測モデルを説明するための図面である。

【図26】テストするロボットの外観を示す写真である。

20

【図27A】ロボットが移動する経路を例示的に示す図面である。

【図27B】ロボットが移動する経路を例示的に示す図面である。

【図28】ロボットの外観を示す図面である。

【図29A】ロボットの位置測定を示す写真である。

【図29B】ロボットの位置測定を示す写真である。

【図29C】ロボットの位置測定を示す写真である。

【図29D】ロボットの位置測定を示す写真である。

【図30】図29Aから図29Dの測定方法を利用して、15個のポイントのそれぞれに対して3回測定して、45個のサンプルデータを獲得する場合、測定データの一例を示す表である。

30

【図31】図30で得られた距離誤差に対するMinitabというデータ分析プログラムを利用して実施した統計的な分析結果を説明するためのグラフである。

【図32】前記方位角誤差に対してMinitabというデータ分析プログラムを利用して実施した統計的な分析結果を説明するためのグラフである。

【符号の説明】

【0139】

30 映像獲得部

32 映像バッファ

34 ランドマーク及びランドマーク候補予測部

36 映像特徴情報抽出部

40

38 観測及び登録部

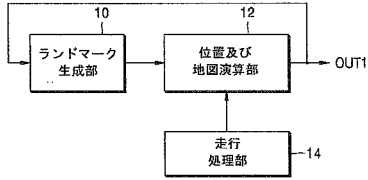
40 ランドマーク候補処理部

42 ランドマーク登録部

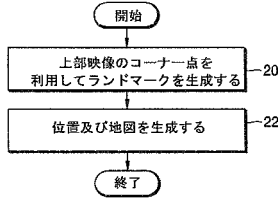
IN1 入力端子

OUT2、OUT3 出力端子

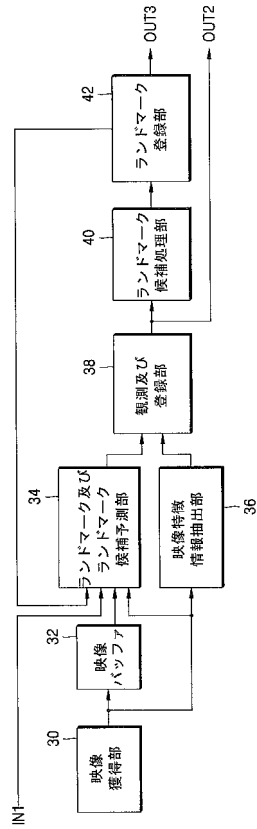
【図1】



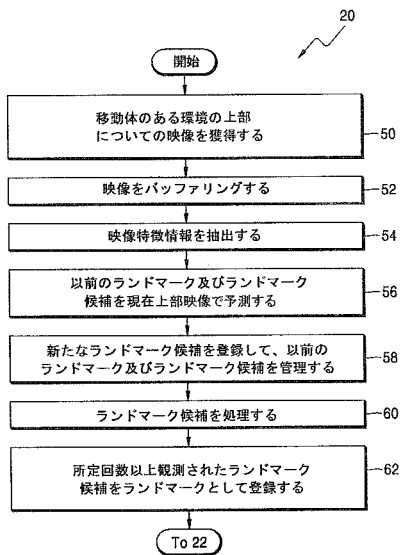
【図2】



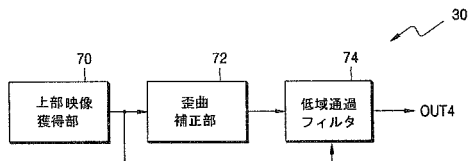
