

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6486548号  
(P6486548)

(45) 発行日 平成31年3月20日(2019.3.20)

(24) 登録日 平成31年3月1日(2019.3.1)

(51) Int.Cl.		F I			
HO4N	5/232	(2006.01)	HO4N	5/232	290
HO4N	5/225	(2006.01)	HO4N	5/225	600
G06T	5/20	(2006.01)	G06T	5/20	

請求項の数 17 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2018-501711 (P2018-501711)	(73) 特許権者	306037311
(86) (22) 出願日	平成29年2月21日 (2017.2.21)		富士フイルム株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2017/006420		東京都港区西麻布2丁目26番30号
(87) 国際公開番号	W02017/146061	(74) 代理人	100083116
(87) 国際公開日	平成29年8月31日 (2017.8.31)		弁理士 松浦 憲三
審査請求日	平成30年10月25日 (2018.10.25)	(72) 発明者	林 健吉
(31) 優先権主張番号	特願2016-36197 (P2016-36197)		埼玉県さいたま市北区植竹町1丁目324
(32) 優先日	平成28年2月26日 (2016.2.26)		番地 富士フイルム株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	成瀬 洋介
早期審査対象出願			埼玉県さいたま市北区植竹町1丁目324
			番地 富士フイルム株式会社内
		(72) 発明者	岸根 慶延
			埼玉県さいたま市北区植竹町1丁目324
			番地 富士フイルム株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置、撮像装置及び画像処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

撮像光学系及び撮像素子を有する撮像部を用いた被写体の撮像により前記撮像素子から取得される画像データに対し、前記撮像光学系の点拡がり関数に基づく復元フィルタを用いた点像復元処理を行う点像復元処理部と、

撮像条件により変動する前記撮像光学系の球面収差に基づいて前記点像復元処理部による点像復元処理を行うか否かを判別する判別部と、を備え、

前記点像復元処理部は、前記判別部が点像復元処理を行うと判別した場合のみ前記点像復元処理を行い、

前記判別部は、前記撮像光学系を構成する絞りが開放絞りの場合の前記撮像光学系の第1の球面収差に対する、前記撮像条件により変動する前記撮像光学系の第2の球面収差の比が第2の閾値を越えると、前記点像復元処理部による点像復元処理を行うと判別する画像処理装置。

【請求項2】

前記撮像条件は、前記撮像光学系を構成する絞りの絞り値である請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項3】

前記第2の閾値は、0.5である請求項1又は2に記載の画像処理装置。

【請求項4】

撮像光学系及び撮像素子を有する撮像部を用いた被写体の撮像により前記撮像素子から

取得される画像データに対し、前記撮像光学系の点拡がり関数に基づく復元フィルタを用いた点像復元処理を行う点像復元処理部と、

撮像条件により変動する前記撮像光学系の球面収差に基づいて前記点像復元処理部による点像復元処理を行うか否かを判別する判別部であって、前記撮像条件により変動する前記撮像光学系の球面収差が第1の閾値以上の場合に前記点像復元処理部による点像復元処理を行うと判別する判別部と、を備え、

前記撮像光学系の球面収差は、フリッツゼルニケ多項式の9項により表され、

前記点像復元処理部は、前記判別部が点像復元処理を行うと判別した場合のみ前記点像復元処理を行う画像処理装置。

【請求項5】

前記第1の閾値は、球面収差を定める波長を  $\lambda$  とすると、 $0.6 \lambda$  である請求項4に記載の画像処理装置。

【請求項6】

前記撮像条件は、前記撮像光学系を構成する絞りの絞り値である請求項4又は5に記載の画像処理装置。

【請求項7】

前記撮像条件は、前記被写体を照明する光源の種類又は前記光源の波長である請求項1から6のいずれか1項に記載の画像処理装置。

【請求項8】

前記判別部は、前記撮像条件により変動する前記撮像光学系の球面収差として、前記被写体を照明する光源の種類又は前記光源の波長に対応する前記球面収差を使用する請求項7に記載の画像処理装置。

【請求項9】

前記撮像光学系は、前記撮像光学系を構成する絞りが少なくとも開放絞りの場合に、前記判別部により前記点像復元処理を行うと判別される前記球面収差を有する請求項1から8のいずれか1項に記載の画像処理装置。

【請求項10】

請求項1から9のいずれか1項に記載の画像処理装置と、前記撮像部とを備える撮像装置。

【請求項11】

請求項10に記載の撮像装置は、産業用カメラとして使用される撮像装置。

【請求項12】

撮像光学系及び撮像素子を有する撮像部を用いた被写体の撮像により前記撮像素子から取得される画像データに対し、前記撮像光学系の点拡がり関数に基づく復元フィルタを用いた点像復元処理を行うステップと、

撮像条件により変動する前記撮像光学系の球面収差に基づいて前記点像復元処理を行うか否かを判別するステップと、を含み、

前記点像復元処理を行うステップは、前記判別するステップが前記点像復元処理を行うと判別した場合のみ前記復元フィルタを用いた点像復元処理を行い、

前記判別するステップは、前記撮像光学系を構成する絞りが開放絞りの場合の前記撮像光学系の第1の球面収差に対する、前記撮像条件により変動する前記撮像光学系の第2の球面収差の比が第2の閾値を越えると、前記点像復元処理を行うと判別する画像処理方法。

【請求項13】

前記撮像条件は、前記撮像光学系を構成する絞りの絞り値である請求項12に記載の画像処理方法。

【請求項14】

前記第2の閾値は、 $0.5$  である請求項12又は13に記載の画像処理方法。

【請求項15】

撮像光学系及び撮像素子を有する撮像部を用いた被写体の撮像により前記撮像素子から

10

20

30

40

50

取得される画像データに対し、前記撮像光学系の点拡がり関数に基づく復元フィルタを用いた点像復元処理を行うステップと、

撮像条件により変動する前記撮像光学系の球面収差に基づいて前記点像復元処理を行うか否かを判別するステップであって、前記撮像条件により変動する前記撮像光学系の球面収差が第1の閾値以上の場合に前記点像復元処理を行うと判別するステップと、を含み、

前記撮像光学系の球面収差は、フリッツゼルニケ多項式の9項により表され、

前記点像復元処理を行うステップは、前記判別するステップが前記点像復元処理を行うと判別した場合のみ前記復元フィルタを用いた点像復元処理を行う画像処理方法。

【請求項16】

前記第1の閾値は、球面収差を定める波長を  $\lambda$  とすると、 $0.6 \lambda$  である請求項15に記載の画像処理方法。

【請求項17】

前記撮像条件は、前記撮像光学系を構成する絞りの絞り値である請求項15又は16に記載の画像処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は画像処理装置、撮像装置及び画像処理方法に係り、特に撮像光学系の点拡がり関数に基づいて撮像光学系を介して撮像された画像の復元処理を行う技術に関する。

【背景技術】

【0002】

撮像光学系を介して撮像される被写体像には、撮像光学系に起因する収差及び回折等の影響により、点被写体が微小な広がりを持つ点拡がり現象が見られることがある。撮像光学系の点光源に対する応答を表す関数は、点拡がり関数（PSF：Point Spread Function）と呼ばれ、撮像画像の解像度劣化（ボケ）を左右する特性として知られている。

【0003】

点拡がり現象のために画質が劣化した撮像画像に対し、PSFに基づく点像復元処理を行うことにより、劣化した撮像画像の画質を復元（回復）することが可能である。この点像復元処理は、撮像光学系（レンズ及び絞り）の収差等に起因する劣化特性（点像特性）を予め求めておき、その点像特性に応じた復元フィルタを用いた画像処理によって撮像画像の点拡がりをキャンセルし、又は低減する処理である。

【0004】

従来この種の点像復元処理を行う撮像装置として、特許文献1に記載のものがある。

【0005】

特許文献1には、撮像装置により得られた撮像画像は、撮像光学系の球面収差、コマ収差、像面湾曲、非点収差等の各収差を高精度に補正した場合でも、絞り値（Fナンバー）に依存した回折現象により劣化し、また、収差は撮像光学系の結像性能を向上することで改善が可能であるが、回折は避けられない物理現象であるため、回折による画像の劣化を補正することは重要な課題である旨記載されている。

