(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6555881号
(P6555881)
(45)発行日　令和1年8月7日(2019.8.7)　(24)登録日　令和1年7月19日(2019.7.19)

(51)Int.Cl.　F I
G06T 5/00 (2006.01)　G06T 5/00 710
H04N 5/232 (2006.01)　H04N 5/232

請求項の数 14　(全 16 頁)

(21)出願番号　特願2014-257080(P2014-257080)
(22)出願日　平成26年12月19日(2014.12.19)
(65)公開番号　特開2016-118856(P2016-118856A)
(43)公開日　平成28年6月30日(2016.6.30)
審査請求日　平成29年10月18日(2017.10.18)

(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　100110412
弁理士　藤元　亮輔
(74)代理人　100104628
弁理士　水本　敦也
(74)代理人　100121614
弁理士　平山　倫也
(72)発明者　渡邊　武史
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　松田　直也

最終頁に続く

(54)【発明の名称】画像処理装置、撮像装置、画像処理方法、画像処理プログラム、および、記憶媒体

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
画像を取得する画像取得手段と、
前記画像の撮影条件情報を取得する条件取得手段と、
光学系に関する点像強度分布を取得するＰＳＦ取得手段と、
前記画像中の複数の領域のそれぞれに対応する前記点像強度分布に基づいて、該複数の領域のそれぞれに対する繰り返し回数を設定する回数設定手段と、
前記複数の領域のそれぞれに対して、前記点像強度分布を用いて前記繰り返し回数だけ繰り返し処理を行うことにより、前記画像の回復処理を行う画像回復手段を有し、
前記ＰＳＦ取得手段は、前記撮影条件情報に基づいて前記点像強度分布を取得することを特徴とする画像処理装置。
【請求項２】
前記ＰＳＦ取得手段は、撮像素子の画素位置に応じて異なる前記点像強度分布を取得することを特徴とする請求項１に記載の画像処理装置。
【請求項３】
前記ＰＳＦ取得手段は、撮像素子の画素位置に基づいて、前記画像を前記複数の領域に分割することを特徴とする請求項１または２に記載の画像処理装置。
【請求項４】
前記画像回復手段は、
前記ＰＳＦ取得手段により取得された複数の点像強度分布の中から、撮像素子の着目画

素に対応する複数の点像強度分布を特定し、
前記着目画素ごとに前記画像の回復処理を行うことを特徴とする請求項１乃至３のいずれか１項に記載の画像処理装置。
【請求項５】
前記画像回復手段は、
前記着目画素に対応する前記複数の点像強度分布に適用する重み情報を決定し、
前記重み情報に基づいて、前記着目画素ごとに前記画像の回復処理を行うことを特徴とする請求項４に記載の画像処理装置。
【請求項６】
前記光学系に関する光学伝達関数を取得する関数取得手段と、
撮像素子に関する情報に基づいて前記光学伝達関数を修正する関数修正手段を更に有し、
前記ＰＳＦ取得手段は、前記関数修正手段で修正された前記光学伝達関数から前記点像強度分布を生成することを特徴とする請求項１乃至５のいずれか１項に記載の画像処理装置。
【請求項７】
前記回数設定手段は、前記点像強度分布の最大値に基づいて前記繰り返し回数を設定することを特徴とする請求項１乃至６のいずれか１項に記載の画像処理装置。
【請求項８】
前記回数設定手段は、前記点像強度分布の前記最大値が大きいほど前記繰り返し回数を少なくすることを特徴とする請求項７に記載の画像処理装置。
【請求項９】
前記回数設定手段は、前記複数の領域のそれぞれに複数の点像強度分布を対応付け、該複数の点像強度分布に基づいて該複数の領域のそれぞれに対する前記繰り返し回数を設定することを特徴とする請求項１乃至８のいずれか１項に記載の画像処理装置。
【請求項１０】
前記画像回復手段は、
前記画像および前記点像強度分布を用いて第１の更新画像を生成し、
前記画像、第Ｎの更新画像、および、前記点像強度分布を用いて第（Ｎ＋１）の更新画像を生成する処理（Ｎは自然数）を繰り返し実行すること特徴とする請求項１乃至９のいずれか１項に記載の画像処理装置。
【請求項１１】
光学系を介して形成された光学像を光電変換して画像信号を出力する撮像素子と、
前記画像信号から生成された画像を取得する画像取得手段と、
前記画像の撮影条件情報を取得する条件取得手段と、
光学系に関する点像強度分布を取得するＰＳＦ取得手段と、
前記画像中の複数の領域のそれぞれに対応する前記点像強度分布に基づいて、該複数の領域のそれぞれに対する繰り返し回数を設定する回数設定手段と、
前記複数の領域のそれぞれに対して、前記点像強度分布を用いて前記繰り返し回数だけ繰り返し処理を行うことにより、前記画像の回復処理を行う画像回復手段を有し、
前記ＰＳＦ取得手段は、前記撮影条件情報に基づいて前記点像強度分布を取得することを特徴とする撮像装置。
【請求項１２】
画像処理装置で実行される画像処理方法であって、
画像を取得するステップと、
前記画像の撮影条件情報を取得するステップと、
光学系に関する点像強度分布を取得するステップと、
前記画像中の複数の領域のそれぞれに対応する前記点像強度分布に基づいて、該複数の領域のそれぞれに対する繰り返し回数を設定するステップと、
前記複数の領域のそれぞれに対して、前記点像強度分布を用いて前記繰り返し回数だけ

