

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6598660号
(P6598660)

(45) 発行日 令和1年10月30日(2019.10.30)

(24) 登録日 令和1年10月11日(2019.10.11)

(51) Int. Cl. F 1
GO 2 B 21/36 (2006.01) GO 2 B 21/36
GO 6 T 5/50 (2006.01) GO 6 T 5/50

請求項の数 25 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2015-234814 (P2015-234814)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成27年12月1日 (2015.12.1)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2017-102245 (P2017-102245A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成29年6月8日 (2017.6.8)	(74) 代理人	110002860
審査請求日	平成30年12月3日 (2018.12.3)		特許業務法人秀和特許事務所
		(74) 代理人	100085006
			弁理士 世良 和信
		(74) 代理人	100100549
			弁理士 川口 嘉之
		(74) 代理人	100131532
			弁理士 坂井 浩一郎
		(74) 代理人	100125357
			弁理士 中村 剛
		(74) 代理人	100131392
			弁理士 丹羽 武司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置および画像処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンピュータが、同一のイメージセンサで撮像することで取得された複数の画像のデータに基づいて、輝度変化が滑らかな画像に対する重み係数が相対的に大きくなるように、各画像に対する重み係数を生成する重み係数生成ステップと、

コンピュータが、前記重み係数を用いて前記複数の画像のデータを統合して、統合画像のデータを生成する統合画像生成ステップと、

コンピュータが、前記統合画像のデータに平滑化処理を施して、平滑化統合画像のデータを生成する平滑化処理ステップと、

コンピュータが、前記統合画像のデータと前記平滑化統合画像のデータに基づいて、前記イメージセンサに起因する固定ノイズの推定値である推定固定ノイズのデータを生成する固定ノイズ推定ステップと、を有する

ことを特徴とする画像処理方法。

【請求項2】

前記複数の画像のデータは、撮像光学系の光軸方向に焦点位置を異ならせて被写体を撮像することで取得された複数の画像のデータである

ことを特徴とする請求項1に記載の画像処理方法。

【請求項3】

前記撮像光学系は、両側テレセントリック光学系である

ことを特徴とする請求項2に記載の画像処理方法。

【請求項 4】

前記撮像光学系は、顕微鏡を構成する光学系であることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の画像処理方法。

【請求項 5】

前記複数の画像のデータは、動画像を構成する複数のフレームのデータであることを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理方法。

【請求項 6】

前記重み係数生成ステップでは、前記重み係数が画像の鮮鋭度と負の相関関係をもつように、各画像に対する重み係数が生成されることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のうちいずれか 1 項に記載の画像処理方法。

10

【請求項 7】

前記画像の鮮鋭度は、当該画像の輝度の標準偏差から求められることを特徴とする請求項 6 に記載の画像処理方法。

【請求項 8】

前記重み係数生成ステップでは、前記鮮鋭度が閾値以上の画像に対する重み係数が 0 に設定されることを特徴とする請求項 6 又は 7 に記載の画像処理方法。

【請求項 9】

前記重み係数生成ステップでは、前記重み係数が画像の焦点位置と合焦位置の間の距離と正の相関関係をもつように、各画像に対する重み係数が生成されることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のうちいずれか 1 項に記載の画像処理方法。

20

【請求項 10】

前記重み係数生成ステップでは、画像の焦点位置と合焦位置の間の距離が閾値以下の画像に対する重み係数が 0 に設定されることを特徴とする請求項 9 に記載の画像処理方法。

【請求項 11】

前記重み係数生成ステップでは、前記複数の画像に対する重み係数の合計が 1 となるように、各画像に対する重み係数が生成されることを特徴とする請求項 1 ~ 10 のうちいずれか 1 項に記載の画像処理方法。

【請求項 12】

前記統合画像生成ステップでは、前記重み係数を用いて前記複数の画像のデータを加重平均することにより、前記統合画像のデータを生成することを特徴とする請求項 1 ~ 11 のうちいずれか 1 項に記載の画像処理方法。

30

【請求項 13】

前記平滑化処理は、反復計算によるノイズ低減処理であることを特徴とする請求項 1 ~ 12 のうちいずれか 1 項に記載の画像処理方法。

【請求項 14】

前記平滑化処理は、平滑化フィルタを用いたフィルタ処理であることを特徴とする請求項 1 ~ 12 のうちいずれか 1 項に記載の画像処理方法。

【請求項 15】

前記固定ノイズ推定ステップでは、前記統合画像のデータと前記平滑化統合画像のデータの差を計算することにより、前記推定固定ノイズのデータが生成されることを特徴とする請求項 1 ~ 14 のうちいずれか 1 項に記載の画像処理方法。

40

【請求項 16】

コンピュータが、前記推定固定ノイズのデータに基づいて、前記複数の画像のそれぞれのデータに含まれる前記イメージセンサに起因する固定ノイズを低減する固定ノイズ補正ステップをさらに有することを特徴とする請求項 1 ~ 15 のうちいずれか 1 項に記載の画像処理方法。

【請求項 17】

前記固定ノイズ補正ステップでは、前記複数の画像のそれぞれのデータから前記推定固

50

定ノイズのデータを減算することにより、固定ノイズの低減された複数の画像のデータが生成される

ことを特徴とする請求項 16 に記載の画像処理方法。

【請求項 18】

前記固定ノイズ補正ステップでは、前記推定固定ノイズのデータに基づいて前記イメージセンサのゲインのばらつきを表す推定ゲインのデータを生成する

ことを特徴とする請求項 16 に記載の画像処理方法。

【請求項 19】

前記複数の画像のそれぞれのデータを前記推定ゲインのデータで除算することにより、固定ノイズの低減された複数の画像のデータが生成される

10

ことを特徴とする請求項 18 に記載の画像処理方法。

【請求項 20】

前記複数の画像のそれぞれのデータから、前記複数の画像のそれぞれのデータと前記推定ゲインのデータを掛け算したデータを減算することにより、固定ノイズの低減された複数の画像のデータが生成される

ことを特徴とする請求項 18 に記載の画像処理方法。

【請求項 21】

コンピュータが、前記複数の画像のそれぞれを複数の領域に分割する領域分割ステップをさらに有し、

前記複数の領域のそれぞれについて個別に、前記重み係数の生成、前記統合画像の生成、前記平滑化統合画像の生成、前記推定固定ノイズの生成が行われる

20

ことを特徴とする請求項 1 ~ 20 のうちいずれか 1 項に記載の画像処理方法。

【請求項 22】

請求項 1 ~ 21 のうちいずれか 1 項に記載の画像処理方法の各ステップをコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

【請求項 23】

同一のイメージセンサで撮像することで取得された複数の画像のデータに基づいて、輝度変化が滑らかな画像に対する重み係数が相対的に大きくなるように、各画像に対する重み係数を生成する重み係数生成手段と、

前記重み係数を用いて前記複数の画像のデータを統合して、統合画像のデータを生成する統合画像生成手段と、

30

前記統合画像のデータに平滑化処理を施して、平滑化統合画像のデータを生成する平滑化処理手段と、

前記統合画像のデータと前記平滑化統合画像のデータに基づいて、前記イメージセンサに起因する固定ノイズの推定値である推定固定ノイズのデータを生成する固定ノイズ推定手段と、を有する

ことを特徴とする画像処理装置。

【請求項 24】

コンピュータが、同一のイメージセンサで撮像することで取得された複数の画像のデータに基づいて、各画像に対する重み係数を生成する重み係数生成ステップと、

40

コンピュータが、前記重み係数を用いて前記複数の画像のデータを統合して、統合画像のデータを生成する統合画像生成ステップと、

コンピュータが、前記統合画像のデータに平滑化処理を施して、平滑化統合画像のデータを生成する平滑化処理ステップと、

コンピュータが、前記統合画像のデータと前記平滑化統合画像のデータに基づいて、前記イメージセンサに起因する固定ノイズの推定値である推定固定ノイズのデータを生成する固定ノイズ推定ステップと、を有する

ことを特徴とする画像処理方法。

【請求項 25】

同一のイメージセンサで撮像することで取得された複数の画像のデータに基づいて、各

50

画像に対する重み係数を生成する重み係数生成手段と、

前記重み係数を用いて前記複数の画像のデータを統合して、統合画像のデータを生成する統合画像生成手段と、

前記統合画像のデータに平滑化処理を施して、平滑化統合画像のデータを生成する平滑化処理手段と、

前記統合画像のデータと前記平滑化統合画像のデータに基づいて、前記イメージセンサに起因する固定ノイズの推定値である推定固定ノイズのデータを生成する固定ノイズ推定手段と、を有する

ことを特徴とする画像処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数枚の画像からなる画像群（例えば焦点位置を変えて撮影した複数枚の画像あるいは動画データ）中に含まれる固定パターンノイズを低減し、高画質化する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

カメラや顕微鏡などの撮像光学系を通して、焦点位置を変えて被写体を撮影した複数枚の画像群（以降、焦点ぼけ画像群と呼ぶ）から、光線空間の復元を介して、任意視点画像や任意焦点ぼけ画像を生成する技術が知られている。例えば、特許文献1では、3次元のコンポリューションモデルに合致するように各画像の座標変換処理を行い、3次元周波数空間上でぼけを変える3次元フィルタリング処理を行うことで任意視点画像や任意焦点ぼけ画像を生成する手法を開示している。また特許文献1以外にも、数学的にほぼ等価な式を用いて、焦点ぼけ画像群の視線方向の積分画像に対するフィルタ処理により光線空間の復元を行い、任意視点画像や任意焦点ぼけ画像を生成する手法が提案されている。なお、本明細書では、焦点ぼけ画像群から光線空間の復元を介して任意視点画像や任意焦点ぼけ画像を生成する画像生成手法を総称して「フィルタ型方式」と呼ぶこととする。

【0003】

カメラや顕微鏡などで撮影した焦点ぼけ画像群に対して、これらのフィルタ型方式を適用すれば、カメラや顕微鏡の光学系に変更を加えることなく、撮影後の後処理によって従来にない機能を提供できる。例えば、カメラの場合には撮影後にぼけ味を変更する新たな写真の楽しみ方を提供できる。顕微鏡の場合には視点を変えることで被写体の立体形状の直感的な把握を可能にできる。また、開口数の大きなレンズを用いた高倍観察時において、被写界深度を拡大することで焦点位置から外れた病変部の見落としを防ぐことができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2007-128009号公報

