

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7013205号

(P7013205)

(45)発行日 令和4年1月31日(2022.1.31)

(24)登録日 令和4年1月21日(2022.1.21)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 N 5/232(2006.01)

H 0 4 N 5/232 4 8 0

G 0 3 B 5/00 (2021.01)

G 0 3 B 5/00 J

G 0 6 T 7/246(2017.01)

G 0 6 T 7/246

G 0 6 T 7/80 (2017.01)

G 0 6 T 7/80

G 0 6 T 7/70 (2017.01)

G 0 6 T 7/70 Z

請求項の数 11 (全24頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2017-209632(P2017-209632)

(22)出願日 平成29年10月30日(2017.10.30)

(65)公開番号 特開2019-83407(P2019-83407A)

(43)公開日 令和1年5月30日(2019.5.30)

審査請求日 令和2年10月30日(2020.10.30)

(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 100114775

弁理士 高岡 亮一

(74)代理人 100121511

弁理士 小田 直

(72)発明者 川村 勇太

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 中嶋 樹理

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 像振れ補正装置およびその制御方法、撮像装置

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

撮像装置に加わる振れにより生じる像振れを、振れ補正手段によって補正する像振れ補正装置であって、

撮像画像の画像信号から得られる動きベクトル情報を用いて撮像画像における特徴点を抽出して追跡し、前記特徴点の座標を示す情報を算出する追跡手段と、

前記撮像装置に加わる振れに係る振れ情報を用いて前記撮像装置の位置姿勢情報を推定する第1の推定手段と、

前記位置姿勢情報を用いて被写体と前記撮像装置との奥行きを含めた位置関係を示す前記特徴点の3次元座標を推定する第2の推定手段と、

複数の撮像画像間の視差量から前記特徴点の追跡期間を算出する第1の算出手段と、

前記第1の算出手段から取得した前記追跡期間が長い場合に、前記追跡期間が短い場合よりも前記振れ情報に対する前記位置姿勢情報の割合を高くして前記振れ情報および前記位置姿勢情報を用いた演算を行い、前記振れ補正手段の制御量を算出する第2の算出手段と、前記制御量にしたがって前記振れ補正手段を制御する制御手段と、を備える

ことを特徴とする像振れ補正装置。

## 【請求項2】

前記第2の算出手段は、前記追跡期間に基づく前記3次元座標の推定の寄与度を算出し、前記追跡期間が長くなるにつれて前記寄与度を高くして前記振れ情報および前記位置姿勢情報を用いた演算を行う

ことを特徴とする請求項 1 に記載の像振れ補正装置。

【請求項 3】

前記第 2 の算出手段は、

前記追跡期間に対応するゲインを前記位置姿勢情報に乗算する乗算手段と、  
前記振れ情報を前記ゲインが乗算された前記位置姿勢情報と加算する加算手段と、を備え、  
前記ゲインの値は、前記追跡期間が長い場合に前記追跡期間が短い場合よりも大きい  
ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の像振れ補正装置。

【請求項 4】

前記第 1 の算出手段は、前記視差量が小さいほど前記追跡期間を短く算出する

ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の像振れ補正装置。

10

【請求項 5】

前記追跡手段は、前記撮像画像のフレームごとに特徴点を抽出する抽出手段と、撮像時刻  
の異なる複数の画像信号を記憶する記憶手段と、動きベクトルを検出する検出手段を備え、  
前記特徴点の座標を示す情報を用いて複数の前記撮像画像における同一の特徴点を抽出  
して追跡する処理を行う

ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の像振れ補正装置。

【請求項 6】

前記検出手段は、

前記追跡手段により追跡される前記特徴点に基づく第 1 の動きベクトルを検出する第 1 の  
検出手段と、

20

前記複数の画像信号から第 2 の動きベクトルを検出する第 2 の検出手段と、を備える  
ことを特徴とする請求項 5 に記載の像振れ補正装置。

【請求項 7】

前記第 2 の動きベクトルからグローバルベクトルを推定する第 3 の推定手段をさらに備え、  
前記第 2 の算出手段は、前記追跡期間に対応するゲインを前記グローバルベクトルに乗算  
する乗算手段と、

前記振れ情報を前記ゲインが乗算された前記グローバルベクトルと加算する加算手段と、  
を備え、

前記ゲインの値は、前記追跡期間が長い場合に前記追跡期間が短い場合よりも大きい

ことを特徴とする請求項 6 に記載の像振れ補正装置。

30

【請求項 8】

前記追跡の信頼度である追跡信頼度を算出する信頼度算出手段と、

前記追跡信頼度を用いて追跡対象とする特徴点を設定する特徴点設定手段と、を備える

ことを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の像振れ補正装置。

【請求項 9】

前記信頼度算出手段は、前記動きベクトル情報が算出される際に用いられた複数の画像信  
号から演算される相関値、または追跡の前後における前記特徴点の特徴量の変化量により  
前記追跡信頼度を算出する

ことを特徴とする請求項 8 に記載の像振れ補正装置。

【請求項 10】

40

請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の像振れ補正装置を備える撮像装置。

【請求項 11】

撮像装置に加わる振れにより生じる像振れを、振れ補正手段によって補正する像振れ補正  
装置にて実行される制御方法であって、

撮像画像の画像信号から得られる動きベクトル情報を用いて撮像画像における特徴点を抽  
出して追跡し、前記特徴点の座標を示す情報を算出する工程と、

前記撮像装置に加わる振れに係る振れ情報を用いて前記撮像装置の位置姿勢情報を推定す  
る工程と、

前記位置姿勢情報を用いて被写体と前記撮像装置との奥行きを含めた位置関係を示す前記  
特徴点の 3 次元座標を推定する工程と、

50

複数の撮像画像間の視差量から前記特徴点の追跡期間を算出する工程と、  
前記追跡期間が長い場合に、前記追跡期間が短い場合よりも前記振れ情報に対する前記位置姿勢情報の割合を高くして前記振れ情報および前記位置姿勢情報を用いた演算を行い、  
前記振れ補正手段の制御量を算出する工程と、  
前記制御量にしたがって前記振れ補正手段を制御する工程と、を有することを特徴とする像振れ補正装置の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等の撮像装置において像振れを補正する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

デジタルカメラ等による撮像時に、カメラ本体部を保持するユーザの手振れ等で被写体の像振れが生ずる場合がある。撮像装置が行う像振れ補正には、光学式像振れ補正と電子式像振れ補正がある。例えば光学式像振れ補正では、カメラ本体部に加えられた振動を角速度センサ等で検出し、検出結果に応じて撮像光学系内に設けた補正レンズを移動させる制御が行われる。撮像光学系の光軸方向を変化させて撮像素子の受光面に結像される像を移動させることにより、像振れが補正される。また電子式像振れ補正では、撮像画像に対する画像処理により、擬似的に像振れの補正処理が行われる。

【0003】

手振れ等により発生する像振れを補正するためには、撮像装置の位置姿勢変化を検出する必要がある。撮像装置の姿勢および位置を検出する自己位置推定方法として、SFM (Structure from Motion) と慣性センサを用いた位置姿勢推定 (Visual and Inertial Sensor Fusion) 技術を応用した方法がある。現実の空間 (実空間) に存在する物体の3次元座標と撮像装置の位置姿勢を推定する方法が知られている。特許文献1には、特徴点の動きを追跡し、追跡結果を使用して像振れを補正する技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2016-119572号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来の技術では、撮影された画像間の視差量が小さい場合、SFMによる物体の3次元座標推定に失敗する可能性がある。特許文献1では、画像間の視差量が大きくなるように、追跡を行う画像を選択することで視差量が小さくなることを回避している。しかしこの技術では、視差量の小さい画像同士の比較結果を考慮することができない。そのため処理が行われない期間が発生してしまい、像振れ補正に関して制御されない期間が発生する可能性がある。特に細かな手振れにより像振れが長期間に亘って発生する場合、像振れを補正することは困難である。

本発明は、撮像画像の特徴点の3次元座標を利用した像振れ補正において、3次元座標の推定状態に拠らずに良好な像振れ補正を行うことを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一実施形態の装置は、撮像装置に加わる振れにより生じる像振れを、振れ補正手段によって補正する像振れ補正装置であって、撮像画像の画像信号から得られる動きベクトル情報を用いて撮像画像における特徴点を抽出して追跡し、前記特徴点の座標を示す情報を算出する追跡手段と、前記撮像装置に加わる振れに係る振れ情報を用いて前記撮像装置の位置姿勢情報を推定する第1の推定手段と、前記位置姿勢情報を用いて被写体と前記

10

20

30

40

50

撮像装置との奥行きを含めた位置関係を示す前記特徴点の３次元座標を推定する第２の推定手段と、複数の撮像画像間の視差量から前記特徴点の追跡期間を算出する第１の算出手段と、前記第１の算出手段から取得した前記追跡期間が長い場合に、前記追跡期間が短い場合よりも前記振れ情報に対する前記位置姿勢情報の割合を高くして前記振れ情報および前記位置姿勢情報を用いた演算を行い、前記振れ補正手段の制御量を算出する第２の算出手段と、前記制御量にしたがって前記振れ補正手段を制御する制御手段と、を備える。

【発明の効果】

【０００７】

本発明によれば、撮像画像の特徴点の３次元座標を利用した像振れ補正において、３次元座標の推定状態に拠らずに良好な像振れ補正を行うことができる。

10

【図面の簡単な説明】

【０００８】

【図１】本発明の第１実施形態の撮像装置の構成例を示すブロック図である。

【図２】像振れ補正装置の構成例を示す図である。

【図３】像振れ補正装置の処理を説明するフローチャートである。

【図４】特徴点追跡部の構成例を示す図である。

【図５】特徴点追跡処理を説明するフローチャートである。

【図６】特徴点抽出の説明図である。

【図７】テンプレートマッチングの説明図である。

【図８】相関値マップの説明図である。

20

【図９】相関値マップの表現方法を説明する図である。

【図１０】特徴点の追跡信頼度を表す相関値指標を説明する図である。

【図１１】特徴点の追跡信頼度の算出方法を説明する図である。

【図１２】透視射影モデルの説明図である。

【図１３】３次元座標の推定方法を説明する図である。

【図１４】位置姿勢推定値の補正処理のフローチャートである。

【図１５】目標位置算出部の構成例を示す図である。

【図１６】目標位置算出処理のフローチャートである。

【図１７】追跡期間に対するゲイン量の説明図である。

【図１８】第２実施形態の像振れ補正装置の構成例を示す図である。

30

【図１９】第２実施形態の像振れ補正装置の処理を説明するフローチャートである。

【図２０】第２実施形態の動きベクトル演算部の構成例を示す図である。

【図２１】第２実施形態の動きベクトル演算部が行う処理のフローチャートである。

【図２２】第２実施形態の目標位置算出部の構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【０００９】

以下に本発明の実施形態を、添付図面を参照して詳細に説明する。本発明は、ビデオカメラ、デジタルカメラおよび銀塩スチルカメラ等の撮像装置や、撮像部を有する電子機器に適用可能である。以下では、撮像装置の振れ検出信号を用いて像振れの補正を行う動作を「像振れ補正動作」という。

