

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-28583
(P2017-28583A)

(43) 公開日 平成29年2月2日(2017.2.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO4N 5/232 (2006.01)	HO4N 5/232 Z	5B057
GO6T 5/00 (2006.01)	GO6T 5/00 710	5C077
HO4N 1/409 (2006.01)	HO4N 1/40 101D	5C122

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2015-147007 (P2015-147007)
(22) 出願日 平成27年7月24日 (2015.7.24)

(71) 出願人 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
Fターム(参考) 5B057 CA08 CA12 CA16 CB08 CB12
CB16 CE03 CE06

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

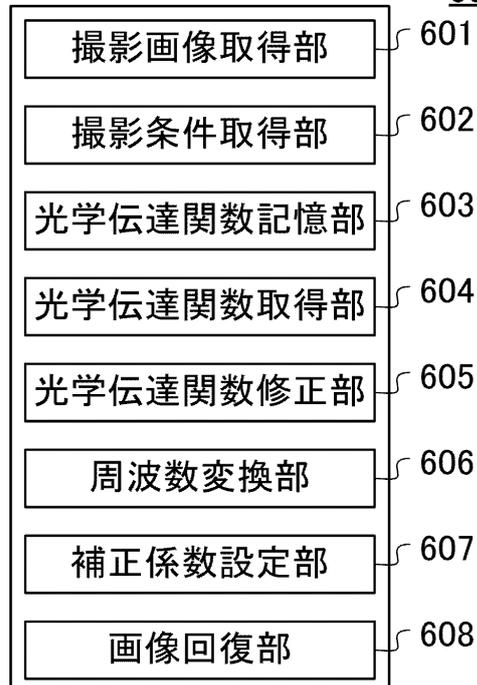
(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 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を提供する。

【解決手段】 画像処理装置(600)は、画像内の複数の位置のそれぞれに関する点像強度分布(PSF)に基づいて、複数の位置のそれぞれに対する補正データを決定する決定手段(607)と、補正データを用いて所定の画像処理を繰り返すことにより画像回復処理を行う画像回復手段(608)とを有する。

【選択図】 図6

600



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

画像内の複数の位置のそれぞれに関する点像強度分布に基づいて、該複数の位置のそれぞれに対する補正データを決定する決定手段と、

前記補正データを用いて所定の画像処理を繰り返すことにより画像回復処理を行う画像回復手段と、を有することを特徴とする画像処理装置。

【請求項 2】

前記画像回復手段は、

前記所定の画像処理を N 回 (N は正の整数) 繰り返すことにより前記画像回復処理を行い、

前記所定の画像処理は、

第 n の画像 ($1 < n < N$) に基づいて第 $n + 1$ の中間画像を生成する処理と、

前記第 $n + 1$ の中間画像と前記第 n の画像と前記補正データとに基づいて第 $n + 1$ の画像を生成する処理と、を含む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】

前記補正データは、前記所定の画像処理を繰り返す間の補正量に関する情報を有し、

前記複数の位置は、第 1 の位置および該第 1 の位置よりも劣化量大きい第 2 の位置を含み、

前記決定手段は、前記補正データとして、前記第 1 の位置および前記第 2 の位置に対して第 1 の補正データおよび第 2 の補正データをそれぞれ設定し、

前記第 2 の補正データによる補正量は、前記第 1 の補正データによる補正量よりも小さい、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】

画像を取得する画像取得手段と、

前記点像強度分布を取得する P S F 取得手段と、を更に有する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 P S F 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 4 に記載の画像処理装置。

【請求項 6】

前記画像の撮影条件情報を取得する条件取得手段を更に有し、

前記 P S F 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請求項 4 または 5 に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

前記画像回復手段は、

前記 P S F 取得手段により取得された前記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回復処理を行う、ことを特徴とする請求項 4 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回復処理を行う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】

前記決定手段は、前記複数の位置のそれぞれに関する前記点像強度分布の最大値に基づいて前記補正データを決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】