【特許文献2】特開2014-090401号公報

【特許文献3】特開2013-207788号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら上述した従来の技術においては、以下のような問題があった。焦点ぼけ画像群に対し、特許文献1に開示される手法に代表されるフィルタ型方式を適用すると、イメージセンサの固定パターンノイズ（以降、固定ノイズと呼ぶ）に起因して、生成される画像の画質が劣化するという問題が生じる場合がある。この問題は、焦点ぼけ画像群を構成する画像のあいだで像の拡縮（スケールの変化）が非常に小さい場合、つまり、固定ノイズが画像内の殆ど同じ位置に現れる画像群の場合に顕在化する。そのような焦点ぼけ画

10

20

30

40

50

像群は、例えば両側テレセントリック光学系のように、焦点位置を変えても像とイメージセンサの相対的な位置・大きさが殆ど変化しない光学系で撮影した場合に得られる。

【0006】

前記課題への対策として、特許文献2では撮像装置の制御によって固定ノイズを回避する手法を開示している。この手法は焦点位置を変えて被写体を撮影する際、焦点位置毎に像とイメージセンサの相対的な位置をずらして撮影することで、焦点ぼけ画像群の同一画素で固定ノイズが重畳されることを抑える。しかし、この手法は、すでに撮影済みの焦点ぼけ画像群から全焦点画像を求める場合の画質改善には適用できない。

【0007】

ここまで焦点ぼけ画像群での問題を記載したが、同様の問題は、動画データのように同じ光学系で撮影された画像群でも生じうる。特許文献3では動画から固定ノイズを低減する手法が開示されている。しかし、この手法は比較的平坦な領域に対して平均値を減算した差分画像が固定ノイズであると推定する簡易的な処理であるため、固定ノイズの推定精度は低い。そのため、様々な被写体の像を含む画像データから高精度な固定ノイズ低減を実現することは原理的に困難である。また加法性の固定ノイズ以外、例えば、イメージセンサのセルごとの受光部の感度ばらつきや増幅器のゲインばらつきなどに起因する乗法性の固定ノイズの低減を行うことはできない。なお、本明細書では、イメージセンサの画素と画像データの画素とを明確に区別するため、イメージセンサの画素を「セル」と表記する。

【0008】

本発明は、このような問題点に鑑みてなされたものであり、同一のイメージセンサで取得された複数枚の画像に含まれる、イメージセンサに起因する固定ノイズを低減する新規な技術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】

【0009】

本発明の第一態様は、コンピュータが、同一のイメージセンサで撮像することで取得された複数の画像のデータに基づいて、輝度変化が滑らかな画像に対する重み係数が相対的に大きくなるように、各画像に対する重み係数を生成する重み係数生成ステップと、コンピュータが、前記重み係数を用いて前記複数の画像のデータを統合して、統合画像のデータを生成する統合画像生成ステップと、コンピュータが、前記統合画像のデータに平滑化処理を施して、平滑化統合画像のデータを生成する平滑化処理ステップと、コンピュータが、前記統合画像のデータと前記平滑化統合画像のデータに基づいて、前記イメージセンサに起因する固定ノイズの推定値である推定固定ノイズのデータを生成する固定ノイズ推定ステップと、を有することを特徴とする画像処理方法を提供する。

【0010】

本発明の第二態様は、本発明に係る画像処理方法の各ステップをコンピュータに実行させることを特徴とするプログラムを提供する。

【0011】

本発明の第三態様は、同一のイメージセンサで撮像することで取得された複数の画像のデータに基づいて、輝度変化が滑らかな画像に対する重み係数が相対的に大きくなるように、各画像に対する重み係数を生成する重み係数生成手段と、前記重み係数を用いて前記複数の画像のデータを統合して、統合画像のデータを生成する統合画像生成手段と、前記統合画像のデータに平滑化処理を施して、平滑化統合画像のデータを生成する平滑化処理手段と、前記統合画像のデータと前記平滑化統合画像のデータに基づいて、前記イメージセンサに起因する固定ノイズの推定値である推定固定ノイズのデータを生成する固定ノイズ推定手段と、を有することを特徴とする画像処理装置を提供する。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、同一のイメージセンサで取得された複数枚の画像に含まれる、イメージセンサに起因する固定ノイズを低減することができる。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】バーチャル・スライド・システムの構成を示す図。

【図2】本計測ユニット101の内部構成を示す図。

【図3】画像処理装置（ホストコンピュータ）110の内部構成を示す図。

【図4】固定ノイズ低減のアイデアを説明するための模式図。

【図5】実施例1の固定ノイズ低減処理を示すフローチャート。

【図6】実施例3の固定ノイズ低減処理を示すフローチャート。

【図7】焦点位置の異なる複数の被写体が存在する焦点ぼけ画像群の模式図。

【図8】実施例4の固定ノイズ低減処理を示すフローチャート。

【図9】固定ノイズの低減が可能な動画像データの一例。

【発明を実施するための形態】

【0014】

本発明は、同じ光学系（撮像系）を用いて撮影された複数枚の画像からなる画像群（例えば、焦点ぼけ画像群、動画像データなど）に含まれる固定ノイズを、画像処理（後処理）によって低減する技術に関する。本発明の構成ないし方法は、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタル顕微鏡、バーチャル・スライド・システムを含む様々な撮像装置で得られた画像に対し適用可能である。中でも、固定ノイズの影響が顕著となる、両側テレセントリック光学系で撮影した焦点ぼけ画像群に対し、本発明は好ましく適用できる。以下に詳しく述べるように本発明の画像処理によれば、撮像装置のイメージセンサに起因する固定ノイズを高精度に低減した画像を得ることができる。また、焦点ぼけ画像群における固定ノイズを低減することによって、焦点ぼけ画像群からフィルタ型方式で任意視点画像や任意焦点ぼけ画像を生成する際に問題となっていた画質の劣化を抑制することができる。さらに、本発明による画像処理系を撮像装置と組み合わせることで、撮像装置のイメージセンサに求められる性能要件を緩和でき、イメージセンサの設計の自由度向上や低コスト化が実現できるという利点もある。

【0015】

<実施例1>

（システム全体構成）

実施例1では、一例として、図1のような構成のバーチャル・スライド・システムに本発明を適用した例について述べる。

バーチャル・スライド・システムは、検体の撮像データを取得する撮像装置（バーチャル・スライド・スキャナとも呼ぶ）120とそのデータ処理・制御を行う画像処理装置（ホストコンピュータとも呼ぶ）110およびその周辺機器から構成されている。

【0016】

画像処理装置110には、ユーザからの入力を受け付けるキーボードやマウスなどの操作入力デバイス111、処理画像を表示するディスプレイ112が接続される。また画像処理装置110には、記憶装置113、他のコンピュータシステム114が接続されている。

多数の検体（プレパラート）の撮像をバッチ処理で行う場合、画像処理装置110の制御の下で撮像装置120が各検体を順に撮像し、画像処理装置110が各検体の画像データに対し必要な処理を施す。そして得られた各検体の画像データは、大容量のデータストレージである記憶装置113又は他のコンピュータシステム114へ伝送され、蓄積される。

【0017】

撮像装置120での撮像（プレ計測および本計測）は、ユーザの入力を受けて画像処理装置110がコントローラ108へ指示を送り、次にコントローラ108が本計測ユニット101とプレ計測ユニット102を制御することで実現される。

本計測ユニット101は、プレパラート内の検体診断のための高精細な画像を取得する撮像ユニットである。プレ計測ユニット102は、本計測に先立って撮像を行う撮像ユニ

10

20

30

40

50

ットで、本計測で精度の良い画像取得をするための撮像制御情報取得を目的とした画像取得を行う。

【 0 0 1 8 】

コントローラ 1 0 8 には変位計 1 0 3 が接続され、本計測ユニット 1 0 1 またはプレ計測ユニット 1 0 2 内のステージに設置されるプレパラートの位置や距離が測定できる構成となっている。変位計 1 0 3 は、本計測およびプレ計測を行うにあたり、プレパラート内の検体の厚みを計測するために用いられる。

またコントローラ 1 0 8 には、本計測ユニット 1 0 1 およびプレ計測ユニット 1 0 2 の撮像条件を制御するための開口絞り制御 1 0 4、ステージ制御 1 0 5、照明制御 1 0 6、センサ制御 1 0 7 が接続されている。そして、それぞれはコントローラ 1 0 8 からの制御信号に従って、開口絞り、ステージ、照明、イメージセンサの動作を制御する構成となっている。

10

【 0 0 1 9 】

ステージはプレパラートを保持・移動・位置決めする機構である。ステージには、プレパラートを光軸に垂直な方向に移動する X Y ステージと、光軸に沿った方向に移動する Z ステージがある。X Y ステージは検体内の撮像エリアを光軸に垂直な方向 (x , y 方向) に移動するために用いられ、Z ステージは検体内の奥行き方向 (z 方向) に焦点位置を変えるために用いられる。図示しないが、撮像装置 1 2 0 には、複数のプレパラートをセットすることが可能なラックと、ラックからステージ上の撮像位置へとプレパラートを送り出す搬送機構とが設けられている。バッチ処理の場合は、コントローラ 1 0 8 が搬送機構を制御することで、ラックからプレパラートを 1 枚ずつ、プレ計測ユニット 1 0 2 のステージ、本計測ユニット 1 0 1 のステージの順に送り出す。

20

【 0 0 2 0 】

本計測ユニット 1 0 1 およびプレ計測ユニット 1 0 2 には、撮像した画像を用いてオートフォーカスを実現する A F ユニット 1 0 9 が接続されている。A F ユニット 1 0 9 は、コントローラ 1 0 8 を介して、本計測ユニット 1 0 1、プレ計測ユニット 1 0 2 のステージの位置を制御することで合焦位置を探し出すことが出来る。オートフォーカスの方式は画像を用いるパッシブ型であり、公知の位相差検出方式やコントラスト検出方式が用いられる。

【 0 0 2 1 】

(本計測ユニットの構成)

図 2 は、実施例 1 における本計測ユニット 1 0 1 の内部構成を示す図である。

光源 2 0 1 の光は、照明光学系 2 0 2 を通じ、光量ムラが無いように均一化され、ステージ 2 0 3 の上に設置されたプレパラート 2 0 4 を照射する。プレパラート 2 0 4 は観察対象となる組織の切片や塗抹した細胞をスライドガラス上に貼り付け、封入剤とともにカバーガラスの下に固定したものであり、検体 (被写体) を観察可能な状態に準備したものである。

30

【 0 0 2 2 】

結像光学系 2 0 5 は、検体の像を拡大して撮像手段である撮像部 2 0 7 に導くものである。プレパラート 2 0 4 を通った光は、結像光学系 2 0 5 を介して、撮像部 2 0 7 上の撮像面で結像する。結像光学系 2 0 5 の中には開口絞り 2 0 6 が存在し、開口絞り 2 0 6 を調整することで被写界深度が制御できる。

