

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4852591号
(P4852591)

(45) 発行日 平成24年1月11日(2012.1.11)

(24) 登録日 平成23年10月28日(2011.10.28)

(51) Int.Cl.

F 1

G 0 6 T 1/00 (2006.01)
H 0 4 N 13/02 (2006.01)G 0 6 T 1/00 3 1 5
H 0 4 N 13/02

請求項の数 13 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2008-303227 (P2008-303227)	(73) 特許権者	306037311
(22) 出願日	平成20年11月27日(2008.11.27)		富士フイルム株式会社
(65) 公開番号	特開2010-128820 (P2010-128820A)		東京都港区西麻布2丁目26番30号
(43) 公開日	平成22年6月10日(2010.6.10)	(74) 代理人	100083116
審査請求日	平成23年6月21日(2011.6.21)		弁理士 松浦 憲三
早期審査対象出願		(72) 発明者	田中 康一
			宮城県黒川郡大和町松坂平1丁目6番地
			富士フイルム株式会社内
		審査官	板垣 有紀

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 立体画像処理装置、方法及び記録媒体並びに立体撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の視点から同一被写体を撮影した複数の画像を取得する画像取得手段と、

前記取得した複数の画像のうちの所定の画像を基準画像として選択し、前記基準画像以外の画像を対象画像として選択し、前記基準画像から複数の特徴点を、前記対象画像から対応点を検出して、同じ組に含まれる特徴点と対応点の特徴が略一致するような特徴点と対応点の組を生成する対応点検出手段と、

前記同じ組に含まれる特徴点と対応点について、前記複数の視点の視差方向と直交する方向のy座標値が略一致するように前記対象画像を幾何変形するための幾何変形パラメータを推定するパラメータ推定手段と、

前記推定した幾何変形パラメータに基づいて前記対象画像を幾何変形する画像変形手段と、

を備える立体画像処理装置。

【請求項2】

前記幾何変形パラメータは、複数のパラメータからなり、

前記パラメータ推定手段は、前記特徴点のx y座標値と前記対応点のy座標値とに基づいて、前記複数のパラメータの少なくとも一部を推定する、請求項1に記載の立体画像処理装置。

【請求項3】

前記パラメータ推定手段は、前記推定した一部のパラメータに基づいて、前記一部のパ

ラメータ以外のパラメータを算出する、請求項 2 に記載の立体画像処理装置。

【請求項 4】

前記幾何変形パラメータは射影変換パラメータであり、

前記パラメータ推定手段は、前記検出した特徴点と対応点の複数の組のうちの 5 組以上を選択し、前記選択した各組の特徴点と対応点の座標値に基づいて、少なくとも射影変換先の y 座標値を決定するための射影変換パラメータを推定する、請求項 2 に記載の立体画像処理装置。

【請求項 5】

前記パラメータ推定手段は、前記推定した少なくとも射影変換先の y 座標値を決定するためのパラメータに基づいて、射影変換先の対応点の x 座標値を決定するために必要な残りのパラメータを算出する、請求項 4 に記載の立体画像処理装置。

10

【請求項 6】

前記幾何変形パラメータはヘルマート変換パラメータであり、

前記パラメータ推定手段は、前記検出した特徴点と対応点の複数の組のうちの 3 組以上を選択し、前記選択した各組の特徴点と対応点の座標値に基づいて前記ヘルマート変換パラメータを推定する、請求項 2 に記載の立体画像処理装置。

【請求項 7】

複数の視点から同一被写体を撮影した複数の画像を取得する画像取得工程と、

前記取得した複数の画像のうちの所定の画像を基準画像として選択し、前記基準画像以外の画像を対象画像として選択し、前記基準画像から複数の特徴点を、前記対象画像から対応点を検出して、同じ組に含まれる特徴点と対応点の特徴が略一致するような特徴点と対応点の組を生成する対応点検出工程と、

20

前記同じ組に含まれる特徴点と対応点について、前記複数の視点の視差方向と直交する方向の y 座標値が略一致するように前記対象画像を幾何変形するための幾何変形パラメータを推定するパラメータ推定工程と、

前記推定した幾何変形パラメータに基づいて前記対象画像を幾何変形する画像変形工程と、

を備える立体画像処理方法。

【請求項 8】

前記幾何変形パラメータは、複数のパラメータからなり、

30

前記パラメータ推定工程においては、前記特徴点の x y 座標値と前記対応点の y 座標値とに基づいて、前記複数のパラメータの少なくとも一部を推定する、請求項 7 に記載の立体画像処理方法。

【請求項 9】

前記パラメータ推定工程は、

前記複数の組の総数を N 個とすると、前記 N 個の組から少なくとも変換先の y 座標値を決定するための幾何変形パラメータの推定に必要な数の組をランダムに選択する第 1 の工程と、

前記第 1 の工程によりランダムに選択された各対応点の座標値に基づいて推定したパラメータに基づいて、前記 N 個の組について変換後の対応点の y 座標値を算出する第 2 の工程と、

40

前記第 2 の工程により算出された前記変換後の対応点の y 座標値と、前記特徴点の y 座標値との差分を、前記 N 個の組についてそれぞれ算出する第 3 の工程と、

前記第 3 の工程により算出された差分が予め設定した第 1 の閾値未満となる特徴点と対応点の組の個数を計数する第 4 の工程と、

前記計数した組の個数と前記 N との割合に基づいて前記推定したパラメータの信頼度を判定する第 5 の工程と、

前記判定された信頼度が予め設定した信頼度に達するまで、又は予め設定した反復回数に達するまで前記第 1 の工程から第 5 の工程の処理を繰り返す工程と、

を備える請求項 8 に記載の立体画像処理方法。

50

【請求項 10】

前記パラメータ推定工程は、

前記判定された信頼度が予め設定した信頼度に達したときの前記推定したパラメータ、又は前記反復回数中で最も信頼度が高いときの前記推定したパラメータを用いて、前記N個の組について変換後の対応点のy座標値を算出する第6の工程と、

前記第6の工程により算出された変換後の対応点のy座標値と前記特徴点のy座標値との差分をN個の組についてそれぞれ算出する第7の工程と、

前記第7の工程により算出された差分が予め設定した第2の閾値未満となる特徴点と対応点の組のみを前記N個の組から選択する第8の工程と、

前記第8の工程で選択された特徴点と対応点の組のみを用いて前記複数のパラメータを算出する第9の工程と、

を含む、請求項9に記載の立体画像処理方法。

10

【請求項 11】

前記第9の工程において、前記第8の工程で選択された複数の組の変換後の対応点のy座標値と特徴点のy座標値との差の自乗和を最小にする前記複数のパラメータを算出する、請求項10に記載の立体画像処理方法。

【請求項 12】

複数の視点から同一被写体を撮影した複数の画像を取得し、

前記取得した複数の画像のうちの所定の画像を基準画像として選択し、前記基準画像以外の画像を対象画像として選択し、前記基準画像から複数の特徴点を、前記対象画像から対応点を検出して、同じ組に含まれる特徴点と対応点の特徴が略一致するような特徴点と対応点の組を生成し、

20

前記同じ組に含まれる特徴点と対応点について、前記複数の視点の視差方向と直交する方向のy座標値が略一致するように前記対象画像を幾何変形するための幾何変形パラメータを推定し、

前記推定した幾何変形パラメータに基づいて前記対象画像を幾何変形する、

立体画像処理プロセスをコンピュータに実行させるためのコンピュータプログラムを備えるコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 13】

請求項1から6のいずれかに記載の立体画像処理装置と、

30

複数の視点位置にそれぞれ配置され、前記視差方向に沿う視点位置から同一被写体をそれぞれ撮像する複数の撮像ユニットとを備え、

前記画像取得手段は、前記複数の撮像ユニットによってそれぞれ撮像された複数の画像を取得する、立体撮像装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は立体画像処理装置、方法及びプログラム並びに立体撮像装置に係り、特に複数の撮像ユニットの設置姿勢、ズーム率等のばらつきに起因する複数の画像間の画角のばらつきを幾何学的に補正する技術に関する。

40

【背景技術】**【0002】**

1台のカメラに複数の撮像ユニットを備えた、いわゆる複眼カメラは、同一被写体を複数の視点から撮像することができるため、被写体の3次元情報の取得などに用いられる。映像観賞の分野においては、各撮像ユニットから得られた視差のある画像を用い、レンチキュラーレンズシートを利用したプリントなどの3次元映像の観賞媒体が存在し、それら媒体向けの画像入力手段として複眼カメラが用いられている。

【0003】

前述の通り複眼カメラは、複数の撮像ユニットから構成されているため、各撮像ユニットのレンズ、撮像素子などの特性のばらつき、あるいは撮像ユニットをマウントする際に

50

撮像ユニットごとに設置姿勢にばらつきがあると、良好な視差画像が得られない。特に、後者のばらつきは、正確な視差情報の取得には大きな影響を与えるため、3次元映像の立体感、見やすさなどが損なわれないためにも、撮像ユニットの設置姿勢のばらつきを抑制することが重要である。

