

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6867766号
(P6867766)

(45) 発行日 令和3年5月12日(2021.5.12)

(24) 登録日 令和3年4月13日(2021.4.13)

(51) Int.Cl.

F 1

G06T	1/00	(2006.01)
G01B	11/25	(2006.01)
G01B	11/00	(2006.01)

GO 6 T	1/00	3 1 5
GO 1 B	11/25	H
GO 1 B	11/00	H

請求項の数 13 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2016-173122 (P2016-173122)
(22) 出願日	平成28年9月5日 (2016.9.5)
(65) 公開番号	特開2018-41169 (P2018-41169A)
(43) 公開日	平成30年3月15日 (2018.3.15)
審査請求日	令和1年8月30日 (2019.8.30)

(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74) 代理人	110003281 特許業務法人大塚国際特許事務所
(72) 発明者	稻葉 正樹 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 ▲広▼島 明芳

(56) 参考文献	特開2001-183133 (JP, A) 特開2014-131257 (JP, A)
-----------	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】情報処理装置およびその制御方法、プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

既知の幾何形状を少なくとも一つ以上有する第1のパターン画像が投影された状態を撮像した撮像画像において、前記第1のパターン画像における前記幾何形状に対応する領域の、前記幾何形状からの幾何学的な歪みを表す写像を算出する算出手段と、

第2のパターン画像における注目画素とその周囲の近傍画素から構成される注目領域と、前記第2のパターン画像が投影された状態を撮像した撮像画像における領域を前記写像に基づいて変換することにより得られた対応領域と、の対比により、前記第2のパターン画像と前記撮像画像との対応点を探索する探索手段と、を備え、

前記対応領域は、前記第2のパターン画像が投影された状態を撮像した撮像画像における対応画素の周囲に、当該対応画素について前記写像に基づいて前記周囲の近傍画素の位置が変換されて配置された領域であることを特徴とする情報処理装置。

【請求項 2】

前記探索手段は、前記対応領域の点に対応するエピポーラ線に沿って前記注目領域を探索することを特徴とする請求項1に記載の情報処理装置。

【請求項 3】

前記探索手段は、前記算出手段により算出された写像を初期値として、前記対応画素の更新に応じて写像を更新することを特徴とする請求項1に記載の情報処理装置。

【請求項 4】

前記第1のパターン画像が投影された状態を撮像した撮像画像と、前記第2のパターン

画像が投影された状態を撮像した撮像画像を、別々の撮像画像として取得する取得手段を更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 5】

前記第 1 のパターン画像と前記第 2 のパターン画像とを混合したパターン画像が投影された状態を撮像した撮像画像を取得する取得手段を更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 6】

前記第 2 のパターン画像は、非周期的なパターンを有することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 7】

前記第 1 のパターン画像は、階調または色調が異なる、既知の幾何形状が並んでいる画像であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 8】

前記第 1 のパターン画像は、前記幾何形状が規則的に並んでいるパターン画像であることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 9】

前記探索手段により探索された前記対応点に基づいて、対象物体の表面の三次元座標を算出する座標算出手段を更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 10】

投影手段をさらに備えることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 11】

撮像手段をさらに備えることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 12】

情報処理装置の制御方法であって、

既知の幾何形状を少なくとも一つ以上有する第 1 のパターン画像が投影された状態を撮像した撮像画像において、前記第 1 のパターン画像における前記幾何形状に対応する領域の、前記幾何形状からの幾何学的な歪みを表す写像を算出する工程と、

第 2 のパターン画像における注目画素とその周囲の近傍画素から構成される注目領域と、前記第 2 のパターン画像が投影された状態を撮像した撮像画像における領域を前記写像に基づいて変換することにより得られた対応領域と、の対比により、前記第 2 のパターン画像と前記撮像画像との対応点を探索する探索工程と、を有し、

前記対応領域は、前記第 2 のパターン画像が投影された状態を撮像した撮像画像における対応画素の周囲に、当該対応画素について前記写像に基づいて前記周囲の近傍画素の位置が変換されて配置された領域であることを特徴とする情報処理装置の制御方法。

【請求項 13】

コンピュータに、請求項 12 に記載の情報処理装置の制御方法の各工程を実行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、撮像画像に基づいて物体の三次元形状を求める技術に関する。

【背景技術】

【0002】

プロジェクタから対象物体にパターン光を投影し、その反射光をカメラによって観測することで、対象物体面上における投影座標と撮像座標の対応関係を取得する技術は、アクティブステレオによる三次元計測に必要な技術として知られている。アクティブステレオの手法の一つに非周期的なパターン画像（ランダムドットなど）を投影した対象物体を力

10

20

30

40

50

メラで撮像し、パターン画像と撮像画像との間で対応画素を探索することにより、投影座標と撮像座標の対応関係を求めるという手法がある。このような対応画素の探索では、パターン画像と撮像画像との間で、注目画素とその近傍画素（以降、窓）の輝度差などの値が所定の条件（最小、極小など）を満たす画素を探索（以降、対応点探索）することが行われる。

【0003】

対応点探索では、正方形の窓を用いて対応点を探索するのが一般的である。しかし、投影されたパターン画像は、対象物体の形状やカメラの視点位置姿勢などによって変形するため、撮像画像から見たパターン画像は歪んでしまう。一般的な対応点探索ではこのような歪みが考慮されないため、対応点の探索の精度が低くなるという問題がある。また、プロジェクトとカメラの基線長が長いほどパターン画像と撮像画像との間の歪みは大きくなるため、投影されたパターン画像の歪みはより重大な問題となる。10

