

明 細 書

発明の名称：

画像処理装置、画像処理方法、及びコンピュータ読み取り可能な記録媒体 技術分野

[0001] 本発明は、複数の画像からの３次元形状の構築を可能にするための、画像処理装置、及び画像処理方法に関し、更には、これらを実現するためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体に関する。

背景技術

[0002] 近年、画像に写っている対象の３次元形状を構築する技術が注目されている。このような技術の代表例としては、S f M (Structure from Motion) が知られている。S f Mでは、特定の対象をカメラの視点を変えながら複数回撮影が行われ、得られた複数枚の画像から、特定の対象の３次元形状が再構築される。

[0003] 具体的には、まず、S f Mでは、画像毎に、その特徴量（例えば、SIFT特徴量、SURF特徴量）が計算され、画像の拡大縮小、回転、及び照度変化に強いロバストネスな特徴点が抽出される。次に、画像間で、抽出した特徴点のマッチングが実行され、一致する特徴点のペアが抽出される。次に、例えば、ロバスト推定 (Robust Estimation) によって、特徴点ペアの幾何学的な関係が計算され、誤った特徴点ペアが除外される。

[0004] その後、幾つかの特徴点ペア毎に、これらの幾何学的な関係に基づいて、Fundamental行列が算出され、算出された各Fundamental行列間での差が最も少なくなるように、特徴点ペア毎の幾何学的な関係が調整される。そして、調整後の幾何学的な関係に基づいて、３次元形状（点群）が再構築される。なお、この時の誤差の調整方法としては、Bundle Adjustmentと呼ばれる処理手法が挙げられる。

[0005] ところで、上述のS f Mでは、特徴点間のマッチングに間違いが発生する場合があり、この場合、異なる特徴点間で特徴点ペアが抽出されてしまい、

復元される３次元形状の精度が低下してしまう。このため、特許文献１及び特許文献２は、対応する特徴点の位置を補正するシステムを開示している。

[0006] 具体的には、特許文献１に開示されたシステムは、まず、同一の対象物を撮影した２枚の画像を、それぞれのエピポーラ線が走査線に平行となるよう配置し、走査線毎に、各画像から対応する特徴点を抽出する。次に、特許文献１に開示されたシステムは、ユーザーによる各画像上への対応する箇所を指定する線分の入力を受け付ける。

[0007] そして、特許文献１に開示されたシステムは、走査線上の対応する各特徴点が、この走査線と入力された線分との交点に一致しているかどうかを判定し、一致していない場合は、各特徴点の位置を交点の位置に補正する。その後、特許文献１に開示されたシステムは、位置が補正された特徴点を用いて、３次元形状の再構築を実行する。

[0008] また、特許文献２に開示されたシステムは、まず、同一の対象物を撮影したペア画像それぞれから、対応する特徴点の組合せを抽出する。次に、特許文献２に開示されたシステムは、ペア画像それぞれにおいて、対応する線分又は点が指定されると、線分間又は点間の幾何学的関係から数値行列を算出する。

[0009] 続いて、ペア画像の一方の画像において、特徴点を p 、特徴点 p が存在するエピポーラ線を l 、他方の画像において、対応する特徴点を p' 、特徴点 p' が存在するエピポーラ線を l' とする。この場合、特許文献２に開示されたシステムは、算出した数値行列を用いて、エピポーラ線 l に対応するエピポーラ線 l' を算出し、更に、エピポーラ線 l' と特徴点 p' との距離 d を算出する。

[0010] そして、特許文献２に開示されたシステムは、距離 d が閾値以上となっている場合は、特徴点 p と特徴点 p' との組合せは、幾何学的に矛盾すると判定する。そして、特許文献２に開示されたシステムは、算出した数値行列を用いて、幾何学的関係が矛盾すると判定した組合せを除外して３次元形状を再構築する。

- [0011] このように、特許文献 1 又は特許文献 2 に開示されたシステムによれば、間違っただ特徴点ペアが抽出されてしまうという問題が解消されるので、復元される 3 次元形状の精度の低下が抑制されると考えられる。

先行技術文献

特許文献

- [0012] 特許文献 1：特許第 5 3 1 1 4 6 5 号公報
特許文献 2：国際公開第 2 0 1 9 / 0 6 5 7 8 4 号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0013] しかしながら、特許文献 1 に開示されたシステムでは、特徴点の位置の補正は、2 枚の画像のエピポーラ線に沿った走査線上でしか行われないので、同一の走査線上にない間違っただ特徴点ペアが排除されることがない。
- [0014] 一方、特許文献 2 に開示されたシステムでは、指定された線分間又は点間の幾何学的関係が求められ、更にこの幾何学的関係から求められたエピポーラ線と特徴点との距離に基づいて、間違っただ特徴点ペアが排除されるので、特許文献 1 における問題点は解消される。しかし、特許文献 2 に開示されたシステムには、幾何学的関係から求められたエピポーラ線と間違っただ特徴点との距離が近い場合に、間違っただ特徴点ペアを排除できないという問題がある。
- [0015] このように、特許文献 1 及び特許文献 2 に開示されたシステムでは、間違っただ特徴点ペアの排除が不十分であり、復元される 3 次元形状の精度が低下する場合がある。
- [0016] 本発明の目的の一例は、上記問題を解消し、複数の画像から対応する特徴点の組合せを抽出するに際して、間違っただ特徴点の組合せの抽出を抑制する、画像処理装置、画像処理方法、及びコンピュータ読み取り可能な記録媒体を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0017] 上記目的を達成するため、本発明の一側面における画像処理装置は、対象物の複数の画像から前記対象物の3次元形状を構築するための装置であって、

、

前記複数の画像それぞれから、対応する特徴点の組合せを抽出する、特徴点抽出部と、

前記複数の画像のうちの少なくとも2つの画像上に、互いに対応する2以上の線分又は2以上の点が指定された場合に、互いに対応する2以上の線分間の幾何学的関係、又は互いに対応する2以上の点間の幾何学的関係を特定し、特定した前記幾何学的関係を表現する数値行列を算出する、行列算出部と、

前記数値行列を用いて、抽出された前記特徴点の組合せのうち、特徴点間の幾何学的関係が矛盾する前記特徴点の組合せを特定する、不要特徴点特定部と、

特定された前記特徴点の組合せを除く、前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する特徴点それぞれのカメラ行列を算出し、更に、算出した前記カメラ行列を用いて、当該組合せの特徴点に対応する、前記対象物の3次元座標を算出する、3次元座標算出部と、

前記3次元座標が算出された前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する1つの特徴点の抽出元の画像に対応するカメラ行列を、当該組合せの3次元座標に適用することによって、当該組合せの前記3次元座標を前記1つの特徴点が抽出された画像上に投影して得られる、2次元座標を算出し、算出した2次元座標と前記1つの特徴点の2次元座標との比較結果に基づいて、前記1つの特徴点が適正かどうかを判定する、適合性判定部と、

