

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第6041513号  
(P6041513)

(45) 発行日 平成28年12月7日 (2016. 12. 7)

(24) 登録日 平成28年11月18日 (2016. 11. 18)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 B 11/25 (2006. 01)

GO 1 B 11/25 H

GO 6 T 1/00 (2006. 01)

GO 6 T 1/00 3 1 5

請求項の数 11 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2012-84909 (P2012-84909)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成24年4月3日 (2012. 4. 3)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2013-213769 (P2013-213769A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成25年10月17日 (2013. 10. 17)	(74) 代理人	100090273
審査請求日	平成27年4月2日 (2015. 4. 2)		弁理士 國分 孝悦
		(72) 発明者	小竹 大輔
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
		審査官	▲うし▼田 真悟

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置、画像処理方法及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

投影装置により所定の方向のみに輝度値が変化するパターンが投影された状態で撮像装置により撮像された計測対象物の画像データを入力する入力手段と、

前記入力された画像に基づいて、前記計測対象物の画像データ上における二次元座標  $(x'_c, y'_c)$  と、前記パターンの画像データ上における一次元座標  $(y_p)$  とを対応付ける対応付け手段と、

前記撮像装置のレンズによる歪みを表すモデルに基づき前記計測対象物の画像データにおける二次元座標  $(x'_c, y'_c)$  を補正することにより、二次元座標  $(x_c, y_c)$  を取得する第1の取得手段と、

前記撮像装置の視点と前記取得された二次元座標  $(x_c, y_c)$  とを通る第1の視線ベクトルを導出する第1の視線ベクトル導出手段と、

前記パターンの画像データに三次元座標を投影する処理を行わずに、パターンの画像データ上における一次元座標  $(y_p)$  と、前記投影装置のレンズによる歪を表すモデルと、

前記撮像装置と前記投影装置の間のエピポーラ拘束とに基づいて、前記パターンの画像データ上における二次元座標  $(x'_p, y'_p)$  を取得する第2の取得手段と、

前記投影装置の視点と前記取得された二次元座標  $(x'_p, y'_p)$  とを通る第2の視線ベクトルを導出する第2の視線ベクトル導出手段と、

前記第1の視線ベクトルと、前記第2の視線ベクトルとの3次元空間における交点の座標を導出す座標導出手段と

10

20

を有することを特徴とする画像処理装置。

【請求項 2】

前記第 1 の取得手段は、前記撮像装置のレンズによる歪みの影響が除去されるように、前記二次元座標  $(x'_c, y'_c)$  を補正することにより、前記二次元座標  $(x_c, y_c)$  を取得し、

前記第 2 の取得手段は、前記投影装置のレンズによる歪みの影響が加わるように、前記一次元座標  $(y_p)$  を補正することにより、前記二次元座標  $(x'_p, y'_p)$  を取得することを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 3】

前記投影装置のレンズによる歪みを表すモデルの式は、以下の式 (1) であり、前記エ

10

ピボラ拘束を表す式は以下の式 (2) であり、  
前記第 2 の取得手段は、式 (1)、式 (2) を連立させて解くことにより、前記パターンの画像データ上における二次元座標  $(x'_p, y'_p)$  を取得することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の画像処理装置。

【数 1】

$$y_p = y'_p \{1 + k_{p1}(x'^2_p + y'^2_p) + k_{p2}(x'^2_p + y'^2_p)^2\} + p_{p1}(x'^2_p + 3y'^2_p) + 2p_{p2}x'_py'_p$$

・・・ (1)

【数 2】

$$\begin{bmatrix} x_c & y_c & 1 \end{bmatrix} \mathbf{E} \begin{bmatrix} x'_p \\ y'_p \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

20

・・・ (2)

【請求項 4】

前記第 2 の取得手段は、前記投影装置の視点と前記パターンの画像データ上における二次元座標  $(x'_p, y'_p)$  とが前記第 1 の視線ベクトルと三次元空間の一点で交わるように前記パターンの画像データ上における二次元座標  $(x'_p, y'_p)$  を取得することを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の画像処理装置。

30

【請求項 5】

前記パターンは、縞状パターンであることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 6】

前記縞状パターンにおける縞の方向は、前記縞状パターンの画像データにおける水平方向又は垂直方向であることを特徴とする請求項 5 に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

前記パターンは、ライン状パターンであることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1

40

項に記載の画像処理装置。

【請求項 8】

前記ライン状パターンにおけるラインの方向は、前記ライン状パターンの画像データにおける水平方向又は垂直方向であることを特徴とする請求項 7 に記載の画像処理装置。

【請求項 9】

前記パターンの画像データは、空間コード化法又は位相シフト法に使用される画像データであることを特徴とする請求項 1 乃至 8 の何れか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 10】

画像処理装置によって実行される画像処理方法であって、

投影装置により所定の方向のみに輝度値が変化するパターンが投影された状態で撮像装

50

置により撮像された計測対象物の画像データを入力する入力ステップと、

前記入力された画像に基づいて、前記計測対象物の画像データ上における二次元座標 ( $x'_c, y'_c$ ) と、前記パターンの画像データ上における一次元座標 ( $y_p$ ) とを対応付ける対応付けステップと、

前記撮像装置のレンズによる歪みを表すモデルに基づき前記計測対象物の画像データにおける二次元座標 ( $x'_c, y'_c$ ) を補正することにより、二次元座標 ( $x_c, y_c$ ) を取得する第1の取得ステップと、

前記撮像装置の視点と前記取得された二次元座標 ( $x_c, y_c$ ) とを通る第1の視線ベクトルを導出する第1の視線ベクトル導出ステップと、

前記パターンの画像データに三次元座標を投影する処理を行わずに、パターンの画像データ上における一次元座標 ( $y_p$ ) と、前記投影装置のレンズによる歪を表すモデルと、前記撮像装置と前記投影装置の間のエピポーラ拘束とに基づいて、前記パターンの画像データ上における二次元座標 ( $x'_p, y'_p$ ) を取得する第2の取得ステップと、

前記投影装置の視点と前記取得された二次元座標 ( $x'_p, y'_p$ ) とを通る第2の視線ベクトルを導出する第2の視線ベクトル導出ステップと、

前記第1の視線ベクトルと、前記第2の視線ベクトルとの3次元空間における交点の座標を導出する座標導出ステップと

を含むことを特徴とする画像処理方法。

#### 【請求項11】

コンピュータを、請求項1乃至9の何れか1項に記載の画像処理装置の各手段として機能させるためのプログラム。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、計測対象物の3次元形状計測を行う技術に関するものである。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

