

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6537228号
(P6537228)

(45) 発行日 令和1年7月3日(2019.7.3)

(24) 登録日 令和1年6月14日(2019.6.14)

(51) Int.Cl.

H04N 5/232 (2006.01)
G06T 5/00 (2006.01)

F 1

H04N 5/232
G06T 5/00290
710

請求項の数 12 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2014-138487 (P2014-138487)
 (22) 出願日 平成26年7月4日(2014.7.4)
 (65) 公開番号 特開2016-19017 (P2016-19017A)
 (43) 公開日 平成28年2月1日(2016.2.1)
 審査請求日 平成29年7月4日(2017.7.4)

(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 優也
 (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
 ャノン株式会社内
 審査官 吉川 康男

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】

第1の光学特性データに関する情報を保持するデータ保持手段と、
 撮影画像に関する前記第1の光学特性データおよびデフォーカス特性データに基づいて
 、予め記憶されたデータではない第2の光学特性データを生成するデータ生成手段と、
 前記第2の光学特性データに基づいて、前記撮影画像の回復処理を行う回復処理手段と
 、を有し、

前記データ生成手段は、前記第1の光学特性データに前記デフォーカス特性データを付
 加して前記第2の光学特性データを生成し、

前記第1の光学特性データは、撮影光学系および撮影条件に応じて決定される収差データであり、

前記デフォーカス特性データは、デフォーカス量に応じて決定される収差データである
 ことを特徴とする画像処理装置。

【請求項 2】

前記第1の光学特性データは、ピント面における収差データであることを特徴とする請
 求項1に記載の画像処理装置。

【請求項 3】

前記デフォーカス特性データを決定するデフォーカス決定手段を更に有することを特徴
 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】

前記デフォーカス決定手段は、前記撮影画像のデフォーカス量に基づいて前記デフォーカス特性データを決定することを特徴とする請求項3に記載の画像処理装置。

【請求項 5】

前記デフォーカス決定手段は、前記撮影画像の距離情報により決定された前記デフォーカス量に基づいて、前記デフォーカス特性データを決定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】

前記デフォーカス決定手段は、ユーザの指示に基づいて前記デフォーカス特性データを決定することを特徴とする請求項3に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

前記第2の光学特性データを用いて画像回復フィルタを生成するフィルタ生成手段を更に有し、

前記回復処理手段は、前記画像回復フィルタを用いて前記撮影画像の前記回復処理を行う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】

前記フィルタ生成手段は、

前記第2の光学特性データに基づいて光学伝達関数を算出し、

算出された前記光学伝達関数に対して、撮像素子のナイキスト周波数までの帯域変換を行い、

帯域変換後の光学伝達関数に基づいて、前記画像回復フィルタを生成する、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】