【0004】

図11(A)に示すように被写体(人物)を2つの撮像ユニットにより撮像した場合、図11(B)に示すような理想的な視差画像(視差に起因して被写体が水平方向にずれ、カメラの姿勢ばらつきがない視差画像)を得ることは難しく、実際に得られる視差画像は視差だけでなく、撮像ユニットの姿勢に起因する画像のずれが生じる(図11(C))。

【0005】

複眼カメラ製造の過程において、上記ばらつきが発生しないよう撮像ユニットを高精度にマウントすることが望ましいが、精度を求めるがゆえに生産性の低下、作業工数の増加などといった問題が発生する。

【0006】

このような課題に対して、従来、複眼カメラにて撮影された画像を幾何学的に変形させることで、撮像ユニット間の幾何学的な特性差を吸収する方法が提案されている(特許文献1、2)。

【0007】

特許文献1に記載の方法は、複数台のカメラの位置や向きのずれから生じる射影歪みを補正するために、各カメラで撮影された画像をそれぞれ同一平面上に投影し、各カメラの画像を同一平面上の画像に補正するようにしている。

【0008】

また、特許文献2に記載の方法は、2つの撮像部により被写体を同時に撮影した際に生じる画角のずれのうち、撮像部の姿勢・ズーム率の差に起因するものを補正することを目的とし、各撮像部から得られた画像間に対応点検出を行い、各画像の対応点が一致するような幾何補正パラメータを算出し、それを用いて画像を変形するようにしている。

【特許文献1】特開平7-294215号公報

【特許文献2】特開2006-157432号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、特許文献1に記載の方法は、各画像を強制的に同一平面上に投影する画像処理を行うため、投影後の画像間に生じる視差は、意図しない不適切なものとなる問題がある。

【0010】

一方、特許文献2に記載の方法は、2つの画像間に対応点が一致するように画像を変形させるため、本来残したい視差に起因する画角ずれも補正されてしまい、視差の情報が失われるという問題がある。

【0011】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、複数の撮像ユニットの設置姿勢、ズーム率等のばらつきに起因する複数の画像間の画角のばらつきを幾何変形により吸収する際に、本来画像間に生じるべき視差による画角ずれを残すように幾何変形することができ、これにより理想的な視差画像を得ることができる立体画像処理装置、方法及びプログラム並びに立体撮像装置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】

【0012】

前記目的を達成するために、本発明の第1の態様に係る立体画像処理装置は、複数の視点から同一被写体を撮影した複数の画像を取得する画像取得手段と、前記取得した複数の画像のうちの所定の画像を基準画像として選択し、前記基準画像以外の画像を対象画像として選択し、前記基準画像と対象画像との間で特徴が略一致する複数の組の対応点を検出

10

20

30

40

50

する対応点検出手段と、前記検出した複数の組の対応点のうちの一方向の対応点の x y 座標値と、他方の対応点の x y 座標値とのうち、前記複数の視点の視差方向と直交する方向の y 座標値のみが略一致するように前記対象画像を幾何変形するための幾何変形パラメータを推定するパラメータ推定手段と、前記推定した幾何変形パラメータに基づいて前記対象画像を幾何変形する画像変形手段と、を備えたことを特徴としている。

【0013】

上記第1の態様に係る発明によれば、複数の視点から同一被写体を撮影した複数の画像のうちの所定の画像（基準画像）と前記基準画像以外の画像（対象画像）のそれぞれの対応点間の変位のうち、前記複数の視点の視差方向と直交する方向の成分を略ゼロにするという拘束条件を設けた上で、対象画像を幾何変形するための幾何変形パラメータを推定するようになっている。即ち、前記検出した複数の組の対応点のうちの一方向の対応点の x y 座標値と、他方の対応点の x y 座標値とのうち、前記複数の視点の視差方向と直交する方向の y 座標値のみが略一致するように前記対象画像を幾何変形するための幾何変形パラメータを推定する。このようにして推定した幾何変形パラメータに基づいて対象画像を幾何変形することで、本来、基準画像と対象画像間に生じるべき視差による画角ずれを残しつつ、視差方向と直交する方向の画角ずれを補正することができ、理想的な視差画像を得ることができる。

【0014】

本発明の第2の態様は、上記第1の態様に係る立体画像処理装置において、前記幾何変形パラメータは、複数のパラメータからなり、前記パラメータ推定手段は、少なくとも前記検出した複数の組の対応点のうちの一方向の対応点の x y 座標値と他方の対応点の y 座標値とを用いて、前記複数のパラメータの少なくとも一部を推定することを特徴としている。

【0015】

本発明の第3の態様は、上記第2の態様に係る立体画像処理装置において、前記パラメータ推定手段は、前記推定した複数のパラメータの一部を用いて、前記複数のパラメータの残りのパラメータを算出することを特徴としている。

【0016】

即ち、幾何変形を行うための変換式の種類によっては、前記検出した複数の組の対応点のうちの一方向の対応点の x y 座標値と他方の対応点の y 座標値とを用いて、複数のパラメータのうちの全てのパラメータを推定することができる場合と、一部のパラメータしか推定できない場合があるが、後者の場合であっても、推定した一部のパラメータから残りのパラメータを算出することができる。

【0017】

本発明の第4の態様は、上記第2の態様に係る立体画像処理装置において、前記幾何変形パラメータは射影変換パラメータであり、前記パラメータ推定手段は、前記検出した複数の組の対応点のうち5組以上を選択し、前記選択した各組の対応点の座標値に基づいて、少なくとも射影変換先の y 座標値を決定するためのパラメータを推定することを特徴としている。

【0018】

本発明の第5の態様は、上記第4の態様に係る立体画像処理装置において、前記パラメータ推定手段は、前記推定した少なくとも射影変換先の y 座標値を決定するためのパラメータに基づいて、射影変換先の x 座標値を決定するために必要な残りのパラメータを算出することを特徴としている。

【0019】

即ち、画像の幾何変形を射影変換により行う場合には、5組以上の一方向の対応点の x y 座標値と他方の対応点の y 座標値に基づいて射影変換パラメータのうち、一部のパラメータ（少なくとも射影変換先の y 座標値を決定するためのパラメータ）しか推定できないが、残りのパラメータ（射影変換先の x 座標値を決定するために必要なパラメータ）は、前記推定したパラメータに基づいて算出することができる。

【0020】

本発明の第6の態様は、上記第2の態様に係る立体画像処理装置において、前記幾何変形パラメータはヘルマート変換パラメータであり、前記パラメータ推定手段は、前記検出した複数の組の対応点のうちの3組以上を選択し、前記選択した各組の対応点の座標値に基づいて前記ヘルマート変換パラメータを推定することを特徴としている。

【0021】

即ち、画像の幾何変形をヘルマート変換により行う場合には、3組以上の一方の対応点の x y 座標値と他方の対応点の y 座標値に基づいてヘルマート変換パラメータの全てを推定することができる。

【0022】

本発明の第7の態様に係る立体画像処理方法は、複数の視点から同一被写体を撮影した複数の画像を取得する画像取得工程と、前記取得した複数の画像のうちの所定の画像を基準画像として選択し、前記基準画像以外の画像を対象画像として選択し、前記基準画像と対象画像との間で特徴が略一致する複数の組の対応点を検出する対応点検出工程と、前記検出した複数の組の対応点のうちの一方の対応点の x y 座標値と、他方の対応点の x y 座標値とのうち、前記複数の視点の視差方向と直交する方向の y 座標値のみが略一致するように前記対象画像を幾何変形するための幾何変形パラメータを推定するパラメータ推定工程と、前記推定した幾何変形パラメータに基づいて前記対象画像を幾何変形する画像変形工程と、を含むことを特徴としている。

【0023】

本発明の第8の態様は、上記第7の態様に係る立体画像処理方法において、前記幾何変形パラメータは、複数のパラメータからなり、前記パラメータ推定工程は、少なくとも前記検出した複数の組の対応点のうちの一方の対応点の x y 座標値と他方の対応点の y 座標値とを用いて、前記複数のパラメータの少なくとも一部を推定することを特徴としている。