適正であると判定された特徴点に対応する、前記対象物の3次元座標を用いて、前記対象物の3次元形状を構築する、3次元形状構築部と、
を備えている、ことを特徴とする。

[0018] また、上記目的を達成するため、本発明の一側面における画像処理方法は、対象物の複数の画像から前記対象物の3次元形状を構築するための方法で

あって、

(a) 前記複数の画像それぞれから、対応する特徴点の組合せを抽出する、ステップと、

(b) 前記複数の画像のうちの少なくとも2つの画像上に、互いに対応する2以上の線分又は2以上の点が指定された場合に、互いに対応する2以上の線分間の幾何学的関係、又は互いに対応する2以上の点間の幾何学的関係を特定し、特定した前記幾何学的関係を表現する数値行列を算出する、ステップと、

(c) 前記数値行列を用いて、抽出された前記特徴点の組合せのうち、特徴点間の幾何学的関係が矛盾する前記特徴点の組合せを特定する、ステップと、

(d) 特定された前記特徴点の組合せを除く、前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する特徴点それぞれのカメラ行列を算出し、更に、算出した前記カメラ行列を用いて、当該組合せの特徴点に対応する、前記対象物の3次元座標を算出する、ステップと、

(e) 前記3次元座標が算出された前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する1つの特徴点の抽出元の画像に対応するカメラ行列を、当該組合せの3次元座標に適用することによって、当該組合せの前記3次元座標を前記1つの特徴点が抽出された画像上に投影して得られる、2次元座標を算出し、算出した2次元座標と前記1つの特徴点の2次元座標との比較結果に基づいて、前記1つの特徴点が適正かどうかを判定する、ステップと、

(f) 適正であると判定された特徴点に対応する、前記対象物の3次元座標を用いて、前記対象物の3次元形状を構築する、ステップと、
を有する、ことを特徴とする。

[0019] 更に、上記目的を達成するため、本発明の一側面におけるコンピュータ読み取り可能な記録媒体は、コンピュータによって、対象物の複数の画像から前記対象物の3次元形状を構築するためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

前記コンピュータに、

(a) 前記複数の画像それぞれから、対応する特徴点の組合せを抽出する、ステップと、

(b) 前記複数の画像のうちの少なくとも2つの画像上に、互いに対応する2以上の線分又は2以上の点が指定された場合に、互いに対応する2以上の線分間の幾何学的関係、又は互いに対応する2以上の点間の幾何学的関係を特定し、特定した前記幾何学的関係を表現する数値行列を算出する、ステップと、

(c) 前記数値行列を用いて、抽出された前記特徴点の組合せのうち、特徴点間の幾何学的関係が矛盾する前記特徴点の組合せを特定する、ステップと、

(d) 特定された前記特徴点の組合せを除く、前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する特徴点それぞれのカメラ行列を算出し、更に、算出した前記カメラ行列を用いて、

当該組合せの特徴点に対応する、前記対象物の3次元座標を算出する、ステップと、

(e) 前記3次元座標が算出された前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する1つの特徴点の抽出元の画像に対応するカメラ行列を、当該組合せの3次元座標に適用することによって、当該組合せの前記3次元座標を前記1つの特徴点の抽出された画像上に投影して得られる、2次元座標を算出し、算出した2次元座標と前記1つの特徴点の2次元座標との比較結果に基づいて、前記1つの特徴点が適正かどうかを判定する、ステップと、

(f) 適正であると判定された特徴点に対応する、前記対象物の3次元座標を用いて、前記対象物の3次元形状を構築する、ステップと、
を実行させる命令を含む、プログラムを記録していることを特徴とする。

発明の効果

[0020] 以上のように、本発明によれば、複数の画像から対応する特徴点の組合せを抽出するに際して、間違った特徴点の組合せの抽出を抑制することができ

る。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]図1は、本発明の実施の形態における画像処理装置を概略的に示すブロック図である。

[図2]図2は、本発明の実施の形態における画像処理装置の具体的構成を示すブロック図である。

[図3]図3は、本実施の形態で処理対象となる複数の画像の一例を示す図である。

[図4]図4は、本発明の実施の形態における行列算出部による処理を説明する図である。

[図5]図5は、本発明の実施の形態における形状構築部による処理を説明する図である。

[図6]図6は、特徴点の組合せが抽出されたペア画像の一例を示す図である。

[図7]図7は、カメラ行列から求められる、初期ペア画像のカメラの3次元座標と回転行列との一例を示す図である。

[図8]図8は、初期ペア画像の選択後に新たに選択された画像とそれから抽出された特徴点の組合せの一例を示す図である。

[図9]図9は、対象物における特徴点の3次元座標を2次元画像に再投影する処理を説明する図である。

[図10]図10は、本発明の実施の形態における画像処理装置の動作を示すフロー図である。

[図11]図11は、本発明の実施の形態における画像処理装置を実現するコンピュータの一例を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0022] (実施の形態)

以下、本発明の実施の形態における画像処理装置について、図1～図11を参照しながら説明する。

[0023] [装置構成]

最初に、図 1 を用いて、本発明の実施の形態における画像処理装置の概略構成について説明する。図 1 は、本発明の実施の形態における画像処理装置を概略的に示すブロック図である。

[0024] 図 1 に示す、本実施の形態における画像処理装置 10 は、対象物の複数の画像から対象物の 3 次元形状を構築するための装置である。図 1 に示すように、画像処理装置 10 は、特徴点抽出部 11 と、行列算出部 12 と、不要特徴点特定部 13 と、3 次元座標算出部 14 と、適合性判定部 15 と、3 次元形状構築部 16 とを備えている。

[0025] 特徴点抽出部 11 は、複数の画像それぞれから、対応する特徴点の組合せを抽出する。行列算出部 12 は、複数の画像のうちの少なくとも 2 つの画像上に、互いに対応する 2 以上の線分又は 2 以上の点が指定された場合に、互いに対応する 2 以上の線分間の幾何学的関係、又は互いに対応する 2 以上の点間の幾何学的関係を特定する。また、行列算出部 12 は、特定した幾何学的関係を表現する数値行列を算出する。

[0026] 不要特徴点特定部 13 は、算出された数値行列を用いて、抽出された特徴点の組合せのうち、特徴点間の幾何学的関係が矛盾する特徴点の組合せを特定する。3 次元座標算出部 14 は、特定された特徴点の組合せを除く、特徴点の組合せ毎に、その組合せを構成する特徴点それぞれのカメラ行列を算出する。また、3 次元座標算出部 14 は、特徴点の組合せ毎に、算出したカメラ行列を用いて、その組合せの特徴点に対応する、対象物の 3 次元座標を算出する。