撮影光学系を介して形成された光学像を光電変換して撮影画像を出力する撮像手段と、第1の光学特性データに関する情報を保持するデータ保持手段と、

前記撮影画像に関する前記第1の光学特性データおよびデフォーカス特性データに基づいて、予め記憶されたデータではない第2の光学特性データを生成するデータ生成手段と、

前記第2の光学特性データに基づいて、前記撮影画像の回復処理を行う回復処理手段と、を有し、

前記データ生成手段は、前記第1の光学特性データに前記デフォーカス特性データを付加して前記第2の光学特性データを生成し、

前記第1の光学特性データは、撮影光学系および撮影条件に応じて決定される収差データであり、

前記デフォーカス特性データは、デフォーカス量に応じて決定される収差データであることを特徴とする撮像装置。

【請求項 10】

データ保持手段に保持された第1の光学特性データに関する情報に基づいて、撮影画像に関する該第1の光学特性データを生成するステップと、

前記撮影画像に関する前記第1の光学特性データおよびデフォーカス特性データに基づいて、予め記憶されたデータではない第2の光学特性データを生成するステップと、

前記第2の光学特性データに基づいて、前記撮影画像の回復処理を行うステップと、を有し、

前記第2の光学特性データは、前記第1の光学特性データに前記デフォーカス特性データを付加することで生成され、

前記第1の光学特性データは、撮影光学系および撮影条件に応じて決定される収差データであり、

前記デフォーカス特性データは、デフォーカス量に応じて決定される収差データであることを特徴とする画像処理方法。

【請求項 11】

データ保持手段に保持された第1の光学特性データに関する情報に基づいて、撮影画像

10

20

30

40

50

に関する該第1の光学特性データを生成するステップと、

前記撮影画像に関する前記第1の光学特性データおよびデフォーカス特性データに基づいて、予め記憶されたデータではない第2の光学特性データを生成するステップと、

前記第2の光学特性データに基づいて、前記撮影画像の回復処理を行うステップと、をコンピュータに実行させ、

前記第2の光学特性データは、前記第1の光学特性データに前記デフォーカス特性データを付加することで生成され、

前記第1の光学特性データは、撮影光学系および撮影条件に応じて決定される収差データであり、

前記デフォーカス特性データは、デフォーカス量に応じて決定される収差データであるように構成されていることを特徴とする画像処理プログラム。 10

【請求項12】

請求項11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】

本発明は、撮影画像に対して画像回復処理を行う画像処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

撮影光学系により撮影された被写体は、撮影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。このような撮影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。 20

【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影光学系による画像劣化を補正する技術が提案されている。撮影光学系による画像劣化を補正するには、撮影光学系の正確なOTF情報を得る必要がある。ところが、撮像装置で実際に撮影される被写体は、一般的に奥行き方向がある立体的な物体であり、平面物体ではない。特許文献1には、撮影光学系に光学変調部を設け、焦点深度を拡大して画像処理を行う方法が開示されている。特許文献2には、撮影画像の距離マップを取得し、距離に応じた画像処理を行う方法が開示されている。 30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2008-268869号公報

【特許文献2】特開2009-15828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、特許文献1の画像処理方法では、深度拡大を行うために、デフォーカス別の補正データは不要となるが、前景も背景も同程度に鮮鋭化してしまう。また、特許文献2の画像処理方法では、距離に応じたボケを付加する方法が記載されているが、距離に応じたボケ補正については記載されていない。このため、撮影時における被写体の奥行き方向に由来するピント位置の微小変位を含む高精度な画像回復処理を行うことはできない。

【0006】

そこで本発明は、少ないデータ量で、撮影画像を高精度に補正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】

10

20

30

40

50

【0007】

本発明の一側面としての画像処理装置は、第1の光学特性データに関する情報を保持するデータ保持手段と、撮影画像に関する前記第1の光学特性データおよびデフォーカス特性データに基づいて、予め記憶されたデータではない第2の光学特性データを生成するデータ生成手段と、前記第2の光学特性データに基づいて、前記撮影画像の回復処理を行う回復処理手段とを有し、前記データ生成手段は、前記第1の光学特性データに前記デフォーカス特性データを付加して前記第2の光学特性データを生成し、前記第1の光学特性データは、撮影光学系および撮影条件に応じて決定される収差データであり、前記デフォーカス特性データは、デフォーカス量に応じて決定される収差データである。

【0008】

本発明の他の側面としての撮像装置は、撮影光学系を介して形成された光学像を光電変換して撮影画像を出力する撮像手段と、第1の光学特性データに関する情報を保持するデータ保持手段と、前記撮影画像に関する前記第1の光学特性データおよびデフォーカス特性データに基づいて、予め記憶されたデータではない第2の光学特性データを生成するデータ生成手段と、前記第2の光学特性データに基づいて、前記撮影画像の回復処理を行う回復処理手段とを有し、前記データ生成手段は、前記第1の光学特性データに前記デフォーカス特性データを付加して前記第2の光学特性データを生成し、前記第1の光学特性データは、撮影光学系および撮影条件に応じて決定される収差データであり、前記デフォーカス特性データは、デフォーカス量に応じて決定される収差データである。

【0009】

本発明の他の側面としての画像処理方法は、データ保持手段に保持された第1の光学特性データに関する情報に基づいて、撮影画像に関する該第1の光学特性データを生成するステップと、前記撮影画像に関する前記第1の光学特性データおよびデフォーカス特性データに基づいて、予め記憶されたデータではない第2の光学特性データを生成するステップと、前記第2の光学特性データに基づいて、前記撮影画像の回復処理を行うステップとを有し、前記第2の光学特性データは、前記第1の光学特性データに前記デフォーカス特性データを付加することで生成され、前記第1の光学特性データは、撮影光学系および撮影条件に応じて決定される収差データであり、前記デフォーカス特性データは、デフォーカス量に応じて決定される収差データである。