前記決定手段は、ナイキスト周波数に基づいてサンプリングされた前記点像強度分布の

10

20

30

40

50

最大値に基づいて前記補正データを決定することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 1 1】

前記決定手段は、前記複数の位置のそれぞれに前記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位置のそれぞれに対する前記補正データを決定することを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 1 2】

撮像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内の複数の位置のそれぞれに関する点像強度分布に基づいて、該複数の位置のそれぞれに対する補正データを決定する決定手段と、前記補正データを用いて所定の画像処理を繰り返すことにより画像回復処理を行う画像回復手段と、を有することを特徴とする撮像装置。

10

【請求項 1 3】

画像内の複数の位置のそれぞれに関する点像強度分布に基づいて、該複数の位置のそれぞれに対する補正データを決定するステップと、前記補正データを用いて所定の画像処理を繰り返すことにより画像回復処理を行うステップと、を有することを特徴とする画像処理方法。

【請求項 1 4】

前記画像回復処理を行うステップは、前記所定の画像処理を N 回 (N は正の整数) 繰り返すステップを含み、

20

前記所定の画像処理は、

第 n の画像 ($1 < n < N$) に基づいて第 $n + 1$ の中間画像を生成するステップと、

前記第 $n + 1$ の中間画像と前記第 n の画像と前記補正データとに基づいて第 $n + 1$ の画像を生成するステップと、を含むことを特徴とする請求項 1 3 に記載の画像処理方法。

【請求項 1 5】

画像内の複数の位置のそれぞれに関する点像強度分布に基づいて、該複数の位置のそれぞれに対する補正データを決定するステップと、

前記補正データを用いて所定の画像処理を繰り返すことにより画像回復処理を行うステップと、をコンピュータに実行させることを特徴とする画像処理プログラム。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 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。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、撮像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】

撮像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 P S F (点像強度分布) と呼ぶ。このような撮像光学系の影響により、撮影画像には P S F 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。

40

【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撮像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

50

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

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、繰り返し演算による画像回復処理を行う場合、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ふ。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、リング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。また、適切な強さの画像回復処理を行う場合、一般的には、ある評価値に基づいて繰り返し演算処理を打ち切るという手法が用

20

【0008】

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、更新前後の画像の二乗平均平方根(RMS: root mean square)を比較しても適切に繰り返し演算処理を打ち切るとは困難である。また、繰り返し演算回数を制御するだけでは、画像の劣化特性が画像上の位置または領域に応じて異なる場合、良好な補正を行うことができない。また、適切な画像回復処理を実現するには、各繰り返し演算処理において補正量を適切に制御する必要がある。

【0009】

しかし、特許文献1および非特許文献1には、これらの具体的な制御方法については記載されていない。このため、撮像光学系および撮像素子の任意の組み合わせに関し、画像内のシフトバリエーションな劣化に対して、繰り返し演算処理における補正量を適切に制御し、画像内の位置ごとに適切な画像回復処理を行うことは困難である。

30

【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、画像内の複数の位置のそれぞれに関する点像強度分布に基づいて、該複数の位置のそれぞれに対する補正データを決定する決定手段と、前記補正データを用いて所定の画像処理を繰り返すことにより画像回復処理を行う画像回復手段とを有する。

40

【0012】

本発明の他の側面としての撮像装置は、撮像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内の複数の位置のそれぞれに関する点像強度分布に基づいて、該複数の位置のそれぞれに対する補正データを決定する決定手段と、前記補正データを用いて所定の画像処理を繰り返すことにより画像回復処理を行う画像回復手段とを有する。

【0013】

本発明の他の側面としての画像処理方法は、画像内の複数の位置のそれぞれに関する点

50

像強度分布に基づいて、該複数の位置のそれぞれに対する補正データを決定するステップと、前記補正データを用いて所定の画像処理を繰り返すことにより画像回復処理を行うステップとを有する。

【0014】

本発明の他の側面としての画像処理プログラムは、画像内の複数の位置のそれぞれに関する点像強度分布に基づいて、該複数の位置のそれぞれに対する補正データを決定するステップと、前記補正データを用いて所定の画像処理を繰り返すことにより画像回復処理を行うステップと、をコンピュータに実行させる。