画像を用いた物体表面の3次元形状計測は、実物からの3次元モデル生成や物体の位置姿勢計測等の様々な目的に利用される。画像を用いた3次元形状計測の技術の中で、構造化光と呼ばれるパターン光を照射するアクティブ方式が、計測の信頼性が高いことから広く利用されている。このようなパターン光を照射する装置としては、投影型の画像表示装置であるプロジェクタを用いるのが一般的である。プロジェクタを用いる3次元形状計測方法の代表例として、空間コード化法や位相シフト法が挙げられる。空間コード化法や位相シフト法は、2次元の縞状パターン光を投影することによって3次元形状計測を行う方法である。

#### 【0003】

空間コード化法では、異なる2値の縞状パターン光が時系列に投影されることにより、撮影された画像データ上の座標とプロジェクタ側の画像データ上の座標との対応付けが安定的に行われる。位相シフト法では、正弦波の縞状パターンの位相をずらした複数の縞状パターン光が投影され、撮影された画像データ上の各画素の濃度値の変化を見ることにより、プロジェクタ側の画像データ上の座標との対応付けが行われる。

#### 【0004】

上述した縞状パターン光を投影する方式で用いられるカメラやプロジェクタは、レンズを介して光を入力及び出力する機器である。従って、カメラによって撮影される画像データやプロジェクタから出力される画像データには、歪曲収差と呼ばれるレンズを通過することによる歪み加わる。高精度な3次元形状計測を行うためには、このようなレンズ歪みの影響を適切に考慮する必要がある。カメラのレンズ歪みについては、予め歪みパラメータをキャリブレーションしておき、3次元形状計測時に、撮影された画像データ上の2次元座標を歪みのない座標に補正することが一般的に行われている。プロジェクタのレンズ歪みについても予めキャリブレーションしておくことで、画像データ上の2次元座標が

10

20

30

40

50

分ければカメラと同様に補正することが可能である。

【 0 0 0 5 】

しかし、上述した空間コード化法や位相シフト法等の縞状パターン光を用いる方法では、3次元形状計測のためにカメラ - プロジェクタ間の基線方向に対して略直交する縞状パターン光をプロジェクタによって投影することが一般的に行われている。従って、プロジェクタのレンズ歪みの補正を行うために、3次元形状計測に必要な縞状パターン光と直交するパターン光を投影する必要があった。これに対し、非特許文献2には、レンズ歪みなしとして算出された仮の3次元座標をレンズ歪みありの投影モデルを満たすよう最適化することで、不要なパターン光を投影せずにプロジェクタのレンズ歪みを補正する方法が開示されている。

10

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 非特許文献 1 】 井口，佐藤，三次元画像計測，昭晃堂，1990.

【 非特許文献 2 】 R. J. Valkenburg and A. M. McIvor, "Accurate 3D measurement using a structured light system," Image and Vision Computing, vol.16, no.2, pp.99-110, 1998.

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

20

しかしながら、プロジェクタのレンズ歪みを補正するため、本来、3次元形状計測に必要な縞状パターン光に直交するパターン光を投影することは、投影するパターン光の数が増える。そのため、画像データの撮影や画像データの処理に要する時間が増大するという問題がある。一方、非特許文献2に開示される方法では、別途パターン光を投射及び撮影することによる計測時間の増大はないものの、仮の3次元座標を求めたり、3次元座標の非線形最適化を行ったりといった処理が必要となる。これらの処理は、画像データ上の多数の点に対して行う必要があるため、計算時間が膨大となるという問題がある。

【 0 0 0 8 】

そこで、本発明の目的は、画像上における2次元位置が一意に決まらない所定のパターン光を3次元形状計測に用いる場合、投影装置のレンズ歪みを考慮した高精度な計測を高速に行うことにある。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

本発明の画像処理装置は、投影装置により所定の方向のみに輝度値が変化するパターンが投影された状態で撮像装置により撮像された計測対象物の画像データを入力する入力手段と、前記入力された画像に基づいて、前記計測対象物の画像データ上における二次元座標  $(x'_c, y'_c)$  と、前記パターンの画像データ上における一次元座標  $(y_p)$  とを対応付ける対応付け手段と、前記撮像装置のレンズによる歪みを表すモデルに基づき前記計測対象物の画像データ上における二次元座標  $(x'_c, y'_c)$  を補正することにより、二次元座標  $(x_c, y_c)$  を取得する第1の取得手段と、前記撮像装置の視点と前記取得された二次元座標  $(x_c, y_c)$  とを通る第1の視線ベクトルを導出する第1の視線ベクトル導出手段と、前記パターンの画像データに三次元座標を投影する処理を行わずに、パターンの画像データ上における一次元座標  $(y_p)$  と、前記投影装置のレンズによる歪を表すモデルと、前記撮像装置と前記投影装置の間のエピポーラ拘束とに基づいて、前記パターンの画像データ上における二次元座標  $(x'_p, y'_p)$  を取得する第2の取得手段と、前記投影装置の視点と前記取得された二次元座標  $(x'_p, y'_p)$  とを通る第2の視線ベクトルを導出する第2の視線ベクトル導出手段と、前記第1の視線ベクトルと、前記第2の視線ベクトルとの3次元空間における交点の座標を導出する座標導出手段とを有することを特徴とする。

40

【 発明の効果 】

50

## 【 0 0 1 0 】

本発明によれば、画像上における２次元位置が一意に決まらない所定のパターン光を３次元形状計測に用いる場合、投影装置のレンズ歪みを考慮した高精度な計測を高速に行うことができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 1 1 】

【図１】本発明の実施形態に係る画像処理装置の構成を示す図である。

【図２】プロジェクタによって照射される縞状パターン光を示す図である。

【図３】本発明の実施形態に係る画像処理装置を含む画像処理システムの構成を示す図である。

10

【図４】カメラの投影モデルを説明するための図である。

【図５】カメラとプロジェクタとのレンズ歪みの違いを説明するための図である。

【図６】本発明の実施形態に係る画像処理装置による３次元形状計測処理を示すフローチャートである。

【図７】図６のステップＳ１０２０における３次元座標算出処理の詳細を示すフローチャートである。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 1 2 】

以下、本発明を適用した好適な実施形態を、添付図面を参照しながら詳細に説明する。

## 【 0 0 1 3 】

20

先ず、本発明の第１の実施形態について説明する。本発明の第１の実施形態では、空間コード化法を用いて３次元形状計測を行う際、プロジェクタのレンズ歪みを考慮した計測方法について説明する。

