

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6236908号
(P6236908)

(45) 発行日 平成29年11月29日(2017.11.29)

(24) 登録日 平成29年11月10日(2017.11.10)

(51) Int.Cl.		F 1			
HO4N	5/232	(2006.01)	HO4N	5/232	290
HO4N	5/225	(2006.01)	HO4N	5/225	400
G06T	5/00	(2006.01)	G06T	5/00	710
G06T	5/20	(2006.01)	G06T	5/20	

請求項の数 11 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2013-131182 (P2013-131182)	(73) 特許権者	000006747 株式会社リコー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(22) 出願日	平成25年6月21日(2013.6.21)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
(65) 公開番号	特開2015-5933 (P2015-5933A)	(72) 発明者	笠原 亮介 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
(43) 公開日	平成27年1月8日(2015.1.8)	審査官	藤原 敬利
審査請求日	平成28年6月7日(2016.6.7)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 撮像装置、撮像システムおよび撮像方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

入射した光に収差を与える光学系と、
前記光学系を通過した前記光を画素に変換して画像を撮像する撮像手段と、
前記光学系の光軸上の所定範囲内の2箇所以上のデフォーカス位置における出力画像の画素の周波数特性が、被写体の理想画像の画素の周波数特性に対して、周波数の全域で大きい値をとる周波数特性および周波数の全域で小さい値をとる周波数特性を少なくともそれぞれ1つ以上含むようにする逆変換フィルタによって、前記所定範囲において前記撮像手段により撮像された前記画像に対して逆変換処理を行う逆変換手段と、
を備える撮像装置。

【請求項2】

入射した光に収差を与える光学系と、
前記光学系を通過した前記光を画素に変換して画像を撮像する撮像手段と、
前記光学系の光軸上の所定範囲内の2箇所以上のデフォーカス位置における出力画像の画素の周波数特性が、被写体の理想画像の画素の周波数特性に対して、大きい値をとる周波数特性および小さい値をとる周波数特性を少なくともそれぞれ1つ以上含むようにする逆変換フィルタによって、前記所定範囲において前記撮像手段により撮像された前記画像に対して逆変換処理を行う逆変換手段と、
を備え、

前記逆変換フィルタは、前記被写体の理想画像の画素と、前記所定範囲における2箇所

以上の前記デフォーカス位置それぞれの前記出力画像の画素との平均二乗誤差の和を最小にするフィルタである撮像装置。

【請求項 3】

前記逆変換フィルタは、前記被写体の前記理想画像の画素の周波数特性と、前記逆変換手段の前記出力画像の画素の周波数特性との平均二乗誤差を最小にするフィルタである請求項 1 または 2 に記載の撮像装置。

【請求項 4】

前記撮像手段によって撮像された前記画像の画素は、ノイズを含む請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の撮像装置。

【請求項 5】

前記逆変換フィルタの周波数特性 R は、下記の式 (1) で算出される請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の撮像装置。

【数 1】

$$R(\omega) = \frac{\sum_{n=1}^N \{ H_n(\omega)^* \} \cdot E[|S(\omega)|^2]}{\sum_{n=1}^N \{ |H_n(\omega)|^2 \} E[|S(\omega)|^2] + N \cdot E[|W(\omega)|^2]} \quad \dots \text{式(1)}$$

(R: 逆変換フィルタの周波数特性、S: 理想画像の画素の周波数特性、

W: ノイズの周波数特性、

H_n: 所定範囲における n 番目の位置の光学系の点像分布関数の周波数特性、

N(≥2): 所定範囲におけるデフォーカス位置の数、ω: 空間周波数)

【請求項 6】

前記理想画像の画素の周波数特性 S は、入射した前記被写体から出る光に収差を与えない光学系を通過した光に対して前記撮像手段が変換した画素の周波数特性である請求項 5 に記載の撮像装置。

【請求項 7】

前記理想画像の画素の周波数特性 S は、定数である請求項 5 に記載の撮像装置。

【請求項 8】

前記光学系は、前記被写体から出る前記光に前記収差を与える位相板を含む請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の撮像装置。

【請求項 9】

前記光学系は、前記被写体から出る前記光に前記収差として球面収差を与えるレンズを含む請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の撮像装置。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の撮像装置と、

前記撮像装置から前記逆変換処理が行われた前記画像を受信する通信手段と、該画像を表示する表示手段とを備える情報処理装置と、

を備える撮像システム。

【請求項 11】

光学系により入射した光に収差を与えるステップと、

前記収差を与えた前記光を画素に変換して画像を撮像するステップと、

前記光学系の光軸上の所定範囲内の 2 箇所以上のデフォーカス位置における出力画像の画素の周波数特性が、被写体の理想画像の画素の周波数特性に対して、周波数の全域で大きい値をとる周波数特性および周波数の全域で小さい値をとる周波数特性を少なくともそれぞれ 1 つ以上含むようにする逆変換フィルタによって、前記所定範囲において撮像した前記画像に対して逆変換処理を行うステップと、

を有する撮像方法。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、撮像装置、撮像システムおよび撮像方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、情報のデジタル化の発展に伴い、撮像装置に分野においてもデジタル化の発展が著しい。特に、デジタルカメラに代表される撮像装置において、撮像面は従来のフィルムに置き換わって固体撮像素子が使用されている。固体撮像素子（以下、単に撮像素子という）として、CCD（Charge Coupled Device）センサまたはCMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）センサ等が使用されている。

10

【0003】

このように、撮像素子を使用した撮像装置は、被写体からの光を光学系によって取り込み、固体撮像素子によって光を電気信号に変換して抽出するものである。このような撮像装置として、デジタルカメラの他、ビデオカメラ、バーコードリーダ、携帯電話機、携帯情報端末（PDA：Personal Digital Assistant）および産業用カメラ等が挙げられる。

【0004】

上述のような撮像装置においては、光学系によって、被写界深度を拡張するいわゆる被写界深度拡張カメラ（EDoF：Extended Depth of Field）がある。被写界深度とは、カメラのレンズからある距離にある被写体に対して、焦点が合っていると許容できるレンズの光軸方向の距離範囲のことをいう。

20

【0005】

上述の光学系による被写界深度の拡張について具体的に説明する。光学系に含まれるレンズおよび位相板は、撮像素子に入射される被写体の光に収差を与えて点像分布関数（PSF：Point Spread Function）を付加する働きをする。例えば、レンズは、収差として、撮像素子に入射される被写体の光に球面収差を与える。光学系は、収差によって撮像素子で撮像する画像がぼけた状態にする代わりに広い被写界深度でそのぼけが一定となるようにする。したがって、光学系によってぼけた画像は、所定のMTF（Modulation Transfer Function）の値が得られるように補正する必要がある。MTFは、被写体の持つコントラストを、どれくらい忠実に再現できるかを数値化した値、すなわちコントラストの再現率を示す。このような、光学系によってぼけた画像に対して、ぼけを補正する撮像装置として、点像分布関数の逆変換処理を施すことによって、MTFを向上させ、高解像度の画像に補正する装置が提案されている（特許文献1参照）。逆変換処理は、光学系によってぼけた画像を形成する各画素の情報（以下、画素から出力される情報（値）自体を画素というものとする）に対して、逆変換フィルタによるフィルタ処理を施すことにより画像のぼけを補正することによって実現される。

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0006】

しかしながら、特許文献1に記載された撮像装置は、光学的に収差を与えて被写界深度を拡張し、画像のぼけを逆変換フィルタによって補正しているが、一点のフォーカス位置におけるMTFに基づいて逆変換フィルタを導出している。したがって、被写界深度において光学的に拡大されたスポットのうち逆変換フィルタを導出したフォーカス位置のスポットの形状からはずれた位置においては、正常に補正ができないという問題点があった。つまり、正常に逆変換フィルタによる補正が可能な範囲はスポットの形状が変化しない範囲にとどまり、その範囲までしか被写界深度を拡張することができないという問題点があった。

【0007】

50

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、より広い範囲にまで被写界深度を拡張することができる撮像装置、撮像システムおよび撮像方法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】

【0008】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る撮像装置は、入射した光に収差を与える光学系と、前記光学系を通過した前記光を画素に変換して画像を撮像する撮像手段と、前記光学系の光軸上の所定範囲内の2箇所以上のデフォーカス位置における出力画像の画素の周波数特性が、前記被写体の理想画像の画素の周波数特性に対して、周波数の全域で大きい値をとる周波数特性および周波数の全域で小さい値をとる周波数特性を少なくともそれぞれ1つ以上含むようにする逆変換フィルタによって、前記所定範囲において前記撮像手段により撮像された画像に対して逆変換処理を行う逆変換手段と、を備えることを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、より広い範囲にまで被写界深度を拡張することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、実施の形態の撮像システムの全体構成の一例を示す図である。

【図2】図2は、実施の形態の情報処理装置の構成の一例を示す図である。

【図3】図3は、実施の形態の撮像装置の構成の一例を示す図である。

20

【図4】図4は、実施の形態の撮像装置の画像処理部の構成の一例を示す図である。

【図5】図5は、実施の形態の撮像装置の撮像素子によって検出される画像の一例を示す図である。

【図6】図6は、実施の形態の画像処理部の画像バッファ部の構成の一例を示す図である。

。

【図7】図7は、撮像素子から出力される画素が画像バッファ部に入力される動作を示すタイミングチャートである。

【図8】図8は、実施の形態の画像処理部のフィルタ処理部の構成の一例を示す図である。

。

【図9】図9は、逆変換フィルタの構成の一例を示す図である。

30

【図10】図10は、画像を逆変換フィルタによってフィルタ処理することを説明する図である。

【図11】図11は、画像において逆変換フィルタのフィルタ処理の対象となる対象部分画像をスキャンする動作を説明する図である。

【図12】図12は、実施の形態の画像処理部のフィルタ処理部の逆変換フィルタを決定するための周波数特性を演算する流れを示すフローチャートである。

【図13】図13は、光学系を通過した光によって検出された画像の空間周波数特性を示す図である。

【図14】図14は、逆変換処理が行われた画像の空間周波数特性を示す図である。

【発明を実施するための形態】

40

【0011】

以下に、図面を参照しながら、本発明に係る撮像装置、撮像システムおよび撮像方法の実施の形態を詳細に説明する。また、以下の実施の形態によって本発明が限定されるものではなく、以下の実施の形態における構成要素には、当業者が容易に想到できるもの、実質的に同一のもの、およびいわゆる均等の範囲のものが含まれる。さらに、以下の実施の形態の要旨を逸脱しない範囲で構成要素の種々の省略、置換および変更を行うことができる。

【0012】

(実施の形態)

<撮像システムの全体構成>

50

図1は、実施の形態の撮像システムの全体構成の一例を示す図である。図1を参照しながら、本実施の形態の撮像システム500の構成について説明する。

【0013】

図1に示すように、本実施の形態の撮像システム500は、撮像装置1と、PC2と、を備えている。撮像装置1とPC2とは、Ethernet（登録商標）ケーブル等の通信ケーブル3によって通信可能に接続されている。

【0014】

撮像装置1は、被写体4から出る光を電気信号に変換することによって被写体4を撮像し、画像の情報（以下、単に画像という）にして通信ケーブル3を介してPC2へ送信する。PC2は、撮像装置1から受信した画像に対して所定の処理を実行する。

10

【0015】

例えば、撮像装置1は、生産ラインを流れる製品に添付されたバーコードを撮像して、バーコードの画像をPC2に送信する。PC2は、受信した画像からバーコードの情報を読み出して解析する。