【0015】

本発明の他の側面としての記憶媒体は、前記画像処理プログラムを記憶している。

10

【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。

20

【図2】実施例2におけるシフトバリエーション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における補正係数マップのプロファイルの一例である。

【図4】実施例2における補正係数特性を用いた画像回復処理のフローチャートである。

【図5】実施例3における画像処理システムの構成図である。

【図6】実施例4における画像処理装置のブロック図である。

【図7】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。

30

【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、撮像光学系（光学系）による劣化を受ける前の画像を $f(x, y)$ 、PSF（点像強度分布または点像分布関数）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】

$$g(x, y) = \iint f(X, Y) * h(x - X, y - Y) dX dY \dots \quad (1)$$

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】

40

【数1】

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

【0023】

式（2）において、 f_{n+1} は更新後の画像（更新画像）、 f_n は更新前の画像である。 h は撮像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】

50

L R法を用いた画像回復処理は、画像 f_n 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+1} 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+1} と画像 f_n との二乗平均平方根 (RMS: root mean square) の値である。ここで、L R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。

10

【0026】

そこで、以下の各実施例において、撮像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。

20

【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、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、撮像光学系の光学伝達関数を特定することができる。

30

【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、撮像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(撮像光学系)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撮像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。

40

【0030】

撮像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、前述の撮像光学系の光学伝達関数の特定は、このような30

50

0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、撮像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、撮像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、撮像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。取得した撮像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）に応じて撮像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撮像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】

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

【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、 $H(u, v)$ は撮像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。続いてステップ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、画像回復処理に用いられる補正係数(補正データ)を設定(決定)する。より具体的には、画像処理装置は、PSFに基づいて補正係数を算出し、画像上の位置または領域ごとの補正係数マップ $C(x, y)$ を生成する。補正係数マップ $C(x, y)$ の特性(補正係数

10

20

30

40

50

特性)は、PSFに基づいて、画像上の位置または領域ごとに決定される。本実施例において、画像処理装置は、式(2)で表される画像 f_{n+1} を中間画像 $f_{temp_{n+1}}$ として、以下の式(4)のように定める。

【0038】

【数3】

$$f_{temp_{n+1}}(x,y) \leftarrow f_n(x,y) \iint \frac{h(X-x,Y-y)g(X,Y)}{\iint h(X-s,Y-t)f_n(s,t)dsdt} dXdY \dots (4)$$

【0039】

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(4)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(4)に関しては、種々の正則化を含めた変形をしてもよい。本実施例の画像処理装置は、例えば以下の式(5)で表されるように、入力画像 $f_n(x,y)$ 、中間画像 $f_{temp_{n+1}}(x,y)$ 、および、補正係数マップ $C(x,y)$ を用いて、画像 $f_{n+1}(x,y)$ を生成する。

【0040】

【数4】

$$f_{n+1}(x,y) = f_n(x,y) + C(x,y) \cdot \{f_{temp_{n+1}}(x,y) - f_n(x,y)\} \dots (5)$$

【0041】

なお本実施例の画像処理方法は、好ましくは、ソフトウェアまたはハードウェア上で動作するプログラムとして提供される。

【0042】

本実施例の画像処理方法によれば、撮像光学系のPSFに基づいて繰り返し処理の補正効果を制御することができる。すなわち、撮像光学系の性能に基づいて繰り返しごとの補正量を制御することにより、劣化が大きい部分は補正係数マップ $C(x,y)$ の値が小さくなり小刻みな補正が行われる。従って、画像上の劣化が大きい部分を一度に大きく補正することで発生するリングングやアーティファクトなどの弊害の発生を低減することが可能となる。

【実施例2】

【0043】

次に、図2乃至図4を参照して、本発明の実施例2について説明する。図2は、シフトバリエーション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。

【0044】

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、各位置に対応する撮像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。

【0045】

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をベイヤータ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、 $(M-1) \times (N-1)$ 個の複数の長方形領域を考える。こ

