

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6357251号
(P6357251)

(45) 発行日 平成30年7月11日 (2018. 7. 11)

(24) 登録日 平成30年6月22日 (2018. 6. 22)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 B 11/00 (2006.01)
G O 6 T 7/292 (2017.01)G O 1 B 11/00 H
G O 6 T 7/292

請求項の数 13 (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願2016-569681 (P2016-569681)
 (86) (22) 出願日 平成27年5月29日 (2015. 5. 29)
 (65) 公表番号 特表2017-525937 (P2017-525937A)
 (43) 公表日 平成29年9月7日 (2017. 9. 7)
 (86) 国際出願番号 PCT/KR2015/005444
 (87) 国際公開番号 W02015/183050
 (87) 国際公開日 平成27年12月3日 (2015. 12. 3)
 審査請求日 平成28年11月25日 (2016. 11. 25)
 (31) 優先権主張番号 10-2014-0065178
 (32) 優先日 平成26年5月29日 (2014. 5. 29)
 (33) 優先権主張国 韓国 (KR)

(73) 特許権者 506414749
 コー・ヤング・テクノロジー・インコーポ
 レーテッド
 大韓民国、ソウル、クムチョング、カサ
 ンデジタル 2ーロ、53、F14ー15
 (カサンードン、ハラ シグマ バレー
)
 (73) 特許権者 512009953
 キュンボク ナショナル ユニバーシティ
 インダストリーーアカデミック コーオ
 ペレーション ファウンデーション
 大韓民国 702ー701 テグ プサー
 ク テハクーロ 80
 (74) 代理人 100079049
 弁理士 中島 淳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 オプティカルトラッキングシステム及びオプティカルトラッキングシステムのマーカ部部の姿勢
 並びに位置算出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

特定情報を有するパターン(pattern)及び前記パターンから離隔されて配置され、第 1
 焦点距離を有する第 1 レンズを含むマーカ部部(marker)部と、

第 2 焦点距離を有する第 2 レンズ及び前記第 2 レンズから離隔されて配置され、前記第
 1 レンズと前記第 2 レンズによって前記パターンの第 1 イメージが結像される第 1 結像ユ
 ニットを含む第 1 結像部と、

第 3 焦点距離を有する第 3 レンズ及び前記第 3 レンズから離隔されて配置され、前記第
 1 レンズと前記第 3 レンズによって前記パターンの第 2 イメージが結像される第 2 結像ユ
 ニットを含む第 2 結像部と、

前記パターンのパターン面上の座標と前記パターンの第 1 イメージ上の第 1 ピクセル座
 標との間の第 1 座標変換式及び前記第 1 ピクセル座標と前記パターンの第 2 イメージ上の
 第 2 ピクセル座標との間の回転変換を含む前記パターンのパターン面上の座標と前記パタ
 ーンの第 2 イメージ上の第 2 ピクセル座標との間の第 2 座標変換式からマーカ部部の姿勢
 を決定し、前記マーカ部部をトラッキングする処理部と

を含むオプティカルトラッキングシステム。

【請求項 2】

前記処理部は、前記パターンのパターン面上の座標に該当する第 1 座標を前記マーカ部
 部の前記第 1 レンズに対する 3 次元的座標に該当する第 2 座標に変換する第 1 変換行列、
 前記第 2 座標の前記第 2 レンズに対する 3 次元的座標に該当する第 3 座標を前記第 1 結像

部の前記パターンの第 1 イメージ上の第 1 ピクセル座標に該当する第 4 座標に変換する第 2 変換行列、前記パターンのパターン面上の座標に該当する第 5 座標を前記マーカ部の前記第 1 レンズに対する 3 次元的座標に該当する第 6 座標に変換する前記第 1 変換行列と同一の第 3 変換行列、及び前記第 6 座標の前記第 3 レンズに対する 3 次元的座標に該当する第 7 座標を前記第 2 結像部の前記パターンの第 2 イメージ上の第 2 ピクセル座標に該当する第 8 座標に変換する第 4 変換行列を取得し、

前記第 1 座標変換式は、前記第 1 変換行列及び前記第 2 変換行列を含んで前記第 1 座標を前記第 4 座標に変換するように定義され、前記第 2 座標変換式は、前記第 3 変換行列及び前記第 4 変換行列を含んで前記第 5 座標を前記第 8 座標に変換するように定義され、前記処理部は、前記第 1 及び第 2 座標変換式から前記第 1 結像部に対する前記マーカ部の姿勢を定義する第 1 姿勢定義行列を取得することを特徴とする、請求項 1 に記載のオブティカルトラッキングシステム。

10

【請求項 3】

前記第 1 座標変換式は下記の数式により定義され、

$$s \begin{bmatrix} lu' \\ lv' \\ 1 \end{bmatrix} = [A_L][R_L][C] \begin{bmatrix} lu \\ lv \\ 1 \end{bmatrix}$$

((lu,lv)は前記第 1 座標、(lu',lv')は前記第 4 座標、[C]は前記第 1 変換行列、[A_L]は前記第 2 変換行列、[R_L]は前記第 1 姿勢定義行列、sは比例定数)

20

前記第 2 座標変換式は、下記の数式により定義されることを特徴とする、請求項 2 に記載のオブティカルトラッキングシステム。

$$s \begin{bmatrix} ru' \\ rv' \\ 1 \end{bmatrix} = [A_r][R_R][C] \begin{bmatrix} ru \\ rv \\ 1 \end{bmatrix} = [A_r][R_{LR}][R_L][C] \begin{bmatrix} ru \\ rv \\ 1 \end{bmatrix}$$

((ru,rv)は前記第 5 座標、(ru',rv')は前記第 8 座標、[C]は前記第 1 変換行列と同一の前記第 3 変換行列、[A_r]は前記第 4 変換行列、[R_R]は前記第 2 結像部に対する前記マーカ部の姿勢を定義する第 2 姿勢定義行列、[R_{LR}]は前記第 2 結像部に対する前記第 1 結像部の姿勢を定義する第 3 姿勢定義行列、sは比例定数)

30

【請求項 4】

前記第 1 変換行列及び前記第 3 変換行列は下記の数式により定義され、

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & -v_c \\ 0 & 0 & f_b \end{bmatrix}$$

40

((u_c,v_c)は前記パターンの中心の座標、f_bは前記第 1 焦点距離)

前記第 2 及び第 4 変換行列は下記の数式により定義されることを特徴とする、請求項 3 に記載のオブティカルトラッキングシステム。

$$[A] = \begin{bmatrix} -\frac{f_c}{pw} & 0 & u'_c \\ 0 & -\frac{f_c}{ph} & v'_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

50

((u'_c, v'_c)は前記パターンの中心に対応する前記パターンのイメージ上のピクセル座標、f_cは、前記第2変換行列の場合には前記第2焦点距離であり、前記第4変換行列の場合には前記第3焦点距離、pwは、前記第2変換行列の場合には前記パターンの第1イメージのピクセルの幅であり、前記第4変換行列の場合には前記パターンの第2イメージのピクセルの幅、phは、前記第2変換行列の場合には前記パターンの第1イメージのピクセルの高さ、前記第4変換行列の場合には前記パターンの第2イメージのピクセルの高さ)

【請求項5】

前記処理部は、少なくとも3つ以上の撮影イメージからu_c, v_c及びf_bのキャリブレーション値を取得することにより前記第1変換行列及び前記第3変換行列を取得し、前記取得されたデータを用いてf_c, pw, phのキャリブレーション値を取得することにより前記第2変換行列及び前記第4変換行列を取得することを特徴とする、請求項4に記載のオプティカルトラッキングシステム。

10

【請求項6】

前記処理部は、前記第1座標と前記第4座標に対する複数のデータ及び前記第5座標と前記第8座標に対する複数のデータを取得し、前記取得された複数のデータが適用された下記の数式によって前記第1姿勢定義行列を取得することを特徴とする、請求項3に記載のオプティカルトラッキングシステム。

$$[R_L] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

20

$$\begin{bmatrix} LW_1 \\ RW_1 \\ \vdots \\ LW_n \\ RW_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \\ r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \\ r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{bmatrix} = 0$$

$$LW_i = \begin{bmatrix} \frac{f_c}{pw} lu_i & \frac{f_c}{pw} lv_i & \frac{f_c}{pw} f_b & 0 & 0 & 0 & (lu'_i - lu'_c)u_i & (lu'_i - lu'_c)v_i & (lu'_i - lu'_c)f_b \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph} lu_i & \frac{f_c}{ph} lv_i & \frac{f_c}{ph} f_b & (lv'_i - lv'_c)u_i & (lv'_i - lv'_c)v_i & (lv'_i - lv'_c)f_b \end{bmatrix}$$

30

$$RW_i = \begin{bmatrix} A1r'_{11} + B1r'_{31} & C1r'_{11} + D1r'_{31} & E1r'_{11} + F1r'_{31} & A1r'_{12} + B1r'_{32} & C1r'_{12} + D1r'_{32} & E1r'_{12} + F1r'_{32} & A1r'_{13} + B1r'_{33} & C1r'_{13} + D1r'_{33} & E1r'_{13} + F1r'_{33} \\ A2r'_{11} + B2r'_{31} & C2r'_{11} + D2r'_{31} & E2r'_{11} + F2r'_{31} & A2r'_{12} + B2r'_{32} & C2r'_{12} + D2r'_{32} & E2r'_{12} + F2r'_{32} & A2r'_{13} + B2r'_{33} & C2r'_{13} + D2r'_{33} & E2r'_{13} + F2r'_{33} \end{bmatrix}$$

$$A1 = -\frac{f_c}{pw} ru_i, B1 = ru_i(ru'_c - ru'_i), C1 = -\frac{f_c}{pw} rv_i, \\ D1 = rv_i(ru'_c - ru'_i), E1 = -\frac{f_c}{pw} f_b, F1 = f_b(ru'_c - ru'_i)$$

40

$$A2 = -\frac{f_c}{ph} ru_i, B2 = ru_i(rv'_c - rv'_i), C2 = -\frac{f_c}{ph} rv_i, \\ D2 = rv_i(rv'_c - rv'_i), E2 = -\frac{f_c}{ph} f_b, F2 = f_b(rv'_c - rv'_i)$$

$$[R_{LR}] = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & r'_{13} \\ r'_{21} & r'_{22} & r'_{23} \\ r'_{31} & r'_{32} & r'_{33} \end{bmatrix}$$

((lu_1, lv_1), ..., (lu_n, lv_n)は前記第1座標のデータ、(lu'_1, lv'_1), ..., (lu', lv')は前

50

記第 4 座標のデータ、 (lu'_c, lv'_c) は前記パターンの中心に対応する前記パターンの第 1 イメージ上のピクセル座標、 $((ru_1, rv_1), \dots, (ru_n, rv_n))$ は前記第 5 座標のデータ、 $(ru'_1, rv'_1), \dots, (ru'_n, rv'_n)$ は前記第 8 座標のデータ、 (ru'_c, rv'_c) は前記パターンの中心に対応する前記パターンの第 2 イメージ上のピクセル座標)

【請求項 7】

前記処理部は、前記第 2 座標と前記第 4 座標に関する第 3 座標変換式及び前記第 6 座標と前記第 8 座標に関する第 4 座標変換式から前記マーカ部を位置を決定し、決定された前記マーカ部を位置を用いて前記マーカ部をトラッキングすることを特徴とする、請求項 3 に記載のオプティカルトラッキングシステム。

【請求項 8】

前記第 3 座標変換式は下記の数式により定義され、

$$s \begin{bmatrix} u'_1 \\ v'_1 \\ 1 \end{bmatrix} = A_L [I|0] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$((u'_1, v'_1))$ は前記第 4 座標、 (X, Y, Z) は前記第 2 座標、 $[A_L]$ は前記第 2 変換行列、 $[I]$ は 3x3 形態の恒等行列(identity matrix)、 $[0]$ は 3x1 形態の零行列、 s は比例定数)

前記第 4 座標変換式は下記の数式により定義されることを特徴とする、請求項 7 に記載のオプティカルトラッキングシステム。

$$s \begin{bmatrix} u'_2 \\ v'_2 \\ 1 \end{bmatrix} = A_R [R_{LR}|T] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$((u'_2, v'_2))$ は前記第 8 座標、 (X, Y, Z) は前記第 6 座標、 $[A_R]$ は前記第 4 変換行列、 $[R_{LR}]$ は 3x3 形態の前記第 3 姿勢定義行列、 $[T]$ は 3x1 形態の位置変換行列、 s は比例定数)

【請求項 9】

前記処理部は、前記第 1 及び第 2 結像ユニットでそれぞれ撮影された前記パターンの視野範囲の中心である第 1 中心座標及び第 2 中心座標を取得し、前記取得された中心座標を用いて前記第 1 結像部及び前記第 2 結像部の間の位置変換行列をキャリブレーションし、前記キャリブレーションされた位置変換行列を用いて前記マーカ部の位置を取得することを特徴とする、請求項 8 に記載のオプティカルトラッキングシステム。

【請求項 10】

前記処理部は、前記マーカ部を少なくとも 2 つ以上の位置で測定して換算係数を取得し、前記取得された換算係数を前記取得された中心座標と共に用いて前記第 1 結像部及び前記第 2 結像部の間の前記位置変換行列をキャリブレーションすることを特徴とする、請求項 9 に記載のオプティカルトラッキングシステム。

【請求項 11】

特定情報を有するパターン(pattern)及び前記パターンから離隔されて配置され第 1 焦点距離を有する第 1 レンズを含むマーカ(marker)部と、第 2 焦点距離を有する第 2 レンズ及び前記第 2 レンズから離隔されて配置され前記第 1 レンズと前記第 2 レンズによって前記パターンの第 1 イメージが結像される第 1 結像ユニットを含む第 1 結像部と、第 3 焦点距離を有する第 3 レンズ及び前記第 3 レンズから離隔されて配置され前記第 1 レンズと前記第 3 レンズによって前記パターンの第 2 イメージが結像される第 2 結像ユニットとを含み、マーカ部をトラッキングするように前記マーカ部の姿勢を算出するためのオプティカルトラッキングシステムのマーカ部の姿勢及び位置算出方法において、

前記パターンのパターン面上の座標に該当する第 1 座標を前記マーカ部の前記第 1 レンズに対する 3 次元的座標に該当する第 2 座標に変換する第 1 変換行列、前記第 2 座標の前記第 2 レンズに対する 3 次元的座標に該当する第 3 座標を前記第 1 結像部の前記パターンの第 1 イメージ上の第 1 ピクセル座標に該当する第 4 座標に変換する第 2 変換行列、前記パターンの前記パターン面上の座標に該当する第 5 座標を前記マーカ部の前記第 1 レンズに対する 3 次元的座標に該当する第 6 座標に変換する前記第 1 変換行列と同一の第 3 変換行列、及び前記第 6 座標の前記第 3 レンズに対する 3 次元的座標に該当する第 7 座標を第 2 結像部の前記パターンの第 2 イメージ上の第 2 ピクセル座標に該当する第 8 座標に変換する第 4 変換行列を取得する段階と、

前記第 1 変換行列及び前記第 2 変換行列を含み、前記第 1 座標を前記第 4 座標に変換する第 1 座標変換式、及び前記第 3 変換行列及び前記第 4 変換行列を含み、前記第 5 座標を前記第 8 座標に変換する第 2 座標変換式から前記マーカ部の姿勢を定義する姿勢定義行列を取得する段階と