40

【００１０】

〔第１実施形態〕

図１は、本実施形態の撮像装置の構成例を示す図である。図１に示す撮像装置は、例えばデジタルスチルカメラである。なお、撮像装置が動画撮影機能を有していてもよい。撮像装置はズームユニット１０１を備える。ズームユニット１０１は、撮像光学系（結像光学系）を構成する、倍率が可変な撮影レンズの一部であり、撮影倍率を変更するズームレンズを含む。ズーム駆動部１０２は、制御部１１７からの制御信号に従ってズームユニット１０１を駆動する。

【００１１】

像振れ補正レンズ（以下、単に補正レンズともいう）１０３は、撮像装置に加わる振れに

50

より生じる像振れの補正に用いられる補正部材（振れ補正手段）である。補正レンズ１０３は、撮影レンズの光軸方向に対して直交する方向に移動可能である。像振れ補正レンズ駆動部１０４は、制御部１１７からの制御信号に従って、補正レンズ１０３を駆動する。絞り・シャッタユニット１０５は、絞り機能をもつメカニカルシャッタを備える。絞り・シャッタ駆動部１０６は、制御部１１７からの制御信号に従って絞り・シャッタユニット１０５を駆動する。焦点調節に使用するフォーカスレンズ１０７は、撮影レンズの一部であり、撮影レンズの光軸に沿って位置を変更可能である。フォーカス駆動部１０８は、制御部１１７からの制御信号に従って、フォーカスレンズ１０７を駆動する。

#### 【００１２】

撮像部１０９は、ＣＣＤイメージセンサやＣＭＯＳイメージセンサ等の撮像素子を備える。ＣＣＤは、“Charge Coupled Device”の略号であり、ＣＭＯＳは、“Complementary Metal-Oxide Semiconductor”の略号である。撮像素子は、撮像光学系により結像される光学像を、画素単位の電気信号に変換する。

#### 【００１３】

撮像信号処理部１１０は、撮像部１０９が出力する電気信号に対して、Ａ（Analog）／Ｄ（Digital）変換、相関二重サンプリング、ガンマ補正、ホワイトバランス補正、色補間処理等を行い、映像信号に変換する。映像信号処理部１１１は、撮像信号処理部１１０が出力した映像信号を用途に応じて加工する。具体的には、映像信号処理部１１１は、表示用の映像データを生成し、また記録用に符号化処理やデータファイル化を行う。表示部１１２は、映像信号処理部１１１が出力する表示用の映像信号に基づいて、必要に応じて画像表示を行う。

#### 【００１４】

電源部１１３は、撮像装置全体に、用途に応じて電源を供給する。外部入出力端子部１１４は、外部装置との間で通信信号および映像信号の入出力を行う際に使用される。操作部１１５は、ユーザが撮像装置に指示を与えるためのボタンやスイッチ等を有する。記憶部１１６は、映像情報等を含む様々なデータを記憶する。

#### 【００１５】

制御部１１７は、例えばＣＰＵ（Central Processing Unit）、ＲＯＭ（Read Only Memory）、ＲＡＭ（Random Access Memory）を備え、撮像装置全体を制御する。ＲＯＭに記憶された制御プログラムをＲＡＭに展開してＣＰＵが実行することによって、撮像装置の各部が制御され、以下に説明する様々な動作が実現される。振れ検出部１１８は撮像装置に加わる振れを検出するセンサを備え、振れ検出信号を制御部１１７に出力する。

#### 【００１６】

操作部１１５は、リリースボタンの押し込み量に応じて第１スイッチ（ＳＷ１と記す）および第２スイッチ（ＳＷ２と記す）が順にオンするように構成されたリリーススイッチを有する。リリースボタンの半押し操作で、ＳＷ１がオンし、リリースボタンの全押し操作でＳＷ２がオンする。ＳＷ１がオンすると、制御部１１７は、映像信号処理部１１１が表示部１１２に出力する表示用の映像信号に基づいて、ＡＦ（オートフォーカス）評価値を算出する。そして、制御部１１７は、ＡＦ評価値に基づいてフォーカス駆動部１０８を制御することにより、自動焦点検出および焦点調節制御を行う。また、制御部１１７は、映像信号の輝度情報および予め定められたプログラム線図に基づいて、適切な露光量を得るための絞り値およびシャッタ速度を決定するＡＥ（自動露出）処理を行う。ＳＷ２がオン操作されると、制御部１１７は、決定した絞り値およびシャッタ速度で撮影を行い、撮像部１０９で得た画像データを記憶部１１６に記憶させるように各処理部を制御する。

#### 【００１７】

また操作部１１５は、像振れ補正（防振）モードの選択に使用する操作スイッチを有する。この操作スイッチの操作により像振れ補正モードが選択されると、制御部１１７は、振れ検出部１１８から振れ検出信号を取得し、像振れ補正レンズ駆動部１０４に像振れ補正動作を指示する。制御部１１７の制御指令を受けた像振れ補正レンズ駆動部１０４は、像

10

20

30

40

50

振れ補正のオフ指示が行われるまでの間、像振れ補正動作を行う。

【 0 0 1 8 】

操作部 1 1 5 は、静止画撮影モードや動画撮影モードを選択可能な撮影モード選択スイッチを有する。撮影モード選択スイッチのユーザ操作により撮影モードの選択処理が行われ、制御部 1 1 7 は、像振れ補正レンズ駆動部 1 0 4 の動作条件を変更する。また操作部 1 1 5 は、再生モードを選択するための再生モード選択スイッチを有する。再生モード選択スイッチのユーザ操作によって再生モードが選択されると、制御部 1 1 7 は像振れ補正動作を停止させる制御を行う。また操作部 1 1 5 は、ズーム倍率変更の指示を行う倍率変更スイッチを含む。倍率変更スイッチのユーザ操作によって、ズーム倍率の変更が指示されると、制御部 1 1 7 を介して指示を受けたズーム駆動部 1 0 2 は、ズームユニット 1 0 1 を駆動して、指示された位置にズームレンズを移動させる。

10

【 0 0 1 9 】

図 2 は、本実施形態の像振れ補正装置の構成例を示す図である。像振れ補正装置は、撮像装置に加わる振れを検出し、像振れ補正レンズ 1 0 3 を駆動することによって像振れ補正を行う。第 1 振動センサ 2 0 1 は、例えば角速度センサであり、通常姿勢（撮像画像の長手方向が水平方向とほぼ一致する姿勢）における、撮像装置の垂直方向（ピッチ方向）、水平方向（ヨー方向）、光軸回りの回転方向（ロール方向）の振動を検出する。第 2 振動センサ 2 0 3 は、例えば加速度センサであり、通常姿勢における、撮像装置の垂直方向の移動量、水平方向の移動量、光軸方向の移動量を検出する。

【 0 0 2 0 】

A / D 変換器 2 0 2 は、第 1 振動センサ 2 0 1 により検出されるアナログ値をデジタル値へ変換し、後述の目標位置算出部 2 1 2 および減算器 2 1 5 に出力する。A / D 変換器 2 0 4 は、第 2 振動センサ 2 0 3 により検出されるアナログ値をデジタル値へ変換し、後述の統合処理部 2 0 5 および追跡期間算出部 2 0 9 に出力する。また、A / D 変換器 2 1 7 は、位置検出センサ 2 1 1 により検出される補正レンズの位置を示すアナログ値をデジタル値へ変換し、後述の減算器 2 1 3 および微分器 2 1 6 に出力する。

20

【 0 0 2 1 】

撮像部 1 0 9 の出力信号は撮像信号処理部 1 1 0 によって処理され、さらに特徴点追跡部 2 1 0 が処理する。特徴点追跡部 2 1 0 は、撮像信号処理部 1 1 0 より入力される映像信号に対して、追跡期間算出部 2 0 9 によって推定される複数の撮像画像間の視差量に基づいて特徴点を抽出し、追跡処理を行う。

30

【 0 0 2 2 】

主被写体分離部 2 0 8 は、特徴点追跡部 2 1 0 から取得される特徴点に対して、主被写体領域に属する特徴点と主被写体以外の背景領域に属する特徴点を分離する。分離された特徴点のデータは、追跡期間算出部 2 0 9 および統合処理部 2 0 5 に出力される。追跡期間算出部 2 0 9 は、主被写体分離部 2 0 8 および A / D 変換器 2 0 4 の各出力を取得し、複数の撮像画像間の視差量および追跡期間を算出する。追跡期間算出部 2 0 9 は、主被写体分離部 2 0 8 によって分離された背景領域に属する特徴点の追跡情報を使用して視差量を算出し、視差量に基づいて特徴点の追跡期間を算出する。追跡情報は、例えば撮像画像において抽出されて追跡対象となる特徴点の座標等を示す情報である。

40

【 0 0 2 3 】

統合処理部 2 0 5 は、3次元座標推定部 2 0 6 と位置姿勢推定部 2 0 7 を有する。統合処理部 2 0 5 は、第 1 振動センサ 2 0 1 および第 2 振動センサ 2 0 3 による検出情報と、主被写体分離部 2 0 8 による画像情報とを統合し、撮像装置の位置姿勢および特徴点の 3次元座標を推定する。位置姿勢推定部 2 0 7 には、減算器 2 1 5 が A / D 変換器 2 0 2 の出力から微分器 2 1 6 の出力を減算して得た信号と、A / D 変換器 2 0 4 の出力信号が入力される。3次元座標推定および位置姿勢推定の詳細については後述する。