## 【 0 0 1 4 】

図１は、本発明の第１の実施形態に係る画像処理装置の構成を示す図である。図１に示すように、画像処理装置１０１は、画像入力部１１０、対応付け部１２０、校正データ保存部１３０及び３次元座標算出部１４０を備える。また、画像処理装置１０１にはカメラ１００が接続されている。なお、カメラ１００は、撮像装置の例である。

## 【 0 0 1 5 】

画像入力部１１０は、カメラ１００によって撮像された画像データを入力する。空間コード化法では、１回の３次元形状計測毎に図２に示すような複数の２値の縞状パターン光を照射して画像データが撮影されるため、画像入力部１１０には複数の画像データが入力される。

30

## 【 0 0 1 6 】

本実施形態では、撮像された画像データ上でのビットパターンの境界を推定するため、図２に示すような、５ビットのグレイコードを表す水平方向の縞状パターン光に加えて、その縞状パターンのネガとポジとを反転させた縞状パターンも照射する。

## 【 0 0 1 7 】

図３は、本実施形態に係る画像処理装置１０１を含む画像処理システムの構成を示す図である。図３に示す画像処理システムは、カメラ１００とプロジェクタ１０５とが互いに固定され、夫々が画像処理装置１０１に接続されている。画像処理装置１０１は、プロジェクタ１０５に対して図２に示す縞状パターン光のうちの何れかの縞状パターン光を照射するよう命令した後、カメラ１００に対して画像データを撮像するように命令する。なお、プロジェクタ１０５は、投影装置の例である。

40

## 【 0 0 1 8 】

対応付け部１２０は、画像入力部１１０において入力された複数の画像データ上の２次元座標と縞状パターンの画像データ上の座標（垂直方向の座標）との対応付けを行う。校正データ保存部１３０は、事前に校正されるカメラ１００及びプロジェクタ１０５の内部パラメータ、並びに、カメラ１００とプロジェクタ１０５との相対的な位置及び姿勢を保存する。内部パラメータは、焦点距離、主点位置、及び、歪みパラメータ（本実施形態で

50

は、放射方向の歪み係数、円周方向の歪み係数)である。カメラ100及びプロジェクタ105の内部パラメータは、例えばZhangの方法(Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.22, no.11, pp.1330-1334, 2000.)により事前に校正される。カメラ100とプロジェクタ105との相対的な位置及び姿勢は、内部パラメータを校正するとき同時に得られる校正パターンと、カメラ100とプロジェクタ105間の位置及び姿勢に基づいて算出される。

#### 【0019】

3次元座標算出部140は、対応付け部120によって得られた、撮像された画像データ上の2次元座標と縞状パターンの画像データ上の垂直座標との対応付けのそれぞれについて、校正データ保存部130に保存されている校正データを用いて3次元座標を算出する。

10

#### 【0020】

次に、本実施形態におけるカメラ100とプロジェクタ105との投影モデルについて説明する。まず、カメラ100の投影モデルについて説明する。図4に示すように、カメラ座標系(3次元)を、Z軸が光軸と一致し、X軸及びY軸がそれぞれ画像データの水平方向及び垂直方向と平行になるようにとる。カメラ座標系における3次元座標が(X, Y, Z)の点は、ピンホールカメラモデルによって、次の式1で表される正規化画像座標に投影される。

#### 【0021】

20

#### 【数1】

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{Z} \\ y &= \frac{Y}{Z} \end{aligned} \quad \text{式1}$$

#### 【0022】

ここで正規化画像座標とは、カメラ座標系においてZ=1の位置に画像面を設定したときの画像面上での位置である。正規化画像座標系の原点は光軸(Z軸)と画像面の交点であり、x軸及びy軸はそれぞれ、画像データの水平方向及び垂直方向と平行である。実際に観察される正規化画像座標(x', y')は、次の式2に示すように、(x, y)にレンズ歪みの成分が加わったものになる。

30

#### 【0023】

#### 【数2】

$$\begin{aligned} x' &= x\{1 + k_{c1}(x^2 + y^2) + k_{c2}(x^2 + y^2)^2\} + 2p_{c1}xy + p_{c2}(3x^2 + y^2) \\ y' &= y\{1 + k_{c1}(x^2 + y^2) + k_{c2}(x^2 + y^2)^2\} + p_{c1}(x^2 + 3y^2) + 2p_{c2}xy \end{aligned} \quad \text{式2}$$

#### 【0024】

ここで、 $k_{c1}$ 及び $k_{c2}$ はそれぞれ3次及び5次の放射方向の歪み係数であり、 $p_{c1}$ 及び $p_{c2}$ は円周方向の歪み係数である。なお、レンズ歪みモデルはこれに限るものではない。式2は、5次までの放射方向の歪みを考慮しているが、例えば3次や7次等のモデルであってもよい。また、式2では円周方向の歪みを考慮しているが、円周方向の歪みがないと仮定してもよい。即ち、歪みが加わった正規化画像座標(x', y')が、歪みが加わる前の正規化画像座標(x, y)の関数として表されるモデルであれば、いかなるモデルであってもよい。正規化画像座標が(x', y')の点の実画像データ上の座標(ピクセル座標)( $u_c, v_c$ )は、次の式3で表される。

40

#### 【0025】

## 【数 3】

$$\begin{aligned} u_c &= f_{cx}x' + c_{cx} \\ v_c &= f_{cy}y' + c_{cy} \end{aligned}$$

式 3

## 【0026】

ここで、 $f_{cx}$  及び  $f_{cy}$  は焦点距離であり、 $c_{cx}$  及び  $c_{cy}$  は主点位置である。上述したように、カメラ 100 の内部パラメータ  $f_{cx}$ 、 $f_{cy}$ 、 $c_{cx}$ 、 $c_{cy}$ 、 $k_{c1}$ 、 $k_{c2}$ 、 $p_{c1}$  及び  $p_{c2}$  は、事前に校正しておく。

## 【0027】

次に、プロジェクタ 105 の投影モデルについて説明する。レンズを用いた光学系としてプロジェクタ 105 を見た場合、カメラ 100 との違いはレンズを通して画像を入力するか出力するかの違いだけであるといえる。そのため、プロジェクタ 105 の投影モデルは、基本的にはカメラ 100 と同様のモデルによって記述することができる。図 5 は、カメラ 100 とプロジェクタ 105 とのレンズ歪みの違いを示す図である。即ち、図 5 (a) は、カメラ 100 によって撮影される画像データの歪みを示しており、図 5 (b) は、プロジェクタ 105 によって投影される画像データの歪みを示している。図 5 に示すように、プロジェクタ 105 の場合には、レンズを介した画像の入出力がカメラ 100 と逆になるため、歪みありの正規化画像座標  $(x', y')$  と歪みなしの正規化画像座標  $(x, y)$  との関係もカメラ 100 と逆になる。そのため、 $(x', y')$  と  $(x, y)$  との関係は、次の式 4 に表すようになる。