【0006】

また、特許文献1には、F16以上のFナンバーでは絞りによって収差は低減され、回折の影響が支配的となる旨記載されている。

【0007】

そこで、特許文献1に記載の撮像装置は、絞り値が所定値以上（小絞り）の場合に発生する回折（いわゆる小絞りボケ）のみを点像復元処理の対象とし、撮像画像を撮像した際の絞り値が所定値以上の場合、その絞り値に応じた一つの復元フィルタを用いて撮像画像の点像復元処理を行うようにしている。

【0008】

また、小絞りボケは、絞り値と光の波長に依存し、像高（画像の位置）に依存しないため、一つの画像内について一つの復元フィルタを用いて低減することができ、これにより

10

20

30

40

50

データ量及び演算量の削減を可能にしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2014-150423号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

特許文献1に記載の撮像装置は、小絞りボケのみを点像復元処理の対象とするため、撮像光学系の球面収差、特に瞳の外縁付近を通過する光線の持つ大きな球面収差に起因する画質の劣化を回復させることができない。従って、特許文献1に記載の撮像装置に適用される撮像光学系は、球面収差に起因する画質の劣化が少ないものを使用する必要があり、撮像光学系が高価になるという問題がある。

10

【0011】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、所望の画質の撮像画像を取得することができる画像処理装置、撮像装置及び画像処理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】

【0012】

上記目的を達成するために本発明の一の態様に係る画像処理装置は、撮像光学系及び撮像素子を有する撮像部を用いた被写体の撮像により撮像素子から取得される画像データに対し、撮像光学系の点拡がり関数に基づく復元フィルタを用いた点像復元処理を行う点像復元処理部と、撮像条件により変動する撮像光学系の球面収差に基づいて点像復元処理部による点像復元処理を行うか否かを判別する判別部と、を備え、点像復元処理部は、判別部が点像復元処理を行うと判別した場合のみ点像復元処理を行う。

20

【0013】

撮像される画像の画質は、主として撮像光学系の球面収差に起因するが、撮像光学系の球面収差は、撮像条件により変動する。判別部は、撮像条件により変動する撮像光学系の球面収差に基づいて点像復元処理部による点像復元処理を行うか否かを判別する。そして、点像復元処理部は、判別部が点像復元処理を行うと判別した場合のみ点像復元処理を行うため、劣化した撮像画像を所望の画質の撮像画像に復元（回復）させることができる。また、点像復元処理部は、判別部が点像復元処理を行うと判別した場合のみ点像復元処理を行うため、点像復元処理に使用する復元フィルタ等のデータ量及び点像復元処理の演算コストを削減することができる。

30

【0014】

本発明の他の態様に係る画像処理装置において、撮像条件は、撮像光学系を構成する絞りの絞り値である。撮像光学系の球面収差は、絞りの絞り値により変化する。従って、絞りの絞り値は、球面収差を変動させる撮像条件の一つである。

【0015】

本発明の更に他の態様に係る画像処理装置において、判別部は、点像復元処理部による点像復元処理を行うか否かを、絞りの絞り値に基づいて判別することが好ましい。判別部は、球面収差を変動させるパラメータの一つである絞りの絞り値により、点像復元処理部による点像復元処理を行うか否かを間接的に判別している。

40

【0016】

本発明の更に他の態様に係る画像処理装置において、判別部は、撮像条件により変動する撮像光学系の球面収差が第1の閾値以上の場合、点像復元処理部による点像復元処理を行うと判別することが好ましい。

【0017】

本発明の更に他の態様に係る画像処理装置において、第1の閾値は、球面収差を定める波長をとすると、0.6であることが好ましい。

【0018】

50

本発明の更に他の態様に係る画像処理装置において、判別部は、撮像光学系を構成する絞りが開放絞りの場合の撮像光学系の第1の球面収差に対する、撮像条件により変動する撮像光学系の第2の球面収差の比が第2の閾値を越えると、点像復元処理部による点像復元処理を行うと判別することが好ましい。

【0019】

本発明の更に他の態様に係る画像処理装置において、第2の閾値は、0.5であることが好ましい。

【0020】

本発明の更に他の態様に係る画像処理装置において、撮像条件は、被写体を照明する光源の種類又は光源の波長である。撮像光学系の球面収差は、波長により変動するため、被写体を照明する光源の種類等は、球面収差を変動させる撮像条件の一つである。

10

【0021】

本発明の更に他の態様に係る画像処理装置において、判別部は、撮像条件により変動する撮像光学系の球面収差として、被写体を照明する光源の種類又は光源の波長に対応する球面収差を使用することが好ましい。光源の波長（光源の種類に特定される光源の波長）は、球面収差を変動させるパラメータの一つだからである。

【0022】

本発明の更に他の態様に係る画像処理装置において、撮像光学系は、撮像光学系を構成する絞りが少なくとも開放絞りの場合に、判別部により点像復元処理を行うと判別される球面収差を有することが好ましい。撮像光学系として、絞りが開放絞りの場合、点像復元する必要がある球面収差を有するものを採用することにより、絞りが開放絞りの場合でも点像復元する必要がないように光学設計した撮像光学系に比べて光学設計の自由度が高く、かつ安価なものにすることができる。

20

【0023】

本発明の更に他の態様に係る撮像装置は、上述したいずれかに記載の画像処理装置と、撮像部とを備える。

【0024】

本発明の更に他の態様に係る撮像装置は、産業用カメラとして使用されることが好ましい。

【0025】

30

本発明の更に他の態様に係る画像処理方法は、撮像光学系及び撮像素子を有する撮像部を用いた被写体の撮像により撮像素子から取得される画像データに対し、撮像光学系の点拡がり関数に基づく復元フィルタを用いた点像復元処理を行うステップと、撮像条件により変動する撮像光学系の球面収差に基づいて点像復元処理を行うか否かを判別するステップと、を含み、点像復元処理を行うステップは、判別するステップが点像復元処理を行うと判別した場合のみ復元フィルタを用いた点像復元処理を行う。

【0026】

本発明の更に他の態様に係る画像処理方法において、撮像条件は、撮像光学系を構成する絞りの絞り値であることが好ましい。

【0027】

40

本発明の更に他の態様に係る画像処理方法において、判別するステップは、点像復元処理を行うか否かを、絞りの絞り値に基づいて判別することが好ましい。

【0028】

本発明の更に他の態様に係る画像処理方法において、判別するステップは、撮像条件により変動する撮像光学系の球面収差が第1の閾値以上の場合、点像復元処理を行うと判別することが好ましい。

【0029】

本発明の更に他の態様に係る画像処理方法において、第1の閾値は、球面収差を定める波長をとすると、0.6であることが好ましい。

【0030】

50

本発明の更に他の態様に係る画像処理方法において、判別するステップは、撮像光学系を構成する絞りが開放絞りの場合の撮像光学系の第1の球面収差に対する、撮像条件により変動する撮像光学系の第2の球面収差の比が第2の閾値を越えると、点像復元処理を行うと判別することが好ましい。

【0031】

本発明の更に他の態様に係る画像処理方法において、第2の閾値は、0.5であることが好ましい。

【発明の効果】

【0032】

本発明によれば、撮像条件により変動する撮像光学系の球面収差に基づいて点像復元処理をすべきか否かを判別し、点像復元処理を行うと判別した場合のみ点像復元処理を行うため、劣化した撮像画像を所望の画質の撮像画像に復元（回復）させることができ、また、点像復元処理を行わないと判別した場合には、所望の画質の撮像画像が取得されているとして点像復元処理を行わないため、点像復元処理に使用する復元フィルタ等のデータ量及び点像復元処理の演算コストを削減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】コンピュータに接続される撮像装置の機能構成例を示すブロック図