繰り返し処理を行うことにより、前記画像の回復処理を行うステップを有し、
前記点像強度分布を取得するステップは、前記撮影条件情報に基づいて前記点像強度分布を取得することを特徴とする画像処理方法。
【請求項１３】
画像を取得するステップと、
前記画像の撮影条件情報を取得するステップと、
光学系に関する点像強度分布を取得するステップと、
前記画像中の複数の領域のそれぞれに対応する前記点像強度分布に基づいて、該複数の領域のそれぞれに対する繰り返し回数を設定するステップと、
前記複数の領域のそれぞれに対して、前記点像強度分布を用いて前記繰り返し回数だけ繰り返し処理を行うことにより、前記画像の回復処理を行うステップをコンピュータに実行させるように構成されており、
前記点像強度分布を取得するステップは、前記撮影条件情報に基づいて前記点像強度分布を取得することを特徴とする画像処理プログラム。
【請求項１４】
請求項１３に記載の画像処理プログラムを記憶していることを特徴とする記憶媒体。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
光学系による画像の劣化を補正する画像処理装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
光学系により撮影された被写体は、撮像光学系で発生する回折や収差等の影響により、１点から発生した光が１点に収束することができなくなるため微小な広がりを持つこととなる。このような微小な広がりを持った分布をＰＳＦ（点像強度分布関数）と呼ぶ。このような光学系の影響により、撮影画像にはＰＳＦが畳み込まれて形成されることになり、画像がぼけて解像度が劣化する。
【０００３】
近年、撮影画像を電子データとして保持することが一般的になり、画像処理を利用して光学系による画像の劣化を補正する方法（画像回復処理）が提案されている。このような画像の劣化状態は、画面内の位置に応じて異なる。
【０００４】
そこで特許文献１には、レンズ特性により画像劣化が画面内位置で異なる場合にも、各位置の劣化状態に応じて最適に回復処理を行うとともに、演算量を低減させる画像処理方法が開示されている。非特許文献１には、所謂Ｌｕｃｙ－Ｒｉｃｈａｒｄｓｏｎ法を用いた繰り返し演算による画像回復方法が開示されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】
【特許文献１】特開２０１３－２５４７３号公報
【非特許文献】
【０００６】
【非特許文献１】ＯＳＡ ＶＯＬＵＭＥ ６２, ＮＵＭＢＥＲ １ ＪＡＮＵＡＲＹ １９７２ Ｂａｙｅｓｉａｎ－Ｂａｓｅｄ Ｉｔｅｒａｔｉｖｅ Ｍｅｔｈｏｄ ｏｆ Ｉｍａｇｅ Ｒｅｓｔｏｒａｔｉｏｎ
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
しかしながら、特許文献１には、画像回復処理を行う際に、各位置に応じて適切な繰り返し演算回数を設定することや、その具体的な実行方法については記載されていない。

【０００８】
繰り返し演算による画像回復処理を実行する場合、繰り返し演算回数が適切に設定されない場合、演算コストが大きくなってしまう。また、画像回復の強弱に関しても、主に繰り返し演算回数が支配的な要素である。例えば繰り返し演算回数が不足すると、回復の程度が不足する。逆に、繰り返し演算回数が多すぎると、回復の程度が過剰になり、リンギングなどの弊害の発生につながる。従って、画像の位置や領域の像劣化特性に応じて適切な繰り返し演算回数を設定する必要がある。
【０００９】
このとき、回復処理対象となる画像が巨大である場合や、画像上の劣化特性が位置または領域ごとに異なる場合、更新前後の画像のＲＭＳを比較しても適切に繰り返し処理を打ち切ることができない。特に、従来の方法では、種々のレンズと撮像素子との組み合わせが可能なレンズ交換式のデジタルカメラにおいて、撮影された画像内の位置に応じた（シフトバリアントな）劣化特性を良好に回復することはできない。
【００１０】
そこで本発明は、画像内の位置に応じた画像の劣化を良好に回復可能な画像処理装置、撮像装置、画像処理方法、画像処理プログラム、および、記憶媒体を提供する。
【課題を解決するための手段】
【００１１】
本発明の一側面としての画像処理装置は、画像を取得する画像取得手段と、前記画像の撮影条件情報を取得する条件取得手段と、光学系に関する点像強度分布を取得するＰＳＦ取得手段と、前記画像中の複数の領域のそれぞれに対応する前記点像強度分布に基づいて、該複数の領域のそれぞれに対する繰り返し回数を設定する回数設定手段と、前記複数の領域のそれぞれに対して、前記点像強度分布を用いて前記繰り返し回数だけ繰り返し処理を行うことにより、前記画像の回復処理を行う画像回復手段を有し、前記ＰＳＦ取得手段は、前記撮影条件情報に基づいて前記点像強度分布を取得する。
【００１２】
本発明の他の側面としての撮像装置は、光学系を介して形成された光学像を光電変換して画像信号を出力する撮像素子と、前記画像信号から生成された画像を取得する画像取得手段と、前記画像の撮影条件情報を取得する条件取得手段と、光学系に関する点像強度分布を取得するＰＳＦ取得手段と、前記画像中の複数の領域のそれぞれに対応する前記点像強度分布に基づいて、該複数の領域のそれぞれに対する繰り返し回数を設定する回数設定手段と、前記複数の領域のそれぞれに対して、前記点像強度分布を用いて前記繰り返し回数だけ繰り返し処理を行うことにより、前記画像の回復処理を行う画像回復手段を有し、前記ＰＳＦ取得手段は、前記撮影条件情報に基づいて前記点像強度分布を取得する。
【００１３】
本発明の他の側面としての画像処理方法は、画像処理装置で実行される画像処理方法であって、画像を取得するステップと、前記画像の撮影条件情報を取得するステップと、光学系に関する点像強度分布を取得するステップと、前記画像中の複数の領域のそれぞれに対応する前記点像強度分布に基づいて、該複数の領域のそれぞれに対する繰り返し回数を設定するステップと、前記複数の領域のそれぞれに対して、前記点像強度分布を用いて前記繰り返し回数だけ繰り返し処理を行うことにより、前記画像の回復処理を行うステップを有し、前記点像強度分布を取得するステップは、前記撮影条件情報に基づいて前記点像強度分布を取得する。

【００１４】
本発明の他の側面としての画像処理プログラムは、画像を取得するステップと、前記画像の撮影条件情報を取得するステップと、光学系に関する点像強度分布を取得するステップと、前記画像中の複数の領域のそれぞれに対応する前記点像強度分布に基づいて、該複数の領域のそれぞれに対する繰り返し回数を設定するステップと、前記複数の領域のそれぞれに対して、前記点像強度分布を用いて前記繰り返し回数だけ繰り返し処理を行うこと

により、前記画像の回復処理を行うステップをコンピュータに実行させるように構成されており、前記点像強度分布を取得するステップは、前記撮影条件情報に基づいて前記点像強度分布を取得する。

【００１５】

本発明の他の側面としての記憶媒体は、前記プログラムを記憶している。

【００１６】

本発明の他の目的及び特徴は、以下の実施例において説明される。

【発明の効果】

【００１７】

本発明によれば、画像内の位置に応じた画像の劣化を良好に回復可能な画像処理装置、撮像装置、画像処理方法、画像処理プログラム、および、記憶媒体を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１８】

【図１】実施例１における画像処理方法のフローチャートである。

【図２】実施例２におけるシフトバリアントな劣化特性を補正する画像処理方法の説明図である。

【図３】実施例２における繰り返し演算回数の説明図である。

【図４】実施例３における画像処理システムの構成図である。

【図５】実施例４における画像処理装置のブロック図である。

【図６】実施例５における撮像装置のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【００１９】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【００２０】

まず、本実施形態における画像処理方法（画像回復処理）の概略について説明する。実空間（ｘ，ｙ）上で、光学系による劣化を受ける前の画像をｆ（ｘ，ｙ）、ＰＳＦ（点像強度分布関数）をｈ（ｘ，ｙ）、劣化した画像をｇ（ｘ，ｙ）とすると、これらは以下の式（１）のように表される。