## 【0028】

## 【数 4】

$$\begin{aligned} x &= x'\{1 + k_{p1}(x'^2 + y'^2) + k_{p2}(x'^2 + y'^2)^2\} + 2p_{p1}x'y' + p_{p2}(3x'^2 + y'^2) \\ y &= y'\{1 + k_{p1}(x'^2 + y'^2) + k_{p2}(x'^2 + y'^2)^2\} + p_{p1}(x'^2 + 3y'^2) + 2p_{p2}x'y' \end{aligned}$$

式 4

## 【0029】

プロジェクタ 105 の内部パラメータ  $f_{px}$ 、 $f_{py}$ 、 $c_{px}$ 、 $c_{py}$ 、 $k_{p1}$ 、 $k_{p2}$ 、 $p_{p1}$  及び  $p_{p2}$  もカメラ 100 の内部パラメータと同様に事前に校正しておく。プロジェクタ 105 の内部パラメータの校正では、平面形状の校正用パターンに対して水平及び垂直の両方向の縞状パターン光を投影することにより、校正用パターン上の座標とプロジェクタ 105 側の画像上の座標との対応付けが行われる。内部パラメータの校正は実際の計測に先立って行われる作業であり、比較的時間の余裕があるため、水平及び垂直の両方向の縞状パターン光を投影することが可能である。一方、本実施形態は、事前に校正された内部パラメータを利用して実際に 3 次元形状計測を行う際のプロジェクタ歪み補正に関するものであり、高速化のためにできるだけ投影するパターン光を減らすことを目的としている。なお、カメラ 100 の歪みモデルと同様に、プロジェクタ 105 の歪みモデルについても、歪みが加わる前の正規化画像座標  $(x, y)$  が、歪みが加わった後の正規化画像座標  $(x', y')$  の関数として表されるモデルであれば、いかなるモデルであってもよい。

## 【0030】

図 6 は、本発明の第 1 の実施形態に係る画像処理装置によって実行される 3 次元形状計測処理を示すフローチャートである。以下、図 6 を参照しながら、第 1 の実施形態における 3 次元形状計測処理について説明する。

## 【0031】

ステップ S1000 において、画像入力部 110 は、カメラ 100 によって撮像された、縞状パターン光が照射されたシーンや物体の画像データを入力する。上述したように、空間コード化法では、1 回の計測で複数の縞状パターン光が照射されるため、ここでは複数の画像データが入力される。

## 【0032】

10

20

30

40

50

ステップS 1 0 1 0において、対応付け部 1 2 0は、ステップS 1 0 0 0において入力された画像データ上の2次元座標と縞状パターンの画像データ上の垂直座標との対応付けの集合を算出する。即ち、対応付け部 1 2 0は、入力された各画像データを2値化処理することにより、画素毎にビットパターン（本実施形態では、5ビット）を算出する。対応付け部 1 2 0は、このビットパターンを用いることにより、撮像された画像データ上の2次元座標と縞状パターンの画像データ上の垂直座標とを対応付ける。次に対応付け部 1 2 0は、撮像された画像データ上におけるビットパターンが変化する境界部分の2次元座標（ $u_c, v_c$ ）を推定する。境界部分の推定は、例えば非特許文献1に開示されるように、ネガの縞状パターン光が照射された状態で撮影された画像データと、ポジの縞状パターン光が照射された状態で撮影された画像データとの濃淡値プロファイルに基づいて行われる。最後に、対応付け部 1 2 0は、境界部分上の全ての点に対し、隣接するビットパターンに基づいて縞状パターンの画像データ上の垂直座標 $v_p$ を求める。

10

#### 【0033】

ステップS 1 0 2 0において、3次元座標算出部 1 4 0は、ステップS 1 0 1 0において得られた、撮像された画像データ上の2次元座標（ $u_c, v_c$ ）と縞状パターンの画像データ上の垂直座標 $v_p$ との対応付けに基づいて、カメラ座標系を基準とした各点の3次元座標を算出する。各点の3次元座標は、カメラ100側の視線ベクトル（以下、カメラ視線ベクトルと称す）とプロジェクタ105側の視線ベクトル（以下、プロジェクタ視線ベクトルと称す）との交点の座標として算出される。ここで視線ベクトルとは、カメラ100（又は、プロジェクタ105）の光学中心と画像上の点とを結ぶ3次元ベクトルのことを表す。カメラ座標系（又は、プロジェクタ座標系）におけるカメラ視線ベクトル（又は、プロジェクタ視線ベクトル）は、正規化画像座標（ $x, y$ ）を用いることにより、 $[x \ y \ 1]^t$ と表すことができる。プロジェクタ105によって画像が空間中に投影される場合、出力される光の方向にレンズによる歪みが加わるため、プロジェクタ視線ベクトルはレンズ歪みが加わったベクトルとなる。一方、カメラ視線ベクトルとして、空間からの反射光がカメラ100に入射するベクトルを用いる必要があるため、レンズ歪みを除去したベクトルである必要がある。プロジェクタ105によって縞状パターン光が投影される場合、ステップS 1 0 1 0における対応付けでは縞状パターンでの一方向の座標（本実施形態では、垂直座標）しか決定することができないため、プロジェクタ視線ベクトルを決定することができない。そこで、本実施形態では、カメラ100とプロジェクタ105との間に成り立つエピポーラ拘束から得られる方程式と、プロジェクタ105のレンズ歪みモデルから得られる方程式との両方を連立方程式として解くことにより、プロジェクタ視線ベクトルを決定する。

20

30

#### 【0034】

図7は、ステップS 1 0 2 0における3次元座標算出処理の詳細を示すフローチャートである。以下、図7を参照しながら、ステップS 1 0 2 0における3次元座標算出処理について詳細に説明する。

#### 【0035】

ステップS 1 1 0 0において、3次元座標算出部 1 4 0は、カメラ100によって撮影された画像データ上の点とカメラ100の光学中心とを結ぶカメラ視線ベクトルを算出する。ここでは、上述したように、レンズ歪みが除去されたカメラ視線ベクトルが算出される。具体的には、撮影された画像データ上の座標（ $u_c, v_c$ ）に基づいて、式2及び式3を用いてカメラ視線ベクトル $x_c (= [x_c \ y_c \ 1]^t)$ が算出される。まず、3次元座標算出部 1 4 0は、式3を用いて、歪みありの正規化画像座標（ $x'_c, y'_c$ ）を次の式5に示すように算出する。なお、ステップS 1 1 0 0は、第1の視線ベクトル算出手段の処理例である。

