

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5506574号
(P5506574)

(45) 発行日 平成26年5月28日(2014.5.28)

(24) 登録日 平成26年3月28日(2014.3.28)

(51) Int.Cl.

F 1

H04N 5/225 (2006.01)

H04N 5/225

Z

H04N 5/232 (2006.01)

H04N 5/232

E

G06T 1/00 (2006.01)

G06T 1/00

280

請求項の数 9 (全 19 頁)

(21) 出願番号

特願2010-151972 (P2010-151972)

(22) 出願日

平成22年7月2日(2010.7.2)

(65) 公開番号

特開2012-15891 (P2012-15891A)

(43) 公開日

平成24年1月19日(2012.1.19)

審査請求日

平成25年7月1日(2013.7.1)

(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 100126240

弁理士 阿部 琢磨

(74) 代理人 100124442

弁理士 黒岩 創吾

(72) 発明者 西山 知宏

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 高野 美帆子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置および方法、プログラム。

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被写体から撮像装置に入射する光線の、経路に関する情報と光量情報とを含む光線情報を取得する光線取得手段と、

前記撮像装置の撮像素子の位置とは異なる位置に前記撮像素子を配置して前記被写体を撮像する場合に得られる第一の仮想画像データを、前記光線情報に基づいて生成する第一の生成手段と、

前記被写体を撮像して得られた、前記第一の仮想画像データに含まれる画像よりも解像度の高い画像を含む高解像度画像データを取得する画像取得手段と、

前記撮像素子を前記異なる位置に配置して前記被写体を撮像する場合に得られ、前記第一の仮想画像データに含まれる画像よりも解像度の高い画像を含む第二の仮想画像データを、前記第一の仮想画像データと前記高解像度画像データとに基づいて生成する第二の生成手段と、

を有する画像処理装置。

【請求項 2】

前記高解像度画像データを、前記高解像度画像データに含まれる画像よりも解像度が低い画像を含み、前記撮像装置を用いて前記被写体を撮像した場合に得られる低解像度画像データに変換するための変換モデルデータを生成する変換モデル生成手段を更に有し、

前記第二の生成手段は、前記変換モデルデータに基づいて前記第一の仮想画像データを変換することにより前記第二の仮想画像データを生成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】

前記第一の生成手段により生成される前記第一の仮想画像データは、前記撮像装置における絞り量とは異なる絞り量の仮想的な絞りを介して、前記被写体を撮像した場合に得られる画像データであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

前記光線取得手段により取得される光線情報は、前記撮像装置の絞りの開口位置を経時に変化させることにより取得され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】

前記画像取得手段により取得される高解像度画像データは、前記絞りを開閉状態にすることにより取得され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】

前記光線取得手段により取得される光線情報は、前記撮像素子の前面にマイクロレンズアレイを設置することにより取得され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 7】

前記異なる位置は、前記撮像装置に対して設定されたフォーカス位置に基づいて決定され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】

被写体から撮像装置に入射する光線の、経路に関する情報と光量情報を含む光線情報を取得し、

前記撮像装置の撮像素子の位置とは異なる位置に前記撮像素子を配置して前記被写体を撮像する場合に得られる第一の仮想画像データを、前記光線情報に基づいて生成し、

前記被写体を撮像して得られた、前記第一の仮想画像データに含まれる画像よりも解像度の高い画像を含む高解像度画像データを取得し、

前記撮像素子を前記異なる位置に配置して前記被写体を撮像する場合に得られ、前記第一の仮想画像データに含まれる画像よりも解像度の高い画像を含む第二の仮想画像データを、前記第一の仮想画像データと前記高解像度画像データとに基づいて生成することを特徴とする画像処理方法。

【請求項 9】

コンピュータを、請求項 1 乃至 7 の何れか 1 項に記載の画像処理装置が有する各手段として機能させるためのコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、撮像装置に入射される光線を、撮像素子の仮想的な位置において撮像する場合に得られる仮想画像データを生成する画像処理装置および、方法、プログラムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

撮像装置（例えば、カメラ）に入射される光線を、撮像素子の実際の位置とは異なる仮想的な位置において撮像する場合に得られる仮想画像データを取得することができるライトフィールドフォトグラフィ技術が知られている（非特許文献 1）。ライトフィールドフォトグラフィ技術において、被写体から撮像装置に入射される光線の経路（光線経路）は、三次元空間内の異なる 2 枚の平面上における点を通る直線として記述される。また、一本の光線（又は略同一の光線経路と略同一の光量を有する光線群、以下に同じ）は、一つの光量を有しているとされる。本明細書においては、光線経路にかかる経路情報と光量にかかる光量情報を組合せて光線情報（ライトフィールドデータ、以下、LF データ）と呼ぶ。具体的には、LF データは一本の光線の光量を 4 つのパラメータ（二平面それぞれ

10

20

30

40

50

の点を規定する4つのパラメータ)の関数として表したものである。なお、単にライトフィールド(LF)という場合は、複数のLFデータにより記述される「場」を意味する。

【0003】

このLFデータに基づいて、被写体から撮像装置に入射される光線を、撮像装置における撮像素子の実際の位置とは異なる仮想的な位置において撮像する場合に得られる仮想画像データを取得することができる。かかる仮想画像データの取得に関しては、非特許文献1に記載されている。

【0004】

LFデータを取得する手法としては、大きく分けて2つある。一つはマイクロレンズアレイを撮像素子の前に配置し、LFデータを取得する手法である。もう一つは絞りの開口位置を制御して、LFデータを取得する手法である(非特許文献2)。

10

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】R.NG著「Fourier Slice Photography」
(ACM SIGGRAPH 2005, 2005)

【非特許文献2】C.K.Liang、他4名「Programmable Aperture Photography: Multipixelated Light Field Acquisition」

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

マイクロレンズアレイを撮像素子の前に配置して得られたLFデータに基づいて仮想画像データを生成する場合、仮想画像データが示す仮想画像の解像度は原理的に撮像素子の解像度と比べて低いものとなる。

【0007】

また、非特許文献2では、プログラマブルアーチャと呼ばれる可変アーチャを使用して、LFデータを取得する。得られたLFデータから、撮像素子と同解像度の距離マップを推定して、撮影後に撮像素子の仮想的な位置調節を行っている。かかる距離マップは、画像中の特徴点に基づいて生成される。よって、エッジの少ない被写体や、ほぼ平坦な被写体に対して正確な距離マップを生成することは不可能である。そのため、非特許文献2の手法に拠れば、撮像素子が仮想的な位置において撮像する場合に得られる仮想画像データを高解像度で取得することは実質的に不可能である。