【００２１】

$$g(x,y)=\int\int f(X,Y)*h(x-X,y-Y)\,dX\,dY \cdots (1)$$

ここで、Ｌｕｃｙ－Ｒｉｃｈａｒｄｓｏｎ法（ＬＲ法）による画像回復処理は、実空間において以下の式（２）のように表される。

【００２２】

【数１】

$$f_n(x,y) \leftarrow f_{n-1}(x,y)\iint \frac{h(X-x,Y-y)g(X,Y)}{\iint h(X-s,Y-t)f_{n-1}(s,t)dsdt}dXdY \ldots (2)$$

【００２３】

式（２）において、f_nは更新後の画像（更新画像）、f_{n-1}は更新前の画像である。ｈは光学系の劣化特性であり、例えばＰＳＦである。また、ｇは劣化した画像（撮影画像）である。

【００２４】

ＬＲ法を用いた画像回復処理は、画像f_{n-1}を逐次更新し、例えば所定の評価基準に基づいて更新処理を打ち切り、画像f_nを出力することにより行われる。このときの評価基準は、例えば、画像f_nと画像f_{n-1}との二乗平均平方根（ＲＭＳ：ｒｏｏｔ　ｍｅ

ａｎ　ｓｑｕａｒｅ）の値である。ここで、ＬＲ法を開始する際（初期値）として、f_0＝ｇなどと設定して画像回復処理を開始すればよい。

【００２５】

デジタルカメラで撮影した画像に対して、前述の画像回復処理を適用するには、種々の工夫が必要である。まず、一般的なデジタルカメラで撮影された画像は、画像の各位置に応じて互いに異なる劣化特性を有する。また、画像の周辺部においては、撮像光学系の収差が大きく、画像が非対称に劣化していることが多い。これは、画像の位置または領域において補正すべき像劣化の量が異なることを意味し、それぞれの領域において適切な処理が必要となる。加えて、レンズ交換式カメラのように、撮像光学系と撮像素子との組み合わせが無数にある環境を想定すると、単純に式（２）を適用するだけでは、良好な結果を得ることができない。

【００２６】

そこで、以下の各実施例において、光学系と撮像素子との任意の組み合わせにおける画像の劣化を良好に回復するための構成および方法について説明する。

【実施例１】

【００２７】

まず、図１を参照して、本発明の実施例１における画像処理方法について説明する。図１は、本実施例における画像処理方法のフローチャートである。図１の各ステップは、画像処理装置の各部により実行される。

【００２８】

まずステップＳ１０１において、本実施例の画像処理装置は、画像回復処理の対象となる画像（撮影画像）を取得する。続いてステップＳ１０２において、画像処理装置は、ステップＳ１０１にて取得された画像に対して画像回復処理を開始するため、撮影条件（撮影条件情報）を取得する。本実施例において、画像処理装置は、ステップＳ１０１にて取得された画像に付随する、例えばＥｘｉｆ情報などから撮影条件を取得するか、または、撮影条件を直接取得する。本実施例において、撮影条件は、光学系（撮像光学系）の撮影条件として、撮影時のレンズを特定するためのレンズ識別番号（レンズＩＤ）と、撮影時の焦点距離、Ｆ値、および、被写体距離とを含む。画像処理装置は、レンズＩＤと、焦点距離、Ｆ値、および、被写体距離との組み合わせからなる撮影条件により、光学系の光学伝達関数を特定することができる。

【００２９】

また撮影条件として、撮像素子の画素ピッチ、カラーフィルタの配列、および、光学ローパスフィルタに関する情報など、撮影時の状況を示す情報を含む場合もある。ここで、光学系の光学伝達関数は、折り返し信号が発生しない程度のサンプリングピッチで離散化されたデータである。光学伝達関数は、例えばレンズ（光学系）の設計データなどからコンピュータ上のシミュレーションで算出することが好ましいが、画素ピッチの小さい撮像素子を用いて測定してもよい。このときの画素ピッチは、前述のように折り返し信号が発生しない程度の画素ピッチであることが好ましい。コンピュータシミュレーションで光学系の光学伝達関数を生成する際には、想定する光源の分光特性や撮像素子のカラーフィルタの分光特性を用いて波長ごとに算出される光学伝達関数を、Ｒ、Ｇ、Ｂの各色に対応させて生成することが好ましい。

【００３０】

光学系の光学伝達関数は、前述の焦点距離、Ｆ値、および、被写体距離が決定した場合に、撮像素子上の位置と主にＲ、Ｇ、Ｂのカラーフィルタの分光特性との組み合わせの数だけ必要となる。すなわち、撮影条件ごとに複数の光学伝達関数が必要である。例えば、撮像素子上の代表点１００点とＲ、Ｇ、Ｂの３色のカラーフィルタとの組み合わせの数は３００となる。従って、前述の光学系の光学伝達関数の特定は、このような３００点を特定することを意味する。

【００３１】

続いて、ステップＳ１０３において、画像処理装置は、ステップＳ１０２にて取得した

撮影条件に基づいて、光学系の光学伝達関数を取得する。このとき、使用される撮像素子のサイズに応じて、光学伝達関数の取得範囲を変更することが好ましい。光学伝達関数の取得範囲は、例えば、光学系に応じて決定される範囲と、撮像素子が光学像を取得可能な範囲との比率に基づいて決定される。ここで、光学系に応じて決定される範囲とは、例えば設計時に収差補正が行われている範囲である。

【００３２】

続いて、ステップＳ１０４において、画像処理装置は、ステップＳ１０３にて取得した光学伝達関数を修正する。取得した光学系の光学伝達関数は、そのままでは画像回復処理には適用できない。本実施例の画像処理装置は、種々の撮像素子に関し、各撮像素子の帯域や画素の形状などの特性（周波数特性）に応じて光学系の光学伝達関数を修正する。撮像素子の特性に応じて光学系の光学伝達関数を修正するには、以下のような特性を考慮する。

【００３３】

まず、撮像素子の特性として、撮像素子のサイズ、画素ピッチ、カラーフィルタの配列などに関する情報がある。撮像素子のサイズは、光学空中像を切り出すイメージサークルを指定する情報である。画素ピッチは、光学伝達関数の折り返し信号に関する情報である。また、前述の情報以外にも、光学ローパスフィルタに関する特性を考慮してもよい。ここで、光学ローパスフィルタに関する特性とは、光学ローパスフィルタの有無、それによる光学伝達関数が受ける特性に関する情報である。これは、例えば、光学ローパスフィルタによる点像強度分布の分離幅、分離方向、および、分離方法などである。また、単板センサの場合、Ｒ、Ｇ、Ｂ画素の配列情報を、ベイヤー配列のサンプリング間隔における折り返し信号についての情報として使用することができる。また、ベイヤー配列の撮像素子の場合、Ｒ、Ｇ、Ｂについてそれぞれのサンプリングピッチが異なる場合があり、また、特殊な配置を有する場合もある。このため、これらの情報について考慮することもできる。これらの情報は、ステップＳ１０２にて撮影条件（撮影条件情報）として取得可能である。