10

20

30

40

50

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。

【0046】

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 $\langle m, n \rangle$ と表すこととする。

【0047】

図2(b)は、図2(a)中の領域 $\langle m, n \rangle$ を示している。領域 $\langle m, n \rangle$ における補正係数（補正データ）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。

10

【0048】

図2(a)において、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。

【0049】

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。

20

【0050】

$$W(m, n) = (A - a) * (B - b) / (A * B)$$

$$W(m, n + 1) = (A - a) * b / (A * B)$$

$$W(m + 1, n) = a * (B - b) / (A * B)$$

$$W(m + 1, n + 1) = a * b / (A * B)$$

ここで、 $a = \text{mod}(i, A)$ 、 $b = \text{mod}(j, B)$ である。また、 $\text{mod}(x, y)$ 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。

【0051】

【数5】

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

30

【0052】

そして、式(6)を用いて、以下の式(7)が得られる。

【0053】

【数6】

$$C(x, y) = \max \{ PSF_{xy}(X, Y) \} \dots \quad (7)$$

40

【0054】

図3は、補正係数マップ $C(x, y)$ のプロファイルの一例であり、画像の位置（領域）ごとの補正係数（補正データ）である。図3中の縦軸および横軸は、画像内の縦方向および横方向のそれぞれにおける位置を示している。補正係数マップ $C(x, y)$ は、光学的にストレール強度またはストレール比と呼ばれる量に準じた値である。補正係数マップ $C(x, y)$ は、画像 (x, y) における撮像光学系の性能の目安となる値として0から

50

1の値をとり、大きな値がより高性能となる。従って本実施例では、式(4)を、式(6)に基づいて以下の式(8)のように用いる。

【0055】

【数7】

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

… (8)

10

【0056】

本実施例では、式(8)を少ないMとNにおいて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、両方を評価する評価値を満たすようなPSFの補正を行ってもよい。本実施例の画像処理装置は、例えば以下の式(5)で表されるように、入力画像 $f_n(x, y)$ 、中間画像 $f_{temp_{n+1}}(x, y)$ 、および、補正係数マップ $C(x, y)$ を用いて、画像 $f_{n+1}(x, y)$ を生成する。

【0057】

また本実施例において、繰り返しの途中から補正係数特性を用いた前述の手法を用いてもよい。すなわち、 $n < K$ の場合(K は繰り返し回数)、式(2)を以下の式(9)のように用いる。一方、 $n = K$ の場合、式(5)、(8)を用いて画像を生成し、画像 $f_{n+1}(x, y)$ を得る。

20

【0058】

【数8】

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

… (9)

30

【0059】

次に、図4を参照して、補正係数特性を用いた画像回復処理について詳述する。図4は、補正係数特性を用いた画像回復処理のフローチャートである。図4の各ステップは、画像処理装置(例えば、ステップS401は後述の補正係数設定部607、ステップS402~S407は画像回復部608)により実行される。

【0060】

まずステップS401において、画像処理装置(補正係数設定部)は、PSFに基づいて画像の位置(領域)ごとの補正係数(補正データ)を算出する。ステップS401は、図1のステップS106に相当する。続いてステップS402において、画像処理装置(画像回復部)は、第 n 番目の画像 $f_n(x, y)$ を入力する。続いてステップS403において、画像処理装置は、第 $n+1$ 番目の中間画像 $f_{temp_{n+1}}(x, y)$ を生成する。

40

【0061】

続いてステップS404において、画像処理装置は、ステップS402にて生成された中間画像と、ステップS401にて入力された画像との差分 $f_n(x, y) = f_{temp_{n+1}}(x, y) - f_n(x, y)$ を算出する。続いてステップS405において、画像処理装置は、第 n 番目の画像 $f_n(x, y)$ 、ステップS404にて算出した差分 $f_n(x, y)$ 、および、補正係数 $C(x, y)$ を用いて(式(5)を用いて)、第 $n+1$ 番目の画像 $f_{n+1}(x, y)$ を生成する。