[0027] 適合性判定部 15 は、3 次元座標が算出された特徴点の組合せ毎に、この組合せを構成する 1 つの特徴点の抽出元の画像に対応するカメラ行列を、この組合せの 3 次元座標に適用する。そして、適合性判定部 15 は、このカメラ行列の適用によって、この組合せの 3 次元座標を上述の 1 つの特徴点が抽出された画像上に投影して得られる、2 次元座標を算出する。更に、適合性判定部 15 は、算出した 2 次元座標と 1 つの特徴点の 2 次元座標（抽出元の画像上の 2 次元座標）とを比較し、その比較結果に基づいて、上述の 1 つの

特徴点が適正かどうかを判定する。

[0028] 3次元形状構築部16は、適合性判定部15によって適正であると判定された組合せの特徴点に対応する、対象物の3次元座標を用いて、対象物の3次元形状を構築する。

[0029] このように、本実施の形態では、まず、指定された線分又は点から得られた幾何学的関係によって、矛盾する特徴点の組合せが除外され、その後、得られた対象物の3次元座標を、2次元の画像に投影することによって、特徴点が適正かどうかの判定が行われる。つまり、本実施の形態では、3次元座標の算出前と算出後との2回に渡って、間違った特徴点の排除が行われる。このため、本実施の形態によれば、複数の画像から対応する特徴点の組合せを抽出するに際して、間違った特徴点の組合せの抽出を抑制することができる。結果、精度の高い3次元形状が構築される。

[0030] 続いて、図2～図9を用いて、本実施の形態における画像処理装置10の構成についてより具体的に説明する。図2は、本発明の実施の形態における画像処理装置の具体的構成を示すブロック図である。

[0031] 図2に示すように、画像処理装置10は、本実施の形態では、特徴点抽出部11、行列算出部12、不要特徴点特定部13、3次元座標算出部14、適合性判定部15、及び3次元形状構築部16に加えて、画像取得部17と、フィルタリング部18と、入力受付部19と、表示部20とを更に備えている。図2において、21は、表示装置である。

[0032] 画像取得部17は、外部の装置、例えば、撮像装置、端末装置、画像データを保持している記憶装置等から、3次元形状の構築対象が写った複数の画像それぞれの画像データを取得する。図3は、本実施の形態で処理対象となる複数の画像の一例を示す図である。図3の例では、ペア画像が例示されているが、本実施の形態において対象となる画像の枚数は特に限定されるものではない。

[0033] 特徴点抽出部11は、本実施の形態では、画像毎に、例えば、SIFT特徴量、又はSURF特徴量を計算して特徴点を特定し、更に、画像間に対応する特徴

点同士を、対応する特徴点の組合せとして抽出する。なお、図3の例では、画像が2枚であるため、特徴点の組合せは、特徴点ペアである。図3において、丸で囲まれた部分が特徴点の一つである。また、対応する特徴点の組合せが抽出された2枚の画像は、以降においては、「ペア画像」と表記する。

[0034] フィルタリング部18は、特徴点の組合せ毎に、特徴点間の幾何学的な関係を計算し、計算結果に基づいて、誤った特徴点の組合せを特定し、特定した特徴点の組合せを排除する。フィルタリング部18によるフィルタリング処理は、従来からのSfMと同様に、ロバスト推定を用いて行われる。本実施の形態では、後述する不要特徴点特定部13によるフィルタリングに加えて、フィルタリング部18によるフィルタリングも行われるので、より確実に間違った特徴点の組合せが排除される。

[0035] 入力受付部19は、処理対象となる各画像上において互いに対応する線分又は点が指定されると、指定された線分又は点の入力を受け付ける。また、入力受付部19は、各画像上で互いに対応する線分の入力を受け付けた場合は各線分の情報（始点及び終点の座標）を、行列算出部12に通知する。更に、入力受付部19は、各画像上で互いに対応する点の入力を受け付けた場合は各点の情報（座標）を、行列算出部12に通知する。なお、線分又は点の指定は、画像処理装置10のユーザーによって行われても良いし、別の計算機によって行われても良い。

[0036] 行列算出部12は、入力受付部19から各画像上の線分又は点の情報が通知されると、通知された情報に基づいて、線分間又は点間の幾何学的関係を特定し、特定した幾何学的関係を表現する数値行列を算出し、この数値行列を絶対的数値行列として定義する。行列算出部12は、入力受付部19から通知された各画像上の線分又は点の情報から数値行列が算出できない、または画像によっては線分又は点の情報が存在しない場合には、特徴点抽出部11で抽出された後のフィルタリングで残った誤差の少ない特徴点の組み合わせから数値行列を算出することもできる。但し、この場合算出される数値行列は従来と同様の数値行列であり、絶対的数値行列ではない。

- [0037] ここで、図4を用いて、行列算出部12における処理についてより具体的に説明する。図4は、本発明の実施の形態における行列算出部による処理を説明する図である。図4において、Eはエピポーラ面を示し、 O_i は一方の画像のカメラの中心位置を示し、 O'_i は他方の画像のカメラの中心位置を示している。また、図4において、左右に示された並行四辺形はそれぞれ画像のフレームを示している。
- [0038] また、図4の例では、一方の画像において線分Lが指定され、他方の画像において線分L'が指定されており、両線分は対応している。この場合において、線分Lにおいて、その始点と交わるエピポーラ線 l_n と、終点で交わるエピポーラ線 l_{n+m} とを絶対的エピポーラ線として定義し、線分L'においても、その始点と交わるエピポーラ線 l'_n と、終点で交わるエピポーラ線 l'_{n+m} とを絶対的エピポーラ線として定義する。
- [0039] 更に、線分Lと絶対的エピポーラ線 l_n との交点 x_i と、線分L'と絶対的エピポーラ線 l'_n との交点 x'_i とは、絶対的な特徴点の組合せとして定義する。また、線分Lと絶対的エピポーラ線 l_{n+m} との交点 x_j と、線分L'と絶対的エピポーラ線 l'_{n+m} との交点 x'_j も、絶対的な特徴点の組合せとして定義する。
- [0040] なお、図4に示すように、エピポーラ線 l_n とエピポーラ線 l_{n+m} との間に、任意のエピポーラ線 l_{n+1} 及び l_{n+2} が設定されていても良い。この場合、同様に、エピポーラ線 l'_n とエピポーラ線 l'_{n+m} の間にも、任意のエピポーラ線 l'_{n+1} 及び l'_{n+2} が設定される。また、この場合、線分Lと新たに設定されたエピポーラ線 l_{n+1} 及び l_{n+2} それぞれとの交点は、線分L'と新たに設定されたエピポーラ線 l'_{n+1} 及び l'_{n+2} それぞれとの交点との間で、絶対的な特徴点の組合せとなる。なお、エピポーラ線間の間隔は任意の値に設定される。
- [0041] 従って、図4の例においては、行列算出部12は、線分間の幾何学的関係として、絶対的な特徴点の組合せを求め、求めた特徴点の組合せを用いて、下記の数1の関係式から、絶対的数値行列として、Fundamental行列（参照文

献)を算出する。なお、下記の数1において、「 x 」は、3次元空間における点 X を一方の画像上に射影することによって得られた二次元上の点である。「 x' 」は、3次元空間における点 X を他方の画像上に射影することによって得られた二次元上の点である。 T は転置行列である。また、 F はFundamental行列である。また、本実施の形態において数値行列は、Fundamental行列に限定されるものではなく、幾何学的関係を表現できる行列であれば良い。

[0042] [数1]

$$x'^T F x = 0$$

[0043] 参照文献: Richard Hartley and Andrew Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision Second Edition", Cambridge University Press, March 2004.

