

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6478579号
(P6478579)

(45) 発行日 平成31年3月6日 (2019.3.6)

(24) 登録日 平成31年2月15日 (2019.2.15)

(51) Int.Cl.

F I

HO 4 N 9/07 (2006.01) HO 4 N 9/07 D

GO 1 J 3/51 (2006.01) HO 4 N 9/07 A

GO 1 J 3/36 (2006.01) GO 1 J 3/51

GO 1 J 3/36 GO 1 J 3/36

請求項の数 14 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2014-235305 (P2014-235305)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成26年11月20日 (2014.11.20)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2016-100703 (P2016-100703A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成28年5月30日 (2016.5.30)	(74) 代理人	100110412
審査請求日	平成29年11月17日 (2017.11.17)		弁理士 藤元 亮輔
		(74) 代理人	100104628
			弁理士 水本 敦也
		(74) 代理人	100121614
			弁理士 平山 倫也
		(72) 発明者	古賀 悠修
			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	大室 秀明
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 撮像ユニット、撮像装置、及び画像処理システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被写体像を光電変換する $M \times N$ 個の画素を含む撮像素子と、
前記撮像素子の被写体側に配置されたカラーフィルタを有し、
前記カラーフィルタは前記複数の画素のそれぞれに対応した複数のフィルタセグメント
を備え、
前記複数のフィルタセグメントは、互いに分光透過率の異なる複数種類のフィルタセグ
メントを含み、
 L を 4 以上の整数、 Z を前記フィルタセグメントの種類の数、第 k 波長帯 ($k = 1、2$
、 $\dots、L$) の光を受光する前記撮像素子の画素数を P_k としたとき、

【数 1】

$$0.4 < \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \frac{P_k}{MN} < 0.9$$

$$2^{L-1} \leq Z \leq 2^L$$

なる条件を満足し、

第 k_1 波長帯 ($k_1 = 1, 2, \dots, L$) に対応する分光透過率の分布を $F_{k_1}(i, j)$ (ただし、 $i = 1, 2, \dots, M$ 、 $j = 1, 2, \dots, N$)、第 k_2 波長帯 ($k_2 = 1, 2, \dots, L$) に対応する前記分光透過率の分布を $F_{k_2}(i, j)$ とするとき、
【数 2】

$$0.1 \leq \frac{1}{(L-1)L} \left(\sum_{k_1=1}^L \sum_{k_2=1}^L R_{k_1, k_2} - L \right) \leq 0.9$$

10

$$R_{k_1, k_2} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M F_{k_1}(i, j) F_{k_2}(i, j)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M F_{k_1}(i, j)^2 \times \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M F_{k_2}(i, j)^2}}$$

但し、

なる条件を満足することを特徴とする撮像ユニット。

20

【請求項 2】

前記第 k 波長帯に対応するフィルタセグメントの分光透過率の分布を $F_k(i, j)$ 、 $F_k(i, j)$ の最小値を $\min(F_k(i, j))$ 、 $F_k(i, j)$ の最大値を $\max(F_k(i, j))$ とするとき、

【数 3】

$$0.0 \leq \frac{\min(F_k(i, j))}{\max(F_k(i, j))} < 0.6$$

30

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の撮像ユニット。

【請求項 3】

第 k 波長帯に対応するフィルタセグメントの分光透過率の分布を $F_k(i, j)$ 、 $F_k(i, j)$ の最小透過率を有する画素の数を P_{\min} 、 $F_k(i, j)$ の最大透過率を有する画素の数を P_{\max} とするとき、

【数 4】

$$0.25 \leq \frac{P_{\max}}{P_{\min}} < 4.0$$

40

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の撮像ユニット。

【請求項 4】

前記フィルタセグメントは、ノッチフィルタを有することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちいずれか 1 項に記載の撮像ユニット。

【請求項 5】

前記フィルタセグメントは、特定の波長帯の光を吸収する吸収材料から構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちいずれか 1 項に記載の撮像ユニット。

【請求項 6】

光学ローパスフィルタを有しないことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちいずれか 1 項

50

に記載の撮像ユニット。

【請求項 7】

前記複数のフィルタセグメントは、互いに分光透過率の異なる第 1 のフィルタセグメントから第 2 のフィルタセグメントからなるフィルタセグメントの組を複数含み、各組の前記第 1 のフィルタセグメントから前記第 2 のフィルタセグメントの配列は異なることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のうちいずれか 1 項に記載の撮像ユニット。

【請求項 8】

前記複数のフィルタセグメントは、複数の波長帯の光を透過させるフィルタセグメントを含むことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のうちいずれか 1 項に記載の撮像ユニット。

【請求項 9】

第 k 波長帯の短波長端の波長を λ_{k-1} 、第 k 波長帯の長波長端の波長を λ_k 、第 k 波長帯に対応するフィルタセグメントの分光透過率を $T(\lambda)$ とするとき、

【数 5】

$$0.1 \leq \frac{1}{(\lambda_k - \lambda_{k-1})} \int_{\lambda_{k-1}}^{\lambda_k} T(\lambda) d\lambda \leq 1$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のうちいずれか 1 項に記載の撮像ユニット。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 のうちいずれか 1 項に記載の撮像ユニットを有することを特徴とする撮像装置。

【請求項 11】

前記カラーフィルタの各フィルタセグメントの前記分光透過率に関する情報を記憶する記憶手段と、

前記撮像ユニットから得られる信号と前記記憶手段に記憶された前記情報に基づいて、4 種類以上の波長帯の分光画像群から構成されるマルチバンド画像を生成する画像処理手段と、

を有することを特徴とする請求項 10 に記載の撮像装置。

【請求項 12】

前記画像処理手段は、複数の波長帯に対応する光を受光する各画素から各波長帯の成分を分離することを特徴とする請求項 11 に記載の撮像装置。

【請求項 13】

前記画像処理手段は、各波長帯の成分を分離する際に、欠落している画像情報を補間する処理を行うことを特徴とする請求項 11 または 12 に記載の撮像装置。

【請求項 14】

請求項 1 乃至 9 のうちいずれか 1 項に記載の撮像ユニットを有する撮像装置と、

前記撮像装置の前記撮像素子から得られる信号と前記カラーフィルタの各フィルタセグメントの前記分光透過率に関する情報に基づいて、4 種類以上の波長帯の分光画像群から構成されるマルチバンド画像を生成する画像処理装置と、
を有する画像処理システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、4 種類以上の波長帯の分光画像群から構成されるマルチバンド画像の生成に関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