【0062】

50

続いてステップS406において、画像処理装置は、繰り返し演算を終了するか否かを判定する。繰り返し演算を終了しない場合、ステップS402～S406を繰り返す。一方、繰り返し演算を終了する場合、ステップS407へ進み、画像処理装置は、第 $n+1$ 番目の画像 $f_{n+1}(x, y)$ を出力する。

【0063】

本実施例の画像処理装置によれば、画像の位置ごとに対応する撮像光学系のストレール強度を用いて、繰り返し演算処理の補正効果を制御することができる。すなわち、撮像光学系の性能に基づいて繰り返し演算処理ごとの補正量を制御することにより、劣化が大きい部分は補正係数マップ $C(x, y)$ の値が相対的に小さくなり小刻みな補正が行われる。従って、画像上の劣化が大きい部分を一度に大きく補正することで発生するリングングやアーティファクトなどの弊害の発生を低減することが可能となる。

10

【実施例3】

【0064】

次に、図5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5は、本実施例における画像処理システム500の構成図である。画像処理システム500は、画像処理装置501（情報処理装置としてのハードウェア）、表示装置502（モニタ）、および、入力装置503（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500（パソコンのソフトウェア）上で動作させる場合について説明する。

【0065】

まず、実施例1、2の画像処理方法を画像処理装置501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ェア（画像処理プログラム）を画像処理装置501（パソコン）にインストールする。ソフトウェアは、CD-ROMやDVD-ROMなどのメディア504（記憶媒体）からインストールすることができる。または、ソフトウェアを、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501には、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501に格納される複数の光学伝達関数は、例えば、撮像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504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501に格納される。本実施例において、ソフトウェア（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501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501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。

20

30

【0066】

画像処理装置501は、インストールされたソフトウェアを起動し、撮影画像に対して画像回復処理を行う。ソフトウェア上では、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502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。

40

【実施例4】

【0067】

次に、図6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6は、本実施例における画像処理装置600のブロック図である。画像処理装置600は、撮影画像取得部601、撮影条件取得部602、光学伝達関数記憶部603、光学伝達関数取得部604、光学伝達関数修正部605、周波数変換部606、補正係数設定部607、および、画像回復部608を有する。

【0068】

撮影画像取得部601（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6

50

02 (条件取得手段)は、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)。撮像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、撮像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、撮像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、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。

10

【0069】

光学伝達関数記憶部603(記憶手段)は、撮像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604(関数取得手段)は、撮影条件取得部602で取得した撮像光学系に関する情報に基づいて、光学伝達関数記憶部603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605(関数修正手段)は、撮像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。

20

【0070】

周波数変換部606(PSF取得手段)は、光学伝達関数修正部605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、撮像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)。補正係数設定部607(決定手段)は、周波数変換部606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(画素位置ごとに)補正係数を算出して設定する(図1のステップS106、図4のステップS401)。すなわち補正係数設定部607は、画像中の複数の領域のそれぞれに関する点像強度分布(ボケの程度)に基づいて、複数の領域のそれぞれに対する補正係数(補正データ)を決定する。

30

【0071】

画像回復部608(画像回復手段)は、撮影画像取得部601で取得した画像および周波数変換部606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に設定された補正係数に基づいて、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608は、所定の画像処理(例えば図4のステップS402~S406)を繰り返すことにより、複数の領域のそれぞれに対して、点像強度分布を用いて決定された補正係数に基づいて、画像回復処理を行う。

40

【0072】

なお、撮影画像取得部601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600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602は、撮影画像とは別に(例えば、図7に示される撮像装置700の撮像光学系制御部706または状態検知部707を介して)、撮影条件情報を取得することができる。

50

【実施例5】

【0073】

次に、図7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7は、本実施例における撮像装置700のブロック図である。撮像装置700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704(画像処理装置)を備えている。

【0074】

50

撮像装置 700 において、被写体（不図示）は、絞り 701 a（または遮光部材）およびフォーカスレンズ 701 b を含む撮像光学系 701（光学系）を介して撮像素子 702 に結像する。本実施例において、撮像光学系 701 は、撮像素子 702 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 701 とが一体的に構成された撮像装置にも適用可能である。