を含むオブティカルトラッキングシステムのマーカ部の姿勢及び位置算出方法。

【請求項 1 2】

前記第 1 及び第 2 結像ユニットでそれぞれ撮影された前記パターンの視野範囲の中心である第 1 中心座標及び第 2 中心座標を取得する段階と、

前記取得された中心座標を用いて前記第 1 結像部及び前記第 2 結像部の間の位置変換行列をキャリブレーションする段階と、

前記キャリブレーションされた位置変換行列を用いて前記マーカ部の位置を取得する段階と

をさらに含むことを特徴とする、請求項 1 1 に記載のオブティカルトラッキングシステムのマーカ部の姿勢及び位置算出方法。

【請求項 1 3】

前記位置変換行列をキャリブレーションする段階の前に、前記マーカ部を少なくとも 2 つ以上の位置で測定して換算係数を取得する段階をさらに含み、

位置変換行列をキャリブレーションする段階で、前記取得された換算係数を前記取得された中心座標と共に用いて前記第 1 結像部及び前記第 2 結像部の間の前記位置変換行列をキャリブレーションすることを特徴とする、請求項 1 2 に記載のオブティカルトラッキングシステムのマーカ部姿勢及び位置算出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、オブティカルトラッキングシステム及びオブティカルトラッキングシステムのマーカ部の姿勢並びに位置算出方法に関し、詳しくは、パターン情報を用いたオブティカルトラッキングシステム及びオブティカルトラッキングシステムのマーカ部の姿勢並びに位置算出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、所定の物体の位置を追跡するために、オブティカルトラッキングシステム(optical tracking system)が用いられる。例えば、前記オブティカルトラッキングシステムは、手術ロボットのような装備で目的物をリアルタイムで追跡するために活用され得る。

【0003】

前記オブティカルトラッキングシステムは、通常、目的物に取り付けられる複数のマーカと前記マーカによって放出される光を結像させる結像ユニットを含み、前記結像ユニットから取得された情報を数学的に計算して位置情報などを取得する。

【0004】

しかし、従来のオブティカルトラッキングシステムは、複数のマーカを含むことにより装備の大きさが大きくなる欠点があり、これにより小型の精密性が求められるトラッキングの場合、不適切であり得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

よって、マーカーを単純化すると共に、正確且つ容易にトラッキングできるオプティカルトラッキングシステムが求められる。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

よって、本発明が解決しようとする課題は、マーカーを単純化すると共に、正確且つ容易にトラッキングできるオプティカルトラッキングシステムを提供することにある。

【 0 0 0 7 】

本発明が解決しようとする他の課題は、前記のオプティカルトラッキングシステムに適用可能なオプティカルトラッキングシステムのマーカー部の姿勢及び位置算出方法を提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

本発明の例示的な一実施例によるオプティカルトラッキングシステムは、特定情報を有するパターン(pattern)、及び前記パターンから離隔されて配置され第1焦点距離を有する第1レンズを含むマーカー(marker)部と、第2焦点距離を有する第2レンズ、及び前記第2レンズから離隔されて配置され前記第1レンズと前記第2レンズによって前記パターンの第1イメージが結像される第1結像ユニットを含む第1結像部と、第3焦点距離を有する第3レンズ及び前記第3レンズから離隔されて配置され前記第1レンズと前記第3レンズによって前記パターンの第2イメージが結像される第2結像ユニットを含む第2結像部と、前記パターンのパターン面上の座標と前記パターンの第1イメージ上の第1ピクセル座標との間の第1座標変換式及び前記第1ピクセル座標と前記パターンの第2イメージ上の第2ピクセル座標との間の回転変換を含む前記パターンのパターン面上の座標と前記パターンの第2イメージ上の第2ピクセル座標との間の第2座標変換式から前記マーカー部の姿勢を決定して、前記マーカー部をトラッキングする処理部とを含む。

【 0 0 0 9 】

一実施例において、前記処理部は、前記パターンのパターン面上の座標に該当する第1座標を前記マーカー部の前記第1レンズに対する3次元座標に該当する第2座標に変換する第1変換行列、前記第2座標の前記第2レンズに対する3次元座標に該当する第3座標を前記第1結像部の前記パターンの第1イメージ上の第1ピクセル座標に該当する第4座標に変換する第2変換行列、前記パターンのパターン面上の座標に該当する第5座標を前記マーカー部の前記第1レンズに対する3次元座標に該当する第6座標に変換する前記第1変換行列と同一の第3変換行列、及び前記第6座標の前記第3レンズに対する3次元座標に該当する第7座標を前記第2結像部の前記パターンの第2イメージ上の第2ピクセル座標に該当する第8座標に変換する第4変換行列を取得することができ、前記第1座標変換式は前記第1変換行列及び前記第2変換行列を含んで前記第1座標を前記第4座標に変換するように定義され、前記第2座標変換式は前記第3変換行列及び前記第4変換行列を含んで前記第5座標を前記第8座標に変換するように定義され、前記処理部は前記第1及び第2座標変換式から前記第1結像部に対する前記マーカー部の姿勢を定義する第1姿勢定義行列を取得することができる。

【 0 0 1 0 】

例えば、前記第1座標変換式は下記の数式により定義され得、

$$s \begin{bmatrix} lu' \\ lv' \\ 1 \end{bmatrix} = [A_L][R_L][C] \begin{bmatrix} lu \\ lv \\ 1 \end{bmatrix}$$

((lu,lv)は前記第1座標、(lu',lv')は前記第4座標、[C]は前記第1変換行列、[A_L]は前記第2変換行列、[R_L]は前記第1姿勢定義行列、sは比例定数)

前記第 2 座標変換式は下記の数式により定義され得る。

$$s \begin{bmatrix} ru' \\ rv' \\ 1 \end{bmatrix} = [A_r][R_R][C] \begin{bmatrix} ru \\ rv \\ 1 \end{bmatrix} = [A_r][R_{LR}][R_L][C] \begin{bmatrix} ru \\ rv \\ 1 \end{bmatrix}$$

((ru,rv)は前記第 5 座標、(ru',rv')は前記第 8 座標、[C]は前記第 1 変換行列と同一の前記第 3 変換行列、[A_r]は前記第 4 変換行列、[R_R]は前記第 2 結像部に対する前記マーカ部の姿勢を定義する第 2 姿勢定義行列、[R_{LR}]は前記第 2 結像部に対する前記第 1 結像部の姿勢を定義する第 3 姿勢定義行列、sは比例定数)

10

【 0 0 1 1 】

例えば、前記第 1 変換行列及び前記第 3 変換行列は下記の数式により定義され得、

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & -v_c \\ 0 & 0 & f_b \end{bmatrix}$$

((u_c,v_c)は前記パターンの中心の座標、f_bは前記第 1 焦点距離)

前記第 2 及び第 4 変換行列は下記の数式により定義され得る。

20

$$[A] = \begin{bmatrix} -\frac{f_c}{pw} & 0 & u'_c \\ 0 & -\frac{f_c}{ph} & v'_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

((u'_c,v'_c)は前記パターンの中心に対応する前記パターンのイメージ上のピクセル座標、f_cは、前記第 2 変換行列の場合には前記第 2 焦点距離であり、前記第 4 変換行列の場合には前記第 3 焦点距離、pwは、前記第 2 変換行列の場合には前記パターンの第 1 イメージのピクセルの幅であり、前記第 4 変換行列の場合には前記パターンの第 2 イメージのピクセルの幅、phは、前記第 2 変換行列の場合には前記パターンの第 1 イメージのピクセルの高さであり、前記第 4 変換行列の場合には前記パターンの第 2 イメージのピクセルの高さ)

30

【 0 0 1 2 】

一実施例において、前記処理部は、少なくとも 3 つ以上の撮影イメージから u_c、v_c及び f_bのキャリブレーション値を取得することにより前記第 1 変換行列及び前記第 3 変換行列を取得することができ、前記取得されたデータを用いて f_c、pw、phのキャリブレーション値を取得することにより前記第 2 変換行列及び前記第 4 変換行列を取得することができる。

40

【 0 0 1 3 】

一実施例において、前記処理部は、前記第 1 座標と前記第 4 座標に対する複数のデータ及び前記第 5 座標と前記第 8 座標に対する複数のデータを取得することができ、前記取得された複数のデータが適用された下記の数式によって前記第 1 姿勢定義行列を取得することができる。

$$[R_L] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} LW_1 \\ RW_1 \\ \vdots \\ LW_n \\ RW_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \\ r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \\ r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{bmatrix} = 0$$

10

$$LW_i = \begin{bmatrix} \frac{f_c}{pw} lu_i & \frac{f_c}{pw} lv_i & \frac{f_c}{pw} f_b & 0 & 0 & 0 & (lu'_i - lu'_c)u_i & (lu'_i - lu'_c)v_i & (lu'_i - lu'_c)f_b \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph} lu_i & \frac{f_c}{ph} lv_i & \frac{f_c}{ph} f_b & (lv'_i - lv'_c)u_i & (lv'_i - lv'_c)v_i & (lv'_i - lv'_c)f_b \end{bmatrix}$$

RW_i

$$= \begin{bmatrix} A1r'_{11} + B1r'_{31} & C1r'_{11} + D1r'_{31} & E1r'_{11} + F1r'_{31} & A1r'_{12} + B1r'_{32} & C1r'_{12} + D1r'_{32} & E1r'_{12} + F1r'_{32} & A1r'_{13} + B1r'_{33} & C1r'_{13} + D1r'_{33} & E1r'_{13} + F1r'_{33} \\ A2r'_{11} + B2r'_{31} & C2r'_{11} + D2r'_{31} & E2r'_{11} + F2r'_{31} & A2r'_{12} + B2r'_{32} & C2r'_{12} + D2r'_{32} & E2r'_{12} + F2r'_{32} & A2r'_{13} + B2r'_{33} & C2r'_{13} + D2r'_{33} & E2r'_{13} + F2r'_{33} \end{bmatrix}$$

20

$$A1 = -\frac{f_c}{pw} ru_i, B1 = ru_i(ru'_c - ru'_i), C1 = -\frac{f_c}{pw} rv_i, \\ D1 = rv_i(ru'_c - ru'_i), E1 = -\frac{f_c}{pw} f_b, F1 = f_b(ru'_c - ru'_i)$$

$$A2 = -\frac{f_c}{ph} ru_i, B2 = ru_i(rv'_c - rv'_i), C2 = -\frac{f_c}{ph} rv_i, \\ D2 = rv_i(rv'_c - rv'_i), E2 = -\frac{f_c}{ph} f_b, F2 = f_b(rv'_c - rv'_i)$$

$$[R_{LR}] = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & r'_{13} \\ r'_{21} & r'_{22} & r'_{23} \\ r'_{31} & r'_{32} & r'_{33} \end{bmatrix}$$

30

((lu₁, lv₁), ..., (lu_n, lv_n)は前記第1座標のデータ、(lu'₁, lv'₁), ..., (lu'_n, lv'_n)は前記第4座標のデータ、(lu'_c, lv'_c)は前記パターンに対応する前記パターンの第1イメージ上のピクセル座標、((ru₁, rv₁), ..., (ru_n, rv_n)は前記第5座標のデータ、(ru'₁, rv'₁), ..., (ru'_n, rv'_n)は前記第8座標のデータ、(ru'_c, rv'_c)は前記パターンに対応する前記パターンの第2イメージ上のピクセル座標)

【0014】

一実施例において、前記処理部は、前記第2座標と前記第4座標に関する第3座標変換式及び前記第6座標と前記第8座標に関する第4座標変換式から前記マーカ部の位置を決定し、決定された前記マーカ部の位置を用いて前記マーカ部をトラッキングすること

40

【0015】

例えば、前記第3座標変換式は下記の数式により定義され得、

$$s \begin{bmatrix} u'_1 \\ v'_1 \\ 1 \end{bmatrix} = A_L [I|0] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

50

((u'₁, v'₁)は前記第4座標、(X, Y, Z)は前記第2座標、[A_L]は前記第2変換行列、[I]は3x3形態の恒等行列(identity matrix)、[0]は3x1形態の零行列、sは比例定数)

前記第4座標変換式は下記の数式により定義され得る。

$$s \begin{bmatrix} u'_2 \\ v'_2 \\ 1 \end{bmatrix} = A_R [R_{LR} | T] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

10

((u'₂, v'₂)は前記第8座標、(X, Y, Z)は前記第6座標、[A_R]は前記第4変換行列、[R_{LR}]は3x3形態の前記第3姿勢定義行列、[T]は3x1形態の位置変換行列、sは比例定数)

【0016】

一実施例において、前記処理部は、前記第1及び第2結像ユニットでそれぞれ撮影された前記パターンの視野範囲の中心である第1中心座標及び第2中心座標を取得することができ、前記取得された中心座標を用いて前記第1結像部及び前記第2結像部の間の位置変換行列をキャリブレーションすることができ、前記キャリブレーションされた位置変換行列を用いて前記マーカ部位置を取得することができる。

【0017】

一実施例において、前記処理部は、前記マーカ部を少なくとも2つ以上の位置で測定して換算係数を取得することができ、前記取得された換算係数を前記取得された中心座標と共に用いて前記第1結像部及び前記第2結像部の間の前記位置変換行列をキャリブレーションすることができる。

20

【0018】

本発明の例示的な一実施例によるオブティカルトラッキングシステムのマーカ部の姿勢及び位置算出方法は、特定情報を有するパターン(pattern)及び前記パターンから離隔されて配置され第1焦点距離を有する第1レンズを含むマーカ(marker)部と、第2焦点距離を有する第2レンズ及び前記第2レンズから離隔されて配置され前記第1レンズと前記第2レンズによって前記パターンの第1イメージが結像される第1結像ユニットを含む第1結像部と、第3焦点距離を有する第3レンズ及び前記第3レンズから離隔されて配置され前記第1レンズと前記第3レンズによって前記パターンの第2イメージが結像される第2結像ユニットとを含み、前記マーカ部をトラッキングするように前記マーカ部の姿勢を算出するために提供される。前記オブティカルトラッキングシステムのマーカ部の姿勢及び位置算出方法は、前記パターンのパターン面上の座標に該当する第1座標を前記マーカ部の前記第1レンズに対する3次元座標に該当する第2座標に変換する第1変換行列、前記第2座標の前記第2レンズに対する3次元座標に該当する第3座標を前記第1結像部の前記パターンの第1イメージ上の第1ピクセル座標に該当する第4座標に変換する第2変換行列、前記パターンの前記パターン面上の座標に該当する第5座標を前記マーカ部の前記第1レンズに対する3次元座標に該当する第6座標に変換する前記第1変換行列と同一の第3変換行列、及び前記第6座標の前記第3レンズに対する3次元座標に該当する第7座標を前記第2結像部の前記パターンの第2イメージ上の第2ピクセル座標に該当する第8座標に変換する第4変換行列を取得する段階と、前記第1変換行列及び前記第2変換行列を含み、前記第1座標を前記第4座標に変換する第1座標変換式及び前記第3変換行列及び前記第4変換行列を含み、前記第5座標を前記第8座標に変換する第2座標変換式から前記マーカ部の姿勢を定義する姿勢定義行列を取得する段階とを含む。

30

40

【0019】

一実施例において、前記オブティカルトラッキングシステムのマーカ部の姿勢及び位置算出方法は、前記第1及び第2結像ユニットでそれぞれ撮影された前記パターンの視野範囲の中心である第1中心座標及び第2中心座標を取得する段階と、前記取得された中心

50

座標を用いて前記第 1 結像部及び前記第 2 結像部の間の位置変換行列をキャリブレーションする段階と、前記キャリブレーションされた位置変換行列を用いて前記マーカ部の位置を取得する段階とをさらに含むことができる。

【0020】

一実施例において、前記オプティカルトラッキングシステムのマーカ部の姿勢及び位置算出方法は、前記位置変換行列をキャリブレーションする段階の前に、前記マーカ部を少なくとも 2 つ以上の位置で測定して換算係数を取得する段階をさらに含むことができ、位置変換行列をキャリブレーションする段階で、前記取得された換算係数を前記取得されたデータと共に用いて前記第 1 結像部及び前記第 2 結像部の間の位置変換行列をキャリブレーションすることができる。