40

【 0 0 2 3 】

撮像にあたっては、光源 2 0 1 を点灯させ、プレパラート 2 0 4 に光を照射する。そして、照明光学系 2 0 2、プレパラート 2 0 4、結像光学系 2 0 5 を通って撮像面に結像した像を撮像部 2 0 7 のイメージセンサで受光する。モノクロ (グレースケール) 撮影時には光源 2 0 1 を白色で露光し、1 回撮像を行う。カラー撮影時には、R G B の 3 つの光源 2 0 1 で順番に露光し、3 回撮像を行うことで、カラー画像を取得する。

【 0 0 2 4 】

撮像面で結像した検体の像は、撮像部 2 0 7 で光電変換され、A / D 変換を実行した後

50

、電気信号として画像処理装置 110 に送られる。撮像部 207 は、複数のイメージセンサから構成されることを想定しているが、単一のセンサで構成されていても良い。また、本実施例では、A/D変換を実行した後、イメージセンサの固定ノイズ低減処理を含むノイズ低減や色変換処理、鮮鋭化処理に代表される現像処理を画像処理装置 110 内部で行うとする。しかし、現像処理は撮像部 207 に接続された専用の画像処理ユニット（不図示）で行い、その後画像処理装置 110 にデータを送信することも可能であり、そのような形態での実施も本発明の範疇となる。

【0025】

一回の撮影で検体全体の画像を取得できない場合には、ステージ 203（XYステージ）をx方向および/またはy方向に移動しながら複数回の分割撮影を行い、得られた複数の分割画像を合成（繋ぎ合わせ）して検体全体の画像を生成する。また、ステージ 203（Zステージ）をz方向に移動しつつ複数回の撮影を行うことで、光軸方向（深さ方向）の焦点位置が異なる複数枚の画像を取得する。本明細書では、撮像光学系の光軸方向に焦点位置を異ならせて被写体を撮像することで得た複数枚の画像からなる画像群を「焦点ぼけ画像群」と呼ぶ。なお、焦点ぼけ画像群を「Zスタック画像」、焦点ぼけ画像群を構成する各々の画像を「レイヤー画像」と呼ぶこともある。

【0026】

（画像処理装置の構成）

図3は、本実施例における画像処理装置（ホストコンピュータ）110の内部構成を示す図である。

CPU（プロセッサ）301は、RAM302やROM303に格納されているプログラムやデータを用いて画像処理装置全体の制御を行う。またCPU301は、各種演算処理やデータ処理、例えば固定ノイズ低減処理、現像・補正処理、合成処理、圧縮処理、任意視点・焦点ぼけ画像生成処理等を行う。

【0027】

RAM302は、記憶装置113からロードされたプログラムやデータ、他のコンピュータシステム114からネットワークI/F（インターフェース）304を介してダウンロードしたプログラムやデータを一時的に記憶するメモリである。RAM302は、CPU301が各種の処理を行うために必要とするワークエリアも備える。ROM303は、コンピュータの機能プログラムや設定データなどを記憶するメモリである。ディスプレイ制御装置306は、画像や文字等をディスプレイ112に表示させるための制御処理を行う。ディスプレイ112は、ユーザに入力を求めるための画面表示を行うとともに、撮像装置120から取得しCPU301で処理した画像データを画像表示する。

【0028】

操作入力デバイス111は、キーボードやマウスなどCPU301に各種の指示を入力することのできるデバイスにより構成される。ユーザは、撮像装置120の動作を制御する情報を操作入力デバイス111により入力する。308は、操作入力デバイス111を介して入力された各種の指示等をCPU301に通知するためのI/Oである。

【0029】

記憶装置113は、ハードディスクなどの大容量情報記憶装置である。これは、OS（オペレーティングシステム）や後述する処理をCPU301に実行させるためのプログラム、またバッチ処理によりスキャンした画像データ、処理後の画像データなどを記憶する。

記憶装置113への情報の書き込みや記憶装置113からの情報の読み出しは、I/O310を介して行われる。制御I/F312は、撮像装置120を制御するためのコントローラ108と制御コマンド（信号）をやりとりするためのI/Fである。

【0030】

コントローラ108は、本計測ユニット101およびプレ計測ユニット102を制御する機能を持つ。画像I/F（インターフェース）313には、上述以外のインターフェース、例えばCMOSイメージセンサやCCDイメージセンサの出力データを取り込むため

10

20

30

40

50

の外部インターフェースが接続されている。なお、インターフェースとしてはUSB、IEEE1394などのシリアルインターフェースやカメラリンクなどのインターフェースを使うことが出来る。この画像I/F313を通じて本計測ユニット101やプレ計測ユニット102が接続される。

【0031】

(任意視点・焦点ぼけ画像生成プログラム)

画像処理装置110には、特許文献1に開示される手法を一例とするフィルタ型方式による画像生成処理をコンピュータに実行させるためのプログラム(任意視点・焦点ぼけ画像生成プログラムと呼ぶ)が実装されている。画像処理装置110は、撮像装置120や記憶装置113、他のコンピュータシステム114を介して取得した焦点ぼけ画像群から、任意視点画像や任意焦点ぼけ画像や全焦点画像などを生成することができる。

10

【0032】

(フィルタ型方式で生成した全焦点画像で固定ノイズが目立つ理由の説明)

顕微鏡の撮像系(図1の本計測ユニット101)では一般的に両側テレセントリック光学系が用いられ、焦点ぼけ画像群を構成する各画像のあいだでは検体像の拡大(スケールの変化)が非常に小さくなる。このような焦点ぼけ画像群に対し特許文献1のフィルタ型方式を適用する場合、3次元のコンボリューションモデルに合致するように各画像の座標変換処理を行う必要はない。そのため、全焦点画像 $a(x, y)$ は、焦点ぼけ画像群の光軸方向の積分 $b(x, y)$ を、3次元ぼけの光軸方向の積分 $c(x, y)$ でデコンボリューションすることで得られる。デコンボリューションは周波数空間での割算となるため、全焦点画像 $a(x, y)$ は以下の式により求まる。

20

【数1】

$$a(x, y) = F^{-1}(B(u, v) \cdot C(u, v)^{-1}) \quad \dots (1)$$

ただし、 $B(u, v) = F(b(x, y))$ 、 $C(u, v) = F(c(x, y))$ であり、 F はフーリエ変換、 F^{-1} は逆フーリエ変換を表す。 u, v はそれぞれ x, y に対応する空間周波数である。

【0033】

式(1)は、 $C(u, v)^{-1}$ が焦点ぼけ画像群の光軸方向の積分 $b(x, y)$ に対する周波数フィルタとなり、全焦点画像を生成していることを表している。3次元ぼけとして、ピント位置からの距離に従ってぼけの半径が大きくなるガウスぼけを考える。この場合、周波数フィルタ $C(u, v)^{-1}$ の値は、直流成分では焦点ぼけ画像群の枚数分の1となるが、周波数が高くなるにつれて上昇し、最大周波数では1に近づく特性を持っている。つまり、周波数フィルタ $C(u, v)^{-1}$ は低周波のノイズを抑制する作用をもつが、高周波のノイズを抑制する作用はもたない。

30

【0034】

続いて、焦点ぼけ画像群の各画素に時間不変の固定ノイズとして標準偏差 $\sigma = 0.5$ の加法性のガウスノイズが存在する場合を考える。焦点ぼけ画像群の画像枚数が64枚のとき、焦点ぼけ画像群の光軸方向の積分 $b(x, y)$ では固定ノイズは重畳されて固定ノイズの標準偏差は3.2となる。その後、周波数フィルタ $C^{-1}(u, v)$ によって、加法性のガウスノイズの低周波成分の振幅は2.55階調中の0.5に近い微小な値に戻る。しかし、高周波成分の振幅は依然、2.55階調中の3.2に近い大きな値のままであり、全焦点画像中では大きなノイズとなって視認されることとなる。

40

【0035】

以上の理由により、顕微鏡で得られた焦点ぼけ画像群からフィルタ型方式で全焦点画像を求める場合に、固定ノイズに起因する全焦点画像の品質の劣化が顕在化する。固定ノイズの影響は、全焦点画像の生成に用いる画像の枚数が増えるほど、大きくなる。

【0036】

(任意視点・焦点ぼけ画像の高画質化)

50

高画質な任意視点画像、任意焦点ぼけ画像を生成するには、任意視点・焦点ぼけ画像生成プログラムに入力する焦点ぼけ画像群に対する前処理として、以降で述べる固定ノイズ低減処理を行い、焦点ぼけ画像群から予め固定ノイズを低減するとよい。なお、前述のように固定ノイズは微弱な場合もあるため、固定ノイズ低減後の焦点ぼけ画像群の画像の画素値は整数値に量子化せず、実数データとして任意視点・焦点ぼけ画像生成プログラムに入力することが望ましい。また、固定ノイズ低減処理は画像処理装置 110 で実現するため、コンピュータで実行可能な形で実装したプログラムを用いて行うとする。

【0037】

(本実施例で用いる焦点ぼけ画像群に関して)

本実施例では焦点ぼけ画像群は、縦 N 画素、横 N 画素の、 M 枚の画像から構成されるとする。(本実施例では説明簡略化のため、縦および横の画素数が等しい例で説明をするが、縦と横の画素数が一致しない画像にも本発明の方法を適用可能である。)

撮像時にイメージセンサの固定ノイズが加わった焦点ぼけ画像群を

【数 2】

$$y_k \in \mathbb{R}^{N \times N} \quad (k = 1, \dots, M)$$

で表す。 $\mathbb{R}^{N \times N}$ は、実数の要素からなる N 行 N 列の行列を表す。添え字の k は焦点ぼけ画像群を構成する画像の番号であり、 k は焦点位置と対応する。焦点ぼけ画像群を構成する画像 y_k は、イメージセンサの出力信号(ビニング処理により複数のセルの値を加算した信号も含む)そのものでもよい。あるいは、画像 y_k は、イメージセンサの出力信号に対し、イメージセンサのセルとの対応関係を維持した階調変換や補間等の現像処理をした画像でもよい。以降、画像の画素の値を輝度と呼ぶ。

【0038】

焦点ぼけ画像群 y_k ($k = 1, \dots, M$) に対して、固定ノイズの低減のための輝度変更をした焦点ぼけ画像群を

【数 3】

$$x_k \in \mathbb{R}^{N \times N} \quad (k = 1, \dots, M)$$

で表す。また、撮像系の光学的なぼけによる劣化のみを含む焦点ぼけ画像群を

【数 4】

$$o_k \in \mathbb{R}^{N \times N} \quad (k = 1, \dots, M)$$

で表す。

焦点ぼけ画像群を構成する k 番目の画像 y_k および x_k の縦 j 、横 i の位置にある画素の輝度はそれぞれ、 $(y_k)_{i, j}$ 、 $(x_k)_{i, j}$ で表す。