マルチバンド画像は、撮影する物体が何に属するかを識別したり、物体がどのような状態であるのかを調べたりするのに有効であり、リモートセンシング、バイオ、医学、マシンビジョン等の様々な分野で活用されている。また、コンピュータグラフィックスの分野では物体の色彩を忠実に表現するために、マルチバンド画像が活用されている。マルチバンド画像は、空間方向に2次元、波長方向に1次元の合計3次元で構成されており、空間分解能、波長分解能、時間分解能は取得方法により異なる。

【0003】

特許文献1は、撮像素子上に分光透過率の異なるカラーフィルタをアレイ状に配置することによってマルチバンド画像を取得する方法を提案している。特許文献2は、符号化マスクと分散素子を用いた圧縮センシング光学系と画像推定処理を組み合わせることにより、マルチバンド画像を取得する方法を提案している。特許文献1、2に記載の方法は、1回の撮影によりマルチバンド画像を取得することができるため、時間分解能が高いという利点がある。

10

【0004】

なお、非特許文献1は、TwIST(Two-Step Iterative Shrinkage/Thresholding)アルゴリズム等の高速な画像推定処理アルゴリズムについて提案している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

20

【特許文献1】米国特許出願公開第2010/0140461号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第2007/0296965号明細書

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】J. M. Bioucas-Dias and M. A. T. Figueiredo, "A new TwIST: two-step iterative shrinkage/thresholding algorithms for image restoration," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 16, Dec. 2007.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

30

特許文献1に記載の方法は、1画素に1波長帯(バンド)の光しか入射しないため、波長分解能を上げると入射光量が低下し、撮影感度が低下する。一方、特許文献2に記載の方法は、複数回結像光学系を使用するため、システムが大型化になる。

【0008】

本発明は、小型の構成で1回の撮影で高感度にマルチバンド画像を取得することが可能な撮像ユニット、撮像装置、及び画像処理システム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】

【0009】

本発明の撮像ユニットは、被写体像を光電変換する $M \times N$ 個の画素を含む撮像素子と、前記撮像素子の被写体側に配置されたカラーフィルタを有し、前記カラーフィルタは前記複数の画素のそれぞれに対応した複数のフィルタセグメントを備え、前記複数のフィルタセグメントは、互いに分光透過率の異なる複数種類のフィルタセグメントを含み、所定の条件を満足することを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、小型の構成で1回の撮影で高感度にマルチバンド画像を取得することが可能な撮像ユニット、撮像装置、及び画像処理システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明のマルチバンド画像取得システムの撮像素子を示す概略図である。

50

【図 2】図 1 に示すカラーフィルタを示す概略図である。

【図 3】本発明のマルチバンド画像取得システムにより取得できるバンドを説明する図である。

【図 4】図 2 に示すカラーフィルタの分光透過率特性の一例を示す図である。

【図 5】バンド幅と図 2 に示すフィルタセグメントの分光透過率特性の関係を説明する図である。

【図 6】本発明のカラーフィルタの分光特性構造を説明する図である。

【図 7】図 2 に示すカラーフィルタの分光特性の一例を示す図である。

【図 8】図 2 に示すカラーフィルタの透過率特性の値の一例を示す図である。

【図 9】図 2 に示すカラーフィルタの透過率特性の分布の一例を示す図である。

10

【図 10】図 2 に示すカラーフィルタの構成例を説明する図である。

【図 11】図 10 に示すカラーフィルタの製造方法を説明する概略図である。

【図 12】本発明のマルチバンド画像取得システムのブロック図、外観斜視図、及び部分斜視図である。（実施例 1）

【図 13】図 12 に示すシステムコントローラの動作を示すフローチャートである。（実施例 1）

【図 14】図 13 に示す画像推定方法によって撮影画像から生成されるマルチバンド画像をシミュレーションにより求めた結果を示す図である。（実施例 1）

【図 15】図 14 のマルチバンド画像の分光特性を正解の分光透過率と比較したグラフである。（実施例 1）

20

【図 16】本発明のマルチバンド画像取得システムのブロック図とシステム構成図である。（実施例 2）

【発明を実施するための形態】

【0012】

図 1 は、本実施形態のマルチバンド画像取得システム（画像処理システム）の撮像ユニット 110 を示す概略図である。マルチバンド画像取得システムは、4 種類以上の波長帯（バンド）の分光画像群から構成されるマルチバンド画像を取得する。撮像ユニット 110 は、撮像素子 111 と、その被写体側に配置されたカラーフィルタ 130 と、を有する。撮像素子 111 は被写体を撮像する $M \times N$ 個の複数の画素を有する。

【0013】

30

図 2 は、カラーフィルタ 130 の構成を示す概略図である。同図に示すように、カラーフィルタ 130 は、それぞれが被写体からの光を受光する複数のフィルタセグメント 131 を有し、各フィルタセグメント 131 がカラーフィルタとして機能する。複数のフィルタセグメント 131 は、2 次元的に（アレイ状に）配置されている。各フィルタセグメント 131 は、撮像素子 111 の複数の画素の一つに対応する。複数のフィルタセグメント 131 は、被写体からの光のうち透過する波長帯が互いに異なる分光透過率を有する第 1 乃至第 Z のフィルタセグメント 132 を含む。例えば、複数のフィルタセグメント 131 は、第 1 のフィルタセグメント 132 から第 Z のフィルタセグメント 132 の組を複数有してもよい。この場合、各組の第 1 のフィルタセグメント 132 から第 Z のフィルタセグメント 132 の配列は異なっている（不規則になっている）。