[0044] 不要特徴点特定部13は、本実施の形態では、まず、行列算出部12によって算出された数値行列(Fundamental行列)を用いて、特徴点抽出部11で抽出された特徴点の組合せ(フィルタリング部18で除外されたものを除く)から、幾何学的関係が矛盾する特徴点の組合せを特定する。

[0045] また、不要特徴点特定部13は、特徴点抽出部11で抽出された特徴点の組合せ(フィルタリング部18で除外されたものを除く)の中から、指定された線分又は点に重なる特徴点を含むものを特定し、特定した特徴点を含む特徴点の組合せも、幾何学的関係が矛盾する特徴点として特定することができる。これは、一方の線分又は一方の点のみに重なる特徴点に対応する特徴点、他方の線分又は他方の点の上にはないときは、この特徴点の組合せは間違っている可能性が高いからである。

[0046] ここで、図5を用いて、不要特徴点特定部13における処理についてより具体的に説明する。図5は、本発明の実施の形態における形状構築部による処理を説明する図である。図5において、図4示された符号が付されたものは、図4で同じ記号が付与されたものを示している。そして、図5においては、特徴点 p_i と特徴点 p'_i との組合せが、間違っているかどうかの判断対

象であるとする。

[0047] 図5の例において、不要特徴点特定部13は、エピポーラ線についての下記の数2に示す関係を用いて、特徴点 p_i が存在しているエピポーラ線 l_i に対応するエピポーラ線 l'_i を算出する。

[0048] [数2]

$$l'_i = F x$$

[0049] そして、不要特徴点特定部13は、算出したエピポーラ線 l'_i と特徴点 p'_i との距離 d が、閾値以上となっているかどうかを判定し、距離 d が閾値以上となっている場合は、特徴点 p_i と特徴点 p'_i との組合せは間違っていると判定する。この場合、不要特徴点特定部13は、特徴点 p_i と特徴点 p'_i との組合せを、幾何学的関係が矛盾する特徴点の組合せとして特定する。

[0050] 3次元座標算出部14は、不要特徴点特定部13によって特定されなかった特徴点の組合せを用いて、3次元形状を構築するための3次元座標を算出する。また、このとき、3次元座標算出部14は、入力受付部19によって受け付けられた、対応する点、又は対応する線分上の点も、特徴点の組合せとして用いることができる。

[0051] ここで、図6～図8を用いて、3次元座標算出部14による3次元座標の算出処理について具体的に説明する。図6は、特徴点の組合せが抽出されたペア画像の一例を示す図である。図7は、カメラ行列から求められる、初期ペア画像のカメラの3次元座標と回転行列との一例を示す図である。図8は、初期ペア画像の選択後に新たに選択された画像とそれから抽出された特徴点の組合せの一例を示す図である。

[0052] 図6に示すように、3次元座標算出部14は、最初に、一組のペア画像（初期ペア画像）として画像31と画像32とを選択する。そして、この場合、画像31から抽出されている特徴点（ $m_1 \sim m_5$ ）と、画像32から抽出されている特徴点（ $m'_1 \sim m'_5$ ）とは対応している。 m_1 と m'_1 、 m_2 と m'_2 、 m_3 と m'_3 、 m_4 と m'_4 、 m_5 と m'_5 は、それぞれ特徴点の組合せ（以

下「特徴点ペア」とも表記する)である。また、図6の例では、画像31はカメラ41によって撮影され、画像32はカメラ42によって撮影されている。図6において、 $M (M_1 \sim M_5)$ は、各特徴点に対応する対象物上の3次元座標である。

[0053] 続いて、3次元座標算出部14は、初期ペア画像それぞれから抽出された特徴点ペア ($m_1 \sim m_5, m'_1 \sim m'_5$) を用いて、画像31を撮影したカメラ41のカメラ行列 P と、画像32を撮影したカメラ42のカメラ行列 P' とを算出する。また、カメラ行列 P 及びカメラ行列 P' は、カメラ41の位置を原点とすると、それぞれ下記の数3及び数4によって表すことができる。

[0054] [数3]

$$P = [I \mid 0]$$

[0055] [数4]

$$P' = [R \mid t]$$

[0056] 上記数3において、 I は、カメラ41の回転行列である。図7に示すように、カメラ41の位置が原点となるので、 $I = (1, 1, 1)$ となる。また、上記数4において、 R は、カメラ42の回転行列である ($R = (R_x, R_y, R_z)$)。 t は、上述したように並進行列であり、カメラ42の位置の3次元座標に相当する ($t = (t_x, t_y, t_z)$)。

[0057] 従って、この場合は、カメラ行列 P 及びカメラ行列 P' から逆算することによって、 R 及び t を算出することが出来る。具体的には、3次元座標算出部14は、各特徴点の座標を用いて、下記の数5～数7に示す方程式を解くことによって、 R 及び t を算出する。数5～数7において、 m ハットは、 m ($m_1 \sim m_5$) を正規化して得られた画像A上の座標である。同様に、 m' ハットは、 m' ($m'_1 \sim m'_5$) を正規化して得られた画像B上の座標である。 E は、 $Essential$ 行列、 K はカメラのキャリブレーション行列である。

[0058] [数5]

$$E = [t]_M R = R [R^T t]_M$$

[0059] [数6]

$$\hat{m}'^T E \hat{m} = 0$$

[0060] [数7]

$$\hat{m}_i = K^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0061] また、キャリブレーション行列 K は、下記の数 8 及び数 9 から求めることができる。なお、 c_x 、 c_y は、カメラの中心座標である。

[0062] [数8]

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0063] [数9]

$$f: \text{焦点距離(ピクセル単位)} = \frac{\text{長い方の画面(ピクセル数)} \times \text{焦点距離}(f_x \text{ 又は } f_y: \text{画面長手方向})(mm)}{\text{長い方のセンササイズ}(mm)}$$

[0064] 次に、3次元座標算出部 14 は、各カメラの位置の 3次元座標と回転行列とを用いて、抽出された特徴点の 3次元座標 M ($M_1 \sim M_5$) を算出する。具体的には、3次元座標算出部 14 は、下記の数 10 を解くことで 3次元座標 M を算出する。また、数 10 における行列 A は、数 11 で示される。数 11 において、 p_i^T は、カメラ行列 P の行であり、 $p'^i{}^T$ は、カメラ行列 P' の行である。