【0016】

なお、図1に示すように、撮像システム500は、撮像装置1とPC2とが通信ケーブル3を介してデータを通信する有線通信方式のシステムとしているが、これに限定されるものではない。例えば、撮像装置1とPC2とは、Wi-Fi（Wireless Fidelity）等の無線通信方式によって互いにデータが通信可能であってもよい。

【0017】

20

また、撮像装置1およびPC2が生産ラインにおいて使用される場合、撮像システム500は、PC2がPLC（Programmable Logic Controller）等に通信可能に接続されている構成としてもよい。この場合、撮像システム500の動作として、以下の動作が一例として挙げられる。撮像装置1は、生産ラインを流れる製品に添付されたバーコードを撮像して、バーコードの画像をPC2に送信する。PC2は、受信したバーコードの画像から、生産ラインを流れている製品の品番を判定する。PC2は、判定した品番が、生産ラインにおいて段替えされている品番と不一致である場合、判定した品番に対応する製品は異なる品番の製品であることを示す信号をPLCに送信する。PLCは、PC2から異なる品番の製品であることを示す信号を受信した場合、その製品を生産ラインから除去するように生産ラインの動作を制御する。

30

【0018】

<情報処理装置の構成>

図2は、実施の形態の情報処理装置の構成の一例を示す図である。図2を参照しながら、情報処理装置の一例であるPC2の構成について説明する。

【0019】

図2に示すように、情報処理装置の一例であるPC2は、通信部21と、操作部22と、表示部23と、記憶部24と、外部記憶装置25と、制御部26と、を備えている。上記の各部は、バス27によって接続され、互いにデータの送受信が可能となっている。

【0020】

通信部21は、通信ケーブル3を介して、撮像装置1と通信する装置である。通信部21は、例えば、NIC（Network Interface Card）等の通信装置によって実現される。通信部21の通信プロトコルは、例えば、TCP（Transmission Control Protocol）/IP（Internet Protocol）またはUDP（User Datagram Protocol）/IP等によって実現される。

40

【0021】

操作部22は、ユーザによって制御部26に対して所定の処理を実行させるための操作入力を行う装置である。操作部22は、例えば、マウス、キーボード、テンキー、タッチパッドまたはタッチパネルにおける操作入力機能によって実現される。

【0022】

50

表示部 23 は、制御部 26 により実行されているアプリケーション画像等を表示する装置である。表示部 23 は、例えば、CRT (Cathode Ray Tube) ディスプレイ、液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイまたは有機 EL (Electroluminescence) ディスプレイ等によって実現される。

【0023】

記憶部 24 は、PC2 で実行される各種プログラムおよび PC2 で行われる各種処理に使用されるデータ等を記憶する装置である。記憶部 24 は、例えば、ROM (Read Only Memory) および RAM (Random Access Memory) 等の記憶装置によって実現される。

【0024】

外部記憶装置 25 は、画像、プログラムおよびフォントデータ等を蓄積して記憶する記憶装置である。外部記憶装置 25 は、例えば、HDD (Hard Disk Drive)、SSD (Solid State Drive)、光ディスク、または光磁気ディスク (MO: Magneto-Optical Disk) 等の記憶装置によって実現される。

【0025】

制御部 26 は、PC2 の各部の動作を制御する装置である。制御部 26 は、例えば、CPU (Central Processing Unit) および ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等で実現される。

【0026】

< 撮像装置の構成 >

図 3 は、実施の形態の撮像装置の構成の一例を示す図である。図 3 を参照しながら、本実施の形態の撮像装置 1 の構成について説明する。

【0027】

図 3 に示すように、撮像装置 1 は、レンズユニット 11 (光学系) と、撮像素子 12 (撮像手段) と、画像処理部 14 と、通信部 15 と、を備えている。

【0028】

レンズユニット 11 は、被写体 4 から出る光を集光し、撮像素子 12 に対して結像させるユニットである。レンズユニット 11 は、1 枚以上のレンズで構成された光学系によって実現される。レンズユニット 11 は、位相板 11a と、絞り 11b とを備えている。被写体 4 は、例えば、人物、被監視物、バーコード、2 次元コードまたは文字列等である。

【0029】

位相板 11a は、レンズユニット 11 に入射する光に対して収差を与える作用を有する。その結果、位相板 11a は、撮像素子 12 に入射される光に対して点像分布関数を付加する作用を奏し、撮像素子 12 で撮像される画像がぼけた状態とする代わりに広い被写界深度でそのぼけが一定となるようにする。

【0030】

絞り 11b は、レンズユニット 11 に入射する光の量を自在に調整する部材であり、位相板 11a の近傍に配置されている。

【0031】

撮像素子 12 は、レンズユニット 11 に入射する被写体からの光を電気信号に変換することによって被写体 4 を撮像して画像を生成する固体撮像素子である。撮像素子 12 は、固体撮像素子を構成する各画素によって撮像した画像を構成する画素を出力する。撮像素子 12 は、例えば、CCD センサまたは CMOS センサ等によって実現される。

【0032】

画像処理部 14 は、撮像素子 12 から出力される画像から、フィルタ処理を施した画像を生成する装置である。

【0033】

通信部 15 は、通信ケーブル 3 を介して、PC2 と通信する装置である。通信部 15 は

10

20

30

40

50

、例えば、画像処理部 1 4 から出力される画像を P C 2 に対して送信する。通信部 1 5 は、例えば、N I C 等の通信装置によって実現される。通信部 1 5 の通信プロトコルは、例えば、T C P / I P または U D P / I P 等によって実現される。

【 0 0 3 4 】

< 画像処理部の構成および動作 >

図 4 は、実施の形態の撮像装置の画像処理部の構成の一例を示す図である。図 5 は、実施の形態の撮像装置の撮像素子によって検出される画像の一例を示す図である。図 4 を参照しながら、本実施の形態の撮像装置 1 の画像処理部 1 4 の構成について説明する。

【 0 0 3 5 】

撮像素子 1 2 は、上述のように、レンズユニット 1 1 に入射する被写体からの光を電気信号に変換することにより被写体 4 を撮像し、画像を生成する固体撮像素子である。以下、撮像素子 1 2 は、V G A の画像を形成して出力するものとして説明する。具体的には、撮像素子 1 2 は、図 5 に示すように、X 方向に 6 4 0 個、Y 方向に 4 8 0 個の検出素子によって、6 4 0 × 4 8 0 のマトリックス状に配列された画素で構成される画像である検出画像 1 0 1 を検出する。

10

【 0 0 3 6 】

なお、撮像素子 1 2 が検出する画像の大きさは 6 4 0 × 4 8 0 の V G A の画像であるものとしたが、これに限定されるものではなく、異なる大きさの画像であってもよい。

【 0 0 3 7 】

図 4 に示すように、本実施の形態の画像処理部 1 4 は、画像バッファ部 1 4 1 と、フィルタ処理部 1 4 3 (逆変換手段) とを備えている。

20

【 0 0 3 8 】

画像バッファ部 1 4 1 は、撮像素子 1 2 から出力される画素を順に入力してバッファリングする装置である。画像バッファ部 1 4 1 の具体的な構成および動作については、図 6 および 7 において後述する。

【 0 0 3 9 】

フィルタ処理部 1 4 3 は、画像バッファ部 1 4 1 から出力される画素に対して、フィルタ回路によって、所定のフィルタ処理を行う。本実施の形態においては、フィルタ処理に使用するフィルタとして、位相板 1 1 a の作用によって点像分布関数を与えられたぼけた画像に対して、ぼけを補正する逆変換処理をするための逆変換フィルタを例に説明する。

30

【 0 0 4 0 】

< < 画像バッファ部 1 4 1 の構成および動作 > >

図 6 は、実施の形態の画像処理部の画像バッファ部の構成の一例を示す図である。図 7 は、撮像素子から出力される画素が画像バッファ部に入力される動作を示すタイミングチャートである。図 6 および 7 を参照しながら、画像処理部 1 4 の画像バッファ部 1 4 1 の構成および動作について説明する。

【 0 0 4 1 】

画像バッファ部 1 4 1 は、図 6 に示すように、レジスタ 1 4 1 1 a ~ 1 4 1 1 d と、ラインバッファ 1 4 1 2 a ~ 1 4 1 2 d と、を備えている。画像バッファ部 1 4 1 は、撮像素子 1 2 から出力される画素を入力部 1 4 1 0 から入力し、バッファリングした画素を出力部 1 4 1 3 a ~ 1 4 1 3 e から出力する。撮像素子 1 2 によって検出される画像の 6 4 0 × 4 8 0 の各画素について、X 方向の X 番目および Y 方向の Y 番目の画素を (X , Y) の画素というものとする。

40

【 0 0 4 2 】

図 6 に示すように、レジスタ 1 4 1 1 a の入力側は、入力部 1 4 1 0 および出力部 1 4 1 3 a に接続されている。レジスタ 1 4 1 1 a ~ 1 4 1 1 d の出力側は、それぞれラインバッファ 1 4 1 2 a ~ 1 4 1 2 d の入力側に接続されている。ラインバッファ 1 4 1 2 a ~ 1 4 1 2 c の出力側は、それぞれレジスタ 1 4 1 1 b ~ 1 4 1 1 d の入力側に接続され

50

ている。そして、ラインバッファ1412a~1412dの出力側は、それぞれ出力部1413b~1413eに接続されている。

【0043】

次に、図7を参照しながら、撮像素子12によって検出された画像の出力動作について説明する。撮像素子12は、検出した画素をX方向の1水平ラインずつ走査しながら、その1水平ラインに含まれる画素を出力する。具体的には、撮像素子12は、Y方向の1番目の水平ラインに含まれる画素を、X方向の1番目の画素から640番目の画素まで順に出力する。撮像素子12は、上記の動作を、Y方向の480番目までの水平ラインに含まれる画素の出力をそれぞれ行う。

【0044】

上記の動作を図7に示すタイミングチャートに基づいて説明する。図7に示すように、撮像素子12は、有効フレーム信号がオン状態のとき、1フレーム分、すなわち1画像分の画素を出力する。撮像素子12において、有効フレーム信号がオン状態になってからフレーム開始期間Aを経て、Y方向の1番目の水平ラインの画素の出力許可を示す有効ライン信号L1がオン状態になる。撮像素子12は、有効ライン信号L1がオン状態になっている有効データ期間Tの間に、Y方向の1番目の水平ラインを走査し、その水平ラインに含まれるX方向の1~640番目の画素((1,1)~(640,1)の画素)を順に出力する。撮像素子12によってY方向の1番目の水平ラインの画素が出力された後、有効ライン信号L1がオフ状態になる。

【0045】

撮像素子12において、有効ライン信号L1がオフ状態になってから水平ブランキング期間Bを経て、Y方向の2番目の水平ラインの画素の出力許可を示す有効ライン信号L2がオン状態になる。撮像素子12は、有効ライン信号L2がオン状態になっている有効データ期間Tの間に、Y方向の2番目の水平ラインを走査し、その水平ラインに含まれるX方向の1~640番目の画素((1,2)~(640,2)の画素)を順に出力する。撮像素子12によってY方向の2番目の水平ラインの画素が出力された後、有効ライン信号L2がオフ状態になる。

【0046】

撮像素子12は、以上の動作について、有効ライン信号L480がオン状態になっている有効データ期間Tの間に、Y方向の480番目の水平ラインに含まれるX方向の1~640番目の画素を出力するまで行う。撮像素子12において、有効ライン信号L480がオフ状態になってからフレーム終了期間Cを経て、有効フレーム信号がオフ状態になる。以上の動作によって、撮像素子12による1フレーム分の画素の出力が終了する。また、撮像素子12において、有効フレーム信号がオフ状態になってから垂直ブランキング期間Dを経て、再び有効フレーム信号がオン状態になり、次の1フレーム分の画素の出力が開始される。