【0004】

このような問題を解決するために、歪みを考慮し対応点を探索する手法として、非特許文献1では対応点だけでなく対象物体の法線に相当するパラメタも同時推定する手法が用いられている。特許部件1によれば、対象物体の法線パラメタに応じて窓を歪ませた上で輝度差などの値を計算することで、高精度に投影座標と撮像座標の対応関係を求めることができます。20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】Michael Bleyer et al., Patch Match Stereo - Stereo Matching with Slanted Support Windows, British Machine Vision Conference 2011.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、非特許文献1の手法では対応点だけでなく、窓の歪み方も同時に推定しているため、推定するパラメタが増え、探索範囲が膨大になる。したがって、計算コストが高くなるという問題がある。30

【0007】

本発明は上記問題に鑑みてなされたものであり、計算コストを抑えつつ、高精度に三次元形状を計測できる装置及び方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するための本発明の一態様による情報処理装置は、以下の構成を備える。すなわち、

既知の幾何形状を少なくとも一つ以上有する第1のパターン画像が投影された状態を撮像した撮像画像において、前記第1のパターン画像における前記幾何形状に対応する領域の、前記幾何形状からの幾何学的な歪みを表す写像を算出する算出手段と、

第2のパターン画像における注目画素とその周囲の近傍画素から構成される注目領域と、前記第2のパターン画像が投影された状態を撮像した撮像画像における領域を前記写像に基づいて変換することにより得られた対応領域と、の対比により、前記第2のパターン画像と前記撮像画像との対応点を探索する探索手段と、を備え。40

前記対応領域は、前記第2のパターン画像が投影された状態を撮像した撮像画像における対応画素の周囲に、当該対応画素について前記写像に基づいて前記周囲の近傍画素の位置が変換されて配置された領域である。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、撮像画像上でパターン画像が歪んで見えてしまう場合でも、低い計算コストで高精度に三次元形状を計測できる。50

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】第1の実施形態の情報処理装置の構成例を示すブロック図。

【図2】第1の実施形態で用いる窓形状算出用パターン画像と対応点探索用パターン画像を示す図。

【図3】第1の実施形態で用いる窓形状算出用パターン画像を球に投影した例を示す図。

【図4】第1の実施形態で用いる窓形状算出用パターン画像の正方形を撮像画像中から検出する処理を説明する図。

【図5】第1の実施形態の歪み算出部の写像パラメタを算出する処理を説明する図。

【図6】第1の実施形態の対応探索部の処理を説明する図。 10

【図7】第1の実施形態の情報処理装置による計測処理を説明するフローチャート。

【図8】変形例1で用いる窓形状算出用パターン画像と対応点探索用パターン画像とを混合したパターン画像を示す図。

【図9】変形例2で用いる窓形状算出用パターン画像を示す図。

【図10】第2の実施形態の情報処理装置の構成例を示すブロック図。

【図11】第2の実施形態の情報処理装置による計測処理を説明するフローチャート。

【図12】情報処理装置のハードウェア構成例を示すブロック図。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明にかかる実施形態について、添付の図面を参照して詳細に説明する。 20

【0012】

<第1の実施形態>

第1の実施形態において説明する情報処理装置は、対象物体にパターン光を投影し、その反射光を観測することで対象物体の三次元形状を計測する三次元計測器である。パターン光の投影とは、所定のパターン画像を投影することである。第1の実施形態では、撮像画像上のパターン画像の歪みを算出するための第1のパターン画像と、投影座標と撮像座標の対応関係を求めるための第2のパターン画像の二種類のパターン画像が用いられる。以下では、第1のパターン画像を窓形状算出用パターン画像、第2のパターン画像を対応点探索用パターン画像と称する。第1の実施形態の情報処理装置は、窓形状算出用パターン画像を投影した状態で撮像された撮像画像から歪みを検出し、検出された歪が考慮された窓と対応点探索用パターン画像を利用して対応点探索を行うことにより高精度な三次元座標を算出する。 30

【0013】

[装置の構成]

図1は、第1の実施形態の情報処理装置100を備える三次元計測装置1000の構成例を示すブロック図である。投影装置1は、窓形状算出用パターン画像と対応点探索用パターン画像を対象物体に投影する。これらのパターン光は、対象物体の表面で反射し、撮像装置2によって撮像される。撮像装置2が撮像した画像(撮像画像)は、情報処理装置100に送られる。情報処理装置100は、撮像装置2からの撮像画像に基づいて対象物体の三次元座標を算出する。また、情報処理装置100は、投影装置1および撮像装置2の動作を制御する。投影装置1と撮像装置2はお互いの座標系を一致させるための校正が予め行われており、校正データが情報処理装置100内に保存されている。 40

【0014】

情報処理装置100は、投影制御部101、画像入力部102、歪み算出部103、対応探索部104、座標算出部105を備える。投影制御部101は、投影装置1を制御し、窓形状算出用パターン画像と対応点探索用パターン画像を順番に投影させるとともに、画像入力部102に制御信号を出力する。画像入力部102は、投影制御部101から入力された制御信号のタイミングに合わせて撮像装置2を制御し、各パターン画像が投影された状態で撮像された撮像画像を受け取る。また、画像入力部102は、窓形状算出用パターン画像が投影された状態で得られた撮像画像を歪み算出部103に出力し、対応点探 50

索用パターン画像が投影された状態で得られた撮像画像を対応探索部 104 に出力する。

【0015】

歪み算出部 103 は、窓形状算出用パターン画像と画像入力部 102 から入力された撮像画像とを比較して撮像画像中の各画素がどのように写像されているか(歪み)を表す歪みパラメタを算出し、対応探索部 104 に出力する。対応探索部 104 は、歪み算出部 103 から入力された歪みパラメタに基づいて画像入力部 102 から入力された撮像画像に歪みを考慮した窓を生成し、対応点探索用パターン画像と撮像画像との間で対応点探索を行う。対応探索部 104 は、得られた投影装置 1 の投影座標と撮像装置 2 の撮像座標との対応関係を座標算出部 105 に出力する。座標算出部 105 は、対応探索部 104 から入力された投影座標と画像座標の対応関係と、予め求められた投影装置 1 と撮像装置 2 の校正データとにに基づいて、対象物体の表面の三次元座標を算出する。