10

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、マーカ部をトラッキングするオプティカルトラッキングシステムにおいて、トラッキングが可能のようにマーカ部が特定情報のパターンを含んでマーカ部を小型化することができ、前記マーカ部と前記結像部の光学系を座標変換式でモデリングするが、前記光学系をステレオで構成することによりさらに正確に前記マーカ部の姿勢及び位置を決定することができるため、さらに単純で且つ容易な方法でさらに正確にマーカ部をトラッキングすることができる。

【0022】

また、特定情報のパターンを含んで小型化されたマーカ部をステレオ方式を適用してモデリングすることにより前記マーカ部の位置をさらに正確に決定することができるため、さらに単純で且つ容易な方法で正確なマーカ部のトラッキングを可能にすることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図 1】本発明の一実施例によるオプティカルトラッキングシステムを示す概念図である。

【図 2】図 1 のオプティカルトラッキングシステムの処理部がマーカ部の姿勢を決定するために必要な問題解決の過程を概略的に示すフローチャートである。

【図 3】図 2 の問題解決の過程のうちシステムモデリングを行う過程を示すフローチャートである。

30

【図 4】図 3 のシステムモデリングを行う過程を説明するための概念図である。

【図 5】図 2 の問題解決の過程のうち第 2 変換行列をキャリブレーションする過程を示すフローチャートである。

【図 6】図 2 の問題解決の過程のうち第 1 変換行列をキャリブレーションする過程を示すフローチャートである。

【図 7】図 2 の問題解決の過程のうち姿勢定義行列を取得する過程の一例を示すフローチャートである。

【図 8】図 2 の問題解決の過程のうち姿勢定義行列を取得する過程の他の例を示すフローチャートである。

40

【図 9】本発明の一実施例によるオプティカルトラッキングシステムのマーカ部の姿勢算出方法を示すフローチャートである。

【図 10】本発明の他の実施例によるオプティカルトラッキングシステムを示す概念図である。

【図 11】図 10 のオプティカルトラッキングシステムの処理部がマーカ部の姿勢を決定するために必要な問題解決の過程を概略的に示すフローチャートである。

【図 12】図 11 の問題解決の過程のうち変換行列をキャリブレーションする過程を示すフローチャートである。

【図 13】図 11 の問題解決の過程のうち姿勢定義行列を取得する過程の一例を示すフローチャートである。

50

【図１４】本発明の他の実施例によるオプティカルトラッキングシステムのマーカー部の姿勢算出方法を示すフローチャートである。

【図１５】図１０のオプティカルトラッキングシステムの処理部がマーカー部の位置を決定するために必要な問題解決の過程を概略的に示すフローチャートである。

【図１６】図１５の問題解決の過程のうちシステムモデリングを行う過程を説明するための概念図である。

【図１７】図１５の問題解決の過程のうち位置変換行列をキャリブレーションする過程を示すフローチャートである。

【図１８】図１５の問題解決の過程のうちマーカー部の位置を取得する過程の一例を示すフローチャートである。

10

【図１９】図１５の問題解決の過程のうちマーカー部の位置を取得する過程の他の例を示すフローチャートである。

【図２０】本発明の一実施例によるオプティカルトラッキングシステムのマーカー部の位置算出方法を示すフローチャートである。

【発明の具体的な説明】

【００２４】

本発明は、多様な変更を加えることができ、様々な形態を有することができるところ、特定の実施例を図面に例示して本文に詳細に説明する。しかし、これは本発明を特定の開示形態に対して限定しようとするものではなく、本発明の思想及び技術範囲に含まれる全ての変更、均等物ないし代替物を含むものとして理解されるべきである。

20

【００２５】

第１、第２などの用語は多様な構成要素を説明するのに用いられるが、上記構成要素は上記用語によって限定されてはならない。上記用語は１つの構成要素を他の構成要素から区別する目的でのみ用いられる。例えば、本発明の権利範囲を逸脱しないと共に、第１構成要素は第２構成要素と名づけられ得、同様に第２構成要素も第１構成要素と名づけられ得る。

【００２６】

本出願で用いた用語は、単に特定の実施例を説明するために用いられるものであり、本発明を限定しようとする意図ではない。単数の表現は文脈上明白に異なる意味ではない限り、複数の表現を含む。本出願で「含む」または「有する」などの用語は、明細書に記載された特徴、数、段階、動作、構成要素、部分品またはこれらを組み合わせたものが存在することを指定しようとするのであり、１つまたはそれ以上の他の特徴や数、段階、動作、構成要素、部分品またはこれらを組み合わせたもの等の存在または付加の可能性を予め排除しないものと理解されるべきである。

30

【００２７】

異なって定義されない限り、技術的または科学的な用語を含み、ここで用いられる全ての用語は、本発明の属する技術分野における通常の知識を有する者により一般的に理解されるのと同じ意味を有する。

【００２８】

一般に用いられる予め定義されているような用語は、関連技術の文脈上の意味と一致する意味を有すると解釈されるべきであり、本出願で明白に定義しない限り、理想的であったり過度に形式的な意味として解釈されない。

40

【００２９】

以下、添付の図面を参照して、本発明の望ましい実施例をさらに詳細に説明する。

【００３０】

図１は、本発明の一実施例によるオプティカルトラッキングシステムを示す概念図である。

【００３１】

図１を参照すると、本発明の例示的な一実施例によるオプティカルトラッキングシステム１００は、マーカー(marker)部１１０、結像部１２０及び処理部１３０を含む。

50

【 0 0 3 2 】

前記マーカ部 1 1 0 は、パターン(pattern) 1 1 2 及び第 1 レンズ 1 1 4 を含む。

【 0 0 3 3 】

前記パターン 1 1 2 は、特定情報を有する。例えば、前記特定情報は、前記パターンは後述する結像部 1 2 0 でトラッキングのために認識できる情報であって、バーコード(bar code)と類似の 1 次元のパターン、Q R コードと類似の 2 次元のパターンなどを含むことができる。

【 0 0 3 4 】

前記第 1 レンズ 1 1 4 は、前記パターン 1 1 2 から離隔されて配置され、第 1 焦点距離を有する。例えば、前記第 1 レンズ 1 1 4 と前記パターン 1 1 2 との間の離隔距離は、後述する結像部 1 2 0 が遠距離においても前記パターン 1 1 2 を結像してトラッキングできるように、前記第 1 レンズ 1 1 4 の第 1 焦点距離と同一であり得る。この場合、前記第 1 レンズ 1 1 4 を通過する前記パターン 1 1 2 に対する光束(bundle of rays)は平行をなし得る。前記第 1 レンズ 1 1 4 は、例えば、顕微鏡の対物レンズと類似の機能を行うことができる。

10

【 0 0 3 5 】

前記マーカ部 1 1 0 は、光源を含めないことがあり、この場合、前記マーカ部 1 1 0 は外部に位置する照明を用いるパッシブマーカ(passive marker)として活用され得る。これとは異なって、前記マーカ部 1 1 0 は、光源を含むこともでき、この場合、前記マーカ部 1 1 0 は自らの照明を用いるアクティブマーカ(active marker)として活用され得る。

20

【 0 0 3 6 】

前記結像部 1 2 0 は、第 2 レンズ 1 2 2 及び結像ユニット 1 2 4 を含む。

【 0 0 3 7 】

前記第 2 レンズ 1 2 2 は、第 2 焦点距離を有する。前記第 2 レンズ 1 1 4 は、例えば、顕微鏡の接眼レンズと類似の機能を行うことができる。

【 0 0 3 8 】

前記結像ユニット 1 2 4 は、前記第 2 レンズ 1 2 2 から離隔されて配置され、前記第 1 レンズ 1 1 4 と前記第 2 レンズ 1 2 2 によって前記パターン 1 1 2 のイメージが結像される。例えば、前記結像ユニット 1 2 4 と前記第 2 レンズ 1 2 2 との間の離隔距離は、前記第 1 レンズ 1 1 4 を通過して平行をなす前記パターン 1 1 2 に対する光束を結像することができるように、前記第 2 レンズ 1 2 2 の第 2 焦点距離と同一であり得る。例えば、前記結像ユニット 1 2 4 は、C C D(charge coupled device)、C M O S(complementary metal-oxide semiconductor)などのようなイメージセンサを含むことができる。

30

【 0 0 3 9 】

前記処理部 1 3 0 は、前記パターン 1 1 2 のパターン面上の座標と前記パターン 1 1 2 のイメージ上のピクセル座標の間の座標変換式から前記マーカ部 1 1 0 の姿勢を決定する。前記処理部 1 3 0 は、決定された前記マーカ部 1 1 0 の姿勢を用いて前記マーカ部 1 1 0 をトラッキングする。前記処理部 1 3 0 は、例えば、コンピュータまたはさらに具体的に中央処理装置(CPU)を含むことができる。

40

【 0 0 4 0 】

以下、前記処理部 1 3 0 の機能の根拠になるシステムモデリングの過程及びこれにより前記マーカ部 1 1 0 の姿勢を決定する過程を図面を参照してさらに詳細に説明する。

【 0 0 4 1 】

図 2 は、図 1 のオプティカルトラッキングシステムの処理部がマーカ部の姿勢を決定するために必要な問題解決の過程を概略的に示すフローチャートである。

【 0 0 4 2 】

図 2 を参照すると、まずは上述した構成を有する前記オプティカルトラッキングシステム 1 0 0 に対してシステムモデリングを行う(S100)。

【 0 0 4 3 】

50

図1に示すようなオプティカルトラッキングシステム100において、前記パターン112のパターン面上の座標と前記パターン112のイメージ上のピクセル座標との間の座標変換は、前記オプティカルトラッキングシステム100の光学系により行われるため、前記オプティカルトラッキングシステム100の光学系による座標変換をモデリングすることにより前記座標変換式を設定することができる。このとき、前記オプティカルトラッキングシステム100の光学系による座標変換は、前記マーカ一部110及び前記結像部120のそれぞれの光学系、及びこれらの間の関係によってモデリングされ得る。

【0044】

続いて、システムモデリングの結果として取得された座標変換式のうち後述する第1及び第2変換行列をキャリブレーション(calibration)する(S200)。

10

【0045】

図1に示す前記パターン112のパターン面上の座標を第1座標、前記第1座標の前記第1レンズ114に対する3次元のローカル座標を第2座標、前記第2座標の前記第2レンズ122に対する3次元のローカル座標を第3座標、そして前記結像部120の前記パターン112のイメージ上のピクセル座標を第4座標とそれぞれ定義するとき、前記第1変換行列は、前記第1座標を前記第2座標に変換する行列であり、前記第2変換行列は、前記第3座標を前記第4座標に変換する行列である。

【0046】

前記システムモデリングの結果として取得された座標変換式は、図1に示す前記マーカ一部110及び前記結像部120の光学系の各種のパラメータに対する式で定められるが、前記パラメータを正確に取得できなかつたり機構的な配置状態などによって値が変わることがあるため、前記第1及び第2変換行列をキャリブレーションすることにより正確なシステムモデリングを可能にすることができる。

20

【0047】

次に、キャリブレーションの結果を用いて姿勢定義行列を取得する(S300)。

【0048】

ここで、姿勢は、前記マーカ一部110が向かっている方向を意味し、前記姿勢定義行列は、前記マーカ一部110の姿勢に関する情報を提供する行列であって、前記姿勢定義行列から前記マーカ一部110のロール(roll)、ピッチ(pitch)、ヨー(yaw)などを把握することができる。

30

【0049】

以下、図2に示す各段階について図面を参照してさらに具体的に説明する。

【0050】

図3は、図2の問題解決の過程のうちシステムモデリングを行う過程を示すフローチャートであり、図4は、図3のシステムモデリングを行う過程を説明するための概念図である。

【0051】

図3及び図4を参照すると、まず前記マーカ一部110と前記結像部120との間の光経路による3つの直線の方程式を取得する(S110)。

【0052】

40

具体的には、前記第1レンズ114の中心点を第1中心点A、前記第2レンズ122の中心点を第2中心点Oとし、前記パターン112上の任意の点をBとする。前記任意の点Bに対する光が前記第1レンズ114の第1中心点Aを通過する光は直進し、前記第1中心点Aを通過した光が前記第2レンズ122と会う点をDとし、前記D点で前記第2レンズ122により屈折されて前記結像ユニット124に結像される点をEとする。また、前記第1レンズ114の第1中心点Aを経て前記第2レンズ122の第2中心点Oを通過する光は直進し、この光が線分DEの延長線と会う点をCとする。

【0053】

このとき、線分AO(または線分AC)に対する直線の方程式、線分ADに対する直線の方程式、及び線分DCに対する直線の方程式を図4に示すようにそれぞれL1、L2及びL3と定義す

50

る。

【 0 0 5 4 】

ワールド座標系(world coordinate system)において、前記第 1 中心点Aの座標は(X,Y,Z)、前記第 2 中心点Oの座標は原点である(0,0,0)と設定する。前記第 2 レンズ 1 2 2 の第 2 中心点Oの座標を原点と設定するため、前記第 2 レンズ 1 2 2 に対する 3 次元のローカル座標系は、前記ワールド座標系と同一である。

【 0 0 5 5 】

また、前記パターン 1 1 2 上の任意の点(B点に対応)の座標を(u,v)、前記パターン 1 1 2 の中心点の座標を(u_c, v_c)、前記結像ユニット 1 2 4 に結像される前記パターン 1 1 2 のイメージのピクセル(E点に対応)の座標を(u', v')と定める。前記座標(u,v)、(u_c, v_c)は、一例として前記パターン 1 1 2 の左上側を基準に設定され得、前記座標(u', v')は一例として前記パターン 1 1 2 のイメージの左上側を基準に設定され得る。

10

【 0 0 5 6 】

一方、前記結像ユニット 1 2 4 を前記第 2 レンズ 1 2 2 の焦点距離 f_c に位置させると、前記結像ユニット 1 2 4 のz軸座標は $-f_c$ になる。

【 0 0 5 7 】

以上の情報を用いて前記 3 つの直線の方程式を順に取得する。

【 0 0 5 8 】

直線L1の方程式は線分AOから求め、ここでC点の位置を取得する。直線L2の方程式は線分ABから求め、ここでD点の位置を取得する。直線L3の方程式は、線分DCから求める。このとき、A点とO点のワールド座標が分かるので、B点のワールド座標のみ分かれば、前記 3 つの直線の方程式が分かる。

20

【 0 0 5 9 】

前記マーカー部 1 1 0 の姿勢を定義する姿勢定義行列を3*3行列[R]と定義し、行列[R]の各成分をそれぞれ r_{11} 、 r_{12} 、 r_{13} 、 r_{21} 、 r_{22} 、 r_{23} 、 r_{31} 、 r_{32} 、 r_{33} と定義すれば、B点のワールド座標はB点のパターン上座標(u,v)を行列[R]と前記第 1 レンズ 1 1 4 の焦点距離 f_b に基づいて変換した($r_{11}u+r_{12}v+r_{13}f_b+X$, $r_{21}u+r_{22}v+r_{23}f_b+Y$, $r_{31}u+r_{32}v+r_{33}f_b+Z$)と定めることができる。

【 0 0 6 0 】

よって、A点、O点及びB点のワールド座標から 3 つの直線の方程式を取得することができる。

30

【 0 0 6 1 】

続いて、前記取得された 3 つの直線の方程式から前記パターン 1 1 2 及びパターンのイメージの間の関係式を誘導する(S120)。

【 0 0 6 2 】

先に求めた直線L3の方程式でE点の位置(E点のワールド座標)を取得することができるため、これからE点のピクセル座標(u', v')が分かる。

【 0 0 6 3 】

これにより、E点のピクセル座標(u', v')をB点のパターン上座標(u,v)で示すことができるため、B点に対応する前記パターン 1 1 2 及びE点に対応するパターンのイメージの間の関係式を定めることができる。