【 0 0 2 4 】

目標位置算出部 2 1 2 は、第 1 振動センサ 2 0 1 より得られる撮像装置のピッチ方向、ヨー方向の振れを表す振れ検出信号（角速度信号）と、統合処理部 2 0 5 の出力する位置姿

50

勢情報を取得する。目標位置算出部 2 1 2 は、追跡期間算出部 2 0 9 によって算出された追跡期間の情報を、統合処理部 2 0 5 を介して取得する。目標位置算出部 2 1 2 は取得した情報に基づいて、像振れ補正レンズ 1 0 3 をピッチ方向やヨー方向に駆動するための補正位置制御信号を生成する。補正位置制御信号は、減算器 2 1 3 を通じて制御フィルタ 2 1 4 に供給される。減算器 2 1 3 は取得した補正位置制御信号から、A / D 変換器 2 1 7 の出力である補正レンズのピッチ方向およびヨー方向における位置検出信号を減算し、減算後の信号を制御フィルタ 2 1 4 へ出力する。

【 0 0 2 5 】

制御フィルタ 2 1 4 は、減算器 2 1 3 の出力に応じて像振れ補正レンズ 1 0 3 の駆動に係るフィードバック制御を行う。これにより、補正レンズの位置検出信号値が、目標位置算出部 2 1 2 による補正位置制御信号値に収束するように、像振れ補正レンズ駆動部 1 0 4 内のアクチュエータの制御が行われる。

10

【 0 0 2 6 】

図 3 のフローチャートを参照して、本実施形態の像振れ補正処理について説明する。S 3 0 1 から S 3 0 4 の処理と S 3 0 5 から S 3 0 9 の処理は、並行処理として実行される。S 3 0 1 で撮像部 1 0 9 は、被写体像の光信号を電気信号に光電変換し、撮像画像の画像信号を取得する。S 3 0 2 で撮像信号処理部 1 1 0 は、画像信号をアナログ信号からデジタル信号へ変換し、所定の画像処理を行う。特徴点追跡部 2 1 0 は撮像画像における特徴点を追跡するとともに、特徴点追跡の信頼度（以下、追跡信頼度と呼ぶ）を算出する。特徴点追跡部 2 1 0 の内部構成および処理の詳細については後述する。

20

【 0 0 2 7 】

S 3 0 3 で主被写体分離部 2 0 8 は、S 3 0 2 で追跡された特徴点に対して、主被写体領域に属する特徴点と主被写体以外の背景領域に属する特徴点を分離する。特徴点の分離には、例えば公知の K - m e a n s 法や E M アルゴリズムによるクラスタリングが用いられる。

【 0 0 2 8 】

S 3 0 4 で追跡期間算出部 2 0 9 は、S 3 0 2 にて分離された背景領域の特徴座標を使用して、複数の撮像画像間の視差量を推定する。本実施形態では撮像装置の並進移動による、像面上の移動量を視差量として算出する。具体的には、背景領域に属する特徴座標のフレーム間変位量が視差量として算出される。なお、画像信号から視差量を算出する処理について説明するが、後述の S 3 0 8 で算出される第 2 振動センサ 2 0 3 による振れ加速度から撮像装置の並進移動量を算出し、これを視差量としてもよい。また、後述の S 3 1 0 で推定される 3 次元位置座標から像面上の移動量について奥行方向も考慮することで、より視差量の推定精度を高めることができる。算出された視差量に基づいて特徴点の追跡期間が算出される。具体的には画像間の視差量が小さいほど、追跡期間がより短く算出される。

30

【 0 0 2 9 】

S 3 0 5 ~ S 3 0 9 の処理は、位置姿勢推定部 2 0 7 が撮像装置の位置姿勢を推定する処理である。S 3 0 5 で第 1 振動センサ 2 0 1 は振れ角速度を検出する。S 3 0 5 から S 3 1 2 への矢印は、検出された振れ角速度が目標位置算出部 2 1 2 に出力される処理が行われることを示す。S 3 0 6 で微分器 2 1 6 は、像振れ補正レンズ 1 0 3 の検出位置にかかわる撮影フレーム間の差分を演算することで、像振れ補正レンズ 1 0 3 の移動速度を算出する。

40

【 0 0 3 0 】

S 3 0 7 で減算器 2 1 5 は、第 1 振動センサ 2 0 1 による角速度情報から、像振れ補正レンズ 1 0 3 の移動速度を減算する。これにより、撮像装置の振れ補正残り角速度に相当する情報が算出され、位置姿勢推定部 2 0 7 に出力される。S 3 0 8 で第 2 振動センサ 2 0 3 は振れ加速度を検出する。S 3 0 9 で位置姿勢推定部 2 0 7 は、S 3 0 7 にて算出された振れ補正残り角速度の情報と、S 3 0 8 にて検出された振れ加速度の情報に基づき、撮像装置の実空間での位置姿勢を推定する。この位置姿勢は、振れ補正残り角速度を用いて

50

推定されるため、像振れ補正後の補正残り位置姿勢に相当する。

【 0 0 3 1 】

S 3 0 4、S 3 0 9 の処理後に S 3 1 0 へ進む。3 次元座標推定部 2 0 6 は、S 3 0 9 で位置姿勢推定部 2 0 7 により推定された撮像装置の位置姿勢情報と、S 3 0 2 で得られた背景領域の特徴点情報に基づいて、実空間上の特徴点の奥行きを含めた 3 次元座標を推定する。つまり、被写体と撮像装置との奥行きを含めた位置関係を示す特徴点の 3 次元座標を推定して算出する処理が実行される。S 3 1 1 で位置姿勢推定部 2 0 7 は、S 3 1 0 で推定された特徴点の 3 次元座標と、S 3 0 3 で得られた背景領域の撮像画像上の 2 次元特徴点座標に基づいて、S 3 0 9 における振れ補正残りの位置姿勢推定値を補正する。3 次元座標の推定方法および推定値の補正方法の詳細は後述する。

10

【 0 0 3 2 】

S 3 1 2 で目標位置算出部 2 1 2 は、S 3 0 4 にて取得された追跡期間と、S 3 0 5 にて取得された振れ角速度信号と、S 3 1 1 における振れ補正残りの位置姿勢推定値を用いて、像振れ補正レンズ 1 0 3 の駆動に係る補正位置制御信号を生成する。その詳細については後述する。そして S 3 1 3 にて像振れ補正レンズ駆動部 1 0 4 は、S 3 1 2 で生成された補正位置制御信号が示す目標位置に基づいて、像振れ補正レンズ 1 0 3 を駆動する。以下では S 3 0 2、S 3 1 0、S 3 1 1、S 3 1 2 の各ステップの処理について詳述する。

【 0 0 3 3 】

図 4 および図 5 を参照して、図 3 の S 3 0 2 における特徴点追跡の詳細を説明する。図 4 は、特徴点追跡部 2 1 0 の内部構成を例示する図である。特徴点抽出部 4 0 1 は、撮像信号処理部 1 1 0 から画像信号を取得し、画像から特徴点を抽出する。特徴点設定部 4 0 2 は、特徴点抽出部 4 0 1 および動きベクトル検出部 4 0 4 および追跡信頼度算出部 4 0 5 の各出力に基づき、追跡対象とする特徴点を設定する。

20

【 0 0 3 4 】

画像メモリ 4 0 3 は、撮像信号処理部 1 1 0 から入力された画像信号を一時的に記憶し、撮像時刻の異なる複数の画像の画像信号を蓄積する。動きベクトル検出部 4 0 4 は、特徴点設定部 4 0 2 で設定された特徴点に基づいて撮像信号処理部 1 1 0 および画像メモリ 4 0 3 から入力される画像信号に対して動きベクトルを検出する。追跡信頼度算出部 4 0 5 は、動きベクトル検出部 4 0 4 により検出された動きベクトルを取得し、特徴点追跡の信頼度、つまり追跡信頼度を算出する。

30

【 0 0 3 5 】

図 5 は、特徴点追跡部 2 1 0 の処理を説明するフローチャートである。

S 5 0 1 にて特徴点抽出部 4 0 1 は、撮像信号処理部 1 1 0 からの入力画像に対して、特徴点を抽出する。図 6 は、特徴点の抽出例を説明する図である。特徴点抽出部 4 0 1 は、例えば、分割された複数の画像領域ごとに所定数の特徴点を抽出する。図 6 ( A ) において、白い矩形領域が、特徴点抽出を行う特徴抽出領域である。特徴点抽出領域の周辺には、斜線で示す周辺領域が設けられている。抽出される特徴点の位置によっては、後述する動きベクトル検出に用いるテンプレート領域およびサーチ領域が特徴抽出領域をはみ出す。したがって、はみ出し分だけ余剰の画像領域として斜線で示す周辺領域が設けられている。図 6 ( B ) は、格子状に分割された画像領域ごとに 1 個の特徴点 6 0 1 を抽出する処理例を示す。

40

【 0 0 3 6 】

特徴点の抽出方法としては、一般的な公知の方法である、H a r r i s c o r n e r 検出器または S h i a n d T o m a s i の方法がある。画像の画素位置 ( x , y ) における輝度値を  $I(x, y)$  と表現する。そして、画像に対して水平および垂直の 1 次微分フィルタを適用した結果  $I_x, I_y$  から、式 ( 1 ) で示す自己相関行列  $H$  が作成される。

【 数 1 】



$$H = G * \begin{pmatrix} Ix^2 & IxIy \\ IxIy & Iy^2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

【 0 0 3 7 】

式 ( 1 ) において、G は式 ( 2 ) に示すガウス分布による平滑化の関数を表す。

【 数 2 】

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

10

【 0 0 3 8 】

Harris corner 検出器は、式 ( 3 ) に示す特徴評価式により、特徴量が大きくなる画素を特徴点として抽出する。

【 数 3 】

$$Harris = \det(H) - \alpha(tr(H))^2 \quad (\alpha = 0.04 \sim 0.15) \quad (3)$$

20

式 ( 3 ) において、“det” は行列式を表し、“tr” は対角成分の和を表す。また、 $\alpha$  は定数であり、実験的に 0.04 ~ 0.15 の値が良いとされる。