【0016】

図 12 は、図 1 に示した各機能部を実現する情報処理装置 100 のハードウェア構成例を示す図である。図 12において、CPU 161 は 1つまたは複数のコンピュータ(プロセッサー)を含み、ROM 162 または RAM 163 に格納されたプログラムを実行することで、情報処理装置 100 の各種処理を実行する。ROM 162 は読み出し専用の不揮発性メモリであり、RAM 163 は随時書き込みが可能な揮発性メモリである。RAM 163 は CPU 161 の作業メモリとしても機能する。二次記憶装置 164 は、例えばハードディスクなどで構成される。二次記憶装置 164 には、プログラム 171、パターン画像 172、校正データ 173 が格納されている。プログラム 171 は、例えば図 7 のフローチャートにより後述する処理を CPU 161 に実行させるためのプログラムを含む。パターン画像 172 は、たとえば、窓形状算出用パターン画像と対応点探索用パターン画像を含む。校正データは、投影装置 1 と撮像装置 2 はお互いの座標系を一致させるためのデータである。表示部 165 は、CPU 161 の制御下で各種表示を行う。キーボード 166、ポインティングデバイス 167 はユーザからの指示を受け付けるための指示入力部である。インターフェース 168 は、投影装置 1 と撮像装置 2 を情報処理装置 100 と接続する。上述した各構成は、バス 169 と接続される。図 1 に示した各機能部は CPU 161 がプログラムを実行することにより実現されてもよいし、専用のハードウェアにより実現されてもよい。

【0017】

[計測処理]

図 7 のフローチャートにより第 1 の実施形態の情報処理装置 100 による計測処理を説明する。

【0018】

三次元計測装置 1000 が起動されると、ステップ S11 において初期化処理が実行される。初期化処理には、投影装置 1 や撮像装置 2 の起動、投影装置 1 と撮像装置 2 の校正データを作業メモリに読み込む処理、窓形状算出用パターン画像と対応点探索用パターン画像を作業メモリに読み込む処理などが含まれる。

【0019】

ステップ S12 では、投影制御部 101 が、投影装置 1 に窓形状算出用パターン画像を投影させるとともに、画像入力部 102 に制御信号を送る。本実施形態で用いられる窓形状算出用パターン画像は、図 2(a) に示されるように、正方形が規則的に並んだパターンである。図 2(a)において、パターン画像における白部分 11 は光を投影することを表しており、黒部分 12 は光を投影しないことを表している。投影制御部 101 からの制御信号の受信に応じて、画像入力部 102 は、撮像装置 2 に撮像を実行させ、撮像画像を入力する。こうして入力された撮像画像は、窓形状算出用パターン画像が投影された状態で撮像された画像である。画像入力部 102 は、撮像装置 2 から入力された撮像画像を歪み算出部 103 に出力する。

【0020】

ステップ S13 では、投影制御部 101 が、投影装置 1 に対応点探索用パターン画像を

10

20

30

40

50

投影させるとともに、画像入力部 102 に制御信号を送る。本実施形態で用いられる対応点探索用パターン画像は、たとえば、図 2 (b) に示すように、ドットがランダムに並んだ非周期的な画像である。対応点探索用パターン画像は、同じ特徴を持つ局所領域が一つの探索方向に 2 つ以上現れない画像であることが望ましい。投影制御部 101 からの制御信号の受信に応じて、画像入力部 102 は、撮像装置 2 に画像を撮像させる。こうして、画像入力部 102 は、対象物体に対応点探索用パターン画像が投影された状態で撮像された撮像画像を撮像装置 2 から入力し、対応探索部 104 に出力する。

【 0021 】

ステップ S14 では、歪み算出部 103 が、画像入力部 102 から入力された撮像画像から窓形状算出用パターン画像における正方形に対応する領域を検出し、検出した領域が正方形と比較してどのように写像されているか(歪み)をパラメタ化する。歪みとは、窓形状算出用パターン画像における局所領域(本例では正方形の領域)が撮像画像中において平行四辺形などに歪むことを指している。例えば、図 2 (a) に示した窓形状算出用パターン画像を投影装置 1 により球に投影し、撮像装置 2 により撮像すると、図 3 (b) に示すような撮像画像が得られる。この撮像画像を拡大して見ると、図 3 (a) のようにパターン画像が歪んでいることが分かる。

【 0022 】

このような、撮像画像における、窓形状算出用パターン画像の局所領域に対応する領域の幾何学的な歪みをパラメタ化するため、歪み算出部 103 は、まず撮像画像(図 4 (a))から窓形状算出用パターン画像における白線を検出する。例えば、歪み算出部 103 は、撮像画像の輝度に応じて線上画素(の候補画素)かどうかの二値を判定し、およそ縦方向、横方向に連続する候補画素の集合を縦線、横線として検出する(図 4 (b) の線 2 1)。そして、歪み算出部 103 は、隣り合う縦方向の二線と横方向の二線で囲まれる領域を、窓形状算出用パターン画像中の正方領域に対応する領域(図 4 (c) の領域 23)として検出する。例えば、歪み算出部 103 は、縦線にも横線にも含まれている点を線の交点(図 4 (b) の交点 22)として求め、縦方向、横方向に隣り合う交点が同一の縦線、横線上にあるかどうかを判定する。歪み算出部 103 は、隣り合う交点が同一の縦線、横線上にあると判定された交点により囲まれた領域を、窓形状算出用パターン画像中の正方形に対応する領域として検出する。