【図2】図1に示したカメラコントローラの構成例を示すブロック図

【図3】図2に示したカメラコントローラ内の画像処理部の第1の実施形態を示すブロック図

【図4】球面収差とF値との組み合わせ毎に算出したMTFの一例を示す図表

【図5】球面収差とF値との組み合わせ毎に算出したMTFを示す他の例を示す図表

【図6】レンズの球面収差を示す縦収差図

【図7】図4に示した球面収差が異なる各レンズについて計算した、球面収差比の計算結果等を示す図表

【図8】図2に示したカメラコントローラ内の画像処理部の第2の実施形態を示すブロック図

【図9】画像処理方法の第1の実施形態を示すフローチャート

【図10】画像処理方法の第2の実施形態を示すフローチャート

【図11】画像処理方法の第3の実施形態を示すフローチャート

【発明を実施するための形態】

【0034】

以下、添付図面に従って本発明に係る画像処理装置、撮像装置及び画像処理方法の実施形態について説明する。以下の実施形態では、一例として、マシンビジョンシステムに使用される撮像装置に本発明を適用する場合について説明する。

【0035】

図1は、コンピュータ（PC：Personal Computer）に接続される撮像装置10の機能構成例を示すブロック図である。

【0036】

産業用カメラは、被写界深度を広くとりつつ、なるべく絞りの絞り値（F値）を小さくする事で、対象範囲のピントが合った画像を高速で取り込むことが求められており、一般的なカメラレンズのような小絞りボケが発生するようなF値を使用する機会は少ない。

【0037】

図1に示す撮像装置10は、マシンビジョンシステムに使用される産業用カメラであり、主として撮像部を構成するレンズユニット12及び撮像素子26と、カメラコントローラ28と、入出力インターフェース32と、照明装置40とから構成されている。

【0038】

レンズユニット12は、レンズ16及び絞り18から構成される撮像光学系と、この撮像光学系を制御する光学系操作部20とを具備する。光学系操作部20は、レンズ16の

10

20

30

40

50

フォーカス位置を調整する手動操作部、及びカメラコントローラ 28 から加えられる制御信号により絞り 18 を駆動する絞り駆動部を含む。

【0039】

マシンビジョンシステムに使用される撮像装置のレンズは、解像度、明るさなどのレンズ性能が面内均一であることが重要である。それを実現するための設計手段として、絞りの絞り値 (F 値) を制限することがあるが、レンズスペックとしてレンズの明るさも求められている。

【0040】

その一方、マシンビジョンシステムに使用される撮像装置は、被写界深度の必要性から実用上使用する絞りの範囲を、中域の絞り (開放絞りの F 値よりも大きく、小絞りボケが発生する小絞りの F 値よりも小さい F 値の範囲の絞り) を使用するのが一般的である。

10

【0041】

従って、この撮像装置 10 のレンズ 16 は、所定の撮像条件下 (実用上使用する絞りの F 値を含む) において、製品の検査、計測、又は位置決め等に要求される所望の画質の撮像画像が撮像できるように重点化してレンズ設計されたものである。このレンズ 16 を使用して撮像された撮像画像は、所定の撮像条件以外の撮像条件では、画質が劣化し、所望の画質を満たさなくなる (劣化した撮像画像となる) が、劣化した撮像画像は、後述する点像復元処理により復元 (回復) させることができる。また、本例のレンズ 16 の焦点距離 (f) は、 $f = 16\text{mm}$  である。

【0042】

20

絞り 18 は、複数枚の絞り羽根からなり、 $F1.4$  (開放 F 値) から  $F22$  まで  $1\text{A V}$  (Aperture value) 刻みで 10 段階に絞り制御される。

【0043】

撮像素子 26 は、CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) 型のイメージセンサにより構成されている。尚、撮像素子 26 は、CMOS 型に限らず、XY アドレス型、又は CCD (Charge Coupled Device) 型のイメージセンサでもよい。また、本例の撮像素子 26 のサンプリング周波数 ( $f_s$ ) は、 $90\text{本/mm}$  である。

【0044】

照明装置 40 は、撮像装置 10 による撮像領域の被写体を照明するもので、例えば、水銀ランプ、赤外線光源、及び赤 (R)、緑 (G)、青 (B) の RGB 光源等の複数の光源を備え、発光する光源の種類が選択されることにより、所望の波長の照明光により被写体を照明する。本例では、照明装置 40 は、水銀ランプを点灯することにより e 線のスペクトル (波長 =  $546.070\text{nm}$ ) をピーク波長とする光、又は赤外線光源を点灯することにより e 線の 2 倍の波長 ( $1092.14\text{nm}$ ) をピーク波長とする赤外光を適宜選択して発光することができる。また、RGB 光源から 1 つの光源を選択し、又は適宜組み合わせで点灯することにより所望のピーク波長を有する光を発光することも可能である。

30

【0045】

カメラコントローラ 28 は、詳細については後述するが、図 2 に示すように撮像装置 10 の各部を統括的に制御するデバイス制御部 34 としての機能と、撮像素子 26 から送られてくる画像データの画像処理を行う画像処理部 (画像処理装置) 35 としての機能とを有する。

40

【0046】

カメラコントローラ 28 により画像処理された画像データは、入出力インターフェース 32 を介してコンピュータ 60 等に送られる。カメラコントローラ 28 から出力される画像データのフォーマットは特に限定されず、動画の場合には MPEG (Moving Picture Experts Group)、H.264 等のフォーマットとし、静止画の場合には、JPEG (Joint Photographic Experts Group)、TIFF (Tagged Image File Format) 等のフォーマットとし得る。また、画像処理部 35 による画像処理が行われない生データ (RAW データ) を出力し得る。更に、カメラコントローラ 28 は、いわゆる Exif (Exchangeable Image File Format) のように、ヘッダ情報 (撮像日時、機種、画素数、F 値、光源の種

50

類等)、主画像データ及びサムネイル画像データ等の複数の関連データを相互に対応づけて1つの画像ファイルとして構成し、その画像ファイルを出力してもよい。

【0047】

コンピュータ60は、各種製品の検査等を行うマシンビジョンシステムの一部を構成する部分であり、撮像装置10の入出力インターフェース32及びコンピュータ入出力部62を介して撮像装置10に接続され、撮像装置10から送られてくる画像データ等のデータ類を受信する。コンピュータコントローラ64は、コンピュータ60を統括的に制御し、撮像装置10からの画像データを画像処理し、撮像された製品の検査等を行い、また、ネットワークを介して接続された産業用ロボット等の各種装置(図示せず)との通信を制御する。

10

【0048】

コンピュータ60はディスプレイ66を有し、コンピュータコントローラ64における処理内容及び検査結果等が必要に応じてディスプレイ66に表示される。ユーザは、ディスプレイ66の表示を確認しながらキーボード等の入力手段(図示省略)を操作することで、コンピュータコントローラ64にデータやコマンドを入力可能である。これによりユーザは、コンピュータ60や、コンピュータ60に接続される撮像装置10を制御可能である。

【0049】

各コントローラ(カメラコントローラ28、コンピュータコントローラ64)は、制御処理に必要な回路類を有し、例えば、中央処理装置(CPU(Central Processing Unit)等)やメモリ等を具備する。

20

【0050】

[画像処理装置]

<画像処理部の第1の実施形態>

図3は、図2に示したカメラコントローラ28内の画像処理部35の第1の実施形態を示すブロック図である。

【0051】

図3に示す画像処理部35は、主として点像復元処理部51と、判別部53と、切替部(切替スイッチ)54とから構成されている。尚、画像処理部35は、点像復元処理部51の他に、オフセット処理、階調補正処理、及び輪郭強調処理等の各種の処理部を備えているが、図3では省略されている。

30

【0052】

撮像素子26(図1)から読み出され、デジタル信号に変換された画像データは、切替スイッチ54の第1の入力54A、及び点像復元処理部51(復元フィルタ処理部51A)に加えられる。

【0053】

点像復元処理部51は、主として復元フィルタ処理部51A、復元フィルタ記憶部51B及び復元フィルタ選択部51Cから構成されている。

【0054】

復元フィルタ処理部51Aの一方の入力には、復元処理前の画像データであって、レンズ16の球面収差等により画質が劣化した撮像画像の画像データが加えられ、他方の入力には、復元フィルタ記憶部51Bに記憶されている複数の復元フィルタから復元フィルタ選択部51Cにより適宜選択された復元フィルタが加えられている。