【0047】

次に、図6を参照しながら、画像バッファ部141における撮像素子12から出力される画素のバッファリング処理について説明する。画像バッファ部141は、撮像素子12から出力される画素を入力部1410から入力する。具体的には、画像バッファ部141は、まず、Y方向の1番目の水平ラインについて、撮像素子12から入力した(1,1)の画素を、出力部1413aから出力すると共に、レジスタ1411aに格納する。

【0048】

画像バッファ部141は、次のタイミングで、レジスタ1411aに格納した画素をラインバッファ1412aの記憶領域1aに格納する。そして、画像バッファ部141は、撮像素子12から次に入力した(2,1)の画素を出力部1413aから出力すると共に、レジスタ1411aに格納する。

【0049】

画像バッファ部141は、次のタイミングで、記憶領域1aに格納した画素をラインバッファ1412aの記憶領域2aにシフトして格納し、レジスタ1411aに格納した画

10

20

30

40

50

素を記憶領域 1 a に格納する。そして、画像バッファ部 1 4 1 は、撮像素子 1 2 から次に入力した (3 , 1) の画素を出力部 1 4 1 3 a から出力すると共に、レジスタ 1 4 1 1 a に格納する。

【 0 0 5 0 】

以上の動作を繰り返すことにより、画像バッファ部 1 4 1 は、撮像素子 1 2 から入力した Y 方向の 1 番目の水平ラインの画素を出力部 1 4 1 3 a から出力する。それと共に、画像バッファ部 1 4 1 は、Y 方向の 1 番目の水平ラインの 1 ~ 6 3 9 番目の画素をラインバッファ 1 4 1 2 a の記憶領域 6 3 9 a ~ 1 a にそれぞれ格納し、6 4 0 番目の画素をレジスタ 1 4 1 1 a に格納する。

【 0 0 5 1 】

次に、画像バッファ部 1 4 1 は、ラインバッファ 1 4 1 2 a の記憶領域 1 a ~ 6 3 9 a に格納した画素を記憶領域 2 a ~ 6 4 0 a にシフトして格納し、レジスタ 1 4 1 1 a に格納した画素を記憶領域 1 a に格納する。画像バッファ部 1 4 1 は、記憶領域 6 4 0 a に格納した (1 , 1) の画素を出力部 1 4 1 3 b から出力すると共に、レジスタ 1 4 1 1 b に格納する。そして、画像バッファ部 1 4 1 は、Y 方向の 2 番目の水平ラインについて、撮像素子 1 2 から入力した (1 , 2) の画素を出力部 1 4 1 3 a から出力すると共に、レジスタ 1 4 1 1 a に格納する。すなわち、画像バッファ部 1 4 1 は、X 方向の値が同一の画素である (1 , 1) および (1 , 2) の画素を、出力部 1 4 1 3 b および 1 4 1 3 a からそれぞれ出力する。

【 0 0 5 2 】

画像バッファ部 1 4 1 は、次のタイミングで、レジスタ 1 4 1 1 b に格納した画素をラインバッファ 1 4 1 2 b の記憶領域 1 b に格納する。画像バッファ部 1 4 1 は、ラインバッファ 1 4 1 2 a の記憶領域 1 a ~ 6 3 9 a に格納した画素を記憶領域 2 a ~ 6 4 0 a にシフトして格納し、レジスタ 1 4 1 1 a に格納した画素を記憶領域 1 a に格納する。画像バッファ部 1 4 1 は、記憶領域 6 4 0 a に格納した (2 , 1) の画素を出力部 1 4 1 3 b から出力すると共に、レジスタ 1 4 1 1 b に格納する。そして、画像バッファ部 1 4 1 は、撮像素子 1 2 から次に入力した (2 , 2) の画素を出力部 1 4 1 3 a から出力すると共に、レジスタ 1 4 1 1 a に格納する。

【 0 0 5 3 】

画像バッファ部 1 4 1 は、次のタイミングで、記憶領域 1 b に格納した画素をラインバッファ 1 4 1 2 b の記憶領域 2 b にシフトして格納し、レジスタ 1 4 1 1 b に格納した画素を記憶領域 1 b に格納する。画像バッファ部 1 4 1 は、ラインバッファ 1 4 1 2 a の記憶領域 1 a ~ 6 3 9 a に格納した画素を記憶領域 2 a ~ 6 4 0 a にシフトして格納し、レジスタ 1 4 1 1 a に格納した画素を記憶領域 1 a に格納する。画像バッファ部 1 4 1 は、記憶領域 6 4 0 a に格納した (3 , 1) の画素を出力部 1 4 1 3 b から出力すると共に、レジスタ 1 4 1 1 b に格納する。そして、画像バッファ部 1 4 1 は、撮像素子 1 2 から次に入力した (3 , 2) の画素を出力部 1 4 1 3 a から出力すると共に、レジスタ 1 4 1 1 a に格納する。

【 0 0 5 4 】

以上の動作を繰り返すことにより、画像バッファ部 1 4 1 は、撮像素子 1 2 から入力した Y 方向の 1 および 2 番目の水平ラインの画素について X 方向の値が同一の画素を、出力部 1 4 1 3 a および 1 4 1 3 b からそれぞれ同一のタイミングで出力する。それと共に、画像バッファ部 1 4 1 は、Y 方向の 1 番目の水平ラインの 1 ~ 6 3 9 番目の画素をラインバッファ 1 4 1 2 b の記憶領域 1 b ~ 6 3 9 b にそれぞれ格納し、6 4 0 番目の画素をレジスタ 1 4 1 1 b に格納する。さらに、画像バッファ部 1 4 1 は、Y 方向の 2 番目の水平ラインの 1 ~ 6 3 9 番目の画素をラインバッファ 1 4 1 2 a の記憶領域 1 a ~ 6 3 9 a にそれぞれ格納し、6 4 0 番目の画素をレジスタ 1 4 1 1 a に格納する。

【 0 0 5 5 】

以上の動作のように、画像バッファ部 1 4 1 は、撮像素子 1 2 から入力した各水平ラインの画素をラインバッファ 1 4 1 2 a ~ 1 4 1 2 d にバッファリングする。それと共に、

10

20

30

40

50

画像バッファ部 141 は、X 方向の値が同一の画素、すなわち、 $(X, Y - 4)$ 、 $(X, Y - 3)$ 、 $(X, Y - 2)$ 、 $(X, Y - 1)$ および (X, Y) の画素を、出力部 1413a ~ 1413e からそれぞれ同一のタイミングで出力する。

【0056】

なお、図 6 は画像バッファ部 141 の構成の一例を示すものであり、この構成に限定されるものではなく、上述した画像バッファ部 141 のバッファリング処理と同様の作用を奏する構成であればよい。

【0057】

<<フィルタ処理部 143 の構成および動作>>

図 8 は、実施の形態の画像処理部のフィルタ処理部の構成の一例を示す図である。図 9 は、逆変換フィルタの構成の一例を示す図である。図 10 は、画像を逆変換フィルタによってフィルタ処理することを説明する図である。図 11 は、画像において逆変換フィルタのフィルタ処理の対象となる対象部分画像をスキャンする動作を説明する図である。図 8 ~ 11 を参照しながら、画像処理部 14 のフィルタ処理部 143 の構成および動作について説明する。

【0058】

フィルタ処理部 143 は、図 8 に示すように、レジスタ 1432a ~ 1432e、1433a ~ 1433e、1434a ~ 1434e、1435a ~ 1435e、1436a ~ 1436e および 1437a ~ 1437e を備えている。フィルタ処理部 143 は、乗算器 1438a ~ 1438e、1439a ~ 1439e、1440a ~ 1440e、1441a ~ 1441e および 1442a ~ 1442e を備えている。フィルタ処理部 143 は、加算器 1443a ~ 1443e、1444a ~ 1444e、1445a ~ 1445e、1446a ~ 1446e および 1447a ~ 1447c を備えている。フィルタ処理部 143 は、画像バッファ部 141 から出力される画素を入力部 1431a ~ 1431e から入力する。そして、フィルタ処理部 143 は、入力した画素について、導出方法を後述するフィルタ係数を有する逆変換フィルタによってコンボリューション演算（畳み込み演算）を行い、演算値を出力部 1448 から出力する。

【0059】

乗算器 1438a ~ 1438e、1439a ~ 1439e、1440a ~ 1440e、1441a ~ 1441e および 1442a ~ 1442e は、入力側から入力される画素の値とフィルタ係数との乗算値を出力する回路である。具体的には、乗算器 1438a ~ 1442a は、それぞれフィルタ係数 $a_{55} \sim a_{51}$ と画素との乗算値を出力する。乗算器 1438b ~ 1442b は、それぞれフィルタ係数 $a_{45} \sim a_{41}$ と画素との乗算値を出力する。乗算器 1438c ~ 1442c は、それぞれフィルタ係数 $a_{35} \sim a_{31}$ と画素との乗算値を出力する。乗算器 1438d ~ 1442d は、それぞれフィルタ係数 $a_{25} \sim a_{21}$ と画素との乗算値を出力する。乗算器 1438e ~ 1442e は、それぞれフィルタ係数 $a_{15} \sim a_{11}$ と画素との乗算値を出力する。加算器 1443a ~ 1443e、1444a ~ 1444e、1445a ~ 1445e、1446a ~ 1446e、ならびに 1447a および 1447c は、入力側から入力される 2 つのデータの値の加算値を出力する回路である。加算器 1447b は、入力側から入力される 3 つのデータの値の加算値を出力する回路である。

【0060】

図 8 に示すように、入力部 1431a ~ 1431e は、それぞれレジスタ 1432a ~ 1432e の入力側に接続されている。レジスタ 1432a ~ 1437a は、直列に接続している。レジスタ 1432b ~ 1437b、1432c ~ 1437c、1432d ~ 1437d および 1432e ~ 1437e のそれぞれについても同様である。

【0061】

入力部 1431a ~ 1431e は、それぞれ乗算器 1438a ~ 1438e の入力側に接続されている。レジスタ 1432a ~ 1435a の出力側は、それぞれ乗算器 1439a ~ 1442a の入力側に接続されている。レジスタ 1432b ~ 1435b と乗算器 1

10

20

30

40

50

4 3 9 b ~ 1 4 4 2 b との接続関係、レジスタ 1 4 3 2 c ~ 1 4 3 5 c と乗算器 1 4 3 9 c ~ 1 4 4 2 c との接続関係、レジスタ 1 4 3 2 d ~ 1 4 3 5 d と乗算器 1 4 3 9 d ~ 1 4 4 2 d との接続関係、およびレジスタ 1 4 3 2 e ~ 1 4 3 5 e と乗算器 1 4 3 9 e ~ 1 4 4 2 e との接続関係もそれぞれ同様である。

【 0 0 6 2 】

乗算器 1 4 3 8 a ~ 1 4 3 8 e の出力側は、それぞれ加算器 1 4 4 3 a ~ 1 4 4 3 e の入力側に接続されている。加算器 1 4 4 3 a ~ 1 4 4 6 a は、直列に接続している。加算器 1 4 4 3 b ~ 1 4 4 6 b、1 4 4 3 c ~ 1 4 4 6 c、1 4 4 3 d ~ 1 4 4 6 d および 1 4 4 3 e ~ 1 4 4 6 e のそれぞれについても同様である。

