

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4262484号
(P4262484)

(45) 発行日 平成21年5月13日(2009.5.13)

(24) 登録日 平成21年2月20日(2009.2.20)

(51) Int.Cl.	F 1
G 0 6 T 7/60	(2006.01) G O 6 T 7/60 1 5 O P
G 0 1 B 11/26	(2006.01) G O 6 T 7/60 3 0 O A
G 0 6 T 3/00	(2006.01) G O 1 B 11/26 H
H 0 4 N 7/18	(2006.01) G O 6 T 3/00 1 O O H O 4 N 7/18 C

請求項の数 6 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2003-7338 (P2003-7338)
 (22) 出願日 平成15年1月15日 (2003.1.15)
 (65) 公開番号 特開2004-220351 (P2004-220351A)
 (43) 公開日 平成16年8月5日 (2004.8.5)
 審査請求日 平成17年9月28日 (2005.9.28)

(73) 特許権者 503360115
 独立行政法人科学技術振興機構
 埼玉県川口市本町4丁目1番8号
 (73) 特許権者 599144734
 財団法人ソフトピアジャパン
 岐阜県大垣市加賀野4丁目1番地の7
 (74) 代理人 100068755
 弁理士 恩田 博宣
 (74) 代理人 100105957
 弁理士 恩田 誠
 (72) 発明者 王 彩華
 岐阜県大垣市今宿5番地の21 メゾン東
 大垣C203
 (72) 発明者 棚橋 英樹
 岐阜県本巣郡巣南町古橋777番地の1
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】センサの傾き推定装置、及びセンサの傾き推定方法、並びにセンサの傾き推定プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

センサが取得した全方向画像に基づいて、ベクトルからなるエッジとベクトルからなるそのエッジ方向を割り出す割り出し手段と、

前記エッジと前記エッジ方向を球面画像に写像する写像手段と、

前記球面画像に写像された前記エッジと前記エッジ方向を、センサ座標系に係る所定の平面からなる投票空間に投票する投票手段と、

前記投票空間の中で前記投票手段によって投票された投票回数の最大となる点を検出する検出手段と、

前記検出手段の検出結果に基づいて前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する推定手段と

を備えたことを特徴とするセンサの傾き推定装置。

【請求項 2】

前記推定手段を第1推定手段としたとき、前記第1推定手段が推定したセンサの傾きを初期値とし、同初期値とともに前記球面画像に写像したエッジとそのエッジ方向を用いて、下記式の2乗和を最小化することにより、前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する第2推定手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載のセンサの傾き推定装置。

$$(Zw \times s)^T e d = (s \times e d)^T Zw = 0$$

(なお、Zwは水平な基準面に対して垂直をなすワールド座標系の軸のベクトル、sは

10

20

ワールド座標系における3次元垂直エッジをセンサ座標系での前記球面画像に写像したベクトル、e dはワールド座標系におけるエッジ方向をセンサ座標系での前記球面画像に写像したベクトル、Tは転置行列、×はベクトルの外積である。)

【請求項3】

センサが取得した全方向画像に基づいて、ベクトルからなるエッジとベクトルからなるそのエッジ方向を割り出す割り出しステップと、

前記エッジと前記エッジ方向を球面画像に写像する写像ステップと、

前記球面画像に写像された前記エッジと前記エッジ方向を、センサ座標系に係る所定の平面からなる投票空間に投票する投票ステップと、

前記投票空間の中で投票された投票回数の最大となる点を検出する検出ステップと、

その検出結果に基づいて前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する推定ステップと

を備えたことを特徴とするセンサの傾き推定方法。

【請求項4】

前記推定ステップを第1推定ステップとしたとき、前記第1推定ステップで推定したセンサの傾きを初期値とし、同初期値とともに前記球面画像に写像したエッジとそのエッジ方向を用いて、下記式の2乗和を最小化することにより、前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する第2推定ステップを備えたことを特徴とする請求項3に記載のセンサの傾き推定方法。

$$(Zw \times s)^T e d = (s \times e d)^T Zw = 0$$

(なお、Zwは水平な基準面に対して垂直をなすワールド座標系の軸のベクトル、sはワールド座標系における3次元垂直エッジをセンサ座標系での前記球面画像に写像したベクトル、e dはワールド座標系におけるエッジ方向をセンサ座標系での前記球面画像に写像したベクトル、Tは転置行列、×はベクトルの外積である。)

【請求項5】

コンピュータを、

センサが取得した全方向画像に基づいて、ベクトルからなるエッジとベクトルからなるそのエッジ方向を割り出しする割り出し手段と、

前記エッジと前記エッジ方向を球面画像に写像する写像手段と、

前記球面画像に写像された前記エッジと前記エッジ方向を、センサ座標系に係る所定の平面からなる投票空間に投票する投票手段と、

前記投票空間の中で前記投票手段によって投票された投票回数の最大となる点を検出する検出手段と、その検出結果に基づいて前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する推定手段と

して機能させるためのセンサの傾き推定プログラム。

【請求項6】

前記推定手段を第1推定手段としたとき、

前記コンピュータを、前記第1推定手段が推定したセンサの傾きを初期値とし、同初期値とともに前記球面画像に写像したエッジとそのエッジ方向を用いて、下記式の2乗和を最小化することにより、前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する第2推定手段として機能させるための請求項5に記載のセンサの傾き推定プログラム。

$$(Zw \times s)^T e d = (s \times e d)^T Zw = 0$$

(なお、Zwは水平な基準面に対して垂直をなすワールド座標系の軸のベクトル、sはワールド座標系における3次元垂直エッジをセンサ座標系での前記球面画像に写像したベクトル、e dはワールド座標系におけるエッジ方向をセンサ座標系での前記球面画像に写像したベクトル、Tは転置行列、×はベクトルの外積である。)

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

10

20

30

40

50

本発明は、センサの傾き推定装置及びセンサの傾き推定方法、並びにセンサの傾き推定プログラムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