40

【0055】

復元フィルタ処理部51Aは、入力する画像データに対して、復元フィルタ選択部51Cから加えられる復元フィルタを用いた点像復元処理を行い、点像復元処理された画像データを算出する。即ち、復元フィルタ処理部51Aは、入力する画像データのうちの処理対象画素を中心とする所定のカーネルサイズ(復元フィルタと同じカーネルサイズであって、例えば、7×7等)の画像データと、復元フィルタとの畳み込み演算を行い、点像復元処理した画像データを算出する。

50



## 【 0 0 5 6 】

復元フィルタ処理部 5 1 A により点像復元処理された画像データは、切替スイッチ 5 4 の第 2 の入力 5 4 B に加えられる。

## 【 0 0 5 7 】

判別部 5 3 は、入力する画像データに対して、点像復元処理部 5 1 による点像復元処理を行う必要があるか否かを判別する部分であり、点像復元処理を行う必要があると判別すると、切替スイッチ 5 4 の可動切片 5 4 C を第 2 の入力 5 4 B に切り替える切替信号（例えば、ハイレベル信号）を出力し、点像復元処理を行う必要がないと判別すると、切替スイッチ 5 4 の可動切片 5 4 C を第 1 の入力 5 4 A に切り替える切替信号（例えば、ローレベル信号）を出力する。尚、判別部 5 3 の詳細については後述する。

10

## 【 0 0 5 8 】

[ 復元フィルタ ]

次に、復元フィルタ記憶部 5 1 B に記憶される復元フィルタについて説明する。

## 【 0 0 5 9 】

一般に、撮像光学系（レンズ 1 6、絞り 1 8）の点光源に対する応答を表す点拡がり関数（PSF）によるボケ画像の復元には、コンボリューション型のウィナー(Wiener)フィルタを利用することができる。PSF(x,y)をフーリエ変換した光学伝達関数(OTF: Optical Transfer Function)と信号対雑音比(SNR: Signal to Noise Ratio)の情報を参照して、以下の式によって復元フィルタの周波数特性 $d(\omega_x, \omega_y)$ を算出することができる。

20

## 【 0 0 6 0 】

【数 1】

$$d(\omega_x, \omega_y) = \frac{H^*(\omega_x, \omega_y)}{\|H(\omega_x, \omega_y)\|^2 + 1/SNR(\omega_x, \omega_y)}$$

## 【 0 0 6 1 】

ここで $H(\omega_x, \omega_y)$ は、OTFを表し、 $H^*(\omega_x, \omega_y)$ はその複素共役を表す。また、 $SNR(\omega_x, \omega_y)$ は信号対雑音比を表す。

30

## 【 0 0 6 2 】

復元フィルタのフィルタ係数の設計は、フィルタの周波数特性が、所望のウィナー周波数特性に最も近くなるように係数値を選択する最適化問題であり、任意の公知の手法によってフィルタ係数を適宜算出することができる。

## 【 0 0 6 3 】

尚、PSFは、F値、照明光の波長（ピーク波長）、像高及び焦点距離等の撮像条件により変動するため、復元フィルタは、撮像条件に応じて変動するPSFを使用して算出する必要がある。また、OTFの代わりに、OTFの振幅成分を示す変調伝達関数(MTF: Modulation Transfer Function)を使用して復元フィルタを算出するようにしてもよい。

40

## 【 0 0 6 4 】

復元フィルタ記憶部 5 1 B には、複数の撮像条件に対応するPSFに応じて算出された複数の復元フィルタが、撮像条件に関連付けて記憶されている。本例の復元フィルタ記憶部 5 1 B は、絞り 1 8 のF値と、照明装置 4 0 の光源の種類又は光源の波長（ピーク波長）とに対応する復元フィルタを記憶しているが、これに限らず、更に像高に対応する復元フィルタを生成し、記憶するようにしてもよい。

## 【 0 0 6 5 】

復元フィルタ選択部 5 1 C には、カメラコントローラ 2 8（図 1）から絞り 1 8 の現在の絞り値（F値）を示す情報（F値情報）と、照明装置 4 0 により使用される複数の光源のうちの撮像時に使用される光源の種類を示す情報（光源情報）とが加えられており、復

50

元フィルタ選択部 5 1 C は、カメラコントローラ 2 8 から入力する F 値情報及び光源情報に基づいてこれらの情報に対応する復元フィルタを復元フィルタ記憶部 5 1 B から読み出し、読み出した復元フィルタを復元フィルタ処理部 5 1 A に出力する。尚、光源情報は、撮像時に使用される光源の種類を示す情報に限らず、撮像時に使用される光源の波長（ピーク波長）を示す情報であってもよい。

【 0 0 6 6 】

判別部 5 3 には、カメラコントローラ 2 8 から F 値情報及び光源情報が加えられており、判別部 5 3 は、F 値情報及び光源情報に基づいて入力する画像データに対して、点像復元処理部 5 1 による点像復元処理を行う必要があるか否かを判別し、前述したように判別結果に対応する切替信号を切替スイッチ 5 4 に出力する。

10

【 0 0 6 7 】

次に、撮像された画像データに対して点像復元処理を行う必要があるか否かの具体的な判別方法について説明する。

【 0 0 6 8 】

撮像画像の解像度劣化（ボケ）は、レンズの点拡がり関数（P S F）により左右され、また、P S F は、主としてレンズの球面収差に依存する。

【 0 0 6 9 】

撮像光学系の波面収差を近似する多項式として、極座標を使用したゼルニケ多項式が利用されており、ゼルニケ多項式（フリッツゼルニケ多項式）の 9 項は、球面収差を表す。

【 0 0 7 0 】

いま、焦点距離  $f$  が 16mm のレンズを使用し、e 線のスペクトル（波長 = 546.070 nm）をピーク波長とする水銀ランプを照明光源とし、球面収差が異なる種々のレンズについて、フリッツゼルニケ多項式の 9 項により表される球面収差及び F 値毎に M T F を算出した。

20

【 0 0 7 1 】

但し、撮像素子 2 6 によるサンプリング周波数（ $f_s$ ）は、90本/mmであり、M T F は、 $0.25 f_s$  から  $0.3 f_s$  の範囲内の所定の空間周波数（本例では、 $0.25 f_s$ ）における値である。尚、 $0.25 f_s$  から  $0.3 f_s$  の範囲内の空間周波数での M T F を評価の対象とした理由は、この範囲内の空間周波数における M T F が画質を評価するのに好適であり、点像復元処理が画質に寄与する空間周波数領域だからである。

30

【 0 0 7 2 】

図 4 は、球面収差と F 値との組み合わせ毎に算出した M T F の一例を示す図表である。

【 0 0 7 3 】

図 4 には、球面収差が 0、0.2、...、5 の 10 種類のレンズと、F 1.4 ~ F 22 の 10 段階の F 値との組み合わせ毎の M T F が示されている。

【 0 0 7 4 】

ここで、図 4 に示す M T F は、光軸上の所定の空間周波数（ $0.25 f_s$ ）における値であり、また、撮像素子 2 6 の撮像画面上の所定の領域における M T F であるが、それ以外の領域であってもよい。

【 0 0 7 5 】

所定の領域の M T F は、撮像画面における像高が 50%（撮像画面の中心から撮像画面の四隅までの距離を 100%とした場合の 50%）以上の領域の M T F とすることができる。一般に M T F は、像高が高くなるほど低くなり、低くなる領域の M T F を採用することが好ましいからである。

40

【 0 0 7 6 】

更に、所定の領域の M T F の他の例としては、撮像画面の画面全体の M T F を採用してもよく、また撮像画面の任意の複数点の M T F を採用してもよい。