【 0 0 3 9 】

一方、Shi and Tomasi の方法では、式 ( 4 ) に示す特徴評価式が用いられる。

【 数 4 】

$$Shi \ and \ Tomasi = \min(\lambda_1, \lambda_2) \quad (4)$$

30

式 ( 4 ) は、式 ( 1 ) の自己相関行列 H の固有値  $\lambda_1, \lambda_2$  のうち、小さい方の固有値を特徴量とすることを表す。Shi and Tomasi を用いる場合でも、特徴量が大きくなる画素を特徴点として抽出する処理が行われる。式 ( 3 ) または式 ( 4 ) により画素の特徴量が算出され、特徴量が高い方から所定数の画素が特徴点として抽出される。

【 0 0 4 0 】

図 5 の S 5 0 2 では特徴点設定部 4 0 2 が、追跡対象とする特徴点を設定する。初期フレームに関しては、S 5 0 1 で新たに抽出された特徴点をそのまま追跡対象として設定すればよい。2 フレーム目以降の設定方法については後述する。

【 0 0 4 1 】

40

S 5 0 3 にて動きベクトル検出部 4 0 4 は、S 5 0 2 で追跡対象として設定された特徴点を用いて動きベクトルの検出を行う。動きベクトルの検出方法としては公知の相関法やブロックマッチング法等がある。動きベクトルの算出方法に関しては、公知の任意の方法を適用可能である。以下ではブロックマッチング法の適用例について説明する。

【 0 0 4 2 】

図 7 は、ブロックマッチング法の概要を示す模式図である。図 7 ( A ) は、2 つのベクトル検出画像のうちの基準画像を示し、図 7 ( B ) は参照画像を示している。この例では、基準画像として画像メモリ 4 0 3 に保持されているフレーム画像、参照画像として撮像信号処理部 1 1 0 から直接入力される画像データを用いることで、過去のフレーム画像から現在のフレーム画像への動きベクトルが算出される。なお、基準画像と参照画像とは、入

50

れ替えて適用してもよい。基準画像と参照画像とを入れ替えて適用することは、現在のフレーム画像から過去のフレーム画像への動きベクトルを算出することを意味する。

【 0 0 4 3 】

動きベクトル検出部 4 0 4 は、基準画像にテンプレート領域 7 0 1 を配置し、参照画像にサーチ領域 7 0 2 を配置し、テンプレート領域 7 0 1 とサーチ領域 7 0 2 との相関値を算出する。テンプレート領域 7 0 1 は、図 5 の S 5 0 2 で設定された特徴点を中心に配置し、サーチ領域 7 0 2 は、テンプレート領域を上下左右の各方向で均等に包含するように、所定の大きさで配置すればよい。

【 0 0 4 4 】

本実施形態では、相関値の算出方法として、差分絶対値和 (Sum of Absolute Difference : 以下、S A D と略記する) を使用する。S A D の計算式 ( 5 ) を示す。

10

【数 5 】

$$S\_SAD = \sum_i \sum_j |f(i, j) - g(i, j)| \quad (5)$$

【 0 0 4 5 】

式 ( 5 ) において、 $f(i, j)$  はテンプレート領域 7 0 1 内の座標  $(i, j)$  での輝度値を示す。また、 $g(i, j)$  はサーチ領域 7 0 2 内において相関値の算出対象となる領域 ( 以下、相関値算出領域という ) 7 0 3 内の各座標での輝度値を示す。S A D では、両領域 7 0 2 , 7 0 3 内の輝度値  $f(i, j)$  と  $g(i, j)$  との差の絶対値を計算し、その総和を求めることで相関値  $S\_SAD$  が得られる。相関値  $S\_SAD$  の値が小さいほど、テンプレート領域 7 0 1 と相関値算出領域 7 0 3 とのテクスチャの類似度が高いことを表す。なお、相関値の算出には S A D 以外の方法としては、例えば差分二乗和 ( S S D ) や正規化相互相関 ( N C C ) を用いる方法でもよい。

20

【 0 0 4 6 】

動きベクトル検出部 4 0 4 は、サーチ領域 7 0 2 の全域にて相関値算出領域 7 0 3 を移動させて相関値を算出する。これにより、サーチ領域 7 0 2 に対して図 8 に示す相関値マップが作成される。

【 0 0 4 7 】

図 8 は相関値マップの例を示す図である。図 8 ( A ) は、サーチ領域 7 0 2 の座標系で算出した相関値マップを示す。X 軸と Y 軸は相関値マップ座標を表し、Z 軸は各座標での相関値の大きさを表している。また図 8 ( B ) は、図 8 ( A ) の等高線を示す図である。

30

【 0 0 4 8 】

図 8 ( A ) および図 8 ( B ) において、最も小さい相関値は極小値 8 0 1 であり、サーチ領域 7 0 2 内で極小値 8 0 1 が算出された領域には、テンプレート領域 7 0 1 と非常に類似したテクスチャが存在していると判定できる。極小値 8 0 2 は、二番目の極小値、極小値 8 0 3 は、三番目の極小値である。極小値 8 0 2 、8 0 3 が算出された領域においては、極小値 8 0 1 が算出された領域に次いで類似したテクスチャが存在している。このように、動きベクトル検出部 4 0 4 は、テンプレート領域 7 0 1 とサーチ領域 7 0 2 との間で相関値を算出し、相関値が最も小さくなる相関値算出領域 7 0 3 の位置を判定する。これにより、動きベクトル検出部 4 0 4 は、基準画像上のテンプレート領域 7 0 1 の参照画像上での移動先を特定する。そして、動きベクトル検出部 4 0 4 は、基準画像上でのテンプレート領域の位置を基準とした参照画像上での移動先への方向および移動量を方向および大きさとした動きベクトルを検出する。

40

【 0 0 4 9 】

図 5 の S 5 0 4 において、追跡信頼度算出部 4 0 5 は、S 5 0 1 で得られた特徴点情報と、S 5 0 3 で得られた相関値情報の少なくともいずれかを用いて、追跡信頼度を算出する。相関値情報は、動きベクトル情報の算出の際に実行される相関値の演算結果である。最初に、相関値情報を用いて追跡信頼度を算出する例を説明する。図 9 は、図 8 ( B ) の 2

50

次元相関値マップにおいて、矢印 8 0 4 のように相関値をラスタ順に並べて 1 次元で表した図である。図 9 の縦軸は相関値を表し、横軸は相関値マップの X 座標と Y 座標により一意に定まる画素アドレスを表す。以降、追跡信頼度を算出するため、図 9 の表現を用いることにする。位置 9 0 1 は、図 8 に示す極小値 8 0 1 に対応する位置である。

#### 【 0 0 5 0 】

図 1 0 は、追跡信頼度を表す相関値の指標の一例を示す。図 1 0 の横軸は画素のアドレスを表し、縦軸は相関値を表す。図 1 0 ( A ) に示す例では、指標として相関値の最小値と最大値との差分  $D a$  を用いる。差分  $D a$  は相関値マップのレンジを表しており、差分  $D a$  が小さく、例えばテクスチャのコントラストが低い場合に追跡信頼度が低いことを示す。図 1 0 ( B ) に示す例では、指標として相関値の最小値と最大値の差分  $A$  と、最小値と平均値の差分  $B$  との比率  $D b (= B / A)$  を用いる。比率  $D b$  は、相関値ピークの急峻性を表しており、比率  $D b$  が小さく、例えばテンプレート領域とサーチ領域との類似度が低い場合、追跡信頼度が低いことを示す。

10

#### 【 0 0 5 1 】

図 1 0 ( C ) に示す例では、指標として相関値の極小値（最小値）と二番目の極小値との差分  $D c$  を用いる。相関値 1 0 0 1、1 0 0 2、1 0 0 3 はそれぞれ、図 8 の極小値 8 0 1、8 0 2、8 0 3 と対応している。よって、図 1 0 ( C ) では、図 8 ( B ) の等高線において、相関値の最小値と類似した極小値が存在しないかを確認することができる。差分  $D c$  は相関値マップの周期性を表し、差分  $D c$  が小さい場合、例えばテクスチャが繰り返しパターンやエッジ等である場合、追跡信頼度が低いことを示す。なお、この例では、最小値と二番目の極小値を選択したが、相関値マップの周期性を判定できればよいため、その他の極小値を選択してもよい。

20

#### 【 0 0 5 2 】

図 1 0 ( D ) に示す例では、指標として相関値の最小値  $D d$  を用いる。最小値  $D d$  が大きく、例えばテンプレート領域とサーチ領域との類似度が低い場合、追跡信頼度が低いことを表す。最小値  $D d$  と追跡信頼度は反比例の関係にあるため、 $D d$  の逆数 ( $1 / D d$ ) を指標とする。

#### 【 0 0 5 3 】

上記相関値の指標は、そのまま信頼度として用いることができるが、相関値の指標から信頼度を算出方法がある。例えば図 1 1 ( A ) では、相関値指標  $D$  と追跡信頼度の対応付けが行われる。図 1 1 ( A ) の横軸に示す相関値指標  $D$  は、 $D a$ 、 $D b$ 、 $D c$ 、 $1 / D d$  のいずれかを表し、縦軸は追跡信頼度  $R 1$  を表す。この例では、二つの閾値  $T 1$ 、 $T 2$  ( $T 1 < T 2$ ) を設けている。 $D$  値が  $T 1$  以下である場合に  $R 1$  の値がゼロであり、 $T 2$  以上である場合に  $R 1$  の値が 1 である。閾値  $T 1$ 、 $T 2$  は、相関値指標ごとに変更してもよい。また  $D$  値が閾値  $T 1$  と  $T 2$  との間の区間では、 $D$  と  $R 1$  が線形関係にあり、 $D$  値の増加につれて  $R 1$  の値が増加する。あるいは相関値指標  $D$  と追跡信頼度  $R 1$  とを非線形関係に対応付けてもよい。以降の説明では、各相関値指標  $D a$ 、 $D b$ 、 $D c$ 、 $1 / D d$  から得られる信頼度をそれぞれ  $R a$ 、 $R b$ 、 $R c$ 、 $R d$  と表記する。ここで、任意の関数 ( $f$  と記す) を用いて  $R a = f(D a)$ 、 $R b = f(D b)$ 、 $R c = f(D c)$ 、 $R d = f(D d)$  の関係とする。