[0065] [数10]

$$AM = 0$$

[0066] [数11]

$$A = \begin{bmatrix} xp^{3T} & - & p^{1T} \\ yp^{3T} & - & p^{2T} \\ x'p'^{3T} & - & p'^{1T} \\ y'p'^{3T} & - & p'^{2T} \end{bmatrix}$$

[0067] 次に、図8に示すように、3次元座標算出部14は、特徴点が抽出されている画像であって、初期ペア画像以外の画像の中から、1つの画像33を新たに選択し、新たに選択した画像33と初期ペア画像の1つとを新たなペア画像とする。画像33は、カメラ43によって撮影されている。

[0068] そして、3次元座標算出部14は、画像32の特徴点に対応する画像33の特徴点（ $m'_{1'} \sim m'_{3'}$ ）を特定し、画像32の特徴点と画像33との特徴点とを特徴点ペアとする。そして、3次元座標算出部14は、画像33を撮影したカメラ43のカメラ行列 P_n を算出する。カメラ行列 P_n は、下記の数12によって表すことができる。

[0069] [数12]

$$P_n = [R_n \mid t_n]$$

[0070] 具体的には、3次元座標算出部14は、画像33の特定された特徴点を用いて、下記の数13に示す方程式を解くことによって、カメラ43のカメラ行列 P_n の R_n 及び t_n を算出する。

[0071] [数13]

$$M_i = t + d_i R \hat{m}_i \quad (i=1,2,3)$$

[0072] 数13において、 M_i は、新たに選択された画像33における画像32と共通する特徴点の3次元座標である。 $\hat{m}_i$ ハットは、新たに選択された画像33における特徴点の正規化された座標である。 d_i は、下記の数14に示すように、画像33を撮影したカメラ43と $\hat{m}_i$ ハットとの距離を示している。

[0073]

[数14]

$$d_i = \|t - \hat{m}_i\|$$

[0074] 次に、3次元座標算出部14は、算出したカメラ43のカメラ行列 P_n の R_n 及び t_n を用いて、画像33の特定された特徴点($m'_{1'} \sim m'_{3'}$)の3次元座標 M_i を算出する。この場合も、3次元座標算出部14は、上記数10を解くことで、特徴点の3次元座標 M ($M_1 \sim M_3$)を算出する。以上の処理により、3次元座標算出部14は、対象物の3次元座標を算出することができる。

[0075] 適合性判定部15は、本実施の形態では、例えば、特徴点ペアの一方について、それから得られが3次元座標と、抽出元の画像に対応するカメラ行列とを用いて、元の2次元画像上に再投影を行い、投影された位置の2次元座標と、抽出時の位置の2次元座標とを比較する。そして、適合性判定部15は、本実施の形態では、比較結果として、前者の2次元座標と後者の2次元座標との差分を算出し、算出した差分が閾値以下の場合に、対象となった特徴点が適正であると判定する。一方、適合性判定部15は、算出した差分が閾値を越える場合は、対象となった特徴点が適正でないと判定する。

[0076] また、本実施の形態では、適合性判定部15は、3次元座標が算出された特徴点の組合せ毎に、この組合せを構成する特徴点の全部又は1部を選択し、選択した特徴点について1つずつ適正かどうかを判定することができる。例えば、特徴点の組合せが3つの特徴点で構成されている場合は、適合性判定部15は、3つの特徴点について1つずつ適正かどうかを判定しても良いし、このうち2つのみを選択し、選択した2つの特徴点について1つずつ適正かどうかを判定しても良い。

[0077] ここで、図9を用いて、適合性判定部15による判定処理について具体的に説明する。図9は、対象物における特徴点の3次元座標を2次元画像に再投影する処理を説明する図である。また、図9の例では、図6に示した画像32上の特徴点の一つを再投影する例について示している。更に、図9にお

いて、特徴点に対応する3次元座標、即ち、世界座標系での3次元座標を（ X_w, Y_w, Z_w ）とし、特徴点の抽出時の位置の2次元座標を（ x_f, y_f ）とする。また、特徴点のカメラ座標系での座標を（ X_c, Y_c, Z_c ）とする。

[0078] まず、適合性判定部15は、下記の数15を用いて、カメラ行列 P' （= $[R \mid t]$ ）と特徴点の3次元座標（ X_w, Y_w, Z_w ）とから、特徴点のカメラ座標系での座標（ X_c, Y_c, Z_c ）を算出する。

[0079] [数15]

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + t$$

[0080] 続いて、適合性判定部15は、下記の数16を用いて、特徴点のカメラ座標系での座標（ X_c, Y_c, Z_c ）を正規化する。

[0081] [数16]

$$\begin{bmatrix} X'_c \\ Y'_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_c/Z_c \\ Y_c/Z_c \end{bmatrix}$$

[0082] 続いて、適合性判定部15は、上記数16で正規化された座標と、カメラの内部パラメータ（図9の例では、カメラ42の焦点距離 f 、画像中心位置の座標（ c_x, c_y ））とを、下記の数17に適用して、特徴点を画像32に再投影した時の2次元座標（ x_p, y_p ）を算出する。

[0083] [数17]

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \end{bmatrix} = f \begin{bmatrix} X'_c \\ Y'_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \end{bmatrix}$$

[0084] 次に、適合性判定部15は、下記の数18を用いて、上記数17から算出した再投影後の2次元座標（ x_p, y_p ）と特徴点の抽出時の位置の2次元座標（ x_f, y_f ）との差分 d を算出する。

[0085] [数18]