【 0 0 7 7 】

更にまた、所定の領域の M T F としては、所定の領域の M T F の代表値（例えば、平均値、中央値、又は最頻値等）が使用される。

50

## 【 0 0 7 8 】

図 4 に示すように F 1.4 は開放 F 値であり、F 値が開放 F 値から大きくなる（絞り開口が小さくなる）にしたがって M T F は大きくなり、F 値が F 5.6 以上になると、M T F は徐々に小さくなる。F 値が F 5.6 以上になると、M T F が徐々に小さくなるのは、球面収差よりも小絞りボケが支配的になるからである。尚、F 22 では、M T F が低すぎて正しく計算できなかったため、M T F を 0 とした。

## 【 0 0 7 9 】

また、図 5 は、球面収差と F 値との組み合わせ毎に算出した M T F を示す他の例を示す図表である。尚、図 5 に示す M T F は、図 4 に示した一例とは光源の種類のみが異なり、照明光の光源として、図 4 に示した e 線の 2 倍の波長（1092.14 nm）をピーク波長とする赤外線光源を使用した場合に関して示している。

10

## 【 0 0 8 0 】

光源の波長が異なると、レンズでの屈折率が異なり、その結果、M T F も異なる。図 4 に示した M T F と図 5 に示した M T F との比較からも明らかなように、撮像時の光源として e 線の 2 倍の波長を有する赤外光を使用すると、水銀ランプを光源とする e 線をピーク波長とする光を使用する場合に比べて M T F が低下する。即ち、球面収差は、球面収差を定める波長により異なり、波長が長くなると、大きくなる。

## 【 0 0 8 1 】

マシンビジョンシステムに使用される撮像装置 1 0 は、被写界深度の必要性から実用上使用する絞りの範囲を中域の絞りとしており、レンズ 1 6 は、中域の絞りでは点像復元処理を行わなくても製品の検査等に要求される所望の画質の撮像画像が撮像できるように重点化してレンズ設計されている。

20

## 【 0 0 8 2 】

その一方、レンズスペックとしてレンズの明るさも求められているため、例えば、開放絞りでも製品の検査等に要求される所望の画質の撮像画像を取得できるようにする必要があり、この場合には点像復元処理により劣化した撮像画像を回復させる。

## 【 0 0 8 3 】

尚、本例のレンズ 1 6 は、球面収差が 2 となるようにレンズ設計されたものであるが、これに限定されない。また、球面収差が大きいレンズほど、レンズ設計が容易であり、レンズも安価なものとなる。

30

## 【 0 0 8 4 】

判別部 5 3 は、撮像条件（F 値、光源の波長）により変動する撮像光学系の球面収差に基づいて点像復元処理部 5 1 による点像復元処理を行うか否かを判別する。P S F は、球面収差に依存し、P S F をフーリエ変換した O T F の振幅成分を示す M T F も球面収差に依存するため、球面収差に基づいて撮像画像の解像度劣化（ボケ）を判別することができるからである。

## 【 0 0 8 5 】

図 6 は、あるレンズの球面収差を示す縦収差図であり、光線が光軸と交わる位置を横軸にとり、光線が撮像光学系に入射する高さを縦軸にとったグラフである。また、グラフの原点 O は、球面収差を定める波長に対する近軸像点をとる、横軸の符号は、レンズから遠ざかる側を正としている。

40

## 【 0 0 8 6 】

また、本例では、レンズの球面収差は、近軸の像面位置（絞り径 0 に相当する位置）から、開放絞りにおける開口の最も縁側を通る光線の像面位置までの差によって定義される量であり、図 6 における正方向の最大のズレ（収差量）と負方向の最大のズレ（収差量）との総和により評価する。図 6 において、F 値が F 1.4（開放 F 値）の場合の球面収差（収差量）は A により表され、同様に F 1.8、F 2、及び F 2.8 の場合の球面収差（収差量）はそれぞれ B 1、B 2、B 3 により表されている。即ち、球面収差は、F 1.4（開放 F 値）の場合に最大になり、F 値が開放 F 値から大きくなるにしたがって小さくなる。

## 【 0 0 8 7 】

50

判別部 53 は、使用する F 値等により変動する球面収差が、第 1 の閾値（本例では、球面収差を定める波長を とすると、0.6）以上の場合、点像復元処理部 51 による点像復元処理を行うと判別する。第 1 の閾値を 0.6 に設定した理由は、フリッツゼルニケ多項式の 9 項により表される球面収差を仮定し、図 4 に示したように撮像素子 26 によるサンプリング周波数（ $f_s$ ）を 90 本/mm、及び照明光源として e 線のスペクトル（波長 = 546.070 nm）をピーク波長とする水銀ランプで MTF を評価した際に、F1.4 のレンズが開放側において MTF 50% を下回る条件が、0.6 以上の球面収差であったからである。尚、MTF 50% は、画像データが製品の検査等に要求される所望の画質を満たすか否かの閾値である。

【0088】

10

図 4 に示すように球面収差が開放 F 値（F1.4）で 2 のレンズ 16 であって、照明装置 40 から発光される照明光が e 線のスペクトルをピーク波長とする光の場合、絞り 18 の F 値を F2 にすると、球面収差が 0.6 未満になり、かつ MTF 50% を満たす。

【0089】

また、判別部 53 は、上記の条件の場合、絞り 18 の F 値が F2 以上の場合に球面収差が 0.6 未満となり、かつ MTF 50%（小絞りによる回折起因による MTF の低下は除く）を満たすため、F 値が F2 以上の場合には点像復元処理を行わないと判別する。

【0090】

即ち、判別部 53 は、撮像条件（F 値、光源の波長）により変動する球面収差に基づいて点像復元処理部 51 による点像復元処理を行うか否かを判別する代わりに、F 値に置き換えて判別することができ、本例では F 値が F2.0 以上の場合には、点像復元処理を行わないと判別し、F 値が F2.0 よりも小さくなると、点像復元処理を行うと判別する。尚、図 4 に示す例において、F11 以上で MTF が 50% よりも小さくなっているのは球面収差ではなく小絞りボケに起因するものであるため、今回の判別には考慮しないものとする。

20

【0091】

また、判別部 53 は、絞り 18 が開放絞り（F1.4）の場合の撮像光学系の球面収差（第 1 の球面収差）に対する、撮像条件により変動する撮像光学系の球面収差（第 2 の球面収差）の比（球面収差比）が 0.5 を越えると、点像復元処理部 51 による点像復元処理を行うと判別するようにしてもよい。

【0092】

30

図 6 に示すように開放絞り（F1.4）の場合の撮像光学系の第 1 の球面収差を A とし、撮像時に使用する F 値（F1.8、F2、F2.8、...）に対応する第 2 の球面収差を B1、B2、B3、... とすると、球面収差比は、 $B1/A$ 、 $B2/A$ 、 $B3/A$ 、... により表すことができる。

【0093】

判別部 53 は、撮像時に使用する F 値により求めることができる球面収差比が閾値（第 2 の閾値（本例では 0.5））を越えると、MTF が 50% 未満になり、点像復元処理部 51 による点像復元処理を行うと判別することができる。

【0094】

次に、MTF が 50% 未満になるか否かの判別基準となる球面収差比の第 2 の閾値について説明する。

40

【0095】

球面収差を示すゼルニケ多項式（フリッツゼルニケ多項式）の 9 項は、次式により表される。

【0096】

【数 2】

$$R(\rho, \theta) = 6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$$

【0097】

50

尚、[数2]式において、 $r$  は半径、 $\theta$  は回転角を示す。

【0098】

球面収差は波面収差の微分で近似できるので、 $f$  を焦点距離として、次式で表すことができる。

【0099】

【数3】

$$Zdp(\rho) = f(24\rho^3 - 12\rho)$$

【0100】

10

また、絞りの開放時のF値を $F_0$ 、撮像時のF値を $F$ とすると、開放時の瞳径 $L_0$ は、 $L_0 = f / F_0$ 、撮像時の瞳径 $L$ は、 $L = f / F$ により表すことができる。