40

【 0 0 6 4 】

次に、前記関係式を行列方程式で表して前記座標変換式として設定する(S130)。

【 0 0 6 5 】

前記関係式は、下記の数式 1 のような行列方程式で表すことができ、このような座標変換に関する行列方程式を前記座標変換式に設定することができる。

【 0 0 6 6 】

【数 1】

$$s \begin{bmatrix} u'_i \\ v'_i \\ 1 \end{bmatrix} = [A][R][C] \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -\frac{f_c}{pw.} & 0 & u'_c \\ 0 & -\frac{f_c}{ph.} & v'_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & -v_c \\ 0 & 0 & f_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$(s = r_{31}u_i + r_{32}v_i + r_{33}f_b)$$

10

ここで、 (u, v) は前記第 1 座標、 (u', v') は前記第 4 座標、 $[C]$ は前記第 1 変換行列、 $[A]$ は前記第 2 変換行列、そして $[R]$ は前記姿勢定義行列を意味する。また、 (u_c, v_c) は前記パターンの中心のパターン面上の座標、 f_b は前記第 1 焦点距離、 f_c は前記第 2 焦点距離、 pw は前記パターンのイメージのピクセルの幅、 ph は前記パターンのイメージのピクセルの高さである。また、 (u_i, v_i) 、 (u'_i, v'_i) において i は所定の i 番目のパターンであることを意味する。

【0067】

20

前記座標変換式は、図1で説明した前記第 1 及び第 2 変換行列及び前記姿勢定義行列の積でなされていることが分かる。

【0068】

具体的には、前記座標変換式を概念的に詳察すると、図1で説明した通り、前記パターン 1 1 2 のパターン面上の座標を第 1 座標 $((u, v))$ 、前記第 1 座標の前記第 1 レンズ 1 1 4 に対する 3 次元的ローカル座標を第 2 座標、前記第 2 座標の前記第 2 レンズ 1 2 2 に対する 3 次元的ローカル座標(ワールド座標と同一)を第 3 座標、そして前記結像部 1 2 0 の前記パターン 1 1 2 のイメージ上のピクセル座標を第 4 座標 $((u', v'))$ とそれぞれ定義するとき、前記座標変換式は、前記第 1 座標を前記第 2 座標に変換する第 1 変換行列 $[C]$ 、前記第 2 座標を前記第 3 座標に変換する姿勢定義行列 $[R]$ 、及び前記第 3 座標を前記第 4 座標に変換する第 2 変換行列 $[A]$ の積である $[A][R][C]$ で示されることが分かる。

30

【0069】

次に、前記システムモデリングの結果として取得された座標変換式のうち、前記第 1 及び第 2 変換行列をキャリブレーションする過程(S200)を図面を参照してさらに詳細に説明する。

【0070】

前記キャリブレーションは、前記第 2 変換行列に対してまず行って、続いて前記第 1 変換行列に対して行う。

【0071】

図 5 は、図 2 の問題解決の過程のうち第 2 変換行列をキャリブレーションする過程を示すフローチャートである。

40

【0072】

図 5 を参照すると、まずキャリブレーションのための数学的な解析が容易であるように、行列 $[B]$ と行列 $[H]$ を定義する(S210)。

【0073】

具体的には、前記第 2 変換行列 $[A]$ を用いて行列 $[B]$ を定義すれば、数式 2 の通りであり、前記第 1 変換行列 $[C]$ 、前記第 2 変換行列 $[A]$ 及び前記姿勢定義行列 $[R]$ を用いて行列 $[H]$ を定義すれば、数式 3 の通りである。

【0074】

【数 2】

$$[B]=[A]^{-T}*[A]^{-1}$$

【 0 0 7 5】

【数 3】

$$[H]=[A][R][C]$$

ここで、各行列[A]、[B]、[C]、[H]、[R]は全て3*3形態を有し、[H]=[h1, h2, h3]、[R] 10
]=[r1, r2, r3]で示することができる。

【 0 0 7 6】

数式 3 の両辺に A^{-1} を乗じれば、数式 4 が取得される。

【 0 0 7 7】

【数 4】

$$A^{-1}[h_1 h_2 h_3] = [r_1 r_2 T]$$

【 0 0 7 8】

続いて、行列[R]の正規直交性(orthonormality)を用いて[H]と[B]の成分からなる方程 20
式を設定する(S220)。

【 0 0 7 9】

具体的には、回転行列(rotation matrix)に該当する姿勢定義行列[R]の正規直交性を用 20
いれば、行列[B]を数式 5 のように定義することができる。

【 0 0 8 0】

【数 5】

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{1}{\alpha^2} & 0 & -\frac{u'_c}{\alpha^2} \\ 0 & \frac{1}{\beta^2} & -\frac{v'_c}{\beta^2} \\ -\frac{u'_c}{\alpha^2} & -\frac{v'_c}{\beta^2} & \frac{u'^2_c}{\alpha^2} + \frac{v'^2_c}{\beta^2} + 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & 0 & B_{13} \\ 0 & B_{22} & B_{23} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} \end{bmatrix} \quad 30$$

ここで、 $\alpha = -f_c/pw$ 、 $\beta = -f_c/ph$ であり、 f_c は前記結像部 1 2 0 の第 2 レンズ 1 2 2 の焦 20
点距離、pwとphはそれぞれピクセルの幅と高さを意味する。

【 0 0 8 1】

行列[B]の0でない成分を用いて、列ベクトルbと v_{ij} を数式 6 のように定義する。

【 0 0 8 2】

【数 6】

$$b = [B_{11} \ B_{22} \ B_{13} \ B_{23} \ B_{33}]^T \quad 40$$

$$v_{ij} = [h_{i1}h_{j1}, h_{i2}h_{j2}, h_{i3}h_{j1} + h_{i1}h_{j3}, h_{i3}h_{j2} + h_{i2}h_{j3}, h_{i3}h_{j3}]^T$$

【 0 0 8 3】

数式 6 に行列[R]の正規直交性を用いれば、数式 7 を得ることができる。

【 0 0 8 4】

【数 7】

$$\begin{bmatrix} v_{12}^T \\ (v_{11} - v_{22})^T \end{bmatrix} b = 0$$

$$\begin{bmatrix} h_{11}h_{21}, h_{12}h_{22}, h_{13}h_{21} + h_{11}h_{23}, h_{13}h_{22} + h_{12}h_{23}, h_{13}h_{23} \\ h_{11}h_{11} - h_{21}h_{21}, h_{12}h_{12} - h_{22}h_{22}, h_{13}h_{11} + h_{11}h_{13} - (h_{23}h_{21} + h_{21}h_{23}), h_{13}h_{12} + h_{12}h_{13} - (h_{23}h_{22} + h_{22}h_{23}), h_{13}h_{13} - h_{23}h_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{11} \\ B_{22} \\ B_{13} \\ B_{23} \\ B_{33} \end{bmatrix} = 0$$

10

【0 0 8 5】

次に、3枚以上の映像データを[H]に適用して[B]の解を求める(S230)。

【0 0 8 6】

具体的には、少なくとも3枚以上の映像を数式7に適用した後、一例として特異値分解(singular value decomposition、SVD)のような方法を用いて列ベクトルbを求めることができる。列ベクトルbを求めれば、行列[B]の全ての成分が分かる。

20

【0 0 8 7】

続いて、最終的にキャリブレーションされた[A]を取得する(S240)。

【0 0 8 8】

具体的には、行列[B]の全ての成分が分かれば、下記の数式8を通じて v'_c 、 α 、 β 、 u'_c を求めることができる(λ 、 γ をパラメータで表す)。

【0 0 8 9】

【数 8】

$$v'_c = \frac{B_{12}B_{13} - B_{11}B_{23}}{B_{11}B_{22} - B_{12}^2}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda}{B_{11}}}, \beta = \sqrt{\frac{\lambda B_{11}}{B_{11}B_{22} - B_{12}^2}}$$

30

$$u'_c = \frac{\gamma v'_c}{\beta} - \frac{B_{13}\alpha^2}{\lambda}$$

$$\lambda = B_{33} - \frac{[B_{13}^2 + v'_c(B_{12}B_{13} - B_{11}B_{23})]}{B_{11}}$$

40

$$\gamma = -B_{12}\alpha^2\beta/\lambda$$

【0 0 9 0】

よって、数式9から行列[A]の全ての成分が分かる。

【0 0 9 1】

【数 9】

$$[A] = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & u'_c \\ 0 & \beta & v'_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; (\alpha = -\frac{f_c}{pw}, \beta = -\frac{f_c}{ph})$$

50

【 0 0 9 2 】

次に、先にキャリブレーションした第 2 変換行列[A]を用いて第 1 変換行列[C]をキャリブレーションする。

【 0 0 9 3 】

図 6 は、図 2 の問題解決の過程のうち第 1 変換行列をキャリブレーションする過程を示すフローチャートである。

【 0 0 9 4 】

図 6 を参照すると、まずキャリブレーションされた行列[A]を行列[H]に代入し、整理して行列[R]を取得する(S250)。

【 0 0 9 5 】

具体的には、数式 9 の前記第 2 変換行列[A]を数式 3 に代入し、数式1の[R][C]を整理して数式 10 を取得する。

【 0 0 9 6 】

【数 1 0 】

$$[H] = [A][R][C] = [A][RC]$$

$$= \begin{bmatrix} \alpha & 0 & u'_c \\ 0 & \beta & v'_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & -u_c r_{11} - v_c - u_c r_{12} + f_b r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & -u_c r_{21} - v_c - u_c r_{22} + f_b r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & -u_c r_{31} - v_c - u_c r_{32} + f_b r_{33} \end{bmatrix}$$

$$= [h_1 \quad h_2 \quad h_3]$$

【 0 0 9 7 】

数式 10 において、行列[R]を[R]=[r₁ r₂ r₃]と置けば、[R]は数式 11 で列ベクトル成分別に取得することができる。

【 0 0 9 8 】

【数 1 1 】

$$r_1 = [A]^{-1}h_1, \quad r_2 = [A]^{-1}h_2, \quad r_3 = r_1 \times r_2$$

【 0 0 9 9 】

続いて、行列[HK]を[HK]=[A][R]と定義して前記座標変換式に代入して整理する(S260)。

【 0 1 0 0 】

具体的には、行列[A]と行列[R]の積を行列[HK]として定義して数式1の座標変換式に代入して行列[HK]と行列[C]の成分からなるように整理する。

【 0 1 0 1 】

このとき、数式 9 で求めた行列[A]と数式 11 で求めた行列[R]を用いて行列[HK]を求めることができ、これを数式1の座標変換式に適用すれば、行列[HK]と行列[C]の成分からなる数式 12 が得られる。

【 0 1 0 2 】

【数 1 2 】

$$s \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} = [A][R][C] \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = [HK][C] \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = [HK] \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & -v_c \\ 0 & 0 & f_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

【 0 1 0 3 】

次に、整理された式を[AA][CC]=[BB]の形態に変形する(S270)。

【 0 1 0 4 】

具体的には、整理された式で行列[C]の成分のみからなる行列を[CC]と定義して分離した後、整理された式を[AA][CC]=[BB]の形態に変形する。このとき、行列[HK]を知っているため、行列[HK]を用いて行列[AA]、行列[BB]及び行列[CC]を数式 13 のように定義することができる。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 5 】

【 数 1 3 】

$$\begin{aligned}
 [AA] &= \begin{bmatrix} HK(2,1) - HK(3,1)v'_i & HK(2,2) - HK(3,2)v'_i & -HK(2,3) + HK(3,3)v'_i \\ -HK(1,1) + HK(3,1)u'_i & -HK(1,2) + HK(3,2)u'_i & HK(1,3) - HK(3,3)u'_i \end{bmatrix} \\
 [BB] &= \begin{bmatrix} HK(2,1)u_i + HK(2,2)v_i - HK(3,1)v'_i u_i - HK(3,2)v'_i v_i \\ -HK(1,1)u_i - HK(1,2)v_i + HK(3,1)u'_i u_i + HK(3,2)u'_i v_i \end{bmatrix} \\
 [CC] &= \begin{bmatrix} u_c \\ v_c \\ f_b \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

【 0 1 0 6 】

10

続いて、 $[CC]=[AA]^{-1}[BB]$ から $[CC]$ を求めてキャリブレーションされた行列 $[C]$ を取得する (S280)。

【 0 1 0 7 】

具体的には、式 $[AA][CC]=[BB]$ を変形した $[CC]=[AA]^{-1}[BB]$ から $[CC]$ の成分を取得して最終的にキャリブレーションされた前記第 1 変換行列 $[C]$ を取得する。

【 0 1 0 8 】

次に、前記キャリブレーションされた第 1 及び第 2 変換行列を用いて前記姿勢定義行列を取得する過程 (S300) を図面を参照してさらに詳細に説明する。

【 0 1 0 9 】

図 7 は、図 2 の問題解決の過程のうち姿勢定義行列を取得する過程の一例を示すフローチャートである。

20

【 0 1 1 0 】

図 7 を参照すると、前記姿勢定義行列 $[R]$ を取得する一例として、まず両辺に自らを外積した方程式を設定する (S310)。

【 0 1 1 1 】

具体的には、前記数式 1 の両辺に自らを外積すれば 0 になるので、これを方程式に設定すると、数式 1 4 を得ることができる。

【 0 1 1 2 】

【 数 1 4 】

$$\begin{bmatrix} u'_i \\ v'_i \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u'_i \\ v'_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & v'_i \\ 1 & 0 & -u'_i \\ -v'_i & u'_i & 0 \end{bmatrix} [A][R][C] \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

30

【 0 1 1 3 】

続いて、行列 $[H]$ を、一例として特異値分解 (SVD) のような方法を用いて取得する (S320a)。

【 0 1 1 4 】

具体的には、数式 1 4 に数式 3 の $[H]=[A][R][C]$ を適用した後、行列 $[H]$ の各成分 ($H_1, H_2, \dots, H_9$) に関する方程式で整理して数式 1 5 を取得する。

40

【 0 1 1 5 】

【数 1 5】

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & u_1 & v_1 & -1 & u_1 v'_1 & v_1 v'_1 & v'_1 \\ u_1 & v_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & u_1 u'_1 & v_1 u'_1 & u'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & u_n & v_n & -1 & u_n v'_n & v_n v'_n & v'_n \\ u_n & v_n & 1 & 0 & 0 & 0 & u_n u'_n & v_n u'_n & u'_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \\ H_6 \\ H_7 \\ H_8 \\ H_9 \end{bmatrix} = 0 \quad 10$$

【 0 1 1 6】

数式 1 5 の2n個の式を一例として特異値分解(SVD)のような方法を用いて取得する。

【 0 1 1 7】

次に、 $[R]=[A]^{-1}[H][C]^{-1}$ から[R]を取得する(S330a)。

【 0 1 1 8】

具体的には、数式 3 の $[H]=[A][R][C]$ を変形した $[R]=[A]^{-1}[H][C]^{-1}$ から[R]を取得する。

【 0 1 1 9】

前記姿勢定義行列は、他の方法で取得されることもできる。

20

【 0 1 2 0】

図 8 は、図 2 の問題解決の過程のうち姿勢定義行列を取得する過程の他の例を示すフローチャートである。

【 0 1 2 1】

図 8 を参照すると、前記姿勢定義行列[R]を取得する他の例として、まず両辺に自らを外積した方程式を設定する(S310)。本過程は図 7 の過程と同一であるため、重複する説明は省略する。