【0039】

本実施例では、焦点ぼけ画像群 y_1, \dots, y_M には、被写体の像の画像成分や時間変化には依存しない加法性の固定ノイズ $n \in \mathbb{R}^{N \times N}$ が加わっているとす。すなわち、焦点ぼけ画像群 y_k は以下の式で表現できる。

【数 5】

$$y_k = o_k + n \quad (k = 1, \dots, M) \quad \dots (2)$$

固定ノイズ n の各画素 (i, j) での値 $(n)_{i, j}$ はイメージセンサの様々な製造誤差に起因するが、本実施例では $(n)_{i, j}$ は出現頻度分布が平均 0、標準偏差 σ の正規分布に従うものとして扱う。ただし、固定ノイズ n の各要素の値の出現頻度分布が正規分布に従わない場合でも本実施例の方法では固定ノイズの低減が可能である。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 0 】

(固定ノイズ低減のアイデア)

図 4 A ~ 図 4 D を参照して、本実施例の固定ノイズ低減処理のアイデアを説明する。図 4 A ~ 図 4 D は、焦点ぼけ画像群の中のある 1 枚の画像における画素位置に応じた輝度変化を表す模式図であり、横方向が画素位置、縦方向が画像中の輝度を表す。図 4 A の 4 0 1 は、ノイズ成分を一切含まない理想的な画像（つまり被写体の像に由来する画像成分）の輝度変化を表す。図 4 B の 4 0 2 は、理想的な画像の輝度変化 4 0 1 に固定ノイズが加わったときの輝度変化を表す。

【 0 0 4 1 】

画像の輝度変化が滑らかな場合、固定ノイズを含む画像（4 0 2）に適切な平滑化処理を施すことにより、図 4 C の 4 0 3 に示すように、被写体の像に由来する画像成分の輝度変化を精度良く推定（復元）することができる。それゆえ、固定ノイズを含む画像（4 0 2）と平滑化画像（4 0 3）の間の輝度の差分をとることで、イメージセンサに起因する固定ノイズ成分を比較的検出しやすいと想像できる。しかし、実際には 1 枚の画像の中には、ランダムノイズや量子化ノイズが含まれる。図 4 D の 4 0 4 は、固定ノイズが加わった輝度変化 4 0 2 に、さらにランダムノイズや量子化ノイズが加わった輝度変化を表す。図 4 D から明らかなように、ランダムノイズや量子化ノイズが強い場合、1 枚の画像から精度良く固定ノイズを推定することは困難である。

【 0 0 4 2 】

焦点ぼけ画像群を構成する複数枚の画像の輝度を平均化した平均画像を用いれば、ランダムノイズや量子化ノイズが抑制できる。しかし、平均輝度は鮮鋭度の高い画像の影響を受けるため、平均画像の輝度変化は滑らかではなくなる。そのため、平均画像に対し前述の平滑化処理を施しても、被写体の像に由来する画像成分の輝度変化を精度良く復元できず、固定ノイズの推定精度が低下する。

【 0 0 4 3 】

以上より、固定ノイズを精度良く推定するためには、ランダムノイズや量子化ノイズが少なく、且つ、輝度変化が滑らかな画像を用いることが望ましいことがわかる。そこで本実施例では、ランダムノイズの抑制と輝度変化の滑らかさのバランスが取れた画像を得るため、焦点ぼけ画像群を構成する複数枚の画像に対し、鮮鋭度の高い画像ほど値が小さくなる重みを求め、前記の重みを用いて加重平均した統合画像を生成する。そのような統合画像ではランダムノイズや量子化ノイズが抑制され、かつ輝度変化も滑らかになる。また加重平均では固定ノイズの強度は低下しないため、統合画像は図 4 B の 4 0 2 に示すような輝度変化となることが期待できる。従って、前記の統合画像を用いれば、精度良く固定ノイズを推定できる。

【 0 0 4 4 】

(固定ノイズ低減処理)

図 5 は本実施例の固定ノイズ低減処理のフローチャートである。まず、重み係数生成ステップ S 5 0 1 では、画像処理装置 1 1 0 が、焦点ぼけ画像群を構成する複数枚の画像のそれぞれと対応する重み係数列を求める。詳細は後述する。次に統合画像生成ステップ S 5 0 2 では、画像処理装置 1 1 0 が、重み係数列を用いて焦点ぼけ画像群を構成する複数枚の画像を加重平均し、統合画像を生成する。詳細は後述する。次に平滑化処理ステップ S 5 0 3 では、画像処理装置 1 1 0 が、統合画像に対して平滑化処理を適用し、平滑化統合画像を生成する。詳細は後述する。次に固定ノイズ推定処理ステップ S 5 0 4 では、画像処理装置 1 1 0 が、ステップ S 5 0 2 で生成した統合画像とステップ S 5 0 3 で生成した平滑化統合画像を用いて、イメージセンサに起因する固定ノイズの推定値である推定固定ノイズを生成する。詳細は後述する。最後に固定ノイズ補正処理ステップ S 5 0 5 では、画像処理装置 1 1 0 が、ステップ S 5 0 4 で求めた推定固定ノイズを用いて、焦点ぼけ画像群を構成する複数枚の画像のそれぞれに含まれる固定ノイズを低減する。詳細は後述する。以降、本実施例における各処理の詳細を述べる。

【 0 0 4 5 】

(重み係数生成処理)

重み係数生成ステップ S 5 0 1 では、画像処理装置 1 1 0 は、焦点ぼけ画像群を構成する各画像に対する重み係数を決定し、重み係数列 $w \in \mathbb{R}^M$ を生成する。このとき、輝度変化が滑らかな画像に対する重み係数が相対的に大きく、輝度変化が滑らかでない画像に対する重み係数が相対的に小さくなるように、各画像に対する重み係数が設定される。本実施例では、輝度変化の滑らかさを画像の鮮鋭度という指標で評価する。すなわち、各画像の鮮鋭度を計算し、鮮鋭度と負の相関関係をもつように各画像に対する重み係数が設定される。

【 0 0 4 6 】

具体的には、焦点ぼけ画像群を構成する画像 $y_k \in \mathbb{R}^{N \times N}$ ($k = 1, \dots, M$) に対応する重み係数列の生成方法の一例として、以下の関数を用いる。

【数 6】

$$(w)_k = \frac{\alpha}{std(y_k)^\beta} \quad (k = 1, \dots, M) \quad \dots (3)$$

【 0 0 4 7 】

ただし、 α は重み係数 $(w)_1 \sim (w)_M$ の合計を 1 とするための定数、 $std(y_k)$ は入力画像 y_k の鮮鋭度として標準偏差を求める関数であり式 (4) で表される。 β ($\beta > 0$) は画像の鮮鋭度と重み係数の関係を調整するパラメータである。

【数 7】

$$std(y_k) = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N ((y_k)_{i,j} - mean(y_k))^2} \quad (k = 1, \dots, M) \quad \dots (4)$$

ただし、

【数 8】

$$mean(y_k) = \frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N (y_k)_{i,j} \quad (k = 1, \dots, M) \quad \dots (5)$$

とする。

【 0 0 4 8 】

また、被写体に焦点が合っている合焦画像を意図的に除外してもよい。例えば、鮮鋭度が閾値以上となる画像を合焦画像とみなすこととし、 $std(y_k)$ が閾値 s_{th} 以上となる画像 y_k に対する重み係数を $(w)_k = 0$ としてもよい。式 (3) により重み係数列を計算した後に、合焦画像の重み係数を 0 に変更する調整を行った場合は、調整後の重み係数の合計が 1 になるよう α を再計算するとよい。

【 0 0 4 9 】

式 (3) に示す関数はあくまで一例であり、様々な変形例が可能である。関数 $std(y_k)$ 以外の画像の鮮鋭度の高さを評価する指標、例えば、輝度の微分の絶対値の総和 (全変動 (Total Variation)) やエントロピー等を用いてもよい。

【 0 0 5 0 】

また、一般に、焦点位置が合焦位置 (被写体に焦点が合う位置) から離れるほど画像がぼけ、輝度変化の滑らかさが増すので、合焦位置からの光軸方向の距離に応じて各画像の重み係数を設定することもできる。重み係数が画像の焦点位置と合焦位置の間の距離と正の相関関係をもつように (例えば焦点位置が合焦位置から離れるほど重み係数を大きくするように)、各画像に対する重み係数を設定するのである。この場合も、合焦位置からの

10

20

30

40

50

距離が閾値以下の画像を合焦画像とみなし、合焦画像の重み係数を 0 に設定してもよい。

【 0 0 5 1 】

なお、合焦位置の特定には様々な方法が利用できる。例えば、上述した鮮鋭度が最も高くなる焦点位置を合焦位置としてもよい。あるいは、撮像時のオートフォーカスの情報を取得し、その情報から合焦位置や被写体の光軸方向の位置を取得してもよい。また、デプスマップが取得可能な場合には、デプスマップから合焦位置や被写体の光軸方向の位置を取得してもよい（デプスマップから重み係数列を生成する具体例は実施例 4 で詳しく述べる。）。

【 0 0 5 2 】

（統合画像生成処理）

統合画像生成ステップ S 5 0 2 では、画像処理装置 1 1 0 は、ステップ S 5 0 1 で計算した重み係数列 w を用いて、焦点ぼけ画像群 $y_k \in \mathbb{R}^{N \times N}$ から統合画像 $c \in \mathbb{R}^{N \times N}$ を生成する。統合処理には、一例として以下のような加重平均を用いるとよい。

【数 9】

$$(c)_{i,j} = \sum_{k=1}^M (w)_k \cdot (y_k)_{i,j} \quad (i, j = 1, \dots, N) \quad \dots (6)$$

【 0 0 5 3 】

前述のとおり、重み係数 (w_k) は鮮鋭度の低い画像（ぼけた画像）では大きく、鮮鋭度の高い画像（合焦した画像）では小さいため、加重平均で得られる統合画像 c は、単純平均で得られる平均画像に比べて、輝度変化が滑らかな画像となる。しかも、各画像に共通に含まれている固定ノイズの強度は維持したまま、各画像に個別に含まれているランダムノイズや量子化ノイズは低減することができる。