【 0 0 6 3 】

乗算器 1 4 3 9 a ~ 1 4 4 2 a の出力側は、それぞれ加算器 1 4 4 3 a ~ 1 4 4 6 a の入力側に接続されている。乗算器 1 4 3 9 b ~ 1 4 4 2 b と加算器 1 4 4 3 b ~ 1 4 4 6 b との接続関係、乗算器 1 4 3 9 c ~ 1 4 4 2 c と加算器 1 4 4 3 c ~ 1 4 4 6 c との接続関係、乗算器 1 4 3 9 d ~ 1 4 4 2 d と加算器 1 4 4 3 d ~ 1 4 4 6 d との接続関係、および乗算器 1 4 3 9 e ~ 1 4 4 2 e と加算器 1 4 4 3 e ~ 1 4 4 6 e との接続関係もそれぞれ同様である。

【 0 0 6 4 】

加算器 1 4 4 6 a および 1 4 4 6 b の出力側は、加算器 1 4 4 7 a の入力側に接続されている。加算器 1 4 4 6 d および 1 4 4 6 e の出力側は、加算器 1 4 4 7 c の入力側に接続されている。加算器 1 4 4 6 c、1 4 4 7 a および 1 4 4 7 c の出力側は、加算器 1 4 4 7 b の入力側に接続されている。加算器 1 4 4 7 b の出力側は、出力部 1 4 4 8 に接続されている。

【 0 0 6 5 】

次に、図 8 ~ 1 1 を参照しながら、フィルタ処理部 1 4 3 における逆変換処理について説明する。逆変換処理に使用されるフィルタは、図 9 に示すように、上述したフィルタ係数 $a_{11} \sim a_{15}$ 、 $a_{21} \sim a_{25}$ 、 $a_{31} \sim a_{35}$ 、 $a_{41} \sim a_{45}$ および $a_{51} \sim a_{55}$ によって構成されるタップ数が 5×5 の線形フィルタである逆変換フィルタ 1 2 1 である。逆変換フィルタ 1 2 1 による逆変換処理の対象となる画像の部分、図 1 0 に示す対象部分画像 1 3 1 であるものとする。対象部分画像 1 3 1 は、画素 $A_{11} \sim A_{15}$ 、 $A_{21} \sim A_{25}$ 、 $A_{31} \sim A_{35}$ 、 $A_{41} \sim A_{45}$ および $A_{51} \sim A_{55}$ によって構成された 5×5 の部分画像である。

【 0 0 6 6 】

レジスタ 1 4 3 2 a ~ 1 4 3 2 e、1 4 3 3 a ~ 1 4 3 3 e、1 4 3 4 a ~ 1 4 3 4 e、1 4 3 5 a ~ 1 4 3 5 e、1 4 3 6 a ~ 1 4 3 6 e および 1 4 3 7 a ~ 1 4 3 7 e には、データが格納されていない状態、すなわち、0 の値が格納された状態であるものとする。フィルタ処理部 1 4 3 は、入力部 1 4 3 1 a ~ 1 4 3 1 e から対象部分画像 1 3 1 の画素 A_{51} 、 A_{41} 、 A_{31} 、 A_{21} および A_{11} を入力し、それぞれレジスタ 1 4 3 2 a ~ 1 4 3 2 e に格納すると共に、乗算器 1 4 3 8 a ~ 1 4 3 8 e に入力させる。乗算器 1 4 3 8 a ~ 1 4 3 8 e は、それぞれのフィルタ係数である a_{55} 、 a_{45} 、 a_{35} 、 a_{25} および a_{15} と、それぞれ入力した画素 A_{51} 、 A_{41} 、 A_{31} 、 A_{21} および A_{11} との乗算値を出力する。乗算器 1 4 3 8 a ~ 1 4 3 8 e によって演算された乗算値は、加算器 1 4 4 7 a ~ 1 4 4 7 c によって加算される。加算値は、加算器 1 4 4 7 b から出力され、出力部 1 4 4 8 からフィルタ処理部 1 4 3 の外部に出力される。

【 0 0 6 7 】

フィルタ処理部 1 4 3 は、次のタイミングで、レジスタ 1 4 3 2 a ~ 1 4 3 2 e に格納した画素 A_{51} 、 A_{41} 、 A_{31} 、 A_{21} および A_{11} を、それぞれレジスタ 1 4 3 3 a ~ 1 4 3 3 e にシフトして格納し、乗算器 1 4 3 9 a ~ 1 4 3 9 e に入力させる。フィルタ処理部 1 4 3 は、入力部 1 4 3 1 a ~ 1 4 3 1 e から対象部分画像 1 3 1 の画素 A_{52} 、 A_{42} 、 A_{32} 、 A_{22} および A_{12} を入力し、それぞれレジスタ 1 4 3 2 a ~ 1 4 3 2 e に格納すると共に、乗算器 1 4 3 8 a ~ 1 4 3 8 e に入力させる。乗算器 1 4 3 9 a

10

20

30

40

50

~ 1 4 3 9 e は、それぞれのフィルタ係数である a 5 4、a 4 4、a 3 4、a 2 4 および a 1 4 と、それぞれ入力した画素 A 5 1、A 4 1、A 3 1、A 2 1 および A 1 1 との乗算値を出力する。乗算器 1 4 3 8 a ~ 1 4 3 8 e は、それぞれのフィルタ係数である a 5 5、a 4 5、a 3 5、a 2 5 および a 1 5 と、それぞれ入力した画素 A 5 2、A 4 2、A 3 2、A 2 2 および A 1 2 との乗算値を出力する。乗算器 1 4 3 9 a ~ 1 4 3 9 e によって演算された乗算値、および乗算器 1 4 3 8 a ~ 1 4 3 8 e によって演算された乗算値は、加算器 1 4 4 3 a ~ 1 4 4 3 e および 1 4 4 7 a ~ 1 4 4 7 c によって加算される。加算値は、加算器 1 4 4 7 b から出力され、出力部 1 4 4 8 からフィルタ処理部 1 4 3 の外部に出力される。

【 0 0 6 8 】

そして、以上の動作が繰り返された結果、レジスタ 1 4 3 2 a ~ 1 4 3 6 a、1 4 3 2 b ~ 1 4 3 6 b、1 4 3 2 c ~ 1 4 3 6 c、1 4 3 2 d ~ 1 4 3 6 d および 1 4 3 2 e ~ 1 4 3 6 e に、それぞれ画素 A 5 5 ~ A 5 1、A 4 5 ~ A 4 1、A 3 5 ~ A 3 1、A 2 5 ~ A 2 1 および A 1 5 ~ A 1 1 が格納されたものとする。また、乗算器 1 4 3 8 a ~ 1 4 4 2 a、1 4 3 8 b ~ 1 4 4 2 b、1 4 3 8 c ~ 1 4 4 2 c、1 4 3 8 d ~ 1 4 4 2 d および 1 4 3 8 e ~ 1 4 4 2 e に、それぞれ画素 A 5 5 ~ A 5 1、A 4 5 ~ A 4 1、A 3 5 ~ A 3 1、A 2 5 ~ A 2 1 および A 1 5 ~ A 1 1 が入力されたものとする。乗算器 1 4 4 2 a ~ 1 4 4 2 e は、それぞれのフィルタ係数である a 5 1、a 4 1、a 3 1、a 2 1 および a 1 1 と、それぞれ入力した画素 A 5 1、A 4 1、A 3 1、A 2 1 および A 1 1 との乗算値を出力する。乗算器 1 4 4 1 a ~ 1 4 4 1 e は、それぞれのフィルタ係数である a 5 2、a 4 2、a 3 2、a 2 2 および a 1 2 と、それぞれ入力した画素 A 5 2、A 4 2、A 3 2、A 2 2 および A 1 2 との乗算値を出力する。乗算器 1 4 4 0 a ~ 1 4 4 0 e は、それぞれのフィルタ係数である a 5 3、a 4 3、a 3 3、a 2 3 および a 1 3 と、それぞれ入力した画素 A 5 3、A 4 3、A 3 3、A 2 3 および A 1 3 との乗算値を出力する。乗算器 1 4 3 9 a ~ 1 4 3 9 e は、それぞれのフィルタ係数である a 5 4、a 4 4、a 3 4、a 2 4 および a 1 4 と、それぞれ入力した画素 A 5 4、A 4 4、A 3 4、A 2 4 および A 1 4 との乗算値を出力する。乗算器 1 4 3 8 a ~ 1 4 3 8 e は、それぞれのフィルタ係数である a 5 5、a 4 5、a 3 5、a 2 5 および a 1 5 と、それぞれ入力した画素 A 5 5、A 4 5、A 3 5、A 2 5 および A 1 5 との乗算値を出力する。

【 0 0 6 9 】

乗算器 1 4 3 8 a ~ 1 4 3 8 e、1 4 3 9 a ~ 1 4 3 9 e、1 4 4 0 a ~ 1 4 4 0 e、1 4 4 1 a ~ 1 4 4 1 e および 1 4 4 2 a ~ 1 4 4 2 e によって演算された乗算値は、図 8 に示す全ての加算器によって加算される。加算値は、加算器 1 4 4 7 b から出力され、出力部 1 4 4 8 からフィルタ処理部 1 4 3 の外部に出力される。この加算値は、図 10 に示すように、対象部分画像 1 3 1 に対して逆変換フィルタ 1 2 1 によってコンボリューション演算した値、すなわち、式 (1) で表される演算値と同一である。コンボリューション演算の演算値は、対象部分画像 1 3 1 の中央に位置する画素である中央データに対して逆変換処理を実行した値となる。すなわち、コンボリューションの演算値は、逆変換処理後の画像において、逆変換処理前の画像の中央データに相当する位置の画素となる。

【 0 0 7 0 】

次に、フィルタ処理部 1 4 3 の逆変換処理について、図 1 1 を参照しながら、画像 1 0 5 において X 方向の水平ラインを走査しながら逆変換処理をする動作の概略を説明する。図 1 1 (a) は、フィルタ処理部 1 4 3 が、画像 1 0 5 における (1 , 1) の画素に対して逆変換フィルタ 1 2 1 によって逆変換処理をする状態を示している。図 1 1 (a) に示すように、(1 , 1) の画素を中央データ 1 3 5 a としてコンボリューション演算するためには、(1 , 1) の画素を中央データとする対象部分画像 1 3 1 a と、画像 1 0 5 とが重複している部分の画素が必要になる。すなわち、対象部分画像 1 3 1 a のうち、図 10 に示す対象部分画像 1 3 1 の画素 A 3 3 ~ A 3 5、A 4 3 ~ A 4 5 および A 5 3 ~ A 5 5 に相当する画素が必要である。

【 0 0 7 1 】

そのためには、画素 A 3 3 ~ A 3 5、A 4 3 ~ A 4 5 および A 5 3 ~ A 5 5 に相当する画素が、画像バッファ部 1 4 1 の出力部 1 4 1 3 a ~ 1 4 1 3 c から出力されている必要がある。さらに、画素 A 3 5 ~ A 3 3、A 4 5 ~ A 4 3 および A 5 5 ~ A 5 3 に相当する画素が、フィルタ処理部 1 4 3 のレジスタ 1 4 3 2 c ~ 1 4 3 4 c、1 4 3 2 b ~ 1 4 3 4 b および 1 4 3 2 a ~ 1 4 3 4 a に格納されている必要がある。そして、対象部分画像 1 3 1 a において、画像 1 0 5 と重複していない部分の画素は「0」として取り扱うものとする。

【0072】

以上の状態において、フィルタ処理部 1 4 3 は、図 1 0 に示したコンボリューション演算と同様に、対象部分画像 1 3 1 a に対して逆変換フィルタ 1 2 1 によってコンボリューション演算を行う。フィルタ処理部 1 4 3 は、画像 1 0 5 の対象部分画像 1 3 1 a の中央データ 1 3 5 a である (1 , 1) の画素に対してコンボリューション演算した値を、逆変換処理後の画像の (1 , 1) の画素として出力する。