40

#### 【0036】



【数 5】

$$x'_c = \frac{u_c - c_{cx}}{f_{cx}}$$

$$y'_c = \frac{v_c - c_{cy}}{f_{cy}}$$

式 5

【 0 0 3 7 】

次に、3次元座標算出部 1 4 0 は、算出した  $x'_c$  及び  $y'_c$  を式 2 に代入して得られる  $x_c$  及び  $y_c$  に関する方程式を連立方程式として解くことにより、歪みなしの正規化画像座標  $x_c$  及び  $y_c$  を算出する。なお、この連立方程式を解析的に解くことはできないため、3次元座標算出部 1 4 0 は、 $x_c$ 、 $y_c$  の初期値（例えば、 $x'_c$ 、 $y'_c$ ）を与え、ニュートン法等の繰返し計算によって  $x_c$  及び  $y_c$  を算出する。以上のように算出された  $x_c$  及び  $y_c$  からカメラ視線ベクトル  $x_c$  が得られる。

10

【 0 0 3 8 】

ステップ S 1 1 1 0 において、3次元座標算出部 1 4 0 は、プロジェクタ 1 0 5 によって投影される縞状パターンの画像データ上の点とプロジェクタ 1 0 5 の光学中心とを結ぶプロジェクタ視線ベクトルを算出する。上述したように、ここではレンズ歪みが加わったプロジェクタ視線ベクトルが算出される。具体的には、プロジェクタ 1 0 5 によって投影される縞状パターンの画像データの垂直座標  $v_p$  から、プロジェクタ視線ベクトル  $x_p'$  ( $= [x_p' \ y_p' \ 1]^T$ ) が算出される。まず、3次元座標算出部 1 4 0 は、次の式 6 を用いて、座標  $v_p$  の正規化画像座標（歪みなし） $y_p$  を算出する。なお、ステップ S 1 1 1 0 は、第 2 の視線ベクトル算出手段の処理例である。

20

【 0 0 3 9 】

【数 6】

$$y_p = \frac{v_p - c_{py}}{f_{py}}$$

式 6

【 0 0 4 0 】

3次元座標算出部 1 4 0 は、式 6 を式 4 に代入することにより、次の式 7 に示す  $x_p'$  及び  $y_p'$  に関する方程式を得る。

30

【 0 0 4 1 】

【数 7】

$$y_p = y'_p \{1 + k_{p1}(x_p'^2 + y_p'^2) + k_{p2}(x_p'^2 + y_p'^2)^2\} + p_{p1}(x_p'^2 + 3y_p'^2) + 2p_{p2}x'_py'_p$$

式 7

【 0 0 4 2 】

一方、三角測量の原理に基づいて 3次元座標を推定するためには、カメラ視線ベクトルとプロジェクタ視線ベクトルとが 3次元空間中の一点で交わる必要がある。この条件はエピポーラ拘束と呼ばれ、次の式 8 によって表される。

40

【 0 0 4 3 】

【数 8】

$$[x_c \ y_c \ 1]E \begin{bmatrix} x'_p \\ y'_p \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

式 8

50

【 0 0 4 4 】

但し、E は基本行列 (Essential matrix) と呼ばれる  $3 \times 3$  行列である。基本行列 E は、カメラ座標系でのプロジェクタ 1 0 5 の位置を表す 3 次元ベクトル  $t = [t_x \ t_y \ t_z]^t$  及び姿勢を表す  $3 \times 3$  行列 R を用いて、次の式 9 のように表される。

【 0 0 4 5 】

【数 9】

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

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -t_z & t_y \\ t_z & 0 & -t_x \\ -t_y & t_x & 0 \end{bmatrix} R = \begin{bmatrix} 0 & -t_z & t_y \\ t_z & 0 & -t_x \\ -t_y & t_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad \text{式 9}$$

10

【 0 0 4 6 】

カメラ 1 0 0 とプロジェクタ 1 0 5 との相対的な位置及び姿勢は、事前にキャリブレーションされているため既知であることから、E 行列も既知である。また、カメラ視線ベクトル  $x_c$  も既知であることから、式 8 から次の式 1 0 に示す  $x_p'$  及び  $y_p'$  に関する一次方程式が得られる。

20

【 0 0 4 7 】

【数 1 0】

$$ax_p' + by_p' + c = 0 \quad \text{式 1 0}$$

但し、

$$a = x_c e_{11} + y_c e_{21} + e_{31}$$

$$b = x_c e_{12} + y_c e_{22} + e_{32}$$

$$c = x_c e_{13} + y_c e_{23} + e_{33}$$

30

【 0 0 4 8 】

3 次元座標算出部 1 4 0 は、式 7 及び式 1 0 を  $x_p'$  及び  $y_p'$  に関する拘束条件として利用することにより、非特許文献 2 に開示されるような仮の 3 次元座標を計算することなしに、プロジェクタ視線ベクトルを直接的に算出することができる。なお、 $(x_p', y_p')$  は、幾何学的には  $xy$  平面上における式 1 0 によって表される直線 (エピポーラライン) と式 7 によって表される曲線との交点の座標である。3 次元座標算出部 1 4 0 は、式 7 及び式 1 0 を  $x_p'$  及び  $y_p'$  に関する連立方程式として解くことにより、 $x_p'$  及び  $y_p'$  を算出する。

【 0 0 4 9 】

以下、 $x_p'$  及び  $y_p'$  の具体的な算出方法について説明する。まず 3 次元座標算出部 1 4 0 は、式 1 0 により  $y_p'$  を  $x_p'$  で表すことにより、式 7 における  $y_p'$  を消去して、次の式 1 1 に示す  $x_p'$  に関する方程式を得る。