【0075】

絞り値（F 値）は、絞り 701 a または遮光部材により決定される。撮像素子 702 は、撮像光学系 701 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 702 から出力された電気信号は、A/D 変換器 703 に出力される。A/D 変換器 703 は、撮像素子 702 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 704 に出力する。なお、撮像素子 702 および A/D 変換器 703 により、撮像光学系 701 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。

10

【0076】

画像処理部 704 は、A/D 変換器 703 から出力されたデジタル信号（撮像素子 702 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 707 および記憶部 708 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 704 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 704 は、撮影画像取得部 601、撮影条件取得部 602、光学伝達関数記憶部 603、光学伝達関数取得部 604、光学伝達関数修正部 605、周波数変換部 606、補正係数設定部 607、および、画像回復部 608 と同様に機能する各部を含む。

20

【0077】

記憶部 708（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 701 の光学伝達関数（光学伝達関数データ）を記憶する。記憶部 708 は、図 6 に示される光学伝達関数記憶部 603 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 706 または状態検知部 707 により取得される。本実施例において、画像処理部 704 および記憶部 708 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の機能を、画像処理部 704 の外部に設けられた記憶部 708 に代えて、画像処理部 704 の内部に含めてもよい。

30

【0078】

画像処理部 704 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 704（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 704（補正係数設定部）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（画素位置ごと）に補正係数を算出して設定する。そして画像処理部 704（画像回復部）は、記憶部 708 から画像データを読み出し、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用いて、領域ごとに設定された補正係数に基づいて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 705 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。

40

【0079】

画像処理部 704 で処理された出力画像（回復画像）は、画像記録媒体 709 に所定のフォーマットで記録される。表示部 705 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 705 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 705 は、ユーザが画像回復モー

50

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705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710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704を制御する。

【0080】

システムコントローラ710は、CPUやMPUなどにより構成され、撮像装置700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710は、画像処理部704、表示部705、撮像光学系制御部706、状態検知部707、および、画像記録媒体709の各部を制御する。撮像光学系制御部706は、撮像光学系701の動作を制御する。状態検知部707は、撮像光学系制御部706の情報から撮像光学系701の状態を検知する。なお撮像装置700は、前述の画像処理方法を実現するソフトウェア（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710に供給し、システムコントローラ710がそのプログラムを読み出して実行することもできる。

10

【0081】

このように各実施例において、画像処理装置600は、決定手段（補正係数設定部607）および画像回復手段（画像回復部608）を有する。決定手段は、画像内の複数の領域（位置）のそれぞれに関する点像強度分布（PSF）に基づいて、複数の領域のそれぞれに対する補正データ（補正係数）を決定する。画像回復手段は、補正データを用いて所定の画像処理を繰り返すことにより画像回復処理を行う。

【0082】

好ましくは、画像回復手段は、所定の画像処理をN回（Nは正の整数）繰り返すことにより画像回復処理を行う。所定の画像処理は、第nの画像（ $1 < n \leq N$ ）に基づいて第n+1の中間画像を生成する処理（S403）と、第n+1の中間画像と第nの画像と補正データとに基づいて第n+1の画像を生成する処理（S405）とを含む。また好ましくは、補正データは、所定の画像処理を繰り返す間の補正量に関する情報を有する。複数の領域は、第1の領域、および第1の領域よりも劣化量大きい第2の領域を含む。決定手段は、補正データとして、第1の領域および第2の領域に対して第1の補正データおよび第2の補正データをそれぞれ設定する。第2の補正データによる補正量は、第1の補正データによる補正量よりも小さい。

20

【0083】

好ましくは、画像処理装置は、画像を取得する画像取得手段（撮影画像取得部601）と、点像強度分布を取得するPSF取得手段（周波数変換部606）とを有する。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602）を有する。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。

30

【0084】

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を決定し、重み情報に基づいて、着目画素ごとに画像回復処理を行う。