10

【0073】

次に、フィルタ処理部 1 4 3 は、図 1 1 (b) に示すように、コンボリューション演算の対象となる画素を X 方向にひとつシフトし、対象部分画像 1 3 1 b の中央データ 1 3 5 b である (2 , 1) の画素に対して逆変換処理をする。そして、フィルタ処理部 1 4 3 は、X 方向の水平ラインをシフトしながらコンボリューション演算を繰り返し、図 1 1 (c) に示すように、X 方向の水平ラインの最後の画素である (6 4 0 , 1) の画素に対して逆変換処理をする。(6 4 0 , 1) の画素は、図 1 1 (c) に示すように、対象部分画像 1 3 1 c の中央データ 1 3 5 c である。

20

【0074】

以上のように、フィルタ処理部 1 4 3 は、X 方向の水平ラインをシフトしながらコンボリューション演算を繰り返し、水平ラインの最後の画素に対する逆変換処理が終了すると、Y 方向の次の水平ラインに対して同様に逆変換処理を行う。

【0075】

図 1 1 (d) ~ 1 1 (f) は、フィルタ処理部 1 4 3 が、画像 1 0 5 における Y 方向の 4 番目の水平ラインの画素に対して逆変換処理を行う状態を示している。図 1 1 (d) は、フィルタ処理部 1 4 3 が、画像 1 0 5 における (1 , 4) の画素に対して逆変換フィルタ 1 2 1 によって逆変換処理をする状態を示している。図 1 1 (d) に示すように、(1 , 4) の画素を中央データ 1 3 5 d としてコンボリューション演算するためには、(1 , 4) の画素を中央データとする対象部分画像 1 3 1 d と、画像 1 0 5 とが重複している部分の画素が必要になる。そして、対象部分画像 1 3 1 d において、画像 1 0 5 と重複していない部分の画素は、上述と同様に「0」として取り扱うものとする。

30

【0076】

図 1 1 (e) は、フィルタ処理部 1 4 3 が、画像 1 0 5 における (5 , 4) の画素に対して逆変換フィルタ 1 2 1 によって逆変換処理をする状態を示している。図 1 1 (e) に示すように、(5 , 4) の画素を中央データ 1 3 5 e とする対象部分画像 1 3 1 e は全体が画像 1 0 5 と重複しているので、フィルタ処理部 1 4 3 は、対象部分画像 1 3 1 e に含まれる画素をすべて利用した逆変換処理が可能となる。

40

【0077】

そして、フィルタ処理部 1 4 3 は、X 方向の水平ラインをシフトしながらコンボリューション演算を繰り返し、図 1 1 (f) に示すように、X 方向の水平ラインの最後の画素である (6 4 0 , 4) の画素に対して逆変換処理をする。(6 4 0 , 4) の画素は、図 1 1 (f) に示すように、対象部分画像 1 3 1 f の中央データ 1 3 5 f である。

【0078】

以上のように、フィルタ処理部 1 4 3 は、画像 1 0 5 を構成する各画素に対して逆変換フィルタ 1 2 1 によるコンボリューション演算を行って逆変換処理をするので、位相板 1 1 a によってぼけた画像を補正し、画像の解像度を向上させることができる。

【0079】

50

なお、上述のように、画像 105 における逆変換フィルタ 121 によるコンボリューション演算の対象となる対象部分画像について、画像 105 と重複していない部分の画素は「0」としたが、これに限定されるものではない。例えば、対象部分画像の画像 105 と重複していない部分の画素は、対象部分画像の中央データを基準にして、対象部分画像の画像 105 と重複している部分の画素を折り返した場合の画素を用いるものとしてもよい。

【0080】

具体的に、図 11(a) の対象部分画像 131a を例にして説明する。対象部分画像 131a のそれぞれの画素の名称を、仮に図 10 に示す対象部分画像 131 の画素の名称と同様とする。この場合、対象部分画像 131a の画像 105 と重複していない部分の画素は、画素 A11 ~ A15、A21 ~ A25、A31、A32、A41、A42、A51 および A52 である。また、対象部分画像 131a の画像 105 と重複している部分の画素は、画素 A33 ~ A35、A43 ~ A45 および A53 ~ A55 である。

10

【0081】

このとき、画素 A31、A32、A41、A42、A51 および A52 は、中央データを基準にして、対象部分画像 131a の画像 105 と重複している部分の画素を折り返し、それぞれ画素 A35、A34、A45、A44、A55 および A54 の値を用いる。また、画素 A13 ~ A15 および A23 ~ A25 は、中央データを基準にして、対象部分画像 131a の画像 105 と重複している部分の画素を折り返し、それぞれ画素 A53 ~ A55 および A43 ~ A45 の値を用いる。そして、画素 A11、A12、A21 および A22 は、中央データを基準にして、対象部分画像 131a の画像 105 と重複している部分の画素のうち点対象の位置関係にある画素、すなわち、それぞれ A55、A54、A45 および A44 の値を用いる。以上のような方法によって、対象部分画像の各画素を決定するものとしてもよい。

20

【0082】

また、図 9 および 10 に示すように、フィルタ処理部 143 が有する逆変換フィルタはタップ数が 5×5 のフィルタとしているが、これに限定されるものではない。すなわち、フィルタのタップ数は 3×3 、 15×15 または 21×21 等異なるタップ数としてもよい。この場合、フィルタのタップ数に合わせて、対象部分画像の大きさも一致させる必要がある。また、フィルタによる逆変換処理の対象となる中央データが存在するように、フィルタのタップ数は奇数である必要がある。

30

【0083】

また、逆変換フィルタは、例えば 15×15 以上のタップ数であることが好ましい。逆変換フィルタは、タップ数が多いほど、位相板によって被写界深度が拡張されてぼけが加えられた画像に対して、ぼけを補正できる光軸上の幅を大きくすることができる。したがって、タップ数が多い逆変換フィルタを用いることによって、位相板およびレンズの被写界深度についての設計のバリエーションを増やすことができる。

【0084】

<逆変換フィルタの周波数特性の導出>

まず、1箇所のフォーカス位置において光学系であるレンズユニット 11 によって広がったスポットを一点に集まるように復元する逆変換処理に使用される逆変換フィルタの周波数特性の導出方法について説明する。上述の周波数特性を実現するフィルタとしては、2次元の線形フィルタかつ FIR (Finite Impulse Response) フィルタが好適である。

40

【0085】

まず、撮像素子 12 によって撮像された画像への光学系による影響のモデルを以下の式(2)に示す2次元のコンボリューション演算(畳み込み演算)の式によって表す。

【0086】

【数1】

$$\text{image}_{\text{captured}}(x,y) = \iint \text{image}_{\text{ideal}}(x-x',y-y') \cdot h(x,y,x',y') dx' dy' \quad \cdots \text{式}(2)$$

【0087】

ここで、 $\text{image}_{\text{captured}}$ は光学系を通して検出された2次元の撮像画像の画素であり、 $\text{image}_{\text{ideal}}$ は被写体4そのものを示す理想画像の画素であり、 h は光学系のPSFを示す。

【0088】

以下、画像処理系（撮像素子12および画像処理部14）に加わるノイズの影響を考慮して、逆変換処理後の画像の各画素と、理想画像の各画素との誤差についての平均二乗誤差を最小とする逆変換フィルタの周波数特性の導出を考える。平均二乗誤差は、以下の式（3）によって表される。

10

【0089】

【数2】

$$E \left[\left| \text{image}_{\text{ideal}}(n) - \text{image}_{\text{processed}}(n) \right|^2 \right] \quad \cdots \text{式}(3)$$

【0090】

ここで、 $E[]$ は期待値（平均値）を示し、 n は画像上の位置を示し、 $\text{image}_{\text{processed}}(n)$ は、 $\text{image}_{\text{captured}}(n)$ に対して逆変換処理をした画像の画素を示す。なお、 $\text{image}_{\text{captured}}$ は、ノイズが含まれていることを考慮する。

20

【0091】

波形 $x(n)$ が持つ全エネルギーの n の全領域についての総和と、波形 $x(n)$ のエネルギーのフーリエ変換 $X(\omega)$ の全周波数成分についての総和とが等しいとするパーセバルの定理より、式（3）は、周波数領域における平均二乗誤差として以下の式（4）で表される。

【0092】

【数3】

$$E \left[\left| \text{IMAGE}_{\text{ideal}}(\omega) - \text{IMAGE}_{\text{processed}}(\omega) \right|^2 \right] \quad \cdots \text{式}(4)$$

30

【0093】

ここで、 $\text{IMAGE}_{\text{ideal}}(\omega)$ は $\text{image}_{\text{ideal}}(n)$ の周波数特性を示し、 $\text{IMAGE}_{\text{processed}}(\omega)$ は $\text{image}_{\text{processed}}(n)$ の周波数特性を示し、 ω は空間周波数を示す。

【0094】

逆変換フィルタの周波数特性を $R(\omega)$ とすると、以下の式（5）の最小値を与える周波数特性 $R(\omega)$ が最適の逆変換フィルタとなる。

【0095】

【数4】

$$E \left[\left| \text{IMAGE}_{\text{ideal}}(\omega) - R(\omega) \cdot \text{IMAGE}_{\text{captured}}(\omega) \right|^2 \right] \quad \cdots \text{式}(5)$$

40

【0096】

ここで、 $\text{IMAGE}_{\text{captured}}(\omega)$ は、 $\text{image}_{\text{captured}}(n)$ の周波数特性である。

【0097】

式（5）において、 $\text{IMAGE}_{\text{ideal}}(\omega) = S(\omega)$ 、および $\text{IMAGE}_{\text{captured}}(\omega) = X(\omega)$ とし、式（5）の最小値をもとめるため、式（5）を R^* によって微分すると、下記の式（6）が得られる。

【0098】

【数5】

$$\begin{aligned} & \frac{\partial E[|S(\omega) - R(\omega) \cdot X(\omega)|^2]}{\partial R^*} = \frac{\partial E[(S(\omega) - R(\omega)X(\omega))(S(\omega) - R(\omega)X(\omega))^*]}{\partial R^*} \\ & = \frac{\partial E[S(\omega)S(\omega)^* - S(\omega)(R(\omega)X(\omega))^* - R(\omega)X(\omega)S(\omega)^* - R(\omega)X(\omega)(R(\omega)X(\omega))^*]}{\partial R^*} \\ & = \frac{\partial E[|S(\omega)|^2 - S(\omega)R(\omega)^*X(\omega)^* - R(\omega)X(\omega)S(\omega)^* + R(\omega)|X(\omega)|^2R(\omega)^*]}{\partial R^*} \\ & = \frac{\partial \{E[|S(\omega)|^2] - R(\omega)^*E[S(\omega)X(\omega)^*] - R(\omega)E[X(\omega)S(\omega)^*] + R(\omega)R(\omega)^*|X(\omega)|^2\}}{\partial R^*} \\ & = R(\omega) \cdot E[|X(\omega)|^2] - E[S(\omega) \cdot X(\omega)^*] \end{aligned} \quad \dots \text{式(6)} \quad 10$$

【0099】

ここで、 $E[|X(\omega)|^2]$ は、ノイズを含んだ撮像画像のパワースペクトルであり、 $E[S(\omega) \cdot X(\omega)^*]$ は、ノイズを含んだ撮像画像と理想画像との相互パワースペクトルである。