アクティブセンサの姿勢の推定は、ロボットナビゲーションやコンピュータビジョンにおける最も重要な課題となっている。

【0003】

近年現れた全方位センサは周囲の環境の360°視野角の情報を同時に取得できるため、ロボットやセンサの位置及び推定にも大変有効であり、ロボットや自動監視分野では注目が集まっている。

10

【0004】

上記のような全方位センサから得られる全方位画像は、360°のシーンの情報を持っているため、ロボットの位置及び姿勢推定によく使われ、全方位画像を用いたロボット位置推定については、様々な方法が提案されている。

【0005】

これらの方法は主としてビュー・ベースド(View-based)・マッチングと、幾何特徴マッチングに分けることができる。

ビュー・ベースド・マッチングでは、環境中の学習経路上の各地点の全方位画像から抽出された特徴量を予め記憶し、センサの位置を推定するとき、現位置で得られた全方位画像から同じく特徴量を抽出し、予め記憶した学習画像の特徴量と比較することによって、学習経路にある最も近い地点を求める。

20

【0006】

例えば、ノン・モノトニック(Non-monotonic)連続DPを用いて、全方位画像から抽出した回転不变特徴量の時空間系列をマッチングすることによって、ロボットの位置推定を行う技術が提案されている(非特許文献1参照)。

【0007】

又、時空間系列画像を固有空間で表し、画像の固有空間の特徴量と学習画像のトラジェクトリとのマッチングによって、位置推定を行うことも提案されている(非特許文献2参照)。

【0008】

30

さらに、全方位画像の時空間系列の自己相関画像から回転不变特徴を抽出し、固有空間内でのそれらの特徴量に対してK-L展開で固有空間を構築し、固有空間内で最も接近した学習画像を検索することによって位置推定を行うことが提案されている(非特許文献3参照)。

【0009】

一方、幾何特徴マッチングでは、シーンの中にあるエッジやコーナーなどの幾何特徴を用いる(非特許文献4~6参照)。

非特許文献4では、全方位画像を用いて、環境マップとシーンの垂直エッジをマッチングし、ロボットの位置を推定している。

【0010】

40

或いは、時系列の全方位画像のフレーム間でコーナ追跡(非特許文献5参照)や、床のエッジ追跡(非特許文献6参照)で得られた特徴点の対応付けからセンサの移動パラメータ(相対的な位置、姿勢)を推定している。

【0011】

【非特許文献1】

西村，野崎，岡，“Non-monotonic連続DPによるスプッティングに基づく移動ロボットの時系列を用いた大局的な位置推定”，電子情報通信学会論文誌 1998年,D-II, Vol.J81-D-II, No.8, p.1876-1884

【非特許文献2】

エヌ・ウィンターズ(N. Winters), ジェイ・ギャスパー(J. Gaspar), ジィ・ラセイ

50

(G. Lacey), ジェイ・サントス - ヴィクタ (J. Santos-Victor), "ロボットナビゲーションのための全方位画像 (Omni-directional Vision for Robot Navigation)", 「全方位画像研究会」における米国電気電子学会論文誌 (Proc. of IEEE Workshop on Omni-directional Vision), 米国, 2000年, p.21-28

【非特許文献 3】

岩佐, 粟飯原, 横矢, 竹村, "全方位画像を用いた記憶に基づく位置推定", 電子情報通信学会論文誌 2001年,D-II, Vol.J84-D-II, No.2, p.310-320

【非特許文献 4】

八木 (Y. Yagi), 西沢 (Y. Nishizawa), 谷内田 (M. Yachida), "全方位画像センサ (COPICS) を備えた移動ロボットのためのマップ・ベースのナビゲーション (Map-Based Navigation for a Mobile Robot with Omnidirectional Image Sensor COPICS)", 「ロボットとオートメーション」の米国電気電子学会論文誌 (IEEE Trans. on Robotics and Automation), 米国, 1995年, Vol.11, No.5, p634-648

10

【非特許文献 5】

ジェイ・ギャスパー (J. Gaspar), エヌ・ウィンターズ (N. Winters), ジィ・ラセイ (G. Lacey), ジェイ・サントス - ヴィクタ (J. Santos-Victor), "全方位画像カメラを用いたヴィジョン・ベースのナビゲーションと環境画像 (Vision Based Navigation and Environmental Representations with an Omnidirectional Camera)", 「ロボットとオートメーション」の米国電気電子学会論文誌 (IEEE Trans. on Robotics and Automation), 米国, 2000年, Vol.16, No.6, p890-898

20

【非特許文献 6】

山澤, 八木, 谷内田, "移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚センサ Hyper Omni Visionの提案", 電子情報通信学会論文誌 1996年,D-II, Vol.J79-D-II, No.5, p.698-707

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

非特許文献 1 ~ 3 に示された方法は、回転不变特徴を用いるため、センサの回転によらずに位置を推定することが可能であるが、センサの姿勢、特に傾きについては考慮されておらず、センサの傾きを推定することについては提案されていない。

【0013】

30

又、非特許文献 4 ~ 6 に示された方法においても、センサの傾きについては考慮されておらず、センサの傾きを推定することについては提案されていない。

本発明は、全方向画像を用いて、姿勢、すなわち、センサの傾きを推定することができるセンサの傾き推定装置及びセンサの傾き推定方法、並びにセンサの傾き推定プログラムを提供することを目的としている。

【0014】

【課題を解決するための手段】

上記問題点を解決するため、請求項 1 の発明は、センサが取得した全方向画像に基づいて、ベクトルからなるエッジとベクトルからなるそのエッジ方向を割り出す割り出し手段と、前記エッジと前記エッジ方向を球面画像に写像する写像手段と、前記球面画像に写像された前記エッジと前記エッジ方向を、センサ座標系に係る所定の平面からなる投票空間に投票する投票手段と、前記投票空間の中で前記投票手段によって投票された投票回数の最大となる点を検出する検出手段と、前記検出手段の検出結果に基づいて前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する推定手段とを備えたことを特徴とするセンサの傾き推定装置を要旨とするものである。