40

【0014】

図 3 は、カラーフィルタ 130 の分光特性を適宜選択することにより、取得できる波長帯を説明する図であり、横軸は波長、縦軸は分光透過率 T である。図 3 (a) は測定波長帯域を L 種類の波長帯のマルチバンド画像を取得する例を示している。図 3 (b) は波長帯間の間隔を空けて L 種類の波長帯のマルチバンド画像を取得する例を示している。図 3 (c) は隣接する波長帯が重複した L 種類の波長帯のマルチバンド画像を取得する例を示している。

【0015】

図 4 は、波長帯数 $L = 4$ 、フィルタセグメント数 $Z = 16$ の分光透過率特性の一例を示す図であり、横軸は波長、縦軸は分光透過率 T である。第 1 のフィルタセグメントから

50

第 16 のフィルタセグメントはいずれも互いに異なる分光透過率特性を有しており、単一の波長帯の光のみ透過させるフィルタセグメントから、複数の波長帯の光を透過させるフィルタセグメントが存在する。単一の波長帯の光のみ透過させるフィルタセグメントは原色フィルタ、複数の波長帯の光を透過させるフィルタセグメントは補色フィルタの機能を有し、複数の補色フィルタを用いることで入射光を多く取り入れることができる。

【0016】

なお、「異なる分光透過率特性」とは、被写体からの光のうち透過する波長帯が互いに異なることを意味する。例えば、図 4 の第 1 のフィルタセグメントの特性と、それと波長帯 k_1 における分光透過率 T の値が低い特性など、波長帯が同じで分光透過率のみが異なる場合を含まない。また、対象となる波長帯が決定された後は、同一波長帯内で透過する波長帯が互いに異なるもの（例えば、決定された波長帯 k_1 の短波長領域と長波長領域のみをそれぞれ透過する場合）も含まない。

10

【0017】

図 4 に示す分光特性を有するフィルタセグメントがカラーフィルタ 130 にそれぞれ均等な数だけ配置された場合、各波長帯に入射する光量はそれぞれ入射光量の 50% となる。これは、同じく波長帯数 4 で特許文献 1 のように原色フィルタをアレイ状に配置した場合の値の 25% と比べて高い値となっており、撮像ユニット 110 を用いると入射光を多く取り入れることが可能になることが分かる。

【0018】

本実施形態では、波長帯の数を増やしても多くの入射光を取り込むことができるように、 L を 4 以上の整数、波長帯 k ($k = 1, 2, \dots, L$) の光を受光する画素数を P_k としたとき、以下の条件が満足される。

20

【0019】

【数 1】

$$0.4 \leq \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \frac{P_k}{MN} \leq 0.9 \quad (1)$$

30

$$2^{L-1} \leq Z \leq 2^L \quad (2)$$

【0020】

カラーフィルタ 130 は複数の補色フィルタを含んでいるため、撮像素子 111 は各バンドが混色した情報を有する画素を多数含んでいる。従って、波長帯数 L のマルチバンド画像を得るためには混色した情報を有する画素から各波長帯成分を分離する必要がある。

【0021】

本実施形態では、混色した波長帯情報を有する画素から各波長帯成分を分離するため、後述する画像推定処理を用いている。数式 (1)、(2) は多くの入射光量を取り込み、かつ、画像推定処理時に混色した画素から各波長帯成分を分離しやすくするための条件式である。

40

【0022】

数式 (1) は、通常よりも多くのフィルタセグメントを有することを意味する。数式 (1) の下限値を超えると、各波長帯成分の分離が容易になるが、取り込める入射光量が低下し、上限値を超えると、取り込める入射光量は増加するが、各波長帯成分の分離が困難になる。

【0023】

数式 (2) は、1 画素が複数の波長帯に対応する光を受光することを意味する。波長帯数 L に対して数式 (2) を満たす数の分光特性を有するカラーフィルタ数がないと、多く

50

の入射光量を取り込みことと、画像推定処理時に混色した波長帯情報を有する画素から各波長帯の成分を分離しやすくすることを両立することが困難になる。

【0024】

なお、画像推定処理時に混色した波長帯情報を有する画素から各波長帯成分を分離しやすくするためには、第1のフィルタセグメント132から第2のフィルタセグメント132が不規則に配置されている点も重要である。

【0025】

図5は、波長帯幅とフィルタセグメント131の分光特性の関係を説明する図であり、横軸は波長、縦軸は分光透過率Tである。図5に示すように、フィルタセグメント131の分光透過率の違いにより、各波長帯に入射する光量が異なる。入射光量を増やし、高感度に撮影するために、波長帯kにおける平均透過率が以下の条件を満足する画素を、波長帯kの光を受光する画素としている。

【0026】

【数2】

$$0.1 \leq \frac{1}{(\lambda_k - \lambda_{k-1})} \int_{\lambda_{k-1}}^{\lambda_k} T(\lambda) d\lambda \leq 1 \quad (3)$$

【0027】

ここで、 λ_{k-1} 、 λ_k はそれぞれ波長帯kの短波長端の波長、長波長端の波長、T()は波長帯kに対応するフィルタセグメント131の分光透過率である。

【0028】

波長帯1について数式(3)を満たせば波長帯1の光を受光する画素となり、数式(3)を満たさない場合は波長帯1の光を受光する画素とはならない。このことは隣接する波長帯においても同様である。なお、図5(h)に示すフィルタセグメントの分光透過率の場合、当画素は波長帯1、波長帯2の光を受光する画素となる。

【0029】

図6は、カラーフィルタ130の分光特性構造を3次元的に表現した図である。波長帯k (k = 1, 2, ..., L) に対応するカラーフィルタの透過率特性の分布を $F_k(i, j)$ (ただし、 $i = 1, 2, \dots, M$ 、 $j = 1, 2, \dots, N$) とすると、波長帯数Lの場合は、図6のように表すことができる。ここで、 $F_k(i, j)$ は数式(3)の左辺で計算される平均透過率を指す。このとき、カラーフィルタ130は以下の条件を満足する。

【0030】

【数3】

$$0.1 \leq \frac{1}{(L-1)L} \left(\sum_{k_1=1}^L \sum_{k_2=1}^L R_{k_1, k_2} - L \right) \leq 0.9 \quad (4)$$

$$\text{但し、} R_{k_1, k_2} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M F_{k_1}(i, j) F_{k_2}(i, j)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M F_{k_1}(i, j)^2 \times \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M F_{k_2}(i, j)^2}} \quad (5)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 3 1 】