【0024】

本発明の第9の態様は、上記第8の態様に係る立体画像処理方法において、前記パラメータ推定工程は、前記複数の組の総数を N 個とすると、前記 N 個の組から前記幾何変形パラメータのうちの少なくとも変換先の y 座標値を決定するためのパラメータの推定に必要な数の組をランダムに選択する第1の工程と、前記第1の工程によりランダムに選択された各対応点の座標値に基づいて推定したパラメータを用いて、前記 N 個の組についてそれぞれ一方の対応点の変換先の y 座標値を算出する第2の工程と、前記第2の工程により算出された一方の対応点の変換先の y 座標値と他方の対応点の y 座標値との差分を前記 N 個の組についてそれぞれ算出する第3の工程と、前記第3の工程により算出された差分が予め設定した第1の閾値未満となる対応点の組の個数を計数する第4の工程と、前記計数した組の個数と前記 N 個との割合に基づいて前記推定したパラメータの信頼度を判定する第5の工程と、を含み、前記判定された信頼度が予め設定した信頼度に達するまで、又は予め設定した反復回数に達するまで前記第1の工程から第5の工程の処理を繰り返すことを特徴としている。

【0025】

上記第9の態様に係る発明によれば、前記検出された複数の対応点の組の総数が N 個ある場合に、 N 個の組の中から、幾何変形パラメータのうちの少なくとも変換先の y 座標値を決定するためのパラメータの推定に必要な数の組（射影変換の場合は5組、ヘルマート変換の場合は3組）として、適切な組み合わせのものを決定できるようにしている。即ち、 N 個の組からパラメータの推定に必要な数の組をランダムに選択し、その選択した組の各対応点の座標値に基づいて推定したパラメータを用いて、 N 個の組についてそれぞれ一方の対応点の変換先の y 座標値を算出する。この算出された変換先の y 座標値と、他方の対応点の y 座標値との差分を N 個の組についてそれぞれ算出し、この算出した差分が予め設定した第1の閾値未満となる対応点の組の個数を計数する。この計数した組の個数と前記 N 個との割合に基づいて、前記推定したパラメータの信頼度を判定している。そして、

10

20

30

40

50

前記推定したパラメータの信頼度の判定結果が予め設定した信頼度に達するまで、又は予め設定した反復回数に達するまで前記ランダムな組の選択等の処理を繰り返し、これにより、少なくとも変換先の y 座標値を決定するためのパラメータの推定に必要な数の組として、適切な組み合わせのものを決定できるようにしている。

【 0 0 2 6 】

本発明の第 1 0 の態様は、上記第 9 の態様に係る立体画像処理方法において、前記パラメータ推定工程は、前記判定された信頼度が予め設定した信頼度に達したときの前記推定したパラメータ、又は前記反復回数中で最も信頼度が高いときの前記推定したパラメータを用いて、前記 N 個の組についてそれぞれ一方の対応点の変換先の y 座標値を算出する第 6 の工程と、前記第 6 の工程により算出された一方の対応点の変換先の y 座標値と他方の対応点の y 座標値との差分を N 個の組についてそれぞれ算出する第 7 の工程と、前記第 7 の工程により算出された差分が予め設定した第 2 の閾値未満となる対応点の組のみを前記 N 個の組から選択する第 8 の工程と、前記第 8 の工程で選択された対応点の組のみを用いて前記複数のパラメータを算出する第 9 の工程と、を含むことを特徴としている。

10

【 0 0 2 7 】

即ち、前記推定したパラメータは所望の信頼度を有するものであり、このパラメータにより変換された一方の対応点の変換先の y 座標値と他方の対応点の y 座標値とは本来ならば略一致し、その差分は予め設定した第 2 の閾値未満となる。一方、前記差分が前記第 2 の閾値未満にならない対応点の組は不適切な組とみなして排除し、前記差分が前記第 2 の閾値未満になる対応点の組のみを抽出する。そして、このようにして抽出した組のみを用いて複数のパラメータを再度算出し、更にパラメータの信頼度を向上させるようにしている。

20

【 0 0 2 8 】

本発明の第 1 1 の態様は、上記第 1 0 の態様に係る立体画像処理方法において、前記第 9 の工程は、前記第 8 の工程で選択された複数の組の一方の対応点の変換先の y 座標値と他方の対応点の y 座標値との差の自乗和を最小にする前記複数のパラメータを算出することを特徴としている。即ち、最小自乗法により最終の複数のパラメータの推定を行っている。

【 0 0 2 9 】

本発明の第 1 2 の態様に係る立体画像処理プログラムは、複数の視点から同一被写体を撮影した複数の画像を取得する画像取得機能と、前記取得した複数の画像のうちの所定の画像を基準画像として選択し、前記基準画像以外の画像を対象画像として選択し、前記基準画像と対象画像との間で特徴が略一致する複数の組の対応点を検出する対応点検出機能と、前記検出した複数の組の対応点のうち一方の対応点の x y 座標値と、他方の対応点の x y 座標値とのうち、前記複数の視点の視差方向と直交する方向の y 座標値のみが略一致するように前記対象画像を幾何変形するための幾何変形パラメータを推定するパラメータ推定機能と、前記推定した幾何変形パラメータに基づいて前記対象画像を幾何変形する画像変形機能と、をコンピュータに実現させることを特徴としている。

30

【 0 0 3 0 】

本発明の第 1 3 の態様に係る立体撮像装置は、上記第 1 から第 6 のいずれかの態様に係る立体画像処理装置と、複数の視点位置にそれぞれ配置され、該視点位置から同一被写体をそれぞれ撮像する複数の撮像ユニットと、を備え、前記画像取得手段は、前記複数の撮像ユニットによってそれぞれ撮像された複数の画像を取得することを特徴としている。

40

【発明の効果】

【 0 0 3 1 】

本発明によれば、複数の視点から同一被写体を撮影した複数の画像のうちの所定の画像（基準画像）と前記基準画像以外の画像（対象画像）のそれぞれの対応点間の変位のうち、前記複数の視点の視差方向と直交する方向の成分を略ゼロにするという拘束条件を設けた上で、対象画像を幾何変形するための幾何変形パラメータを推定するようにしたため、本来画像間に生じるべき視差による画角ずれを残しつつ、視差方向と直交する方向の画角

50

ずれを補正することができ、理想的な視差画像を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

以下、添付図面に従って本発明に係る立体画像処理装置、方法及びプログラム並びに立体撮像装置の好ましい実施の形態について説明する。

【0033】

〔立体撮像装置の全体構成〕

図1は本発明に係る立体撮像装置の全体構成を示すブロック図である。

【0034】

同図に示すように立体撮像装置10は、6台の撮像ユニット1～6を備えており、同一の被写体を6視点から撮影した6枚の画像（視差画像）を取得し、所定の形式の記録用画像データとして記録する装置である。

10

【0035】

中央処理装置（CPU12）には、制御バス16を介して撮像ユニット1～6及び発光部18が接続されるとともに、メインメモリ20、デジタル信号処理部22、積算部24、圧縮伸張処理部26、外部記録部28、表示部30、対応点検出部32、幾何変形部34、及び幾何変形パラメータ推定部36が接続されており、CPU12は、操作部14からの操作入力に基づき所定の制御プログラムに従って立体撮像装置10全体の動作を統括制御する制御手段として機能する。

【0036】

20

また、撮像ユニット1～6、メインメモリ20、デジタル信号処理部22、積算部24、圧縮伸張処理部26、外部記録部28、表示部30、対応点検出部32、幾何変形部34、及び幾何変形パラメータ推定部36は、それぞれデータバス38を介して接続されている。

【0037】

撮像ユニット1～6は、それぞれ図2に示すように同一の構成を有するものであり、撮影レンズ40、絞り41、IRカットフィルタ42、光学ローパスフィルタ43、撮像素子（CCD）44、A/D変換器45、レンズ駆動部46、絞り駆動部47、及びCCD駆動部48から構成されている。

【0038】

30

撮影レンズ40は、フォーカスレンズ、ズームレンズ等を含み、レンズ駆動部46に駆動されて光軸に沿って前後に移動する。CPU12は、レンズ駆動部46の駆動を制御することにより、フォーカスレンズの位置を制御して被写体に焦点が合うように焦点調節を行うとともに、操作部14からのズーム指令に応じてズームレンズの位置を制御してズームを行う。

【0039】

絞り41は、例えば、アイリス絞りで構成されており、絞り駆動部47に駆動されて動作する。CPU12は、絞り駆動部47を介して絞り41の開口量（絞り値）を制御し、CCD44への入射光量を制御する。

【0040】

40

CCD44は、2次元のカラーCCD固体撮像素子により構成されている。CCD44の受光面には、多数のフォトダイオードが2次的に配列されており、各フォトダイオードには所定の配列でカラーフィルタが配置されている。撮影レンズ40、絞り41、IRカットフィルタ42、及び光学ローパスフィルタ43を介してCCD受光面上に結像された被写体の光学像は、このフォトダイオードによって入射光量に応じた信号電荷に変換される。各フォトダイオードに蓄積された信号電荷は、CPU12の指令に従ってCCD駆動部48から与えられる駆動パルスに基づいて信号電荷に応じた電圧信号（画像信号）としてCCD44から順次読み出される。CCD44は、電子シャッタ機能を備えており、フォトダイオードへの電荷蓄積時間を制御することにより、露光時間（シャッタ速度）が制御される。尚、本実施形態では、撮像素子としてCCD44を用いているが、CMOS