40

【0015】

請求項 2 の発明は、請求項 1 において、前記推定手段を第 1 推定手段としたとき、前記第 1 推定手段が推定したセンサの傾きを初期値とし、同初期値とともに前記球面画像に写像したエッジとそのエッジ方向を用いて、下記式の 2 乗和を最小化することにより、前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する第 2 推定手段を

50

備えたことを特徴とする。

$$(Zw \times s)^T e d = (s \times e d)^T Zw = 0$$

(なお、 Zw は水平な基準面に対して垂直をなすワールド座標系の軸のベクトル、 s はワールド座標系における3次元垂直エッジをセンサ座標系での前記球面画像に写像したベクトル、 $e d$ はワールド座標系におけるエッジ方向をセンサ座標系での前記球面画像に写像したベクトル、 T は転置行列、 \times はベクトルの外積である。)

【0016】

請求項3の発明は、センサが取得した全方向画像に基づいて、ベクトルからなるエッジとベクトルからなるそのエッジ方向を割り出す割り出しステップと、前記エッジと前記エッジ方向を球面画像に写像する写像ステップと、前記球面画像に写像された前記エッジと前記エッジ方向を、センサ座標系に係る所定の平面からなる投票空間に投票する投票ステップと、前記投票空間の中で投票された投票回数の最大となる点を検出する検出ステップと、その検出結果に基づいて前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する推定ステップとを備えたことを特徴とするセンサの傾き推定方法を要旨とするものである。

【0017】

請求項4の発明は、請求項3において、前記推定ステップを第1推定ステップとしたとき、前記第1推定ステップで推定したセンサの傾きを初期値とし、同初期値とともに前記球面画像に写像したエッジとそのエッジ方向を用いて、下記式の2乗和を最小化することにより、前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する第2推定ステップを備えたことを特徴とする。

$$(Zw \times s)^T e d = (s \times e d)^T Zw = 0$$

(なお、 Zw は水平な基準面に対して垂直をなすワールド座標系の軸のベクトル、 s はワールド座標系における3次元垂直エッジをセンサ座標系での前記球面画像に写像したベクトル、 $e d$ はワールド座標系におけるエッジ方向をセンサ座標系での前記球面画像に写像したベクトル、 T は転置行列、 \times はベクトルの外積である。)

【0018】

請求項5の発明は、コンピュータを、センサが取得した全方向画像に基づいて、ベクトルからなるエッジとベクトルからなるそのエッジ方向を割り出しする割り出し手段と、前記エッジと前記エッジ方向を球面画像に写像する写像手段と、前記球面画像に写像された前記エッジと前記エッジ方向を、センサ座標系に係る所定の平面からなる投票空間に投票する投票手段と、前記投票空間の中で前記投票手段によって投票された投票回数の最大となる点を検出する検出手段と、その検出結果に基づいて前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する推定手段として機能させるためのセンサの傾き推定プログラムを要旨とするものである。

【0019】

請求項6の発明は、請求項5において、前記推定手段を第1推定手段としたとき、前記コンピュータを、前記第1推定手段が推定したセンサの傾きを初期値とし、同初期値とともに前記球面画像に写像したエッジとそのエッジ方向を用いて下記式の2乗和を最小化することにより、前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する第2推定手段として機能させるためのセンサの傾き推定プログラムを特徴とする。

$$(Zw \times s)^T e d = (s \times e d)^T Zw = 0$$

(なお、 Zw は水平な基準面に対して垂直をなすワールド座標系の軸のベクトル、 s はワールド座標系における3次元垂直エッジをセンサ座標系での前記球面画像に写像したベクトル、 $e d$ はワールド座標系におけるエッジ方向をセンサ座標系での前記球面画像に写像したベクトル、 T は転置行列、 \times はベクトルの外積である。)

【0020】

ここで、本明細書において、使用する用語を説明する。

1. センサ座標系（三次元座標系）

センサ座標系は、センサの中心から撮像したときの視点位置と視点の向きで決まる座標系

10

20

30

40

50

である。

【0021】

2. ワールド座標系（三次元座標系）

センサ自体が位置する座標系である。

3. 3次元垂直エッジ

3次元垂直エッジはワールド座標系において、大地、床面等の水平な基準面に対して垂直な方向を持つエッジをいう。前記エッジは、従って、ワールド座標系が基準面に対して垂直な Z_w 軸を有するとすると、同 Z_w 軸に対して平行なエッジ方向を有する。なお、3次元垂直エッジ点は、離散的に見た場合、3次元垂直エッジにある点をいう。

【0022】

10

（垂直エッジとセンサの傾きとの関係）

ここで、この発明の原理について説明する。

センサの傾きを推定する場合、センサが位置するワールド座標系におけるセンサ座標系の縦軸（以下、 Z 軸という）の方向を求めるべきである。一方、ワールド座標系におけるセンサの傾きと、センサ座標系におけるワールド座標系の傾きはデュアル問題であり、センサ座標系におけるワールド座標系の縦軸 Z_w の方向が分かれれば、ワールド座標系におけるセンサ座標系の縦軸 Z の方向も分かる。

【0023】

20

センサの傾きが未知の場合、センサ座標系におけるワールド座標系の縦軸 Z_w の方向も未知である。しかし、室内などの環境の中に3次元垂直方向のエッジが多く含まれている場合、それらのエッジ方向はワールド座標系の縦軸 Z_w の方向と同じである。このため、センサ座標系における3次元エッジ方向の分布を調べ、最も大きいエッジ方向の分布を検出すれば、センサ座標系におけるワールド座標系の縦軸 Z_w の方向が推定できる。