30

40

#### 【 0 0 5 4 】

最終的な追跡信頼度  $R 1$  は、 $R a$ 、 $R b$ 、 $R c$ 、 $R d$  を組み合わせて算出される。重み付け加算による方法と論理演算による方法を説明する。重み付け加算による方法では、 $R a$ 、 $R b$ 、 $R c$ 、 $R d$  の重みをそれぞれ  $W a$ 、 $W b$ 、 $W c$ 、 $W d$  と表記する。追跡信頼度  $R 1$  は式 ( 6 ) から計算される。

#### 【数 6】

$$R1 = Wa \times Ra + Wb \times Rb + Wc \times Rc + Wd \times Rd \quad (6)$$

50

例えば、重みを  $W_a = 0.4$  ,  $W_b = 0.3$  ,  $W_c = 0.2$  ,  $W_d = 0.1$  とする。全ての信頼度が十分に高く、 $R_a = R_b = R_c = R_d = 1$  の場合には、式 (6) より  $R_1 = 1.0$  となる。また  $R_a = 0.6$  ,  $R_b = 0.5$  ,  $R_c = 0.7$  ,  $R_d = 0.7$  の場合には、式 (6) より  $R_1 = 0.6$  となる。

【0055】

論理演算による方法では、 $R_a$  ,  $R_b$  ,  $R_c$  ,  $R_d$  に対する閾値をそれぞれ  $T_a$  ,  $T_b$  ,  $T_c$  ,  $T_d$  と表記する。追跡信頼度  $R_1$  は、例えば論理積演算を用いて式 (7) から計算される。

【数7】

$$R_1 = (R_a \geq T_a) \wedge (R_b \geq T_b) \wedge (R_c \geq T_c) \wedge (R_d \geq T_d) \quad (7)$$

10

式 (7) 中の、

【数8】

$\wedge$

は論理積演算を表す記号である。 $R_a \geq T_a$ 、 $R_b \geq T_b$ 、 $R_c \geq T_c$ 、 $R_d \geq T_d$  が全て成立する場合に  $R_1 = 1$  (高信頼度) であり、それ以外の場合に  $R_1 = 0$  (低信頼度) となる。

20

【0056】

また論理和演算を用いて、追跡信頼度  $R_1$  を式 (8) から計算してもよい。

【数9】

$$R_1 = (R_a < T_a) \downarrow (R_b < T_b) \downarrow (R_c < T_c) \downarrow (R_d < T_d) \quad (8)$$

は否定論理和演算を表す記号である。 $R_a < T_a$ 、 $R_b < T_b$ 、 $R_c < T_c$ 、 $R_d < T_d$  の全てが成立しない場合に  $R_1 = 1$  (高信頼度) であり、それ以外の場合に  $R_1 = 0$  (低信頼度) となる。

30

【0057】

次に、特徴点の特徴量を用いた追跡信頼度の算出例を説明する。撮像時刻の異なる画像間で同一の特徴点を正しく追跡できている場合、追跡前後で特徴点の特徴量の変化は小さくなる。そのため、追跡信頼度算出部 405 は追跡前後の特徴量の変化量に応じて追跡信頼度を算出する。特徴量の変化量は、追跡前後で式 (3) または式 (4) により特徴量を算出し、両者の差分を演算することで得られる。図 11 (B) を参照して具体例を説明する。

【0058】

図 11 (B) は、特徴量の変化量と信頼度の対応付けの一例を示す。図 11 (B) の横軸は特徴量の変化量を表し、縦軸は追跡信頼度  $R_2$  を表す。この例では、2つの閾値  $T_1$  ,  $T_2$  ( $T_1 < T_2$ ) を設けている。特徴量の変化量が閾値  $T_1$  以下である場合、同一の特徴点を正しく追跡できているので、追跡信頼度  $R_2$  は1である。特徴量の変化量が閾値  $T_2$  以上である場合、異なる特徴点の誤追跡の可能性が高いため、追跡信頼度  $R_2$  はゼロである。特徴量の変化量が閾値  $T_1$  と  $T_2$  との間の区間では、特徴量の変化量と  $R_2$  とが線形関係であり、特徴量の変化量の増加につれて  $R_2$  の値が減少する。あるいは特徴量の変化量と信頼度とを非線形関係に対応付けてもよい。

40

【0059】

以上の説明から、相関値指標情報と特徴点情報のそれぞれから追跡信頼度  $R_1$  ,  $R_2$  を算出することができる。最終的な追跡信頼度  $R$  としては、いずれか一方を用いてもよいし、両者を組み合わせて用いてもよい。組み合わせに関しては、式 (6) ~ 式 (8) にて説明

50

したように、重み付け加算や論理演算を用いればよい。

【 0 0 6 0 】

図 5 の S 5 0 5 において特徴点追跡部 2 1 0 は、最終フレームまで処理が完了したかどうかを判定し、処理の完了時には以上に説明した一連の処理を終了する。一方、最終フレームまで処理が完了していない場合には S 5 0 1 に戻り、処理を続行する。S 5 0 2 で特徴点設定部 4 0 2 は、図 3 の S 3 0 4 にて算出された追跡期間に基づき追跡対象の特徴点の制御を行う。追跡期間中には、S 5 0 3 で検出された動きベクトルの終点座標が、次のフレームでの追跡対象の特徴点として設定される。その結果、動きベクトルの終点座標は、特徴点の移動先を表しているため、複数のフレームに亘って特徴点を追跡することが可能になる。追跡期間が終了する場合、S 5 0 1 では新たに抽出された特徴点に置き換える処理が実行される。

10

【 0 0 6 1 】

次に図 1 2 および図 1 3 を参照して、図 3 の S 3 1 0 における特徴点の 3 次元座標推定を詳説する。図 1 2 は透視射影モデルを示す模式図であり、特徴点の 3 次元座標  $P = (X, Y, Z)$  と、それを撮像画像上に射影した 2 次元座標  $p = (u, v)$  との関係を表す。ここでは、仮想的な撮像面がレンズの前方に、焦点距離  $f$  だけ離れた位置に設定されているものとする。OW は世界座標系の原点を表し、OC はカメラ座標系の原点であるカメラレンズ中心を表す。Z 軸はカメラ光軸を表しており、点 P は世界座標系で表現され、点 p はカメラ座標系で表現される。

20

【 0 0 6 2 】

透視投影変換では、3 次元座標系での点 P と 2 次元座標系での点 p との関係が式 ( 9 ) で表される。

【 数 1 0 】

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K[R | t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad K = \begin{bmatrix} f & 0 & cx \\ 0 & f & cy \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad [R | t] = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & t_x \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & t_y \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & t_z \end{bmatrix} \quad (9)$$

【 0 0 6 3 】

( 9 ) 式中、K は内部パラメータ行列と呼ばれ、カメラ固有のパラメータである。K は、ピクセル単位の焦点距離  $f$  と主点  $c = (cx, cy)$  から成る。ここでは、主点を画像中心  $(0, 0)$  とし、 $cx = cy = 0$  として扱う。また、R および t は外部パラメータ行列と呼ばれ、世界座標系に対するカメラの位置姿勢を表す。R は回転行列、t は平行移動行列である。R の要素を  $R_{11} \sim R_{33}$  と表記し、t の要素を  $t_x \sim t_z$  と表記する。

30

【 0 0 6 4 】

図 1 3 は、2 つの異なるカメラ位置姿勢から 3 次元座標 P を観測する様子を示す模式図である。図 1 3 において、推定したい 3 次元座標を  $P = (X, Y, Z)$  とし、フレーム 1 でのカメラの位置を O (原点)、姿勢を I (単位行列) とし、その時の撮像画像上の特徴座標を  $p_0 = (u_0, v_0)$  とする。また、フレーム 2 でのカメラの位置を T、姿勢を R、その時の撮像画像上の特徴座標を  $p_1 = (u_1, v_1)$  とする。

40

【 0 0 6 5 】

式 ( 9 ) より、3 次元座標 P と、撮像画像上の 2 次元座標  $p_0, p_1$  との関係はそれぞれ式 ( 1 0 )、式 ( 1 1 ) のように表される。

【 数 1 1 】

$$u_0 = f \frac{X}{Z}, v_0 = f \frac{Y}{Z} \quad (10)$$

【 数 1 2 】

50

$$u_1 = f \frac{R_{11}X + R_{12}Y + R_{13}Z + t_x}{R_{31}X + R_{32}Y + R_{33}Z + t_z}, v_1 = f \frac{R_{21}X + R_{22}Y + R_{23}Z + t_y}{R_{31}X + R_{32}Y + R_{33}Z + t_z} \quad (11)$$

【0066】

式(10)、式(11)中の $f$ は撮像光学系の焦点距離である。 $R$ および $T$ は図3のS309で得られる位置姿勢推定値、 $p_0$ および $p_1$ の座標値は図3のS304で得られる背景領域の特徴点情報を用いればよく、既知である。したがって、式(10)および式(11)の連立方程式を解くことで、未知数 $X, Y, Z$ を求め、3次元座標を得ることができる。なお、未知数の数が $X, Y, Z$ の3個であるのに対して、連立方程式の数は、特徴点を追跡するフレーム数を $n$ とすると、 $2n$ 個になる。そのため、3次元座標 $P$ を1フレームだけから観測した場合には、未知数の数が方程式の数よりも多いため、 $P$ を一意に定めることができない。一方、2フレーム以上では、過剰条件の連立方程式となるので、例えば、公知の最小二乗法を用いて解くことができる。

10

【0067】

図14を参照して、図3のS311における振れ補正残り位置姿勢の推定補正について説明する。図14は、位置姿勢推定部207の処理を示すフローチャートである。

S1401では、式(9)を用いて、S310で推定された3次元座標を、撮像画像上の2次元座標に変換する処理が行われる。S1402では再射影誤差の算出処理が行われる。S1401で得られた2次元座標を、