ここで、 R_{k_1, k_2} は波長帯 k_1 と波長帯 k_2 の分光透過率部の分布 F_{k_1} 、 F_{k_2} の相互相関であり、数式 (4) (5) は各波長帯間の相互相関の平均値を表している。 R_{k_1, k_2} は波長帯 k_1 と波長帯 k_2 の相互相関が全くないときに 0.5 となり、正の相関が強いほど 1.0 に近づき、負の相関が強いほど 0.0 に近づく。

【 0 0 3 2 】

画像推定処理で混色した波長帯情報を有する画素から各波長帯成分を分離する際には各波長帯間の相互相関が無いほうがよく、数式 (4) (5) はその適切な範囲を示したものである。また、第 1 乃至第 Z のフィルタセグメント 1 3 2 が不規則に配置されているという状態を表現する数式にもなっている。

10

【 0 0 3 3 】

なお、数式 (4) は以下の条件を満足すると更に良い。

【 0 0 3 4 】

【数 4】

$$0.3 \leq \frac{1}{(L-1)L} \left(\sum_{k_1=1}^L \sum_{k_2=1}^L R_{k_1, k_2} - L \right) \leq 0.7 \quad (4')$$

【 0 0 3 5 】

図 7 は、画素数 64×64 、波長帯数 4 に対するカラーフィルタ 1 3 0 の分光透過率特性の一例を示す図である。図 7 において、白い部分は光が透過し、黒い部分は光が透過しないことを意味している。なお、ここでは、 $F_k(i, j)$ の透過率分布を乱数により与えている。このときの数式 (4) の値は 0.5011 となっており、各波長帯間の相互相関はほとんどみられない。

20

【 0 0 3 6 】

図 8 は画素数 64×64 、波長帯 k に対するカラーフィルタ 1 3 0 の透過率特性の値のバリエーションを示す図である。図 8 の右側に示すのは、左側の図に記載の直線における透過率の断面プロファイルである。 $F_k(i, j)$ の最小値は図 8 (a) に示すように 0 でもよいし、図 8 (b)、(c) に示すように 0 以外でもよい。また、図 8 (d) に示すように多諧調の透過率分布を持っていたりしてもよい。図 8 (b) ~ (d) に示す透過率分布を与えることにより、より多くの光量を取り入れることが可能になるが、光量の増加と共に、画像推定処理時に混色した波長帯情報を有する画素から各波長帯成分を分離することが困難になる。 $F_k(i, j)$ の最小値である $\min(F_k(i, j))$ と最大値である $\max(F_k(i, j))$ の比は以下の条件を満足することが好ましい。

30

【 0 0 3 7 】

【数 5】

$$0.0 \leq \frac{\min(F_k(i, j))}{\max(F_k(i, j))} \leq 0.6 \quad (6)$$

40

【 0 0 3 8 】

図 9 は、画素数 64×64 、波長帯 k に対するフィルタセグメント 1 3 1 の透過率特性の分布のバリエーションを示す図である。 $F_k(i, j)$ の最小透過率を有する画素数を P_{\min} 、 $F_k(i, j)$ の最大透過率を有する画素数を P_{\max} としたとき、図 9 (a) は $P_{\max} / P_{\min} = 0.25$ 、図 9 (b) は $P_{\max} / P_{\min} = 1$ 、図 9 (c) は $P_{\max} / P_{\min} = 4$ となっている。 P_{\max} / P_{\min} を大きくするとより多くの光量を取り入れることが可能になるが、光量の増加と共に、画像推定処理時に混色した波

50

長帯情報を有する画素から各波長帯成分を分離することが困難になる。 P_{\max} / P_{\min} は以下の条件を満足することが好ましい。

【0039】

【数6】

$$0.25 \leq \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \leq 4.0 \quad (7)$$

10

【0040】

図10は、カラーフィルタ130の構成例を説明する図である。カラーフィルタ130は、各波長帯に対応したカラーフィルタ層133が積層された構成となっている。

【0041】

図11は、カラーフィルタ層133の製造方法を説明するための概略図である。まず、図11(a)に示す透明基板134に、図11(b)に示すフォトリソグロウ135を塗布し、その後、パターンング工程、リフトオフ工程を経ることにより、図11(c)に示すカラーフィルタ130のネガパターンを形成する。このネガパターン上に、図11(d)に示すように、波長帯kの波長帯域の光のみを反射、もしくは、吸収する光学素子(ノッチフィルタ、特定の波長帯の光を吸収する吸収材料、プラズモニクフィルタなど)136を形成する。最後に、図11(e)に示すように、ネガパターンを除去することでカラーフィルタ層133を作製する。

20

【0042】

図11(e)の光学素子136が形成されている部分は波長帯kの波長帯域のみ光を透過させず、光学素子136が形成されていない部分は全ての波長域の光を透過させる。従って、各波長帯に対応したカラーフィルタ層133を積層させることにより、カラーフィルタ130を実現することができる。カラーフィルタ層133での反射損失を低減させるために反射防止膜を付けてもよい。なお、図10、11は、カラーフィルタ130の製造方法の一例に過ぎない。

【0043】

30

カラーフィルタ130を用いることにより、1回結像系でありながら、高感度で1回の撮影によりマルチバンド画像を圧縮した画像を取得することができる。

【0044】

本実施形態は、多くの入射光量を取り込み、かつ、画像推定処理時に混色した波長帯情報を有する画素から各波長帯成分を分離しやすくするため、各波長帯の画素を図7に示すような不規則に配置している。そのため、ベイヤー配列のように画素を規則的に配置した際に問題となる色モアレが原理的に発生しにくい。従って、撮像ユニット110は光学ローパスフィルタを用いなくても性能を維持することができる場合もある。

【実施例1】

【0045】

40

次に、図12、13を参照して、 $M \times N$ 画素からなるマルチバンド画像が圧縮された撮影画像gから、 $M \times N$ 画素 $\times L$ 種類の波長帯のマルチバンド画像fを推定する画像推定処理について説明する。