30

【0008】

そこで、本発明は、撮像装置に入射される光線を、撮像素子の実際の位置とは異なる仮想的な位置において撮像する場合に得られる仮想画像データを高解像度で生成することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記の課題を解決するために、本発明の画像処理装置は、被写体から撮像装置に入射する光線の、経路に関する情報と光量情報を含む光線情報を取得する光線取得手段と、前記撮像装置の撮像素子の位置とは異なる位置に前記撮像素子を配置して前記被写体を撮像する場合に得られる第一の仮想画像データを、前記光線情報に基づいて生成する第一の生成手段と、前記被写体を撮像して得られた、前記第一の仮想画像データに含まれる画像よりも解像度の高い画像を含む高解像度画像データを取得する画像取得手段と、前記撮像素子を前記異なる位置に配置して前記被写体を撮像する場合に得られ、前記第一の仮想画像データに含まれる画像よりも解像度の高い画像を含む第二の仮想画像データを、前記第一の仮想画像データと前記高解像度画像データとに基づいて生成する第二の生成手段と、を有することを特徴とする。

40

【発明の効果】

50

【0010】

本発明によれば、LFデータと高解像度画像データとに基づき、撮像素子の仮想的な位置において撮像する場合に得られる仮想画像データを生成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施例1の撮像装置100を示すブロック図である。

【図2】高解像度画像再構成部200のブロック図である。

【図3】撮像装置100の概念図である。

【図4】可変アーチャ104の概念図である。

【図5】実施例1の動作を示すフローチャートである。 10

【図6】高解像度画像再構成部200の動作を示すフローチャートである。

【図7】LFデータの概念図と、撮像素子上の画像の例である。

【図8】LFデータから仮想撮像素子上の画像を再構成する概念図である。

【図9】実施例1の効果を示す図である。

【図10】絞り103の概念図である。

【図11】高解像度画像再構成部1100のブロック図である。

【図12】高解像度画像再構成部1100の動作を示すフローチャートである。

【図13】劣化フィルタの広がりと、絞りの有効口径の大小関係を示す図である。

【図14】実施例3の撮像装置を示すブロック図である。

【図15】撮像装置1400の概念図である。 20

【図16】実施例4の撮像装置を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

[実施例1]

<実施例1のブロック図>

図1は、本実施例を適用できる画像処理方法及び画像処理装置の実施の一形態を示すブロック図である。被写体からの光線101は、撮像装置100に入射される。入射された光線101は、レンズ(又はレンズ群)102と、絞り103などの光学系を介して、LFデータを取得するための可変アーチャ104に入射される。可変アーチャ制御部105によって可変アーチャ104の開口位置が制御される。撮像素子106は、入射された光線を撮像することによりアナログ信号を生成する。A/D変換部107は、アナログ信号をデジタル信号に変換する。LFデータ取得部108は、可変アーチャ104の開口形状を様々に変化させて得られた信号をLFデータに変換する。高解像度画像取得部109は、可変アーチャ104を全開放状態にして(又は全開放状態に近い状態にして)高解像度画像データ(以下、HR画像データ)取得する。LFデータ出力端子110は、LFデータを高解像度画像再構成部200に出力する端子である。HR画像データ出力端子111はHR画像データを高解像度画像再構成部200に出力する端子である。 30

【0013】

図2は高解像度画像再構成部200のブロック図である。LFデータ入力端子201は、LFデータを入力するための端子である。HR画像入力端子202は、HR画像データを入力するための端子である。フォーカス位置情報入力端子203は、仮想撮像素子の位置情報(仮想位置情報)が入力される端子である。ここで、仮想撮像素子とは、実際の撮像素子の位置とは異なる位置に仮想的に置いた撮像素子のことである。仮想撮像素子の位置を変化させることで、撮影後に焦点位置を調節したものと同様の画像を得る。仮想撮像素子の位置情報は、例えば、ユーザが任意に設定した焦点位置から取得しても良い。後述するように、焦点が合う場合はレンズの公式によってレンズと被写体までの距離a、レンズの焦点距離fを決めると、レンズと撮像素子までの距離は一意に定まる。よってユーザが焦点を合わせたい被写体までの距離を設定することで、仮想撮像素子の位置情報は一意に決まる。 40

【0014】

10

20

30

40

50

画像再構成部 204 は、LF データから任意位置の仮想撮像素子上の画像を再構成する。画像再構成部 204 は、LF データから実際の撮像素子の位置において撮像する場合の画像データ（第一の仮想画像データ）も再構成することができる。劣化モデル推定部 205 は、HR 画像データから第一の仮想画像データへの変換モデルを示す劣化モデルデータ（変換モデルデータ）を推定する。高解像度画像推定部 206 は、仮想撮像素子上に再構成された画像データと、劣化モデル推定部 205 が推定した劣化モデルデータから仮想撮像素子上の高解像度画像データ（以下、仮想撮像素子上 HR 画像データ）を推定する。仮想撮像素子上 HR 画像出力端子 207 は仮想撮像素子上 HR 画像データ（第二の仮想画像データ）を出力する端子である。

【0015】

10

<実施例 1 の概念図>

図 3 は撮像装置 100 の概念図である。被写体 301 からの光は、レンズ 102 と可変アーチャ 104 を介して撮像素子 106 に入射され、撮像素子 106 上に被写体像 302 が投影される。a は被写体 301 とレンズ 102 の距離であり、b はレンズ 102 と撮像素子 106 の距離である。レンズ 102 の焦点距離を f とすると、図 3 において a、b、f はレンズの公式

【0016】

20

【数 1】

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

【0017】

を満たす。可変アーチャ 104 の開口部分が充分に小さければ、可変アーチャ 104 の開口位置と、撮像素子 106 の位置から光線が一本特定でき、高精度の LF データを取得することが可能になる。

【0018】

30

図 4 は可変アーチャ 104 の概念図である。可変アーチャの分割数は図示の都合上 4 × 4 で表している。可変アーチャ制御部 105 は、可変アーチャ 104 を開口形状 401 ~ 404 のように時間的に変化させる。開口形状 401 ~ 404 において、斜線部は開口が閉じている状態を表し、白抜き部は開口が開いている状態を表している。図 4 は、開口部分が左から右、上から下へ順次移動していく様子を表している。なお、開口形状 401 ~ 404 により、可変アーチャ 104 の全ての開口形状を表しているものではない。

【0019】

可変アーチャ 104 の制御については、上記に記載した方法以外にも非特許文献 2 に示されているような開口形状の制御をしても良い。

【0020】

可変アーチャ 104 の具体的な構成としては、電気制御により開口形状を制御できる液晶アレイがある（非特許文献 2）。

【0021】

40

開口形状 405 は HR 画像データを取得する際の可変アーチャ 104 の開口形状を現している。HR 画像データを取得する際には例えば、可変アーチャ 104 を全開放する。