20

【数13】

$$\hat{u}_{ij}$$

と表記し、図3のS303で得られた実際に観測された2次元座標を、

【数14】

$$u_{ij}$$

30

と表記する。

【0068】

再射影誤差を $E$ と表記し、これは式(12)で表される。

【数15】

$$E = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} W_i |u_{ij} - \hat{u}_{ij}|^2, \quad W_i = \begin{bmatrix} w_{i0} & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & w_{i1} & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & w_{ij} & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & w_{im-1} \end{bmatrix} \quad (12)$$

40

【0069】

式(12)中の $i$ は、フレーム番号を表し、 $j$ は特徴点番号を表す。フレーム数を $n$ 、特徴点数を $m$ とすると、 $i = 0 \sim n-1$ 、 $j = 0 \sim m-1$ の範囲で変化する。 $W_i$ は $i$ 番目のフレームにおける特徴点重みを表す行列である。行列 $W_i$ の $i$ 行 $j$ 列目の要素は、 $i$ 番目のフレームにおける $j$ 番目の特徴点の重み $w_{ij}$ であり、図3のS304で得られる。

50

重み（加重係数）が大きい特徴点ほど、再射影誤差に与える影響が大きくなり、S 1 4 0 3における位置姿勢推定値の補正に対する寄与度が大きくなる。

【0070】

S 1 4 0 3では、カメラ位置姿勢の推定補正処理が行われる。位置姿勢推定部207は、S 1 4 0 2において式(12)より得られた再射影誤差が最小になるように、振れ補正残りの位置姿勢推定値を補正する。再射影誤差は、実際に観測された撮像画像上の2次元座標と、3次元座標を撮像画像上に投影した2次元座標との誤差である。したがって、3次元座標と、追跡した2次元の特徴座標が正しい場合、座標誤差は3次元座標を撮像画像上に投影した際の位置姿勢推定の誤差により生じていることになる。この再射影誤差が小さくなるほど、位置姿勢推定値は真値に近づく。以上から、位置姿勢推定値の補正は、位置姿勢推定値を変数とした再射影誤差の最小化問題となるため、例えば公知の重み付き最小二乗法により行うことができる。

10

【0071】

図15を参照して、目標位置算出部212の内部構成を説明する。図15は、目標位置算出部212の詳細な内部構成を示すブロック図である。ハイパスフィルタ1501は、A/D変換器202の出力信号を取得し、第1振動センサ201の出力に含まれるDCオフセット成分を除去する。ローパスフィルタ1502は、ハイパスフィルタ1501の出力を取得して、角速度信号から角度相当の信号へ変換する。積分ゲイン部1503はローパスフィルタ1502の出力に対して積分ゲインを乗算する。ゲイン乗算器1504は、統合処理部205の出力に対してゲインを乗算する。加算器1505は、積分ゲイン部1503およびゲイン乗算器1504の各出力信号の加算処理を行い、加算演算結果の信号を減算器213へ出力する。つまり、積分ゲイン部1503の出力に対してゲイン乗算器1504からのフィードバック量を加算する処理が行われる。

20

【0072】

図16を参照して、図3のS 3 1 2における目標位置算出について詳説する。図16は、目標位置算出部212が行う処理のフローチャートである。S 1 6 0 1でハイパスフィルタ1501は、図3のS 3 0 5で第1振動センサ201が検出した撮像装置の振れ角速度信号に対して、DCオフセット成分を除去する。S 1 6 0 2でローパスフィルタ1502は、S 1 6 0 1でDCオフセット成分が除去された振れ角速度信号に対して、ローパスフィルタ処理を行う。S 1 6 0 3で積分ゲイン部1503はゲイン乗算を行う。こうして振れ角速度信号が振れ角度信号に変換される。

30

【0073】

S 1 6 0 4でゲイン乗算器1504は、統合処理部205から出力される振れ補正残り角度信号に対して乗算するゲインを決定する。ゲインの決定方法について、図17を用いて説明する。図17の横軸は追跡期間を表し、縦軸はゲイン量を表す。この例では、閾値時間T3を設けており、追跡期間の長さがゼロのときにゲイン量がゼロである。この原点を起点として、追跡期間の長さが閾値時間T3未満である区間では、追跡期間の増加につれてゲイン量が増加する線形関係を示す。追跡期間の長さが閾値時間T3以上である場合には、ゲイン量が1となる。よって追跡期間が長い場合には、追跡期間が短い場合よりも振れ検出信号に対する振れ補正残り角度信号（位置姿勢情報）の合成の割合が高くなる。

40

【0074】

S 1 6 0 5で加算器1505は、S 1 6 0 3で算出される振れ角度信号と、S 1 6 0 4で得られるゲイン乗算後の振れ補正残り角度信号とを加算し、振れ補正レンズ103の目標位置を算出する。

【0075】

本実施形態では、撮像装置の振れ角度信号に対して、特徴点の3次元座標を利用して生成した振れ補正残り角度信号を、視差量に応じて制御する。追跡情報に基づいて画像間の視差量から算出される追跡期間に基づく3次元座標の推定の寄与度を算出し、追跡期間が長くなるにつれて寄与度を高く設定する処理が行われ、寄与度にしたがって振れ情報および位置姿勢情報が合成される。3次元座標推定の精度が十分でない状況でも処理を中断する

50

ことなく像振れ補正を行うことができる。したがって、３次元座標推定の推定状態に依らずに、良好な撮像画像を得ることができる。

【００７６】

〔第２実施形態〕

次に、本発明の第２実施形態について、第１実施形態との相違点を主に説明する。

図１８は、本実施形態の像振れ補正装置の構成例を示す図である。同図において第１実施形態に示した構成要素と共通する箇所については、既に使用した符号を付すことによって、それらの詳細な説明を割愛する。本実施形態の像振れ補正装置は、動きベクトル演算部１８０１を備える。動きベクトル演算部１８０１は、撮像信号処理部１１０の出力を取得して画像の動きベクトル演算を行い、演算結果を主被写体分離部２０８、目標位置算出部１８０２に出力する。

10

【００７７】

図１９に示すフローチャートを参照して、本実施形態における処理について詳説する。図３との相違点は、Ｓ１９０１およびＳ１９０２のステップに示す処理である。動きベクトル演算部１８０１が行うＳ３０２（特徴点追跡）の次にＳ１９０１の処理へ進む。

【００７８】

Ｓ１９０１において、動きベクトル演算部１８０１は、Ｓ３０２で得られた特徴点の追跡結果と、フレームごとに特徴点を更新してフレーム間のグローバルベクトルを推定した２つの結果を出力する。グローバルベクトルは、撮影画面全体での一様な動きを表すベクトルである。Ｓ１９０１からＳ１９０２への矢印は、算出されたグローバルベクトルが目標位置算出部１８０２に出力される処理が行われることを示す。

20

【００７９】

図２０は、動きベクトル演算部１８０１の内部構成を示すブロック図である。特徴点抽出部４０１から追跡信頼度算出部４０５までの各部は、第１実施形態にて図４で説明したとおりである。本実施形態では、動きベクトル検出部４０４を第１の動きベクトル検出部とし、追加された動きベクトル検出部２００１を第２の動きベクトル検出部とする。第２の動きベクトル検出部２００１は、撮像信号処理部１１０と、特徴点抽出部４０１と、画像メモリ４０３から信号を取得して動きベクトルを算出する。つまり、第２の動きベクトル検出部２００１は、特徴点抽出部４０１が抽出した特徴点に基づいて、撮像信号処理部１１０および画像メモリ４０３からそれぞれ入力される画像信号に対して、動きベクトル検出を行う。グローバルベクトル推定部２００２は、第２の動きベクトル検出部２００１から入力された動きベクトルによりグローバルベクトルを推定する。

30

【００８０】

図２１のフローチャートを参照して、動きベクトル演算部１８０１が行う処理について、説明する。図５に示すＳ５０１からＳ５０５の処理とは異なる、追加されたＳ２１０１およびＳ２１０２の処理を説明する。Ｓ２１０１およびＳ２１０２の処理は、Ｓ５０２からＳ５０４のステップで示す処理に対する、並行処理として実行される。

【００８１】

Ｓ２１０１で第２の動きベクトル検出部２００１は、Ｓ５０１で抽出された特徴点を用いて第２の動きベクトルを検出する。動きベクトルの検出方法についてはＳ５０３と同様であるため説明を割愛する。Ｓ２１０２でグローバルベクトル推定部２００２は、Ｓ２１０１にて推定された動きベクトルを使用し、グローバルベクトルを推定する。グローバルベクトルの推定方法には、検出された動きベクトルからヒストグラム処理を行い、最頻値をグローバルベクトルとして推定する方法がある。また、検出された動きベクトルの平均値をグローバルベクトルとして推定する方法がある。また、ヒストグラム処理によって特定される外れ値を除外し、残りの動きベクトルの平均値をグローバルベクトルとして推定する方法がある。Ｓ２１０２の処理後、Ｓ５０５の処理へ移行する。

40

【００８２】

図１９のＳ１９０２で目標位置算出部１８０２は、補正レンズの目標位置を算出する。Ｓ３０４にて算出された追跡期間と、Ｓ３１１における振れ補正残りの位置姿勢推定値と、

50



S 1 9 0 1 から取得されたグローバルベクトルを用いて、像振れ補正レンズ 1 0 3 をピッチ方向またはヨー方向に駆動する補正位置制御信号が生成される。S 1 9 0 2 の次に S 3 1 3 の処理に進む。

【 0 0 8 3 】

図 2 2 は、目標位置算出部 1 8 0 2 の内部構成を示すブロック図である。図 1 5 との相違点は、ゲイン乗算器 2 2 0 1 である。ゲイン乗算器 2 2 0 1 は、統合処理部 2 0 5 の出力と、グローバルベクトル推定部 2 0 0 2 の出力に対してそれぞれゲインを乗算する。