【0010】

本発明の他の側面としての画像処理プログラムは、データ保持手段に保持された第1の光学特性データに関する情報に基づいて、撮影画像に関する該第1の光学特性データを生成するステップと、前記撮影画像に関する前記第1の光学特性データおよびデフォーカス特性データに基づいて、予め記憶されたデータではない第2の光学特性データを生成するステップと、前記第2の光学特性データに基づいて、前記撮影画像の回復処理を行うステップと、をコンピュータに実行させ、前記第2の光学特性データは、前記第1の光学特性データに前記デフォーカス特性データを付加することで生成され、前記第1の光学特性データは、撮影光学系および撮影条件に応じて決定される収差データであり、前記デフォーカス特性データは、デフォーカス量に応じて決定される収差データであるように構成されている。

10

20

30

40

【0011】

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。

【0012】

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】**【0013】**

本発明によれば、少ないデータ量で、撮影画像を高精度に補正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

50

。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1A】実施例1における画像処理装置のブロック図である。

【図1B】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1において、第1の光学特性データ、デフォーカス特性データ、第2の光学特性データ、および、PSFの一例を示す図である。

【図3】実施例1における撮影画像データの模式図である。

【図4】実施例1における第1の光学特性データに関する情報の一例を示す図である。

【図5】実施例1における画像回復処理のフローチャートである。

【図6】実施例2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】

【0015】

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。

【0016】

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。

【0017】

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

式（1）にフーリエ変換を施し、実空間（ x, y ）から周波数空間（ u, v ）への変換を行うと、以下の式（2）の関係が成立する。

【0018】

$$G(u, v) = F(u, v) * H(u, v) \dots \quad (2)$$

ここで、 $F(u, v)$ は $f(x, y)$ のフーリエ変換、 $G(u, v)$ は $g(x, y)$ のフーリエ変換、 $H(u, v)$ は $h(x, y)$ のフーリエ変換である。このため、以下の式（3）が成立する。

【0019】

$$F(u, v) = G(u, v) / H(u, v) \dots \quad (3)$$

式（3）は、周波数空間上で、劣化画像 $g(x, y)$ のフーリエ変換 $G(u, v)$ を点像強度分布関数 $h(x, y)$ のフーリエ変換 $H(u, v)$ で割ると、劣化を受ける前の画像 $f(x, y)$ のフーリエ変換 $F(u, v)$ が得られることを意味している。従って、 $F(u, v)$ にフーリエ逆変換を施せば、劣化をうける前の画像 $f(x, y)$ を得ることができる。

【0020】

しかしながら、実際に、このような処理を行って劣化を受ける前の画像を得ようとすると、撮像素子によって生じたノイズが増幅してしまい、良好な画像を得ることは困難である。

【0021】

そこで、ノイズ増幅を抑制するための画像回復方法として、以下の式（4）で表されるウィナーフィルタ $W(u, v)$ を用いることが知られている。

【0022】

$$W(u, v) = 1 / H(u, v) * |H(u, v)|^2 / (|H(u, v)|^2 +) \dots \quad (4)$$

ここで、 $H(u, v)$ は光学伝達関数（OTF：Optical Transfer Function）であり、 \cdot はノイズの増幅量を低減するための定数である。

【0023】

式（4）を、劣化画像 $g(x, y)$ のフーリエ変換 $G(u, v)$ に乗算すれば、光学系の回折や収差により発生したPSFの位相成分を0にし、振幅成分の周波数特性を増幅す

10

20

30

40

50

ることで、高解像度かつ良好な画像を得ることができる。式(4)を効果的に用いるには、撮影光学系の正確なOTF情報を得る必要がある。OTF情報は、例えば、撮影光学系の設計値情報を有する場合にはその情報から算出することができる。またOTF情報は、点光源を撮影し、その強度分布にフーリエ変換を施すことにより算出することも可能である。

【0024】

一般的に、撮像装置で実際に撮影される被写体は、奥行き方向を有する立体的な物体であり、平面物体ではない。このような被写体に関しては、ピントが合っている位置と合っていない位置が混在している。式(4)に示されるOTFを使用して撮影画像を補正する画像回復処理を行うには、OTF情報が既知である必要がある。このため、OTF情報は、予め、画像処理装置の内部に保持しておくことになる。このとき、例えばズームレンズの場合、焦点距離、F値、撮影距離、および、像高の全ての組み合わせに関するOTF情報が必要となる。ここで撮影距離とは、撮像素子からピントを合わせた被写体点までの距離である。このように、全てのデータ(OTF情報)を撮像装置の内部に保持することは、膨大な記憶容量を必要とし、現実的ではない。そこで本実施形態は、このような問題を解決するため、以下の各実施例のような画像処理装置、撮像装置、画像処理方法、プログラム、および、記憶媒体を提供する。