50

センサ等の他の構成の撮像素子を用いることもできる。

【0041】

CCD44から読み出された画像信号は、A/D変換器45によりデジタル信号に変換された後、データバス38を介して一旦、メインメモリ20に格納される。

【0042】

上記構成の撮像ユニット1～6は、図3に示すように立体撮像装置10の装置本体に対して水平方向に、かつ所定の間隔（所定の基線長）で配置されており、更に各撮像ユニット1～6の撮影レンズの光軸が一点で交差するように輻輳角（各光軸のなす角度）が調整されて配置されている。

【0043】

CPU12は、各撮像ユニット1～6を同期させて駆動する。即ち、各撮影レンズ40は、常に同じ被写体にピントが合うように焦点調整が行われ、常に同じ焦点距離（ズーム倍率）に設定される。また、常に同じ入射光量（絞り値）となるように絞り41が調整される。

【0044】

操作部14は、シャッターボタン、電源スイッチ、モードダイヤル、十字ボタン、ズームボタン等の公知の操作入力手段を含んでいる。シャッターボタンは、いわゆる「半押し」と「全押し」とからなる2段ストローク式のスイッチで構成されている。撮影モード時には、シャッターボタンが半押しされると、撮影準備処理（即ち、AE（Automatic Exposure：自動露出）、AF（Auto Focus：自動焦点合わせ）、AWB（Automatic White Balance：自動ホワイトバランス））が行われ、シャッターボタンが全押しされると、画像の撮影・記録処理が行われる。

【0045】

発光部18は、例えば、放電管（キセノン管）により構成され、暗い被写体を撮影する場合や逆光時等に必要に応じて発光される。

【0046】

メインメモリ20は、CPU12によるプログラムの実行時におけるワークエリアとして、また、撮像ユニット1～6により撮像され取得されたデジタル画像信号を一時保持する記憶手段として使用される。

【0047】

デジタル信号処理部22は、ホワイトバランス調整回路、階調変換処理回路（例えば、ガンマ補正回路）、同時化回路（単板CCDのカラーフィルタ配列に伴う色信号の空間的なズレを補間して色信号を同時式に変換する処理回路）、輪郭補正回路、輝度・色差信号生成回路等を含む画像処理手段として機能し、メインメモリ20に格納されたR、G、Bの画像データに対して所定の信号処理を行う。即ち、R、G、Bの画像信号は、デジタル信号処理部22において輝度信号（Y信号）及び色差信号（Cr、Cb信号）からなるYUV信号に変換されるとともに、階調変換処理（例えば、ガンマ補正）等の所定の処理が施される。デジタル信号処理部22により処理された画像信号はメインメモリ20に格納される。

【0048】

積算部24は、シャッターボタンの半押し時に取り込まれる画像信号に基づいてAF制御に必要な焦点評価値を算出したり、AE制御に必要な被写体輝度を算出する。CPU12は、AF制御時には積算部24により算出される焦点評価値が極大となる位置をサーチし、その位置にフォーカスレンズを移動させることにより、被写体（主要被写体）への焦点合わせを行い、AE制御時には積算部24により算出された被写体輝度に基づいて適正な露光量を得るための露出設定を行う。即ち、撮影感度、絞り値、シャッター速度、フラッシュ発光の可否を設定する。

【0049】

圧縮伸張処理部26は、CPU12からの指令に従い、入力された画像データに圧縮処理を施し、所定形式の圧縮画像データを生成する。例えば、静止画に対してはJPEG規

10

20

30

40

50

格に準拠した圧縮処理が施され、動画に対してはMPEG2やMPEG4、H.264規格に準拠した圧縮処理が施される。また、圧縮伸張処理部26は、CPU12からの指令に従い、入力された圧縮画像データに伸張処理を施し、非圧縮の画像データを生成する。

【0050】

外部記録部28は、上記圧縮伸張処理部26により生成されたJPEG形式等の画像データを格納した画像ファイルを、メモリカード等の着脱自在な外部記録媒体に記録し、又は外部記録媒体から画像ファイルの読み出しを行う。

【0051】

表示部30は、例えば、カラー液晶パネルを備えた表示装置により構成され、撮影済み画像を表示するための画像表示部として使用されるとともに、各種設定時にGUIとして使用される。また、表示部30は、撮影モード時に画角を確認するための電子ファインダとして利用される。表示部30の表面には、かまぼこ状のレンズ群を有したいわゆるレンチキュラレンズが配置されており、複数の視点の画像（視差画像）による3次元画像（3D画像）の再生モード時には、外部記録部28から読み出された視差画像が表示され、ユーザは立体視が可能となる。

【0052】

図4(A)に示すように撮像ユニット1～6から得られる6枚の画像は、理想的には各画像間には視差のみによる被写体のずれが生じるが、実際は、図4(B)に示すように視差に加えて撮像ユニット1～6の姿勢やズーム倍率のばらつきに因って被写体のずれが生じる。

【0053】

対応点検出部32、幾何変形部34、及び幾何変形パラメータ推定部36は、画像を幾何変形させて上記被写体のずれを補正する本発明の特徴部分であり、以下、図5に示すフローチャートを参照しながら説明する。

【0054】

<立体画像処理の全体的な流れ>

図5は本発明に係る立体画像処理の全体の流れを示すフローチャートである。

【0055】

[ステップS10]

視差画像の撮像時には、6台の撮像ユニット1～6により同一被写体が撮像され、得られた6枚の画像が記録される。この際、各画像はデジタル信号処理部22により前述した各種の信号処理が施された後、メインメモリ20に一時的に格納される。尚、外部記録部28により外部記録媒体に記録するようにしてもよい。

【0056】

[ステップS12]

メインメモリ20に格納された6枚の画像のうち、所定の1枚の画像（この実施の形態では、撮像ユニット3から得られた画像）が基準画像として設定され、その設定された基準画像がメインメモリ20から読み出される。尚、この実施の形態では、撮像ユニット3から得られた画像を基準画像として設定するようにしたが、これに限らず、6枚の画像のうち、いずれの画像を基準画像に設定してもよい。

【0057】

[ステップS14]

前記設定された基準画像以外の5画像のうち所定の1画像が対象画像として選択され、その選択された対象画像がメインメモリ20から読み出される。

【0058】

[ステップS16]

対応点検出部32は、前記設定された基準画像と前記選択された対象画像との間で特徴が略一致する複数の組の対応点を検出する。

【0059】

対応点検出部32による対応点検出については、従来から様々な手法が提案されている

10

20

30

40

50

。本発明はその手法には限定されないが、例えば、ブロックマッチング法、K L T法(Tomasi & Kanade,1991,Detection and Tracking of Point Features)、S I F T(Scale Invariant Feature Transform)などの従来技術を用いることができる。

【 0 0 6 0 】

尚、この実施の形態では、便宜上、対応点検出部 3 2 により検出された各組（ペア）の対応点のうち、基準画像から検出された対応点を特徴点と称す。

【 0 0 6 1 】

[ステップ S 1 8]

幾何変形パラメータ推定部 3 6 は、前記特徴点と対応点の複数の組の座標値に基づいて射影変換パラメータを推定・算出する。尚、このステップ S 1 8 の詳細については後述する。

10

【 0 0 6 2 】

[ステップ S 2 0]

前記射影変換パラメータが正常なものとして推定されたかを判別し、正常の場合（「yes」の場合）には、ステップ S 2 2 に遷移し、正常でない場合（「no」の場合）には、ステップ S 2 2 を飛ばしてステップ S 2 4 に遷移する。

【 0 0 6 3 】

[ステップ S 2 2]

幾何変形部 3 4 は、正常に推定された射影変換パラメータに基づいて対象画像を射影変換する。射影変換後の画像は、外部記録部 2 8 にて外部記録媒体に記録される。

20

【 0 0 6 4 】

[ステップ S 2 4]

前記基準画像と 5 枚の対象画像の全ての画像間において、上記ステップ S 1 4 ~ S 2 2 の処理が終了したか否かが判別される。終了していない場合にはステップ S 1 4 に遷移し、ここで他の対象画像の選択が行われ、終了した場合には、本立体画像処理を終了させる。

【 0 0 6 5 】

< 射影変換パラメータ推定の流れ >

次に、複数の特徴点と対応点の組に基づいて射影変換パラメータを推定する手順について説明する。

30

【 0 0 6 6 】

ここで、射影変換式は、次式の通りである。

【 0 0 6 7 】

【 数 1 】

$$X = (ax + by + s) / (px + qy + 1)$$

$$Y = (cx + dy + t) / (px + qy + 1)$$

【 0 0 6 8 】

射影変換パラメータは、[数 1] 式中の a、b、s、c、d、t、p、q の 8 個のパラメータを指す。また、(x,y)、(X,Y) は、それぞれ射影変換前後の座標値を示す。