【 0023 】

次に、歪み算出部 103 は、窓形状算出用パターン画像中の正方形に対応する、撮像画像中のすべての領域の歪みをパラメタ化する。パラメタ化する方法は様々ありどのような表現が用いられてもよい。例えば、2 次元の線形変換としてパラメタ化する方法が挙げられる。変換前の座標を(u , v)、変換後の座標を(x , y)とすると 2 次元の線形変換は次の数式に示す式で表わされる。

【 数 1 】

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = f \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}$$

【 0024 】

数 1 において、f は写像を表し、a , b , c , d は f を表現する線形変換を示すパラメタである。窓形状算出用パターン画像中の正方形と撮像画像から検出した領域との対応関係からこれらのパラメタを求める。一つの点(図 5 における(0 , 0))を基準とすれば点または線分の対応関係(図 5 における(0 , 1)と(x1 , y1)、(1 , 1)と(x2 , y2)、(1 , 0)と(x3 , y3))が得られる。この対応関係から解析的にパラメタを求めてよいし、最小二乗法のような方法で最適なパラメタ求めてよい。検出した領域内の画素はこのようにして求めたパラメタでパターン画像が歪んでいるものとする。

【 0025 】

一連の処理を撮像画像中のすべての領域で行うことで、撮像画像の各画素について写像 f が決定される。窓形状算出用パターン画像中の正方形に対応する撮像画像中の領域が検

10

20

30

40

50

出されない、できない領域が発生する場合もあるが、そのような領域では写像 f を単位行列としてもよいし、近傍画素における写像 f の線形和をとるなどして補間してもよい。歪み算出部 103 は、求めた歪みパラメタ（画素ごとの f ）を対応探索部 104 に出力する。

【0026】

ステップ S15 では、対応探索部 104 が、歪み算出部 103 から入力された歪みパラメタに基づき窓を生成し、対応点探索用パターン画像と画像入力部 102 から入力された撮像画像との間で対応点探索を行う。対応点探索では、対応点探索用パターン画像と撮像画像との間で注目画素とその近傍画素（例えば、注目画素の周囲 8 画素）における輝度差などに基づいたコストが条件を満たす（最小、極小など）点をエピポーラ方向に探索し、対応点を求める。一般的には互いに正方形の窓を注目領域としてコストを計算するが、本実施形態ではパターン画像が投影されている画素に対してパターン画像の歪み f を考慮したコスト計算を行い、対応点を探索する。対応点探索用パターン画像の輝度を I 、撮像画像の輝度を J 、注目画素を p 、注目画素 p の近傍画素を q 、注目画素 p と近傍画素 q の集合を W_p 、注目画素 p に対応する画素を r 、対応画素 r における写像を f_r とする。対応領域は、対応点探索用パターン画像の投影を含む撮像画像において、対応画素 r の周囲に、当該対応画素 r について算出された写像 f_r に基づいて周囲の近傍画素の位置が変換されて配置された領域である。対応領域と注目領域の間のコストを算出するためのコスト関数 C は、例えば次のように設定される。

【数2】

$$C(p, r) = \sum_{q \in W_p} |I(q) - J(f_r(q - p) + r)|$$

【0027】

パターン画像の歪み方を考慮した対応点探索の例を図 6 に示す。図 6 (a) に示される対応点探索用パターン画像における白丸 31 は注目画素 p 、白枠 32 は注目画素 p とその近傍画素が形成される注目領域（窓）、白線 33 はエピポーラ線である。図 6 (b) に示される撮像画像における白丸 34 は対応画素 r である。白枠 35 は、対応画素 r における写像 (f_r) により示される歪みを考慮した対応領域（窓）であり、対応画素 r とその近傍画素で形成される。対応点探索では、エピポーラ線（白線 33）に沿って注目画素 p （白丸 31）を動かし、注目画素 p の各位置において注目領域と対応領域とを対比する。注目領域と対応領域について数 2 のコスト関数により算出されるコストが所定の条件を満たす（最小、極小など）注目画素 p を対応点として求める。撮像画像上に歪みを考慮した窓を生成することで、参照画素がサブピクセル値を取る場合があるが、そのような場合にはバイリニア補間をするなどして輝度を求め、コストを計算すればよい。この処理を撮像画像上のすべての画素において行うことで、対応点（ p と r のペア）が画素数分だけ得られる。得られたすべての投影座標と撮像座標の対応関係（画素数分の p と r のペア）を座標算出部 105 に出力する。

【0028】

ステップ S16 では、座標算出部 105 が、対応探索部 104 から入力された投影座標と撮像座標との対応関係と予め求められた投影装置 1 と撮像装置 2 の校正データから、三角測量を行う。こうして、対象物体の表面の三次元座標（対応点数分の（X, Y, Z）座標）を算出し、処理を終了する。

【0029】

なお、ステップの順は必ずしも図 7 のフローチャートに示した順である必要はなく、適宜入れ替えてよいし、並列処理してもよい。

【0030】

以上のように、第 1 の実施形態によれば、投影パターン画像が撮像画像中でどのように歪むかを考慮して窓を生成し、対応点探索を行うことにより、三次元座標を高精度に算出することができる。

10

20

30

40

50

【0031】**[変形例1]**

上記実施形態では、ステップS12で窓形状算出用パターン画像を投影し、ステップS13において対応点探索用パターン画像を投影し、これらパターン画像の投影を含む撮像画像が別々に取得されるが、これに限られるものではない。たとえば、図8に示すように窓形状算出用パターン画像(図8(a))と対応点探索用パターン画像(図8(b))を混合したパターン画像(図8(c))を投影し、これを撮像して歪みを示すパラメタの取得と対応点の探索に用いるようにしてもよい。あるいは、各パターン画像を投影する光の波長を変え、それら波長に対応した撮像装置を用いることで、これらパターン画像を同時に投影するようにしてもよい。たとえば、第1の波長の光(例えば赤色)で窓形状算出用パターンを投影するとともに、第2の波長の光(例えば緑色)で対応点探索用パターンを投影した状態で、カラー画像の撮像を行う。得られた撮像画像から赤色の線を検出することで歪みを示すパラメタを算出し、緑色の点を検出して探索の対象とする。以上のように、変形例1の構成によれば、一度の投影、撮像で計測が可能となるため、動きのある対象物体であっても、三次元座標を高精度に算出することができる。10