40

【 0 0 5 0 】

## 【数 1 1】

$$Ax_p'^5 + Bx_p'^4 + Cx_p'^3 + Dx_p'^2 + Ex_p' + F = 0 \quad \text{式 1 1}$$

但し、

$$A = -k_{p2}(ab^4 + 2a^3b^2 + a^5)$$

$$B = -k_{p2}c(b^4 + 6a^2b^2 + 5a^4)$$

$$C = -k_{p2}(6ab^2 + 10a^3)c^2 - k_{p1}(ab^4 + a^3b^2)$$

$$D = -2p_{p2}ab^4 + p_{p1}(3a^2b^3 + b^5) - k_{p2}(2b^2 + 10a^2)c^3 - k_{p1}(b^4 + 3a^2b^2)c$$

$$E = -2p_{p2}b^4c + 6p_{p1}ab^3c - 5k_{p2}ac^4 - 3k_{p1}ab^2c^2 - ab^4$$

$$F = 3p_{p1}b^3c^2 - k_{p2}c^5 - k_{p1}b^2c^3 - b^4c - b^5y_p$$

10

## 【0 0 5 1】

なお、式 1 1 は、 $x_p'$  に関する 5 次方程式である。5 次方程式は解析的には解けないため、3 次元座標算出部 1 4 0 は、次の式 1 2 に示すように  $x_p'$  を算出する。まず 3 次元座標算出部 1 4 0 は、 $x_p'$  の初期値を与える。 $x_p'$  の初期値  $x_{p0}'$  は、例えば式 1 0 において  $y_p' = y_p$  としたときの  $x_p'$  の値を用いる。

## 【0 0 5 2】

## 【数 1 2】

$$x_{p0}' = \frac{-by_p - c}{a} \quad \text{式 1 2}$$

20

## 【0 0 5 3】

次に、3 次元座標算出部 1 4 0 は、式 1 1 の左辺を  $x_{p0}'$  の近傍で  $x_p'$  について線形近似し、次の式 1 3 に示すような、 $x_p'$  の微小変化  $x_p'$  により右辺が 0 となるような方程式を立式する。

## 【0 0 5 4】

## 【数 1 3】

$$Ax_{p0}'^5 + Bx_{p0}'^4 + Cx_{p0}'^3 + Dx_{p0}'^2 + Ex_{p0}' + F + (5Ax_{p0}'^4 + 4Bx_{p0}'^3 + 3Cx_{p0}'^2 + 2Dx_{p0}' + E)\Delta x_p' = 0 \quad \text{式 1 3}$$

30

## 【0 0 5 5】

3 次元座標算出部 1 4 0 は、式 1 3 から  $x_p'$  を算出し、 $x_{p0}'$  を  $x_{p0}' + x_p'$  のように補正する。3 次元座標算出部 1 4 0 は、得られた  $x_{p0}'$  を新たな初期値として、上述した処理を解が収束するまで繰り返す。3 次元座標算出部 1 4 0 は、得られた解を  $x_p'$  として、式 1 0 から  $y_p'$  を算出する。以上のようにして算出された  $x_p'$  及び  $y_p'$  からプロジェクタ視線ベクトル  $x_p'$  が得られる。なお、本実施形態では、 $x_p'$  及び  $y_p'$  を算出する際には  $y_p'$  を消去して  $x_p'$  を算出しているが、これに限るものではない。 $x_p'$  を消去して同様な方法により  $y_p'$  を算出してもよい。

40

## 【0 0 5 6】

ステップ S 1 1 2 0 において、3 次元座標算出部 1 4 0 は、ステップ S 1 1 0 0 において算出したカメラ視線ベクトル  $x_c$  と、ステップ S 1 1 1 0 において算出したプロジェクタ視線ベクトル  $x_p'$  とに基づいて、3 次元座標を算出する。3 次元座標は、カメラ視線ベクトル  $x_c$  を延長した 3 次元直線とプロジェクタ視線ベクトル  $x_p'$  を延長した 3 次元直線との交点の座標として求められる。3 次元直線の交点は、例えば次のように算出される。プロジェクタ視線ベクトル  $x_p'$  を 2 倍した位置にある点のカメラ座標系における 3 次元座標 (X, Y, Z) は、次の式 1 4 のように表される。なお、ステップ S 1 1 2 0 は、

50

交点座標算出手段の処理例である。

【 0 0 5 7 】

【数 1 4 】

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha x'_p \\ \alpha y'_p \\ \alpha \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad \text{式 1 4}$$

【 0 0 5 8 】

この点とカメラ 1 0 0 の光学中心とを結ぶベクトルがカメラ視線ベクトル  $x_c$  に一致すると、次の式 1 5 を得ることができる。

【 0 0 5 9 】

【数 1 5 】

$$x_c = \frac{\alpha(r_{11}x'_p + r_{12}y'_p + r_{13}) + t_x}{\alpha(r_{31}x'_p + r_{32}y'_p + r_{33}) + t_z} \quad \text{式 1 5}$$

$$y_c = \frac{\alpha(r_{21}x'_p + r_{22}y'_p + r_{23}) + t_y}{\alpha(r_{31}x'_p + r_{32}y'_p + r_{33}) + t_z}$$

10

20

【 0 0 6 0 】

3次元座標算出部 1 4 0 は、式 1 5 の第 1 式又は第 2 式を について解くことにより、次の式 1 6 に示すように を算出する。

【 0 0 6 1 】

【数 1 6 】

$$\alpha = \frac{t_x - x_c t_z}{x_c(r_{31}x'_p + r_{32}y'_p + r_{33}) - (r_{11}x'_p + r_{12}y'_p + r_{13})} \quad \text{式 1 6}$$

または

$$\alpha = \frac{t_y - y_c t_z}{y_c(r_{31}x'_p + r_{32}y'_p + r_{33}) - (r_{21}x'_p + r_{22}y'_p + r_{23})}$$

30

【 0 0 6 2 】

さらに 3次元座標算出部 1 4 0 は、算出した を式 1 1 に代入し、3次元座標 (X, Y, Z) を算出する。なお、3次元座標 (X, Y, Z) の算出方法はこれに限るものではない。例えば、撮像された画像データ上及び縞状パターンの画像データ上に 3次元座標 (X, Y, Z) を投影したときの正規化画像座標がそれぞれ ( $x_c, y_c$ )、( $x'_p, y'_p$ ) であることに基づいて、3次元座標 (X, Y, Z) を直接算出してよい。以上の 3次元座標算出処理を、ステップ S 1 0 1 0 において得られた撮像された画像データ上の 2次元座標と縞状パターンの画像データ上の垂直座標との対応付け全てについて行われる。

40

【 0 0 6 3 】

以上のように、第 1 の実施形態では、縞状パターン光を照射して 3次元形状計測を行う際に、レンズ歪みが加わったプロジェクタ視線ベクトルを推定することにより、レンズ歪みを正しく反映する 3次元形状計測方法について説明した。この方法では、従来のように一度仮の 3次元座標を算出したりする必要がないため、画像上における 2次元位置が一意に決まらないパターン光を投影することによる 3次元形状計測を高精度且つ高速に処理を行うことができる。