40

【0085】

好ましくは、決定手段は、複数の領域のそれぞれに関する点像強度分布の最大値に基づいて補正データを決定する。また好ましくは、決定手段は、ナイキスト周波数に基づいてサンプリングされた点像強度分布の最大値に基づいて補正データを決定する。また好ましくは、決定手段は、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補正データを決定する。

【0086】

（その他の実施例）

50

本発明は、上述の実施例の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。

【0087】

各実施例によれば、撮像光学系および撮像素子の任意の組み合わせに関し、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。

【0088】

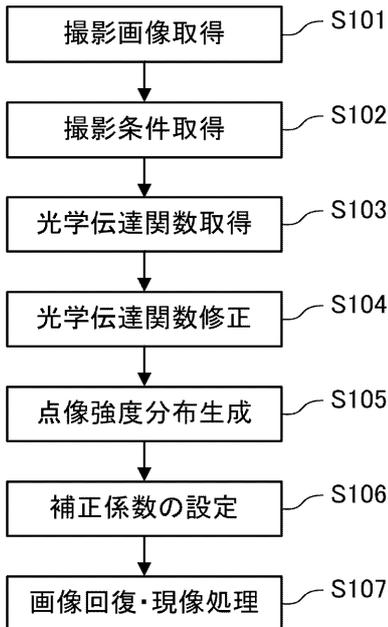
以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【符号の説明】

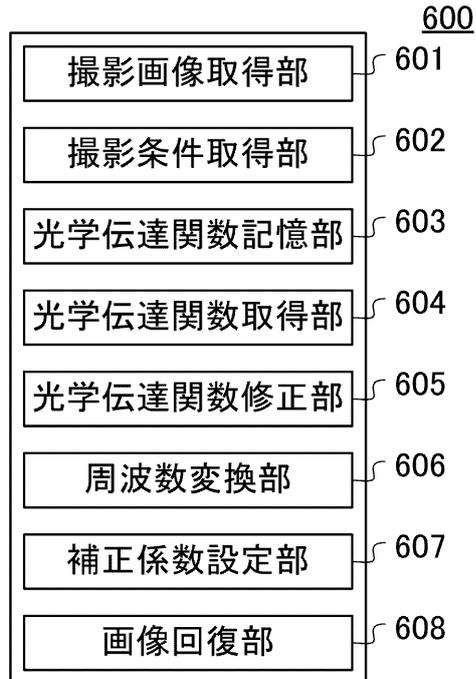
【0089】

- 600 画像処理装置
- 607 補正係数設定部(決定手段)
- 608 画像回復部(画像回復手段)

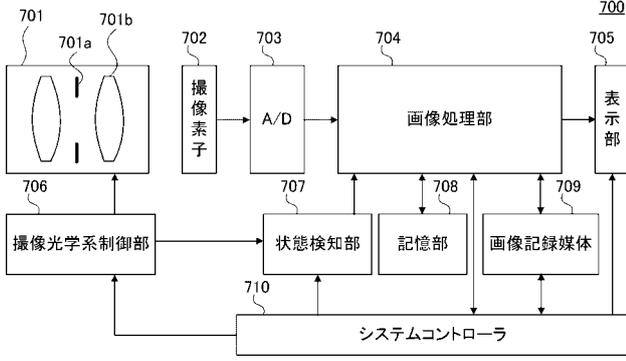
【図1】



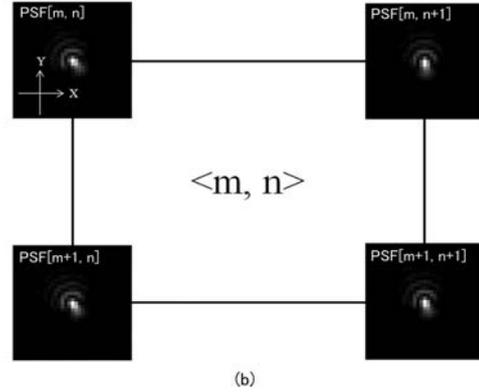
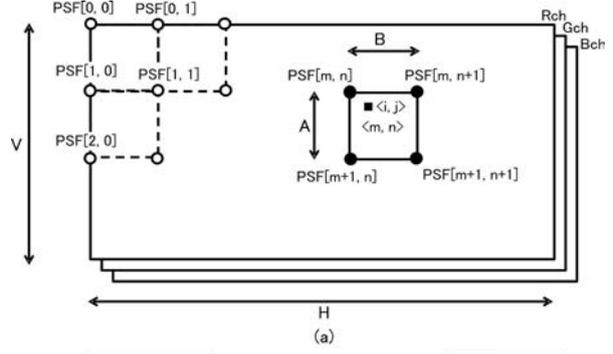
【図6】