【 0 0 5 4 】

（平滑化処理）

平滑化処理ステップ S 5 0 3 では、画像処理装置 1 1 0 は、統合画像 c に平滑化処理を施して、平滑化統合画像 $c \in \mathbb{R}^{N \times N}$ を生成する。平滑化処理としては、平滑化フィルタを用いたフィルタ処理や、反復計算によるノイズ低減処理などを適用できる。本実施例では、反復計算によるノイズ低減処理の代表的なアルゴリズムである全変動最小化（Total Variation Minimization）を平滑化処理に用いる。

【 0 0 5 5 】

全変動最小化とは、例えば、以下の式（7）で表される、画像の滑らかさを向上させる凸最適化問題である。

【数 10】

$$x^{(*)} = \arg \min_x J(x) \quad s.t. \quad \|x - y\|_2 \leq \varepsilon \quad \dots (7)$$

$$J(x) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N |(\nabla x)_{i,j}| \quad \dots (8)$$

【 0 0 5 6 】

式（7）は、入力画像を y としたとき、制約条件

【数 11】

$$\|x - y\|_2 \leq \varepsilon$$

の範囲で x を変化させ、目的関数 $J(x)$ を最小とする最適解 $x^{(*)}$ を求める最適化問題を表す。「s.t.」は「subject to」の略であり、解 x が満たすべき制約

10

20

30

40

50

条件を表している。式(7)の制約条件は、解 x (つまり輝度変更後の画像)と入力画像 y との距離(L2ノルム)が所定値をこえないという条件である。式(8)の $(x)_{i,j}$ は、画像 x の座標 (i,j) における輝度の勾配(微分又は差分)を表す。目的関数 $J(x)$ は、輝度の勾配の絶対値を画像全体で積分した値であり、画像内の輝度変化が全体的に滑らかであるほど値が小さくなる。

【0057】

式(7)のように定式化された最適化問題の近似解は、逐次近似法の最適化アルゴリズムを適用することで得られる反復計算式を用いて計算できる。

【0058】

全変動最小化以外にも、TGV最小化を用いて平滑化処理を行っても良い。TGV(Total Generalized Variation)は画像の1次微分(あるいは差分)だけでなく、より高次の微分(あるいは差分に対する複数回の差分)を考慮する画像の滑らかさの指標である。そのため、TGVを目的関数の指標として用いると、1次微分(差分)のみを考慮するTVを用いる場合に比べ、画像のグラデーション領域に発生する階段状のアーティファクトを抑制することができるメリットがある。

【0059】

式(7)の制約条件で用いる ε は、予め求めた固定ノイズ $n \in \mathbb{R}^{N \times N}$ の標準偏差を用いて、

【数12】

$$\varepsilon = N\sigma \quad \dots (9)$$

で与えることができる。なお、 N は固定ノイズ $n \in \mathbb{R}^{N \times N}$ の各要素を1次元に並べたベクトルのL2ノルムの期待値である。適切な ε を与えることで適切な固定ノイズの低減が可能となる。固定ノイズ n の各要素の値はイメージセンサの個体差に依存するが、標準偏差 σ はイメージセンサの個体依存性の少ない、共通性の高い情報である。そのため、必ずしも事前に固定ノイズの σ を求める必要はない。例えば、イメージセンサの仕様を公開した他のコンピュータシステム114にある情報をネットワークI/F(インターフェース)304を経由して、取得してもよい。

【0060】

また平滑化処理ステップS503では、公知の平滑化フィルタを用いたフィルタ処理を平滑化処理として用いてもよい。平滑化フィルタには、例えば、イプシロンフィルタ、メディアンフィルタ、平均化フィルタ、ガウシアンフィルタ、Savitzky-Golayフィルタ、バイラテラルフィルタなどを用いることができる。

【0061】

平滑化処理で生成した平滑化統合画像 c は、撮像光学系の光学的なぼけによる劣化のみを含む焦点ぼけ画像群 $o_k \in \mathbb{R}^{N \times N}$ ($k = 1, \dots, M$)の統合画像と見なすことができる。

【0062】

(固定ノイズ推定処理)

固定ノイズ推定処理ステップS504では、画像処理装置110は、以下の式(10)を用いて統合画像 c と平滑化統合画像 c' の差を求めることで推定固定ノイズ $n \in \mathbb{R}^{N \times N}$ を生成する。

【数13】

$$n' = c - c' \quad \dots (10)$$

【0063】

(固定ノイズ補正処理)

続いて、固定ノイズ補正処理ステップS505では、画像処理装置110は、以下の式(11)を用いて焦点ぼけ画像群 y_k ($k = 1, \dots, M$)から推定固定ノイズ n を減算

10

20

30

40

50

することで、固定ノイズを低減した焦点ぼけ画像群 x_k ($k = 1, \dots, M$) を求める。

【数 1 4】

$$x_k = y_k - n' \quad (k = 1, \dots, M) \quad \dots (11)$$

【0064】

以上述べた本実施例の固定ノイズ低減方法を用いれば、焦点ぼけ画像群に含まれるイメージセンサに起因する加法性の固定ノイズを高精度に低減することができる。このような固定ノイズが低減された焦点ぼけ画像群を利用すれば、焦点ぼけ画像群からフィルタ型方式で任意視点画像や任意焦点ぼけ画像を生成する際に問題となっていた画質の劣化を抑制することができる。

10

【0065】

< 実施例 2 >

実施例 1 では、焦点ぼけ画像群に対し、被写体の像の画像成分には依存しない加法性の固定ノイズが加わっている場合の固定ノイズ低減方法について説明した。しかし、固定ノイズには、イメージセンサのセルごとの感度ばらつきや増幅器のゲインばらつきなどに起因する固定ノイズも存在する。このような固定ノイズは、イメージセンサのセルに蓄積される電荷量、すなわち、被写体の像の画像成分に依存した強度をもち、乗法性の固定ノイズと呼ばれる。

【0066】

乗法性の固定ノイズが加わった焦点ぼけ画像群 y_k ($k = 1, \dots, M$) は以下の式で表現できる。

20

【数 1 5】

$$y_k = o_k + n_k \quad (k = 1, \dots, M) \quad \dots (12)$$

$$(n_k)_{i,j} = (v)_{i,j} \cdot (o_k)_{i,j}, \quad i, j \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, M\} \quad \dots (13)$$

式 (12), (13) を整理すると以下の式でも表現できる。

【数 1 6】

$$(y_k)_{i,j} = (o_k)_{i,j} \cdot \{1 + (v)_{i,j}\}, \quad i, j \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, M\} \quad \dots (14)$$

30

式 (12) の n_k ($k = 1, \dots, M$) は乗法性の固定ノイズを表す。イメージセンサの同一セルで撮像した場合でも、焦点位置によって被写体の像が変化すれば、乗法性の固定ノイズも変化する。

【0067】

式 (13) の $v \in R^{N \times N}$ はイメージセンサのゲイン誤差 (ゲインの基準値を 1 としたときの誤差) を表すデータであり、 $(v)_{i,j}$ は画素 (i, j) に対応するイメージセンサのセルのゲイン誤差を表す。また式 (14) の $\{1 + (v)_{i,j}\}$ は画素 (i, j) に対応するイメージセンサのセルのゲインを表し、ゲイン誤差が 0 のときはゲイン = 1、ゲイン誤差がプラスのときはゲイン > 1、ゲイン誤差がマイナスのときはゲイン < 1 となる。なお、一つの画素 (i, j) のデータがイメージセンサの複数のセルの電荷から得られる場合は、複数のセルのゲイン誤差の平均を $(v)_{i,j}$ に設定すればよい。ゲイン誤差 v はイメージセンサの様々な製造誤差に起因して発生する。本実施例では、 $(v)_{i,j}$ は出現頻度分布が平均 0、標準偏差 σ_v の正規分布に従うものとして扱うが、 $(v)_{i,j}$ が正規分布に従わない場合でも本実施例の方法により固定ノイズの低減が可能である。

40

【0068】

図 5 を用いて本実施例における固定ノイズ低減処理について、主に実施例 1 との違いを

50

中心に説明する。

重み係数生成ステップ S 5 0 1 と統合画像生成ステップ S 5 0 2 の処理は実施例 1 と同様であり、説明は省略する。以下、本実施例の平滑化処理ステップ S 5 0 3 について説明する。

【 0 0 6 9 】

(平滑化処理)

乗法性の固定ノイズは式 (1 3) で表される。そのため、式 (7) に示す最適化問題の制約条件の として

【数 1 7】

$$\varepsilon = N\sigma_v y^{(ave)} \dots (15)$$

を用いる。 $y^{(ave)}$ は焦点ぼけ画像群 y_1, \dots, y_M の全画素の平均値であり、以下の式で表される。

【数 1 8】

$$y^{(ave)} = \frac{1}{N^2 M} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N (y_k)_{i,j} \dots (16)$$

式 (1 5) は乗法性の固定ノイズ n_k の各要素を 1 次元に並べたベクトルの L 2 ノルムの期待値の近似値の一例である。

【 0 0 7 0 】

なお、ゲイン誤差の標準偏差 σ_v は事前の計測で求めても良いし、実施例 1 と同様、他のコンピュータシステム 1 1 4 にある情報をネットワーク I / F (インターフェース) 3 0 4 を経由して、取得してもよい。

【 0 0 7 1 】

(固定ノイズ推定処理)

本実施例における固定ノイズ推定処理ステップ S 5 0 4 について説明する。(本実施例では実施例 1 と異なり、固定ノイズ推定処理ステップ S 5 0 4 ではゲイン誤差 v を推定する処理のみを行う場合もあるが、S 5 0 4 の名称は実施例 1 と同じく、固定ノイズ推定処理ステップのままとする。)本実施例の固定ノイズ推定処理ステップ S 5 0 4 では、画像処理装置 1 1 0 は、以下の式 (1 7) で統合画像 c と平滑化統合画像 c' の差を求めるとして、統合画像の推定固定ノイズ n $R^N \times N$ を生成する。

【数 1 9】

$$n' = c - c' \dots (17)$$

【 0 0 7 2 】

上記の式で、平滑化統合画像 c' には固定ノイズが含まれないすると、平滑化統合画像 c' は焦点ぼけ画像群 o_k $R^N \times N$ ($k = 1, \dots, M$) の統合画像 m $R^N \times N$ と等しくなる。すなわち、

【数 2 0】

$$(c')_{i,j} = \sum_{k=1}^M (w)_k \cdot (o_k)_{i,j} = (m)_{i,j}$$

が成り立つ。

【 0 0 7 3 】

また、統合画像 c は統合画像 m を用いて、

【数 2 1】

$$(c)_{i,j} = (m)_{i,j} \{1 + (v)_{i,j}\}$$

で表される。

【0074】

従って、式(17)は以下の式(18)に変形できる。

【数 2 2】

$$(n')_{i,j} \cong (m)_{i,j} \{1 + (v)_{i,j}\} - (m)_{i,j} = (v)_{i,j} \cdot (m)_{i,j} \cong (v)_{i,j} \cdot (c')_{i,j} \quad \dots (18)$$