【 0 0 6 4 】

次に、本発明の第 2 の実施形態について説明する。上述した第 1 の実施形態では、カメラ 1 0 0 及びプロジェクタ 1 0 5 のレンズ歪みを表すパラメータとして、歪みのない理想

50

的な画像座標を歪みのある画像座標に変換するときの係数（式 2）を用いたときの 3 次元座標の算出について説明した。しかし、レンズ歪みを表すパラメータはこれに限るものではない。第 2 の実施形態では、レンズ歪みを表すパラメータが、歪みのある画像座標を歪みのない画像座標に変換するときの係数である場合の 3 次元座標の算出方法について説明する。なお、第 2 の実施形態に係る画像処理装置及び画像処理システムの構成は、図 1 及び図 3 に示した構成と同様であるため、以下の説明においても、図 1 及び図 3 の符号を用いるものとする。

【 0 0 6 5 】

第 2 の実施形態では、カメラ 1 0 0 の歪みありの正規化画像座標（ $x'$  ,  $y'$ ）が、次の式 1 7 によって歪みなしの正規化画像座標（ $x$  ,  $y$ ）に変換される。

10

【 0 0 6 6 】

【数 1 7】

$$\begin{aligned} x &= x' \{1 + k_1(x'^2 + y'^2) + k_2(x'^2 + y'^2)^2\} + 2p_1x'y' + p_2(3x'^2 + y'^2) \\ y &= y' \{1 + k_1(x'^2 + y'^2) + k_2(x'^2 + y'^2)^2\} + p_1(x'^2 + 3y'^2) + 2p_2x'y' \end{aligned} \quad \text{式 1 7}$$

【 0 0 6 7 】

プロジェクタ 1 0 5 の場合には、画像の入出力がカメラ 1 0 0 と逆になるため、次の式 1 8 のようになる。

【 0 0 6 8 】

【数 1 8】

20

$$\begin{aligned} x' &= x \{1 + k_1(x^2 + y^2) + k_2(x^2 + y^2)^2\} + 2p_1xy + p_2(3x^2 + y^2) \\ y' &= y \{1 + k_1(x^2 + y^2) + k_2(x^2 + y^2)^2\} + p_1(x^2 + 3y^2) + 2p_2xy \end{aligned} \quad \text{式 1 8}$$

【 0 0 6 9 】

なお、第 1 の実施形態と同様に、歪みモデルはこれに限るものではない。即ち、カメラ 1 0 0 の場合には、歪みが加わる前の正規化画像座標（ $x$  ,  $y$ ）が、歪みが加わった後の正規化画像座標（ $x'$  ,  $y'$ ）の関数として表されるモデルであれば、いかなるモデルであってもよい。プロジェクタ 1 0 5 の場合には、歪みが加わった後の正規化画像座標（ $x'$  ,  $y'$ ）が、歪みが加わる前の正規化画像座標（ $x$  ,  $y$ ）の関数として表されるモデルであれば、いかなるモデルであってもよい。

30

【 0 0 7 0 】

第 2 の実施形態における処理は、第 1 の実施形態とほぼ同一であるので、第 1 の実施形態と処理内容が異なるカメラ視線ベクトル及びプロジェクタ視線ベクトルの算出方法についてのみ説明する。

【 0 0 7 1 】

第 2 の実施形態において、カメラ視線ベクトルは次のようにして算出される。まず、3 次元座標算出部 1 4 0 は、カメラ 1 0 0 によって撮像された画像データ上の座標（ $u_c$  ,  $v_c$ ）から、式 5 を用いて歪みありの正規化画像座標（ $x_c'$  ,  $y_c'$ ）を計算する。次に、3 次元座標算出部 1 4 0 は、式 1 7 を用いて、歪みなしの正規化画像座標（ $x_c$  ,  $y_c$ ）を算出することにより、カメラ視線ベクトルを算出する。

40

【 0 0 7 2 】

また、第 2 の実施形態において、プロジェクタ視線ベクトルは次のようにして算出される。まず、3 次元座標算出部 1 4 0 は、式 6 を用いて、垂直方向の座標  $v_p$  の正規化画像座標（歪みなし） $y_p$  を算出する。次に、3 次元座標算出部 1 4 0 は、式 1 8 に  $y_p$  を代入したものを式 1 0 に代入することで  $x_p$  に関する 5 次方程式を得る。最後に、3 次元座標算出部 1 4 0 は、5 次方程式を解くことにより、 $x_p$  を求める。この 5 次方程式は解析的には解けないため、第 1 の実施形態で述べたような方法によって  $x_p$  が算出される。以上の処理によって得られたカメラ視線ベクトル及びプロジェクタ視線ベクトルに基づき、第

50

1の実施形態と同じ方法によって3次元座標が算出される。

【0073】

以上のように、第2の実施形態では、レンズ歪みを表すパラメータが歪みのある画像座標を歪みのない画像座標に変換するときの係数である場合、プロジェクタ105の歪みを考慮して3次元形状計測を行う方法について説明した。

【0074】

以上説明した実施形態では、プロジェクタ105を用いて時系列に異なる2値コードパターン光を照射する空間コード化法に基づく3次元形状計測においてプロジェクタ105のレンズ歪みを考慮する方法について説明した。しかし、3次元形状計測方法は空間コード化法に限るものではない。例えば位相シフト法等、空間コード化法と同様に縞状パターン光を使用する方法であれば、いかなる方法であってもよい。また、レンズを介して縞状パターン光を照射する方法であれば、レーザスリット光のような一次元ライン状パターン光を計測対象物に照射する方法であってもよい。

【0075】

また、以上説明した実施形態では、プロジェクタ105によって照射される縞状パターン光の縞が縞状パターン光の画像データにおける水平方向である場合について説明した。しかし、プロジェクタ105によって照射されるパターン光は水平方向の縞状パターン光に限るものではなく、垂直方向の縞状パターン光等、他の向きのパターン光であってもよい。一次元ライン状パターン光のラインの向きについても同様である。垂直方向の縞状パターン光が照射される場合の、プロジェクタ視線ベクトルの算出は、次のようにして行われる。

【0076】

先ず、3次元座標算出部140は、次の式19により、プロジェクタ105によって投影される画像の水平方向の座標 $u_p$ の正規化画像座標(歪みなし) $x_p$ を算出する。

【0077】

【数19】

$$x_p = \frac{u_p - c_{px}}{f_{px}} \quad \text{式19}$$

【0078】

次に、3次元座標算出部140は、式19を式4の第1式に代入することにより、次の式20に示す $x_p'$ 、 $y_p'$ に関する方程式を得る。

【0079】

【数20】

$$x_p = x_p' \{1 + k_1(x_p'^2 + y_p'^2) + k_2(x_p'^2 + y_p'^2)^2\} + 2p_1x_p'y_p' + p_2(3x_p'^2 + y_p'^2) \quad \text{式20}$$