40

【 0 0 6 9 】

図 6 (A) は基準画像から抽出された特徴点（ ）を基準画像上に重畳した図であり、図 6 (B) は対象画像から検出された対応点（ ）を対象画像上に重畳した図である。

【 0 0 7 0 】

また、図 6 (C) には、それぞれ対応する特徴点と対応点とを結ぶベクトルが示されている。尚、図 6 において、特徴点 A (x1,y1) と対応点 A ' (x2,y2) とは、ある 1 組の特徴点と対応点を示している。

【 0 0 7 1 】

本来、特徴点と対応点は、同じ高さ（= y 座標値が略同じ）になるはずであるが、撮像

50

ユニット１～６の姿勢、ズーム率のばらつきに起因して被写体のずれが生じているため、特徴点Ａと対応点Ａ'の高さ（ y 座標値）は一致していない。

【００７２】

そこで、本発明は射影変換パラメータを推定するに当たっては、特徴点と対応点を結ぶ線分（以下、「ベクトル」という）が略水平になる（つまり、特徴点と対応点の y 座標値が略一致する）ことを１つの拘束条件とする。この拘束条件は、６つの撮像ユニット１～６が装置本体に水平に設置されていることに基づく。もし、複数の撮像ユニットが垂直に設置されている場合には、ベクトルが垂直になるという仮定を置く必要がある。要は、複数の視点の視差方向と直交する方向の座標値が略一致するという拘束条件を設ける。

【００７３】

図７は本発明に係るパラメータ推定の概念を示す図である。

【００７４】

図７に示すように、特徴点と対応点のずれ（同図の複合ベクトル）を生じさせる要因を分離して考えると、「視差」と「撮像ユニットの姿勢等のばらつき」とがある。同図からも分かるように、複合ベクトルの y 成分には、視差の影響はなく、撮像ユニットの姿勢等のばらつきによる成分のみが現れる。

【００７５】

そこで、本発明はベクトルの y 成分からカメラ姿勢等に関連する射影変換パラメータを推定・算出する。

【００７６】

< 射影変換パラメータ推定の処理フロー >

図８及び図９は本発明に係る射影変換パラメータの推定手順の一例を示すフローチャートである。

【００７７】

[ステップＳ１００]

基準画像から抽出した特徴点と対象画像から検出した各特徴点に対応する対応点のペア（組）の全ての組数を N 組とした場合、この N 組の特徴点の座標（ x, y ）と対応点の座標（ X, Y ）を読み込む。 i 番目（ $1 \leq i \leq N$ ）の組の特徴点の座標を（ x_i, y_i ）、対応点の座標を（ X_i, Y_i ）とする。

【００７８】

[ステップＳ１０２]

対応点検出部３２によって得られた特徴点と対応点の組の数が少ない場合は、射影変換パラメータの推定ができないため、ペア数 N に対する閾値処理を行う。

【００７９】

即ち、特徴点と対応点の組の数 N に対する閾値 $TH1$ を設け、以下の条件分岐を行う。

【００８０】

IF $N < TH1$ パラメータの推定に失敗したというフラグを立て推定を終了する（図９のステップＳ１２４）。

【００８１】

ELSE パラメータの推定を続行する。

【００８２】

尚、射影変換パラメータを推定するためには、最低５つの組の座標値が必要であるため、前記閾値 $TH1$ は、５以上の所定の値とする。

【００８３】

[ステップＳ１０４]

反復回数 i_{rand} とパラメータ信頼度の最大値 n_vote_max を初期化する（両者ともに０にする）。

【００８４】

[ステップＳ１０６]

特徴点と対応点の N 組のうち、５つの組をランダムに選択する。５組のランダムな選択

10

20

30

40

50

は、乱数を使用して行うことができる。

【 0 0 8 5 】

[ステップ S 1 0 8]

ステップ S 1 0 6 で選択された 5 組の特徴点と対応点の座標値 (5 つの特徴点の x y 座標値と、5 つの対応点の y 座標値) に基づいて、5 組の特徴点と対応点の y 座標値を一致させるための射影変換パラメータを算出する。

【 0 0 8 6 】

前述の [数 1] 式に示したように、y 方向に関する射影変換パラメータは、c、d、t、p、q の 5 つであるため、5 つの点の座標値を [数 1] 式に代入して得られる 5 つ式による連立方程式を解けば、一意にパラメータ (c、d、t、p、q) を算出することができる。

10

【 0 0 8 7 】

[ステップ S 1 1 0]

前記算出されたパラメータ (c、d、t、p、q) を代入した射影変換式に、全ての点の組 (N 組) を当てはめ、以下の条件式 1 を満たす点の数 n_vote を計数する。

【 0 0 8 8 】

【 数 2 】

$$\text{条件式 1: } |Y_i - y_i'| < THY1$$

ただし、 $y_i' = (cx_i + dy_i + t) / (px_i + qy_i + 1)$ 、THY1 は予め定めた定数 (閾値)

20

【 0 0 8 9 】

この条件式 1 の意図するところは、5 つの点の組から定めた射影変換パラメータにより、その他の点の組の y 座標値が一致したかどうかを判断することにある。つまり、N 本あるベクトルのうち、いくつかのベクトルが水平になったかを表すのが、n_vote の値である。この n_vote が大きければ大きいほど、該射影変換パラメータの信頼度が高いと判断できる。

【 0 0 9 0 】

[ステップ S 1 1 2]

ステップ S 1 1 0 で算出した数 n_vote と、信頼度最大値 n_vote_max とを比較し、n_vote が n_vote_max よりも大きい場合 (n_vote > n_vote_max) には、ステップ S 1 1 4 に遷移し、小さい場合 (n_vote ≤ n_vote_max) には、ステップ S 1 1 8 に遷移する。

30

【 0 0 9 1 】

[ステップ S 1 1 4]

前記算出されたパラメータ (c、d、t、p、q) を、中間パラメータ (c_tmp、d_tmp、t_tmp、p_tmp、q_tmp) として一時記憶するとともに、n_vote を最大値 n_vote_max として一時記憶する。

【 0 0 9 2 】

射影変換パラメータを推定する際は、以下に説明するようにステップ S 1 0 6 からステップ S 1 1 8 の処理を既定回数 nrand 繰り返し行うが、そのうち最も n_vote が大きくなったときのパラメータが、最も信頼度が高いと考えられる。そのため、前回の信頼度 n_vote を n_vote_max として保持しておき、今回の信頼度が前回の信頼度よりも大きくなる場合に、各パラメータを更新していく。

40

【 0 0 9 3 】

[ステップ S 1 1 6]

信頼度最大値 n_vote_max の全ての組の数 N に対する比率 (n_vote_max / N) を求め、この比率に対する閾値処理を行う。

【 0 0 9 4 】

即ち、予め設定した閾値 TH2 により、以下の条件分岐を行う。

【 0 0 9 5 】

50

IF $n_vote_max / N < TH2$ パラメータの推定を続行する。

【0096】

ELSE パラメータの反復推定を終了し、最終の射影変換パラメータの算出に遷移する（図9のステップS126）。

【0097】

尚、前記閾値TH2は、1よりも小さい1近傍の値として設定することができる。

【0098】

信頼度最大値 n_vote_max は、N個の点の組のうち、推定されたパラメータによる射影変換によりy座標値が略一致する点の組の数であるから、 n_vote_max / N は、全ての点の組の数Nに対する適正に補正される点の数の割合を示す。従って、 n_vote_max / N がTH2以上の場合、推定されたパラメータは十分信頼できるとして、パラメータの反復推定を終了し、最終の射影変換パラメータの算出に移行する。一方、 n_vote_max / N がTH2未満の場合は、パラメータの反復推定を続行する。

10

【0099】

[ステップS118]

パラメータを反復推定した反復回数 i_rand が、既定回数 n_rand より大きいかなかを判別する。反復回数 i_rand が既定回数 n_rand 以下の場合（「no」の場合）には、ステップS120に遷移し、既定回数 n_rand よりも大きい場合（「yes」の場合）には、ステップS122に遷移する。既定回数 n_rand としては、画像中の特徴点と対応点の組の数Nにもよるが、1000から10000回程度が考えられる。

20

【0100】

[ステップS120]

反復回数 i_rand を1だけインクリメントし、ステップS106に遷移する。

【0101】

[ステップS122]

反復回数 i_rand が既定回数 n_rand よりも大きくなった場合には、ステップS114にて保持されている現在の信頼度最大値 n_vote_max の全ての組の数Nに対する比率（ n_vote_max / N ）を求め、この比率に対する閾値処理を行う。