【0024】

本発明は、センサ座標系を基準座標系とし、センサ座標系におけるワールド座標系の傾きを推定するものである。

ワールド座標系における3次元垂直エッジ点 P_w とそのエッジ方向 $E_w = (X_{Ew}, Y_{Ew}, Z_{Ew})^T$ は、センサ座標系では図7に示すようにそれぞれ P と $E = (X_E, Y_E, Z_E)^T$ として取得される。なお、 P と E はそれぞれベクトルであり、 T は転置（転置行列）を表している。さらに、 P と $E = (X_E, Y_E, Z_E)^T$ はセンサ座標系の球面画像にそれぞれ $s = (x_s, y_s, z_s)^T$ と $e_d = (x_e, y_e, z_e)^T$ に射影（写像）されるとする。なお、 s と e_d はそれぞれベクトルである。

30

【0025】

又、センサ座標系（ X, Y, Z ）におけるワールド座標系の縦軸を Z_w （ベクトル）とする（図8参照）。

3次元空間において、任意の垂直エッジ $P + E$ と Z_w は平行直線であるため、同一平面上にある。すなわち、 P, E と Z_w は次の関係を満たす。なお、 λ は任意の値を示している。

【0026】

$$(Z_w \times P)^T E = (P \times E)^T Z_w = 0 \quad \dots \dots (1)$$

40

ここで、記号 \times は2つのベクトルの外積を表している。

次に、

$$s = P / \|P\|$$

と

$$e_d = (P \times E) / \|P \times E\| - P / \|P\|$$

の関係から、 s, e_d と Z_w は次の関係を満たす。

【0027】

$$(Z_w \times s)^T e_d = (s \times e_d)^T Z_w = 0 \quad \dots \dots (2)$$

式(2)は Z_w が平面($X Y Z$) ($s \times e_d$) = 0

にあることを示している。なお、上記平面($X Y Z$) ($s \times e_d$) = 0 を図8では説明の

50

便宜上、Aの符号を付している。

【0028】

すなわち、球面画像に写像された3次元垂直エッジ点sにおけるエッジ方向 e_d と原点Oでなす平面(XYZ) ($s \times e_d$) = 0は、ワールド座標系の縦軸Zwを通る。

【0029】

図8に示すように、平面(XYZ) ($s \times e_d$) = 0を、例えば平面Z = 1と交差させれば、その交差線mはZwと平面Z = 1との交点pを通る。

平面Z = 1上の2次元空間(x, y)を投票空間とした場合、球面画像における各エッジ点sとそのエッジ方向 e_d は次の式(3)で投票空間(x, y)に投票される。

【0030】

$$(x y 1) (s \times e_d) = 0 \quad \dots \dots (3)$$

シーンの中から垂直エッジが多数存在する場合、各垂直エッジから作成された平面(XYZ) ($s \times e_d$) = 0を上述のように平面Z = 1に投影すれば、その交差線はすべて共通点pを通るため、投票空間(x, y)において大きなピークが形成される。すなわち、投票回数の最大となる点が存在する。以下、前記平面Z = 1は投票平面ということがある。

【0031】

従って、投票空間(x, y)から一番大きなピークを検出することにより、ワールド座標系の縦軸Zwの方向を推定することができ、その値は、($x_p, y_p, 1$)^Tになる。

【0032】

【発明の実施の形態】

以下、本発明のセンサの傾き推定装置を具体化した一実施形態を図1～図5を参照して説明する。

【0033】

本実施形態のセンサの傾き推定装置は、アクティブセンサ11とコンピュータ16にて構成されている。なお、本実施形態の説明において、単にセンサというときは、アクティブセンサ11のことを指している。

【0034】

図1はアクティブセンサの電気的構成を示すブロック図である。図2はアクティブセンサ11の機械的構成の概略図である。

アクティブセンサ11は、複数の車輪を有する車体100を備えており、車体100内に設けられた図示しない電動モータにより前記車輪が駆動されて環境K内の任意の位置に向けて自動走行(直線及び曲線に沿った走行を含む)が可能である。なお、図2においては、説明の便宜上、環境Kは、車体100に比較して、小さく図示している。

【0035】

アクティブセンサ11は、複数の3眼ステレオユニット(以下、単にステレオユニット12という)、メモリユニット15、同期信号発生器17等を備えている。メモリユニット15、コンピュータ16、同期信号発生器17等は車体100内に格納されている。

【0036】

前記複数のステレオユニット12は、全方向画像取得手段に相当する。

又、前記コンピュータ16は、割り出し手段、写像手段、投票手段、及び推定手段(第1推定手段)に相当する。

【0037】

アクティブセンサ11は、3次元空間内の、全ての方向におけるカラー画像と3次元情報を、同時刻にリアルタイムで取得することが可能な装置である。

ステレオユニット12は、3個のビデオカメラからなり、各ステレオユニット12は正20面体の各面上にそれぞれ配置されている。すなわち、本実施形態では、ステレオユニット12は20ユニットある。

【0038】

そして、各ステレオユニット12は同特性を備え、各面に配置したステレオユニット12により、全方向のカラー画像と白黒画像(距離画像)を同一時刻にリアルタイムで取得可

10

20

30

40

50

能なシステムである。これによって、3次元空間上の全ての方向におけるカラー画像と3次元情報を同一時刻に得ることができる。

【0039】

又、同じ特性を持つステレオユニット12を正20面体の各面上に配置したことにより、3次元空間を均等に分割し、高解像度の情報の取得が可能である。なお、このアクティブセンサ11は、「実環境センシングのための全方向ステレオシステム(SOS)」、電気学会論文誌C.Vol.121-C, No.5, pp.876-881, 2001」に記載されている。

【0040】

ステレオユニット12では、図1に示すように、1つの基準ビデオカメラVCsと、一対の参照用ビデオカメラVCとからなる。そして、参照用ビデオカメラVCは基準ビデオカメラVCsの光軸を交線として、互いに直交する一対の平面に含ませるように配置されている。そして、これらのカメラにより、2つのステレオペアを構成するように配置されている。なお、本実施形態では、ステレオユニット12は20ユニットあることから、基準ビデオカメラVCsも20台あることになる。