【0046】

図12(a)は、実施例1のマルチバンド画像取得システム100のブロック図である。図12(b)は、マルチバンド画像取得システム100の一例の外観斜視図である。図12(c)は、画像取得部101の一例を示す図である。

【0047】

マルチバンド画像取得システム100は、画像取得部101、A/Dコンバータ102、画像処理部103、記憶部104、記録媒体105、表示部106、システムコントロ

50

ーラ 107、駆動制御部 108、及び、状態検知部 109 を有する。マルチバンド画像取得システム 100 は、図 12 (b) に示すレンズ一体型撮像装置や、交換レンズと撮像装置本体から構成される撮像システムであってもよい。

【0048】

画像取得部 101 は、図 12 (c) に示すように、被写体像を形成する不図示の 1 回結像光学系（撮影光学系）120、被写体像を光電変換する図 1 に示す撮像ユニット 110 を有する。A/D コンバータ 102 は、撮像素子 111 からのアナログ信号をデジタル信号に変換する。画像処理部（画像処理手段）103 は、デジタル信号に各種の画像処理を施すと共に画像推定処理を行う。記憶部（記憶手段）104 は、フィルタセグメント 131 の分光透過率に関する情報、各種の制御情報、変数、中間値、プログラム、画像処理部 103 によって処理された画像信号を記憶し、ROM、RAM、その他の各種メモリを有する。記録媒体 105 は、DVD-ROM など非一時的なコンピュータ可読媒体を含む。表示部 106 は、液晶ディスプレイなどから構成され、撮像しようとする画像や、記憶部 104 や記録媒体 105 に記憶された撮像画像、各種制御情報を表示する。システムコントローラ 107 は、各部の動作を制御する制御手段であり、マイクロコンピュータから構成される。駆動制御部 108 は、結像光学系のフォーカスレンズ、ズームレンズ、絞り、手振れ補正レンズなどの駆動を制御する。状態検知部 109 は、マルチバンド画像取得システム 100 の撮影条件を含む各種の状態を検出する検出手段である。

【0049】

図 13 は、システムコントローラ 107 が撮影画像からマルチバンド画像を得るための動作を示すフローチャートであり、「s」はステップを表している。図 13 に示すフローチャートはコンピュータに各ステップを実行させるためのプログラムとして実現することができる。

【0050】

まず、S101 では、画像取得部 101、A/D コンバータ 102 を経て、デジタル化された撮影画像 g を取得する。次に、S102 では、画像処理部 103 にて、推定画像 f の初期値を与える。次に、S103 では、画像処理部 103 にて、評価関数を計算する。次に、S104 では、画像処理部 103 にて、S103 で計算された評価関数が閾値より小さいか大きいかの判断を行う。評価関数が閾値より小さい場合は推定画像 f が確からしいものとみなし、推定画像 f を出力して処理を終了する。評価関数が閾値より大きい場合は推定画像 f の推定が不十分とみなして S105 に進み、推定処理のループ数をカウントし、設定回数に達した場合は処理を終了する。ループ数が設定回数に達していない場合は、S106 に進み、画像処理部 103 にて推定画像 f の更新を行う。以降、最終的に処理が終了するまで、S103 ~ S106 を繰り返す。最終的に得られた推定画像 f は記録媒体 105 に記録、もしくは、表示部 106 に表示される。

【0051】

実施例 1 の画像推定処理は、カラーフィルタ 130 の透過率特性 $F_k(i, j)$ を用いた評価関数を用いる。透過率特性 $F_k(i, j)$ は既知であり、記憶部 104 にその情報が記憶されている。波長帯 k の推定画像を $f_k(i, j)$ とすると、カラーフィルタ 130 を通して撮影される画像 g' は数式 (8) で表される。

【0052】

【数 7】

$$g' = \sum_{k=1}^L F_k f_k + \eta \quad (8)$$

【0053】

ただし、 η はノイズ項である。従って、推定画像 f が妥当であるかどうかは式 (9) によ

10

20

30

40

50

り評価することができる。

【 0 0 5 4 】

【 数 8 】

$$\|g - g'\|_2^2 = \left\| g - \sum_{k=1}^L F_k f_k \right\|_2^2 \quad (9)$$

10

【 0 0 5 5 】

以上のように、カラーフィルタの130の透過率特性 $F_k(i, j)$ と撮影画像 g を用いることで、推定画像 $f_k(i, j)$ の確からしさを確認することができる。評価関数としては数式(9)のようなL2-ノルムに限ったものではなく、カラーフィルタ130の透過率特性 $F_k(i, j)$ を用いていれば良く、例えば、数式(9')のようなL1-ノルムでも構わない。

【 0 0 5 6 】

【 数 9 】

$$\|g - g'\|_1 = \left\| g - \sum_{k=1}^L F_k f_k \right\|_1 \quad (9')$$

20

【 0 0 5 7 】

但し、数式(9)、(9')を最小化するように $f_k(i, j)$ を推定するだけでは不十分である。なぜなら、透過率特性 $F_k(i, j) = 0$ となっている部分は数式(9)、(9')により推定することは不可能であるからである。従って、数式(9)、(9')で推定した画像 $f_k(i, j)$ は $F_k(i, j) = 0$ の部分が画素欠陥(欠落している画像情報)になりやすい。

30

【 0 0 5 8 】

そこで、画素欠陥部を補間する処理も併せて行うことが好ましい。具体的には、評価関数として数式(10)を用いる。

【 0 0 5 9 】

【 数 10 】

$$\left\| g - \sum_{k=1}^L F_k f_k \right\|_2^2 + \gamma \phi(f) \quad (10)$$

40

【 0 0 6 0 】

ここで、 $\phi(f)$ は正則化項と呼ばれ、この正則化項の効果により画素欠陥部の補間処理を行うことができる。 γ は正則化項の効果进行调整するパラメータであり、撮影画像 g の種類により適宜調整が必要である。

【 0 0 6 1 】

なお、正則化項 $\phi(f)$ としては、例えば、数式(11)に示すTV(Total Variation)ノルム正則化項が挙げられる。

50

【 0 0 6 2 】

【 数 1 1 】

$$\phi(f) = \sum_{k=1}^L \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{i=1}^{M-1} \sqrt{\{f_k(i+1, j) - f_k(i, j)\}^2 + \{f_k(i, j+1) - f_k(i, j)\}^2} \quad (11)$$