【００３４】

ステップＳ１０４にて撮像素子の特性に応じて修正された光学伝達関数は、以下の式（３）のようなモデルで表される。

【００３５】

【数２】

$$H_S(u, v) = \left[H(u, v) \cdot OLPF(u, v) \cdot PIX(u, v)\right]_S \quad \cdots \quad (3)$$

【００３６】

式（３）において、H_S（ｕ，ｖ）は撮像素子の特性に応じて修正された光学伝達関数である。また、Ｈ（ｕ，ｖ）は光学系の光学伝達関数、ＯＬＰＦ（ｕ，ｖ）は光学ローパスフィルタの周波数特性、ＰＩＸ（ｕ，ｖ）は撮像素子の画素形状による周波数特性である。$[\ ]_S$は撮像素子の帯域内の周波数特性の取得を示している。

【００３７】

続いてステップＳ１０５において、画像処理装置は、ステップＳ１０４にて修正された複数の光学伝達関数に対して、それぞれ周波数変換を行い実空間上のデータに変換することにより、撮像素子の特性を含む点像強度分布（ＰＳＦ）を生成する。そしてステップＳ１０６において、画像処理装置は、ステップＳ１０５にて生成されたＰＳＦに基づいて、画像回復処理の繰り返し回数（繰り返し演算回数）を決定する。繰り返し演算回数は、画像上の位置または領域ごとに決定される。このとき画像処理装置は、例えば撮像素子の画素位置に基づいて、画像を複数の領域に分割する。

【００３８】

続いてステップＳ１０７において、画像処理装置は、ステップＳ１０５にて生成されたＰＳＦ、および、式（２）を用いて、画像回復処理を行い、そして回復画像の現像処理を行う。式（２）に関しては、種々の正則化を含めた変形をしてもよい。なお本実施例の画

像処理方法は、好ましくは、ソフトウエアまたはハードウエア上で動作するプログラムとして提供される。

【実施例２】

【００３９】

次に、図２および図３を参照して、本発明の実施例２について説明する。図２は、シフトバリアントな劣化特性を補正する画像処理方法の説明図であり、撮像素子の特性に応じて異なるＰＳＦを用いた画像回復処理の一例を示している。

【００４０】

本実施例は、ＰＳＦの特性が画像中の位置ごとに大きく変化する場合について、良好な結果が得られる画像処理方法を説明する。ＰＳＦが像高などの画像中の位置ごとに大きく変化する場合、画像中の位置ごとに適切な（すなわち正確な）ＰＳＦを用いて画像処理を行うことが理想的である。しかし、撮像素子の全画素数の正確なＰＳＦをデータとしてメモリに保持することは現実的ではない。そこで本実施例においては、画像中の所定の各位置において、各位置に対応する光学系の光学伝達関数を、撮像素子の特性に応じて修正する。そして、修正後の光学伝達関数を、周波数変換によりＰＳＦに変換して利用する。

【００４１】

本実施例では、図２（ａ）に示されるように、画像のＲ、Ｇ、Ｂの縦、横のデータ数をそれぞれＶ、Ｈとする。Ｒ、Ｇ、Ｂをベイヤーとして処理する場合、Ｖ、Ｈがそれぞれ互いに異なる数でもよい。画像の縦横にはそれぞれ、Ｍ、Ｎ点のＰＳＦを対応付け、それぞれの配置間隔をＡ、Ｂとし、（Ｍ－１）×（Ｎ－１）個の複数の長方形領域を考える。ここでは、計算上、Ａ＝Ｖ／（Ｍ－１）、Ｂ＝Ｈ／（Ｎ－１）であることが好ましい。このような場合、処理対象の着目画素（ｉ，ｊ）ごとに、ｉ／Ａ、ｊ／Ｂの整数除算を行うことにより、条件分岐などの処理を用いることなく、複数の長方形領域の何番目に属するかを直ちに算出可能であるためである。

【００４２】

従って、ｍ＝ｉ／Ａ、ｎ＝ｊ／Ｂより、ＰＳＦ［ｍ，ｎ］、ＰＳＦ［ｍ，ｎ＋１］、ＰＳＦ［ｍ＋１，ｎ］、ＰＳＦ［ｍ＋１，ｎ＋１］の４つのＰＳＦが選択される。ここで、選択された４つのＰＳＦの格子点位置を頂点とする長方形領域（縦の長さＡ、横の長さＢ）を、領域＜ｍ，ｎ＞と表すこととする。

【００４３】

図２（ｂ）は、図２（ａ）中の領域＜ｍ，ｎ＞を示している。領域＜ｍ，ｎ＞における繰り返し演算回数（繰り返し回数）は、格子点位置に対応するＰＳＦ［ｍ，ｎ］、ＰＳＦ［ｍ，ｎ＋１］、ＰＳＦ［ｍ＋１，ｎ］、ＰＳＦ［ｍ＋１，ｎ＋１］の４つのＰＳＦカーネルに基づいて算出される。ＰＳＦカーネル内のＸ、Ｙ座標は、図２（ｂ）に示されるとおりである。

【００４４】

本実施例では、一例として、４つのＰＳＦカーネルの最大値に基づいて、繰り返し回数を算出する方法について説明する。まず、図２（ｂ）に示されるような格子点位置に対応する４つのＰＳＦカーネルを取得する。そして、４つのＰＳＦカーネルの最大値を求め、以下の式（４）のように定義されるｄ＜ｍ，ｎ＞を取得する。

【００４５】

【数３】

$$d<m,n>=0.25\cdot\max_{X,Y}[PSF[m,n](X,Y)]+0.25\cdot\max_{X,Y}[PSF[m,n+1](X,Y)]+0.25\cdot\max_{X,Y}[PSF[m+1,n](X,Y)]+0.25\cdot\max_{X,Y}[PSF[m+1,n+1](X,Y)] \quad \cdots (4)$$

【００４６】

式（４）において、$\max_{X,Y}[]$は、ＸＹ空間内での最大値を示す。

【００４７】
続いて、式（４）で定義されるｄ＜ｍ，ｎ＞を用いて、領域＜ｍ,ｎ＞における繰り返し回数ＩｔｅｒＮｕｍ＜ｍ，ｎ＞を、以下の式（５）で表されるように決定する。
【００４８】
【数４】

$$IterNum<m,n>=round\left[V\cdot\left[1-\exp\left[-\left[1-d<m,n>\right]\right]\right]\right]+1 \quad \cdots (5)$$