【図3】



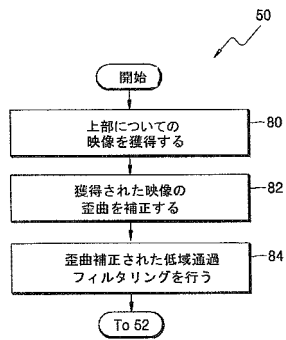
【図4】



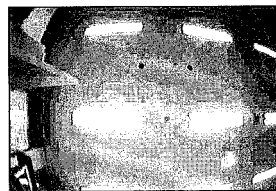
【図5】



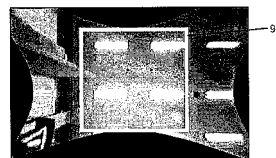
【図6】



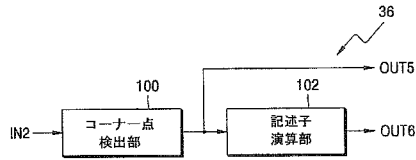
【図7A】



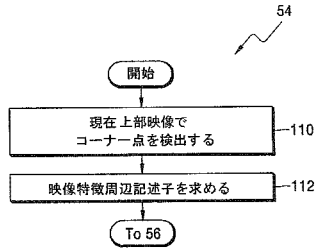
【図7B】



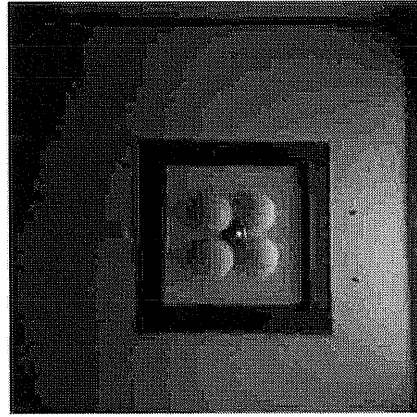
【図8】



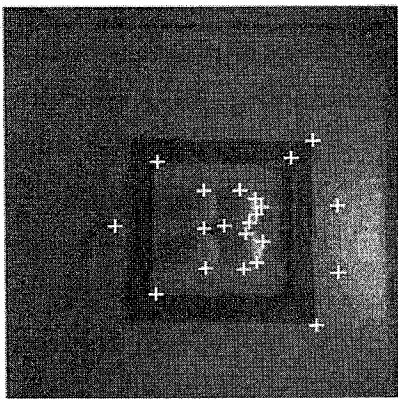
【図9】



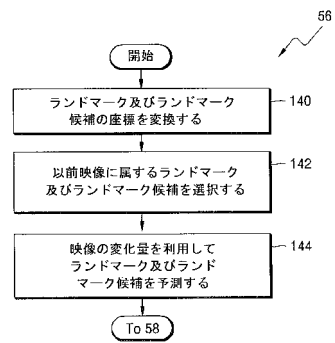
【図10A】



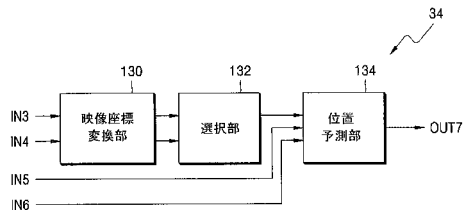
【図10B】



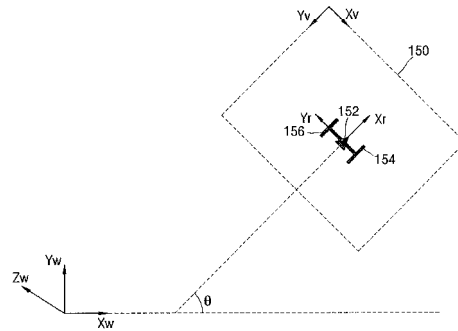
【図12】



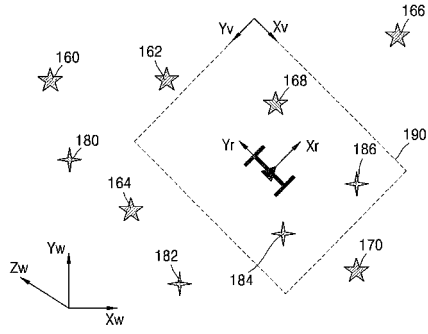
【図11】



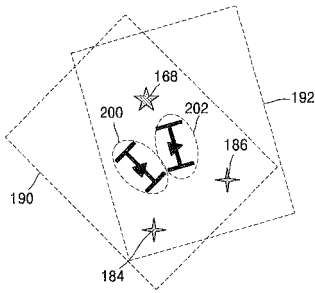
【図13】



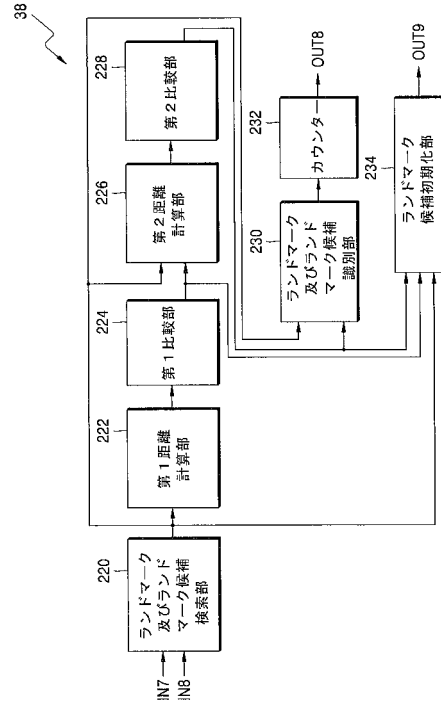
【図14】



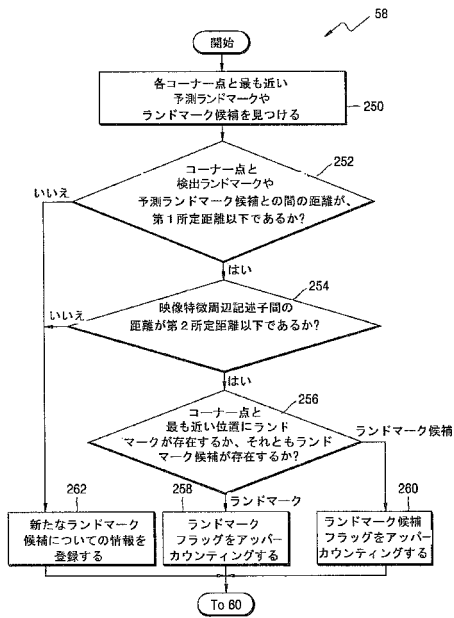
【図15】



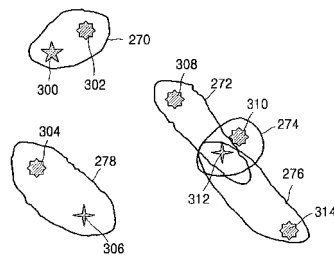
【図16】



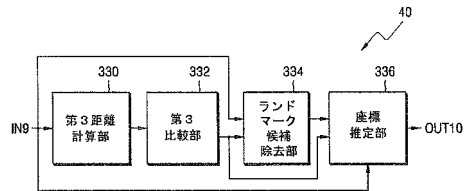
【図17】