10

すなわち、ゲイン誤差の推定データ v は、既知の情報である平滑化統合画像 c および統合画像の推定固定ノイズ n を用いて、以下の式(19)で求められる。

【数 2 3】

$$(v')_{i,j} = \frac{(n')_{i,j}}{(c')_{i,j}} \quad \dots (19)$$

20

【0075】

(固定ノイズ補正処理)

本実施例における固定ノイズ補正処理ステップ S505 について説明する。

本実施例では、画像処理装置 110 は、固定ノイズ推定処理ステップ S504 で求めたゲイン誤差の推定データ v を用いて、以下の式(20)で固定ノイズを低減した焦点ぼけ画像群 x_k ($k = 1, \dots, M$) を求める。

【数 2 4】

$$(x_k)_{i,j} = \frac{(y_k)_{i,j}}{\{1 + (v')_{i,j}\}} \quad \dots (20)$$

30

【0076】

式(20)は、画像 y_k の画素 (i, j) の輝度 $(y_k)_{i,j}$ を画素 (i, j) の推定ゲイン $\{1 + (v')_{i,j}\}$ で除算すること(又は、輝度 $(y_k)_{i,j}$ に推定ゲイン $\{1 + (v')_{i,j}\}$ の逆数を乗算すること)を意味する。すなわち、焦点ぼけ画像群を構成する画像 y_1, \dots, y_M それぞれを推定ゲインで除算(又は、推定ゲインの逆数で乗算)することによって、乗法性の固定ノイズが低減された画像 x_1, \dots, x_M が生成できる。なお、式(20)は式(14)から固定ノイズを含まない焦点ぼけ画像群 o_k ($k = 1, \dots, M$) を求める式と等しい。

【0077】

なお、式(19)で $(c)_{i,j} = 0$ となる場合には、固定ノイズ推定処理では位置 (i, j) に対する $(v)_{i,j}$ は計算しない。その場合、後段の固定ノイズ補正処理において $(x_k)_{i,j} = 0$ を設定する。

40

【0078】

なお、固定ノイズ推定処理ステップ S504 では、求めたゲイン誤差の推定データ v を用いて、以下の式(21)により、推定固定ノイズ $n_k \in R^{N \times N}$ ($k = 1, \dots, M$) を求める構成としてもよい。

【数 2 5】

$$(n'_k)_{i,j} = (v')_{i,j} \cdot (y_k)_{i,j} \quad \dots (21)$$

50

式(21)は、式(13)において固定ノイズ n_k ($k = 1, \dots, M$) が微小である仮定の下、 $o_k = y_k$ として求めた式である。

【0079】

上記のように推定固定ノイズ n_k を求める場合には、固定ノイズ補正処理ステップ S505では、以下の式(22)を用いて、固定ノイズを低減した焦点ぼけ画像群 x_k ($k = 1, \dots, M$) を求める構成となる。

【数26】

$$x_k = y_k - n'_k \quad (k = 1, \dots, M) \quad \dots (22)$$

10

【0080】

以上述べたとおり、本実施例の方法を用いれば、焦点ぼけ画像群に含まれるイメージセンサに起因する乗法性の固定ノイズを高精度に低減することができる。このような固定ノイズが低減された焦点ぼけ画像群を利用すれば、焦点ぼけ画像群からフィルタ型方式で任意視点画像や任意焦点ぼけ画像を生成する際に問題となっていた画質の劣化を抑制することができる。

【0081】

<実施例3>

固定ノイズが乗法性のノイズの場合、画像に対する適切な変換を施すことで、乗法性のノイズを加法性のノイズとして取り扱うことができ、実施例1で述べた固定ノイズ低減処理を用いて固定ノイズが低減できる。以下、乗法性の固定ノイズを低減する方法について説明する。

20

【0082】

式(14)の両辺の対数をとると、以下の式が導ける。

【数27】

$$\log((y_k)_{i,j}) = \log((o_k)_{i,j}) + \log(\{1 + (v)_{i,j}\}), \quad i, j \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, M\} \quad \dots (23)$$

すなわち、焦点ぼけ画像群の各画像の輝度の対数をとることで、乗法性の固定ノイズは焦点位置(k)に依存しない加法性の固定ノイズに変換できる。

30

【0083】

図6は本実施例における固定ノイズ低減処理を示すフローチャートである。図6を用いて本実施例の処理を説明する。

まず、輝度変換ステップ S601では、画像処理装置110が、乗法性の固定ノイズが加わった撮影時の焦点ぼけ画像群 y_1, \dots, y_M の各画素の輝度に対数変換を行い、輝度変換焦点ぼけ画像群 $b_k \in \mathbb{R}^{N \times N}$ ($k = 1, \dots, M$) を生成する。

【数28】

$$(b_k)_{i,j} = \log((y_k)_{i,j}), \quad i, j \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, M\} \quad \dots (24)$$

40

【0084】

次に、重み係数生成ステップ S602では、実施例1のステップ S501と同様の処理が行われる。すなわち、画像処理装置110は、式(3)を用いて焦点ぼけ画像群 y_k ($k = 1, \dots, M$) から各画像に対する重み係数 $(w)_k$ を計算し、重み係数列 $w \in \mathbb{R}^M$ を生成する。なお、重み係数列 w は撮影時の焦点ぼけ画像群 y_1, \dots, y_M の代わりに輝度変換画像 b_1, \dots, b_M を用いて計算してもよい。その場合には重み係数列を求める関数は輝度変換した画像に適した関数を用いる。

【0085】

次に、統合画像生成ステップ S603では、画像処理装置110は、ステップ S602

50

で生成した重み係数列 w を用い、以下の式 (25) で統合画像 $c \in \mathbb{R}^{N \times N}$ を生成する。

【数 29】

$$(c)_{i,j} = \sum_{k=1}^M (w)_k \cdot (b_k)_{i,j}, \quad i, j \in \{1, \dots, N\} \quad \dots (25)$$

【0086】

次に、平滑化処理ステップ S604 では、画像処理装置 110 は、実施例 1 のステップ S503 と同様に、統合画像 c に対する平滑化処理を行い、平滑化統合画像 c を生成する。ただし、平滑化処理のパラメータには輝度変更後の画像に適したパラメータを用いる。例えば、全変動最小化や TGV 最小化を行う場合、固定ノイズの L2 ノルムに対応するとして、ゲイン誤差 v の標準偏差 σ_v の値を用いて、

10

【数 30】

$$\varepsilon = N\sigma_v \quad \dots (26)$$

を設定する。 $\log(1+x)$ は x が 0 に近いとき、 x に近似できるためである。

【0087】

次に、固定ノイズ推定処理ステップ S605 では、画像処理装置 110 は、輝度変換焦点ぼけ画像群 b_1, \dots, b_M に含まれる固定ノイズを推定し、推定固定ノイズを生成する。推定固定ノイズは、実施例 1 と同様、式 (10) を用いて求める。

20

【0088】

次に、固定ノイズ補正処理ステップ S606 では、画像処理装置 110 は、固定ノイズを含む輝度変換焦点ぼけ画像群 b_k ($k = 1, \dots, M$) から固定ノイズを低減した輝度変換焦点ぼけ画像群 $a_k \in \mathbb{R}^{N \times N}$ ($k = 1, \dots, M$) を生成する。固定ノイズの補正処理は実施例 1 と同様、式 (11) を用いて実現する。

【0089】

次に、輝度逆変換ステップ S607 では、画像処理装置 110 は、固定ノイズを低減した輝度変換焦点ぼけ画像群 a_1, \dots, a_M の各画素に対し、対数関数の逆関数である指数関数を適用する。この逆変換により、固定ノイズが低減された焦点ぼけ画像群 x_1, \dots, x_M が求められる。即ち、以下の計算を行う。

30

【数 31】

$$(x_k)_{i,j} = \exp((a_k)_{i,j}), \quad i, j \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, M\} \quad \dots (27)$$

【0090】

以上で述べた固定ノイズ低減処理により、焦点ぼけ画像群 y_k ($k = 1, \dots, M$) に含まれる乗法性の固定ノイズを適切に低減できる。なお、本実施例の手法を用いれば、加法性や乗法性以外の固定ノイズが存在しても低減できる。例えば、固定ノイズの分散 σ^2 が平均輝度となるポアソンノイズの場合には、分散安定化変換 (variance-stabilizing transformation) の一種である Anscombe transform を適用する。これによりポアソンノイズを加法性のノイズとして扱える。輝度変換ステップ S601 では、画像処理装置 110 は、焦点ぼけ画像群 y_k ($k = 1, \dots, M$) の各画素の輝度に以下の変換を適用し、輝度変換焦点ぼけ画像群 b_k ($k = 1, \dots, M$) を求める。

40

【数 32】

$$\phi_1(x) = 2 \sqrt{x + \frac{3}{8}} \quad \dots (28)$$

【0091】

50

また、輝度逆変換ステップ S 6 0 7 では、画像処理装置 1 1 0 は、固定ノイズを低減した輝度変換焦点ぼけ画像群 a_k ($k = 1, \dots, M$) の各画素の輝度に以下の逆変換を適用し、固定ノイズを低減した焦点ぼけ画像群 x_k ($k = 1, \dots, M$) を求める。

【数 3 3】

$$\phi_2(x) = \left(\frac{x}{2}\right)^2 - \left(\frac{1}{8}\right) \dots (29)$$

ただし、平滑化処理ステップ S 6 0 4 では、式 (7) に示す最適化問題の制約条件のとして $\sigma = N$ を設定する。Anscombe transform では輝度変換後のポアソンノイズの標準偏差は 1 となるためである。

【 0 0 9 2 】

< 実施例 4 >

実施例 1 ~ 3 で述べた固定ノイズ低減処理は、主に、焦点ぼけ画像群として撮影する被写体が 1 つの焦点位置に存在する場合を想定して説明した。

本実施例では、焦点ぼけ画像群 y_1, \dots, y_M の中に焦点位置が異なる複数の被写体が存在する場合に適した固定ノイズ低減処理の実現方法について述べる。

【 0 0 9 3 】

図 7 は焦点位置が異なる複数の被写体を撮像した焦点ぼけ画像群の各画像を表す模式図である。図 7 では 8 枚の画像で構成される焦点ぼけ画像群の中に、被写体の像 7 1 0 (星)、7 2 0 (三角) がそれぞれ異なる焦点位置 $k = 3, k = 5$ で合焦する様子を示す。図 7 では図示しないが、それぞれの合焦位置の前後には焦点がぼけた被写体の像が存在する。