【 0 1 2 2】

続いて、 $r_{11} \sim r_{33}$ に対する方程式で整理する(S320b)。

【 0 1 2 3】

具体的には、数式 1 4 から前記姿勢定義行列[R]の各成分 r_{11} 、 r_{12} 、 r_{13} 、 r_{21} 、 r_{22} 、 r_{23} 、 r_{31} 、 r_{32} 、 r_{33} に対する方程式で整理して数式 1 6 を取得する。

30

【 0 1 2 4】

【数 1 6】

$$\begin{bmatrix} \frac{f_c}{pw} u_1 & \frac{f_c}{pw} v_1 & \frac{f_c}{pw} f_b & 0 & 0 & 0 & (u'_1 - u'_c)u_1 & (u'_1 - u'_c)v_1 & (u'_1 - u'_c)f_b \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph} u_1 & \frac{f_c}{ph} v_1 & \frac{f_c}{ph} f_b & (v'_1 - v'_c)u_1 & (v'_1 - v'_c)v_1 & (v'_1 - v'_c)f_b \\ & & & & & \vdots & & & \\ \frac{f_c}{pw} u_n & \frac{f_c}{pw} v_n & \frac{f_c}{pw} f_b & 0 & 0 & 0 & (u'_n - u'_c)u_n & (u'_n - u'_c)v_n & (u'_n - u'_c)f_b \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph} u_n & \frac{f_c}{ph} v_n & \frac{f_c}{ph} f_b & (v'_n - v'_c)u_n & (v'_n - v'_c)v_n & (v'_n - v'_c)f_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \\ r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \\ r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{bmatrix} = 0 \quad 40$$

【 0 1 2 5】

次に、行列[R]を、一例として特異値分解(SVD)のような方法を用いて取得する(S330b)。

【 0 1 2 6】

具体的には、数式 1 6 の2n個の式を特異値分解(SVD)のような方法を用いて取得する。

【 0 1 2 7】

このように最終的に前記姿勢定義行列[R]を取得することができる。

【 0 1 2 8】

50

前記のようなシステムモデリングの過程及び姿勢定義行列[R]の取得方法を図1に示す前記オプティカルトラッキングシステム100に適用して前記マーカ一部110の姿勢を算出することができる。

【0129】

以下、前記処理部130で前記マーカ一部110の姿勢を算出する方法を図面を参照してさらに詳細に説明する。

【0130】

図9は、本発明の一実施例によるオプティカルトラッキングシステムのマーカ一部の姿勢算出方法を示すフローチャートである。

【0131】

図9を参照すると、まず前記処理部130で少なくとも3つの映像から第1及び第2変換行列をキャリブレーションする(S510)。

【0132】

前記キャリブレーションは、図2で説明された段階S200と、図5及び図6で具体的に説明された段階S210ないし段階S280の過程と実質的に同一であり、前記処理部130では前記過程のうち段階S230と段階S280のようにキャリブレーションのための最終方程式のみを用いて前記第1及び第2変換行列をキャリブレーションすることができる。

【0133】

次に、前記第1及び第2変換行列を含む座標変換式から姿勢定義行列を取得する(S520)。

【0134】

前記姿勢定義行列の取得は、図2で説明された段階S300と、図7及び図8で具体的に説明された段階S310ないし段階S330a、及び段階S310ないし段階S330bの過程と実質的に同一であり、前記処理部130では前記過程のうち段階S320aとS320a、または、段階S320bのように前記姿勢定義行列の取得のための最終方程式のみを用いて前記姿勢定義行列を取得することができる。

【0135】

よって、前記処理部130は、前記第1座標を前記第2座標に変換する第1変換行列及び前記第3座標を前記第4座標に変換する第2変換行列を予めキャリブレーションして予め取得した後、前記座標変換式から前記マーカ一部110の姿勢を定義する姿勢定義行列を取得することができる。

【0136】

前記姿勢定義行列を取得すれば、前記マーカ一部110の姿勢が分かる。例えば、前記姿勢定義行列から前記マーカ一部110のロール(roll)、ピッチ(pitch)、ヨー(yaw)などを把握することができる。

【0137】

前記のようなオプティカルトラッキングシステムによれば、トラッキングが可能なようにマーカ部分が特定情報のパターンを含んでマーカ部分を小型化することができ、前記マーカ部分と前記結像部の光学系を座標変換式でモデリングすることにより前記マーカ部分の姿勢を決定することができるため、さらに単純で且つ容易な方法で正確なマーカ部分のトラッキングを可能にすることができる。

【0138】

図10は、本発明の他の実施例によるオプティカルトラッキングシステムを示す概念図である。

【0139】

図10を参照すると、本発明の他の実施例によるオプティカルトラッキングシステム1000は、マーカ部分1110、第1結像部1120a、第2結像部1120b及び処理部1130を含む。

【0140】

図10に示すオプティカルトラッキングシステム1000は、結像部を2つ含むステレ

10

20

30

40

50

オ方式を適用する点、及び処理部 1 1 4 0 が 2 つの結像部を用いて姿勢を決定するという点を除けば、図 1 に示すオプティカルトラッキングシステム 1 0 0 と実質的に同一であるため、重複する詳細な説明は省略する。

【0 1 4 1】

前記マーカ部 1 1 1 0 は、パターン(pattern) 1 1 1 2 及び第 1 レンズ 1 1 1 4 を含み、図 1 に示すマーカ部 1 1 0 と実質的に同一である。

【0 1 4 2】

前記第 1 結像部 1 1 2 0 a は、第 2 焦点距離を有する第 2 レンズ及び前記第 2 レンズから離隔されて配置され、前記第 1 レンズと前記第 2 レンズによって前記パターンの第 1 イメージが結像される第 1 結像ユニットを含む。

10

【0 1 4 3】

前記第 2 結像部 1 1 2 0 b は、第 3 焦点距離を有する第 3 レンズ及び前記第 3 レンズから離隔されて配置され、前記第 1 レンズと前記第 3 レンズによって前記パターンの第 2 イメージが結像される第 2 結像ユニットを含む。

【0 1 4 4】

前記第 1 結像部 1 1 2 0 a 及び前記第 2 結像部 1 1 2 0 b のそれぞれは、図 1 に示す結像部 1 2 0 と実質的に同一である。

【0 1 4 5】

前記処理部 1 1 3 0 は、前記パターン 1 1 1 2 のパターン面上の座標と前記パターン 1 1 1 2 の第 1 イメージ上の第 1 ピクセル座標との間の第 1 座標変換式及び前記パターン 1 1 1 2 のパターン面上の座標と前記パターン 1 1 1 2 の第 2 イメージ上の第 2 ピクセル座標との間の第 2 座標変換式から前記マーカ部 1 1 1 0 の姿勢を決定する。このとき、前記第 2 座標変換式は、前記第 1 ピクセル座標と前記第 2 イメージ上の第 2 ピクセル座標との間の回転変換を含む。前記処理部 1 1 3 0 は、決定された前記マーカ部 1 1 1 0 の姿勢を用いて前記マーカ部 1 1 1 0 をトラッキングする。

20

【0 1 4 6】

以下、前記処理部 1 1 3 0 の機能の根拠になるシステムモデリングの過程及びこれにより前記マーカ部 1 1 1 0 の姿勢を決定する過程を図面を参照してさらに詳細に説明する。

【0 1 4 7】

図 1 1 は、図 1 0 のオプティカルトラッキングシステムの処理部がマーカ部の姿勢を決定するために必要な問題解決の過程を概略的に示すフローチャートである。

30

【0 1 4 8】

図 1 1 を参照すると、まず上述した構成を有する前記オプティカルトラッキングシステム 1 0 0 0 についてシステムモデリングを行う(S1100)。

【0 1 4 9】

図 1 0 に示すようなオプティカルトラッキングシステム 1 0 0 0 において、前記パターン 1 1 1 2 のパターン面上の座標と前記パターン 1 1 1 2 のイメージ上のピクセル座標との間の座標変換は、前記オプティカルトラッキングシステム 1 1 0 0 の光学系によって行われるため、前記オプティカルトラッキングシステム 1 0 0 0 の光学系による座標変換をモデリングすることにより前記座標変換式を設定することができる。このとき、前記オプティカルトラッキングシステム 1 0 0 の光学系による座標変換は、前記マーカ部 1 1 1 0、及び前記第 1 及び第 2 結像部 1 1 2 0 a、1 1 2 0 b のそれぞれの光学系及びこれらの間の関係によってモデリングされ得る。

40

【0 1 5 0】

続いて、システムモデリングの結果として取得された座標変換式のうち後述する第 1、第 2、第 3 及び第 4 変換行列をキャリブレーションする(S1200)。

【0 1 5 1】

図 1 0 に示す前記パターン 1 1 1 2 のパターン面上の座標を第 1 座標、前記第 1 座標の前記第 1 レンズ 1 1 1 4 に対する 3 次元局所的座標を第 2 座標、前記第 2 座標の前記

50

第2レンズ1122aに対する3次元のローカル座標を第3座標、そして前記第1結像部1120aの前記パターン1112の第1イメージ上のピクセル座標を第4座標とそれぞれ定義するとき、前記第1変換行列は、前記第1座標を前記第2座標に変換する行列であり、前記第2変換行列は、前記第3座標を前記第4座標に変換する行列である。

【0152】

また、図10に示す前記パターン1112のパターン面上の座標を第5座標、前記第5座標の前記第1レンズ1114に対する3次元のローカル座標を第6座標、前記第6座標の前記第3レンズ1122bに対する3次元のローカル座標を第7座標、そして前記第2結像部1120bの前記パターン1112の第2イメージ上のピクセル座標を第8座標とそれぞれ定義するとき、前記第3変換行列は、前記第5座標を前記第6座標に変換する行列であり、前記第4変換行列は、前記第7座標を前記第8座標に変換する行列である。

10

【0153】

前記システムモデリングの結果として取得された座標変換式は、図10に示す前記マーカ部1110及び前記結像部1120の光学系の各種のパラメータに対する式で定められるものの、前記パラメータを正確に取得できなかったり機構的な配置状態などにより値が変わることがあるため、前記第1及び第2変換行列をキャリブレーションすることによりさらに正確なシステムモデリングを可能にすることができる。

【0154】

次に、キャリブレーションの結果を用いて姿勢定義行列を取得する(S1300)。

【0155】

20

前記姿勢定義行列は、前記マーカ部1110の姿勢に関する情報を提供する行列であって、前記姿勢定義行列から前記マーカ部1110のロール(roll)、ピッチ(pitch)、ヨー(yaw)などを把握することができる。

【0156】

以下、図11に示す各段階についてさらに具体的に説明する。

【0157】

まず、システムモデリングを行うにおいて(S1100)、図3で説明された方式及び結果が同一に適用される。よって、前記第1結像部1120aと前記第2結像部1120bに対して独立的に数式1が適用され得る。これにより、システムモデリングの結果、下記の数式17を得ることができる。便宜上、数式17においては、第1結像部1120aに対する変数にL、lが適用されており、第2結像部1120bに対する変数にR、rが適用されている。

30

【0158】

【数17】

$$s \begin{bmatrix} lu' \\ lv' \\ 1 \end{bmatrix} = [A_l][R_L][C] \begin{bmatrix} lu \\ lv \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$s \begin{bmatrix} ru' \\ rv' \\ 1 \end{bmatrix} = [A_r][R_R][C] \begin{bmatrix} ru \\ rv \\ 1 \end{bmatrix} = [A_r][R_{LR}][R_L][C] \begin{bmatrix} ru \\ rv \\ 1 \end{bmatrix}$$

40

ここで、(lu,lv)は前記第1座標、(lu',lv')は前記第4座標、[C]は前記第1変換行列、[A_l]は前記第2変換行列、[R_L]は前記第1姿勢定義行列を意味し、(ru,rv)は前記第5座標、(ru',rv')は前記第6座標、[C]は前記第1変換行列と同一の前記第3変換行列、[A_r]は前記第4変換行列、[R_R]は前記第2姿勢定義行列を意味する。また、図10を参照すると、行列[R_R]は行列[R_{LR}][R_L]で表すことができる。ここで、[R_{LR}]は、前記第1結像部1120aに対する3次元のローカル座標を前記第2結像部1120bに対する3次元のローカル座標に変換する行列を意味し、前記第2結像部1120bに対する前記第1結像

50

部 1 1 2 0 a の姿勢を定義する行列と見ることができる。

【 0 1 5 9 】

次に、前記システムモデリングの結果として取得された座標変換式のうち、前記第 1、第 2、第 3 及び第 4 変換行列をキャリブレーションする過程 (S1200) を図面を参照してさらに詳細に説明する。

【 0 1 6 0 】

図 1 2 は、図 1 1 の問題解決の過程のうち、変換行列をキャリブレーションする過程を示すフローチャートである。

【 0 1 6 1 】

前記変換行列をキャリブレーションする過程は、先に図 5 及び図 6 で説明した過程と基本的には同一である。

10

【 0 1 6 2 】

図 1 2 を参照すると、まず段階 S210 ~ 段階 S240 の過程を前記第 1 結像部 1 1 2 0 a に適用して $[A_l]$ をキャリブレーションする (S1210a)。続いて、段階 S250 を前記第 1 結像部 1 1 2 0 a に適用して $[R_l]$ を取得する (S1220a)。

【 0 1 6 3 】

また、これと並列的に、段階 S210 ~ 段階 S240 の過程を前記第 2 結像部 1 1 2 0 b に適用して $[A_r]$ をキャリブレーションする (S1210b)。続いて、段階 S250 を前記第 2 結像部 1 1 2 0 b に適用して $[R_r]$ を取得する (S1220b)。

【 0 1 6 4 】

20

このように図 5 及び図 6 で説明された方式によって独立的に取得された $[A_l]$ 、 $[R_l]$ 、 $[A_r]$ 及び $[R_r]$ を図 5 及び図 6 で説明された方式と類似の方式で $[C]$ をキャリブレーションする。

【 0 1 6 5 】

具体的には、まず行列 $[HK_l]$ を $[HK_l] = [A_l][R_l]$ と定義し、行列 $[HK_r]$ を $[HK_r] = [A_r][R_r]$ と定義してそれぞれの座標変換式に代入して整理する (S1260)。この過程は、図 6 で説明された段階 S260 に対応し、これにより行列 $[HK_l]$ 及び $[HK_r]$ と行列 $[C]$ の成分からなる数式 18 が得られる。

【 0 1 6 6 】

【 数 1 8 】

30

$$s_l \begin{bmatrix} lu'_i \\ lv'_i \\ 1 \end{bmatrix} = [A_l][R_l][C] \begin{bmatrix} lu_i \\ lv_i \\ 1 \end{bmatrix} = [HK_l][C] \begin{bmatrix} lu_i \\ lv_i \\ 1 \end{bmatrix} = [HK_l] \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & -v_c \\ 0 & 0 & f_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} lu_i \\ lv_i \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

$$s_r \begin{bmatrix} ru'_i \\ rv'_i \\ 1 \end{bmatrix} = [A_r][R_r][C] \begin{bmatrix} ru_i \\ rv_i \\ 1 \end{bmatrix} = [HK_r][C] \begin{bmatrix} ru_i \\ rv_i \\ 1 \end{bmatrix} = [HK_r] \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & -v_c \\ 0 & 0 & f_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ru_i \\ rv_i \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

【 0 1 6 7 】

続いて、整理された式を $[AA2][CC2] = [BB2]$ の形に変形する (S1270)。この過程は、図 6 で説明された段階 S270 に対応し、このとき、行列 $[AA2]$ 、行列 $[BB2]$ 及び行列 $[CC2]$ を数式 19 のように定義することができる。