【0032】**[変形例2]**

ステップS12やステップS13において投影されるパターン画像の一例として図2を示したが、パターン画像はこれらに限られるものではない。特に窓形状算出用パターン画像は、図2に示したように既知の幾何形状(正方形)が規則的に並んでいる必要はなく、既知の幾何形状が少なくとも一つ以上あればよい。例えば図9に示すように、異なる種類の既知の幾何形状として正三角形41と正方形42が並んでいるようなパターン画像でもよい。ただし、歪みパラメタを各画素において求めるため、窓形状算出用パターン画像中に既知形状がまんべんなく存在していることが望ましい。20

【0033】

なお、歪みパラメタを求めるため、撮像画像から既知の幾何形状(以下、既知形状ともにう)を検出する必要がある。例えば、既知形状の検出には、

- ・撮像画像にSobelフィルタといったエッジ検出フィルタを適用し手エッジを検出し、連結して一周しているエッジを既知形状として検出する方法、
- ・既知形状をテンプレートとして、LBP(Local Binary Pattern)やSIFT(Scale-Invariant Feature Transform)といった画像特徴量を用いてマッチングを取ることで既知形状を検出する方法、が挙げられる。30

【0034】

なお、異なる複数種類の既知形状を、窓形状算出用パターン画像における分割領域に種類ごとに存在させることにより、対応探索部104は、各画素の歪みパラメタとともに各画素がパターン画像中のおよそどの部分と対応しているかを把握できる。例えば、図9の場合、撮像画像中の正三角形41はパターン画像の上部、正方形42はパターン画像の下部と対応している。そのため、対応探索部104は、正三角形41内の画素であれば撮像画像の上部に、正方形42内の画素であれば撮像画像の下部に存在していることを把握できる。その結果、対応探索部104は、たとえば、図6(a)に示した探索範囲をエビボーラ線の上半分などのように限定することができ、三次元座標を高速、高精度に算出することができる。40

【0035】**[変形例3]**

ステップS12やステップS13において、投影するパターン画像は二値に限る必要はなく、階調や色調を持たせたパターン画像でもよい。たとえば、窓形状算出用パターンとして、階調や色調が異なる、既知の幾何形状が並んでいる画像を用いることができる。階調や色調が異なる複数の既知の幾何形状を撮像画像における輝度や色相などを特徴として検出すればよい。このようにすることで、変形例2と同様に、各画素の歪みパラメタとともにパターン画像中のおよそどの部分と対応しているかが分かるため、対応探索部10450

の探索範囲を限定することができる。したがって、三次元座標を高速、高精度に算出することができる。

【0036】

[変形例4]

ステップS15では、ステップS14で求められた歪みパラメタを初期値として、非特許文献1と同様に対応点と窓の歪み方を同時に推定してもよい(数2におけるfrに相当するパラメタも同時に推定する)。すなわち、対応探索部104は、歪み算出部103により算出された写像を初期値として、対応画素rの更新に応じて写像frを更新する。この際、第1の実施形態のように、窓算出用パターン画像の局所領域に対応する、対応点探索用パターン画像の領域内の全探索により写像を探索してもよいし、Graph Cut、Belief Propagation、PatchMatchといったアルゴリズムを用いて写像を探索してもよい。このようにすることで、ある程度正しい歪みパラメタを初期値とすることができますため、写像の探索コストを抑えることができる。したがって、三次元座標を高速、高精度に算出することができる。

10

【0037】

<第2の実施形態>

第1の実施形態では投影装置と撮像装置が1台ずつの構成だったが、第2の実施形態では、対象物体にパターン光を投影し、その反射光を2台の撮像装置によって観測することで対象物体の三次元形状を計測する構成を説明する。第2の実施形態の情報処理装置は、窓形状算出用パターン画像から算出した歪みを考慮した窓を生成し、2台の撮像装置から得られた撮像画像間の対応点探索を行うことで高精度な三次元座標を算出する。2台の撮像装置を用いることで、投影したパターン画像がボケる、相互反射などでパターン画像が崩れる、といった光学的な影響による精度の低下を抑えることができる。

20

【0038】

[装置の構成]

図10は、第2の実施形態の情報処理装置100を備える三次元計測装置1000の構成例を示すブロック図である。第1の実施形態とは、撮像装置が1台追加され、第1の撮像装置2と第2の撮像装置3を有している点が異なる。第1の撮像装置2と第2の撮像装置3は、投影装置1によりパターン画像が投影された状態で、異なる位置から撮像を行う。なお、投影装置1、第1の撮像装置2、第2の撮像装置3は各々の座標系を一致させるための校正が予め行われており、校正データが情報処理装置100内に保存されている。なお、情報処理装置100のハードウェア構成は第1の実施形態(図12)と同様である。

30

【0039】

情報処理装置100は、投影制御部101、画像入力部102、歪み算出部103、対応探索部104、座標算出部105を備える。投影制御部101は、投影装置1を制御して、窓形状算出用パターン画像と対応点探索用パターン画像を混合したパターン画像(以下、混合パターン画像)を投影させるとともに、画像入力部102に制御信号を出力する。混合パターン画像の一例を図8(c)に示す。なお、第1実施形態と同様に、窓形状算出用パターン画像(図8(a))と対応点探索用パターン画像(図8(b))を順次に個別に投影し、撮像するようにしてもよい。画像入力部102は、投影制御部101から入力された制御信号のタイミングに合わせて、第1の撮像装置2、および、第2の撮像装置3を制御し、撮像を実行させ、それぞれから混合パターン画像が投影された撮像画像を受け取る。画像入力部102は、混合パターン画像が投影された2枚の撮像画像を歪み算出部103に出力する。