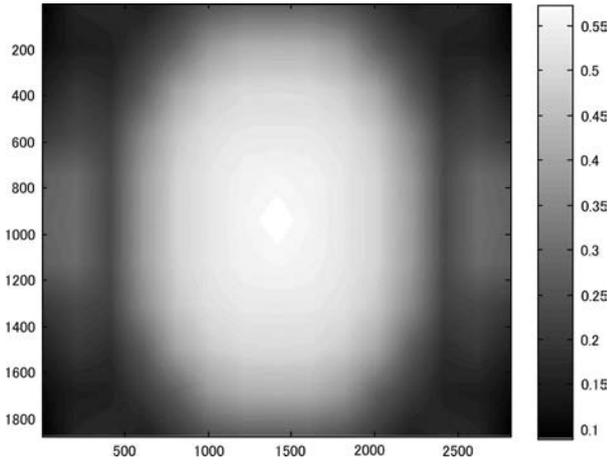
【図7】



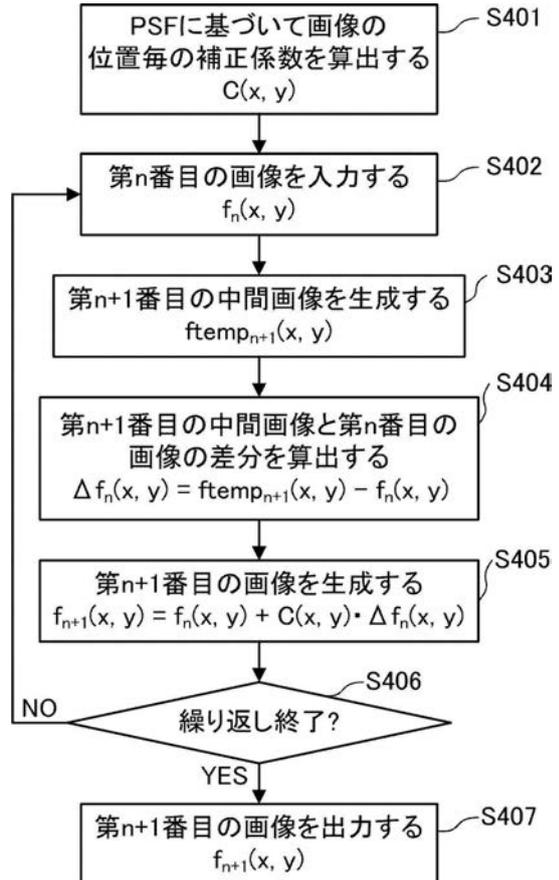
【図2】



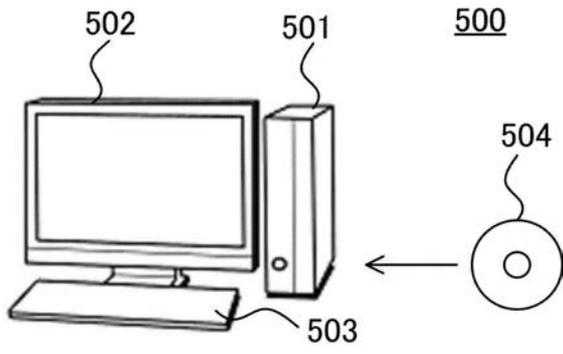
【図3】



【図4】



【 図 5 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5C077 MP01 MP08 PP03 PP32 PQ17 PQ20 TT09
5C122 DA04 EA61 FB16 FH03 FH10 FH23 HA88 HB01 HB05