【0100】

式(5)の最小値をもとめるため式(6)の最右辺を0とすると下記の式(7)が得られる。

【0101】

【数6】

$$R(\omega) \cdot E[|X(\omega)|^2] - E[S(\omega) \cdot X(\omega)^*] = 0 \quad \dots \text{式(7)} \quad 20$$

【0102】

式(7)から下記の式(8)が得られる。

【0103】

【数7】

$$R(\omega) = \frac{E[S(\omega) \cdot X(\omega)^*]}{E[|X(\omega)|^2]} \quad \dots \text{式(8)} \quad 30$$

【0104】

この式(8)に示す周波数特性 $R(\omega)$ に基づく逆変換フィルタが、上述の式(3)に示す平均二乗誤差を最小とする最適のフィルタとなる。

【0105】

ここで、ノイズの周波数特性を $W(\omega)$ とし、光学系のPSFである h の周波数特性を $H(\omega)$ として、上述の式(2)を周波数空間で示すと下記の式(9)で示される。

【0106】

【数8】

$$X(\omega) = H(\omega)S(\omega) + W(\omega) \quad \dots \text{式(9)} \quad 40$$

【0107】

ノイズの周波数特性 $W(\omega)$ と、周波数特性 $S(\omega)$ とが無相関であるとする、 $E[S(\omega) \cdot W(\omega)^*] = 0$ であるので、上述の式(8)の右辺の分母に、式(9)を代入すると、下記の式(10)が得られる。

【0108】

【数 9】

$$\begin{aligned}
 E[S(\omega) \cdot X(\omega)^*] &= E[S(\omega)(H(\omega)S(\omega) + W(\omega))^*] \\
 &= E[S(\omega)(H(\omega)S(\omega))^* + W(\omega)^*] = E[S(\omega)(S(\omega)^* H(\omega)^* + W(\omega)^*)] \\
 &= E[|S(\omega)|^2 H(\omega)^*] + E[S(\omega)W(\omega)^*] = E[|S(\omega)|^2 H(\omega)^*] = H(\omega)^* \cdot E[|S(\omega)|^2]
 \end{aligned}$$

…式(10)

【0109】

同じくノイズの周波数特性 $W(\omega)$ と、周波数特性 $S(\omega)$ とが無相関であるとする
 と、 $E[W(\omega) \cdot S(\omega)^*] = 0$ および $E[S(\omega)^* \cdot W(\omega)] = 0$ であるので、
 上述の式(8)の右辺の分母に、式(9)を代入すると、下記の式(11)が得られる。

10

【0110】

【数 10】

$$\begin{aligned}
 E[|X(\omega)|^2] &= E[(H(\omega)S(\omega) + W(\omega))(H(\omega)S(\omega) + W(\omega))^*] \\
 &= E[H(\omega)S(\omega)H(\omega)^* S(\omega)^* + H(\omega)S(\omega)W(\omega)^* + W(\omega)H(\omega)^* S(\omega)^* + W(\omega)W(\omega)^*] \\
 &= E[|H(\omega)S(\omega)|^2] + E[|W(\omega)|^2] = E[|H(\omega)|^2 |S(\omega)|^2] + E[|W(\omega)|^2] \\
 &= |H(\omega)|^2 \cdot E[|S(\omega)|^2] + E[|W(\omega)|^2]
 \end{aligned}$$

…式(11)

【0111】

上述の式(8)、(10)および(11)から、下記の式(12)に示す周波数特性 $R(\omega)$
 が得られる。

20

【0112】

【数 11】

$$R(\omega) = \frac{H(\omega)^* \cdot E[|S(\omega)|^2]}{|H(\omega)|^2 \cdot E[|S(\omega)|^2] + E[|W(\omega)|^2]} \quad \dots \text{式(12)}$$

【0113】

この式(12)に示す周波数特性 $R(\omega)$ に基づく逆変換フィルタが、画像処理系のノ
 イズを考慮した場合の上述の式(3)に示す平均二乗誤差を最小とする最適なフィルタと
 なる。ここで、 $E[|S(\omega)|^2]$ は理想画像のパワースペクトルの平均値であり、 $E[|W(\omega)|^2]$ はノイズの
 パワースペクトルの平均値であり、 $|H(\omega)|^2$ は光学系の周波数特性のパワースペクトルである。

30

【0114】

また、上述の式(12)に示す周波数特性 $R(\omega)$ を適用した場合において、逆変換処
 理後の画像の各画素と、理想画像の各画素との二乗誤差についての周波数領域における積
 分を取ると、下記の式(13)が得られる。

【0115】

【数 12】

$$\begin{aligned}
 &\int |S(\omega) - R(\omega) \cdot X(\omega)|^2 d\omega \\
 &= \int |S(\omega) - R(\omega) \cdot \{H(\omega)S(\omega) + W(\omega)\}|^2 d\omega \\
 &= \int |(1 - R(\omega)H(\omega))S(\omega) - R(\omega)W(\omega)|^2 d\omega \\
 &= \int \{ (1 - R(\omega)H(\omega))S(\omega) - R(\omega)W(\omega) \} \{ (1 - R(\omega)H(\omega))S(\omega) - R(\omega)W(\omega) \}^* d\omega \\
 &= \int \{ | (1 - R(\omega)H(\omega))S(\omega) |^2 - S(\omega)R(\omega)^* W(\omega)^* (1 - R(\omega)H(\omega)) \\
 &\quad - R(\omega)W(\omega)S(\omega)^* (1 - R(\omega)H(\omega))^* + |R(\omega)W(\omega)|^2 \} d\omega \\
 &= \int \{ |1 - R(\omega)H(\omega)|^2 |S(\omega)|^2 + |R(\omega)|^2 |W(\omega)|^2 \} d\omega
 \end{aligned} \quad \dots \text{式(13)}$$

40

【0116】

上記の式(13)の演算においては、上述のように、ノイズの周波数特性 $W(\omega)$ と、

50

周波数特性 $S(\omega)$ とが無相関であることを利用している式 (13) の最右辺の第 1 項は、逆変換処理後の画像の復元しきれなかった誤差量を示している。第 2 項は、ノイズによる誤差量を示している。

【0117】

式 (13) の積分値が最小となるように、光学系の周波数特性 $H(\omega)$ を設計することによって、上述の式 (5) に示す周波数領域における平均二乗誤差が最小となる光学系および逆変換フィルタの組み合わせを得ることができる。また、パーセバルの定理より、上述の式 (3) に示す実空間における平均二乗誤差が最小となる光学系および逆変換フィルタの組み合わせを得ることができる。

【0118】

ただし、上述の式 (12) に示す周波数特性 $R(\omega)$ に基づく逆変換フィルタは、1 箇所（すなわち 1 箇所の周波数特性 $H(\omega)$ ）において、光学系によって広がったスポットを復元することができるものである。したがって、式 (12) に示す周波数特性 $R(\omega)$ に基づく逆変換フィルタは、スポットの形状が異なるその他のデフォーカス位置においては、スポットを復元するための最適なフィルタにはならない。

【0119】

次に、光軸上のあるデフォーカス位置範囲内において光学系であるレンズユニット 1 1 によって広がったスポットを復元する逆変換処理に使用される逆変換フィルタの周波数特性の導出方法について説明する。これによって、1 箇所のフォーカス位置における最適な逆変換フィルタではなく、複数の位置において最適な逆変換フィルタをもとめることができる。

【0120】

まず、2 箇所のデフォーカス位置を想定し、上述の式 (5) を変形して、2 つの画像についての周波数領域における平均二乗誤差の和は、下記の式 (14) で表される。

【0121】

【数 13】

$$E[|IMAGE1_{ideal}(\omega) - R(\omega) \cdot IMAGE1_{captured}(\omega)|^2] + E[|IMAGE2_{ideal}(\omega) - R(\omega) \cdot IMAGE2_{captured}(\omega)|^2] \quad \dots \text{式(14)}$$

【0122】

2 つの画像は、それぞれ $IMAGE1$ および $IMAGE2$ に対応する。

【0123】

式 (14) において、 $IMAGE1_{ideal}(\omega) = S1(\omega)$ 、 $IMAGE1_{captured}(\omega) = X1(\omega)$ 、 $IMAGE2_{ideal}(\omega) = S2(\omega)$ および $IMAGE2_{captured}(\omega) = X2(\omega)$ とする。そして、式 (14) の最小値をもとめるため、式 (14) を R^* によって微分すると、下記の式 (15) が得られる。

【0124】

【数 14】

$$\frac{\partial E[|IMAGE1_{ideal}(\omega) - R(\omega) \cdot IMAGE1_{captured}(\omega)|^2 + E[|IMAGE2_{ideal}(\omega) - R(\omega) \cdot IMAGE2_{captured}(\omega)|^2]}{\partial R^*}$$

$$= R(\omega) \cdot E[|X1(\omega)|^2] - E[S1(\omega) \cdot X1(\omega)^*] + R(\omega) \cdot E[|X2(\omega)|^2] - E[S2(\omega) \cdot X2(\omega)^*]$$

$$= R(\omega) \{ E[|X1(\omega)|^2] + E[|X2(\omega)|^2] \} - \{ E[S1(\omega) \cdot X1(\omega)^*] + E[S2(\omega) \cdot X2(\omega)^*] \} \quad \dots \text{式(15)}$$

【0125】

式 (15) の最小値をもとめるため式 (15) の最右辺を 0 として、周波数特性 $R(\omega)$ について解くと、下記の式 (16) が得られる。

【0126】

10

20

30

40

【数 1 5】

$$R(\omega) = \frac{E[S1(\omega) \cdot X1(\omega)^*] + E[S2(\omega) \cdot X2(\omega)^*]}{E[|X1(\omega)|^2] + E[|X2(\omega)|^2]} \quad \dots \text{式(16)}$$

【0 1 2 7】

撮像装置 1 によって同一の画像を撮像しているものと仮定すると、 $S1(\quad) = S2(\quad)$ となり、これを $S(\quad)$ とおき、さらに、上述の式(9)の関係式から下記の式(17)が得られる。

【0 1 2 8】

10

【数 1 6】

$$R(\omega) = \frac{\{H1(\omega)^* + H2(\omega)^*\} \cdot E[|S(\omega)|^2]}{\{|H1(\omega)|^2 + |H2(\omega)|^2\} E[|S(\omega)|^2] + 2E[|W(\omega)|^2]} \quad \dots \text{式(17)}$$

【0 1 2 9】

この式(17)に示す周波数特性 $R(\quad)$ に基づく逆変換フィルタが、上述の式(14)に示す周波数領域の平均二乗誤差を最小とする最適なフィルタとなる。

20

【0 1 3 0】

以上は 2 つの画像の場合であったが、 N 個の画像、すなわち、 N 箇所のデフォーカス位置に一般化した周波数特性 $R(\quad)$ は、下記の式(18)で表される。

【0 1 3 1】

【数 1 7】

$$R(\omega) = \frac{\sum_{n=1}^N \{Hn(\omega)^*\} \cdot E[|S(\omega)|^2]}{\sum_{n=1}^N \{|Hn(\omega)|^2\} E[|S(\omega)|^2] + N \cdot E[|W(\omega)|^2]} \quad \dots \text{式(18)}$$

30

【0 1 3 2】

この式(18)に示す周波数特性 $R(\quad)$ に基づく逆変換フィルタが、画像処理系のノイズを考慮し、式(14)に基づく複数のデフォーカス位置に対応する周波数領域の平均二乗誤差を最小とする最適なフィルタとなる。なお、できるだけ多くのデフォーカス位置、すなわち、できるだけ大きな N の値によって周波数特性 R を導出するのが好ましい。