【００４９】
式（５）において、ｒｏｕｎｄ［］は、整数への丸め関数であり、［］内の値の小数点以下を四捨五入する関数である。Ｖは、基準の繰り返し回数を決定するパラメータであり、例えばユーザにより入力される。このように本実施例では、ユーザが一つのパラメータＶ（基準の繰り返し回数）を決定することにより、領域ごとの繰り返し演算回数（繰り返し回数ＩｔｅｒＮｕｍ＜ｍ，ｎ＞）が自動的に設定される。
【００５０】
図３は、繰り返し演算回数の説明図である。図３（ａ）、（ｂ）は、Ｖ＝５、Ｖ＝１０のそれぞれの場合において、ｄ＜ｍ，ｎ＞に対するＩｔｅｒＮｕｍ＜ｍ，ｎ＞の特性を示している。ｄ＜ｍ，ｎ＞に対するＩｔｅｒＮｕｍ＜ｍ，ｎ＞の変化は緩やかであり、ｄ＜ｍ，ｎ＞に関する隣接領域において、大きな繰り返し回数の差は発生しない。このため、回復不足、過剰な回復、および、回復画像上の不自然な弊害の発生はそれぞれ回避される。
【００５１】
このような手法で設定された領域ごとの繰り返し回数ＩｔｅｒＮｕｍ＜ｍ，ｎ＞を用いて、図２（ａ）に示される領域＜ｍ、ｎ＞内の着目画素（ｉ，ｊ）に対する画像回復処理を実行する。着目画素（ｉ，ｊ）に対応するＰＳＦ$_{ij}$は、ＰＳＦ［ｍ，ｎ］、ＰＳＦ［ｍ，ｎ＋１］、ＰＳＦ［ｍ＋１，ｎ］、ＰＳＦ［ｍ＋１，ｎ＋１］の４つのＰＳＦであり、以下のように算出することができる。
【００５２】
本実施例では、それぞれのＰＳＦに対する重み付けＷ（重み係数）を、以下のように決定する。
【００５３】
Ｗ（ｍ，ｎ）＝（Ａ－ａ）＊（Ｂ－ｂ）／（Ａ＊Ｂ）
Ｗ（ｍ，ｎ＋１）＝（Ａ－ａ）＊ｂ／（Ａ＊Ｂ）
Ｗ（ｍ＋１，ｎ）＝ａ＊（Ｂ－ｂ）／（Ａ＊Ｂ）
Ｗ（ｍ＋１，ｎ＋１）＝ａ＊ｂ／（Ａ＊Ｂ）
ここで、ａ＝ｍｏｄ（ｉ，Ａ）、ｂ＝ｍｏｄ（ｊ，Ｂ）である。また、ｍｏｄ（ｘ，ｙ）はｘのｙによる剰余である。以上より、以下の式（６）が得られる。
【００５４】
【数５】

$$\begin{aligned}PSF_{ij}(x,y) = {} & W(m,n)\cdot PSF[m,n](x,y) \\ & + W(m,n+1)\cdot PSF[m,n+1](x,y) \\ & + W(m+1,n)\cdot PSF[m+1,n](x,y) \\ & + W(m+1,n+1)\cdot PSF[m+1,n+1](x,y) \quad \cdots (6)\end{aligned}$$

【００５５】

このため本実施例では、式（２）を、式（６）に基づいて、以下の式（７）のように用いる。

【００５６】

【数６】

$$f_n(x, y) \leftarrow f_{n-1}(x, y)\sum_X \sum_Y \frac{PSF_{ij}(X - x, Y - y)g(X, Y)}{\sum_s \sum_t PSF_{ij}(X - s, Y - t)f_{n-1}(s, t)} \quad \cdots (7)$$

【００５７】

式（７）による処理を、それぞれの画像のＲ、Ｇ、Ｂごとに実行し、また、領域＜ｍ，ｎ＞ごとに繰り返し回数ＩｔｅｒＮｕｍ＜ｍ，ｎ＞だけ繰り返し演算（繰り返し処理）を実行することで、最終的な画像を得る。

【００５８】

隣接する領域＜ｍ，ｎ＞において、繰り返し回数ＩｔｅｒＮｕｍ＜ｍ，ｎ＞の値が大きく異なる場合、隣接する領域の境界にブロックノイズなどが発生する可能性がある。このため、予め、隣接する領域間での繰り返し回数ＩｔｅｒＮｕｍ＜ｍ，ｎ＞の差を制限しておくことも有効である。また、ＰＳＦの分散値などを算出して考慮に入れてもよい。また本実施例では、式（６）を、小さいＭとＮで高精度に行うため、予めそれぞれのＰＳＦの重心位置を一致させる処理を施しておくことが好ましい。また、重心位置だけでなく、最大値を一致させてもよく、また、それらの両方を評価する評価値を満たすようにＰＳＦの補正を行ってもよい。好ましくは、画像処理装置は、点像強度分布の最大値が大きいほど繰り返し回数を少なくするように設定する。

【実施例３】

【００５９】

次に、図４を参照して、本発明の実施例３における画像処理システム（画像処理装置）について説明する。図４は、本実施例における画像処理システム４００の構成図である。画像処理システム４００は、画像処理装置４０１（情報処理装置としてのハードウエア）、表示装置４０２（モニタ）、および、入力装置４０３（キーボードなどの入力手段）を備えて構成される。本実施例は、実施例１、２の画像処理方法を画像処理システム４００（パソコンのソフトウエア）上で動作させる場合について説明する。

【００６０】

まず、実施例１、２の画像処理方法を画像処理装置４０１において動作させるため、画像処理方法を実行するソフトウエア（画像処理プログラム）を画像処理装置４０１（パソコン）にインストールする。ソフトウエアは、ＣＤ－ＲＯＭやＤＶＤ－ＲＯＭなどのメディア４０４（記憶媒体）からインストールすることができる。または、ソフトウエアを、ネットワーク（インターネット）を通じてダウンロードしてインストールしてもよい。また画像処理装置４０１には、光学系（撮像光学系）の複数の光学伝達関数（光学伝達関数データ）が格納されている。ここで、画像処理装置４０１に格納される複数の光学伝達関数は、例えば、光学系の種々の撮影条件（撮影条件情報）ごとの光学伝達関数の全てである。光学伝達関数に関しても、メディア４０４やネットワークを通じてダウンロードすることにより、画像処理装置４０１に格納される。本実施例において、ソフトウエア（画像処理プログラム）、光学伝達関数情報、および、撮影条件情報などの各データは、画像処理装置４０１内のハードディスクなどの記憶部に記憶される。また画像処理装置４０１は、少なくとも一部のデータを、外部のサーバからネットワークを通じて取得するように構成してもよい。

【００６１】

画像処理装置４０１は、インストールされたソフトウエアを起動し、撮影画像に対して

画像回復処理を行う。ソフトウエア上では、画像回復処理の強度を決定する繰り返し回数や、画像のうちの所定の領域（画像回復処理の対象領域）にのみ画像回復処理を適用するなど、種々の設定（パラメータの設定）が可能である。このようなパラメータは、ユーザが表示装置４０２上で回復処理後の画像を確認しつつ変更可能であることが好ましい。