【0101】

そして、瞳径の比を $T$ とすると、瞳径の比 $T$ は、次式により表すことができる。

【0102】

【数4】

$$T = \frac{Zdp(L)}{Zdp(L_0)}$$

20

【0103】

いま、 $c$  を焦点距離依存の定数として、[数3]式を近似すると、球面収差は次式により表すことができる。

【0104】

【数5】

$$Zdp(\rho) \approx c \times \rho^3$$

【0105】

従って、[数4]式と[数5]とにより、次式が成立する。

30

【0106】

【数6】

$$T = (F_0 / F)^3$$

又は

$$F = \frac{F_0}{\sqrt[3]{T}}$$

【0107】

40

つまり、ゼルニケ多項式の9項の球面収差の比(球面収差比)で規定するのは、F値で規定するのと等価である。

【0108】

以上を受けて、MTF50%未滿となるような $T$ (開放F値の場合の球面収差と撮像時のF値の場合の球面収差の比である球面収差比)を、図4に示した球面収差が異なる各レンズについて計算した。尚、各レンズについて、MTFが50%未滿となる球面収差比のうちの最小の球面収差比を計算した。また、小絞りによる回折起因によるMTFが低下し、MTFが50%未滿になるF値は除いて計算した。

【0109】

図7は、図4に示した球面収差が異なる各レンズについて計算した、球面収差比の計算

50

結果等を示す図表である。

【 0 1 1 0 】

図 7 に示したように撮像素子 2 6 によるサンプリング周波数 (  $f_s$  ) を 9 0 本 / mm、及び照明光源として e 線のスペクトル ( 波長 = 546.070 nm ) をピーク波長とする水銀ランプで MTF を評価した際に、開放 F 値での球面収差が 2 であるレンズが、MTF が 5 0 % 未満となるときの球面収差比は 0 . 4 7 である。

【 0 1 1 1 】

従って、MTF が 5 0 % 未満になるか否かの判別基準となる球面収差比の第 2 の閾値として、0 . 4 7 の小数点第 2 位を四捨五入した 0 . 5 を採用することとした。

【 0 1 1 2 】

球面収差が 2 となるようにレンズ設計された本例のレンズ 1 6 の場合、e 線をピーク波長とする光源を使用し、F 値を F 2 に絞ると、MTF は閾値 5 0 % 以上になるが、e 線の 2 倍の波長を有する赤外光を発光する赤外線光源を使用すると、F 値を F 2 に絞っても MTF は閾値 5 0 % 以上にならず、F 2.8 以上に絞る必要がある。

【 0 1 1 3 】

従って、判別部 5 3 は、撮像条件により変動する撮像光学系の球面収差と第 1 の閾値とに基づいて点像復元処理を行うか否かを判別する場合、又は開放絞りの場合の球面収差 ( 第 1 の球面収差 ) と撮像条件により変動する撮像光学系の球面収差 ( 第 2 の球面収差 ) との球面収差比と第 2 の閾値とに基づいて点像復元処理を行うか否かを判別する場合、球面収差を定める波長 ( 即ち、照明装置 4 0 から発光される照明光の光源の種類 ( 又は光源の波長 ) ) に応じて設定された第 1 の閾値、又は第 2 の閾値を使用することが好ましい。また、撮像時の F 値により点像復元処理を行うか否かを判別する場合も判別基準となる F 値 ( 閾値 ) を、球面収差を定める波長に応じて設定することが好ましい。

【 0 1 1 4 】

< 画像処理部の第 2 の実施形態 >

図 8 は、図 2 に示したカメラコントローラ 2 8 内の画像処理部 3 5 の第 2 の実施形態を示すブロック図である。尚、図 3 に示した第 1 の実施形態と共通する部分には同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【 0 1 1 5 】

図 8 に示す第 2 の実施形態の画像処理部 3 5 は、主として点像復元処理部 5 2 と、判別部 5 3 と、切替スイッチ 5 4 とから構成されている。

【 0 1 1 6 】

点像復元処理部 5 2 は、第 1 の実施形態の画像処理部 3 5 の点像復元処理部 5 1 と比較して、点像復元処理部 5 1 の復元フィルタ記憶部 5 1 B 及び復元フィルタ選択部 5 1 C の代わりに、点拡がり関数記憶部 5 2 B 及び復元フィルタ生成部 5 2 C を備えている点で相違する。

【 0 1 1 7 】

点拡がり関数記憶部 5 2 B は、点像復元処理部 5 1 の復元フィルタ記憶部 5 1 B が F 値等の撮像条件に応じた複数の復元フィルタを記憶しているのに対し、複数の復元フィルタを生成するための元になる、撮像光学系 ( レンズ 1 6 、絞り 1 8 ) の点光源に対する応答を表す点拡がり関数 ( PSF ) を記憶している。尚、復元フィルタ記憶部 5 1 B は、点像復元処理すべき撮像条件のみその撮像条件に対応する PSF を記憶していればよく、これにより記憶すべき PSF のデータ量を削減することができる。

【 0 1 1 8 】

復元フィルタ生成部 5 2 C には、カメラコントローラ 2 8 ( 図 1 ) から絞り 1 8 の現在の F 値を示す F 値情報と、照明装置 4 0 により使用される複数の光源のうちの撮像時に使用される光源の種類を示す光源情報とが加えられており、復元フィルタ生成部 5 2 C は、カメラコントローラ 2 8 から入力する F 値情報及び光源情報に基づいてこれらの情報に対応する PSF を点拡がり関数記憶部 5 2 B から読み出し、読み出した PSF に基づいて復元フィルタを生成する。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 1 9 】

即ち、復元フィルタ生成部 5 2 C は、読み出した P S F をフーリエ変換した O T F と予め設定された S N R とに基づいて、例えば [ 数 1 ] 式に示したように復元フィルタの周波数特性  $d(x, y)$  を求め、これを逆フーリエ変換してコンボリューション型のウィナーフィルタ ( 復元フィルタ ) を生成する。

## 【 0 1 2 0 】

このようにして作成された復元フィルタは、復元フィルタ処理部 5 2 A に加えられ、ここで画像データと復元フィルタとの畳み込み演算が行われる。

## 【 0 1 2 1 】

尚、点拡がり関数記憶部 5 2 B は、P S F を記憶しているが、P S F の代わりに P S F をフーリエ変換した O T F、又は O T F の振幅成分を示す M T F を記憶するようにしてもよい。

10

## 【 0 1 2 2 】

[ 画像処理方法 ]

< 画像処理方法の第 1 の実施形態 >

次に、本発明に係る画像処理方法の第 1 の実施形態について、図 9 に示したフローチャートにしたがって説明する。

## 【 0 1 2 3 】

図 9 において、画像処理部 3 5 の判別部 5 3 ( 図 3、図 8 ) は、カメラコントローラ 2 8 から撮像条件 ( 絞り 1 8 の現在の F 値を示す F 値情報、及び照明装置 4 0 の複数の光源のうちの撮像時に使用される光源の種類を示す光源情報 ) を取得する ( ステップ S 1 0 )

20

## 【 0 1 2 4 】

続いて、判別部 5 3 は、取得した撮像条件に対応する撮像光学系 ( レンズ 1 6、絞り 1 8 ) の球面収差を取得する ( ステップ S 1 2 )。例えば、判別部 5 3 は、図 4 及び図 5 に示した撮像時に使用する光源の種類 ( 波長 = 546.070 n m、 = 1092.14 n m ) 毎、及び本例のレンズ 1 6 の球面収差 ( 2 ) に対応する F 値毎の球面収差を記憶する記憶部を有し、この記憶部から現在の撮像条件に対応する球面収差を読み出すことにより球面収差を取得する。

## 【 0 1 2 5 】

判別部 5 3 は、上記のようにして取得した球面収差が第 1 の閾値 ( 0 . 6 ) 以上か否かを判別し、0 . 6 以上の場合 ( 「Yes」の場合 ) には、点像復元処理部 5 1 又は 5 2 ( 図 3、図 8 ) による点像復元処理を行うと判別し、ステップ S 1 6 に遷移させる ( ステップ S 1 4 )。即ち、判別部 5 3 は、点像復元処理を行うと判別すると、点像復元処理部 5 1 又は 5 2 を動作可能にし、かつ切替スイッチ 5 4 の可動切片 5 4 C を第 2 の入力 5 4 B に切り替える切替信号を出力する。