【 0 0 8 4 】

図 1 6 のフローチャートを流用して、本実施形態の目標位置算出処理を説明する。第 1 実施形態における処理との相違点は、S 1 6 0 4 の処理内容である。本実施形態では、統合処理部 2 0 5 から出力される振れ補正残り角度信号と、グローバルベクトル推定部 2 0 0 2 から出力されるグローバルベクトルに対して、ゲイン乗算器 2 2 0 1 により乗算するゲインが決定される。ゲインの決定方法について、図 1 7 を流用して説明する。横軸は追跡情報に基づく追跡期間を表し、縦軸はグローバルベクトルのゲイン量を表す。閾値時間を T 4 とし、追跡期間の長さがゼロのときのグローバルベクトルのゲイン量をゼロとする。この例では、追跡期間の長さがゼロから T 4 未満である区間で、グローバルベクトルのゲイン量が追跡期間の長さに比例する。追跡期間の長さが閾値時間 T 4 以上である場合に、グローバルベクトルのゲイン量が 1 となる。振れ補正残り角度信号に対するゲイン乗算に関しては第 1 実施形態の S 1 6 0 4 で説明済みであるため、その詳細な説明を割愛する。ゲイン乗算器 2 2 0 1 はゲイン乗算後の各出力を加算器 1 5 0 5 に出力する。

【 0 0 8 5 】

本実施形態では、フレームごとに更新される特徴点を使用し、毎フレームで推定されるグローバルベクトルを、振れ補正残り角度信号に適用する。特徴点の追跡が長期間行われることによって蓄積される誤差を補正して低減することで、第 1 実施形態よりも良好な像振れ補正を行うことができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 6 】

- 1 0 3 像振れ補正レンズ
- 1 0 4 像振れ補正レンズ駆動部
- 1 1 7 制御部
- 2 0 1 , 2 0 3 振動センサ
- 2 0 5 統合処理部
- 2 0 9 追跡期間算出部
- 2 1 0 特徴点追跡部
- 2 1 2 目標位置算出部