【0022】

<実施例 1 の動作>

以下、図 1 の撮像装置の動作について図 5 のフローチャートに従って説明する。まず被写体からの光線が入力される（S501）。可変アーチャ制御部 105 が可変アーチャ 104 の開口形状を変化させる（S502）。可変アーチャ 104 の開口形状を変化させて得られた信号を LF データ取得部 108 が LF データ L_L に変換する（S503）。

【0023】

50

記号「L」は、LFデータを表し、添え字は解像度を示している。添え字「L」は低解像度（高解像度ではない解像度）であることを示している。

【0024】

次に可変アーチャ制御部105が可変アーチャ104を全開放する（S504）。可変アーチャ104の開口形状を全開放して得られた信号をHR画像データ取得部がHR画像データ $E_{H,b}$ として取得する（S505）。ここで、Eは画像データを表している。一つ目の添え字は解像度、二つ目の添え字は撮像素子の位置を示している。添え字「H」は高解像度であること、添え字「b」は実際の撮像素子の位置であることを示している。LFデータと、HR画像データ $E_{H,b}$ をLFデータ出力端子110と、HR画像データ出力端子111からそれぞれ出力し、撮像装置100の動作を終了する（S506）10。

【0025】

<高解像度画像再構成部200の動作>

高解像度画像再構成部200は、HR画像データと、LFデータから仮想撮像素子上の高解像度画像データを再構成する（生成する）ための処理部である。

【0026】

以下、高解像度画像再構成部200の動作について図6のフローチャートに従って説明する。

【0027】

LFデータ入力端子201より、LFデータが入力される（S601）。画像再構成部204が、LFデータから撮像素子上の画像 $E_{L,b}$ を再構成する（生成する）（S602）。ここで添え字Lは低解像度であることを表すものとする。また、添え字bはレンズから実際の撮像素子までの距離を示している。LFデータから仮想撮像素子上の画像の再構成法については後述する。次にHR画像データ $E_{H,b}$ がHR画像データ入力端子202から入力される（S603）。添え字Hは、高解像度を示している。劣化モデル推定部205が高解像度から低解像度への劣化モデルデータを $E_{L,b}$ と $E_{H,b}$ から推定する（S604）。フォーカス位置情報 E_{FOCUS} がフォーカス位置情報入力端子203から入力される（S605）。 E_{FOCUS} をレンズから実際の撮像素子までの距離bに乗することにより、レンズから仮想撮像素子までの距離 b' を取得することができる。画像再構成部204がLFデータを用いて、レンズ102から b' の距離にある仮想撮像素子上の画像 $E_{L,b'}$ を再構成する（S606）。高解像度画像推定部206が、劣化モデルデータと、 $E_{L,b'}$ から仮想撮像素子上の高解像度画像を推定し（S607）、高解像度画像再構成部200の動作を終了する。30

【0028】

<LFデータ取得部108の動作説明>

ここでは、撮像素子上の画像からLFデータを取得する方法を説明する。

【0029】

LFデータの概念図と、可変アーチャ104を用いて実際に取得される撮像素子106上の画像の例を図7に示す。

【0030】

図7(a)はLFデータの概念図である。光線701はレンズ102上の座標(u,v)と、撮像素子106上の座標(x,y)を通過する。この光線の輝度を $L(u,v,x,y)$ と書くことにする。

【0031】

図7(b)では 4×4 枚の小画像が示されている。これらは可変アーチャ104の図4における小開口と1対1に対応しており、各画像には視差がある。LFデータ取得部108は、小開口の重心座標と撮像素子上の座標から図3に従って光線経路を特定し、画素値から輝度を取得する。これにより光線経路と輝度の関係が得られ、LFデータを得ることができる。

【0032】

10

20

30

40

50

< 画像再構成部 204 の動作説明 >

ここでは、LF データから仮想撮像素子上の画像を再構成する方法について説明する。

【0033】

LF データから仮想撮像素子上の画像を再構成する概念図を図 8 に示す。図 8 は図 7 (a) の 2 次元断面である。レンズ 102 から b の距離にある仮想撮像素子 802 上の座標 (x, y) を通る光線は、レンズ 102 上で (u, v) 、撮像素子 106 上で (u + (x - u) / , v + (y - v) /) の点を通る光線になる。よって、仮想撮像素子 802 の座標 (x, y) の画素値は、 $L(u + (x - u) / , v + (y - v) / , u, v)$ をレンズ 102 上の座標 (u, v) で積分したものになる。即ち、

【0034】

【数 2】

$$E_{L,\text{ob}}(x, y) = \frac{1}{\alpha^2 b^2} \int_{\text{Lens}} L\left(\frac{(x-u)}{\alpha} + u, \frac{(y-v)}{\alpha} + v, u, v\right) du dv \quad (2)$$

【0035】

と表されることが分かる。ここで、積分範囲に Lens と書いてあるのは、絞りの影響も含めた有効レンズ領域のことである。絞りを考慮した場合については実施例 2 で詳しく述べる。実際の撮像素子上の画像 $E_{L,b}$ (低解像度画像データ) は、以下の式により求めることができる。

【0036】

【数 3】

$$E_{L,b}(x, y) = \frac{1}{b^2} \int_{\text{Lens}} L(x, y, u, v) du dv \quad (3)$$

【0037】

以下、説明のため $P_L[x, y]$ を以下のような演算子で定義する。

【0038】

【数 4】

$$P_a[L](x, y) \equiv \frac{1}{\alpha^2 b^2} \int_{\text{Lens}} L\left(\frac{(x-u)}{\alpha} + u, \frac{(y-v)}{\alpha} + v, u, v\right) du dv \quad (4)$$

【0039】

< 高解像度画像再構成部 200 の動作原理 >

ここでは高解像度画像再構成部 200 の動作原理について説明する。

【0040】

一般に LF データの解像度 (LF データ $L(u, v, x, y)$ における x, y の解像度) は、撮像素子本来の解像度に比べ低解像度になる。この LF データを L_L と置く。添え字の L は低解像度を表す。撮像素子 106 、レンズ 102 上の分割解像度を仮想的に大きく取ることができた時の高解像度の LF データを L_H と置く。添え字の H は高解像度を表す。低解像度 LF データは高解像度 LF データに重み付けして積分したものと考えられる。重み係数を w とすると、

【0041】

【数 5】

$$L_L(x, y, u, v) = \int w(x - x', y - y', u - u', v - v') L_H(x', y', u', v') dx' dy' du' dv' \quad (5)$$