【0102】

即ち、予め設定した閾値TH3により、以下の条件分岐を行う。

30

【0103】

IF $n_vote_max / N < TH3$ パラメータの推定に失敗したというフラグを立て推定を終了する（図9のステップS124）。

【0104】

ELSE パラメータの反復推定を終了し、最終の射影変換パラメータを算出するためのステップ（図9のステップS126）に遷移する。

【0105】

尚、前記閾値TH3は、ステップS114の閾値TH2よりも小さい値であることは言うまでもない。

【0106】

[ステップS124（図9）]

前述したように、特徴点と対応点の組の数Nが閾値TH1未満の場合（ステップS102）、又は推定したパラメータの信頼度が低い場合（ $n_vote_max / N < TH3$ ）に、射影変換パラメータの推定に失敗したという推定失敗フラグを立て、射影変換パラメータの推定を終了させる。

【0107】

[ステップS126]

ステップS114で保持した中間パラメータ（ c_tmp 、 d_tmp 、 t_tmp 、 p_tmp 、 q_tmp ）を代入した射影変換式に、全ての点の組（N組）を当てはめ、N組から以下の条件式2を満たす組のみを残す（条件式2を満たさない組を排除する）。

50

【 0 1 0 8 】

【 数 3 】

条件式 2: $|Y_i - y_i'| < THY2$ ただし、 $y_i' = (c_tmp \times x_i + d_tmp \times y_i + t_tmp) / (p_tmp \times x_i + q_tmp \times y_i + 1)$ $THY2$ は予め定めた定数(閾値)

【 0 1 0 9 】

これにより、信頼度の高い特徴点と対応点の組のみを残すことができる。

【 0 1 1 0 】

10

[ステップ S 1 2 8]

上記条件式 2 を満たした点の組のみを用い、最小自乗法による最終的なパラメータの推定を行う。ここで、条件式 2 を満たした点の組の数を n とすると、最小自乗法によるパラメータ推定は、次式の評価関数 J_2 が最小となるようにパラメータを推定する。

【 0 1 1 1 】

【 数 4 】

$$J_1 = \sum_{i=1}^n \{Y_i - y_i'\}^2 = \sum_{i=1}^n \{Y_i - (cx_i + dy_i + t) / (px_i + qy_i + 1)\}^2$$

$$J_2 = \sum_{i=1}^n \{px_i Y_i + qy_i Y_i + Y_i - cx_i - dy_i - t\}^2$$

20

【 0 1 1 2 】

尚、評価関数 J_2 は、評価関数 J_1 と等価なものである。

【 0 1 1 3 】

具体的には、次式に示すように、評価関数 J_2 を各パラメータ (c 、 d 、 t 、 p 、 q) で偏微分して得られる 5 つの式それぞれを 0 とおき、これら 5 つの式により連立方程式を解けば、パラメータ (c 、 d 、 t 、 p 、 q) が求められる。

【 0 1 1 4 】

30

【 数 5 】

$$\frac{\partial J}{\partial c} = -2 \sum_{i=1}^n (px_i^2 Y_i + qx_i y_i Y_i + x_i Y_i - cx_i^2 - dx_i y_i - tx_i) = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial d} = -2 \sum_{i=1}^n (px_i y_i Y_i + qy_i^2 Y_i + y_i Y_i - cx_i y_i - dy_i^2 - ty_i) = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial t} = -2 \sum_{i=1}^n (px_i Y_i + qy_i Y_i + Y_i - cx_i - dy_i - t) = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial p} = 2 \sum_{i=1}^n (px_i^2 Y_i^2 + qx_i y_i Y_i^2 + x_i Y_i^2 - cx_i^2 Y_i - dx_i y_i Y_i - tx_i Y_i) = 0$$

40

$$\frac{\partial J}{\partial q} = 2 \sum_{i=1}^n (px_i y_i Y_i^2 + qy_i^2 Y_i^2 + y_i Y_i^2 - cx_i y_i Y_i - dy_i^2 Y_i - ty_i Y_i) = 0$$

【 0 1 1 5 】

以上の連立方程式を解くことで、最終のパラメータ (c 、 d 、 t 、 p 、 q) が得られる。

【 0 1 1 6 】

[ステップ S 1 3 0]

50

次に、8個の射影変換パラメータ（ a 、 b 、 s 、 c 、 d 、 t 、 p 、 q ）のうち、前記推定したパラメータ（ c 、 d 、 t 、 p 、 q ）以外の射影変換先の x 座標値を決定するために必要な残りのパラメータ（ a 、 b 、 s ）を決定する。

【0117】

ここで、パラメータ s は、 x 方向（視差の生じる方向）の平行移動量に相当するパラメータである。視差量が未知で、 s を一意に定めることはできないため、 $s = 0$ とする。

【0118】

一方、パラメータ a 、 b の算出は、例えば、次のようにする。

【0119】

今、図10に示すような座標系を考える。原点 O から距離1のところに画像面があるとし、画像面上の各点を、射影面上に射影する、つまり、 P_1 の点を P_2 に写すことを考える。

10

【0120】

ここで、画像面と射影面のなす角度を、射影面を x' 軸上にとる。また、射影面と z 軸（画像の奥行き方向）の交点を O' とし、 x' 軸上の原点とする。

【0121】

P_1 の x 座標値を x 、 x' 軸で考えたときの P_2 の x 座標値を x' とすると、以下の式が成り立つ。

【0122】

【数6】

20

$$x' = \frac{x / \cos \theta}{\tan \theta x + 1}$$

【0123】

これを一般化し、射影面が x 軸となす角度を θ_x 、 y 軸（図10上で紙面と直交する方向の軸）となす角度を θ_y とすれば、以下の式が得られる。

【0124】

【数7】

30

$$x' = \frac{x / \cos \theta_x}{\frac{\tan \theta_x}{w} x + \frac{\tan \theta_y}{h} y + 1}$$

$$y' = \frac{y / \cos \theta_y}{\frac{\tan \theta_x}{w} x + \frac{\tan \theta_y}{h} y + 1}$$

【0125】

上記【数7】式上で、 (x, y) は画像面上の座標値、 (x', y') は射影面上での座標値である。また、 w と h はそれぞれ画像の幅と高さを表しており、画像の幅と高さについて規格化している。この操作は、撮像ユニットの光軸の方向を調整していることに該当する。

40

【0126】

続いて、射影面上に射影された画像に対して、回転とスケール変化、平行移動を行う。この操作は、撮像ユニットのズーム率や、光軸の回転を調整していることに該当する。ここで、回転角度を θ_0 、ズームに起因するスケール変化率を k 、平行移動量を (s', t') とすると、以下の式が成り立つ。

【0127】

【数 8】

$$X = k \cos \theta_0 \cdot x' - k \sin \theta_0 \cdot y' + s'$$

$$Y = k \sin \theta_0 \cdot x' + k \cos \theta_0 \cdot y' + t'$$

【0128】

上記【数 8】式に【数 7】式を代入すると、以下の式が得られる。

【0129】

【数 9】

$$X = \frac{\left(\frac{k \cos \theta_0}{\cos \theta_x} + \frac{s'}{w} \tan \theta_x \right) \cdot x + \left(-\frac{k \sin \theta_0}{\cos \theta_y} + \frac{s'}{h} \tan \theta_y \right) \cdot y + s'}{\frac{\tan \theta_x}{w} x + \frac{\tan \theta_y}{h} y + 1}$$

10

$$Y = \frac{\left(\frac{k \sin \theta_0}{\cos \theta_x} + \frac{t'}{w} \tan \theta_x \right) \cdot x + \left(\frac{k \cos \theta_0}{\cos \theta_y} + \frac{t'}{h} \tan \theta_y \right) \cdot y + t'}{\frac{\tan \theta_x}{w} x + \frac{\tan \theta_y}{h} y + 1}$$

20

【0130】

これを射影変換式（【数 1】式）と比較すると、以下の関係が導かれる。

【0131】

【数 10】

$$a = \frac{k \cos \theta_0}{\cos \theta_x} + \frac{s'}{w} \tan \theta_x, \quad b = -\frac{k \sin \theta_0}{\cos \theta_y} + \frac{s'}{h} \tan \theta_y, \quad s = s'$$

$$c = \frac{k \sin \theta_0}{\cos \theta_x} + \frac{t'}{w} \tan \theta_x, \quad d = \frac{k \cos \theta_0}{\cos \theta_y} + \frac{t'}{h} \tan \theta_y, \quad t = t'$$

30

$$p = \frac{\tan \theta_x}{w}, \quad q = \frac{\tan \theta_y}{h}$$

【0132】

上記【数 10】式において、既に c、d、t、p、q は既知であるため、これらの式から x、y、 θ_0 、k を求めることができ、これらの x、y、 θ_0 、k から a、b を算出することができる。ただし、上述したように $s = s' = 0$ として a、b を算出する。

【0133】

40

【ステップ S132】

以上の手順により、8 個の射影変換パラメータ（a、b、s、c、d、t、p、q）の推定・算出が終了すると、推定成功フラグを立て、射影変換パラメータの推定を終了させる。