$$d = \sqrt{(x_p - x_f)^2 + (y_p - y_f)^2}$$

- [0086] その後、適合性判定部 15 は、算出した差分 d が閾値 G 以下の場合に、対象となった特徴点が適正であると判定し、算出した差分 d が閾値 G を越える場合は、対象となった特徴点が適正でないと判定する。
- [0087] 適合性判定部 15 は、本実施の形態では、適正でないと判定された特徴点に対応する 3 次元座標、及び、この 3 次元座標に対応する全ての特徴点の組み合わせを除外する。また、適合性判定部 15 は、本実施の形態では、適正でないと判定された特徴点のみを除外し、適正でないと判定された特徴点に対応する 3 次元座標、及び、この 3 次元座標に対応する特徴点の組み合わせのうち、適正でないと判定された特徴点以外の特徴点は除外しないことも可能である。この場合、適合性判定部 15 は、全ての特徴点の適合性判定が完了したときに、全ての 3 次元座標に対して、それぞれの 3 次元座標に対応する特徴点の数が 2 個未満の 3 次元座標は除外する必要がある。
- [0088] 3 次元形状構築部 16 は、残りの特徴点を用いて、3 次元座標を再計算し、対象物の点群データを構築し、これを対象物の 3 次元形状とする。
- [0089] また、表示部 20 は、3 次元形状構築部 16 によって構築された 3 次元形状を、表示装置 21 の画面上に表示させる。具体的には、表示部 20 は、構築された 3 次元形状を二次元画面上に表示するための画像データを作成し、作成した画像データを表示装置 21 に出力する。
- [0090] また、本実施の形態では、特徴点抽出部 11 によって抽出された特徴点の組合せを用いて、例えば、フィルタリング部 18 によるフィルタリングのみが行われた後の特徴点の組合せを用いて、3 次元座標算出部 14 は、対象物の仮の 3 次元座標を算出することもできる。この場合、3 次元形状構築部 16 は、更に、算出された仮の 3 次元座標を用いて、仮の 3 次元形状を構築する。その後、表示部 20 は、構築された仮の 3 次元形状を表示装置 21 の画面上に表示させる。この場合、ユーザーは、画面に表示された仮の 3 次元形状において、互いに対応する線分又は点を指定することができる。
- [0091] [装置動作]
- 次に、本発明の実施の形態における画像処理装置 10 の動作について図 1

0を用いて説明する。図10は、本発明の実施の形態における画像処理装置の動作を示すフロー図である。以下の説明においては、適宜図1～図9を参照する。また、本実施の形態では、画像処理装置10を動作させることによって、画像処理方法が実施される。よって、本実施の形態における画像処理方法の説明は、以下の画像処理装置10の動作説明に代える。

- [0092] 図10に示すように、最初に、画像取得部17は、外部の装置から、3次元形状の構築対象が写った複数の画像それぞれの画像データを取得する（ステップA1）。
- [0093] 次に、特徴点抽出部11は、ステップA1で取得された画像データ毎に、その画像における特徴点を特定し、更に、画像間に対応する特徴点同士を、対応する特徴点の組合せとして抽出する（ステップA2）。
- [0094] 次に、フィルタリング部18は、ステップA2で抽出された特徴点の組合せ毎に、特徴点間の幾何学的な関係を計算し、計算結果に基づいて、誤った特徴点の組合せを特定し、特定した特徴点の組合せを排除する（ステップA3）。
- [0095] 次に、ステップA3によるフィルタリング処理が実行されると、フィルタリング後の特徴点の組合せを用いて、3次元座標算出部14は、仮の3次元座標を算出し、更に、3次元形状構築部16は、算出された仮の3次元座標を用いて、仮の3次元形状を構築する。更に、表示部20は、構築された仮の3次元形状を表示装置21の画面上に表示させる（ステップA4）。
- [0096] ステップA4が実行され、仮の3次元形状が表示装置21の画面上に表示されると、ユーザーは、入力装置（図2において図示せず）を介して、各画像上において互いに対応する線分又は点を指定する。これにより、入力受付部16は、指定された線分又は点の入力を受け付ける（ステップA5）。また、入力受付部16は、指定された各線分の情報又は各点の情報を、行列算出部12に通知する。
- [0097] 次に、行列算出部12は、ステップA5が実行されると、各線分の情報又は各点の情報に基づいて、線分間又は点間の幾何学的関係を特定し、特定し

た幾何学的関係を表現する数値行列を算出する（ステップA6）。

[0098] 次に、不要特徴点特定部13は、ステップA6で算出された数値行列（Fundamental行列）を用いて、ステップA3の実行後の特徴点の組合せから、幾何学的関係が矛盾する特徴点の組合せを特定する（ステップA7）。

[0099] 次に、3次元座標算出部14は、ステップA7において特定されなかった特徴点の組合せを用いて、3次元形状を構築するための3次元座標を算出する（ステップA8）。

[0100] 次に、適合性判定部15は、ステップA8で3次元座標が算出された特徴点の組合せ毎に、この組合せを構成する1つの特徴点の抽出元の画像に対応するカメラ行列を、この組合せの3次元座標に適用する。そして、適合性判定部15は、このカメラ行列の適用によって、この組合せの3次元座標を、上述の1つの特徴点抽出された画像上に投影して得られる、2次元座標を算出する。更に、適合性判定部15は、算出した2次元座標と1つの特徴点の2次元座標（抽出元の画像上の2次元座標）とを比較し、その比較結果に基づいて、上述の1つの特徴点が適正かどうかを判定する（ステップA9）。

[0101] 次に、3次元形状構築部16は、ステップA6において、適正であると判定された組合せの特徴点に対応する、対象物の3次元座標を用いて、対象物の3次元形状を構築する（ステップA10）。その後、表示部20は、ステップA10で構築された3次元形状を、表示装置21の画面上に表示させる（ステップA11）。

[0102] [実施の形態による効果]

以上のように、本実施の形態における画像処理装置10は、フィルタリング部18、不要特徴点特定部13、及び適合性判定部15によって、間違った特徴点を排除することができる。このため、画像処理装置10は、複数の画像から対応する特徴点の組合せを抽出するに際して、間違った特徴点の組合せを抽出してしまう事態を抑制できる。この結果、本実施の形態によれば、対象物の3次元形状を高い精度で構築することができる。

[0103] [プログラム]

本実施の形態におけるプログラムは、コンピュータに、図10に示すステップA1～A11を実行させるプログラムであれば良い。このプログラムをコンピュータにインストールし、実行することによって、本実施の形態における画像処理装置10と画像処理方法とを実現することができる。この場合、コンピュータのプロセッサは、特徴点抽出部11、行列算出部12、不要特徴点特定部13、3次元座標算出部14、適合性判定部15、3次元形状構築部16、画像取得部17、フィルタリング部18、及び入力受付部19として機能し、処理を行なう。

[0104] また、本実施の形態におけるプログラムは、複数のコンピュータによって構築されたコンピュータシステムによって実行されても良い。この場合は、例えば、各コンピュータが、それぞれ、特徴点抽出部11、行列算出部12、不要特徴点特定部13、3次元座標算出部14、適合性判定部15、3次元形状構築部16、画像取得部17、フィルタリング部18、及び入力受付部19のいずれかとして機能しても良い。

[0105] ここで、本実施の形態におけるプログラムを実行することによって、画像処理装置を実現するコンピュータについて図11を用いて説明する。図11は、本発明の実施の形態における画像処理装置を実現するコンピュータの一例を示すブロック図である。

[0106] 図11に示すように、コンピュータ110は、CPU111と、メインメモリ112と、記憶装置113と、入力インターフェイス114と、表示コントローラ115と、データリーダ／ライタ116と、通信インターフェイス117とを備える。これらの各部は、バス121を介して、互いにデータ通信可能に接続される。また、コンピュータ110は、CPU111に加えて、又はCPU111に代えて、GPU (Graphics Processing Unit)、又はFPGA (Field-Programmable Gate Array) を備えていても良い。