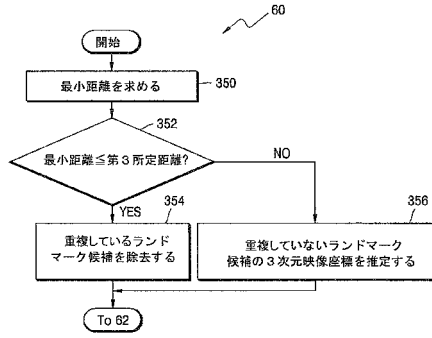
【図18】



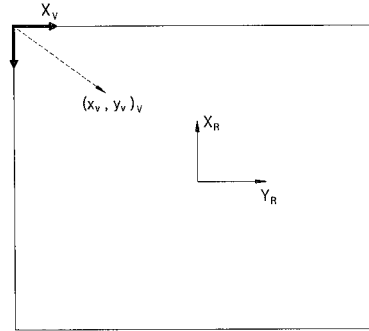
【図19】



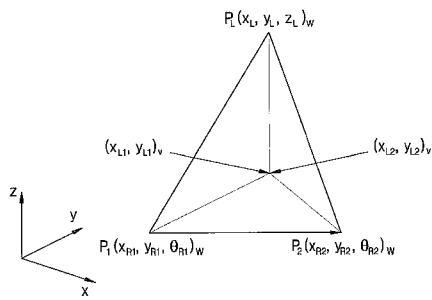
【図20】



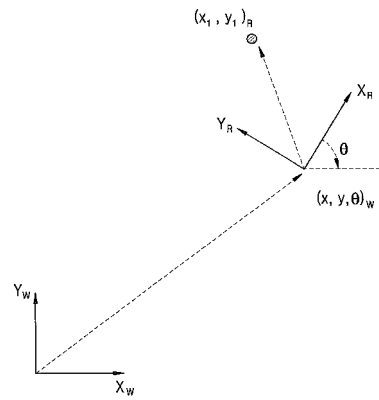
【図22】



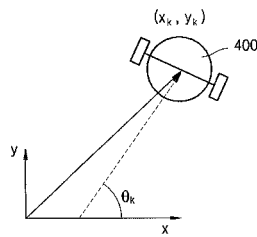
【図21】



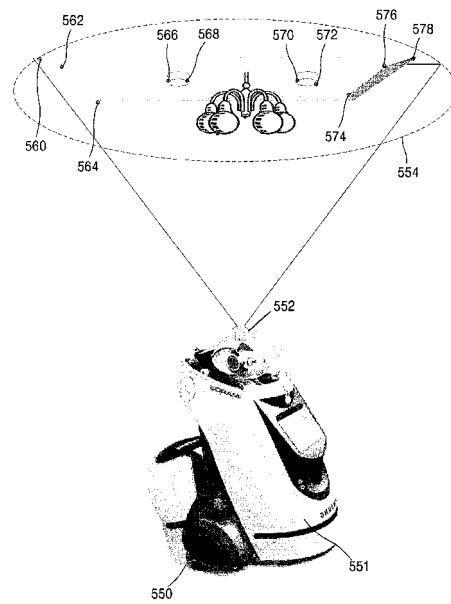
【図23】



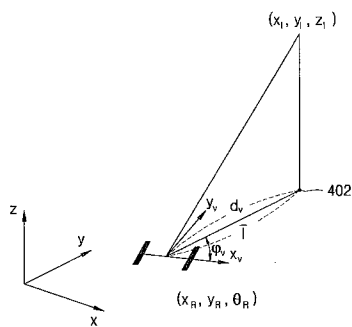
【図24】



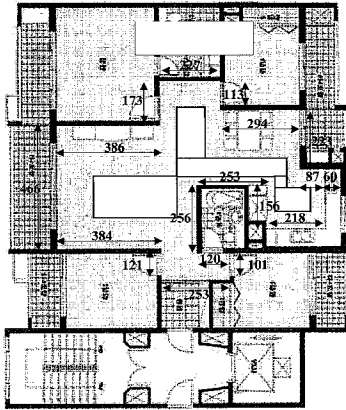
【図26】



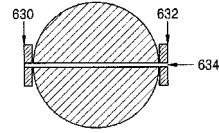
【図25】



【 27 A 】



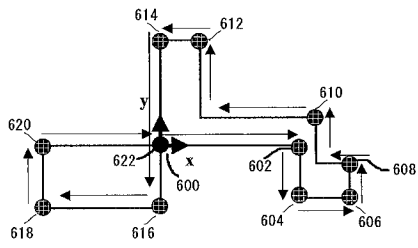
【 28 】



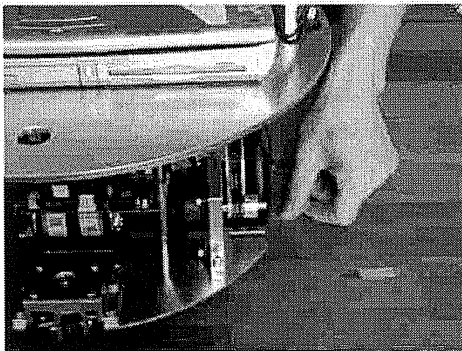
【 29 A 】



【 27 B 】



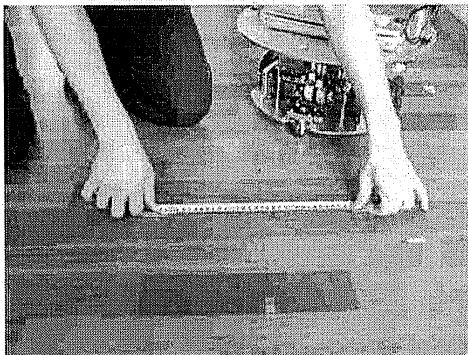
【 29 B 】



【 29 D 】



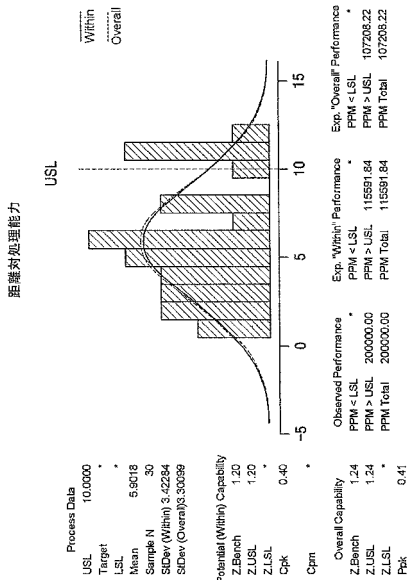
【 29 C 】



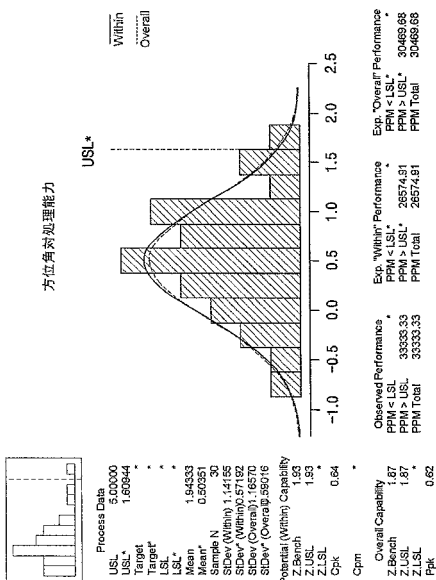
【 3 0 】

sub	xd	yd	hd	x	y	h	距離	方位角
1	0	0	0	0.0	-10.0	2	10.00417	1.5
1	375	0	0	375.9	-1.1	-1.9	7.421207	1.5