10

20

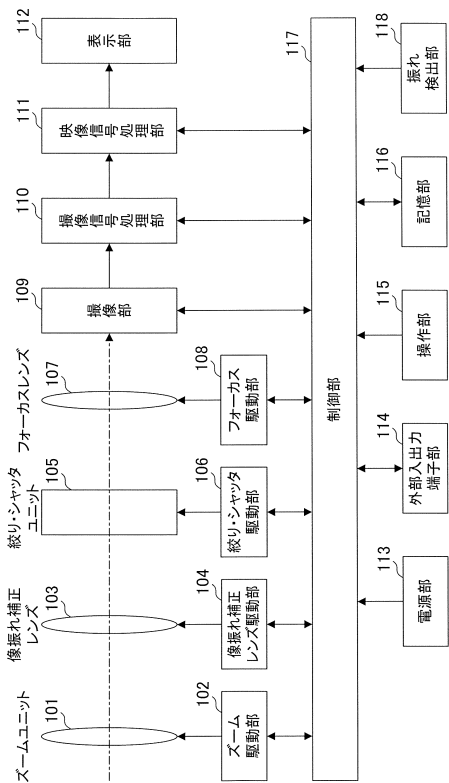
30

40

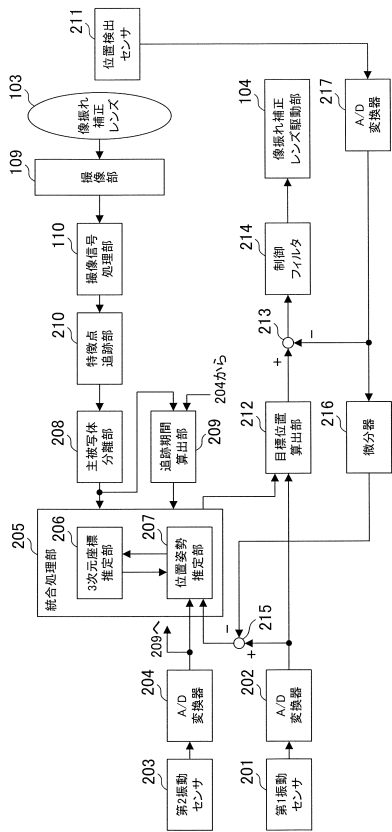
50

【図面】

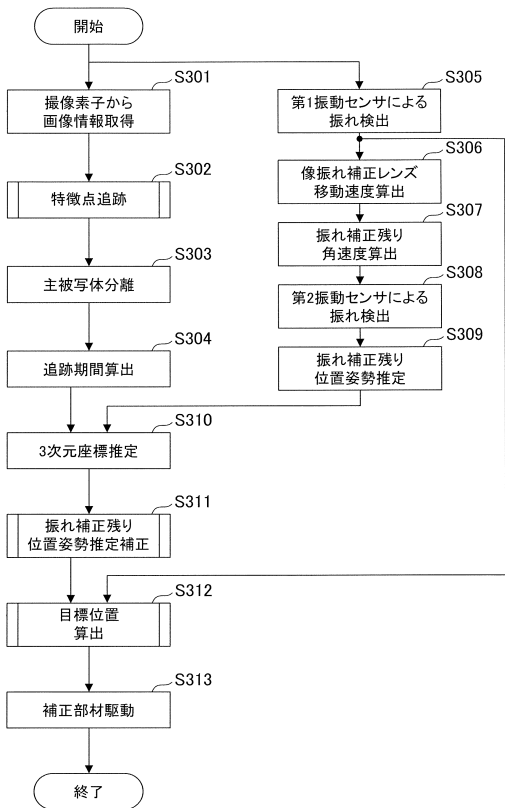
【図 1】



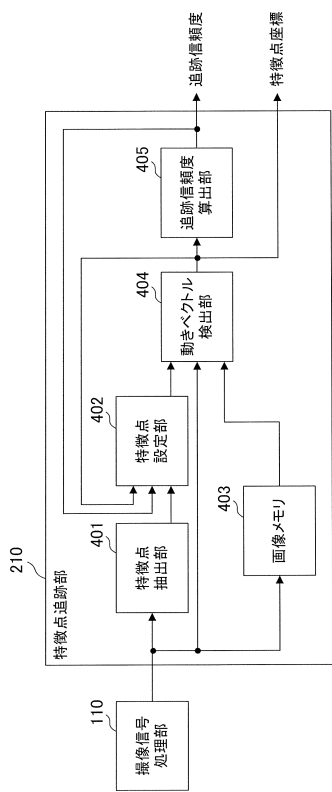
【図 2】



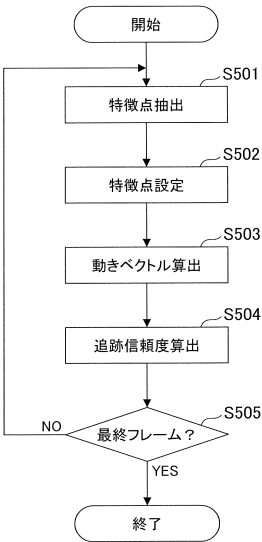
【図 3】



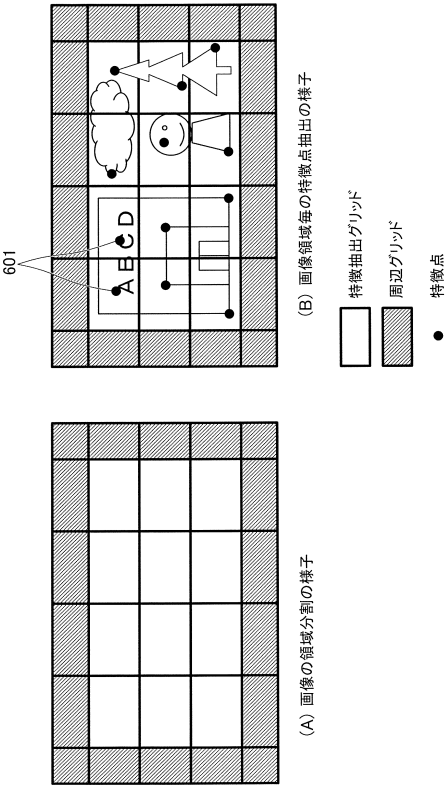
【図 4】



【図 5】



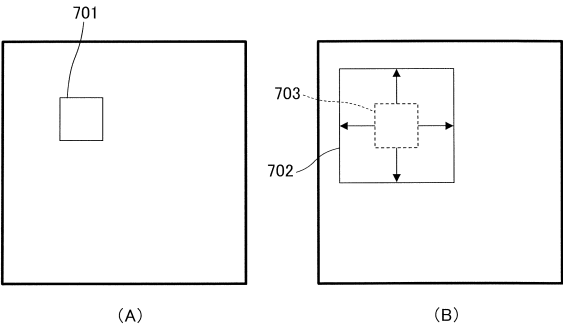
【図 6】



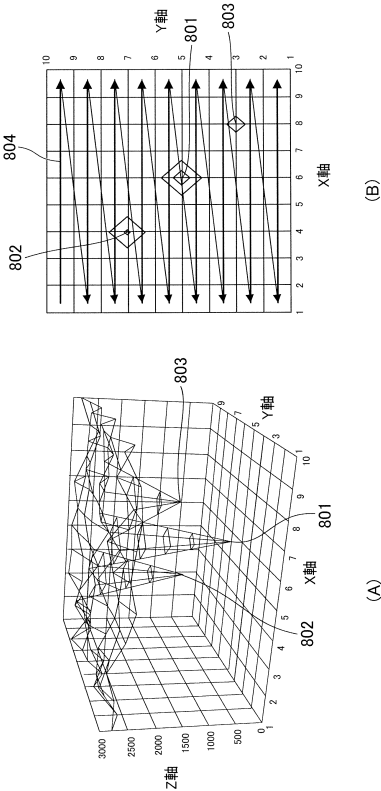
10

20

【図 7】



【図 8】

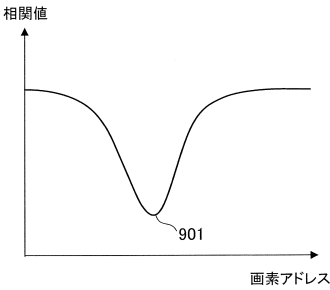


30

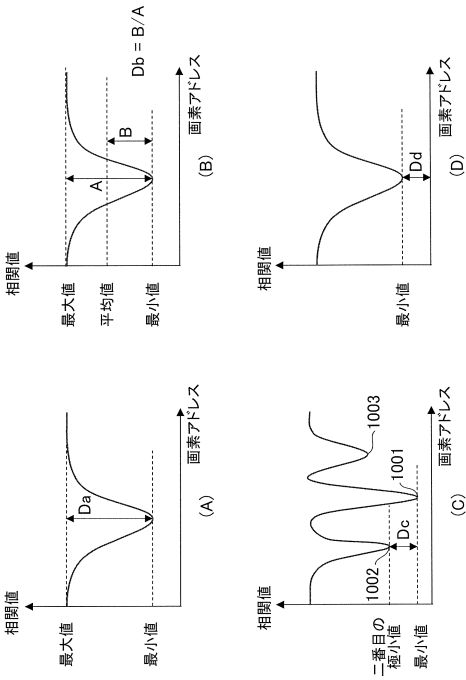
40

50

【図 9】



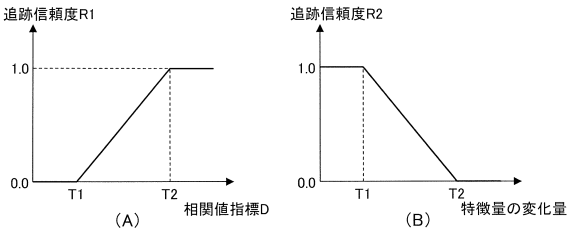
【図 10】



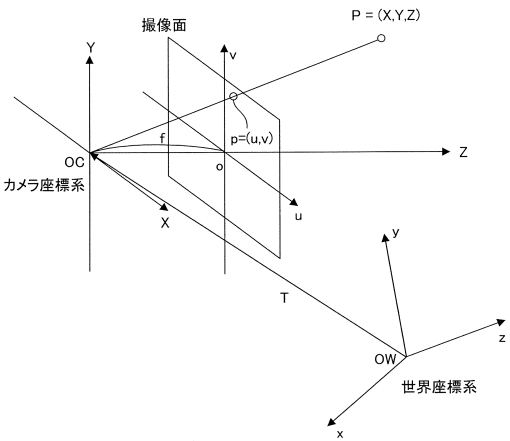
10

20

【図 11】



【図 12】

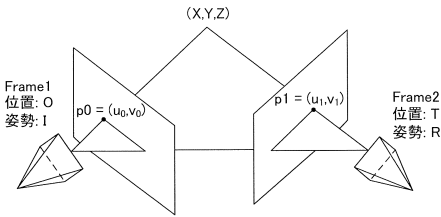


30

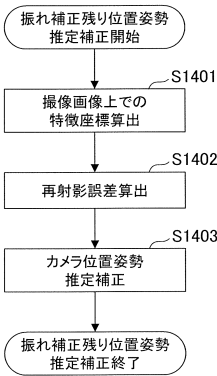
40

50

【図 1 3】

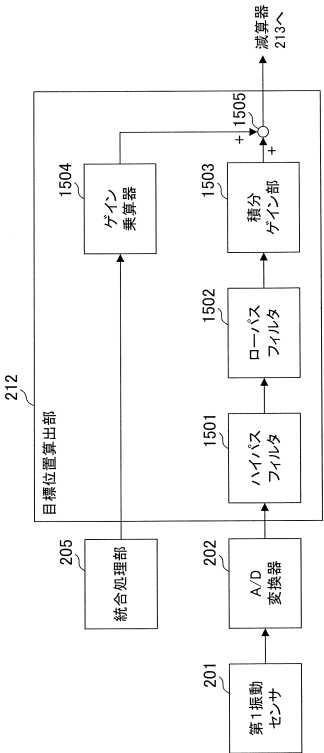


【図 1 4】

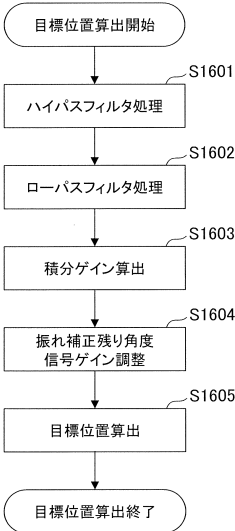


10

【図 1 5】



【図 1 6】



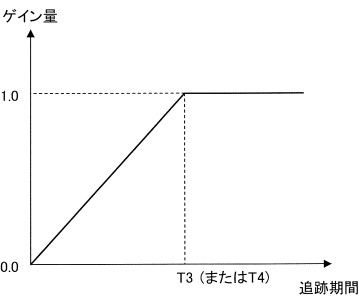
20

30

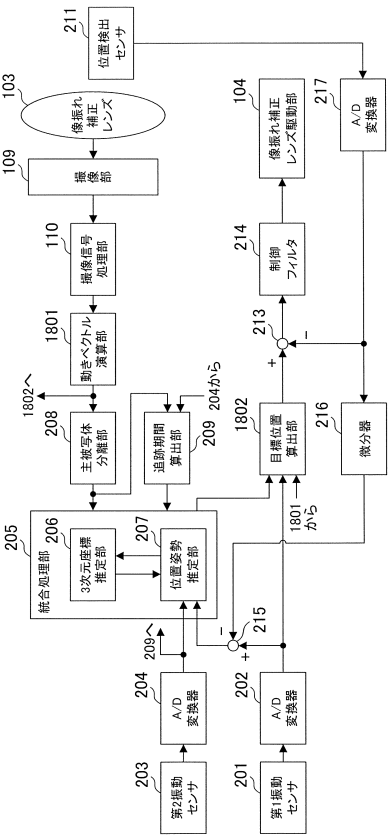
40

50

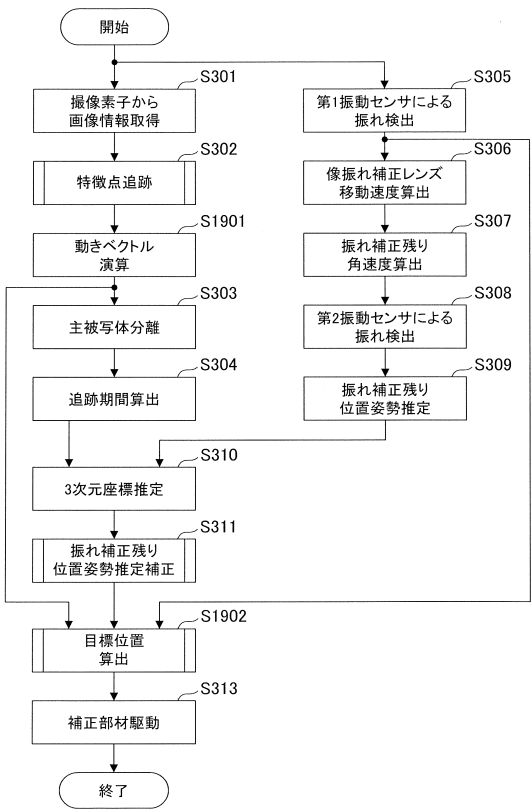
【図 17】



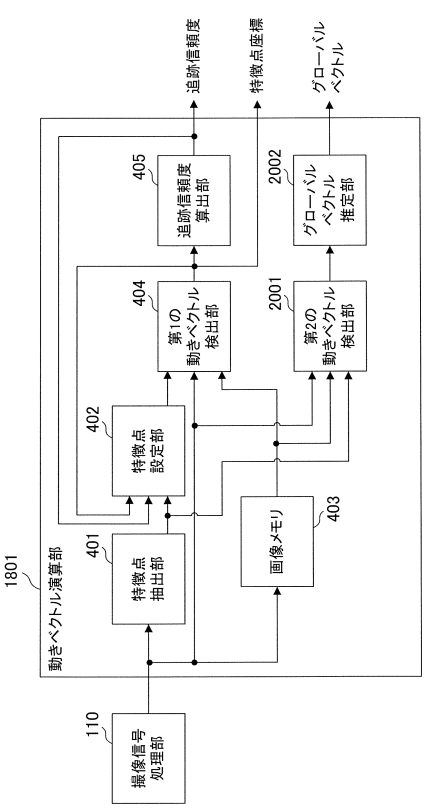
【図 18】



【図 19】



【図 20】



10

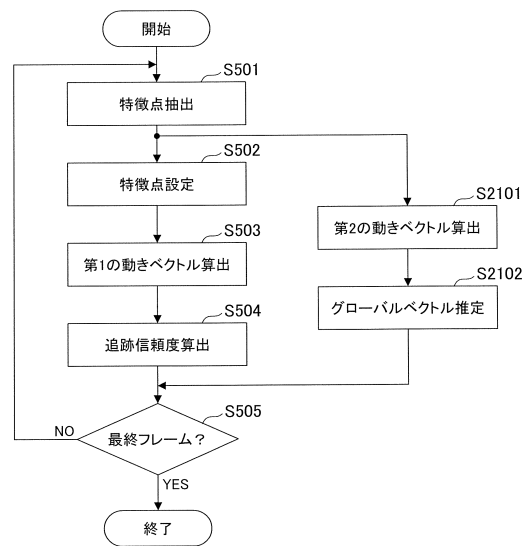
20

30

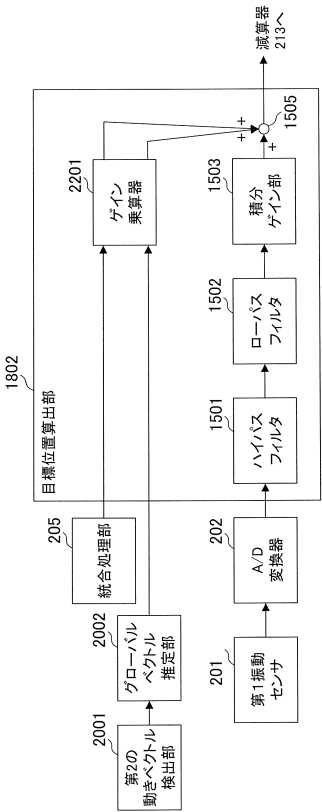
40

50

【図 2 1】



【図 2 2】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

(51)国際特許分類 F I  
G 0 6 T 7/579(2017.01) G 0 6 T 7/579

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

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
H 0 4 N 5 / 2 3 2  
G 0 3 B 5 / 0 0  
G 0 6 T 7 / 2 4 6  
G 0 6 T 7 / 8 0  
G 0 6 T 7 / 7 0  
G 0 6 T 7 / 5 7 9