40

【0040】

歪み算出部103は、混合パターン画像内に含まれる窓形状算出用パターン画像と画像入力部102から入力された2枚の撮像画像とに基づいて、それぞれの撮像画像中の各画素がどのように写像されているかを示す歪みパラメタを算出する。歪み算出部103は、算出された2枚の撮像画像の歪みパラメタを対応探索部104に出力する。対応探索部1

50

0 4 は、歪み算出部 1 0 3 から入力された歪みパラメタに基づき、歪みを考慮した窓を生成し、画像入力部 1 0 2 から入力された 2 枚の撮像画像同士の間で対応点探索を行う。対応探索部 1 0 4 は、対応点探索により得られた、第 1 の撮像装置 2 の撮像座標と第 2 の撮像装置 3 の撮像座標との関係を、座標算出部 1 0 5 に出力する。座標算出部 1 0 5 は、対応探索部 1 0 4 から入力された撮像座標の対応関係と予め求められた第 1 の撮像装置 2 と第 2 の撮像装置 3 の校正データから、三次元座標を算出する。

【 0 0 4 1 】

[計測処理]

図 1 1 のフローチャートにより第 2 の実施形態の情報処理装置 1 0 0 による計測処理を説明する。

10

【 0 0 4 2 】

三次元計測装置 2 0 0 0 が起動されると、ステップ S 2 1 において初期化処理が実行される。初期化処理には、投影装置 1 、第 1 の撮像装置 2 と第 2 の撮像装置 3 の起動処理、投影装置 1 、第 1 の撮像装置 2 、および、第 2 の撮像装置 3 の校正データを作業メモリに読み込む処理、混合パターン画像を読み込む処理などが含まれる。

【 0 0 4 3 】

ステップ S 2 2 では、投影制御部 1 0 1 が、投影装置 1 に混合パターン画像を投影させるとともに、画像入力部 1 0 2 に制御信号を送る。制御信号を受けた画像入力部 1 0 2 は、第 1 の撮像装置 2 と第 2 の撮像装置 3 に、対象物体に混合パターン画像が投影された画像を撮像させる。画像入力部 1 0 2 は、入力された 2 枚の撮像画像を歪み算出部 1 0 3 に出力する。

20

【 0 0 4 4 】

ステップ S 2 3 では、歪み算出部 1 0 3 が、画像入力部 1 0 2 から入力された 2 枚の撮像画像のそれぞれについて、窓形状算出用パターン画像における正方形の領域が、撮像画像へどのように写像されているかを示す歪みパラメタを算出する。歪みパラメタを求める処理は第 1 の実施形態 (S 1 4) と同様である。求めたそれぞれの歪みパラメタ (画素ごとの f) と 2 枚の撮像画像を対応探索部 1 0 4 に出力する。

【 0 0 4 5 】

ステップ S 2 4 では、対応探索部 1 0 4 が、歪み算出部 1 0 3 から入力された歪みパラメタに基づき、2 枚の撮像画像のそれぞれにおいて窓を生成し、2 枚の撮像画像同士の間で対応点探索を行う。第 1 の実施形態と同様、対応点探索用パターン画像が投影されている画素に対してパターン画像の歪み f を考慮したコスト計算を行い、対応点を探索する。第 1 の撮像装置 2 の撮像画像の輝度を I 、第 2 の撮像装置 3 の撮像画像の輝度を J 、注目画素を p 、注目画素 p における写像を f p 、注目画素 p の近傍画素を q (例えば、注目画素 p の周囲 8 画素) 、注目画素 p と近傍画素 q の集合を W p とする。また、注目画素 p に対応する画素を r 、対応画素 r における写像を f r とする。例えばコスト関数 C は次の数 3 により算出される。

30

【 数 3 】

$$C(p, r) = \sum_{q \in W_p} |I(q) - J(f_r f_p^{-1}(p - q) + r)|$$

40

【 0 0 4 6 】

コスト関数を用いた対応点探索処理は第 1 の実施形態と同様である。すなわち、対応探索部 1 0 4 は、エピポーラ線に沿って注目画素を動かし、数 3 のコスト関数が所定条件を満たす (最小、極小など) 注目画素 p を求める。このように、2 つの撮像画像について対応点の探索を行うと、ボケや相互反射が起きてパターン画像が崩れてしまっても撮像画像同士では同様の見えとなるため、好適に対応点探索を行うことができる。対応探索部 1 0 4 は、得られたすべての撮像座標同士の対応関係 (画素数分の p と r のペア) を座標算出部 1 0 5 に出力する。

【 0 0 4 7 】

50

ステップS25では、座標算出部105が、対応探索部104から入力された撮像座標同士の対応関係と、第1の撮像装置2と第2の撮像装置3の予め求められた校正データとから、三角測量により三次元座標（対応点数分の（X，Y，Z）座標）を算出する。そして本処理を終了する。

【0048】

以上のように第2の実施形態によれば、投影パターン画像がそれぞれの撮像画像中でどのように歪むかを考慮して窓を生成し、対応点探索がる。また、第2の実施形態によれば、2台の撮像装置を利用することで、ボケや相互反射などの光学的な影響による精度の低下が抑えられるため、三次元座標を高精度に算出することができる。

【0049】

10

[変形例5]

ステップS24において、第1の撮像装置2と第2の撮像装置3の対応関係だけでなく、第1の実施形態のように、投影装置と第1の撮像装置2、投影装置と第2の撮像装置3の対応関係を求めてよい。このようにすることで、遮蔽などによって三次元座標を計測できない部分を減らすことができる。