1	375	-140	-90	371.1	-143.9	-92.5	5.445181	2.5
1	465	-140	0	461.4	-146.1	-93.1	6.242896	3.1
1	465	-80	90	484.2	-85.7	65.9	5.155807	4.1
1	375	0	0	375.9	1.2	66.7	7.276553	1.3
1	375	100	90	377.9	99.7	66.2	2.816828	2.1
1	70	240	-180	66.3	233.7	91.6	7.305152	1.6
1	70	240	-180	-6.6	230.6	-178.1	11.44854	0.9
2	0	0	0	1.5	-10.7	1.4	10.300463	1.4
2	375	0	0	376.3	-1.2	-1.6	7.189181	1.6
2	375	-140	-90	371.2	-143.4	-92.4	5.039202	2.4
2	465	-140	0	461.7	-144.7	-94.5	5.742822	4.6
2	465	-80	90	484.1	-85.1	64.7	5.178903	3.3
2	375	0	0	376.7	1.5	68.5	1.855695	0.5
2	375	100	90	376.5	100.9	66.4	3.994605	1.6
2	70	240	-180	66.6	233.5	-177.9	5.359599	2.1
2	70	240	-180	-5.4	230.1	-176.5	11.78955	1.2
3	0	0	0	4.2	-9.4	1.9	10.24953	1.9
3	375	0	0	375.6	-3.8	-0.6	3.647077	0.6
3	375	-140	-90	372.2	-141.8	-92.6	3.328693	2.6
3	465	-140	0	465.2	-144.5	-0.7	5.197113	0.7