【 0 0 9 4 】

図 7 に示すような焦点ぼけ画像群から固定ノイズを低減するために、焦点ぼけ画像群を構成する各画像 y_1, \dots, y_8 で鮮鋭度を評価し、重み係数列 w を求めると、画像 y_3 および y_5 に対する重み係数は小さくなる。しかし、画像 y_3 および y_5 でも、被写体の像が無い領域 (画像 y_3 の右側領域、画像 y_5 の左側領域) では輝度変化が滑らかであることを考えると、これらの領域の重み係数まで一律に小さくする必要はない。むしろ、輝度変化が滑らかな領域のデータをできるだけ多く使って統合画像を生成する方が、ランダムノイズ低減や平滑化の効果が大きくなると期待できる。したがって、実施例 1 ~ 3 のように画像単位で重み係数を設定する方法は、改善の余地があると言える。

【 0 0 9 5 】

そこで本実施例では、焦点ぼけ画像群 y_1, \dots, y_M を複数の領域に分割し、それぞれの分割領域の画像群を個別の焦点ぼけ画像群として扱い、個別に重み係数列を求める。これにより、統合画像の平滑化効果を高める。図 7 を用いて一例を説明すると、焦点ぼけ画像群 y_1, \dots, y_8 を中央の破線により左右の領域に分割し、左領域の焦点ぼけ画像群と右領域の焦点ぼけ画像群のそれぞれに対し、個別に実施例 1 ~ 3 で述べた固定ノイズ低減処理を適用する。これにより固定ノイズの推定精度を高めることができる。

以降、最も簡単な領域分割の例として、縦と横の画素数が $S \times S$ 画素となるような矩形ブロックに分割する場合について説明する。

【 0 0 9 6 】

図 8 は本実施例における固定ノイズ低減処理を示すフローチャートである。領域分割処理ステップ S 8 0 1 では、画像処理装置 1 1 0 は、焦点ぼけ画像群を構成する各画像 y_1, \dots, y_M を $S \times S$ 画素の領域に分割し、領域ごとに焦点ぼけ画像群を生成する。ステップ S 8 0 1 では領域ごとの焦点ぼけ画像群 $y_{b,k} \in \mathbb{R}^{S \times S}$ ($k = 1, \dots, M$) が生成できる。添え字の b は領域の識別番号を表し、 $b \in \{1, \dots, T\}$ とする。 T は領域の総数を表す。添え字の k は分割前の焦点ぼけ画像群と同様に焦点ぼけ画像群を構成する画像の焦点位置と対応する番号である。なお、分割領域のサイズ S は予め定める。

【 0 0 9 7 】

10

20

30

40

50

次の領域ループS 8 0 2およびS 8 0 4はループ端記号を表し、全ての領域番号 $b \in \{1, \dots, T\}$ に対する処理が終了するまで、領域単位固定ノイズ低減処理ステップS 8 0 3が繰り返される。

【0098】

領域単位固定ノイズ低減処理ステップS 8 0 3では、画像処理装置110は、領域ごとの焦点ぼけ画像群に対し固定ノイズ低減処理を行う。固定ノイズ低減処理には、実施例1~3で述べた方法が適用できる。その結果、領域ごとに固定ノイズが低減された焦点ぼけ画像群 $x_{b, k} \in R^{S \times S}$ ($k = 1, \dots, M$) が生成される。なお、領域ごとの固定ノイズ低減処理は独立した処理であるため、複数の領域に対する固定ノイズ低減処理を並列に処理することが可能である。これによって処理が高速化できる。

10

【0099】

最後に領域統合処理ステップS 8 0 5では、画像処理装置110は、焦点ぼけ画像群 $x_{b, k} \in R^{S \times S}$ ($k = 1, \dots, M$) を焦点位置 (k) ごとに統合し、固定ノイズが低減された焦点ぼけ画像群 $x_k \in R^{N \times N}$ ($k = 1, \dots, M$) を生成する。

上記のように、領域ごとに固定ノイズ低減処理を適用することで、領域ごとの固定ノイズの推定精度が高められ、その結果、固定ノイズを補正した焦点ぼけ画像群 x_1, \dots, x_M の画質が向上する。

【0100】

なお、本実施例では、矩形ブロック単位の領域分割を行う例について説明したが、領域分割の単位は必ずしも矩形ブロックに限らない。例えば、三角形や六角形単位、あるいは画素単位での領域分割でも構わない。

20

【0101】

また、ステップS 8 0 1の領域分割処理では様々な変形例が適用できる。例えば、画素ごと又は小領域ごとに被写体が存在する焦点位置(光軸方向の距離)を表したデプスマップDを利用してよい。例えば、デプスマップDに対し、分割統合法などの領域分割法を適用し、被写体が存在する奥行き方向の位置が比較的近い領域をまとめる領域分割処理も可能となる。デプスマップは、例えば、焦点ぼけ画像群を構成する各画像 y_1, \dots, y_M で画素位置ごとに周囲の画素値との変動成分(例えば、差の絶対値)を求め、画素位置ごとに最も変動成分が大きな焦点位置(k)を選択することにより、生成できる。あるいは、DFD(Depth From Focus)法やDFD(Depth From Defocus)法など、他の公知の手法によりデプスマップDを生成してもよい。

30

【0102】

また、ステップS 8 0 3において、デプスマップDを用いて重み係数列を生成してもよい。デプスマップDから重み係数列を生成する方法ないし関数はどのようなものでもよい。例えば、以下の式により、分割領域ごとの重み係数列wを求められる。

【数34】

$$(w)_k = \alpha(|k - k_D| + \gamma)^\beta \quad (k = 1, \dots, M) \quad \dots (30)$$

ただし、 w は重み係数 $(w)_1 \sim (w)_M$ の合計を1とするための定数、 k_D は該当する分割領域における被写体への合焦位置、 k は焦点ぼけ画像群 y_k の焦点位置である。 $(\gamma > 0)$ は被写体の合焦位置 k_D から離れた焦点位置の画像に対する重み係数を大きくするパラメータである。 α は定数とする。

40

【0103】

式(30)の $|k - k_D|$ は合焦位置 k_D からの距離を表すため、 β が大きくなる程、合焦位置 k_D から離れた焦点位置 k での重み係数 $(w)_k$ は大きくなる。 γ は焦点ぼけ画像群を撮影するときの焦点位置の間隔や、撮像光学系で決まる隣接する焦点位置での焦点ぼけの大きさの情報をもとに決めることもできる。例えば、焦点位置の間隔あるいは焦点ぼけが相対的に大きな場合には、合焦位置 k_D から少し離れた焦点位置で画像は十分滑らかになるので、 β の値を相対的に小さな値とする。逆に、焦点位置の間隔あるいは焦点ぼ

50

けが相対的に小さな場合には、合焦位置 k_D からある程度離れた焦点位置でないと画像は十分滑らかにならないので、 w_k の値を相対的に大きな値とする。すなわち w_k は撮像光学系や撮像条件によって決めることができる。

【0104】

また、式(3)の場合と同様、合焦画像を意図的に除外し、固定ノイズの推定精度を高めるために、合焦位置からの距離 $|k - k_D|$ が閾値以下となる焦点位置 k の重み係数 $(w)_k$ を0とする調整を行っても良い。その場合、調整後の重み係数の合計が1となるよう、 w_k の値を再計算する。

【0105】

なお、領域分割処理において、隣接する分割領域の一部をオーバーラップさせてもよい。その場合、領域統合処理では、加重平均等を用いてオーバーラップ領域を統合するとよい。推定固定ノイズの誤差によって隣接領域間で差が発生する場合には、このようなオーバーラップ領域を設けることで、領域間の差を目立たなくできる。

【0106】

<実施例5>

これまでの実施例では、焦点ぼけ画像群から固定ノイズを低減する方法について説明した。しかし、本発明の適用対象は必ずしも焦点ぼけ画像群に限定されず、動画像データにも適用可能である。

【0107】

図9A、図9Bに本実施例の固定ノイズ低減処理を用いて固定ノイズの低減が可能な動画像データの一例を示す。

【0108】

図9Aはカメラを固定して撮影した泳ぐ魚の動画を構成する一部の画像群を示している。背景には海や水槽の水が映っている。画像の左にある $t = 0$, $t = 1$, $t = 2$ は撮影時刻の違いを表しており、魚が水中を移動している。図9Bは時間とともにカメラを動かして、静止物体である花を撮影した動画を構成する一部の画像群を示している。背景は空である。 $t = 0$, $t = 1$, $t = 2$ は撮影時刻の違いを表し、画像ごとに花の位置が変化している。図示しないがいずれの動画像データも3枚の画像(フレーム)だけでなく、時間変化する多数枚(M枚)の画像(フレーム)から構成されている。領域毎に見れば、少数の鮮鋭度の高い画像と多数の滑らかな画像から構成されることになる。また仮に、複数枚からなる画像群の中に鮮鋭度の高い画像が複数存在しても全く異なる被写体の像となり、多数枚の統合によって互いに打ち消され弱まりやすい。上述のような画像群に対しても実施例1~4で述べた固定ノイズ低減処理は適用できる。

【0109】

以下、実施例1で説明した固定ノイズ低減処理を適用する場合について説明する。

画像処理装置110は、撮像装置120や記憶装置113、他のコンピュータシステム114から動画像データ $y_t \in R^{N \times N}$ ($t = 1, \dots, M$) を取得する。画像処理装置110は、RAM302やROM303に格納されている固定ノイズ低減処理プログラムを用いて固定ノイズ低減処理を実行する。

【0110】

以下、図5のフローチャートを用いて動画像データ y_1, \dots, y_M から固定ノイズを低減する処理を説明する。なお、加法性の固定ノイズと乗法性の固定ノイズのいずれの除去を行うかは、固定ノイズ低減処理プログラムの不図示の設定によりユーザが予め設定できるとよい。

【0111】

重み係数生成ステップS501では、画像処理装置110が、イメージセンサの固定ノイズが加わった動画像データ y_1, \dots, y_M を入力画像として取得し、各画像(各フレーム)に対応する重み係数列 w を生成する。実施例1に示したように例えば式(3)を用いて重み係数列 w を求める。

【0112】

10

20

30

40

50

統合画像生成ステップS502では、画像処理装置110が、ステップS501で計算した重み係数列 w と動画像データ y_1, \dots, y_M を用いて、統合画像 c を生成する。平滑化処理ステップS503では、画像処理装置110が、統合画像 c を平滑化し、平滑化統合画像 c を生成する。平滑化処理には、既に述べたように様々なフィルタ処理や最適化処理を用いることができる。