【0042】

これはフィルタ w による畳み込みの形をしている。w は一般にローパスフィルタになると予想される。

【0043】

フィルタ w による畳み込みを以下の演算子で定義する。

【0044】

10

20

40

30

【数6】

$$C_w^2[L](x, y) \equiv \int w(x-x', y-y') L(x', y') dx' dy' \quad (6)$$

【0045】

【数7】

$$C_w^4[L](x, y, u, v) \equiv \int w(x-x', y-y', u-u', v-v') L(x', y', u', v') dx' dy' du' dv' \quad (7)$$

【0046】

 C_w の上付き添え字「2」及び「4」は次元数を表している

この時、以下の式が成り立つことが知られている（非特許文献1参照）。

10

【0047】

【数8】

$$P_\alpha[C_w^4[L]] = C_{P_\alpha[w]}^2[P_\alpha[L]] \quad (8)$$

【0048】

式(7)は、LFデータについて4次元の重み係数による畳み込みをした後に二次元画像へ再構成したものは、LFデータから二次元画像に再構成した後に2次元の重み係数による畳み込みをしたものと同じになることを示している。

【0049】

ここで、 P は式(2)で定義した演算子である。

【0050】

式(8)を用いると、以下の性質が成り立つ。

20

【0051】

【数9】

$$E_{L,ob} = P_\alpha[L_L] = P_\alpha[C_w^4[L_H]] = C_{P_\alpha[w]}^2[P_\alpha[L_H]] = C_{P_\alpha[w]}^2[E_{H,ob}] \quad (9)$$

【0052】

式(9)は仮想撮像素子上の高解像度画像から低解像度画像への劣化過程がフィルタ P [w]との畳み込みであることを表している。

【0053】

【数10】

$$\begin{aligned} P_\alpha[w](x, y) &= \frac{1}{\alpha^2 b^2} \int_{\text{Lens}} w\left(\frac{(x-u)}{\alpha} + u, \frac{(y-v)}{\alpha} + v, u, v\right) du dv \\ &= \frac{1}{\alpha^2 b^2} \int_{\text{Lens}} w\left(\frac{x+(\alpha-1)u}{\alpha}, \frac{y+(\alpha-1)v}{\alpha}, u, v\right) du dv \end{aligned} \quad (10)$$

【0054】

であるが、 w の変化に対して w は大きく変化しない。したがって、 w が 1 から大きく変動しない限り以下の近似式が成り立つ。

30

【0055】

【数11】

$$\begin{aligned} P_\alpha[w](x, y) &= \frac{1}{\alpha^2 b^2} \int_{\text{Lens}} w\left(\frac{x+(\alpha-1)u}{\alpha}, \frac{y+(\alpha-1)v}{\alpha}, u, v\right) du dv \\ &\sim \frac{1}{\alpha^2 b^2} \int_{\text{Lens}} w\left(\frac{x}{\alpha}, \frac{y}{\alpha}, u, v\right) du dv = \frac{1}{\alpha^2} P_1[w]\left(\frac{x}{\alpha}, \frac{y}{\alpha}\right) \end{aligned} \quad (11)$$

40

【0056】

なお、 P [w] を P_1 [w] から推定できる方法があればこの近似式に限らない。

【0057】

式(11)によれば、劣化モデル P_1 [w] を推定することができれば、劣化モデル P [w] も推定することが可能になる。

【0058】

HR画像データ $E_{H,ob}$ は既知であり、また、式(3)により LFデータから $E_{L,ob}$ を構成することもできる。ここで、今実施例では、 $E_{L,ob}$ は適当な補間によって、 E_H

50

, b と同じ解像度に拡大しておくことにする。劣化モデル推定部 205 は、

【0059】

【数12】

$$E_{L,b} = C_{R[w]}^2 [E_{H,b}] \quad (12)$$

【0060】

から、劣化モデルデータ P₁ [w] を推定する。ここでは以下の式を最小化するように P₁ [w] を決める。

【0061】

【数13】

$$V = \sum_{x,y} \|C_{R[w]}^2 [E_{H,b}] (x,y) - E_{L,b} (x,y)\|^2 + \lambda \sum_{x,y} \|P_1[w]\|^2 \quad (13)$$

10

【0062】

ここで V は任意の重み係数である。V を最小化する解は Fourier 変換することにより求まる。即ち、Fourier 変換を F [] と表すと、

【0063】

【数14】

$$P_1[w] = F^{-1} \left[\frac{F[E_{H,b}]^* F[E_{L,b}]}{|F[E_{H,b}]|^2 + \lambda} \right] \quad (14)$$

【0064】

20

を計算することにより劣化モデルデータ P₁ [w] を求めることができる。ここで、アスタリスク * は複素共役を示している。ここでは、Fourier 変換によって、式(13)を最小にする解を求めたが、その他にも最急降下法による手法も考えられる。これ以外にも式(12)から P₁ [w] を求めることができれば上記の方法に限らない。

【0065】

【数15】

$$w_\alpha(x,y) \equiv \frac{1}{\alpha^2} P_1[w] \left(\frac{x}{\alpha}, \frac{y}{\alpha} \right) \quad (15)$$

【0066】

と定義すると、式(11)より、

30

【0067】

【数16】

$$P_\alpha[w] \sim w_\alpha \quad (16)$$

【0068】

となり、P [w] を推定することが可能となる。

【0069】

次に高解像度画像推定部 206 は以下の式を満たすように、LF データから再構成された E_L, b と、劣化モデルデータ w から、仮想撮像素子上の HR 画像 E_H, b (仮想撮像素子上 HR 画像データ E_H, b) を推定する。

【0070】

40

【数17】

$$E_{L,ob} = C_{P_\alpha[w]}^2 [E_{H,ob}] \sim C_{w_\alpha}^2 [E_{H,ob}] \quad (17)$$

【0071】

この式を満たすように E_H, b を推定する方法はいくつか考えられるが、ここでは以下の式を最小化するように E_H, b を決定するものとする。

【0072】

【数18】

$$V' = \sum_{x,y} \|C_{w_\alpha}^2 [E_{H,ob}] (x,y) - E_{L,ob} (x,y)\|^2 + \lambda' \sum_{x,y} \|\Delta E_{H,ob}\|^2 \quad (18)$$

【0073】

50

ここで、 α は適当な重み係数であり、 β はLaplacianである。 V' を最小化する解はFourier変換することにより求まる。即ち、

【0074】

【数19】

$$E_{H,\alpha\beta} = F^{-1} \left[\frac{F[w_\alpha]^* F[E_{L,\alpha\beta}]}{|F[w_\alpha]|^2 + \lambda |\mathbf{k}|^2} \right] \quad (19)$$