【0 1 3 3】

また、上述の式(17)に示す周波数特性 $R(\quad)$ を適用した場合において、逆変換処理後の画像の各画素と、理想画像の各画素との二乗誤差についての周波数領域における積分を取ると、下記の式(19)が得られる。

40

【0 1 3 4】

【数 1 8】

$$\begin{aligned} & \int |S(\omega) - R(\omega) \cdot X1(\omega)|^2 + |S(\omega) - R(\omega) \cdot X2(\omega)|^2 d\omega \\ &= \int \left[|S(\omega) - R(\omega) \cdot \{H1(\omega)S(\omega) + W(\omega)\}|^2 + |S(\omega) - R(\omega) \cdot \{H2(\omega)S(\omega) + W(\omega)\}|^2 \right] d\omega \\ &= \int \left[|1 - R(\omega)H1(\omega)|^2 |S(\omega)|^2 + |1 - R(\omega)H2(\omega)|^2 |S(\omega)|^2 + 2|R(\omega)|^2 |W(\omega)|^2 \right] d\omega \end{aligned} \quad \dots \text{式(19)}$$

【0 1 3 5】

上記の式(19)の演算においては、上述のように、ノイズの周波数特性 $W(\quad)$ と、

50

周波数特性 $S(\omega)$ とが無相関であることを利用している。

【0136】

上述の式(19)について、 N 個の画像、すなわち、 N 箇所のデフォーカス位置に一般化すると、下記の式(20)が得られる。

【0137】

【数19】

$$\int \sum_n^N |S(\omega) - R(\omega) \cdot X_n(\omega)|^2 d\omega = \int \left[\sum_n^N \{ |1 - R(\omega) H_n(\omega)|^2 |S(\omega)|^2 \} + N |R(\omega)|^2 |W(\omega)|^2 \right] d\omega \quad 10$$

…式(20)

【0138】

式(20)に示す値を N で割った値である下記の式(21)で示される値を N 箇所のデフォーカス位置に一般化した場合の周波数領域における平均二乗誤差 MSE (Mean Square Error) であると定義する。

【0139】

【数20】

$$MSE = \frac{1}{N} \int \left[\sum_n^N \{ |1 - R(\omega) H_n(\omega)|^2 |S(\omega)|^2 \} + N |R(\omega)|^2 |W(\omega)|^2 \right] d\omega \quad 20$$

…式(21)

【0140】

式(21)に示す MSE が最小となるように、光学系の周波数特性 $H(\omega)$ を設計することによって、上述の式(14)に示す周波数領域における平均二乗誤差が最小となる光学系および逆変換フィルタの組み合わせを得ることができる。また、パーセバルの定理により、実空間における平均二乗誤差が最小となる光学系および逆変換フィルタの組み合わせを得ることができる。したがって、式(18)に示す周波数特性 $R(\omega)$ に基づいて、例えば、画像処理部14の画像バッファ部141が有する逆変換フィルタ121を導出するものとすればよい。

【0141】

以上のように、 N 箇所のデフォーカス位置、すなわち、複数のデフォーカス位置について、式(18)に示す周波数特性 $R(\omega)$ から最適な逆変換フィルタをもとめることができる。これによって、デフォーカス位置によってスポットの形状が変わっても、同一の逆変換フィルタによって復元することができるので、より広い範囲にまで被写界深度を拡張することができる。

【0142】

図12は、実施の形態の画像処理部のフィルタ処理部の逆変換フィルタを決定するための周波数特性を演算する流れを示すフローチャートである。図12を参照しながら、式(18)に示す周波数特性 R を具体的に演算する流れについて説明する。

【0143】

<<ステップS1>>

まず、レンズユニット11における面曲率および面間隔等、ならびに位相板11aの特性等の光学系パラメータに基づいて、レンズユニット11に対する光線追跡演算により PSF を導出する。ここで、複数のデフォーカス位置における光学系パラメータによって光線追跡演算を行い、 PSF を導出する。そして、ステップS2へ進む。

【0144】

<<ステップS2>>

ステップ S 1 で導出した P S F をフーリエ変換することによって、光学系の周波数特性 H を導出する。そして、ステップ S 5 へ進む。

【 0 1 4 5 】

<<ステップ S 3 >>

画像処理系（撮像素子 1 2 および画像処理部 1 4 ）に加わるノイズ特性を測定する。そして、ノイズ特性をフーリエ変換することによって、ノイズの周波数特性 W を導出する。なお、ノイズ特性の測定が困難である場合は、空間周波数によらず、撮像素子 1 2 の S / N 比の値を定数としてノイズの周波数特性 W を導出するものとしてもよい。そして、ステップ S 5 へ進む。

【 0 1 4 6 】

<<ステップ S 4 >>

撮像装置 1 により、自然風景またはバーコード等を様々な大きさおよび撮影条件によって撮像された画像を理想画像とする。理想画像を構成する画素の値をフーリエ変換し、空間周波数 についての平均値を被写体の周波数特性 S として導出する。なお、被写体の周波数特性 S は、被写体から出る光に収差を与えない光学系を通過した光に基づく撮像画像の画素の周波数特性としてもよい。また、被写体の周波数特性 S は、定数としてもよい。そして、ステップ S 5 へ進む。

【 0 1 4 7 】

<<ステップ S 5 >>

ステップ S 2 で導出した光学系の周波数特性 H、ステップ S 3 で導出したノイズの周波数特性 W、およびステップ S 4 で導出した被写体の周波数特性 S から、上述の式 (1 8) を使用して、逆変換フィルタの周波数特性 R を演算する。

【 0 1 4 8 】

< M T F の空間周波数特性 >

図 1 3 は、光学系を通過した光によって検出された画像の空間周波数特性を示す図である。図 1 4 は、逆変換処理が行われた画像の空間周波数特性を示す図である。図 1 3 および 1 4 を参照しながら、画像の空間周波数特性について説明する。

【 0 1 4 9 】

まず、図 1 3 を参照しながら、レンズユニット 1 1（光学系）を通過した光が撮像素子 1 2 によって撮像された画像についての空間周波数 に対する M T F について説明する。図 1 3 に示される目標空間周波数特性 2 0 1 は、被写体の撮像画像のコントラストが完全に再現された場合の M T F の空間周波数 についての特性 (M T F = 1) を示す。

【 0 1 5 0 】

上述したように、レンズユニット 1 1 を通過した光は、収差を与えるレンズおよび位相板 1 1 a の作用によって点像分布関数 (P S F) が付加される。図 1 3 における空間周波数特性 2 0 2 は、レンズユニット 1 1 を通過した光に基づいて、撮像素子 1 2 によりフォーカス位置において撮像された撮像画像の M T F の空間周波数 についての特性を示す。図 1 3 における空間周波数特性 2 0 3 は、レンズユニット 1 1 を通過した光に基づいて撮像素子 1 2 によってあるデフォーカス位置において撮像された撮像画像の M T F の空間周波数 についての特性を示す。レンズユニット 1 1 を通過した光は P S F が付加されているので、フォーカス位置における空間周波数特性 2 0 2、およびデフォーカス位置における空間周波数特性 2 0 3 は、図 1 3 に示すように、何れも目標空間周波数特性 2 0 1 よりも低い値となる。

【 0 1 5 1 】

次に、図 1 4 (a) を参照しながら、図 8 に示すフィルタ処理部 1 4 3 が有する逆変換フィルタが、上述の式 (1 2) に示す周波数特性 R によってもとめられた場合を考える。この場合において、撮像素子 1 2 によって撮像された画像がフィルタ処理部 1 4 3 によって逆変換処理が行われた画像についての空間周波数 に対する M T F について説明する。

【 0 1 5 2 】

図 1 4 (a) における空間周波数特性 2 0 2 a は、撮像素子 1 2 によりフォーカス位置

10

20

30

40

50

において撮像された撮像画像について、フィルタ処理部 143 により逆変換処理された画像の MTF の空間周波数 についての特性を示す。図 14 (a) における空間周波数特性 203 a は、撮像素子 12 によりあるデフォーカス位置において撮像された撮像画像について、フィルタ処理部 143 により逆変換処理された画像の MTF の空間周波数 についての特性を示す。上述のように、式 (12) は 1 箇所のフォーカス位置において、レンズユニット 11 によって P S F が付加された画像を復元する逆変換フィルタの周波数特性 R なので、空間周波数特性 202 a のように、 $MTF = 1$ となり、目標空間周波数特性 201 と一致する。しかし、式 (12) に示す周波数特性 R から導出された逆変換フィルタは、フォーカス位置におけるスポットとは形状の異なるデフォーカス位置には対応していないので、空間周波数特性 203 a の MTF は、空間周波数特性 202 a の MTF よりも低くなる。

10

【0153】

次に、図 14 (b) を参照しながら、図 8 に示すフィルタ処理部 143 が有する逆変換フィルタが、上述の式 (18) に示す周波数特性 R に基づいてもとめられた場合を考える。この場合において、撮像素子 12 によって撮像された画像がフィルタ処理部 143 によって逆変換処理が行われた画像についての空間周波数 に対する MTF について説明する。

【0154】

図 14 (b) における空間周波数特性 202 b は、撮像素子 12 によってあるデフォーカス位置 P1 において撮像された撮像画像について、フィルタ処理部 143 により逆変換処理された画像の MTF の空間周波数 についての特性を示す。図 14 (b) における空間周波数特性 203 b は、撮像素子 12 によってあるデフォーカス位置 P2 において撮像された撮像画像について、フィルタ処理部 143 により逆変換処理された画像の MTF の空間周波数 についての特性を示す。上述のように、式 (18) は複数のデフォーカス位置において、すなわち、光軸上の所定の位置範囲 (被写界深度) において、レンズユニット 11 によって P S F が付加された画像を復元する逆変換フィルタの周波数特性 R である。したがって、被写界深度に含まれる何れのデフォーカス位置においても、撮像素子 12 により撮像され、かつ、フィルタ処理部 143 により逆変換処理された画像の空間周波数特性における MTF は、目標空間周波数特性 201 の MTF に近接することになる。すなわち、上述の逆変換フィルタによって複数のデフォーカス位置における画像が逆変換処理された画像の周波数特性は、図 14 (b) に示すように、目標空間周波数特性 201 よりも大きい値であったり、小さい値であったりする。いずれにしても、上述の逆変換フィルタによって逆変換処理された画像の周波数特性は、図 14 (b) に示すように、目標空間周波数特性 201 に近接する。

20

30

【0155】

以上のように、フィルタ処理部 143 は、式 (18) に示す周波数特性 R () に基づいてもとめられた逆変換フィルタによる逆変換処理によって、所定の位置範囲において、レンズユニット 11 によって P S F が付加された画像を復元することができる。したがって、所定の位置範囲においてスポットの形状が変わっても、同一の逆変換フィルタによって復元することができるので、より広い範囲にまで被写界深度を拡張することができる。

40

【符号の説明】

【0156】

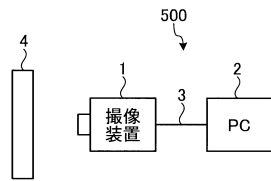
- 1 撮像装置
- 2 P C
- 3 通信ケーブル
- 4 被写体
- 11 レンズユニット
- 11a 位相板
- 11b 絞り
- 12 撮像素子