10

【0041】

各ステレオユニット12からは、1枚のカラー画像と2枚の白黒画像とからなるステレオ画像が取得され、全方向の20枚のカラー画像と40枚の白黒画像を1セットとして15セット/秒でメモリユニット15に転送する。メモリユニット15は、転送してきた全方向の画像データ（以下、全方向画像という）を記憶する。前記全方向画像には、基準ビデオカメラVCsにて得られた画像データも含まれる。

20

【0042】

各ステレオユニット12の各ビデオカメラには、同期信号発生器17から共通の外部同期信号が供給されている。このことにより、デジタル化されたフレームにおいて、完全に同期した画像データが得られる。

【0043】

コンピュータ16は、所定の周期毎に、同コンピュータ16内に備えているROM16aに予め格納したセンサの傾き推定プログラムを実行する。前記ROM16aを備えたコンピュータ16は記憶手段に相当する。

【0044】

又、コンピュータ16は、メモリユニット15にアクセスし、全方向画像をその時々に取得する。

30

(作用)

さて、以上のように構成されたセンサの傾き推定装置の作用を図3～図5を参照して説明する。

【0045】

図3は、コンピュータ16が実行するセンサの傾き推定プログラムのフローチャートであり、コンピュータ16は、所定周期毎に実行し、アクティブセンサ11の傾きを推定する。

【0046】

以下、各ステップ毎に説明する。

40

1. S10（エッジの検出）

ステップ（以下、Sで表す）10では、エッジ検出を行う。

【0047】

すなわち、基準ビデオカメラVCs（センタカメラ）が取得した全方向画像に対してLoG（Laplacian of Gaussian）フィルタを通し、ゼロクロス点をエッジとして検出する。

【0048】

2. S20（最大エッジ勾配の算出）

次に、最大エッジ勾配の算出を行う。

すなわち、Sobelフィルタにて各エッジ画素におけるエッジの勾配（強度）を計算し、画像中の最大エッジ勾配（すなわち、最大エッジ強度）を求める。

50

【0049】

これは、LoG フィルタはノイズに影響されやすいため、ノイズや照明の影響で偽のエッジ多く存在するためであり、これを除くためのフィルタ処理である。

このフィルタ処理によって、強度が最大エッジ勾配値の 5 % 未満のエッジ画素をノイズとして削除する。

【0050】

なお、前記基準ビデオカメラ VCS (センタカメラ) が取得した全方向画像は、ステレオ情報は含んでおらず、S20 にて得られるエッジ画素 (x_{ij} , y_{ij}) は、2 次元で表される。

【0051】

3. S30 (エッジの勾配方向と、エッジの2次元方向の算出)

次に、各エッジ画素において、 x 方向と y 方向のガウシャン (Gaussian) 微分フィルタを用いて、エッジの勾配方向 (d_x , d_y) を計算する。そして、画像平面におけるエッジの2次元方向を (d_y , $-d_x$) として算出する (図4参照)。

【0052】

なお、本実施形態において、エッジの2次元方向はエッジ方向に相当する。

4. S40 (エッジ画素の球面画像への写像)

S40 では、エッジ画素の球面画像への写像を行うが、その説明の前にセンサ座標系における3次元点と球面画像との対応関係について説明する。

【0053】

(センサ座標系における3次元点と球面画像との対応関係)

こここの欄では、以下のように定義する。

センサ座標系の3次元点 P : $P = (X, Y, Z)$

球面画像の点 s : $s = (x_s, y_s, z_s)$

【0054】**【数1】**

$$\text{ただし、} \|s\| = \sqrt{x_s^2 + y_s^2 + z_s^2} = 1$$

上記のように定義された3次元点 P を球面画像に写像すると、球面画像の点 s は下記の式で表される。

【0055】**【数2】**

$$s = \frac{1}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} (X, Y, Z) \quad \dots \dots (4a)$$

本実施形態での傾き推定は、アクティブセンサ11のステレオ情報を使用しないため、3次元の情報は分からぬが、使用できるのは、3次元点 P がある基準ビデオカメラ VCS (センタカメラ) に写った像 (画素 (x_{ij} , y_{ij})) である。本実施形態では、各ステレオユニット12のセンタカメラの画像を球面画像に写像する方法として、固定距離写像を使用している。固定距離写像は、各画素をカメラから固定距離にある点を写したものと仮定して球面画像を生成する方法である。

【0056】

ステレオユニット12においては、センタカメラに写った像 (画素 (x_{ij} , y_{ij})) は固定距離 D にあるとすると、ステレオユニット12の座標系における (x_{ij} , y_{ij}) の3次元値は (x_{ij} , y_{ij} , 1) D になる。

【0057】

アクティブセンサ11の設計パラメータから、ステレオユニット12の座標系 (以下、カメラの座標系という) をセンサ座標系に以下のように変換する。

10

20

40

50

【0058】

【数3】

$$P = R_c \begin{bmatrix} X_{ij} \\ Y_{ij} \\ 1 \end{bmatrix} D + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ L \end{bmatrix} \quad \dots \dots (4b)$$

ここで、 R_c はカメラの座標系からセンサ座標系への回転マトリクスであり定数である。
 L は図5に示すように基準ビデオカメラVCs(センタカメラ)の中心からアクティブセンサ11の中心Q(ボール中心)までの距離である。例えば、本実施形態では、設計上、 L を100mmとしている。中心Qはセンサ座標系の原点Oに相当する。

【0059】

前記式(4a)で3次元点Pを球面画像に写像すると、下記式(4c)が得られる。又、式(4c)中の α は $D / (D + L)$ であり、 β は前記固定距離Dで球面画像を生成する際の必要な視野角に応じた常数パラメータである。

【0060】

例えば、固定距離Dを1500mm、 L を100mmとして球面画像を合成したとき、

$$\alpha = 1500 / 1600$$

となる。

20

【0061】

アクティブセンサ11は、全方向の視野角を持っているため、20台の基準ビデオカメラVCs(センタカメラ)が撮像した画像を球面に写像すれば、閉じた球面画像が得られることになる。