【0075】

を計算することにより、 $E_{H,\alpha\beta}$ を推定することができる。なお、 k は周波数空間の変数である。ここではFourier変換によって式(18)を最小にする解を求めたが、そのほかにも最急降下法、共役勾配法など色々な手段が考えられる。また式(18)を最小化する以外にも、Richardson-Lucy法などデコンボリューションの手法を用いて $E_{H,\alpha\beta}$ を求めることができます。これ以外にも式(17)から $E_{H,\alpha\beta}$ を求めることがければ、上記の手法に限らない。高解像度画像再構成部200の動作をまとめると、劣化モデル推定部205が、式(2)に従って再構成した $E_{L,\alpha\beta}$ と、HR画像データ $E_{H,\alpha\beta}$ から式(13)に従って $P_1[w]$ を推定する。次に式(14)、式(15)に従って、 $P_1[w]$ から $P_2[w]$ を導出する。画像再構成部204が、式(2)により仮想撮像素子上の画像 $E_{L,\alpha\beta}$ を再構成する。高解像度画像推定部206が、 $P_2[w]$ と $E_{L,\alpha\beta}$ から式(18)に従って、仮想撮像素子上HR画像データ $E_{H,\alpha\beta}$ を推定する。ここでは簡単のため、仮想撮像素子上HRデータ $E_{H,\alpha\beta}$ の解像度はHR画像データの解像度と一致すると仮定した。しかし、仮想撮像素子上HR画像データ $E_{H,\alpha\beta}$ の解像度は、HR画像データの解像度と必ずしも一致する必要はない。すなわち、仮想撮像素子上HR画像データ $E_{H,\alpha\beta}$ の解像度は、画像再構成部204により再構成された撮像素子上の画像 $E_{L,\alpha\beta}$ の解像度よりも高ければ良い。

【0076】

以上より、高解像度画像再構成部200は撮影後に、撮影したHR画像データとLFデータから、任意位置の仮想撮像素子上HR画像データを再構成することができる。

【0077】

最後に図9に本実施例の効果を表した図を示す。図9において、図9(a)が取得したLFデータを元に、仮想撮像素子上の画像 $E_{L,\alpha\beta}$ を再構成したものである。図9(b)が本実施例を適用し、仮想撮像素子上HR画像データ $E_{H,\alpha\beta}$ を推定したものである。図9より、撮影後のピント位置の調整が高解像度で良好に行われていることが分かる。

【0078】

以上説明したように実施例1によれば、撮像して取得したデータを用いて、撮影後の仮想撮像素子の位置の調節(フォーカス位置の調整)を高解像度で行うことが可能になる。

【0079】

[実施例2]

実施例1では簡単のため、絞り103については考慮しなかったが、本実施例では撮影後に仮想撮像素子の位置の調整だけではなく、絞りも調節することが可能な画像処理装置について説明する。

【0080】

図10に絞り103の概念図を示す。図10において1001は絞りの有効口径が ϕ 時の開口である。

【0081】

本実施例では有効口径が ϕ で取得した画像を例えば $E_{H,\alpha\beta}$ と表すこととする。一つ目の添え字Hが解像度、二つ目の添え字bがレンズと撮像素子の距離、三つ目の添え字が絞りの有効口径を表す。

【0082】

<実施例2のブロック図>

本実施例の撮像装置のブロック図は高解像度画像再構成部を除いて、図1と同様である

10

20

30

40

50

。図11は、本実施例の高解像度画像再構成部1100のブロック図を示している。絞り情報入力端子1101は、ある絞りの時の有効口径（仮想絞り量）が入力される端子である。

【0083】

本実施例ではLFデータとHR画像データは、有効口径が最大の状態_{m a x}で取得するものとする。なお実際に撮影する際の絞りの有効口径は、撮影後に調節したい絞りの有効口径より大きければ_{m a x}でなくても良い。簡単のため、有効半径_{m a x}で取得した画像に対しては添え字_{m a x}を省略するものとする。

【0084】

<高解像度画像再構成部1100の動作>

高解像度画像再構成部1100は、HR画像と、LFデータから仮想撮像素子上で、ある絞りの時の高解像度画像を再構成するための処理部である。以下、高解像度画像再構成部1100の動作について図12のフローチャートに従って説明する。ここでは実施例1との差異のみ説明する。フォーカス位置情報と絞りの有効口径情報がそれぞれフォーカス位置情報入力端子203及び、絞り情報入力端子1101から入力される(S1201)。画像再構成部1102がLFデータを用いて、絞りの有効口径がの時の、レンズ102からbの距離にある仮想撮像素子上の画像E_{L, b}を再構成する(S1202)。高解像度画像推定部206が、劣化モデルと、E_{L, b}から絞りの有効口径がの時の仮想撮像素子上の高解像度画像を推定し(S1203)、高解像度画像再構成部1100の動作を終了する。

10

【0085】

<高解像度画像再構成部1100の動作原理>

ここでは高解像度画像再構成部1100の動作原理について説明する。

【0086】

基本的には実施例1と同様であり、実施例1との差異のみ説明する。

【0087】

絞りの有効口径がの時の仮想撮像素子上の再構成演算子を

【0088】

【数20】

$$P_{\alpha,\phi}[L](x,y) \equiv \frac{1}{\alpha^2 b^2} \int_{A(\phi)} L\left(\frac{(x-u)}{\alpha} + u, \frac{(y-v)}{\alpha} + v, u, v\right) du dv \quad (20)$$

30

【0089】

と定義する。ここで、A()は有効口径がの時の開口領域1001である。特に有効口径が最大の時は、

【0090】

【数21】

$$P_\alpha[L](x,y) \equiv \frac{1}{\alpha^2 b^2} \int_{A(\phi_{max})} L\left(\frac{(x-u)}{\alpha} + u, \frac{(y-v)}{\alpha} + v, u, v\right) du dv \quad (21)$$

【0091】

と略記するものとする。

40

【0092】

また、絞りの有効口径がの時のフィルタwによる畳み込み演算子を以下のように定義する。

【0093】

【数22】

$$C_{w,\phi}^2[L](x,y) \equiv \int_{A(\phi)} w(x-x', y-y') L(x', y') dx' dy' \quad (22)$$

【0094】

【数23】

$$C_{w,\phi}^4[L](x,y,u,v) \equiv \int_{A(\phi)} w(x-x',y-y',u-u',v-v') L(x',y',u',v') dx' dy' du' dv' \quad (23)$$