【 0 0 6 3 】

ただし、正則化項 (f) は上記に限ったものではない。

【 0 0 6 4 】

また、図 1 3 に示す一連の画像推定処理を行うに際して、非特許文献 1 の T w I S T アルゴリズム等の高速な画像推定処理アルゴリズムを用いてもよい。 10

【 0 0 6 5 】

図 1 4 は、マルチバンド画像取得システム 1 0 0 により取得される撮影画像とそこから生成されるマルチバンド画像をシミュレーションにより求めた結果を示す図である。シミュレーションに用いた画像は 2 5 6 × 2 5 6 画素の 3 1 波長帯であり、画像推定処理に T w I S T アルゴリズムを用いた。

【 0 0 6 6 】

図 1 4 (a) は、フィルタセグメント 1 3 1 の透過率特性 $F_k(i, j)$ の一部 ($k = 1, 16, 31$) を示した図である。図 1 4 (b) は、撮影画像 g を示す図である。図 1 4 (c) は、正解画像のマルチバンド画像から R G B 画像を生成した画像である。図 1 4 (d) は、推定画像 $f_k(i, j)$ のマルチバンド画像から R G B 画像を生成した画像である。このようにマルチバンド画像から、表示用の画像を生成してもよい。 20

【 0 0 6 7 】

図 1 5 (a) は、図 1 4 (c)、(d) の対応点 A の分光透過率を比較した結果であり、図 1 5 (b) は、図 1 4 (c)、(d) の対応点 B の分光透過率を比較した結果である。図 1 5 において、横軸は波長 (n m)、縦軸は分光透過率である。図 1 5 の点線は正解の分光透過率であり、実線は実施例 1 の画像推定方法によって推定された分光透過率である。この結果より、本実施例の方法によって分光透過率が精度良く推定できていることが確認できる。

【 0 0 6 8 】

実施例 1 によれば、図 1 2 (b) に示す小型のコンパクトデジタルカメラでも高感度にマルチバンド画像を取得することが可能になる。 30

【 実施例 2 】

【 0 0 6 9 】

実施例 1 では、撮像装置の画像処理部がマルチバンド画像を生成する処理を行っているが、パーソナルコンピュータ (P C) や専用の装置が画像処理装置として鮮鋭化処理を行ってもよい。図 1 6 (a) は、実施例 2 のマルチバンド画像取得システムのブロック図である。図 1 6 (b) は、そのシステム構成図である。実施例 2 は、撮像装置 2 0 1 と画像処理装置 2 0 3 が分離している点の実施例 1 と異なる。

【 0 0 7 0 】

一眼レフカメラなどの撮像装置 2 0 1 を用いて撮影画像 g を取得する。次に、撮影画像 g は、S D カード 2 0 2 - 1 やハードディスク 2 0 2 - 2 などの記憶媒体 2 0 2 に記録される。記録された撮影画像 g は、U S B ケーブルや各種のネットワーク (L A N、インターネット) と通信部 2 0 4 を通して、画像処理装置 2 0 3 内の記憶部 2 0 5 に保存される。画像処理装置 2 0 3 には、P C 2 0 3 - 1 やクラウドコンピューティング 2 0 3 - 2 を適用することができる。その後、画像処理部 2 0 6 により画像推定処理が行われ、推定画像 f が算出される。算出された推定画像 f は記憶部 2 0 5 に保存、液晶ディスプレイなどの表示装置 2 0 7 に表示、もしくは、プリンタなどの出力装置 2 0 8 に出力される。 40

【 0 0 7 1 】

実施例 2 のように、負荷のかかる画像推定処理を P C 2 0 3 - 1 やクラウドコンピューター 50

ティング 2 0 3 - 2 を用いて行うことで、ユーザーは手軽に高感度なマルチバンド画像を得ることができる。

【 0 0 7 2 】

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

【 0 0 7 3 】

また、本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、上述した電子補正方法を実現するソフトウェア（プログラム）を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ（またはCPUやMPU等）がプログラムを読み出して実行する処理である。この場合、そのプログラム、および該プログラムを記憶した記憶媒体は本発明を構成することになる。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 7 4 】

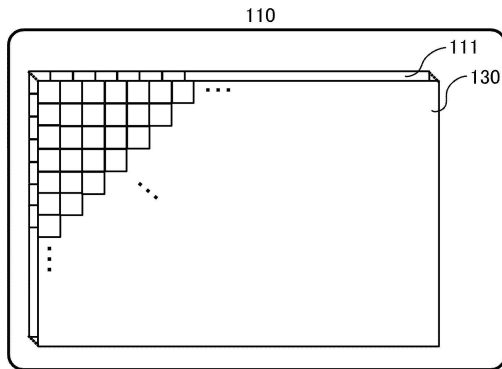
本発明は、マルチバンド画像を取得する分野に適用することができる。

【符号の説明】

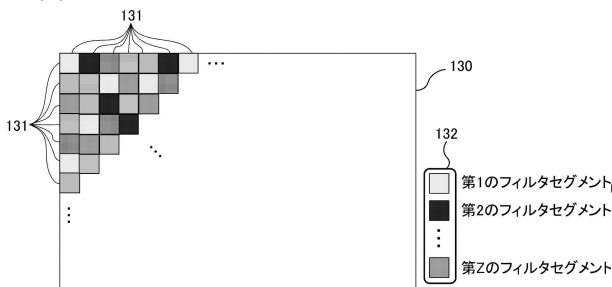
【 0 0 7 5 】

1 1 0・・・撮像ユニット、1 1 1・・・撮像素子、1 3 0・・・カラーフィルタ、1 3 1・・・フィルタセグメント、1 3 2・・・第1のフィルタセグメント～第Zのフィルタセグメント