【実施例４】

【００６２】

次に、図５を参照して、本発明の実施例４における画像処理装置について説明する。図５は、本実施例における画像処理装置５００のブロック図である。画像処理装置５００は、撮影画像取得部５０１、撮影条件取得部５０２、光学伝達関数記憶部５０３、光学伝達関数取得部５０４、光学伝達関数修正部５０５、周波数変換部５０６、繰り返し回数設定部５０７、および、画像回復部５０８を有する。

【００６３】

撮影画像取得部５０１（画像取得手段）は、撮影条件に関する情報（撮影条件情報）が付加された画像（撮影画像）を取得する（図１のステップＳ１０１）。撮影条件取得部５０２（条件取得手段）は、光学系（撮像光学系）に関する情報および撮像素子に関する情報を、撮影条件として取得する（図１のステップＳ１０２）。光学系に関する情報とは、焦点距離、Ｆ値、および、被写体距離などに関する情報であるが、これに限定されるものではなく、光学系のイメージサークル径などに関する情報を含む場合がある。光学系のイメージサークル径とは、光学系の設計時に収差補正上予め定められた、単位円の半径または直径である。撮像素子に関する情報とは、撮像素子のサイズ（像高）、撮像素子の画素ピッチ、画素の形状や画素のサイズなどに関する情報である。また本実施例において、撮像素子に光学ローパスフィルタなどの種々の素子（光学部材）が装着されている場合がある。この場合、種々の素子の特性に関する情報を、撮像素子に関する情報に含めることができる。

【００６４】

光学伝達関数記憶部５０３（記憶手段）は、光学系の光学伝達関数（光学伝達関数データ）を予め記憶している。光学伝達関数取得部５０４（関数取得手段）は、撮影条件取得部５０２で取得した光学系に関する情報に基づいて、光学伝達関数記憶部５０３に記憶された光学伝達関数情報から複数の光学伝達関数を取得する（図１のステップＳ１０３）。光学伝達関数修正部５０５（関数修正手段）は、光学系に関する情報に基づいて取得された複数の光学伝達関数に対して、撮像素子に関する情報に基づく修正を加える（図１のステップＳ１０４）。この修正は、光学ローパスフィルタや画素の特性を付与することや、撮像素子の画素ピッチに合わせた周波数帯域までの光学伝達関数への変換処理を含む。

【００６５】

周波数変換部５０６（ＰＳＦ取得手段）は、光学伝達関数修正部５０５により修正された複数の光学伝達関数の全てをフーリエ逆変換し、光学系の特性および撮像素子の特性に応じた点像強度分布（ＰＳＦ）を生成する（図１のステップＳ１０５）。繰り返し回数設定部５０７（回数設定手段）は、周波数変換部５０６により生成された点像強度分布に基づいて、その点像強度分布が対応する領域ごとに繰り返し回数を設定する（図１のステップＳ１０６）。すなわち繰り返し回数設定部５０７は、画像中の複数の領域のそれぞれに対応する点像強度分布（ボケの程度）に基づいて、複数の領域のそれぞれに対する繰り返し回数を設定する。

【００６６】

画像回復部５０８（画像回復手段）は、撮影画像取得部５０１で取得した画像および周波数変換部５０６で生成した点像強度分布を用いて、点像強度分布が対応する領域ごとの繰り返し回数に基づいて、画像回復処理を実行する（図１のステップＳ１０７）。すなわち画像回復部５０８は、複数の領域のそれぞれに対して、点像強度分布を用いて繰り返し回数だけ繰り返し処理を行うことにより、画像の回復処理を行う。

【００６７】

なお、撮影画像取得部５０１は、画像（撮影画像）を取得するが、撮影画像には撮影条

件情報が付加されていない場合がある。このため本実施例において、画像処理装置５００は、撮影画像と撮影条件とを別々に取得するように構成してもよい。このとき撮影条件取得部５０２は、撮影画像とは別に（例えば、図６に示される撮像装置６００の撮像光学系制御部６０６または状態検知部６０７を介して）、撮影条件情報を取得することができる。

【実施例５】

【００６８】

次に、図６を参照して、本発明の実施例５における撮像装置の概略構成について説明する。図６は、本実施例における撮像装置６００のブロック図である。撮像装置６００は、前述の各実施例の画像処理方法を実行可能な画像処理部６０４（画像処理装置）を備えている。

【００６９】

撮像装置６００において、被写体（不図示）は、絞り６０１ａ（または遮光部材）およびフォーカスレンズ６０１ｂを含む撮像光学系６０１（光学系）を介して撮像素子６０２に結像する。本実施例において、撮像光学系６０１は、撮像素子６０２を有する撮像装置本体に着脱可能な交換レンズ（レンズ装置）である。ただし本実施例は、これに限定されるものではなく、撮像装置本体と撮像光学系６０１とが一体的に構成された撮像装置にも適用可能である。

【００７０】

絞り値（Ｆ値）は、絞り６０１ａまたは遮光部材により決定される。撮像素子６０２は、撮像光学系６０１を介して形成された被写体像（光学像）を光電変換して画像信号（撮影画像データ）を出力する。撮像素子６０２から出力された電気信号は、Ａ／Ｄ変換器６０３に出力される。Ａ／Ｄ変換器６０３は、撮像素子６０２から入力された電気信号（アナログ信号）をデジタル信号に変換し、デジタル信号（撮影画像）を画像処理部６０４に出力する。なお、撮像素子６０２およびＡ／Ｄ変換器６０３により、撮像光学系６０１を介して形成された光学像（被写体像）を光電変換して撮影画像を出力する撮像手段が構成される。

【００７１】

画像処理部６０４は、Ａ／Ｄ変換器６０３から出力されたデジタル信号（撮像素子６０２から出力された画像信号から生成された画像）に対して、状態検知部６０７および記憶部６０８の各情報を用いて所定の画像処理を行う。特に、本実施例の画像処理部６０４は、撮影画像の画像回復処理を行い、補正画像（回復画像）を出力する。画像処理部６０４は、撮影画像取得部５０１、撮影条件取得部５０２、光学伝達関数記憶部５０３、光学伝達関数取得部５０４、光学伝達関数修正部５０５、周波数変換部５０６、繰り返し回数設定部５０７、および、画像回復部５０８と同様の機能の各部を含む。