【0095】

式(9)と同様にして、

【0096】

【数24】

$$E_{L,ob,\phi} = C_{P_{a,\phi}[w]}^2 [E_{H,ob,\phi}] \quad (24)$$

【0097】

が成り立つ。有効口径が の時の仮想撮像素子上の画像 $E_{L,ob,\phi}$ は取得した LF データより、

【0098】

【数25】

$$E_{L,ob,\phi} = P_{a,\phi}[L_L] \quad (25)$$

【0099】

によって再構成することができる。あとは劣化モデル $P_{a,\phi}[w]$ を推定することができれば、

実施例1と同様にして、式(19)より $E_{H,ob,\phi}$ を推定することが可能になる。

【0100】

以下 $P_{a,\phi}[w]$ の推定方法について説明する。

【0101】

【数26】

$$P_{a,\phi}[w](x,y) = \frac{1}{\alpha^2 b^2} \int_{A(\phi)} w\left(\frac{x+(\alpha-1)u}{\alpha}, \frac{y+(\alpha-1)v}{\alpha}, u, v\right) du dv \quad (26)$$

【0102】

であるが、実施例1と同様にして、 w が 1 から大きく変動しない限り、以下の近似式が成り立つと考えられる。

【0103】

【数27】

$$P_{a,\phi}[w](x,y) \sim \frac{1}{\alpha^2 b^2} \int_{A(\phi)} w\left(\frac{x}{\alpha}, \frac{y}{\alpha}, u, v\right) du dv \quad (27)$$

【0104】

ここで、 w は高解像度 LF から低解像度 LF への劣化ローパスフィルタであることを考えると、 w の広がりは有効口径 ϕ に比べて十分小さいと考えられる。その概念図を図13に示す。図13はフィルタ w を1次元表示したものである。図13では絞りを極端に絞らない限り、劣化フィルタ w の広がりは絞りの有効口径 ϕ に比べて十分小さいことを表している。

【0105】

よって、

【0106】

【数28】

$$P_{a,\phi}[w](x,y) \sim \frac{1}{\alpha^2 b^2} \int_{A(\phi)} w\left(\frac{x}{\alpha}, \frac{y}{\alpha}, u, v\right) du dv \sim \frac{1}{\alpha^2 b^2} \int_{A(\phi_{max})} w\left(\frac{x}{\alpha}, \frac{y}{\alpha}, u, v\right) du dv = w_\alpha \quad (28)$$

【0107】

となる。

【0108】

劣化モデル w_α は取得した実施例1と同様にして、取得した LF データと HR 画像データとから推定することができる。式(28)より劣化モデル $P_{a,\phi}[w]$ を推定することができた。

10

20

30

40

50

【0109】

高解像度画像再構成部1100の動作をまとめると、劣化モデル推定部205が実施例1と同様にして、 $P_1 [w]$ を推定する。次に式(15)、式(28)に従って、 $P_1 [w]$ から $P_{1,1} [w]$ を導出する。画像再構成部1102が、式(25)により、有効口径が w 時の仮想撮像素子上の画像 $E_{L,b}$ を再構成する。高解像度画像推定部206が、実施例1と同様にして、有効口径が w 時の仮想撮像素子上HR画像データ $E_{H,b}$ を推定する。

【0110】

このことにより、高解像度画像再構成部1100は撮影後に、撮影したHR画像データとLFデータから、任意の仮想撮像素子上でかつ、任意の絞りの高解像度画像を再構成することが可能である。10

【0111】

以上説明したように第2の実施例によれば、撮像して取得したデータを用いて、撮影後に撮像素子の位置(フォーカス位置)、及び絞りの有効口径の調節を高解像度で行うことが可能になる。

【0112】**[実施例3]**

実施例1では可変アーチャ104を用いてLFデータと高解像度画像データを取得したが、本実施例では移動(収納)可能なマイクロレンズアレイを撮像素子の前面に設置してLFデータと高解像度画像を取得する撮像装置を説明する。20

【0113】**<実施例3のブロック図>**

図14は、本実施例を適用できる画像処理方法及び画像処理装置の実施の一形態を示すブロック図である。撮像装置1400は、マイクロレンズアレイ1401マイクロレンズアレイ制御部1402を有する。マイクロレンズアレイ制御部は、マイクロレンズアレイ1401の移動や収納を制御する。LFデータを取得する場合は、マイクロレンズアレイ制御部1402は、マイクロレンズアレイ1401を撮像素子106の前面に移動させる。また、HR画像データを取得する際は、マイクロレンズアレイ制御部1402は、マイクロレンズアレイ1401を撮像素子106と隣接する位置に移動するか、前面でない位置に移動、格納させる。LFデータ取得部1403は、マイクロレンズアレイから得られた信号をLFデータに変換する。なお高解像度画像再構成部200は1100に置き換えるても良い。30

【0114】

撮像装置1400の概念図を図15に示す。図15では、被写体301の一点から各方向に出た光がマイクロレンズ1501上で焦点を結び、マイクロレンズ1501によって分別される様が表されている。マイクロレンズ1501を介して入射された光線の撮像素子106上の像は、被写体301の1点の視差画像に対応している。点線で表されているマイクロレンズアレイ1401は、通常撮影モード時のマイクロレンズアレイの位置である。このようにマイクロレンズアレイが撮像素子の直前に配置されると、マイクロレンズアレイによる光線の屈折の像への影響は実質的になくなり、マイクロレンズが存在しない場合と等価のHR画像データが取得できる。HR画像の他の取得方法は、マイクロレンズを撮像素子の前から外れた位置(光線に影響を与えない位置)に移動させる方法であっても良い。40

【0115】

実施例3ではマイクロレンズアレイを撮像素子前に置いてLFデータを取得する一方、マイクロレンズアレイを移動または収納して、通常撮影モードでHR画像データを取得する。

【0116】

以上説明したように第3の実施例によれば、第1の実施例より撮影回数が少ない状態で、LFデータとHR画像データを取得し、撮影後に撮像素子の位置(フォーカス位置)、50

及び絞りの有効口径の調整を高解像度で行うことが可能になる。

【0117】

[実施例4]

本実施例ではビームスプリッターとマイクロレンズアレイを用いて、LFデータと高解像度画像を同時に取得する撮像装置を説明する。

【0118】

<実施例4のブロック図>

図16は、本実施例を適用できる画像処理方法及び画像処理装置の実施の一形態を示すブロック図である。図16において、1600は撮像装置である。1601は光線の経路を2つに分割する光線分割部である。これは例えばハーフミラーを用いれば良い。なお高解像度画像再構成部200は1100に置き換えるても良い。

10

【0119】

実施例4では光線の経路を2つに分割する。2つのうち1つはマイクロレンズアレイ1401を通すことで、実施例3と同様にしてLFデータを取得し、もう一方の光線情報からHR画像データを取得する。

【0120】

以上説明したように実施例4によれば、LFデータとHR画像データを同時に取得し、撮影後に撮像素子の位置(フォーカス位置)、及び絞りの有効口径の調節を高解像度で行うことが可能になる。

【0121】

20

[実施例5]