【実施例1】

【0025】

まず、図1Aおよび図1Bを参照して、本発明の実施例1における画像処理装置および画像処理方法について説明する。図1Aは、本実施例における画像処理装置100のブロック図である。図1Bは、本実施例における画像処理方法(画像回復処理)のフローチャートである。

【0026】

図1Aに示されるように、本実施例の画像処理装置100は、データ保持手段101、データ生成手段102、フィルタ生成手段103、回復処理手段104、および、デフォーカス決定手段105を有する。画像処理装置100は、カメラなどの撮像装置により撮影された被写体像(撮影画像)を入力するように構成されている。ここで撮影画像(画像データ)は、撮影光学系により劣化した画像である。このため、まず図1BのステップS101において、画像処理装置100は、撮影画像に対して画像回復処理を開始する。

【0027】

続いてステップS102において、データ生成手段102は、撮影データに関する光学特性データ(第1の光学特性データ)を生成する。撮影画像データには、撮影時のパラメータである焦点距離、F値(絞り値)、撮影距離、および像高などの撮影条件(撮影条件情報)が付加されている。また本実施例において、データ保持手段101(光学特性データ記憶部)は、撮影光学系に固有の光学特性データ(第1の光学特性データ)に関する情報を保持している。このためデータ生成手段102は、撮影画像データ、および、データ保持手段101に保持された光学特性データに関する情報に基づいて、撮影条件(焦点距離、F値、撮影距離、および、像高など)に対応する光学特性データ(第1の光学特性データ)を生成する。ここで、撮影画像の撮影条件に一致する光学特性データに関する情報が存在しない場合、データ生成手段102は、撮影条件に近い条件の光学特性データに関する情報に基づいて、画像回復処理に用いるための光学特性データ(第1の光学特性データ)を生成する。本実施例において、ステップS102にて生成される光学特性データ(第1の光学特性データ)は、撮影光学系および撮影条件に応じて決定される収差データ(波面収差)である。また好ましくは、第1の光学特性データは、ピント面(合焦面)における収差データである。

【0028】

続いてステップS103において、データ生成手段102は、撮影画像に関する第1の光学特性データ(ステップS102にて生成された光学特性データ)およびデフォーカス特性データに基づいて、第2の光学特性データを生成する。より具体的には、データ生成

10

20

30

40

50

手段 102 は、第 1 の光学特性データにデフォーカス特性データを付加して第 2 の光学特性データ（デフォーカス特性付加済み光学特性データ）を生成する。デフォーカス特性データは、デフォーカス量に応じて決定される収差データ（波面収差）である。

【0029】

デフォーカス決定手段 105 は、デフォーカス特性データを決定する。好ましくは、デフォーカス決定手段 105 は、撮影画像のデフォーカス量に基づいてデフォーカス特性データを決定する。より好ましくは、デフォーカス決定手段 105 は、撮影画像の距離マップ（距離情報）に基づいて決定されたデフォーカス量に基づいて、デフォーカス特性データを決定する。また本実施例において、デフォーカス特性データ（デフォーカス特性の量）は、ユーザにより調整するようにしてもよい。この場合、デフォーカス決定手段 105 10 は、ユーザの指示に基づいてデフォーカス特性データを決定（変更）する。

【0030】

続いてステップ S104 において、フィルタ生成手段 103 は、ステップ S103 にて生成された第 2 の光学特性データ（デフォーカス特性付加済み光学特性データ）を用いて、画像回復フィルタを生成する。好ましくは、フィルタ生成手段 103 は、第 2 の光学特性データを用いて、撮影画像に適用する画像回復フィルタを撮影画像における像高ごとに生成する。

【0031】

続いてステップ S105 において、回復処理手段 104 は、ステップ S104 にて生成された画像回復フィルタを用いて、撮影画像の回復処理を行う。すなわち回復処理手段 104 は、ステップ S103 にて生成された第 2 の光学特性データ（デフォーカス特性付加済み光学特性データ）に基づいて、撮影画像の回復処理を行う。本実施例の画像回復処理においては、例えばウィナーフィルタが用いられるが、これに限定されるものではない。そしてステップ S106 において、画像処理装置 100 は、回復処理後の画像（補正画像）を出力する。 20