【００７２】

記憶部６０８（記憶手段）は、撮影条件（撮影条件情報）ごと（撮影時の焦点距離、Ｆ値、撮影距離、および、像高の組み合わせごと）に、撮像光学系６０１の光学伝達関数（光学伝達関数データ）を記憶する。記憶部６０８は、図４に示される光学伝達関数記憶部５０３と同様の機能を含む。撮影条件は、例えば、撮像光学系制御部６０６または状態検知部６０７により取得される。本実施例において、画像処理部６０４および記憶部６０８により画像処理装置が構成される。ただし本実施例において、光学伝達関数記憶部を、画像処理部６０４の外部に設けられた記憶部６０８に代えて、画像処理部６０４の内部に含めてもよい。

【００７３】

画像処理部６０４は、取得した撮影条件に対応する光学系の光学伝達関数を取得し、撮像素子に関する情報を用いて光学系の光学伝達関数を修正する。そして画像処理部６０４（周波数変換部）は、修正された光学伝達関数に対してフーリエ逆変換を行い、撮像光学系および撮像素子の特性に応じた点像強度分布を生成する。画像処理部６０４（繰り返し回数設定部）は、生成された点像強度分布に基づいて、その点像強度分布が対応する領域

ごとに繰り返し回数を設定する。そして画像処理部６０４（画像回復部）は、記憶部６０８から画像データを読み出し、光学系および撮像素子の特性に応じた点像強度分布を用いて、領域ごとに設定された繰り返し回数だけ繰り返し処理を行い、画像回復処理を行う。画像回復処理の際には、画像のうちの所定の領域（画像回復処理の対象領域）にのみ画像回復処理を適用するなど、種々の設定（パラメータの設定）が可能である。このようなパラメータは、ユーザが表示部６０５上で回復処理後の画像を確認しつつ変更可能であることが好ましい。

【００７４】

画像処理部６０４で処理された出力画像（回復画像）は、画像記録媒体６０９に所定のフォーマットで記録される。表示部６０５には、本実施例における画像処理後の画像に表示用の所定の処理を行った画像が表示される。また表示部６０５は、高速表示のために簡易的な処理を行った画像を表示してもよい。また表示部６０５は、ユーザが画像回復モードまたは通常撮影モードを選択するためのＧＵＩを表示する。表示部６０５のＧＵＩを介して、ユーザにより画像回復モードが選択されると、システムコントローラ６１０は、実施例１、２の画像処理方法を実行するように画像処理部６０４を制御する。

【００７５】

システムコントローラ６１０は、ＣＰＵやＭＰＵなどにより構成され、撮像装置６００の全体の制御を司る。より具体的には、システムコントローラ６１０は、画像処理部６０４、表示部６０５、撮像光学系制御部６０６、状態検知部６０７、および、画像記録媒体６０９の各部を制御する。撮像光学系制御部６０６は、撮像光学系６０１の動作を制御する。状態検知部６０７は、撮像光学系制御部６０６の情報から撮像光学系６０１の状態を検知する。なお撮像装置６００は、前述の画像処理方法を実現するソフトウエア（画像処理プログラム）を、ネットワークまたは記憶媒体を介してシステムコントローラ６１０に供給し、システムコントローラ６１０がそのプログラムを読み出して実行することもできる。

【００７６】

このように各実施例において、画像処理装置は、回数設定手段（繰り返し回数設定部５０７）および画像回復手段（画像回復部５０８）を有する。回数設定手段は、画像中の複数の領域のそれぞれに対応する点像強度分布に基づいて、複数の領域のそれぞれに対する繰り返し回数を設定する。画像回復手段は、複数の領域のそれぞれに対して、点像強度分布を用いて繰り返し回数だけ繰り返し処理を行うことにより、画像の回復処理を行う。

【００７７】

好ましくは、画像処理装置は、画像（撮影画像）を取得する画像取得手段（撮影画像取得部５０１）、および、光学系に関する点像強度分布を取得するＰＳＦ取得手段（周波数変換部５０６）を更に有する。より好ましくは、ＰＳＦ取得手段は、撮像素子６０２の画素位置に応じて異なる点像強度分布を取得する。また好ましくは、画像処理装置は、画像の撮影条件情報を取得する条件取得手段（撮影条件取得部５０２）を更に有する。そしてＰＳＦ取得手段は、撮影条件情報に基づいて点像強度分布を取得する。より好ましくは、ＰＳＦ取得手段は、撮像素子の画素位置に基づいて、画像を複数の領域に分割する。

【００７８】

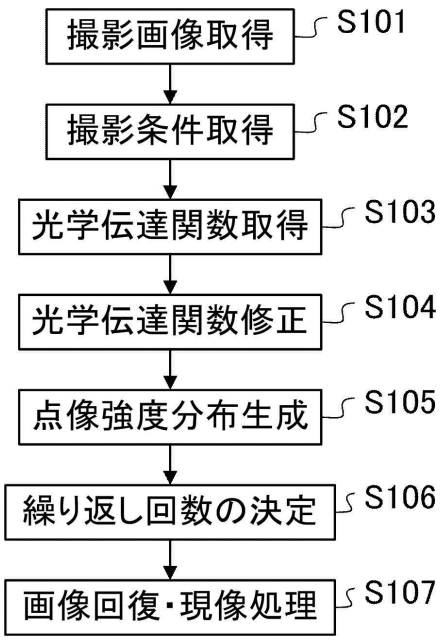
好ましくは、画像回復手段は、ＰＳＦ取得手段により取得された複数の点像強度分布の中から、撮像素子の着目画素に対応する複数の点像強度分布を特定し、着目画素ごとに画像の回復処理を行う。より好ましくは、画像回復手段は、着目画素に対応する複数の点像強度分布に適用する重み情報（重み係数）を決定し、重み情報に基づいて、着目画素ごとに画像の回復処理を行う。

【００７９】

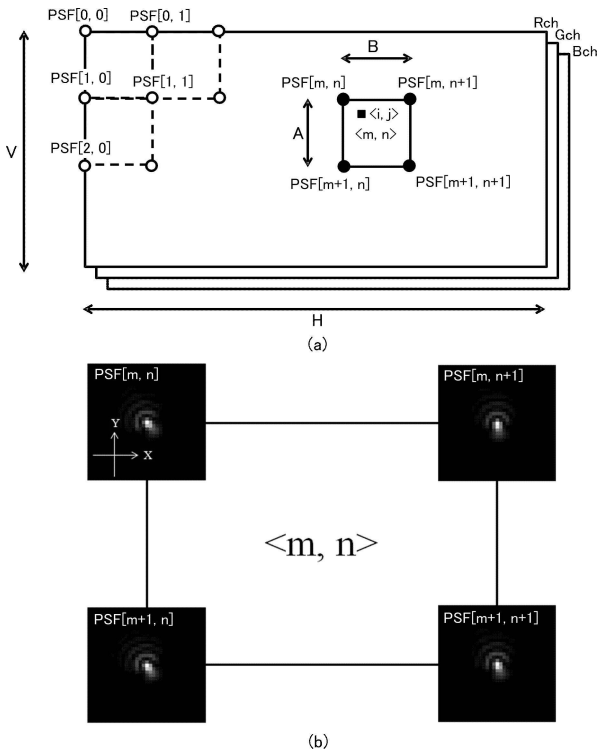
好ましくは、画像処理装置は、光学系に関する光学伝達関数を取得する関数取得手段（光学伝達関数取得部５０４）、および、撮像素子に関する情報に基づいて光学伝達関数を修正する関数修正手段（光学伝達関数修正部５０５）を更に有する。そしてＰＳＦ取得手段は、関数修正手段で修正された光学伝達関数から点像強度分布を生成する。