【0080】

次に、3次元座標算出部140は、第1の実施形態と同様に、式10及び式20を $x_p'$ 、 $y_p'$ に関する連立方程式として解くことにより、 $x_p'$ 、 $y_p'$ を算出することでプロジェクタ視線ベクトルを算出する。

【0081】

さらに、以上説明した実施形態では、プロジェクタ105のレンズ歪みのモデルとして、5次までの放射方向の歪みと円周方向の歪みを有するモデルを想定していた。しかし、レンズ歪みのモデルはこれに限るものではない。例えば、円周方向の歪みがないモデルや、5次より低い次数の放射方向の歪み、または高い次数の放射方向の歪みを有するモデルであってもよい。レンズ歪みのモデルの放射方向の次数が異なる場合は、その次数に応じて式11の $x_p'$ の次数が変わる。例えば、式11は、3次までのモデルの場合には $x_p'$ の3次方程式、7次までの場合には $x_p'$ の7次方程式となるため、それを解けばよい。

一方、円周方向の歪みがない場合には、式 1 2 の右辺が異なるだけの同様な方程式を得ることができるため、それを解けばよい。即ち、レンズ歪みのモデルが異なるとしても、上述したようにカメラ 1 0 0 とプロジェクタ 1 0 5 間のエピポーラ拘束から得られる方程式とレンズ歪みモデルから得られる方程式を解くことにより、プロジェクタ視線ベクトルを算出することができる。

【 0 0 8 2 】

例えば、プロジェクタ 1 0 5 のレンズ歪みモデルとして、3 次までの放射方向の歪みだけのモデルを用いる場合、式 7 は式 2 1 のようになる。

【 0 0 8 3 】

【 数 2 1 】

$$y_p = y'_p \{1 + k_{p1}(x'^2_p + y'^2_p)\} \quad \text{式 2 1}$$

【 0 0 8 4 】

式 2 1 と式 1 0 とにより、式 2 2 に示す  $x_p'$  に関する 3 次方程式が得られる。

【 0 0 8 5 】

【 数 2 2 】

$$Gx'^3_p + Hx'^2_p + Ix'_p + J = 0 \quad \text{式 2 2}$$

但し、

$$G = -k_{p1}(ab^4 + a^3b^2)$$

$$H = -k_{p1}(b^4 + 3a^2b^2)c$$

$$I = -3k_{p1}ab^2c^2 - ab^4$$

$$J = -k_{p1}b^2c^3 - b^4c - b^5y_p$$

【 0 0 8 6 】

3 次元座標算出部 1 4 0 は、式 2 2 を用いて  $x_p'$  を算出することにより、プロジェクタ視線ベクトルを計算することができる。

【 0 0 8 7 】

上述した実施形態によれば、画像上での 2 次元位置が一意に決まらないパターン光を投影することによる 3 次元形状計測を高精度且つ高速に行うことができる。

【 0 0 8 8 】

また、本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェア（プログラム）を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ（または CPU や MPU 等）がプログラムを読み出して実行する処理である。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 9 】

1 0 0 : カメラ、1 0 1 : 画像処理装置、1 0 5 : プロジェクタ、1 1 0 : 画像入力部、1 2 0 : 対応付け部、1 3 0 : 3 次元座標算出部、1 4 0 : 校正データ保存部

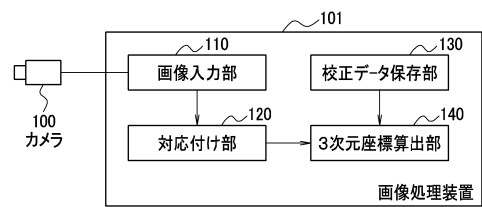
10

20

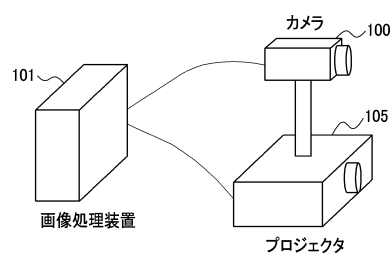
30

40

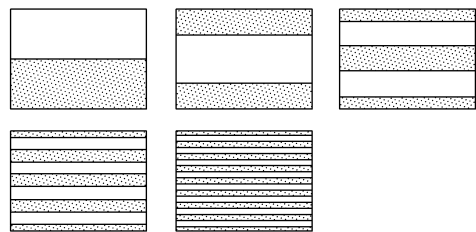
【図 1】



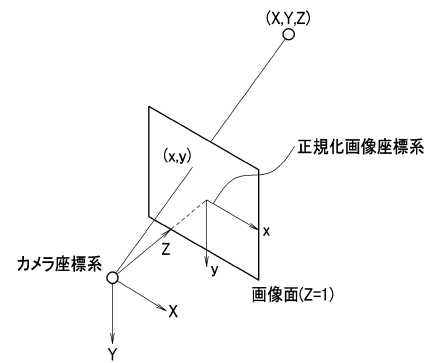
【図 3】



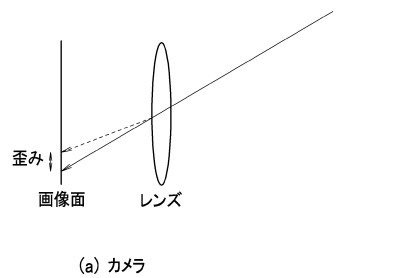
【図 2】



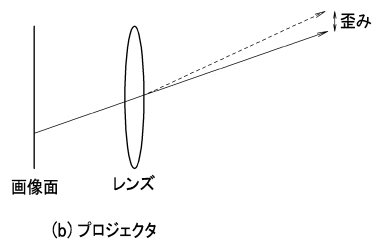
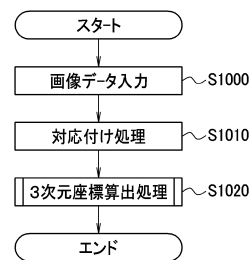
【図 4】



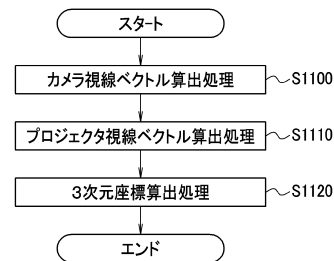
【図 5】



【図 6】



【図 7】





---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-317495(JP,A)  
国際公開第2006/120759(WO,A1)  
特開2010-203867(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30  
G06T 1/00