50

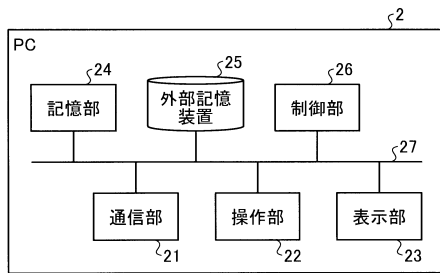
1 4	画像処理部	
1 5	通信部	
2 1	通信部	
2 2	操作部	
2 3	表示部	
2 4	記憶部	
2 5	外部記憶装置	
2 6	制御部	
2 7	バス	
1 0 1	検出画像	10
1 0 5	画像	
1 2 1	逆変換フィルタ	
1 3 1、1 3 1 a ~ 1 3 1 f	対象部分画像	
1 3 5 a ~ 1 3 5 f	中央データ	
1 4 1	画像バッファ部	
1 4 3	フィルタ処理部	
2 0 1	目標空間周波数特性	
2 0 2、2 0 2 a、2 0 2 b	空間周波数特性	
2 0 3、2 0 3 a、2 0 3 b	空間周波数特性	
5 0 0	撮像システム	20
1 4 1 0	入力部	
1 4 1 1 a ~ 1 4 1 1 d	レジスタ	
1 4 1 2 a ~ 1 4 1 2 d	ラインバッファ	
1 4 1 3 a ~ 1 4 1 3 e	出力部	
1 4 3 1 a ~ 1 4 3 1 e	入力部	
1 4 3 2 a ~ 1 4 3 2 e	レジスタ	
1 4 3 3 a ~ 1 4 3 3 e	レジスタ	
1 4 3 4 a ~ 1 4 3 4 e	レジスタ	
1 4 3 5 a ~ 1 4 3 5 e	レジスタ	
1 4 3 6 a ~ 1 4 3 6 e	レジスタ	30
1 4 3 7 a ~ 1 4 3 7 e	レジスタ	
1 4 3 8 a ~ 1 4 3 8 e	乗算器	
1 4 3 9 a ~ 1 4 3 9 e	乗算器	
1 4 4 0 a ~ 1 4 4 0 e	乗算器	
1 4 4 1 a ~ 1 4 4 1 e	乗算器	
1 4 4 2 a ~ 1 4 4 2 e	乗算器	
1 4 4 3 a ~ 1 4 4 3 e	加算器	
1 4 4 4 a ~ 1 4 4 4 e	加算器	
1 4 4 5 a ~ 1 4 4 5 e	加算器	
1 4 4 6 a ~ 1 4 4 6 e	加算器	40
1 4 4 7 a ~ 1 4 4 7 c	加算器	
1 4 4 8	出力部	
A	フレーム開始期間	
B	水平ブランキング期間	
C	フレーム終了期間	
D	垂直ブランキング期間	
T	有効データ期間	
【先行技術文献】		
【特許文献】		
【0 1 5 7】		50

【特許文献1】特開2011-151448号公報

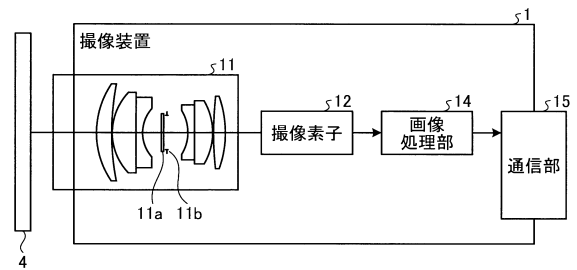
【図1】



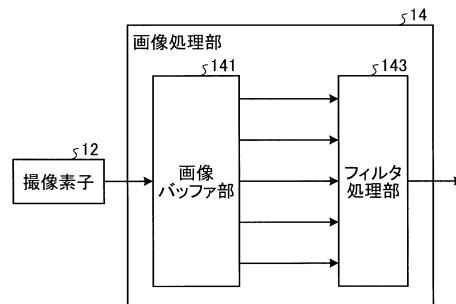
【図2】



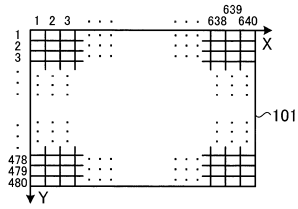
【図3】



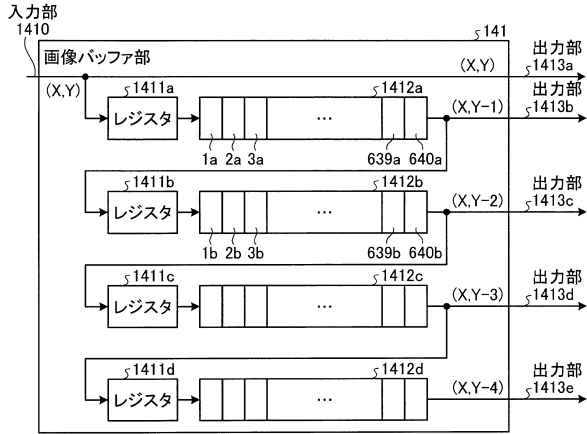
【図4】



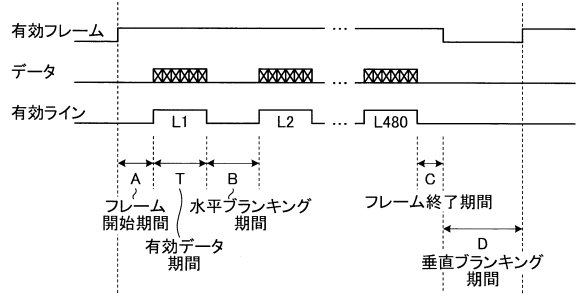
【図5】



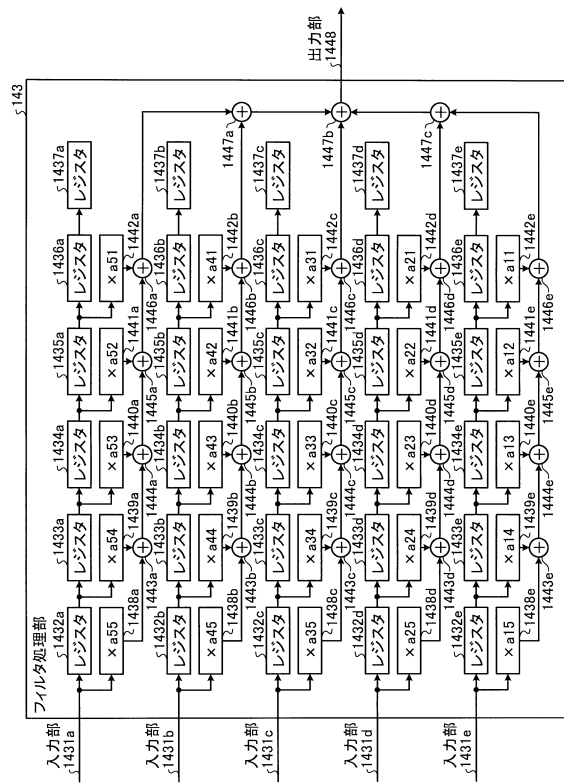
【図6】



【図7】



【図8】

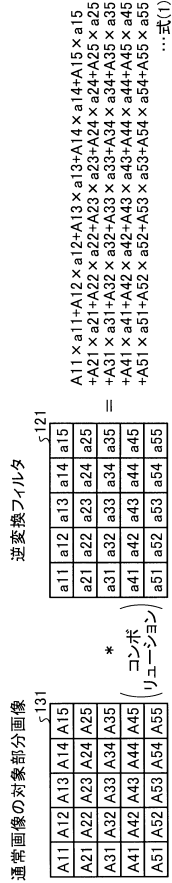


【図9】

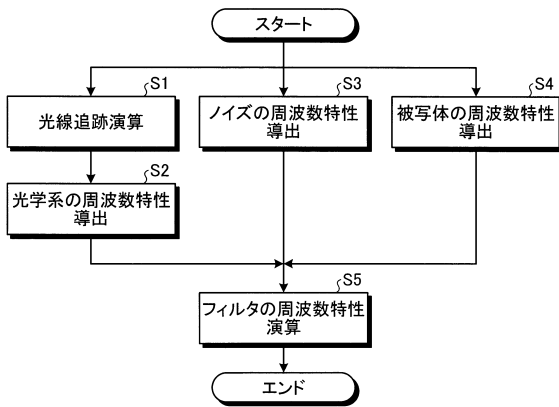
逆変換フィルタ ζ_{121}

a11	a12	a13	a14	a15
a21	a22	a23	a24	a25
a31	a32	a33	a34	a35
a41	a42	a42	a43	a45
a51	a52	a53	a54	a55

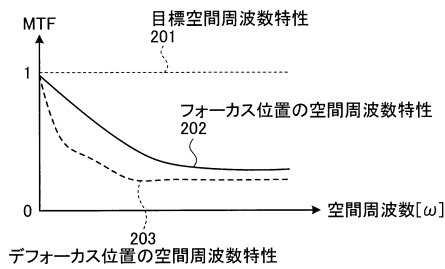
【図10】



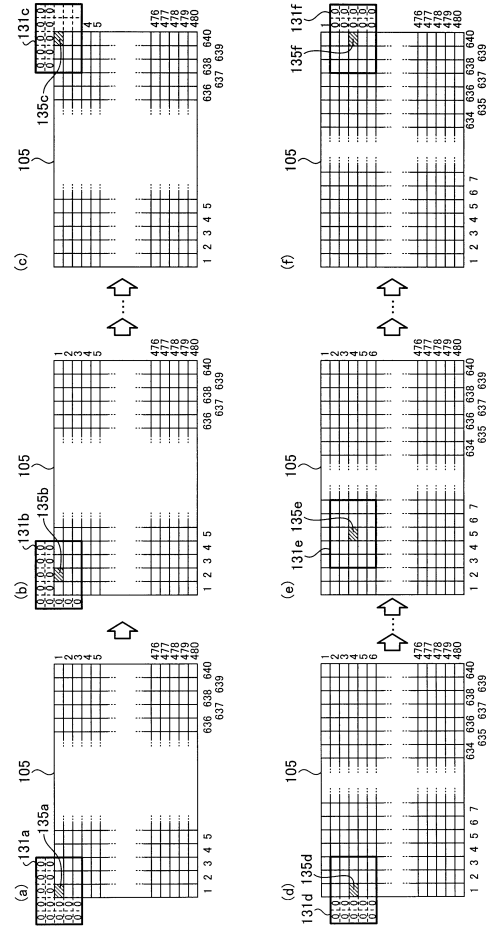
【図12】



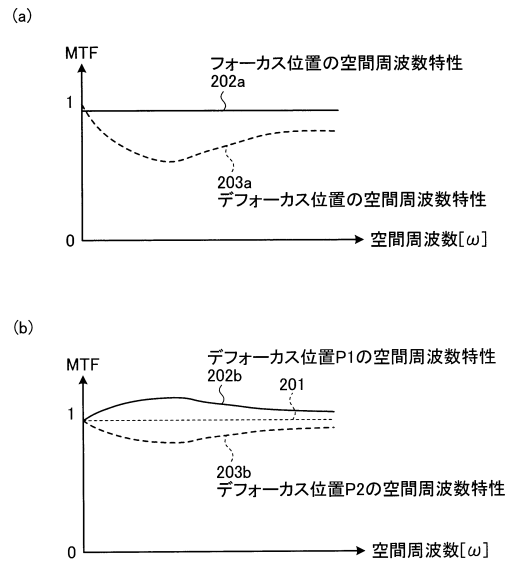
【図13】



【図11】



【図14】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2012-109826(JP,A)
特開平04-051671(JP,A)
特開2013-026875(JP,A)
特開2011-159178(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04N	5/222	-	5/257
G06T	1/00	-	1/40
G06T	3/00	-	5/50
G06T	9/00	-	9/40