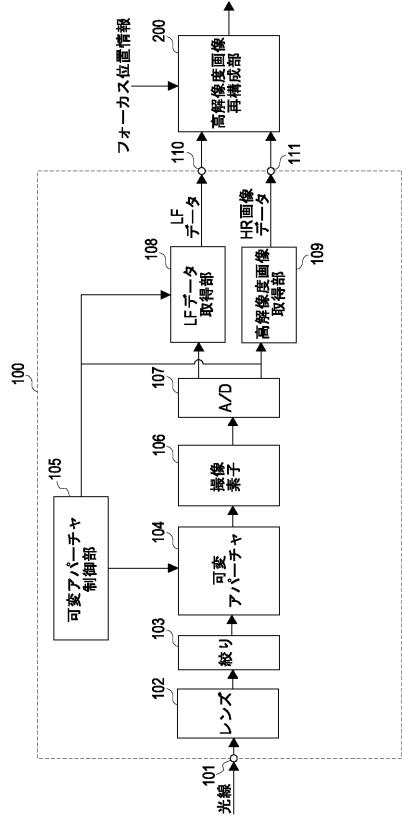
本実施例では、実施例1乃至4の高解像度画像再構成部等の一部又は全部の機能を撮像装置の外部にある情報処理装置(コンピュータ)により実施する。すなわち、撮像装置により取得したLFデータやHR画像データを、情報処理装置に媒体(ネットワーク媒体や記憶媒体)を介して送り、実施例1乃至4に記載されている高解像度画像再構成部等の一部又は全部の機能を情報処理装置により実現する。

【0122】

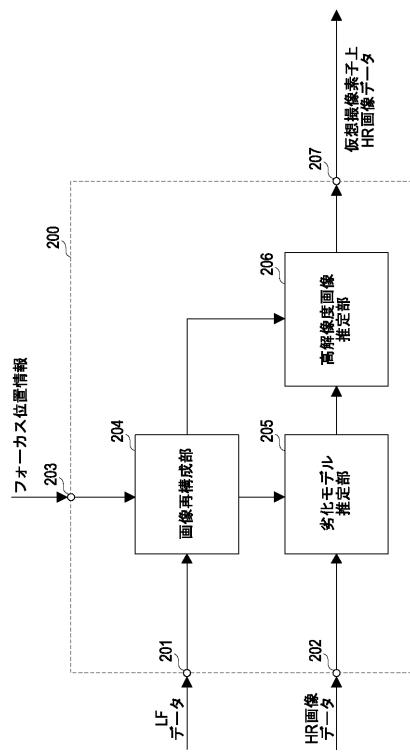
また、本実施例は、上述の実施例の機能(例えば、図5、図6のフローチャートにより示される機能)を実現するソフトウェアのプログラムコードを記録した記憶媒体を、システム或いは装置に供給することによっても実現できる。この場合、そのシステム或いは装置のコンピュータ(又はCPUやMPU)がコンピュータが読み取り可能に記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出し実行することにより、上述した実施例の機能を実現する。

30

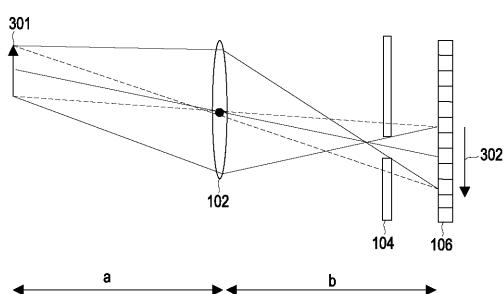
【図1】



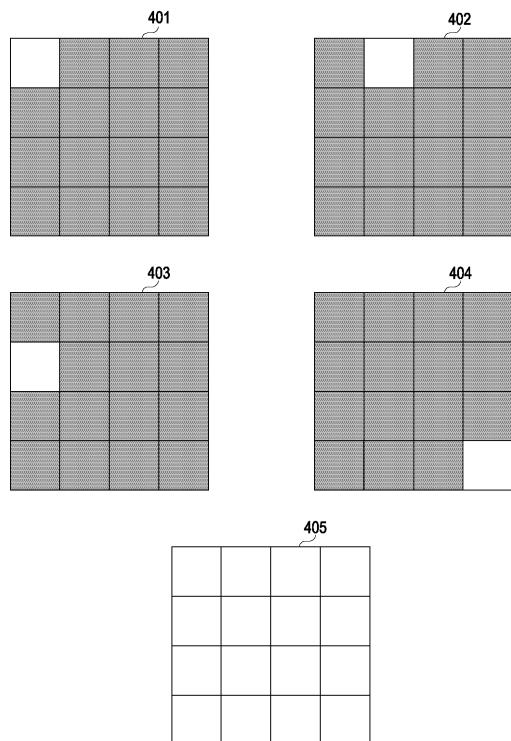
【図2】



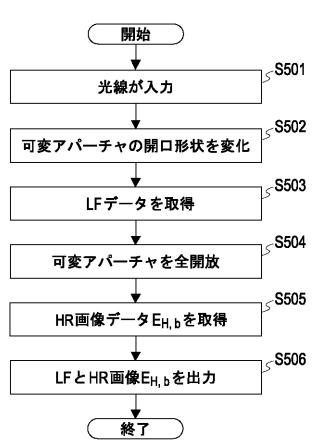
【図3】



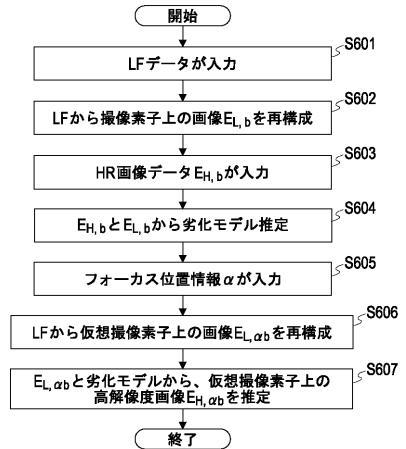
【図4】



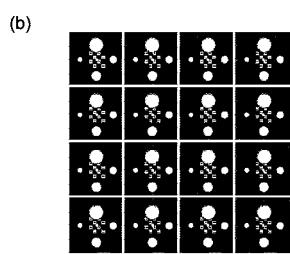
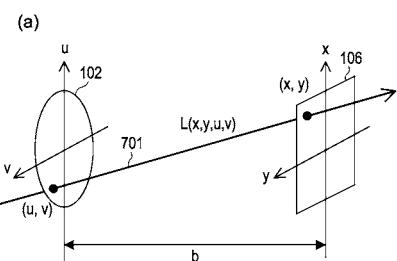
【図5】