40

【 0 1 6 8 】

【数 19】

$$[AA2] = \begin{bmatrix} HK_l(2,1) - HK_l(3,1)lv'_i & HK_l(2,2) - HK_l(3,2)lv'_i & -HK_l(2,3) + HK_l(3,3)lv'_i \\ -HK_l(1,1) + HK_l(3,1)lu'_i & -HK_l(1,2) + HK_l(3,2)lu'_i & HK_l(1,3) - HK_l(3,3)lu'_i \\ HK_r(2,1) - HK_r(3,1)rv'_i & HK_r(2,2) - HK_r(3,2)rv'_i & -HK_r(2,3) + HK_r(3,3)rv'_i \\ -HK_r(1,1) + HK_r(3,1)ru'_i & -HK_r(1,2) + HK_r(3,2)ru'_i & HK_r(1,3) - HK_r(3,3)ru'_i \end{bmatrix}$$

$$[BB2] = \begin{bmatrix} HK_l(2,1)lu_i + HK_l(2,2)lv_i - HK_l(3,1)lv'_i lu_i - HK_l(3,2)lv'_i lv_i \\ -HK_l(1,1)lu_i - HK_l(1,2)lv_i + HK_l(3,1)lu'_i lu_i + HK_l(3,2)lu'_i lv_i \\ HK_r(2,1)ru_i + HK_r(2,2)rv_i - HK_r(3,1)rv'_i ru_i - HK_r(3,2)rv'_i rv_i \\ -HK_r(1,1)ru_i - HK_r(1,2)rv_i + HK_r(3,1)ru'_i ru_i + HK_r(3,2)ru'_i rv_i \end{bmatrix}$$

10

$$[CC2] = \begin{bmatrix} u_c \\ v_c \\ f_b \end{bmatrix}$$

【0 1 6 9】

次に、 $[CC2] = [AA2]^{-1}[BB2]$ から $[CC2]$ を求めてキャリブレーションされた $[C]$ を取得する (S1280)。この過程は、図 6 で説明された段階 S280 に対応し、 $[AA2][CC2] = [BB2]$ を変形した $[CC2] = [AA2]^{-1}[BB2]$ から $[CC2]$ の成分を取得して最終的にキャリブレーションされた前記第 1 変換行列及び第 3 変換行列に該当する $[C]$ を取得する。

【0 1 7 0】

次に、前記キャリブレーションされた第 1、第 2、第 3 及び第 4 変換行列を用いて前記姿勢定義行列を取得する過程 (S1300) を、図面を参照してさらに詳細に説明する。

20

【0 1 7 1】

図 13 は、図 11 の問題解決の過程のうち、姿勢定義行列を取得する過程の一例を示すフローチャートである。

【0 1 7 2】

前記姿勢定義行列を取得する過程は、先に図 8 で説明した過程と基本的には同一であるが、ステレオ方式であってさらに多くのデータを用いる点で相異なる。

【0 1 7 3】

図 13 を参照すると、まず前記第 1 座標変換式で段階 S310 及び段階 S320b の過程を $[R_L]$ に適用して成分 $r_{11} \sim r_{33}$ に対する第 1 方程式として整理する (S1310)。この過程は図 8 で説明された段階 S310 及び段階 S320b の過程に対応し、下記の数式 21 に前記第 1 方程式が示されている。

30

【0 1 7 4】

【数 20】

$$[R_L] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{f_c}{pw} u_1 & \frac{f_c}{pw} v_1 & \frac{f_c}{pw} f_b & 0 & 0 & 0 & (u'_1 - u'_c)u_1 & (u'_1 - u'_c)v_1 & (u'_1 - u'_c)f_b \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph} u_1 & \frac{f_c}{ph} v_1 & \frac{f_c}{ph} f_b & (v'_1 - v'_c)u_1 & (v'_1 - v'_c)v_1 & (v'_1 - v'_c)f_b \\ & & & & & & \vdots & & \\ \frac{f_c}{pw} u_n & \frac{f_c}{pw} v_n & \frac{f_c}{pw} f_b & 0 & 0 & 0 & (u'_n - u'_c)u_n & (u'_n - u'_c)v_n & (u'_n - u'_c)f_b \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph} u_n & \frac{f_c}{ph} v_n & \frac{f_c}{ph} f_b & (v'_n - v'_c)u_n & (v'_n - v'_c)v_n & (v'_n - v'_c)f_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \\ r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \\ r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{bmatrix} = 0$$

40

【0 1 7 5】

続いて、前記第 2 座標変換式で $[R_{LR}]$ の成分を $r'_{11} \sim r'_{33}$ と置いて段階 S310 及び段階 S320b の過程を $[R_L]$ に適用して成分 $r_{11} \sim r_{33}$ に対する第 2 方程式として整理する (S1320)。こ

50

の過程は、図 8 で説明された段階S310及び段階S320bの過程を応用したもので、下記の数式 2 1 に前記第 2 方程式が示されている。

【 0 1 7 6 】

【 数 2 1 】

$$[R_{LR}] = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & r'_{13} \\ r'_{21} & r'_{22} & r'_{23} \\ r'_{31} & r'_{32} & r'_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A1r'_{11}+B1r'_{31} & C1r'_{11}+D1r'_{31} & E1r'_{11}+F1r'_{31} & A1r'_{12}+B1r'_{32} & C1r'_{12}+D1r'_{32} & E1r'_{12}+F1r'_{32} & A1r'_{13}+B1r'_{33} & C1r'_{13}+D1r'_{33} & E1r'_{13}+F1r'_{33} \\ A2r'_{11}+B2r'_{31} & C2r'_{11}+D2r'_{31} & E2r'_{11}+F2r'_{31} & A2r'_{12}+B2r'_{32} & C2r'_{12}+D2r'_{32} & E2r'_{12}+F2r'_{32} & A2r'_{13}+B2r'_{33} & C2r'_{13}+D2r'_{33} & E2r'_{13}+F2r'_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r'_{11} \\ r'_{12} \\ r'_{13} \\ r'_{21} \\ r'_{22} \\ r'_{23} \\ r'_{31} \\ r'_{32} \\ r'_{33} \end{bmatrix} = 0 \quad 10$$

$$\begin{aligned} A1 &= -\frac{f_c}{pw} ru_i, B1 = ru_i(ru'_c - ru'_i), C1 = -\frac{f_c}{pw} rv_i, \\ D1 &= rv_i(ru'_c - ru'_i), E1 = -\frac{f_c}{pw} f_b, F1 = f_b(ru'_c - ru'_i) \end{aligned} \quad 20$$

$$\begin{aligned} A2 &= -\frac{f_c}{ph} ru_i, B2 = ru_i(rv'_c - rv'_i), C2 = -\frac{f_c}{ph} rv_i, \\ D2 &= rv_i(rv'_c - rv'_i), E2 = -\frac{f_c}{ph} f_b, F2 = f_b(rv'_c - rv'_i) \end{aligned}$$

【 0 1 7 7 】

次に、整理された $r_{11} \sim r_{33}$ に対する前記第 1 及び第 2 方程式を統合方程式として整理する(S1330)。これにより、数式 2 2 が得られる。

【 0 1 7 8 】

30

【数 2 2】

$$\begin{bmatrix} LW_1 \\ RW_1 \\ \vdots \\ LW_n \\ RW_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \\ r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \\ r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{bmatrix} = 0$$

10

$$LW_i = \begin{bmatrix} \frac{f_c}{pw} lu_i & \frac{f_c}{pw} lv_i & \frac{f_c}{pw} fb & 0 & 0 & 0 & (lu'_i - lu'_c)u_i & (lu'_i - lu'_c)v_i & (lu'_i - lu'_c)fb \\ 0 & 0 & 0 & \frac{f_c}{ph} lu_i & \frac{f_c}{ph} lv_i & \frac{f_c}{ph} fb & (lv'_i - lv'_c)u_i & (lv'_i - lv'_c)v_i & (lv'_i - lv'_c)fb \end{bmatrix}$$

$$RW_i = \begin{bmatrix} A1r'_{11} + B1r'_{31} & C1r'_{11} + D1r'_{31} & E1r'_{11} + F1r'_{31} & A1r'_{12} + B1r'_{32} & C1r'_{12} + D1r'_{32} & E1r'_{12} + F1r'_{32} & A1r'_{13} + B1r'_{33} & C1r'_{13} + D1r'_{33} & E1r'_{13} + F1r'_{33} \\ A2r'_{11} + B2r'_{31} & C2r'_{11} + D2r'_{31} & E2r'_{11} + F2r'_{31} & A2r'_{12} + B2r'_{32} & C2r'_{12} + D2r'_{32} & E2r'_{12} + F2r'_{32} & A2r'_{13} + B2r'_{33} & C2r'_{13} + D2r'_{33} & E2r'_{13} + F2r'_{33} \end{bmatrix}$$

【 0 1 7 9】

続いて、行列 $[R_L]$ を一例として特異値分解(SVD)のような方法を用いて取得する(S1340)

20

【 0 1 8 0】

具体的には、数式 2 2 において行列 $[LW_i]$ 及び $[RW_i]$ はそれぞれ 2 つの式を含むため、 $r_{11} \sim r_{33}$ に対して計 $4n$ 個の式が得られるので、これを特異値分解(SVD)のような方法を用いて取得する。

【 0 1 8 1】

数式 2 2 は $4n$ 個の式を含んで図 1 ないし図 9 で説明された方法に比べてさらに多くの式を含むため、行列 $[R_L]$ に対するさらに正確な結果を得ることができ、これにより前記マーカ一部 1 1 1 0 のさらに正確な姿勢測定を可能にすることができる。

【 0 1 8 2】

30

以下、前記処理部 1 1 3 0 で前記マーカ一部 1 1 1 0 の姿勢を算出する方法を図面を参照してさらに詳細に説明する。

【 0 1 8 3】

図 1 4 は、本発明の他の実施例によるオプティカルトラッキングシステムのマーカ一部の姿勢算出方法を示すフローチャートである。

【 0 1 8 4】

図 1 4 を参照すると、まず前記処理部 1 1 3 0 で少なくとも 3 つの映像から第 1、第 2、第 3 及び第 4 変換行列をキャリブレーションする(S1510)。

【 0 1 8 5】

前記キャリブレーションは、図 1 1 で説明された段階S1200と、図 1 2 で具体的に説明された段階S1210a及びS1210b～段階S1280の過程と実質的に同一であり、前記処理部 1 1 3 0 では前記過程のうち段階S1210a、S1220a、S1210b、S1220b及び段階S1280などのようにキャリブレーションのための最終方程式のみを用いて前記第 1 及び第 2 変換行列をキャリブレーションすることができる。

40

【 0 1 8 6】

次に、前記第 1、第 2、第 3 及び第 4 変換行列を含む第 1 及び第 2 座標変換式から姿勢定義行列を取得する(S1520)。

【 0 1 8 7】

前記姿勢定義行列の取得は、図 1 1 で説明された段階S1300と、図 1 3 で具体的に説明された段階S1310～段階S1340の過程と実質的に同一であり、前記処理部 1 1 3 0 では前記

50

過程のうち段階S1330及び段階S1340のように前記姿勢定義行列を取得するための最終方程式のみを用いて前記姿勢定義行列を取得することができる。

【0188】

よって、前記処理部1130は、前記第1座標を前記第2座標に変換する第1変換行列、前記第3座標を前記第4座標に変換する第2変換行列、前記第5座標を前記第6座標に変換する第3変換行列、及び前記第7座標を前記第8座標に変換する第4変換行列を予めキャリブレーションして予め取得した後、前記第1及び第2座標変換式から前記マーカ部1110の姿勢を定義する姿勢定義行列を取得することができる。

【0189】

前記姿勢定義行列を取得すれば、前記マーカ部1110の姿勢が分かる。例えば、前記姿勢定義行列から前記マーカ部1110のロール(roll)、ピッチ(pitch)、ヨー(yaw)などを把握することができる。

10

【0190】

前記のようなオプティカルトラッキングシステムによれば、マーカ部をトラッキングするオプティカルトラッキングシステムにおいて、トラッキングが可能なようにマーカ部が特定情報のパターンを含んでマーカ部を小型化することができ、前記マーカ部と前記結像部の光学系を座標変換式でモデリングするが、ステレオ方式を適用することにより、前記マーカ部の姿勢をさらに正確に決定することができるため、さらに単純で且つ容易な方法で正確なマーカ部のトラッキングを可能にすることができる。

【0191】

20

一方、上記のようなオプティカルトラッキングシステム1000は、前記マーカ部1110の姿勢に加えて、前記マーカ部1110の位置を決定することができる。

【0192】

以下、前記マーカ部1110の位置を決定するためのシステムモデリングの過程及びこれにより前記マーカ部1110の位置を決定する過程を図面を参照してさらに詳細に説明する。

【0193】

図15は、図10のオプティカルトラッキングシステムの処理部がマーカ部の位置を決定するために必要な問題解決の過程を概略的に示すフローチャートである。

【0194】

30

図15を参照すると、まず上述した構成を有する前記オプティカルトラッキングシステム1000に対してシステムモデリングを行う(S2100)。

【0195】

前記システムモデリングは、前記マーカ部1110(図10参照)の位置を取得するために、先に説明した座標変換式とは異なって、前記マーカ部1110の第1レンズ1114(図10参照)の中心の座標に対応する前記第2座標(前記第6座標と同一)が含まれるように行われる。

【0196】

続いて、前記システムモデリングの結果から位置変換行列[T]をキャリブレーションする(S2200)。

40

【0197】

前記位置変換行列[T]は、前記第1結像部1120a(図10参照)と前記第2結像部1120b(図10参照)の離隔により、前記第1結像部1120aの位置を前記第2結像部1120bの位置に変換する行列を意味する。

【0198】

次に、前記マーカ部1110の位置を取得する(S2300)。

【0199】

具体的には、前記マーカ部1110の前記第1レンズ1114の中心の3次元座標を取得する。

【0200】

50

図 1 6 は、図 1 5 の問題解決の過程のうち、システムモデリングを行う過程を説明するための概念図である。

【 0 2 0 1 】

図 1 6 を参照すると、前記マーカ部 1 1 1 0 の第 1 レンズ 1 1 1 4 の中心の座標に対応する前記第 2 座標 P2 及び前記第 1 結像部 1 1 2 0 a の前記パターン 1 1 1 2 の第 1 イメージ上の第 1 ピクセル座標に該当する前記第 4 座標 P4 の間に関して第 3 座標変換式を設定する。前記第 3 座標変換式は、下記の数式 2 3 のように行列方程式で表すことができる。

【 0 2 0 2 】

【 数 2 3 】

$$s \begin{bmatrix} u'_1 \\ v'_1 \\ 1 \end{bmatrix} = A_L [I|0] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

10

ここで、 (u', v') は前記第 4 座標 P4、 (X, Y, Z) は前記第 2 座標 P2、 $[A_L]$ は前記第 2 変換行列、 $[I]$ は 3x3 形態の恒等行列 (identity matrix)、 $[0]$ は 3x1 形態の零行列である。図 1 6 に示すように、前記第 1 結像部 1 1 2 0 a の第 2 レンズ 1 1 2 2 a が原点であるため、これを基準とする前記第 4 座標 P4 の場合、回転変換の部分は恒等行列、そして位置変換の部分は零行列と示されて、 $[I|0]$ のように示され得る。

20

【 0 2 0 3 】

次に、前記マーカ部 1 1 1 0 の第 1 レンズ 1 1 1 4 の中心の座標に対応する前記第 6 座標 P6 (前記第 2 座標 P2 と同一) 及び前記第 2 結像部 1 1 2 0 b の前記パターン 1 1 1 2 の第 2 イメージ上の第 2 ピクセル座標に該当する前記第 8 座標 P8 の間に関して第 4 座標変換式を設定する。前記第 4 座標変換式を設定するとき、前記第 1 結像部 1 1 2 0 a 及び前記第 2 結像部 1 1 2 0 b の間の位置変換行列 $[T]$ が含まれるように設定する。これにより、前記第 4 座標変換式は下記の数式 2 4 のように行列方程式で示され得る。