【0062】

(S40での処理)

そこで、S40では、基準ビデオカメラVCs(センタカメラ)の画像におけるエッジ画素(x_{ij} , y_{ij})は近似的に式(4c)を用いて球面画像にマッピング(写像)する。

【0063】

30

$$s_{ij} = R_c \begin{pmatrix} x_{ij} & y_{ij} & 1 \end{pmatrix}^T \quad \dots \dots (4c)$$

又、 $s = 1 / R_c \begin{pmatrix} x_{ij} & y_{ij} & 1 \end{pmatrix}^T$ である。

5. S50(エッジ方向の球面画像への写像)

次に、エッジ画素(x_{ij} , y_{ij})におけるエッジ方向を式(5)で、球面画像にマッピング(写像)する。

【0064】

$$e_d_{ij} = R_c \begin{pmatrix} d_{y_{ij}} & -d_{x_{ij}} & 0 \end{pmatrix}^T \quad \dots \dots (5)$$

なお、式(5)において、

$$= 1 / R_c \begin{pmatrix} d_{y_{ij}} & -d_{x_{ij}} & 0 \end{pmatrix}^T \quad \text{である。}$$

【0065】

40

6. S60(投票)

次に、式(4c)と式(5)を前記式(3)に代入して、下記(6)式を得る。すなわち、式(3)の、 s 及び、 e_d はそれぞれ s_{ij} 及び e_d_{ij} に相当するため、式(4c)と式(5)を前記式(3)に代入するのである。

【0066】

【数4】

$$(d_{y_{ij}} - d_{x_{ij}} - 0) R c^T \Delta(s_{ij}) \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = 0 \quad \dots \dots \quad (6)$$

【0067】

【数5】

なお、

10

$$\Delta(s_{ij}) = \begin{pmatrix} 0 & -1 & \alpha y_{ij} \\ 1 & 0 & -\alpha x_{ij} \\ -\alpha y_{ij} & \alpha x_{ij} & 0 \end{pmatrix} \quad \dots \dots \quad (7)$$

である。

この式(6)及び式(7)は、全方向画像のエッジとそのエッジ方向で構成する平面 $Z=1$ との交線を意味する。投票する際に、投票平面 $Z=1$ において、その交線が通るセルに1票を足すことによって投票する。

【0068】

20

7. S70(最大ピークの検出)

次に、S60で行った投票により、シーンの中から垂直エッジが多数存在すると、各垂直エッジから作成された平面($X Y Z$)($s \times e_d$) = 0を上述のように平面 $Z=1$ に投影すると、平面 $Z=1$ に対しては図8に示す交差線mのようにすべて共通点pを通る。このため、投票空間(x, y)において大きなピークが形成される。すなわち、投票回数の最大となる点(座標)が存在する。

【0069】

従って、S70では、投票空間(x, y)から一番大きなピーク(投票回数)を有する座標(x_p, y_p)を検出する。

8. S80(傾きの推定)

30

S80では、S70で検出したピークを有する座標(x_p, y_p)に基づいて、ワールド座標系の縦軸 Zw の方向を推定する。推定した値は、 $(x_p, y_p, 1)^T$ になる。

【0070】

上記実施の形態によれば、下記に示す効果を有する。

(1) 本実施形態のセンサの傾き推定装置では、コンピュータ16が、アクティブセンサ11(センサ)が取得した全方向画像に基づいて、ベクトルからなるエッジとベクトルからなるそのエッジ方向を割り出す割り出し手段として機能する。又、コンピュータ16を、前記エッジと前記エッジ方向を球面画像に写像する写像手段とした。さらに、コンピュータ16は、前記球面画像に写像された前記エッジと前記エッジ方向を、センサ座標系に係る所定の平面からなる投票空間に投票する投票手段として機能する。加えて、コンピュータ16は、前記投票空間の中で投票された投票回数の最大となる点を検出する検出手段と、その検出結果に基づいてアクティブセンサ11が位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する推定手段とした。

40

【0071】

この結果、アクティブセンサ11の傾きを容易に推定することができる。

(2) 本実施形態では、アクティブセンサ11(センサ)が取得した全方向画像に基づいて、エッジとそのエッジ方向を割り出す割り出しステップとして、S10～S30の処理を行う。そして、前記エッジと前記エッジ方向(エッジの2次元方向)を球面画像に写像する写像ステップとして、S40及びS50の処理を行う。

【0072】

50

さらに、その後、球面画像に写像された前記エッジと前記エッジ方向（エッジの2次元方向）を、センサ座標系に係る平面 $Z = 1$ （所定の平面）からなる投票空間（ x, y ）に投票する投票ステップとして、S60の処理を行う。又、その後、投票空間（ x, y ）の中で投票された投票回数の最大となる点を検出する検出ステップとして、S70の処理を行い、その検出結果に基づいて前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する推定ステップとして、S80の処理を行う。

【0073】

その結果、S10～S80の処理にて、上記（1）と同様の効果を奏する。

（3）本実施形態のコンピュータ16が実行するセンサの傾き推定プログラムは、コンピュータ16を、上記（1）に記載した各手段として機能させるようにした。この結果、
10 上記（1）と同様の効果を奏する。

【0074】

（第2実施形態）

次に第2実施形態について説明する。

第2実施形態では、コンピュータ16が実行する傾き推定プログラム中、図6に示すようにS80の次にS90のステップを行うことが異なっており、S10～S80のステップは、第1実施形態と同様である。

【0075】

又、第2実施形態のハード構成は第1実施形態のハード構成と同一であるため、その説明
20 は省略する。なお、第2実施形態のコンピュータ16は、割り出し手段、写像手段、投票手段、検出手段、推定手段（第1推定手段）及び第2推定手段に相当する。

