

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 6 部門第 1 区分

【発行日】平成27年8月20日 (2015.8.20)

【公開番号】特開2014-13147(P2014-13147A)

【公開日】平成26年1月23日 (2014.1.23)

【年通号数】公開・登録公報2014-004

【出願番号】特願2012-149596(P2012-149596)

【国際特許分類】

G 0 1 B 11/245 (2006.01)

G 0 3 B 15/00 (2006.01)

G 0 3 B 35/08 (2006.01)

G 0 3 B 19/07 (2006.01)

H 0 4 N 13/02 (2006.01)

G 0 6 T 1/00 (2006.01)

【 F I 】

G 0 1 B 11/245 H

G 0 3 B 15/00 T

G 0 3 B 35/08

G 0 3 B 19/07

H 0 4 N 13/02

G 0 6 T 1/00 3 1 5

G 0 6 T 1/00 3 0 0

【手続補正書】

【提出日】平成27年7月2日 (2015.7.2)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 1 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 0 0 1 4 】

【図 1】本発明の実施形態に係るロボット装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 2】本実施形態に係るロボット装置の制御装置を示すブロック図である。

【図 3】第 1 実施形態に係るカメラ制御部の構成を示すブロック図である。

【図 4】第 1 実施形態に係る 3 次元座標の計測を示すフローチャートである。

【図 5】第 1 実施形態に係る基準カメラ、参照カメラ及びワークを示す模式図である。

【図 6】エピポーラ線を用いた対応点の求め方を説明するための図である。

【図 7】第 1 エッジ線の第 1 端点及び第 2 エッジ線の第 2 端点の視線誤差を説明するための模式図である。

【図 8】第 1 実施形態に係るエッジ線間の対応付けを行った際のデータ構造を示す図である。

【図 9】第 1 実施形態に係るエッジ線間の 3 次元拘束条件を説明するための模式図である。

【図 10】第 2 実施形態に係るカメラ制御部の構成を示すブロック図である。

【図 11】第 2 実施形態に係る 3 次元座標の計測を示すフローチャートである。

【図 12】第 2 実施形態に係る視線誤差と視平面誤差とを説明するための模式図である。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 1 5

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0015】

<第1実施形態>

以下、本発明の第1実施形態に係るロボット装置1について、図1から図9を参照しながら説明する。まず、ロボット装置1の概略構成について、図1から図3を参照しながら説明する。図1は、本発明の実施形態に係るロボット装置1を示す斜視図である。図2は、本実施形態に係るロボット装置1の制御装置4の構成を示すブロック図である。図3は、第1実施形態に係るカメラ制御部5の構成を示すブロック図である。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0042

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0042】

次に、基準カメラ22でワーク10を撮像して第1画像としての基準画像面22aを取得し、取得した基準画像面22aに対して、ワーク10の複数のエッジ線を抽出するエッジ線抽出処理を行う（ステップS101、第1画像エッジ線抽出工程）。具体的には、まず、基準画像面22aに対して、ソーベルフィルタやキャニーフィルタ等のエッジ抽出フィルタを用い、輝度変化が最大となる点を、エッジ点群として抽出する。次に、抽出したエッジ点群に対して、直線近似の処理を行うとともに線分に分割し、それぞれの端点の画像座標（画素の位置）を求める。画像座標に関しては、画素単位の値としても構わないが、高精度の計測を行うためにはサブピクセル精度の処理を用いることが望ましい。本実施形態においては、エッジ点群を線分に近似したものを、エッジ線と呼ぶ。同様に、参照カメラ23でワーク10を撮像した第2画像としての参照画像面23aに対して、ワーク10の複数のエッジ線を抽出するエッジ線抽出処理を行う（ステップS101、第2画像エッジ線抽出工程）。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0043

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0043】

次に、基準画像面22aにおいて抽出された複数のエッジ線が、参照画像面23aでどこに撮影されているかを特定する対応付け処理を行い、ROM41aに記憶させる。つまり、基準画像面22aから抽出された複数のエッジ線と、参照画像面23aから抽出された複数のエッジ線と、の対応付けを行い、これを記憶しておく。対応付け処理は、対応付け終了と判定されるまで続けて行われる（ステップS102～S106）。なお、対応付け自体は、ユーザがUI上で画像を見ながら同一と思われるエッジ線を指定してもよく、カメラ制御部5が画像相関を用いて類似の画像パターンを検出することで選択する公知の手法を用いてもよい。具体的には、基準画像面22aから抽出した複数のエッジ線から1つのエッジ線（第1エッジ線）を選択し（ステップS103）、参照画像面23a内でそれと対応するエッジ線（第2エッジ線）を選択する（ステップS104）。関連づけた第1エッジ線と第2エッジ線とに対して、後述の処理を行うことにより、3次元空間での1本のエッジ線が求まる。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0045