30

## 【 0 1 2 6 】

ステップ S 1 6 において、点像復元処理部 5 1 又は 5 2 は、判別部 5 3 が点像復元処理を行うと判別した場合のみ点像復元処理を行い、点像復元処理した画像データを切替スイッチ 5 4 の第 2 の入力 5 4 B に出力する。これにより、点像復元処理された画像データは、切替スイッチ 5 4 を介して出力される。

40

## 【 0 1 2 7 】

一方、判別部 5 3 は、取得した球面収差が第 1 の閾値 ( 0 . 6 ) 未満の場合 ( 「No」の場合 ) には、点像復元処理部 5 1 又は 5 2 による点像復元処理を行わないと判別し、本処理を終了させる ( ステップ S 1 4 )。この場合、判別部 5 3 は、切替スイッチ 5 4 の可動切片 5 4 C を第 1 の入力 5 4 A に切り替える切替信号を出力し、第 1 の入力 5 4 A に入力する点像復元処理されていない未処理の画像データを切替スイッチ 5 4 を介して出力させる。また、判別部 5 3 は、点像復元処理を行わないと判別すると、点像復元処理部 5 1 又は 5 2 を動作不能にし、演算コストを削減させることが好ましい。

## 【 0 1 2 8 】

50

< 画像処理方法の第 2 の実施形態 >

図 10 は、本発明に係る画像処理方法の第 2 の実施形態を示すフローチャートである。尚、図 10 において、図 9 に示した第 1 の実施形態と共通するステップには同一のステップ番号を付し、その詳細な説明は省略する。

【 0 1 2 9 】

第 1 の実施形態は、点像復元処理を行うか否かを球面収差の大きさに基づいて判断するようにしたが、図 10 に示す第 2 の実施形態は、点像復元処理を行うか否かを、球面収差の代わりにステップ S 10 で取得した F 値に基づいて判断する点で相違する。

【 0 1 3 0 】

即ち、第 2 の実施形態の判断部 53 は、ステップ S 10 で取得した F 値が、F2 以上か否かを判断し、F2 以上の場合（「Yes」の場合）には、点像復元処理を行わないと判断し、本処理を終了させる（ステップ S 20）。 10

【 0 1 3 1 】

一方、判断部 53 は、ステップ S 10 で取得した F 値が、F2 未満の場合（「No」の場合）、点像復元処理を行うと判断し、ステップ S 16 に遷移させる（ステップ S 20）。

【 0 1 3 2 】

尚、ステップ S 20 において判断される F 値は、光源の種類が水銀ランプ（波長 = 546.070 nm）に対応するもの（図 4 の 2 の球面収差に対応する F 値参照）であるが、光源の種類が赤外線光源（波長 = 1092.14 nm）の場合には、ステップ S 20 における閾値として、F2 の代わりに F2.8 を使用する（図 5 の 2 の球面収差に対応する F 値参照） 20

【 0 1 3 3 】

< 画像処理方法の第 3 の実施形態 >

図 11 は、本発明に係る画像処理方法の第 3 の実施形態を示すフローチャートである。尚、図 11 において、図 9 に示した第 1 の実施形態と共通するステップには同一のステップ番号を付し、その詳細な説明は省略する。

【 0 1 3 4 】

図 11 において、第 3 の実施形態の判断部 53 は、絞りが開放絞り（開放 F 値）の場合の撮像光学系の第 1 の球面収差（ステップ S 10 で取得した光源の種類（波長）により定まる）に対する、撮像時の撮像光学系の第 2 の球面収差（ステップ S 10 で取得した F 値及び光源の種類（波長）により定まる）の比である球面収差比を取得する（ステップ S 22）。 30

【 0 1 3 5 】

続いて、判断部 53 は、ステップ S 22 で取得した球面収差比が、第 2 の閾値（0.5）を越えているか否かを判断し、0.5 を越えている場合（「Yes」の場合）には、点像復元処理を行うと判断し、ステップ S 16 に遷移させる（ステップ S 24）。球面収差比が 0.5 を越えている場合、開放時に 2 の球面収差を有するレンズ 16 の場合、MTF は、50% 未満になり、画像データが製品の検査等に要求される所望の画質を満たさなくなるからである。

【 0 1 3 6 】

一方、判断部 53 は、ステップ S 22 で取得した球面収差比が、0.5 以下の場合（「No」の場合）には、点像復元処理を行わないと判断し、本処理を終了させる（ステップ S 24）。球面収差比が 0.5 以下の場合、開放時に 2 の球面収差を有するレンズ 16 の場合、MTF は、50% 以上になり、画像データが所望の画質を満たすため、点像復元処理を行う必要がない。 40

【 0 1 3 7 】

[ その他 ]

本実施形態では、マシンビジョンシステムに使用される撮像装置 10 について説明したが、撮像装置 10 の用途はマシンビジョン用途に限定されない。また、一般のデジタルカメラやデジタルビデオカメラ、監視カメラ等にも適用可能であり、更に小絞りボケが発生 50



しないF値の範囲で使用頻度が多いカメラで効果を得やすい。

【0138】

また、本実施形態では、撮像装置10のカメラコントローラ28内の画像処理部35（図2、図3、図8）が、本発明に係る画像処理装置として機能するが、これに限らず、撮像装置10からコンピュータ60にRAWデータが送信される場合、コンピュータ60の画像処理部（画像処理装置）が、カメラコントローラ28内の画像処理部35と同様の機能を果たすようにコンピュータ60の画像処理部を構成するようにしてもよい。この場合、コンピュータ60がカメラコントローラ28を介して撮像条件を制御しない場合は、カメラコントローラ28は、RAWデータとともに、撮像時のF値等の撮像条件をコンピュータ60の画像処理部に送信する必要がある。

10

【0139】

更に、本実施形態の点像復元処理は、復元フィルタとしてコンボリューション型のウィナーフィルタを使用しているが、これに限らず、例えば、[数1]式に示した空間周波数領域の復元フィルタを使用してもよい。この場合、入力する画像データをフーリエ変換し、フーリエ変換した空間周波数領域の画像データと空間周波数領域の復元フィルタとを乗算し、乗算結果を逆フーリエ変換する必要がある。

【0140】

また、本発明は上述した実施形態に限定されず、本発明の精神を逸脱しない範囲で種々の変形が可能であることは言うまでもない。

20

【符号の説明】

【0141】

- 10 撮像装置
- 12 レンズユニット
- 16 レンズ
- 18 絞り
- 20 光学系操作部
- 26 撮像素子
- 28 カメラコントローラ
- 32 入出力インターフェース
- 34 デバイス制御部
- 35 画像処理部
- 40 照明装置
- 51、52 点像復元処理部
- 51A、52A 復元フィルタ処理部
- 51B 復元フィルタ記憶部
- 51C 復元フィルタ選択部
- 52B 点拡がり関数記憶部
- 52C 復元フィルタ生成部
- 53 判別部
- 54 切替スイッチ
- 54A 第1の入力
- 54B 第2の入力
- 54C 可動切片
- 60 コンピュータ
- 62 コンピュータ入出力部
- 64 コンピュータコントローラ
- 66 ディスプレイ
- S10～S24 ステップ
- f 焦点距離
- 波長