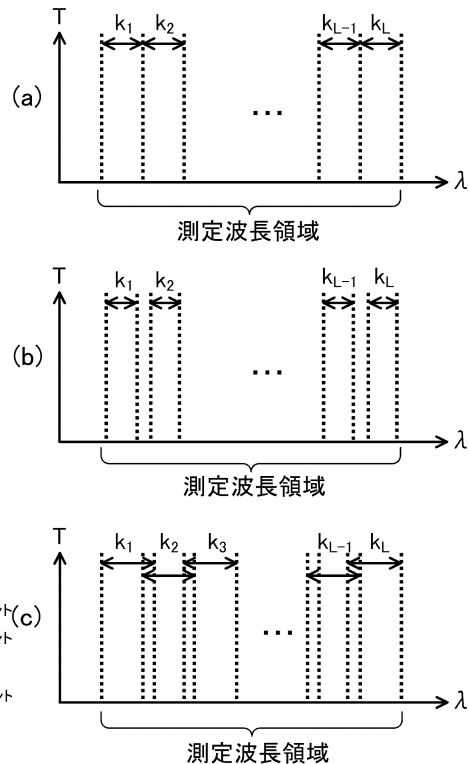
【 図 1 】



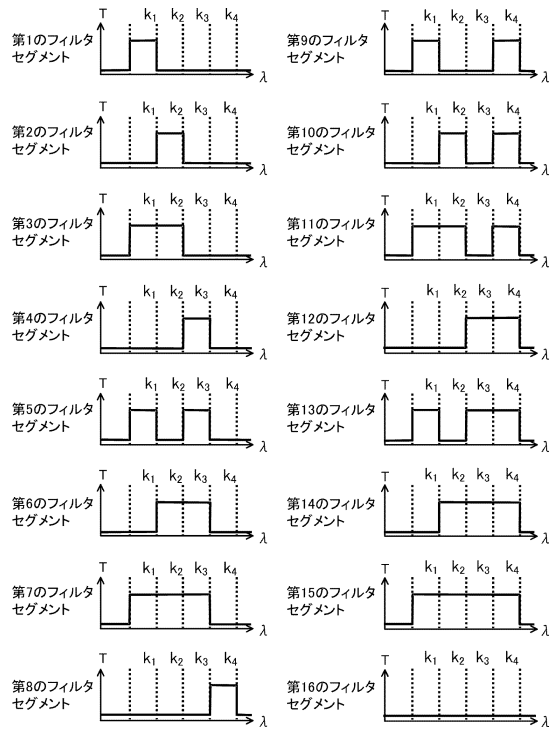
【 図 2 】



【 図 3 】



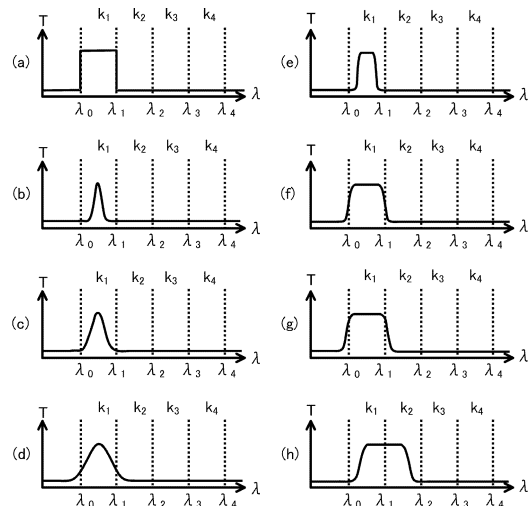
【図4】



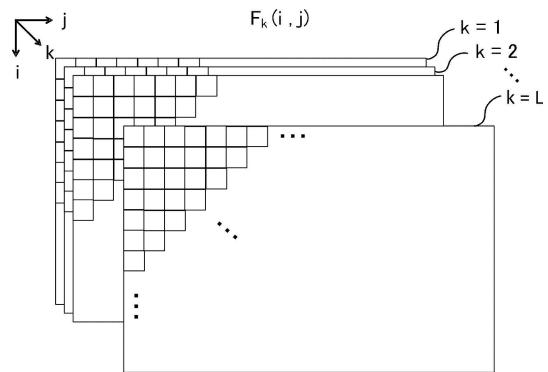
【図7】



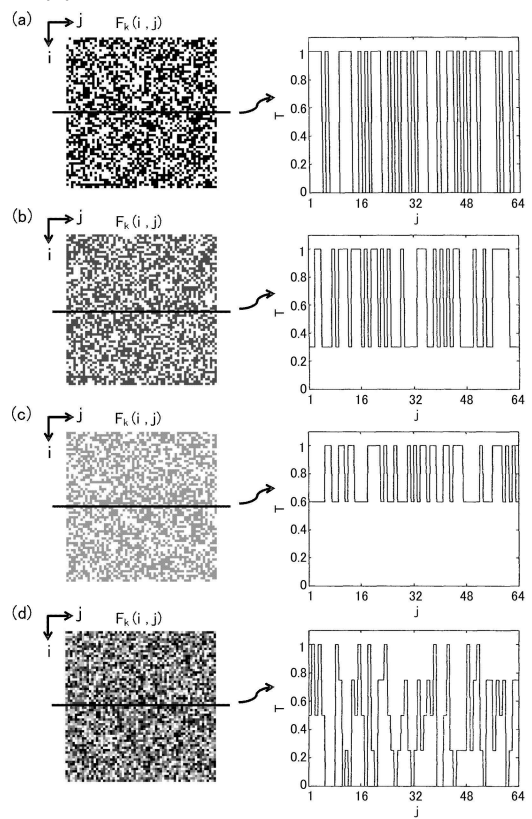
【図5】



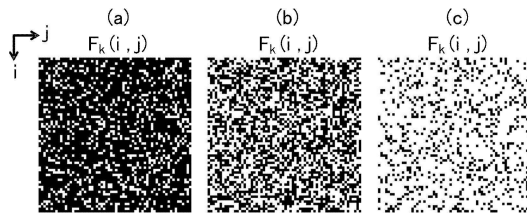
【図6】



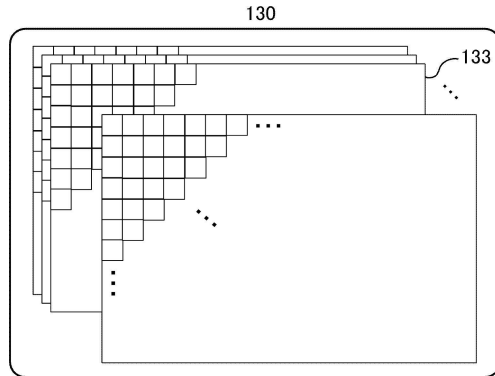
【図8】



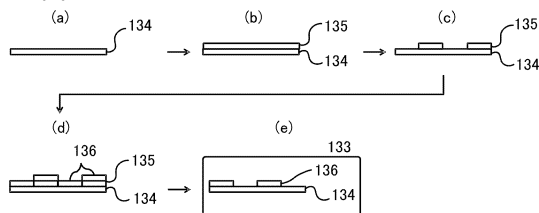
【図 9】



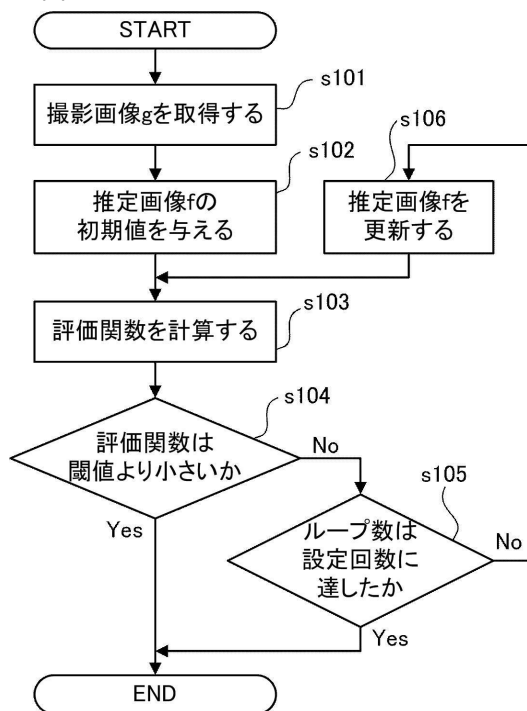
【図 10】



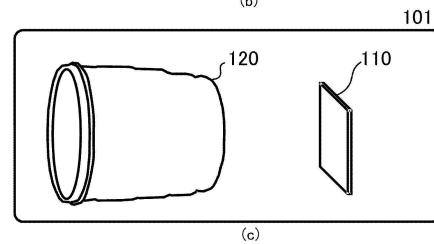
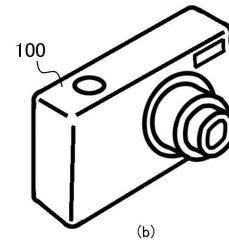