3	465	-80	90	465.4	-84.2	69	4.194411	1
3	375	0	0	376.8	-1.4	69.3	1.612492	0.7
3	375	100	90	375.9	102.7	67.1	2.84695	2.9

【 3 1 】



【 3 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 洪 先 基

大韓民国京畿道華城市台安邑半月里 8 6 0 番地新靈通現代アパ - ト 1 0 2 棟 5 0 4 號

(72)発明者 李 炯 機

大韓民国京畿道水原市靈通區靈通洞 1 0 4 6 - 1 番地清明マウル 4 團地アパ - ト 4 0 1 棟 1 9 0 2 號

(72)発明者 明 鉉

大韓民国京畿道華城市台安邑機山里 7 7 - 1 番地プルジオアパ - ト 1 1 4 棟 5 0 1 號

審査官 稲垣 浩司

(56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 0 1 2 4 2 9 (J P , A)

特開 2 0 0 4 - 3 5 5 6 0 1 (J P , A)

特開 2 0 0 4 - 2 7 6 1 6 8 (J P , A)

特開平 1 1 - 2 5 9 6 5 9 (J P , A)

特開平 0 9 - 0 5 3 9 3 9 (J P , A)

特開 2 0 0 4 - 1 3 3 5 6 7 (J P , A)

特開 2 0 0 4 - 0 3 0 4 4 5 (J P , A)

米国特許第 5 7 9 3 9 3 4 (U S , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 0 5 D 1 / 0 2

G 0 9 B 2 9 / 0 0