[0107] CPU111は、記憶装置113に格納された、本実施の形態におけるプログラム(コード群)をメインメモリ112に展開し、各コードを所定順序

で実行することにより、各種の演算を実施する。メインメモリ 112 は、典型的には、DRAM (Dynamic Random Access Memory) 等の揮発性の記憶装置である。また、本実施の形態におけるプログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体 120 に格納された状態で提供される。なお、本実施の形態におけるプログラムは、通信インターフェイス 117 を介して接続されたインターネット上で流通するものであっても良い。

[0108] また、記憶装置 113 の具体例としては、ハードディスクドライブの他、フラッシュメモリ等の半導体記憶装置が挙げられる。入力インターフェイス 114 は、CPU 111 と、キーボード及びマウスといった入力機器 118 との間のデータ伝送を仲介する。表示コントローラ 115 は、ディスプレイ装置 119 と接続され、ディスプレイ装置 119 での表示を制御する。

[0109] データリーダ／ライタ 116 は、CPU 111 と記録媒体 120 との間のデータ伝送を仲介し、記録媒体 120 からのプログラムの読み出し、及びコンピュータ 110 における処理結果の記録媒体 120 への書き込みを実行する。通信インターフェイス 117 は、CPU 111 と、他のコンピュータとの間のデータ伝送を仲介する。

[0110] また、記録媒体 120 の具体例としては、CF (Compact Flash (登録商標)) 及びSD (Secure Digital) 等の汎用的な半導体記憶デバイス、フレキシブルディスク (Flexible Disk) 等の磁気記録媒体、又はCD-ROM (Compact Disk Read Only Memory) などの光学記録媒体が挙げられる。

[0111] なお、本実施の形態における画像処理装置 10 は、プログラムがインストールされたコンピュータではなく、各部に対応したハードウェア (例えば、回路) を用いることによっても実現可能である。更に、画像処理装置 10 は、一部がプログラムで実現され、残りの部分がハードウェアで実現されていてもよい。

[0112] 上述した実施の形態の一部又は全部は、以下に記載する (付記 1) ~ (付記 18) によって表現することができるが、以下の記載に限定されるものではない。

[0113] (付記 1)

対象物の複数の画像から前記対象物の 3 次元形状を構築するための装置であって、

前記複数の画像それぞれから、対応する特徴点の組合せを抽出する、特徴点抽出部と、

前記複数の画像のうちの少なくとも 2 つの画像上に、互いに対応する 2 以上の線分又は 2 以上の点が指定された場合に、互いに対応する 2 以上の線分間の幾何学的関係、又は互いに対応する 2 以上の点間の幾何学的関係を特定し、特定した前記幾何学的関係を表現する数値行列を算出する、行列算出部と、

前記数値行列を用いて、抽出された前記特徴点の組合せのうち、特徴点間の幾何学的関係が矛盾する前記特徴点の組合せを特定する、不要特徴点特定部と、

特定された前記特徴点の組合せを除く、前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する特徴点それぞれのカメラ行列を算出し、更に、算出した前記カメラ行列を用いて、当該組合せの特徴点に対応する、前記対象物の 3 次元座標を算出する、3 次元座標算出部と、

前記 3 次元座標が算出された前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する 1 つの特徴点の抽出元の画像に対応するカメラ行列を、当該組合せの 3 次元座標に適用することによって、当該組合せの前記 3 次元座標を前記 1 つの特徴点が抽出された画像上に投影して得られる、2 次元座標を算出し、算出した 2 次元座標と前記 1 つの特徴点の 2 次元座標との比較結果に基づいて、前記 1 つの特徴点が適正かどうかを判定する、適合性判定部と、

適正であると判定された特徴点に対応する、前記対象物の 3 次元座標を用いて、前記対象物の 3 次元形状を構築する、3 次元形状構築部と、
を備えている、ことを特徴とする画像処理装置。

[0114] (付記 2)

付記 1 に記載の画像処理装置であって、

前記適合性判定部が、比較結果として、算出した２次元座標と前記１つの特徴点の２次元座標との差分を算出し、算出した前記差分が閾値以下の場合に、前記１つの特徴点が適正であると判定し、算出した前記差分が閾値を越える場合に、前記１つの特徴点が適正でないと判定する、
ことを特徴とする画像処理装置。

[0115] (付記３)

付記１または２に記載の画像処理装置であって、
前記適合性判定部が、前記３次元座標が算出された前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する特徴点の全部又は１部を選択し、選択した特徴点について１つずつ適正かどうかを判定する、
ことを特徴とする画像処理装置。

[0116] (付記４)

付記１～３のいずれかに記載の画像処理装置であって、
前記不要特徴点特定部が、更に、抽出された前記特徴点の組合せを構成している特徴点のうち、指定された、互いに対応する２以上の線分又は２以上の点に重なる特徴点を特定する、
ことを特徴とする画像処理装置。

[0117] (付記５)

付記１～４のいずれかに記載の画像処理装置であって、
前記３次元形状構築部によって構築された前記３次元形状を画面上に表示する、表示部を更に備えている、
ことを特徴とする画像処理装置。

[0118] (付記６)

付記５に記載の画像処理装置であって、
前記３次元座標算出部が、前記特徴点抽出部によって抽出された前記特徴点の組合せを用いて、前記対象物の仮の３次元座標を算出し、
前記３次元形状構築部が、算出された前記仮の３次元座標を用いて、前記対象物の仮の３次元形状を構築し、

前記表示部が、更に、前記仮の 3 次元形状を画面上に表示する、
ことを特徴とする画像処理装置。

[0119] (付記 7)

対象物の複数の画像から前記対象物の 3 次元形状を構築するための方法であって、

(a) 前記複数の画像それぞれから、対応する特徴点の組合せを抽出する、ステップと、

(b) 前記複数の画像のうちの少なくとも 2 つの画像上に、互いに対応する 2 以上の線分又は 2 以上の点が指定された場合に、互いに対応する 2 以上の線分間の幾何学的関係、又は互いに対応する 2 以上の点間の幾何学的関係を特定し、特定した前記幾何学的関係を表現する数値行列を算出する、ステップと、

(c) 前記数値行列を用いて、抽出された前記特徴点の組合せのうち、特徴点間の幾何学的関係が矛盾する前記特徴点の組合せを特定する、ステップと、

(d) 特定された前記特徴点の組合せを除く、前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する特徴点それぞれのカメラ行列を算出し、更に、算出した前記カメラ行列を用いて、当該組合せの特徴点に対応する、前記対象物の 3 次元座標を算出する、ステップと、

(e) 前記 3 次元座標が算出された前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する 1 つの特徴点の抽出元の画像に対応するカメラ行列を、当該組合せの 3 次元座標に適用することによって、当該組合せの前記 3 次元座標を前記 1 つの特徴点の抽出された画像上に投影して得られる、2 次元座標を算出し、算出した 2 次元座標と前記 1 つの特徴点の 2 次元座標との比較結果に基づいて、前記 1 つの特徴点が適正かどうかを判定する、ステップと、