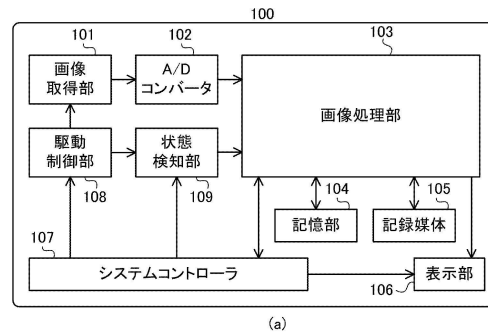
【図 11】



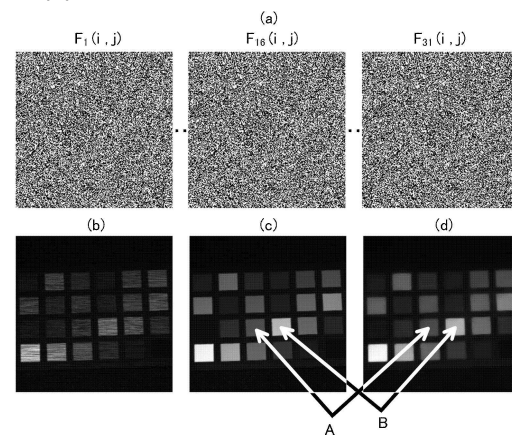
【図 13】



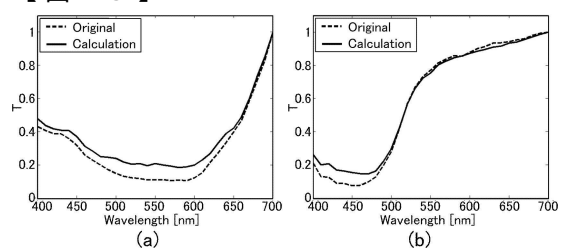
【図 12】



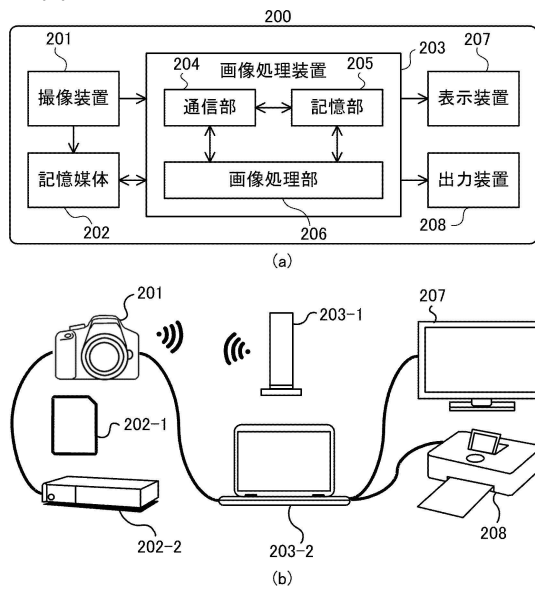
【図 14】



【図 15】



【図 16】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表2013-511924(JP,A)
特開2012-244495(JP,A)
特開2012-054794(JP,A)
米国特許出願公開第2010/0140461(US,A1)
特開2014-137558(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01J 3/00 - 4/04
G01J 7/00 - 9/04
G06T 1/00 - 1/40
G06T 3/00 - 5/50
G06T 9/00 - 9/40
H04N 1/40 - 1/409
H04N 1/46 - 1/62
H04N 5/222 - 5/257
H04N 9/04 - 9/11