【0113】

次に、固定ノイズ推定処理ステップS504では、画像処理装置110は、統合画像 c と平滑化統合画像 c の差分から推定固定ノイズ n を生成する。固定ノイズ補正処理ステップS505では、画像処理装置110は、推定固定ノイズ n を用いて、固定ノイズを低減した動画像データ $x_t \in \mathbb{R}^{N \times N}$ ($t = 1, \dots, M$)を生成する。

10

以上述べた本実施例で述べる固定ノイズ低減処理を用いれば、動画像データに含まれる固定ノイズを低減することができる。

【0114】

動画像データでは時間方向の画像の枚数(フレーム数) M が非常に大きくなるため、所定の時間毎又は所定のフレーム数毎に動画像データを区切り、それぞれを入力画像として、独立に固定ノイズ低減処理を行っても良い。また、実施例4で述べたように、空間方向に画像を分割し、それぞれの領域ごとに固定ノイズ低減処理を行うことも好ましい。

【0115】

<他の実施例>

上述した実施例1~5は本発明の一具体例を示したものにすぎず、本発明の範囲をそれらの実施例の構成に限定する趣旨のものではない。各実施例の構成を適宜変更してもよいし、技術的な矛盾のない限り、実施例同士を組み合わせてもよい。

20

【0116】

実施例1~5では焦点ぼけ画像群や動画像データが1チャンネルからなる場合についてのみ説明したが、複数の色チャンネルからなるカラー画像(例えばRGB)の場合にも適用可能である。例えば、色チャンネルごとに固定ノイズ低減処理を適用することが可能である。

【0117】

本発明は、上記実施例の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。

30

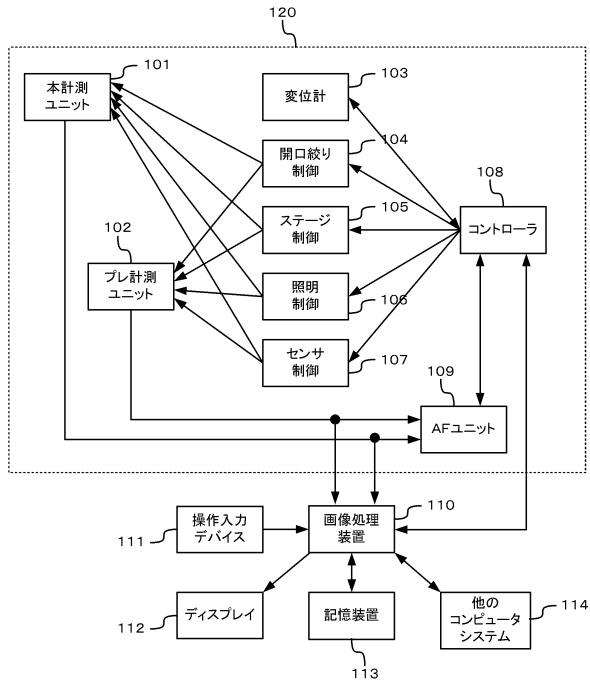
【符号の説明】

【0118】

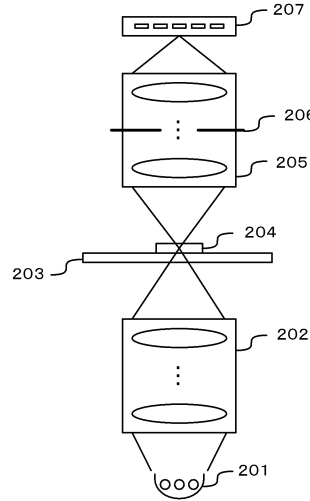
110 : 画像処理装置

207 : 撮像部

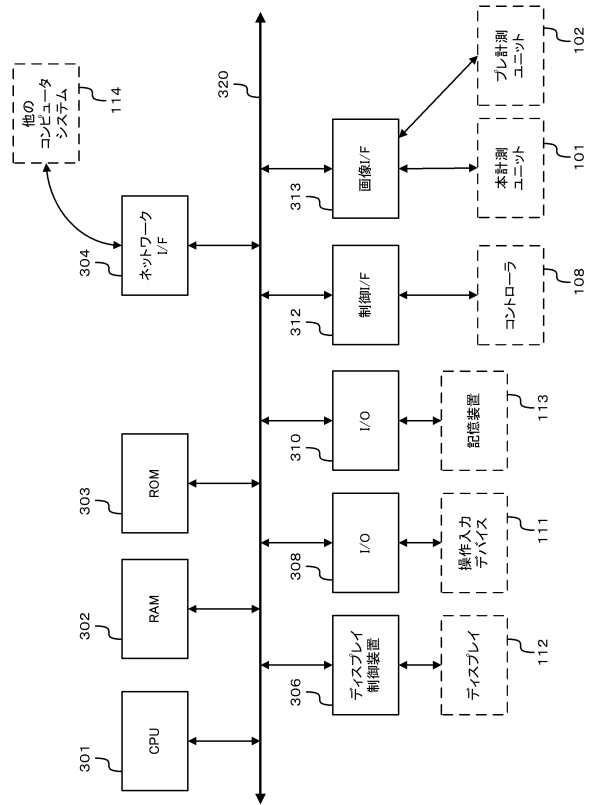
【図1】



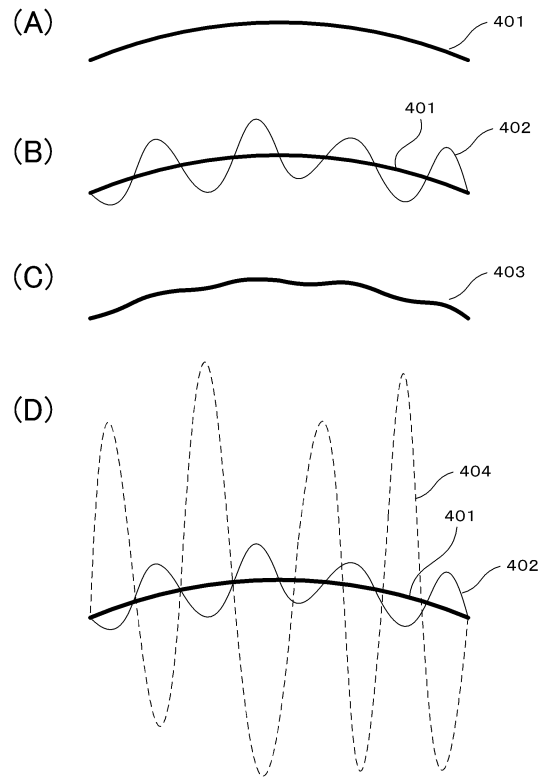
【図2】



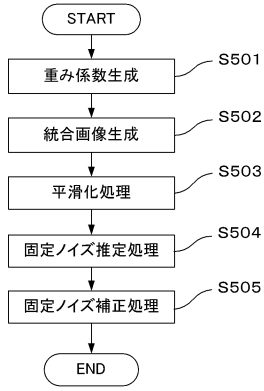
【図3】



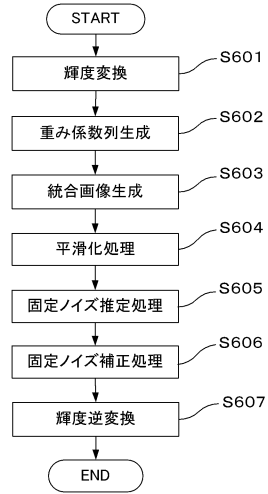
【図4】



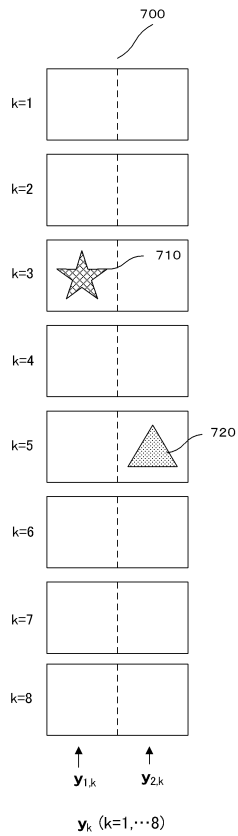
【図5】



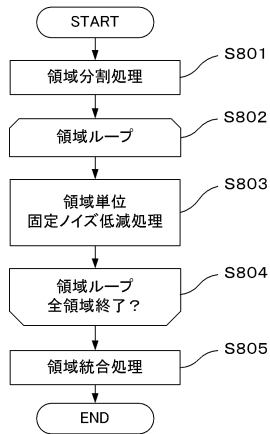
【図6】



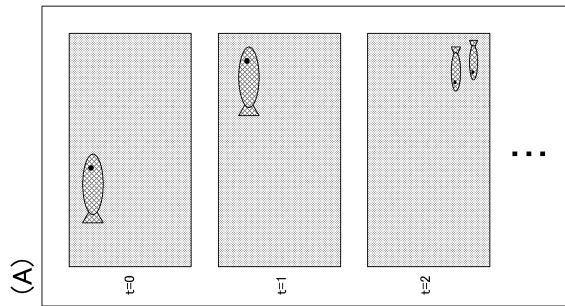
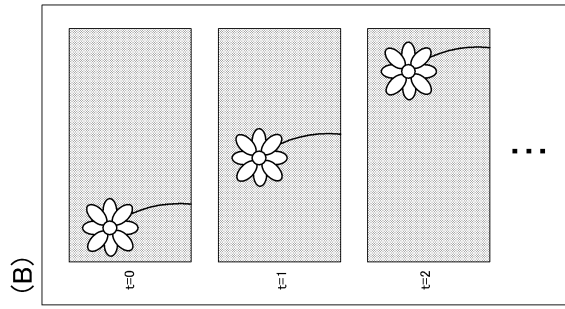
【図7】



【図8】



【 9 】



フロントページの続き

(74)代理人 100155871

弁理士 森廣 亮太

(72)発明者 村上 友近

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

(72)発明者 児玉 和也

東京都千代田区一ツ橋二丁目1番2号 大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 国立情報学研究所内

審査官 岡田 弘

(56)参考文献 特開2013-117848(JP,A)

特開2013-020212(JP,A)

特開2010-178302(JP,A)

特開2010-245977(JP,A)

特開2006-293851(JP,A)

米国特許出願公開第2011/0025919(US,A1)

中国特許出願公開第104662463(CN,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 19/00-21/00

G02B 21/06-21/36

G06T 1/00-1/40

G06T 3/00-5/50

G06T 9/00-9/40