【0032】

次に、図 2 を参照して、本実施例における撮影光学系の光学特性データ（第 1 の光学特性データ）、デフォーカス特性データ、デフォーカス特性付加済み光学特性データ（第 2 の光学特性データ）、および、PSF について説明する。図 2 (a) は、第 1 の光学特性データ、デフォーカス特性データ、第 2 の光学特性データ、および、PSF の一例を示す図である。図 2 (b) は、撮影光学系のピント面の説明図である。 30

【0033】

画像処理装置 100 の内部に設けられたデータ保持手段 101（光学特性データ記憶部）は、撮影光学系の様々な撮影条件における各像高位置に対応する波面収差情報（第 1 の光学特性データに関する情報）を保持している。波面収差（収差データ）は、算出する際の参照球面中心位置でそのプロファイルが異なる。このため本実施例では、像高ごとの参照球面中心位置を、図 2 (b) 中の (2) として示される撮影光学系のピント面上の点として算出する。図 2 (b) において、201 は撮影光学系、202 は撮像面（撮像素子）である。

【0034】

第 1 の光学特性データ（または、第 1 の光学特性データに関する情報）は、前述の方法により算出された波面収差である。本実施例では、第 1 の光学特性データに対して、例えば画像処理装置 100 のユーザがデフォーカス量を任意に決定して付加し、デフォーカス特性付加済み光学特性データ（第 2 の光学特性データ）を生成する。なお、本実施例におけるデフォーカス特性データは波面収差（収差データ）である。 40

【0035】

次に、図 3 を参照して、本実施例におけるデフォーカス特性（デフォーカス特性データ）について詳述する。図 3 は、撮影画像データの模式図である。図 3 (a) は、撮影画像の全体（全画素）に一律の量のデフォーカス特性を付加する際の処理を示す図である。図 3 中の各格子 301 は、撮影画像データの各画素を示している。各画素に与えるデフオー 50

カス特性の量は、例えば、画像処理装置 100 のユーザが任意に決定することが可能である。

【0036】

図 3 (b) は、撮影画像の一部に一律の量のデフォーカス特性を付加する際の処理を示す図である。図 3 (b) の格子 301 において、太線で示される格子 302 は、デフォーカス特性を付加する領域(画素)を示している。デフォーカス特性の量は、例えば画像処理装置 100 のユーザが任意に決定することが可能である。

【0037】

図 3 (c) は、画像処理装置 100 のデフォーカス決定手段 105 が撮影画像の距離情報を取得している場合の処理を示している。このときデフォーカス決定手段 105 は、撮影画像の距離情報に応じたデフォーカス量(デフォーカス特性)を自動的に決定する。そして画像処理装置 100 のデータ生成手段 102 は、デフォーカス決定手段 105 により決定されたデフォーカス特性(デフォーカス特性データ)を生成し、それを光学特性データ(第 1 の光学特性データ)に付加する。図 3 (c) において、格子 301 の内部の数字(-5 ~ +5)は、ピント位置を基準とした場合の距離情報を示している。デフォーカス決定手段 105 は、各距離情報に基づいてデフォーカス量を算出することにより、距離情報に応じたデフォーカス特性を生成することが可能である。

【0038】

本実施例の画像回復処理では、対象となる被写体の劣化が大きく光学伝達関数(OTF)の情報の大部分が失われてしまうと、撮影画像の劣化を補正して得られる効果よりも、ノイズ増幅やリングングが発生するなどの弊害による画像劣化が大きくなる。このため、光学特性データにデフォーカス特性を付加したデフォーカス特性付加済み光学特性データは、波面収差 RMS が 0.5 以下の範囲内となるように設定されることが好ましい。

【0039】

また、本実施例の画像回復処理では、撮像素子のナイキスト周波数の 2 分の 1 以上に OTF の周波数応答がある場合、補正効果が顕著に現れる。このため、より好ましくは、デフォーカス特性付加済み光学特性データは、波面収差 RMS が 0.3 以下の範囲内となるように設定される。すなわち、第 1 の光学特性データとデフォーカス特性データとの和(第 2 の光学特性データ)の波面収差 RMS が 0.5 以下または 0.3 以下の範囲内の領域において、デフォーカス特性を付加することが好ましい。光学特性が良好で収差が小さい場合、付加可能なデフォーカス特性の量は大きくなる。