【0050】

[変形例6]

第2の実施形態では投影装置を1台、撮像装置を2台としたが、投影装置および撮像装置の第数はこれに限られるものではなく、投影装置と撮像装置が各々何台あってもよい。ステップS23では、投影装置、撮像装置それぞれペアを決めて歪みを求めるべき。また、ステップS24では、それぞれペアのコストを計算して対応関係を求めてよいし、Multi-view Stereoのようにすべてのコストを統合して対応関係を求めてよい。このようにすることで、遮蔽などによって計測できない部分を減らし、より確実に対象物体全体を計測することができる。

20

【0051】

<実施形態の効果>

第1の実施形態によれば、投影パターン画像が撮像画像中でどのように歪むかを考慮して窓を生成し、対応点探索を行うことにより、三次元座標を高精度に算出することができる。

第2の実施形態によれば、第1の実施形態の効果に加え、2台のカメラを利用してることで、ボケや相互反射などの光学的な影響による精度の低下を抑えることにより、三次元座標を高精度に算出することができる。

30

【0052】

<定義>

投影制御部101が持つパターン画像は、第1の実施形態や変形例1、2、3で説明したように、歪みを考慮した窓形状を生成し対応点探索を行うことができれば、どのようなパターン画像でもよい。

また、対応探索部104は、第1の実施形態や変形例4で説明したように、対応点を求めることがければ、どのようなアルゴリズムを用いてもよい。

【0053】

40

また、投影装置1や撮像装置2は第2の実施形態や変形例6で説明したように、それぞれ1台に限る必要はなく、複数台あってもよい。

【0054】

(その他の実施例)

本発明は、上述の実施形態の1以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける1つ以上のプロセッサーがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1以上の機能を実現する回路（例えば、ASIC）によっても実現可能である。

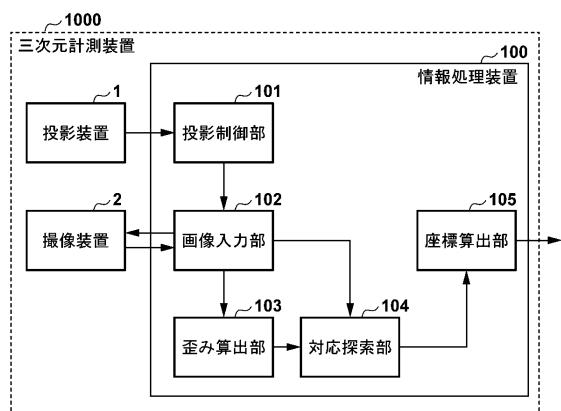
【符号の説明】

【0055】

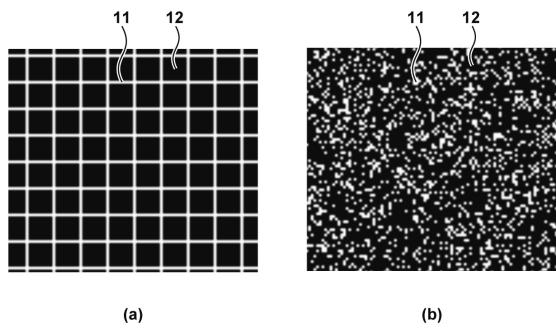
50

1 0 0 0 : 三次元計測装置、1 : 投影装置、2 : 撮像装置、1 0 0 : 情報処理装置、1 0 1 : 投影制御部、1 0 2 : 画像入力部、1 0 3 : 歪み算出部、1 0 4 : 対応探索部、1 0 5 : 座標算出部

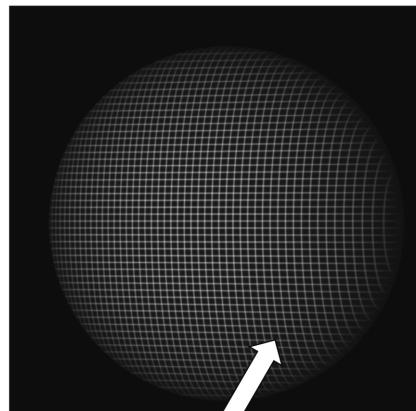
【図 1】



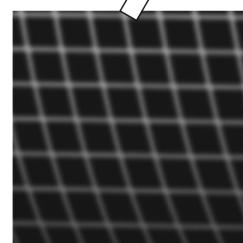
【図 2】



【図 3】

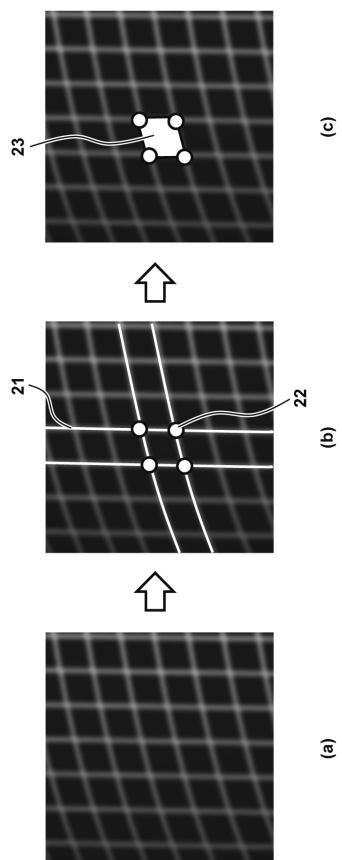


(b)

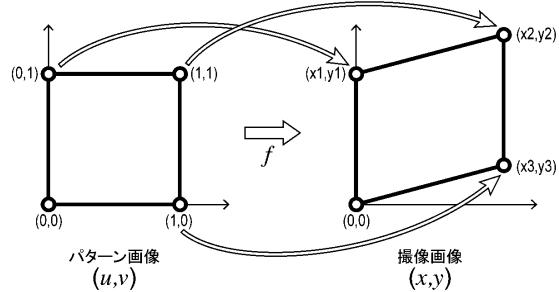


(a)