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 0 0 4 5 】

ステップ S 1 0 1 において、例えば、選択した第 1 エッジ線の端点の画像座標が分かっているので、第 1 エッジ線の端点に対する参照画像面 2 3 a上のエビボーラ線と参照画像面 2 3 a上の第 2 エッジ線との交点を求めることで、対応点の座標を求めることができる。例えば、図 6 に示すように、エビボーラ拘束を用いて基準画像面 2 2 aと参照画像面 2 3 aで共通に撮影されている部分を判定し、それぞれの端点を求める。なお、図 6 においては、基準画像面 2 2 aと参照画像面 2 3 aとの間で、同種の破線で表されたエビボーラ線がそれぞれ対応している。この対応点計算処理を行うことにより、 i 番目のエッジ線の対応に対して、各々の画像上での画像点 $P_{L i 1}$ 、 $P_{L i 2}$ 、 $P_{R i 1}$ 、 $P_{R i 2}$ の画像座標が求まる。

【 手 続 補 正 6 】

【 補 正 対 象 書 類 名 】 明 細 書

【 補 正 対 象 項 目 名 】 0 0 4 6

【 補 正 方 法 】 変 更

【 補 正 の 内 容 】

【 0 0 4 6 】

次に、ステップ S 1 0 5 で求めた対応点の画像座標を用いて、未知の 3 次元座標 $X_{i j}$ に対する視線誤差項を求める（ステップ S 1 0 6、視線誤差演算工程）。ここで、添え字 i は、 i 番目のエッジ線対応を表し、添え字 j は、 $j = 1, 2$ がそれぞれエッジ線の両端点に対応している。視線誤差項としては、レンズ主点 O_L 、 O_R と画像点 $P_{L i j}$ 、 $P_{R i j}$ とを結ぶ基準画像視線 2 4、参照画像視線 2 5 を考えた際に、基準画像視線 2 4 及び参照画像視線 2 5 から 3 次元座標 $X_{i j}$ までの距離 $d_{L i j}$ 、 $d_{R i j}$ に応じて値が大きくなるように定める。ここで、「基準画像視線 2 4、参照画像視線 2 5 から 3 次元座標 $X_{i j}$ までの距離 $d_{L i j}$ 、 $d_{R i j}$ 」とは、図 7 に示すように、3 次元座標 $X_{i j}$ から基準画像視線 2 4、参照画像視線 2 5 のそれぞれに降ろした垂線の長さである。本実施形態においては、基準画像視線 2 4、参照画像視線 2 5 から 3 次元座標 $X_{i j}$ までの距離 $d_{L i j}$ 、 $d_{R i j}$ の自乗和を、視線誤差項として用いる。

【 手 続 補 正 7 】

【 補 正 対 象 書 類 名 】 明 細 書

【 補 正 対 象 項 目 名 】 0 0 5 5

【 補 正 方 法 】 変 更

【 補 正 の 内 容 】

【 0 0 5 5 】

【 数 7 】

$$F_{sight(i)} = F_{sight(i-1)} + \sum_{j=1}^2 (d_{Lij}^2 + d_{Rij}^2)$$

となる。

【 手 続 補 正 8 】

【 補 正 対 象 書 類 名 】 明 細 書

【 補 正 対 象 項 目 名 】 0 0 5 8

【 補 正 方 法 】 変 更

【 補 正 の 内 容 】

【 0 0 5 8 】

ここで、評価関数 F の視線誤差項部分 $F_{sight(N)}$ は、 $(x_{11}, y_{11}, z_{11}, x_{12}, y_{12}, z_{12}, \dots, x_{N1}, y_{N1}, z_{N1}, x_{N2}, y_{N2}, z_{N2})$ の $6N$ 個の変数をもつ関数である。理解を助けるため、ステップ S 1 0 2 のループを

抜けた時点での対応づけのデータ構造例を図 8 に示す。対応付けの i 回目に基準画像面 2 2 aのエッジ線 $L_{(i)}$ と参照画像面 2 3 aのエッジ線 $R_{(i)}$ を対応づけたとすると、その組合せに対して 3 次元エッジ線 E_i が定義される。基準画像面 2 2 aにおけるエッジ線 $L_{(i)}$ 上の画像点 $P_{L_{i1}}$ 、 $P_{L_{i2}}$ と、参照画像面 2 3 aにおけるエッジ線 $R_{(i)}$ 上の点 $P_{R_{i1}}$ 、 $P_{R_{i2}}$ がそれぞれ対応点として求められる。さらに、それぞれの 3 次元エッジ線 E_i は、 $X_{i1} = {}^T(x_{i1}, y_{i1}, z_{i1})$ と $X_{i2} = {}^T(x_{i2}, y_{i2}, z_{i2})$ との 2 つの端点を持っている。さらに、端点の 3 次元座標 X_{ij} ($i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2$) のそれぞれについて、視線誤差項 ($d_{L_{ij}}^2 + d_{R_{ij}}^2$) が定義されている。