【 0 2 0 4 】

【 数 2 4 】

$$s \begin{bmatrix} u'_2 \\ v'_2 \\ 1 \end{bmatrix} = A_R [R_{LR}|T] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

30

ここで、 (u'_2, v'_2) は前記第 8 座標 P8、 (X, Y, Z) は第 6 座標 P6 (前記第 2 座標 P2 と同一)、 A_R は前記第 4 変換行列、 $[R_{LR}]$ は 3x3 形態を有し、図 1 1 などで説明された前記第 2 結像部 1 1 2 0 b に対する前記第 1 結像部 1 1 2 0 a の姿勢を定義する行列、 $[T]$ は 3x1 形態を有し前記第 1 結像部 1 1 2 0 a の位置を前記第 2 結像部 1 1 2 0 b の位置に変換する位置変換行列を意味する。図 1 6 に示すように、前記第 1 結像部 1 1 2 0 a の第 1 レンズ 1 1 2 2 a が原点であるため、これを基準として前記第 2 結像部 1 1 2 0 b の前記第 8 座標 P8 の場合、回転変換の部分は行列 $[R_{LR}]$ 、そして位置変換の部分は $[T]$ と示されて、 $[R_{LR}|T]$ のように示され得る。

40

【 0 2 0 5 】

前記システムモデリングに示された因子は、位置変換行列 $[T]$ を除けば、いずれも先に図 1 1 ないし図 1 4 で取得された因子である。よって、位置変換行列 $[T]$ を取得すれば、

50

前記第 2 座標 P2(前記第 6 座標 P6 と同一)、すなわち、前記マーカ一部 1 1 1 0 の位置を取得することができる。

【 0 2 0 6 】

次に、前記システムモデリングの結果として取得された第 3 及び第 4 座標変換式のうち、前記位置変換行列 [T] をキャリブレーションする過程 (S2200) を図面を参照してさらに詳細に説明する。

【 0 2 0 7 】

図 1 7 は、図 1 5 の問題解決の過程のうち、位置変換行列をキャリブレーションする過程を示すフローチャートである。

【 0 2 0 8 】

図 1 7 を参照すると、まず前記第 1 及び第 2 結像ユニット 1 1 2 4 a、1 1 2 4 b でそれぞれ撮影された第 1 中心座標及び第 2 中心座標を取得する (S2210)。

【 0 2 0 9 】

ここで、前記第 1 及び第 2 中心座標はそれぞれ前記第 1 及び第 2 結像ユニット 1 1 2 4 a、1 1 2 4 b で前記パターン 1 1 1 2 を撮影するときに示される視野範囲 (field of view) の中心を意味し、複数の中心座標を取得することができる。

【 0 2 1 0 】

次に、取得された前記第 1 及び第 2 中心座標を用いて基礎行列 (fundamental matrix) [F] を算出する (S2220)。

【 0 2 1 1 】

前記基礎行列は、数式 2 5 のように示され得る。

【 0 2 1 2 】

【 数 2 5 】

$$\begin{bmatrix} u'_{2j} & v'_{2j} & 1 \end{bmatrix} F \begin{bmatrix} u'_{1j} \\ v'_{1j} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u'_{2j} & v'_{2j} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} \\ F_{21} & F_{22} & F_{23} \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u'_{1j} \\ v'_{1j} \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

【 0 2 1 3 】

数式 2 5 において、下付き添字 j は複数の中心座標を取得するときに取得された複数のデータの順番を表す。

【 0 2 1 4 】

数式 2 5 を前記基礎行列 [F] の成分として整理すると、数式 2 6 を取得することができる。数式 2 6 を、例えば、少なくとも 8 つの点に対して一例として特異値分解 (SVD) のような方法を適用して前記基礎行列 [F] を取得することができる。

【 0 2 1 5 】

【 数 2 6 】

$$\begin{bmatrix} u'_{1j}u'_{2j} & v'_{1j}u'_{2j} & u'_{2j} & u'_{1j} & v'_{2j} & v'_{1j}v'_{2j} & v'_{2j} & u'_{1j} & v'_{1j} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11} \\ F_{12} \\ F_{13} \\ F_{21} \\ F_{22} \\ F_{23} \\ F_{31} \\ F_{32} \\ F_{33} \end{bmatrix} = 0$$

【 0 2 1 6 】

続いて、取得された基礎行列 [F] を用いて基本行列 (essential matrix) [E] を算出する (S2230)。

【 0 2 1 7 】

10

20

30

40

50

前記基本行列[E]は、数式 2 7 のように示される。

【 0 2 1 8 】

【 数 2 7 】

$$E = A_R^T F A_L$$

【 0 2 1 9 】

数式 2 7 から算出した基本行列[E]は位置変換及び回転変換の積で示されるため、数式 2 8 のように整理すると、位置変換成分に対応する行列[t]_xを求めることができる。

【 0 2 2 0 】

【 数 2 8 】

$$E = [t]_x R_{LR}$$

10

$$[t]_x = \begin{bmatrix} 0 & -t_z & t_y \\ t_z & 0 & -t_x \\ -t_y & t_x & 0 \end{bmatrix}$$

$$[t]_x = E \cdot R_{LR}^{-1}$$

【 0 2 2 1 】

20

前記行列[t]_xは、前記位置変換行列と同一であり得るが、必要な場合、換算係数(scale factor)を乗じて位置変換行列を算出することができる。

【 0 2 2 2 】

よって、次に、換算係数を取得する(S2240)。

【 0 2 2 3 】

前記換算係数は、マーカーを少なくとも2つの位置で測定することにより取得することができる。例えば、隔離距離を知っている少なくとも2つのマーカーステージにマーカーを移動し、配置させて測定することにより算出することができる。

【 0 2 2 4 】

続いて、取得された前記基本行列[E]と前記換算係数を用いて位置変換行列[T]を取得する(S2250)。

30

【 0 2 2 5 】

具体的には、前記位置変換行列[T]は、取得された前記行列[t]_xの成分のうちt_x、t_y、t_zを成分とする3x1形態の行列(t_x、t_y、t_z)^Tに換算係数を乗じて算出することができる。

【 0 2 2 6 】

次に、前記キャリブレーションされた位置変換行列[T]を用いて前記マーカー部 1 1 1 0 の位置を取得する過程(S2300)を図面を参照してさらに詳細に説明する。

【 0 2 2 7 】

図 1 8 は、図 1 5 の問題解決の過程のうち、マーカー部の位置を取得する過程の一例を示すフローチャートである。

40

【 0 2 2 8 】

図 1 8 を参照すると、まず前記第 1 結像ユニット 1 1 2 0 a に対する第 1 位置変換式から第 1 方程式を取得する(S2310)。

【 0 2 2 9 】

具体的には、前記第 1 位置変換式である数式 2 3 を数式 2 9 のように定義する。

【 0 2 3 0 】

【数 2 9】

$$s \begin{bmatrix} u'_1 \\ v'_1 \\ 1 \end{bmatrix} = A_L[I|0] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{1_11} & m_{1_12} & m_{1_13} & m_{1_14} \\ m_{1_21} & m_{1_22} & m_{1_23} & m_{1_24} \\ m_{1_31} & m_{1_32} & m_{1_33} & m_{1_34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

【0 2 3 1】

数式 2 9 の両辺に自らを外積して 0 と置いて、これを整理すると、前記第 1 方程式に対応する数式 3 0 を得ることができる。

【0 2 3 2】

10

【数 3 0】

$$\begin{bmatrix} m_{i_11} - u'_i m_{i_31} & m_{i_12} - u'_i m_{i_32} & m_{i_13} - u'_i m_{i_33} & m_{i_14} - u'_i m_{i_34} \\ m_{i_21} - v'_i m_{i_31} & m_{i_22} - v'_i m_{i_32} & m_{i_23} - v'_i m_{i_33} & m_{i_24} - v'_i m_{i_34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

【0 2 3 3】

続いて、前記第 2 結像ユニット 1 1 2 0 b に対する第 2 位置変換式から第 2 方程式を取得する(S2320)。

【0 2 3 4】

具体的には、前記第 2 位置変換式である数式 2 4 を数式 3 1 のように定義する。

20

【0 2 3 5】

【数 3 1】

$$s \begin{bmatrix} u'_2 \\ v'_2 \\ 1 \end{bmatrix} = A_R[R_{LR}|T] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{2_11} & m_{2_12} & m_{2_13} & m_{2_14} \\ m_{2_21} & m_{2_22} & m_{2_23} & m_{2_24} \\ m_{2_31} & m_{2_32} & m_{2_33} & m_{2_34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

【0 2 3 6】

数式 3 1 を前記第 1 方程式を取得する過程(S2310)と同一の過程を適用すれば、前記第 2 方程式を得ることができる。

30

【0 2 3 7】

前記第 1 方程式に対応する数式 3 0 は 2 つの方程式を含み、同一の方式で前記第 2 方程式も 2 つの方程式を含むため、2 つの結像ユニットに対応して合計 4 つの方程式を得ることができる。

【0 2 3 8】

次に、前記第 1 及び第 2 方程式と位置変換行列[T]から前記マーカ部 1 1 1 0 の位置を取得する(S2330)。

【0 2 3 9】

具体的には、前記第 1 及び第 2 方程式にキャリブレーションされた前記位置変換行列[T]を適用して前記マーカ部 1 1 1 0 の前記第 1 レンズ 1 1 1 4 の中心の 3 次元座標を取得することができる。

40

【0 2 4 0】

図 1 9 は、図 1 5 の問題解決の過程のうち、マーカ部の位置を取得する過程の他の例を示すフローチャートである。

【0 2 4 1】

図 1 9 を参照すると、まず前記第 1 結像ユニット 1 1 2 0 a に対する第 1 パターン座標変換式から第 3 方程式を取得する(S2350)。

【0 2 4 2】

具体的には、数式 3 2 のように前記第 1 位置変換式を変形した第 1 パターン座標変換式を設定して整理する。

50

【 0 2 4 3 】

【 数 3 2 】

$$\begin{aligned}
 s \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} &= A[R|t][R_m|t_m] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -u_c \\ 0 & 1 & 0 & -v_c \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ f_b \\ 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} m_{i_11} & m_{i_12} & m_{i_13} & m_{i_14} \\ m_{i_21} & m_{i_22} & m_{i_23} & m_{i_24} \\ m_{i_31} & m_{i_32} & m_{i_33} & m_{i_34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & X \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & Y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u - u_c \\ v - v_c \\ f_b \\ 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} m_{i_11} & m_{i_12} & m_{i_13} & m_{i_14} \\ m_{i_21} & m_{i_22} & m_{i_23} & m_{i_24} \\ m_{i_31} & m_{i_32} & m_{i_33} & m_{i_34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11}(u - u_c) + r_{12}(v - v_c) + r_{13}f_b + X \\ r_{21}(u - u_c) + r_{22}(v - v_c) + r_{23}f_b + Y \\ r_{31}(u - u_c) + r_{32}(v - v_c) + r_{33}f_b + Z \\ 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

【 0 2 4 4 】

数式 3 2 を方程式で整理すると、数式 3 3 を得ることができる。

【 0 2 4 5 】

【 数 3 3 】

$$\begin{aligned}
 &(m_{i_31}u' - m_{i_11})(u - u_c)r_{11} + (m_{i_31}u' - m_{i_11})(v - v_c)r_{12} + (m_{i_31}u' - m_{i_11})f_b r_{13} + (m_{i_31}u' - m_{i_11})X \\
 &+ (m_{i_32}u' - m_{i_12})(u - u_c)r_{21} + (m_{i_32}u' - m_{i_12})(v - v_c)r_{22} + (m_{i_32}u' - m_{i_12})f_b r_{23} + (m_{i_32}u' - m_{i_12})Y \\
 &+ (m_{i_33}u' - m_{i_13})(u - u_c)r_{31} + (m_{i_33}u' - m_{i_13})(v - v_c)r_{32} + (m_{i_33}u' - m_{i_13})f_b r_{33} + (m_{i_33}u' - m_{i_13})Z \\
 &+ (m_{i_34}u' - m_{i_14}) = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &(m_{i_31}v' - m_{i_21})(u - u_c)r_{11} + (m_{i_31}v' - m_{i_21})(v - v_c)r_{12} + (m_{i_31}v' - m_{i_21})f_b r_{13} + (m_{i_31}v' - m_{i_21})X \\
 &+ (m_{i_32}v' - m_{i_22})(u - u_c)r_{21} + (m_{i_32}v' - m_{i_22})(v - v_c)r_{22} + (m_{i_32}v' - m_{i_22})f_b r_{23} + (m_{i_32}v' - m_{i_22})Y \\
 &+ (m_{i_33}v' - m_{i_23})(u - u_c)r_{31} + (m_{i_33}v' - m_{i_23})(v - v_c)r_{32} + (m_{i_33}v' - m_{i_23})f_b r_{33} + (m_{i_33}v' - m_{i_23})Z \\
 &+ (m_{i_34}v' - m_{i_24}) = 0
 \end{aligned}
 \tag{30}$$

【 0 2 4 6 】

続いて、前記第 2 結像ユニット 1 1 2 0 b に対する第 2 パターン座標変換式から第 4 方程式を取得する (S2360)。

【 0 2 4 7 】

本段階は、対象が前記第 1 結像ユニット 1 1 2 0 a ではなく、前記第 2 結像ユニット 1 1 2 0 b であるという点を除けば、前記第 3 方程式を取得する段階 (S2350) と実質的に同一である。

【 0 2 4 8 】

前記第 3 方程式に対応する数式 3 3 は 2 つの方程式を含み、同一の方式で前記第 4 方程式も 2 つの方程式を含むため、2 つの結像ユニットに対応して合計 4 つの方程式を得ることができる。

【 0 2 4 9 】

次に、前記第 3 及び第 4 方程式と位置変換行列 [T] から前記マーカ一部 1 1 1 0 の位置を取得する (S2370)。

【 0 2 5 0 】

具体的には、前記第 1 及び第 2 方程式にキャリブレーションされた前記位置変換行列 [T] を適用して前記マーカ一部 1 1 1 0 の前記第 1 レンズ 1 1 1 4 の中心の 3 次元座標を取得することができる。

【 0 2 5 1 】

10

20

30

40

50

以下、前記処理部 1 1 3 0 で前記マーカ一部 1 1 1 0 の位置を算出する方法を図面を参照してさらに詳細に説明する。

【 0 2 5 2 】

図 2 0 は、本発明の一実施例によるオプティカルトラッキングシステムのマーカ一部の位置算出方法を示すフローチャートである。

【 0 2 5 3 】

図 2 0 を参照すると、まず前記第 1 及び第 2 結像ユニット 1 1 2 4 a、1 1 2 4 b の撮影によって複数の座標値を取得する (S2510)。

【 0 2 5 4 】

前記座標値の取得は、図 1 7 で説明された前記第 1 中心座標及び前記第 2 中心座標を取得する過程 (S2210) と実質的に同一であり、一例として少なくとも 8 つの座標値を取得する。

10

【 0 2 5 5 】

続いて、換算係数を取得する (S2520)。

【 0 2 5 6 】

前記換算係数の取得は、図 1 7 で説明された段階 S2240 と実質的に同一である。

【 0 2 5 7 】

次に、取得された座標値と換算係数を用いて位置変換行列をキャリブレーションする (S2530)。

【 0 2 5 8 】

20

前記キャリブレーションは、図 1 5 で説明された段階 S2200 と、図 1 7 で具体的に説明された段階 S2250 の過程と実質的に同一であり、前記処理部 1 1 3 0 ではキャリブレーションのための最終方程式のみを用いて前記位置変換行列をキャリブレーションすることができる。