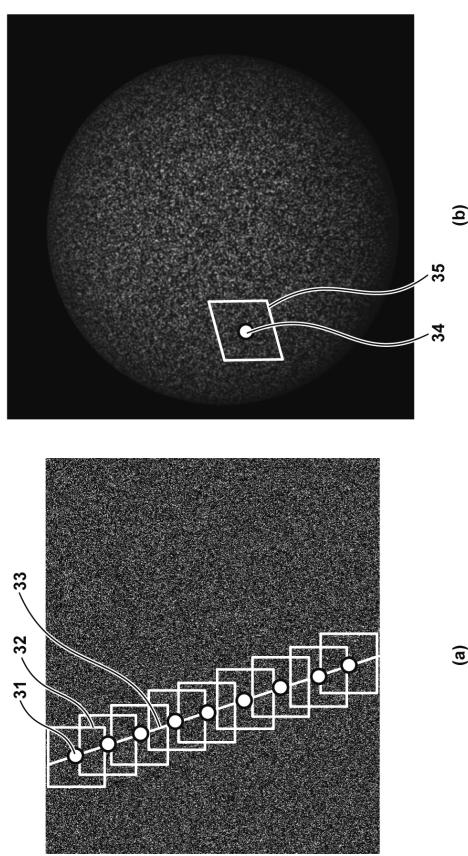
【図4】



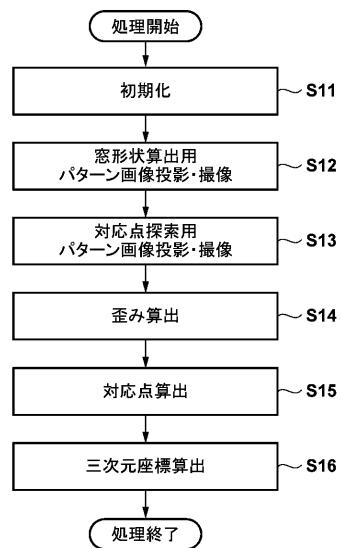
【図5】



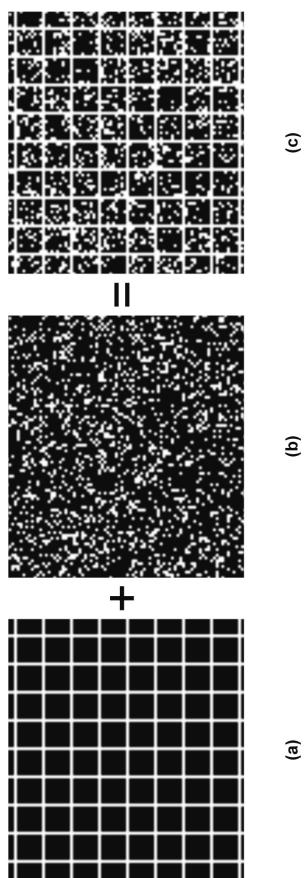
【図6】



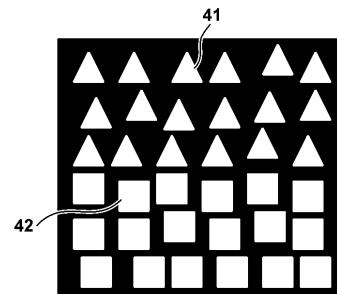
【図7】



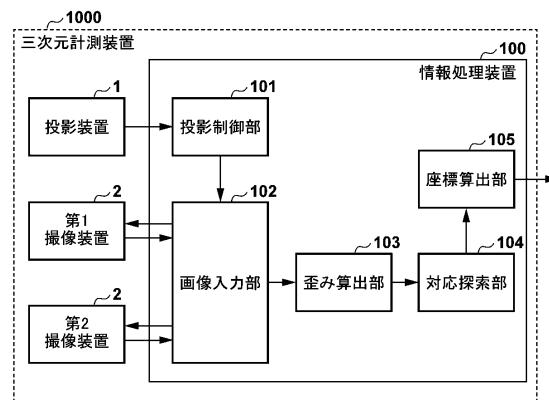
【図8】



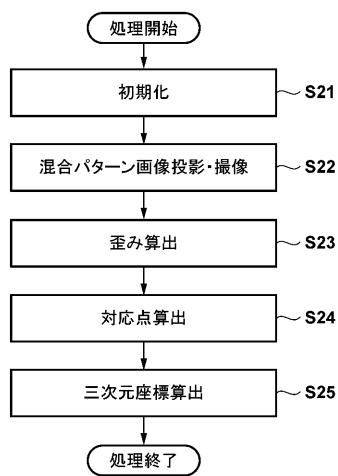
【図9】



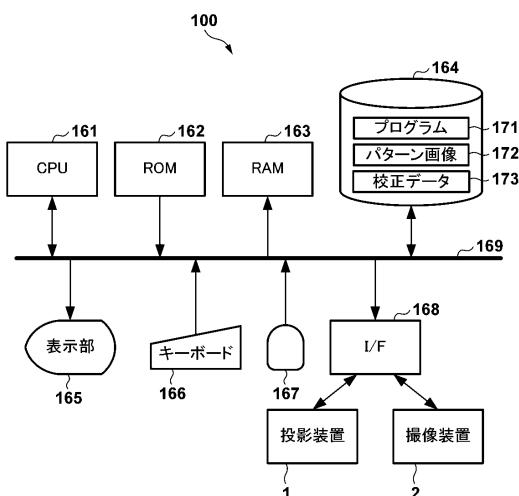
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 6 T	1 / 0 0	-	7 / 9 0
G 0 1 B	1 1 / 0 0	-	1 1 / 3 0