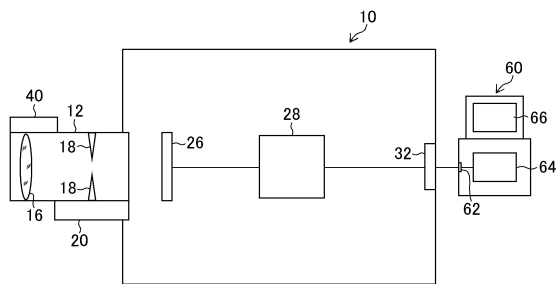
30

40

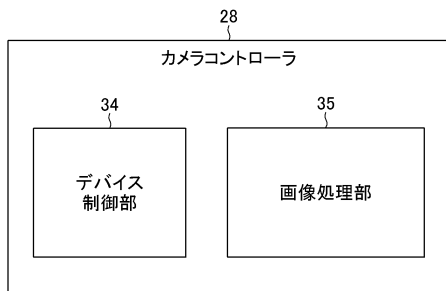
50

- F<sub>0</sub> 開放 F 値
- F 撮像時の F 値
- L<sub>0</sub> 開放時の瞳径
- L 撮像時の瞳径
- T 瞳径の比

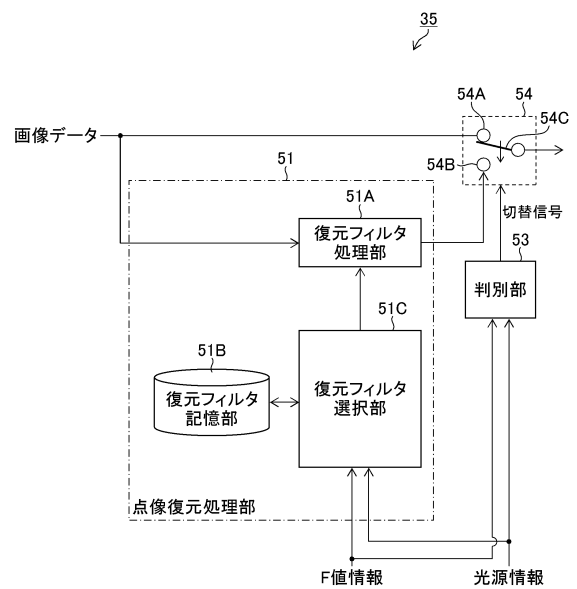
【図 1】



【図 2】



【図 3】



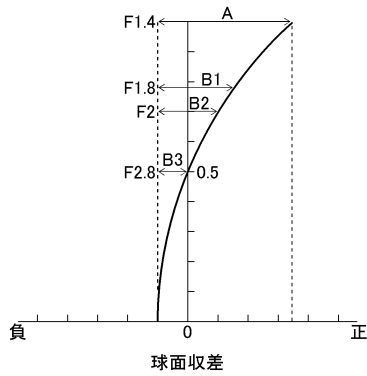
【 図 4 】

MTF[%]	Zernike 9th [wavelength]									
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
F1.4	91.3	83.0	64.5	47.5	39.1	34.9	24.2	18.9	16.0	14.2
F1.8	88.8	86.6	79.8	71.0	68.0	65.1	39.8	30.6	25.7	22.7
F2	87.5	86.0	82.6	79.6	80.0	77.3	51.6	38.5	31.9	28.2
F2.8	82.6	82.7	82.5	82.2	82.2	81.8	79.3	74.6	68.9	62.4
F4	75.2	75.2	75.2	75.2	75.2	75.2	75.1	74.8	74.4	73.9
F5.6	65.5	65.5	65.5	65.5	65.6	65.6	65.6	65.7	65.8	65.8
F8	51.4	51.4	51.4	51.5	51.5	51.5	51.6	51.8	51.9	52.0
F11	34.9	34.9	34.9	35.0	35.0	35.0	35.2	35.3	35.5	35.7
F16	11.8	11.8	11.8	11.9	11.9	11.9	12.1	12.3	12.4	12.6
F22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

【 図 5 】

MTF[%]	Zernike 9th [wavelength]									
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
F1.4	91.3	64.5	39.1	32.0	27.4	24.2	16.0	12.8	10.8	5.6
F1.8	88.8	79.8	68.0	59.2	42.5	39.8	25.7	20.4	16.9	9.2
F2	87.5	82.6	80.0	70.8	61.4	51.6	31.9	24.6	20.6	11.9
F2.8	82.6	82.5	82.2	81.2	80.5	79.3	68.9	54.8	39.2	15.3
F4	75.2	75.2	75.2	75.1	75.1	75.1	74.4	73.3	63.5	14.0
F5.6	65.5	65.5	65.6	65.6	65.6	65.6	65.8	65.9	53.0	8.9
F8	51.4	51.4	51.5	51.5	51.6	51.6	51.9	52.1	46.8	16.0
F11	34.9	34.9	35.0	35.1	35.1	35.2	35.5	35.8	34.7	26.0
F16	11.8	11.8	11.9	12.0	12.0	12.1	12.4	12.8	13.1	13.0
F22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

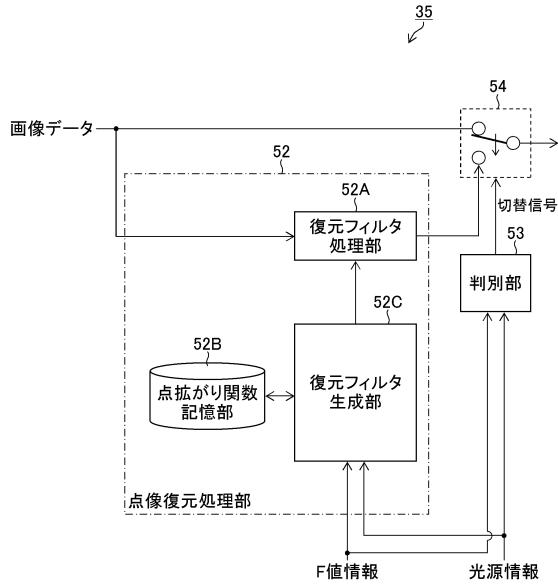
【 図 6 】



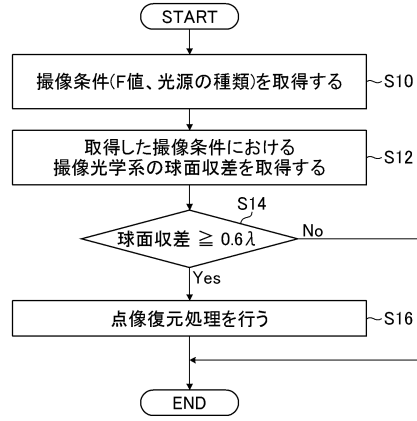
【 図 7 】

Z9(wavelength)	MTF50%未滿となる最小のF値 (ただし回折起因は除く)	MTF50%未滿となる最小の球面収差比 (ただし回折起因は除く)
0	なし	なし
0.2	なし	なし
0.4	なし	なし
0.6	F1.4	1
0.8	F1.4	1
1	F1.4	1
2	F1.8	$(1.4/1.8)^3=0.47$
3	F2	$(1.4/2)^3=0.34$
4	F2	$(1.4/2)^3=0.34$
5	F2	$(1.4/2)^3=0.34$

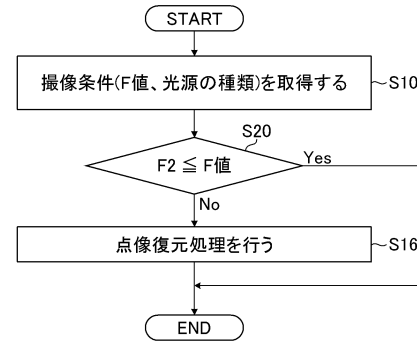
【図8】



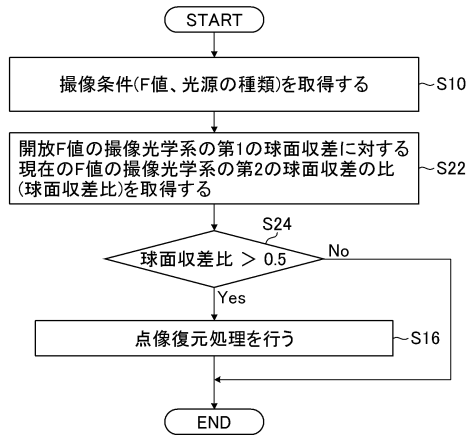
【図9】



【図10】



【図11】



---

フロントページの続き

審査官 高野 美帆子

- (56)参考文献 特開昭62-210414(JP,A)  
特開2014-007493(JP,A)  
特開2011-199407(JP,A)  
特開2006-343456(JP,A)  
特開2004-048332(JP,A)  
国際公開第2015/146380(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)  
H04N 5/222-5/257  
G06T 5/20