(f) 適正であると判定された特徴点に対応する、前記対象物の 3 次元座標を用いて、前記対象物の 3 次元形状を構築する、ステップと、
を有する、ことを特徴とする画像処理方法。

[0120] (付記 8)

付記 7 に記載の画像処理方法であって、

前記 (e) のステップにおいて、比較結果として、算出した 2 次元座標と前記 1 つの特徴点の 2 次元座標との差分を算出し、算出した前記差分が閾値以下の場合に、前記 1 つの特徴点が適正であると判定し、算出した前記差分が閾値を越える場合に、前記 1 つの特徴点が適正でないと判定する、
ことを特徴とする画像処理方法。

[0121] (付記 9)

付記 7 または 8 に記載の画像処理方法であって、

前記 (e) のステップにおいて、前記 3 次元座標が算出された前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する特徴点の全部又は 1 部を選択し、選択した特徴点について 1 つずつ適正かどうかを判定する、
ことを特徴とする画像処理方法。

[0122] (付記 10)

付記 7 ～ 9 のいずれかに記載の画像処理方法であって、

前記 (c) のステップにおいて、更に、抽出された前記特徴点の組合せを構成している特徴点のうち、指定された、互いに対応する 2 以上の線分又は 2 以上の点に重なる特徴点を特定する、
ことを特徴とする画像処理方法。

[0123] (付記 11)

付記 7 ～ 10 のいずれかに記載の画像処理方法であって、

(g) 前記 (f) のステップによって構築された前記 3 次元形状を画面上に表示する、ステップを更に有する、
ことを特徴とする画像処理方法。

[0124] (付記 12)

付記 11 に記載の画像処理方法であって、

(h) 前記 (a) のステップによって抽出された前記特徴点の組合せを用いて、前記対象物の仮の 3 次元座標を算出し、算出された前記仮の 3 次元座標

を用いて、前記対象物の仮の3次元形状を構築し、更に、前記仮の3次元形状を画面上に表示する、ステップを、
更に有する、
ことを特徴とする画像処理方法。

[0125] (付記13)

コンピュータによって、対象物の複数の画像から前記対象物の3次元形状を構築するためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、
前記コンピュータに、

(a) 前記複数の画像それぞれから、対応する特徴点の組合せを抽出する、ステップと、

(b) 前記複数の画像のうちの少なくとも2つの画像上に、互いに対応する2以上の線分又は2以上の点が指定された場合に、互いに対応する2以上の線分間の幾何学的関係、又は互いに対応する2以上の点間の幾何学的関係を特定し、特定した前記幾何学的関係を表現する数値行列を算出する、ステップと、

(c) 前記数値行列を用いて、抽出された前記特徴点の組合せのうち、特徴点間の幾何学的関係が矛盾する前記特徴点の組合せを特定する、ステップと、

(d) 特定された前記特徴点の組合せを除く、前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する特徴点それぞれのカメラ行列を算出し、更に、算出した前記カメラ行列を用いて、当該組合せの特徴点に対応する、前記対象物の3次元座標を算出する、ステップと、

(e) 前記3次元座標が算出された前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する1つの特徴点の抽出元の画像に対応するカメラ行列を、当該組合せの3次元座標に適用することによって、当該組合せの前記3次元座標を前記1つの特徴点の抽出された画像上に投影して得られる、2次元座標を算出し、算出した2次元座標と前記1つの特徴点の2次元座標との比較結果に基づ

いて、前記 1 つの特徴点が適正かどうかを判定する、ステップと、
(f) 適正であると判定された特徴点に対応する、前記対象物の 3 次元座標を用いて、前記対象物の 3 次元形状を構築する、ステップと、
を実行させる命令を含む、プログラムを記録していることを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0126] (付記 1 4)

付記 1 3 に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、
前記 (e) のステップにおいて、比較結果として、算出した 2 次元座標と前記 1 つの特徴点の 2 次元座標との差分を算出し、算出した前記差分が閾値以下の場合に、前記 1 つの特徴点が適正であると判定し、算出した前記差分が閾値を越える場合に、前記 1 つの特徴点が適正でないと判定する、
ことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0127] (付記 1 5)

付記 1 3 または 1 4 に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、
前記 (e) のステップにおいて、前記 3 次元座標が算出された前記特徴点の組合せ毎に、当該組合せを構成する特徴点の全部又は 1 部を選択し、選択した特徴点について 1 つずつ適正かどうかを判定する、
ことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0128] (付記 1 6)

付記 1 3 ～ 1 5 のいずれかに記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、
前記 (c) のステップにおいて、更に、抽出された前記特徴点の組合せを構成している特徴点のうち、指定された、互いに対応する 2 以上の線分又は 2 以上の点に重なる特徴点を特定する、
ことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0129] (付記 1 7)

付記 1 3 ～ 1 6 のいずれかに記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体

であって、

前記コンピュータに、更に、

(g) 前記(f)のステップによって構築された前記3次元形状を画面上に表示する、ステップを実行させる、
ことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0130] (付記18)

付記17に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、
前記コンピュータに、更に、

(h) 前記(a)のステップによって抽出された前記特徴点の組合せを用いて、前記対象物の仮の3次元座標を算出し、算出された前記仮の3次元座標を用いて、前記対象物の仮の3次元形状を構築し、更に、前記仮の3次元形状を画面上に表示する、ステップを実行させる、
ことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

[0131] 以上、実施の形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記実施の形態に限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、本願発明のスコップ内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

[0132] この出願は、2019年10月16日に出願された日本出願特願2019-189792を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

産業上の利用可能性

[0133] 以上のように、本発明によれば、複数の画像から対応する特徴点の組合せを抽出するに際して、間違った特徴点の組合せの抽出を抑制することができる。本発明は、SfMといった複数の画像から三次元形状を構築する技術に有用である。

符号の説明

[0134] 10 画像処理装置
11 特徴点抽出部
12 行列算出部

- 1 3 不要特徴点特定部
- 1 4 3次元座標算出部
- 1 5 適合性判定部
- 1 6 3次元形状構築部
- 1 7 画像取得部
- 1 8 フィルタリング部
- 1 9 入力受付部
- 2 0 表示部
- 2 1 表示装置
- 1 1 0 コンピュータ
- 1 1 1 CPU
- 1 1 2 メインメモリ
- 1 1 3 記憶装置
- 1 1 4 入力インターフェイス
- 1 1 5 表示コントローラ
- 1 1 6 データリーダ／ライタ
- 1 1 7 通信インターフェイス
- 1 1 8 入力機器
- 1 1 9 ディスプレイ装置
- 1 2 0 記録媒体
- 1 2 1 バス