【0040】

次に、図 4 を参照して、画像処理装置 100 のデータ保持手段 101 に保持されている光学特性データ(第 1 の光学特性データ)に関する情報について説明する。図 4 は、光学特性データに関する情報の一例を示す図である。

【0041】

光学特性データは、撮影光学系の焦点距離、F 値(絞り値)、および、撮影距離の組み合わせに関し、撮影画像データの像高ごとに互いに異なる特性を有する。このため図 4 (a) に示されるように、データ保持手段 101 において、焦点距離、F 値、および、撮影距離の組み合わせに関し、撮影画像データの内部を複数の格子 401 で分割し、光学特性データに関する情報を離散的に保持する方法がある。

【0042】

また、他の方法として、図 4 (b) に示されるように、撮影画像データの中心に位置する撮影光学系の光軸上から最軸外点までの情報を分割して保持する方法がある。この場合、残りの処理に必要なイメージサークル内の座標点上の光学特性データを補間生成する。本実施例では、PC のスペックや撮像装置のメモリ量などを考慮して、より適切な方法を用いることが好ましい。また本実施例では、図 4 に示される方法以外の方法を用いてよい。

【0043】

本実施例の画像処理装置 100 は、撮影画像データに対して、デフォーカス特性付加済

10

20

30

40

50

み光学特性データを用いて画像回復処理を施す。これにより、撮影画像データを高精度に補正（画像回復）することができる。本実施例によれば、光学特性データをデフォーカス位置ごとに予め保持しておく必要がなく、必要な記憶容量を数メガ～数十メガバイト程度のデータ量に低減することが可能となる。

【0044】

次に、図5を参照して、本実施例における画像回復処理の具体的手順について説明する。図5は、画像回復処理のフローチャートである。図5は、デフォーカス特性付加済み光学特性データを生成した後から画像回復処理によって撮影画像が補正されて出力されるまでの手順を示し、図1のステップS103～S106に相当する。

【0045】

まずステップS501において、データ生成手段102は、デフォーカス特性付加済み光学特性データ（第2の光学特性データW（，））を生成する。続いてステップS502において、データ生成手段102は、第2の光学特性データW（，）に関し、瞳関数 $G（，） = \exp\{i * W（，）\}$ を取得する。そして画像処理装置100（データ生成手段102またはフィルタ生成手段103）は、 π の積分範囲を $N_A^2 + N_A^2$ として $G（，）$ の自己相関を計算し、 N_A^2 で規格化することにより、光学伝達関数（OTF）を算出する。ここで、 π は光学系（撮影光学系）の光線の方向余弦で表した場合の射出瞳座標、 N_A は光学系の開口数である。また、OTFを算出するための他の方法として、瞳関数 $G（，）$ からPSFを経てOTFを算出してもよい。この場合、瞳関数 $G（，）$ をフーリエ変換して点像振幅分布を計算し、点像振幅分布の絶対値の2乗を計算してPSFを算出し、さらにPSFをフーリエ変換することでOTFが算出される。

【0046】

ステップS502にて得られたOTFは、所謂、光学空中像のPSFの周波数応答であり、光学的な遮断周波数 $/ (2N_A)$ までの周波数帯域での周波数応答である。このため画像回復処理において、OTFをデジタル撮影画像に適用するには、撮像素子の大きさ（センササイズ）による周波数帯域にサンプリングする（撮像素子のナイキスト周波数までの帯域変換を行う）ことが必要である。また、実際の撮像素子の各画素は、入力された光強度分布に対して、その平均的な値しか返さないため、撮像素子の画素の特性をOTFに加味することが好ましい。また、撮像素子の前に光学ローパスフィルタなどが挿入されている場合、その特性をOTFに加味することが好ましい。

【0047】

続いてステップS503において、フィルタ生成手段103は、種々の条件（撮影条件）により得られたOTFを用いて、撮影画像の劣化を補正するための画像回復フィルタ（周波数空間画像回復フィルタ）を設計する。画像回復フィルタとしては、ウィナーフィルタやそれを変形したもの用いることができる。このように本実施例において、好ましくは、フィルタ生成手段103は、第2の光学特性データに基づいて光学伝達関数（OTF）を算出し、算出された光学伝達関数に対して、撮像素子のナイキスト周波数までの帯域変換を行う。そしてフィルタ生成手段103は、帯域変換後の光学伝達関数に基づいて画像回復フィルタを生成する。一般的な撮影光学系は、光学特性が位置に関して不变であるシフトインвариантな領域が狭く、式（1）はこの狭い領域においてのみ成立する。そこで、撮影画像データの像高位置に応じて異なる画像回復フィルタを適用する必要がある。