【0134】

尚、この実施の形態では、【数 3】式に示した条件を満たした点の組のみを用い、最小自乗法により最終的なパラメータの推定を行うようにしたが、これに限らず、前記中間パラメータをそのまま使用するようにしてもよい。

【0135】

<その他>

50

以上の推定手法によれば、特徴点を射影変換するための射影変換パラメータが算出される。つまり、得られた射影変換パラメータは、基準画像を変形させるためのものと言える。本来、算出すべきパラメータは、対象画像を変形させるためのパラメータであるが、そうしていないことには以下の理由がある。

【 0 1 3 6 】

通常、入力された画像を変形して出力する際には、出力画像の各画素位置が入力画像上でどこに位置するかを計算する。これは、入力画像の各画素が出力画像上でどこに位置するかを計算していくと、データの無い領域が発生してしまうことを回避するための一般的な手法である。つまり、対象画像を変形するために必要となるパラメータは、実際のところ、特徴点を変換するためのパラメータで良い。

10

【 0 1 3 7 】

また、この実施の形態では、画像の幾何変形の手法として、射影変換を用いたが、ヘルマート変換や、アフィン変換などの幾何変換を用いることも当然可能である。その場合、パラメータの推定方法が射影変換の場合と比較して若干異なる。例えば、ヘルマート変換式は、次式のように表される。

【 0 1 3 8 】

【 数 1 1 】

$$\begin{aligned} \text{ヘルマート変換: } X &= ax - by + s \\ Y &= bx + ay + t \end{aligned}$$

20

【 0 1 3 9 】

射影変換パラメータの推定方法と同様の考え方をするならば、Yを求める5つのパラメータ(c、d、t、p、q)を5組の特徴点と対応点を用いて算出していたところを、3組の特徴点と対応点を用いて、[数11]式のYを求めるためのパラメータ(a、b、t)を推定するように変更すればよい。また、最小自乗法による最終的なパラメータの推定を行う場合には、評価関数Jを次式のようにすればよい。

【 0 1 4 0 】

【 数 1 2 】

$$J = \sum_{i=1}^n \{Y_i - y_i\}^2 = \sum_{i=1}^n \{Y_i - (bx_i + ay_i + t)\}^2$$

30

【 0 1 4 1 】

尚、ヘルマート変換式では、[数11]式に示したように、Xを求めるパラメータにもa、bが含まれているため、Yを定めるパラメータを推定しさえすれば、Xを定めるパラメータも必然と得られることになる。また、射影変換の場合と同様、Xに対する平行移動成分であるパラメータsについては、s = 0として考えればよい。その他の幾何変形を行う場合も同様の考え方でその幾何変形用のパラメータを推定することが可能である。

【 0 1 4 2 】

また、この実施の形態の立体撮像装置は、6つの撮像ユニットを有する複眼カメラであるが、撮像ユニットの数は2以上あればよく、この実施の形態のものに限定されず、更に撮像ユニットが複数備わった複眼カメラに限らず、単眼のカメラが複数台備わったカメラシステムにおいても本発明を適用することができる。

40

【 0 1 4 3 】

更に、本発明に係る立体画像処理は、立体撮像装置によって行う場合に限らず、視差画像の撮影機能を持たないパーソナルコンピュータ等で行うようにしてもよい。この場合、従来の複眼カメラ等によって撮影された複数の画像(視差画像)をパーソナルコンピュータ等に取り込むようにすればよい。また、本発明は、理想的な視差画像を得るための幾何変形処理を行う機能を、パーソナルコンピュータに実現させるプログラムとして提供することも可能である。

50

【 0 1 4 4 】

また、本発明は上述した実施の形態に限定されず、本発明の精神を逸脱しない範囲で種々の変形が可能であることは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 4 5 】

【図 1】図 1 は本発明に係る立体撮像装置の全体構成を示すブロック図である。

【図 2】図 2 は図 1 に示した撮像ユニットの構成を示すブロック図である。

【図 3】図 3 は複数の撮像ユニットの装置本体への配置と被写体との関係を説明するために用いた図である。

【図 4】図 4 は 6 台の撮像ユニットにより撮像される理想的な視差画像と実際の視差画像との対応関係を示す図である。

10

【図 5】図 5 は本発明に係る立体画像処理の全体の流れを示すフローチャートである。

【図 6】図 6 は基準画像及び対象画像における特徴点と対応点との関係を示す図である。

【図 7】図 7 は本発明に係る幾何変形のパラメータ推定の概念を説明するために用いた図である。

【図 8】図 8 は射影変換パラメータの推定手順の一例を示すフローチャートの一部を示す図である。

【図 9】図 9 は射影変換パラメータの推定手順の一例を示すフローチャートの残り部分を示す図である。

【図 10】図 10 は射影変換パラメータのうちの射影変換先の x 座標値を決定するために必要な残りのパラメータの決定方法を説明するために用いた図である。

20

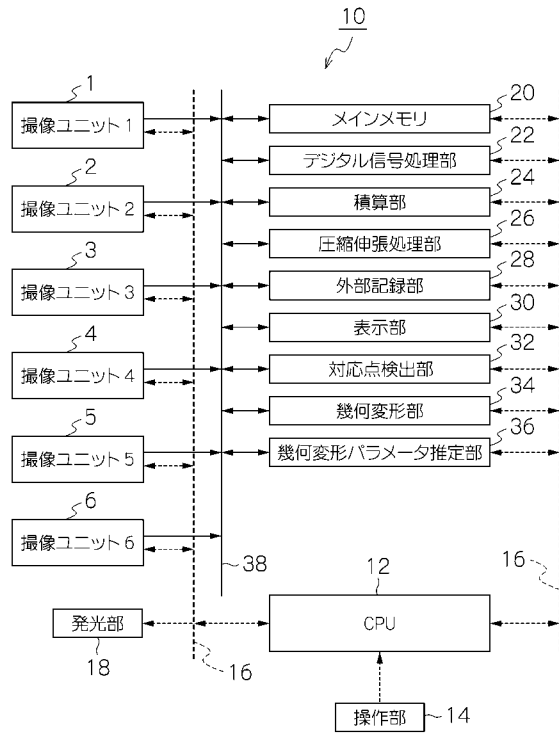
【図 11】図 11 は複数の撮像ユニットのカメラ姿勢に起因する画像のずれを説明するための図である。

【符号の説明】

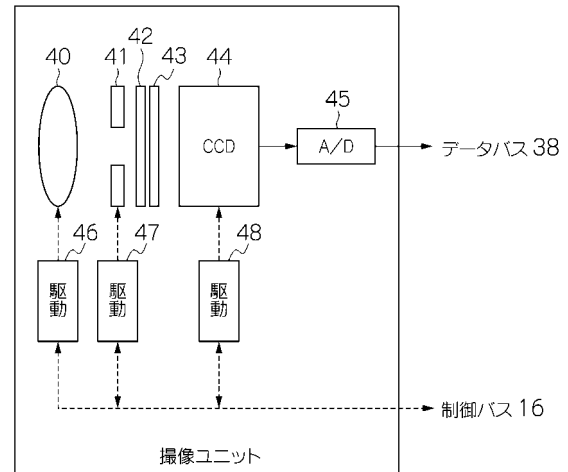
【 0 1 4 6 】

1 ~ 6 ... 撮像ユニット、 1 0 ... 立体撮像装置、 1 2 ... 中央処理装置 (C P U)、 2 0 ... メインメモリ、 2 2 ... デジタル信号処理部、 2 8 ... 外部記録部、 3 0 ... 表示部、 3 2 ... 対応点検出部、 3 4 ... 幾何変形部、 3 6 ... 幾何変形パラメータ推定部