【0076】

前記第1実施形態では、高精度でセンサの傾きを推定するためには、高解像度の投票空間（ x, y ）が必要となる。計算コストは解像度に比例するため、第1実施形態では高解像度の投票空間（ x, y ）での計算コストが高くなる。

【0077】

そこで、第2実施形態では、低解像度の投票空間にして、計算コストが高くならないよう
に抑制する。

従って、第2実施形態でのS60では、低解像度の投票空間（ x, y ）を持つものとする
30 。

【0078】

以下、第2実施形態のS90について説明する。

なお、S80では、傾きを推定したワールド座標系の縦軸 Z_w の方向（すなわち、傾き）
を初期値 Z_{w0} とする。すなわち、初期値となる傾きを推定する。そして、S90で、前記初期値とその初期値 Z_{w0} の傾きと似た方向を持つエッジから最小2乗法を用いてセンサの傾きを効率的に推定するものである。

【0079】

S80で推定したワールド座標系の縦軸 Z_w の方向（すなわち、傾き）を初期値 Z_{w0} とする理由は下記の理由による。

「発明の原理」で述べたように、3次元垂直エッジとその方向を球面画像に写像したとき
、式（2）が成立する。従って、垂直エッジのみを用いて式（2）の2乗和を最小化すると、ワールド座標系の縦軸 Z_w の方向を求めることができる。なお、一般にシーンの中には垂直エッジ以外に他の方向のエッジも存在する。それらのエッジは式（2）の外れ値となり、最小2乗法による推定においては大きな影響を及ぼすため、S80で推定したワールド座標系の縦軸 Z_w の方向（すなわち、傾き）を初期値 Z_{w0} とするのである。
40

【0080】

そして、エッジの中で所定条件を満たすエッジを選択して、最小2乗法でワールド座標系の縦軸 Z_w の方向を求める。

以下、具体的に説明する。前記所定条件とは、式（8）であり、エッジの中でこの式（8）
50 を満たすエッジを求める。

【0081】

【数6】

$$\frac{1}{n_1 n_2} | (d_{yij} - d_{xij} \ 0) R c^T \Delta (s_{ij}) Z w o | \geq U \dots \dots (8)$$

式(8)中、 $n_1 = (d_{yij} - d_{xij} \ 0) R c^T (s_{ij})$ であり、 $n_2 = Z w o$ である。又、Uは閾値であり、本実施形態では、垂直エッジに近いエッジとして、 $U = \cos(5^\circ)$ としているが、この値に限定するものではない。

10

【0082】

なお、式(4c)と式(5)とから、球面画像に写した全方向画像のエッジ点及びその方向を用いて式(2)の2乗和を最小化することは、次の式(9)を最小化することと等価である。

【0083】

【数7】

$$\sum_{ij} ((d_{yij} - d_{xij} \ 0) R c^T \Delta (s_{ij}) Z w)^2 \rightarrow \min \dots \dots (9)$$

20

ただし、式(9)中、Zwは推定したい未知変数であり、 s_{ij} は式(8)を満たす。

【0084】

前記式(9)は式(10)と書き換えることができ、本実施形態では、式(10)を最小化することにより傾きを推定する。Zwは式(11)のマトリクスMの最小固有値に対応する固有ベクトルで得られる。

【0085】

【数8】

$$Z w^T M Z w \rightarrow \min \dots \dots (10)$$

30

【0086】

【数9】

$$M = \sum_{ij} \Delta (s_{ij})^T R c e_{ij} e_{ij}^T R c^T \Delta (s_{ij}) \dots \dots (11)$$

ただし、 $e_{ij} = (d_{yij} - d_{xij} \ 0)^T$ である。

40

第2実施形態では、前記第1実施形態の(1)～(3)に記載の作用効果の他、下記の作用効果を奏する。

【0087】

(1) 第2実施形態では、第1実施形態の構成に加えて、コンピュータ16は、第1推定手段として推定したセンサの傾きを初期値とした。そして、コンピュータ16を、同初期値とともに前記球面画像に写像したエッジとそのエッジ方向を用いて最小2乗法により、アクティブセンサ11が位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する第2推定手段とした。

【0088】

50

この結果、第1実施形態に比して低解像度の投票空間(x , y)でよくなり、計算コストが高くならないように抑制できる。

(2) 第2実施形態では、S80の処理を第1推定ステップとしたとき、前記第1推定ステップで推定したアクティブセンサ11の傾きを初期値とした。そして、同初期値とともに球面画像に写像したエッジとそのエッジ方向を用いて最小2乗法により、前記センサが位置するワールド座標系に対するセンサ座標系の傾きを推定する第2推定ステップとして、S90の処理を行うようにした。

【0089】

この結果、上記第2実施形態の(1)の作用効果を奏する。

(3) 第2実施形態では、コンピュータ16が実行するセンサの傾き推定プログラムは
、コンピュータ16を、上記第2実施形態の(1)に記載した各手段として機能させるよう
にした。この結果、上記第2実施形態の(1)と同様の効果を奏する。
10

【0090】

なお、本発明の実施形態は上記実施形態に限定されるものではなく、発明の趣旨を逸脱しない範囲で、適宜に変更して次のように実施することもできる。

(1) 前記実施形態では、アクティブセンサ11として、「実環境センシングのため
の全方向ステレオシステム(SOS)」、電気学会論文誌C.Vol.121-C, No.5, pp.876-881.
2001」に記載されているものを使用した。

【0091】

これに限らず、他の全方向画像を取得できるセンサから得られた全方向画像を入力するよ
うにしてもよい。例えば、前記各実施形態では、アクティブセンサ11は正20面体で構
成したが、他の正多面体で構成してもよい。
20

【0092】

(2) 前記各実施形態では、割り出し手段、写像手段、投票手段、検出手段、推定手段
(第1推定手段)及び第2推定手段の各手段を1つのコンピュータ16にて構成したが、
各手段を複数のコンピュータでそれぞれ処理を行ってもよい。あるいは、前記複数の手段
を、2つ又は3つのコンピュータで分担して行うようにしてもよい。