【００８０】
好ましくは、回数設定手段は、点像強度分布の最大値に基づいて繰り返し回数を設定する。より好ましくは、回数設定手段は、点像強度分布の最大値が大きいほど繰り返し回数を少なくする。また好ましくは、回数設定手段は、複数の領域のそれぞれに複数の点像強度分布を対応付け、複数の点像強度分布に基づいて複数の領域のそれぞれに対する繰り返し回数を設定する。
【００８１】
好ましくは、画像回復手段は、画像（撮影画像）および点像強度分布を用いて第１の更新画像を生成する。そして画像回復手段は、画像、第Ｎの更新画像、および、点像強度分布を用いて第（Ｎ＋１）の更新画像を生成する処理（Ｎは自然数）を繰り返し実行する。例えば、前述のＬＲ法を用いて画像の回復処理が行われる。
【００８２】
各実施例によれば、画像内の位置に応じた画像の劣化を良好に回復可能な画像処理装置、撮像装置、画像処理方法、画像処理プログラム、および、記憶媒体を提供することができる。
【００８３】
以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。
【符号の説明】
【００８４】
５００　画像処理装置
５０７　繰り返し回数設定部（回数設定手段）
５０８　画像回復部（画像回復手段）

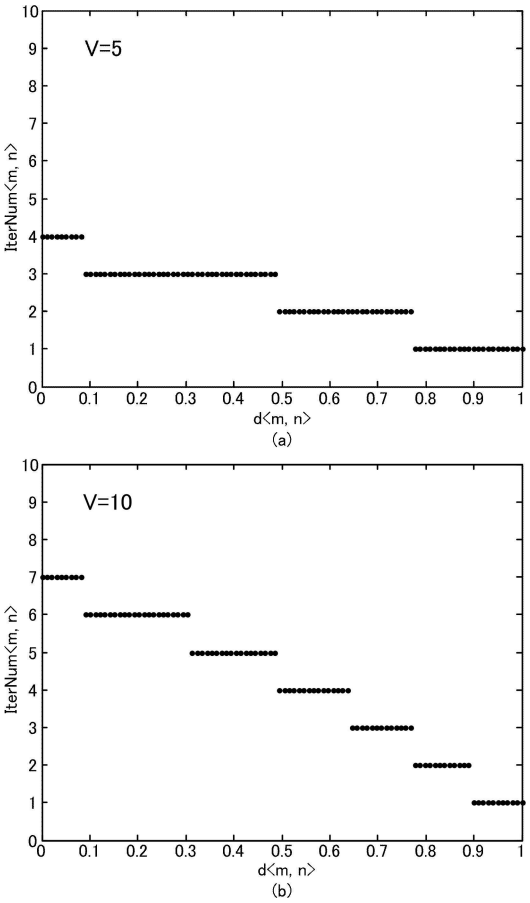
【図１】



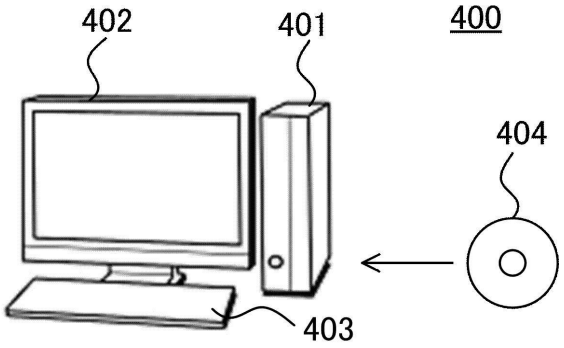
【図２】



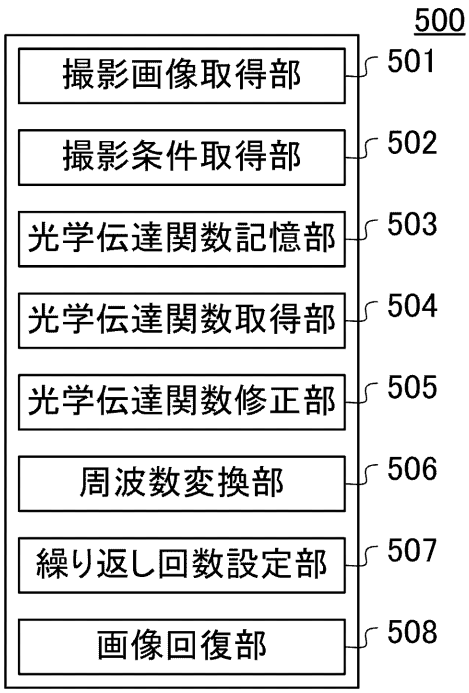
【図３】


V=5
IterNum<m, n>
d<m, n>
(a)
V=10
IterNum<m, n>
d<m, n>
(b)

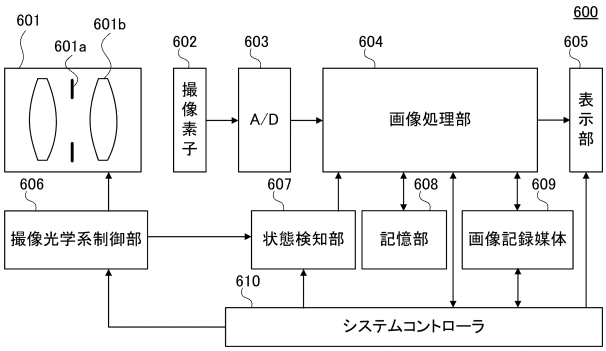
【図４】


402
401
400
404
403

【図５】


500
撮影画像取得部
501
撮影条件取得部
502
光学伝達関数記憶部
503
光学伝達関数取得部
504
光学伝達関数修正部
505
周波数変換部
506
繰り返し回数設定部
507
画像回復部
508

【図６】


600
601
601a
601b
602
撮像素子
603
A/D
604
画像処理部
605
表示部
606
撮像光学系制御部
607
状態検知部
608
記憶部
609
画像記録媒体
610
システムコントローラ

フロントページの続き

(56)参考文献 特開２００９－２１２７３８（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－１９３５０８（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－０８７８５７（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－０２０１６７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０６Ｔ　　５／００
Ｈ０４Ｎ　　５／２３２