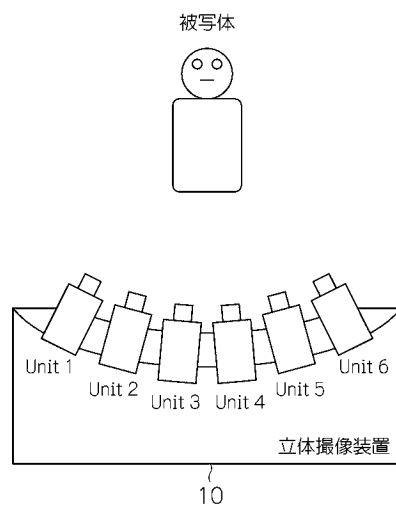
【図 1】



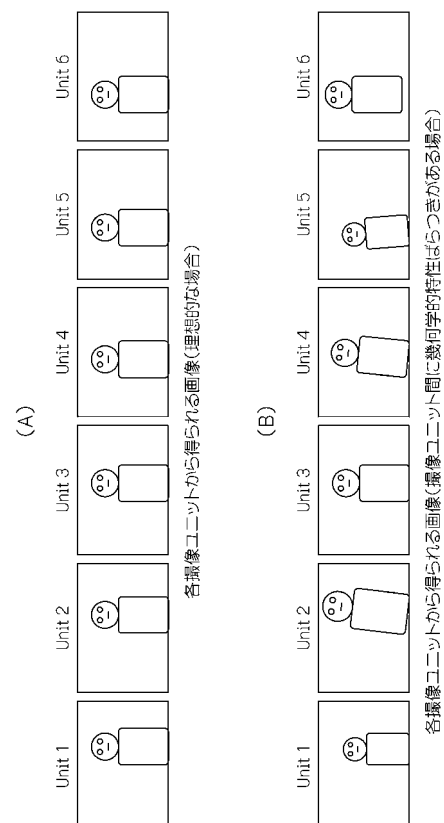
【図 2】



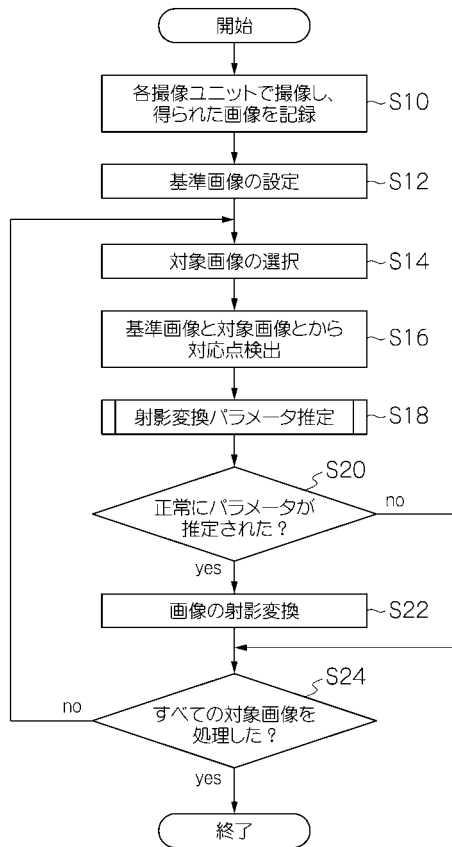
【図 3】



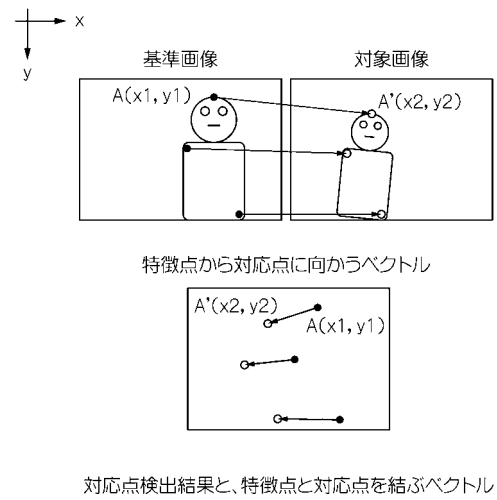
【図 4】



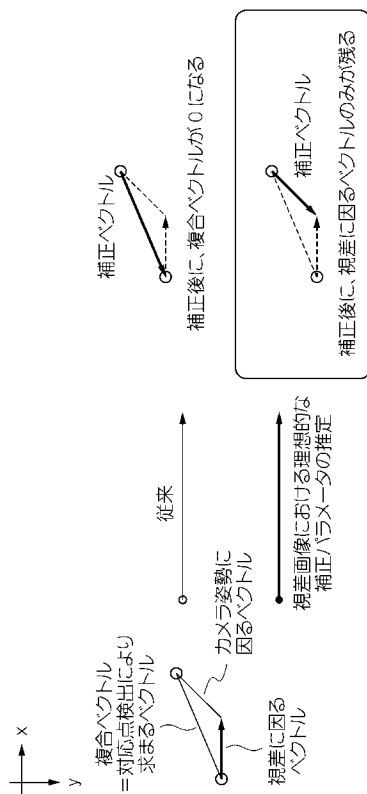
【図 5】



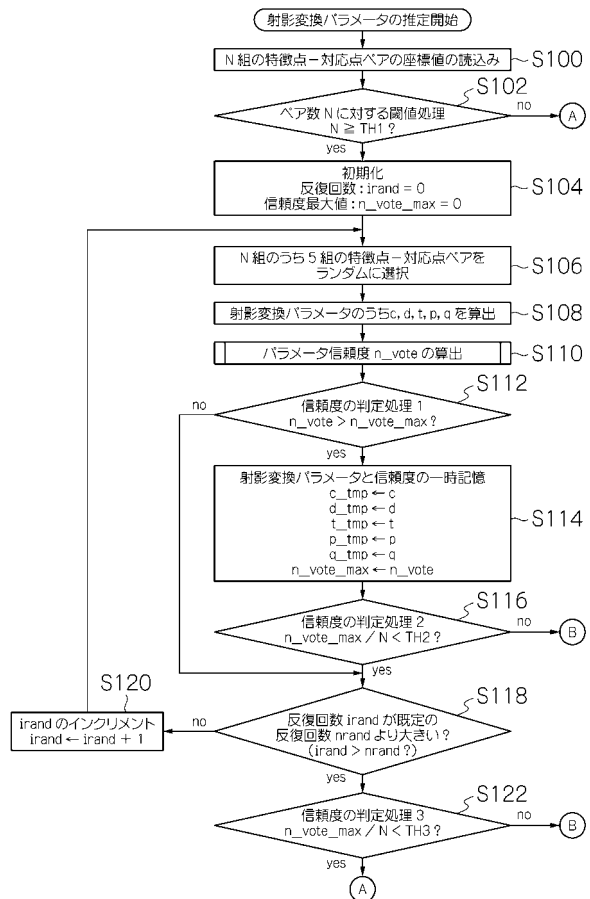
【図 6】



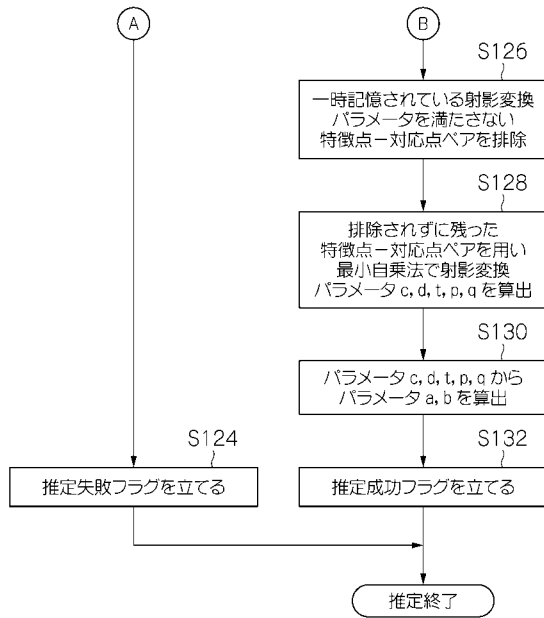
【図 7】



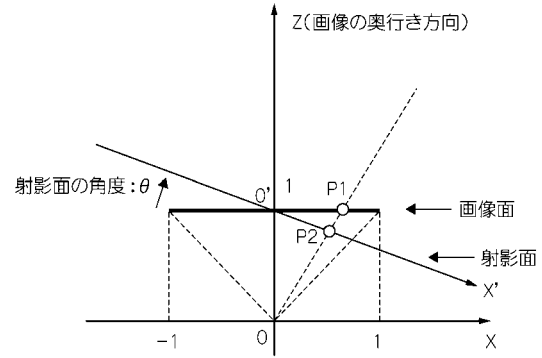
【図 8】



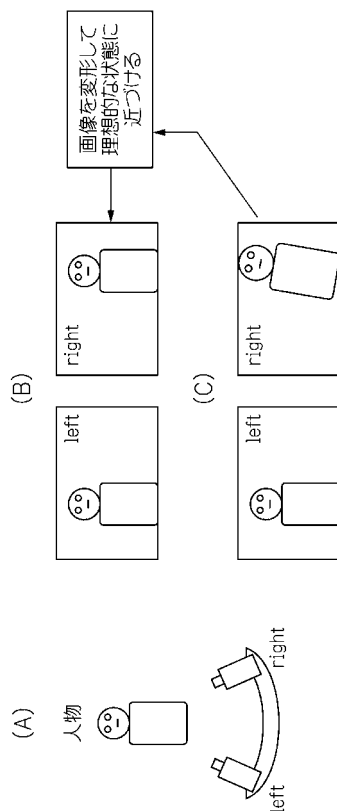
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 1 8 7 2 6 1 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 2 8 5 4 1 5 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 5 2 0 9 6 9 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G 0 6 T 1 / 0 0
H 0 4 N 1 3 / 0 2