【 0 2 5 9 】

続いて、キャリブレーションされた位置変換行列を用いてマーカ一部 1 1 1 0 の位置を取得する (S2540)。

【 0 2 6 0 】

前記マーカ一部 1 1 1 0 の位置の取得は、図 1 5 で説明された段階 S2300 と、図 1 8 で具体的に説明された段階 S2310 ~ 段階 S2330 の過程または図 1 9 で具体的に説明された段階 S2350 ~ 段階 S2370 の過程と実質的に同一であり、前記処理部 1 1 3 0 では前記過程のうち段階 S2330 または段階 S2370 のように前記位置取得のための最終方程式のみを用いることができる。

30

【 0 2 6 1 】

上記のようなオプティカルトラッキングシステムによれば、特定情報のパターンを含んで小型化されたマーカ部分を、ステレオ方式を適用してモデリングすることにより、前記マーカ部分の位置をさらに正確に決定することができるため、さらに単純で且つ容易な方法で正確なマーカ部分のトラッキングを可能にすることができる。

【 0 2 6 2 】

上述した本発明の詳細な説明では、本発明の望ましい実施例を参照して説明したが、該当技術分野の熟練した当業者または該当技術分野における通常の知識を有する者であれば、後述する特許請求の範囲に記載された本発明の思想及び技術領域から逸脱しない範囲内で本発明を多様に修正及び変更させられるであろう。よって、上述した説明及び下の図面は本発明の技術思想を限定するのではなく、本発明を例示するものと解釈されなければならない。

40

【符号の説明】

【 0 2 6 3 】

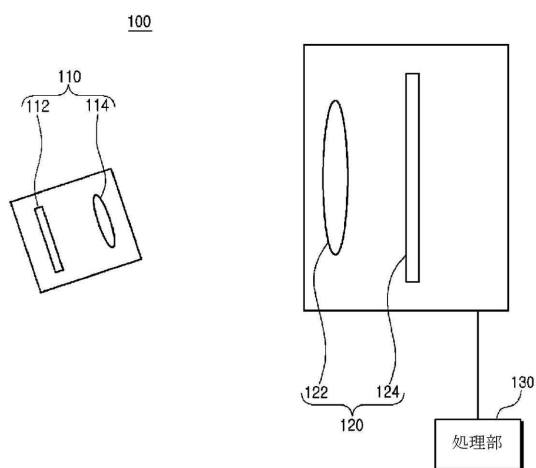
100、1000：オプティカルトラッキングシステム 110、1110：マーカ一部
112、1112：パターン 114、1114：第 1 レンズ
120、1120：結像部 122、1122：第 2 レンズ

50

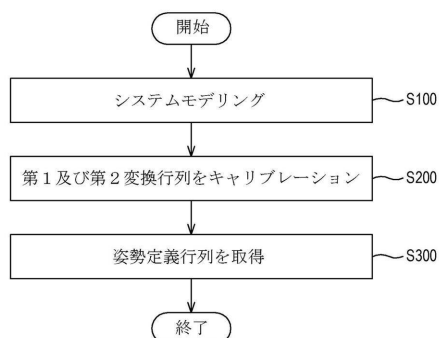
124、1124：結像ユニット

130、1130：処理部

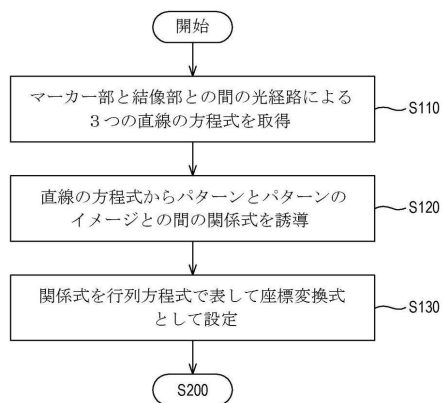
【図 1】



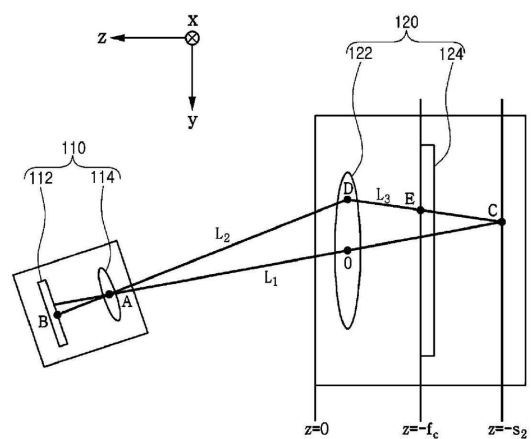
【図 2】



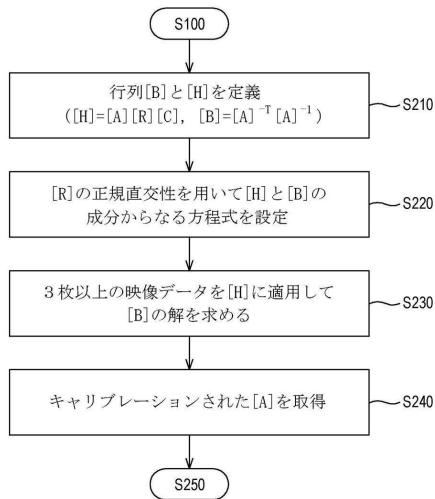
【図 3】



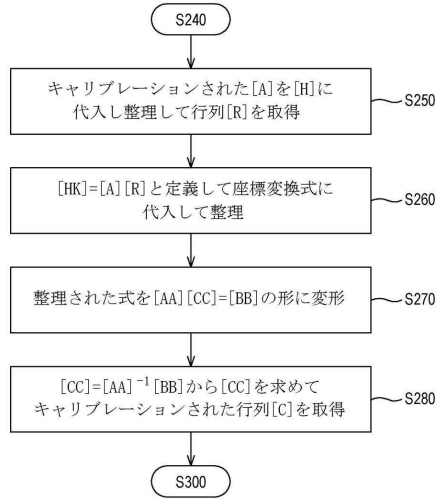
【図 4】



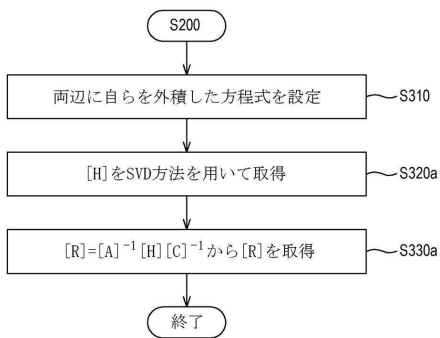
【図 5】



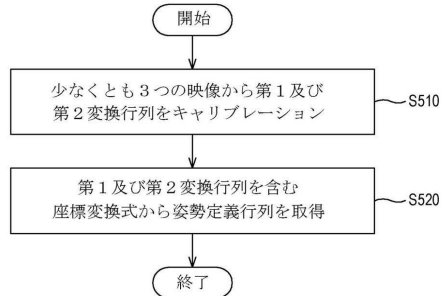
【図 6】



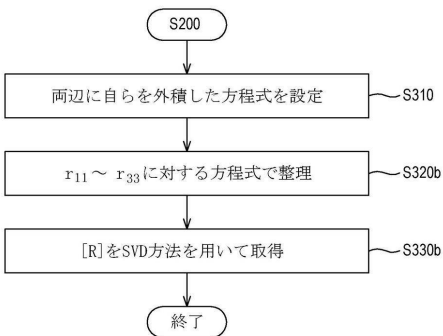
【図 7】



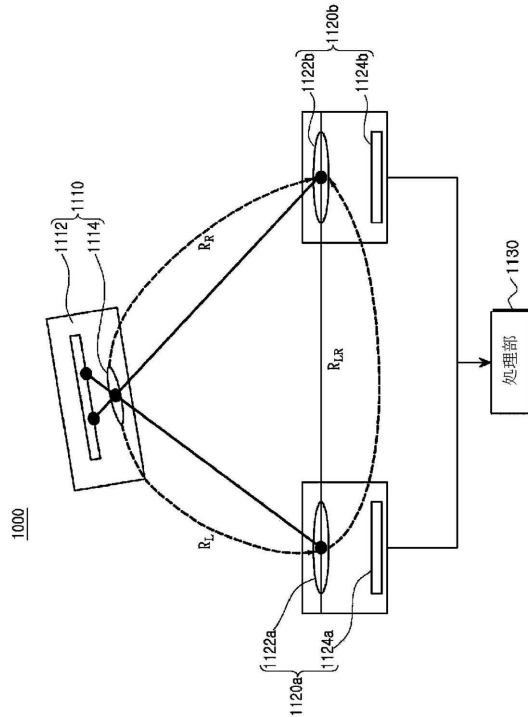
【図 9】



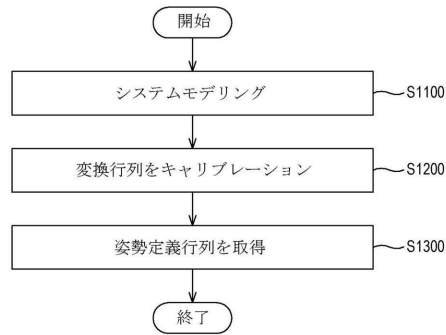
【図 8】



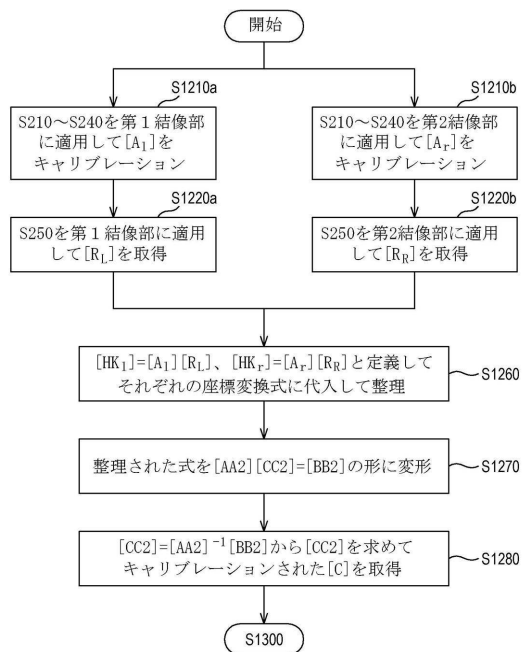
【図 10】



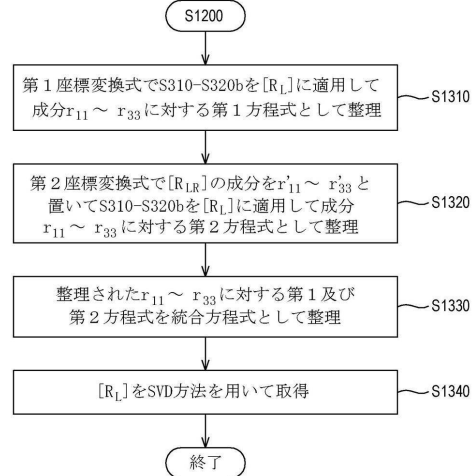
【図 11】



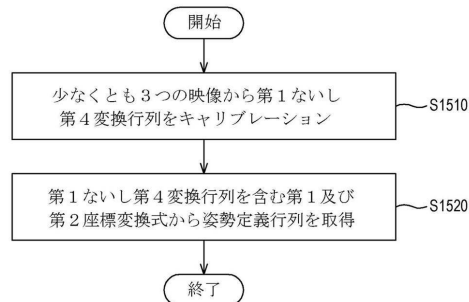
【図 12】



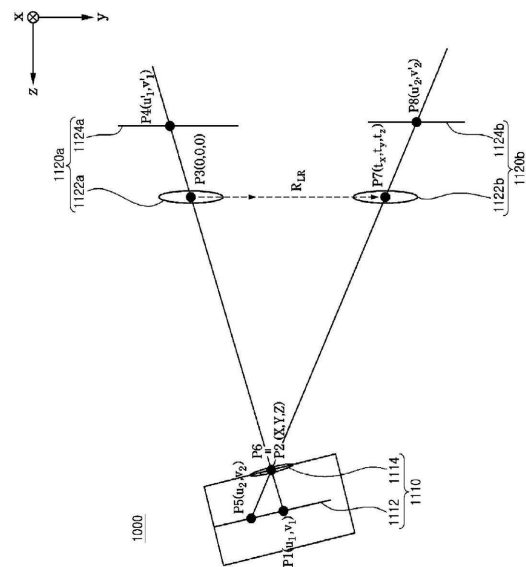
【図 13】



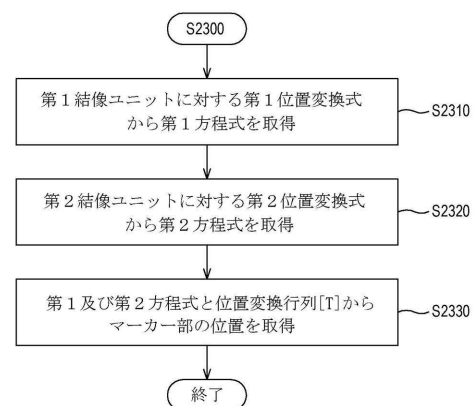
【図 14】



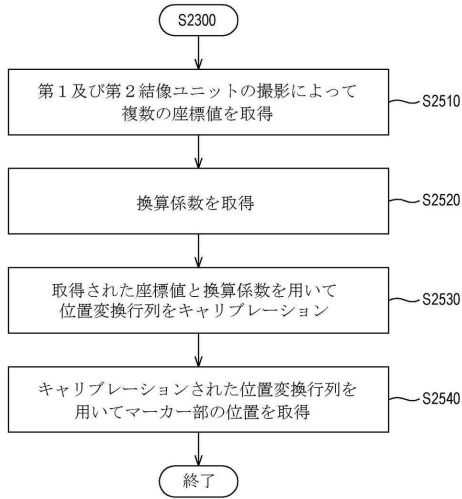
【 図 1 6 】



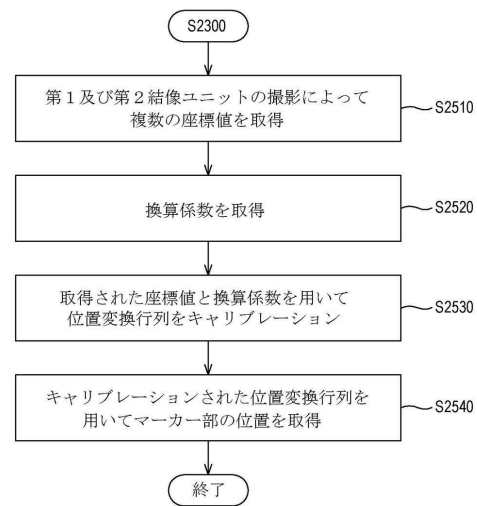
【 図 1 8 】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

(74)代理人 100084995

弁理士 加藤 和詳

(72)発明者 イ ヒョンキ

大韓民国 706-760 大邱広域市 寿城区 教学路 111 #103-707

(72)発明者 チェ ユソン

大韓民国 700-412 大邱広域市 中区 東徳路109 #203

(72)発明者 キム ミンヨン

大韓民国 700-412 大邱広域市 寿城区 ▲青▼湖路 426 #102-505

審査官 梶田 真也

(56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0017826(US, A1)

特開2012-069126(JP, A)

特開2000-149025(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30

G01C 1/00 - 15/14

G06T 1/00 - 1/40

G06T 3/00 - 9/40

G06T 11/60 - 13/80

G06T 17/05

G06T 19/00 - 19/20

H04N 5/222 - 5/257