【0093】

【発明の効果】

以上詳述したように請求項1乃至請求項6に記載の発明によれば、全方向画像を用いて、
センサの姿勢、すなわち、センサの傾きを推定することができる効果を奏する。
30

【図面の簡単な説明】

【図1】 アクティブセンサ11の電気的構成のブロック図。

【図2】 アクティブセンサ11の機械的構成の概略図。

【図3】 第1実施形態のコンピュータ16が実行するセンサの傾き推定プログラムのフ
ロー チャート。

【図4】 エッジの勾配方向とエッジの2次元方向の説明図。

【図5】 固定距離Dと、基準ビデオカメラVCs(センターカメラ)の中心からアクティ
ブセンサ11の中心(ボール中心)までの距離Lの説明図。

【図6】 第2実施形態のコンピュータ16が実行するセンサの傾き推定プログラムのフ
ロー チャート。
40

【図7】 ワールド座標系とセンサ座標系との関係を示す説明図。

【図8】 投票の概念を示す説明図。

【符号の説明】

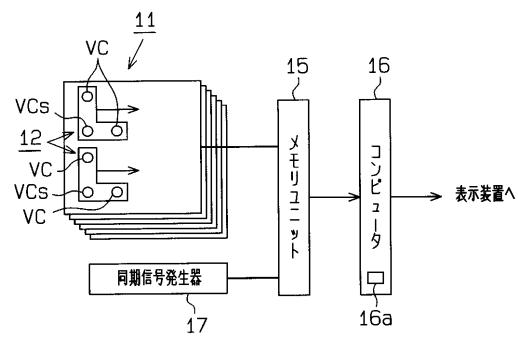
11...アクティブセンサ(センサ)

12...ステレオユニット

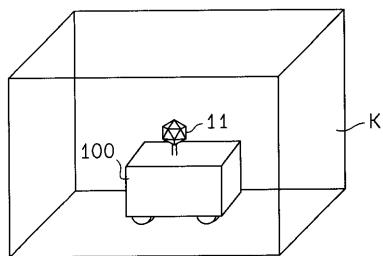
16...コンピュータ(割り出し手段、写像手段、投票手段、検出手段、推定手段(第1推
定手段)及び第2推定手段)

VCs...基準ビデオカメラ

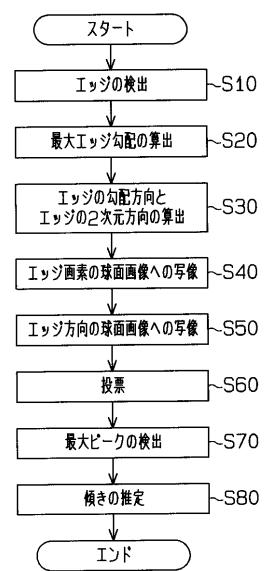
【図1】



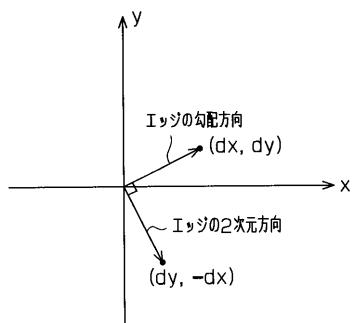
【図2】



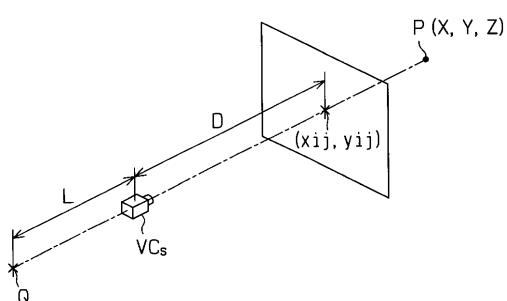
【図3】



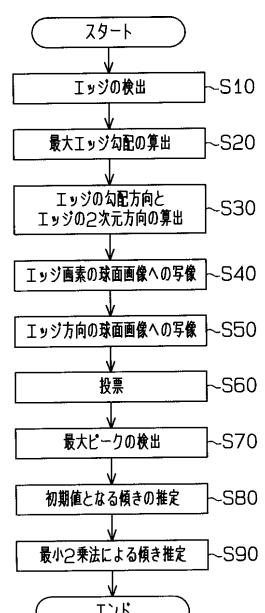
【図4】



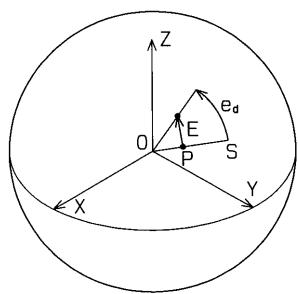
【図5】



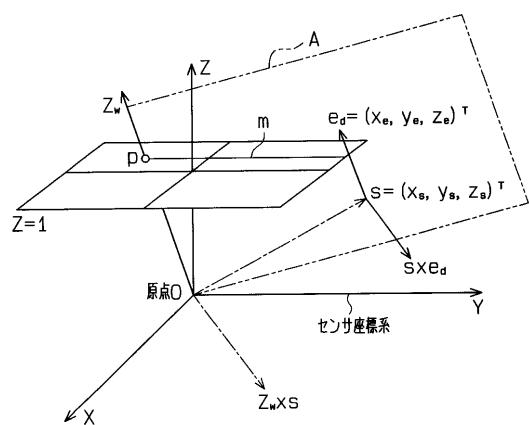
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 佐藤 雄隆
岐阜県大垣市世安町3-3 ゴールドハウス302号

(72)発明者 平湯 秀和
岐阜県岐阜市則武15番地 パールハイツ94 A-202

審査官 松永 稔

(56)参考文献 特開2004-157894(JP,A)
特開2004-132933(JP,A)
特開2004-020398(JP,A)
特開2004-015766(JP,A)
特開2001-285692(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 7/60