【0048】

このためステップS504において、フィルタ生成手段103は、ステップS503にて決定された周波数空間画像回復フィルタを、実空間画像回復フィルタに周波数変換する。続いてステップS505において、フィルタ生成手段103は、撮影画像（画像回復処理対象画像）に対して、ステップS504にて決定された実空間画像回復フィルタの畳み込み処理を行う。本実施例では、計算時間上、撮影画像の像高位置に応じて実空間画像回復フィルタを切り替えて処理することが好ましい。このため、フィルタ生成手段103は

10

20

30

40

50

、OTFに基づいて、周波数空間上で設計した周波数空間画像回復フィルタを、実空間画像回復フィルタに周波数変換して用いる。そしてステップS506において、画像処理装置100は、画像回復処理により補正された画像回復処理済みの画像（補正画像）を出力する。

【実施例2】

【0049】

次に、図6を参照して、本発明の実施例2における撮像装置について説明する。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、図1を参照して説明した実施例1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。

10

【0050】

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を含む撮影光学系601を介して撮像素子602に結像する。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、撮影光学系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（撮影画像）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（撮影画像データ）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により撮像手段が構成される。

20

【0051】

画像処理部604は、実施例1の画像処理装置100に相当し、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。記憶部608（データ保持手段）は、撮影光学系601の光学特性データ（第1の光学特性データに関する情報）を、焦点距離、F値、撮影距離、および、像高の組み合わせごとに保持している。ただし、実施例1と同様に、データ保持手段を画像処理部604の内部に設けてもよい。

20

【0052】

撮像手段（撮像素子602、A/D変換器603）は、撮影光学系601を介して形成された光学像を電気信号に変換して、撮影画像を出力する。このとき、撮影光学系制御部606および状態検知部607は、撮影時における焦点距離、F値、および、撮影距離などの撮影条件を取得する。画像処理部604は、取得した撮影条件に対応する光学特性データ（第1の光学特性データ）を生成し、第1の光学特性データにデフォーカス特性を附加した光学特性データ（第2の光学特性データ）を生成する。そして画像処理部604は、第2の光学特性データに基づいて生成された画像回復フィルタを用いて、撮影画像に画像回復処理を施し、回復画像（補正画像）を出力する。

30

【0053】

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、図1を参照して説明した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。システムコントローラ610は、CPUやMPUなどにより構成され、撮像装置全体の制御を司る。

40

【0054】

なお本実施例において、撮影光学系601（レンズ装置）は、撮像装置600（撮像装置本体）と一体的に構成されているが、これに限定されるものではない。撮影光学系601は、一眼レフカメラなどの撮像装置本体に対して着脱可能に構成された交換レンズであってもよい。

【0055】

50

[その他の実施形態]

本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。すなわち、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェア（プログラム）を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ（又はCPUやMPU等）がプログラムを読み出して実行する処理である。この場合、撮像装置の制御方法の手順が記述されたコンピュータで実行可能な画像処理プログラムおよびそのプログラムを記憶した記憶媒体（図6の記憶媒体611）は本発明を構成する。

【 0056 】

各実施例の画像処理装置によれば、デフォーカス毎の補正に用いる光学特性データを保持することなく、光学特性データを演算により生成することが可能となる。このため各実施例によれば、少ないデータ量で、撮影画像のピント位置の微小変位を含む劣化画像（撮影画像）を高精度に補正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。

【 0057 】

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 】

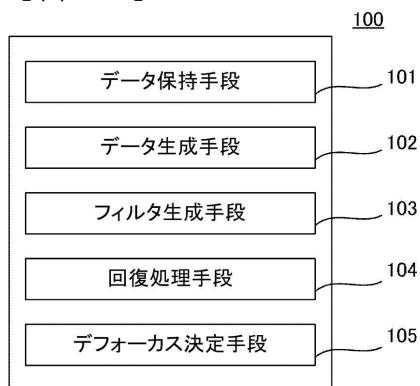
【 0058 】

- 100 画像処理装置
- 101 データ保持手段
- 102 データ生成手段
- 103 フィルタ生成手段
- 104 回復処理手段
- 105 デフォーカス決定手段