【手続補正 9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0061

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0061】

さらに、S 1 1 0において、ステップ S 1 0 8 ~ S 1 0 9 で選択した 2 本のエッジ線に対して、エッジ線間の幾何的な 3 次元拘束条件を選択する。つまり、ワーク 1 0 について事前に分かっている、エッジ線間の位置関係を設定する。本実施形態においては、2 エッジ線間の幾何関係のうち、「2 エッジ線が同一平面上にある」、「2 エッジ線が同一直線上にある」、「2 エッジ線の方法が平行である」及び「2 エッジ線の方法が垂直である」、の 4 種類を取り扱う。以上の 4 種類の 3 次元拘束条件のうち、1 つを選択してステップ S 1 1 1 に進む。

【手続補正 10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0079

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0079】

【数 15】

$$(X_{a2} - X_{a1}) \cdot (X_{b2} - X_{b1}) = 0$$

【手続補正 11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0081

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0081】

【数 16】

$$f_{const(k)} = f_{vertical} = \lambda_k \|(X_{a2} - X_{a1}) \cdot (X_{b2} - X_{b1})\|$$

【手続補正 12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0096

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 0 0 9 6 】

基本的な流れとしては、まず、基準カメラ 2 2 と参照カメラ 2 3 とで、複数の異なる視点から撮影した基準画像面 2 2 aと、参照画像面 2 3 aと、に対してエッジ線の抽出を行う（ステップ S 3 0 1）。次に、対応づけの追加を繰り返すか否かを判定する（ステップ S 3 0 2）。そして、基準画像面 2 2 aの複数のエッジ線の中から第 1 エッジ線を選択して、参照画像面 2 3 aから対応する第 2 エッジ線を選択する（対応付けを行う）（S 3 0 3 ~ S 3 0 4）。そして、基準画像面 2 2 aの第 1 エッジ線に関して視線誤差項を計算する（S 3 0 5）。同様に、参照画像面 2 3 aに関して視平面誤差項を計算する（S 3 0 6）。さらに、対応付けを行った 2 本のエッジ線間に幾何的な 3 次元拘束条件を設定し、3 次元拘束条件項を計算する（S 3 0 7 ~ S 3 1 1）。最後に、視線誤差項、視平面誤差項及び 3 次元拘束条件項を含んだ評価関数の値が最小となるように最適化問題を解き、3 次元座標を求める（S 3 1 2）。

【 手続補正 1 3 】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 0 2

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 0 1 0 2 】

参照画像視平面 2 6 と未知の点 X との距離 d は、原点 O_R から X に向かうベクトルの、法線方向成分の大きさである。よって、視平面誤差項 d'_{Rij} は、下記のように表すことができる。

【 手続補正 1 4 】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 0 6

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 0 1 0 6 】

誤差項を加えたあとは、ステップ S 3 0 2 に戻り、追加の対応付けを終了するか否かの判断を行い、終了と判定されるまでステップ S 3 0 2 ~ S 3 0 6 の処理を繰り返す。処理を繰り返すたびに視線誤差項 d_{Lij}^2 と視平面誤差項 d'_{Rij}^2 が追加される。その結果、N 回の繰り返しを行った場合の評価関数 F の誤差項部分 $F_{sight(N)}$ は、下記ようになる。

【 手続補正 1 5 】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 1 0

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 0 1 1 0 】

【数 2 5】

$$F(x_{11}, y_{11}, z_{11}, x_{12}, y_{12}, z_{12}, \dots, x_{N1}, y_{N1}, z_{N1}, x_{N2}, y_{N2}, z_{N2}) \\ = F_{sight(N)} + F_{const(M)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^2 (d_{Lij}^2 + d'_{Rij}^2) + \sum_{k=1}^M f_{const(k)}$$

で表される。

【 手続補正 1 6 】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 1 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0114】

また、本実施形態に係る3次元位置の計測方法によれば、3次元座標を計算する際に「エピポーラ拘束を用いて対応点を一意に求める」という処理を行う必要がなくなる。そのため、基準画像面22aから抽出した第1エッジ線に対して先に参照画像面23a上の対応点を求める必要がなくなる。これにより、カメラパラメータの誤差やエッジ線抽出の誤差等によってエピポーラ拘束自体が満たされていない場合は、対応点を求める方法を用いた場合は対応点が正確でなくなるが、本実施形態の方法を用いることで、この影響を軽減することができる。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0118

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0118】

- 1、1A ロボット装置
- 2 ロボット
- 5、5A カメラ制御部（制御部）
- 10 ワーク
- 22 基準カメラ（第1カメラ）
- 22a 基準画像面（第1画像）
- 23 参照カメラ（第2カメラ）
- 23a 参照画像面（第2画像）

【手続補正18】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図1

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 図 1 】