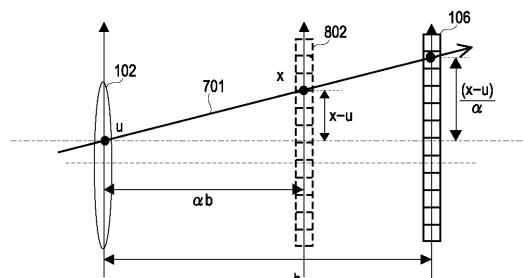
【図6】



【図7】

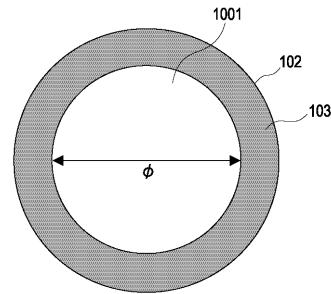
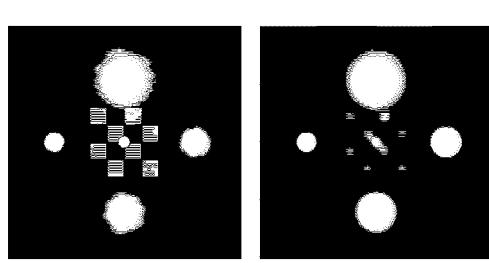
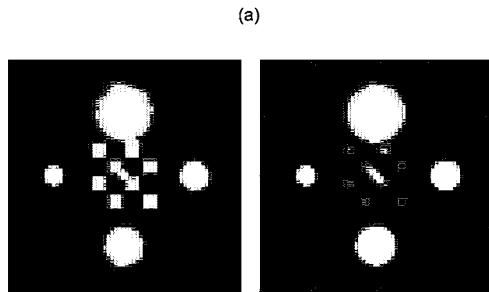


【図8】

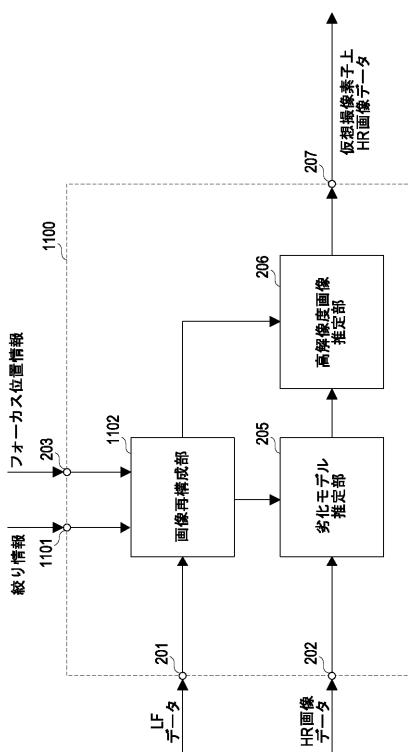


【図 9】

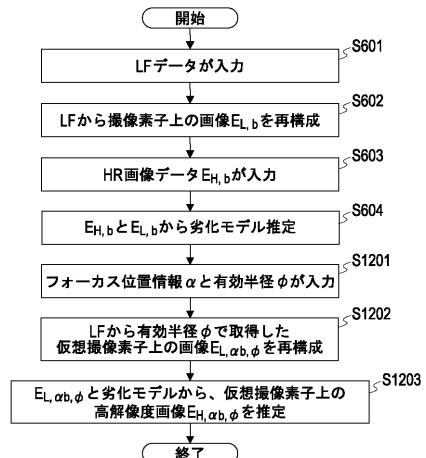
【図 10】



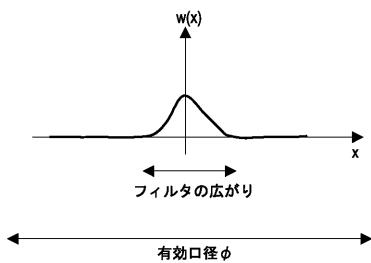
【図 11】



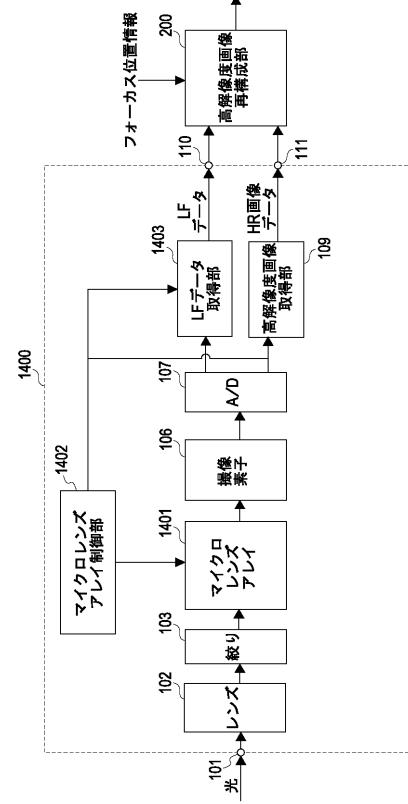
【図 12】



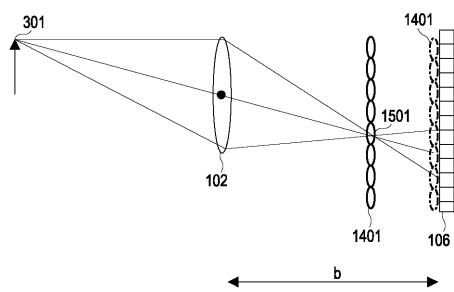
【図13】



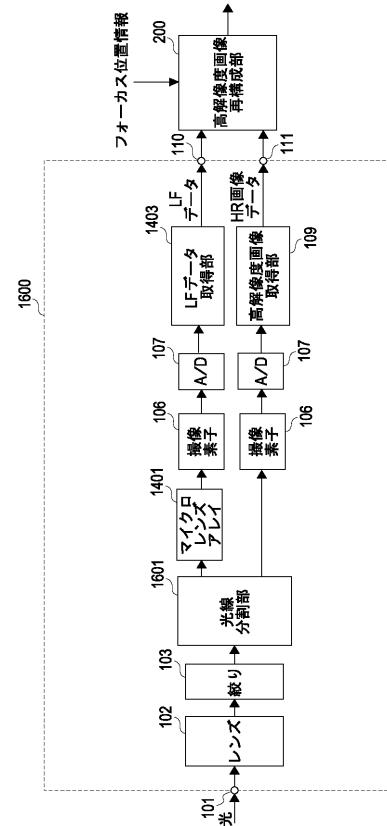
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2008-294741(JP,A)
特開2010-114758(JP,A)
米国特許第8289440(US,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 04 N	5 / 225
G 06 T	1 / 00
H 04 N	5 / 232