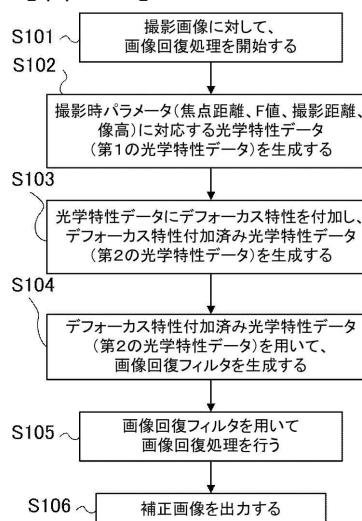
10

20

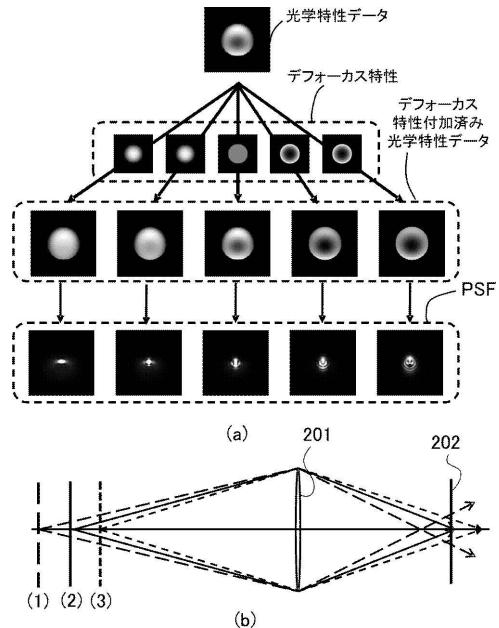
【 図 1 A 】



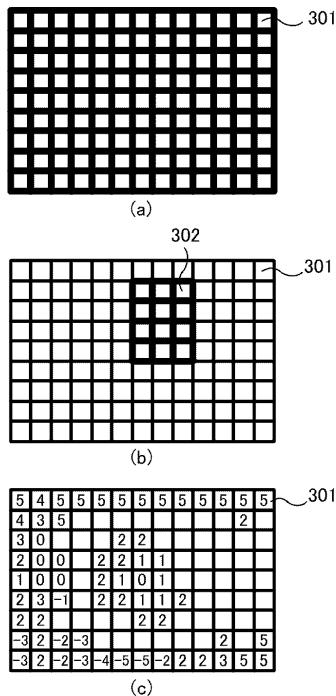
【 図 1 B 】



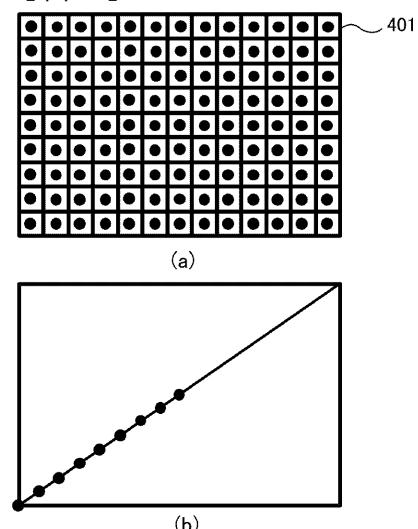
【図2】



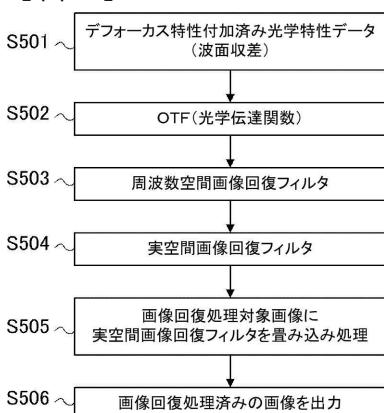
【図3】



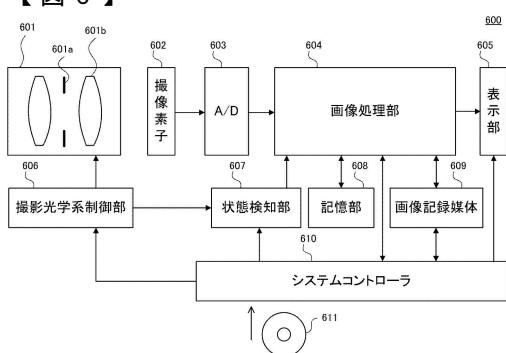
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2012-005056(JP,A)
国際公開第2010/067740(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 04 N 5 / 232
G 06 T 5 / 00