

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-225053

(P2017-225053A)

(43) 公開日 平成29年12月21日(2017.12.21)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
 HO4N 9/07 (2006.01) HO4N 9/07 A 5C065

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2016-120309 (P2016-120309)	(71) 出願人	314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(22) 出願日	平成28年6月16日 (2016.6.16)	(74) 代理人	100109210 弁理士 新居 広守
		(74) 代理人	100137235 弁理士 寺谷 英作
		(74) 代理人	100131417 弁理士 道坂 伸一
		(72) 発明者	佐藤 智 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
		(72) 発明者	登 一生 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

最終頁に続く

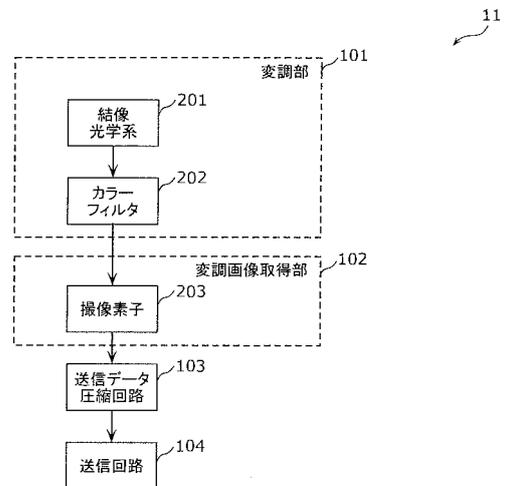
(54) 【発明の名称】 撮像装置及び撮像システム

(57) 【要約】

【課題】 画像を生成するための情報をより適切に取得することができる撮像装置を提供する。

【解決手段】 撮像装置 11 は、光信号を結像する結像光学系 201 と、複数の画素を有し、複数の画素で結像された光信号を電気信号に変換する撮像素子 203 と、結像光学系 201 及び撮像素子 203 の間に配置され、複数の画素の画素毎及び複数の波長域の波長域毎に異なる光透過率を有するカラーフィルタ 202 と、撮像素子 203 が取得した電気信号を圧縮する送信データ圧縮回路 103 とを備え、画素毎にカラーフィルタ 202 が複数の波長域に対して有する複数の光透過率に関する光透過率群と、複数の画素で共通の係数群との積和が、複数の画素において等しい。

【選択図】 図 2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光信号を結像する結像光学系と、

複数の画素を有し、前記複数の画素で結像された前記光信号を電気信号に変換する撮像素子と、

前記結像光学系及び前記撮像素子の間に配置され、前記複数の画素の画素毎及び複数の波長域の波長域毎に異なる光透過率を有するカラーフィルタと、

前記撮像素子が取得した前記電気信号を圧縮する送信データ圧縮回路とを備え、

前記複数の画素の画素毎に前記カラーフィルタが前記複数の波長域に対して有する複数の光透過率に関する光透過率群と、0とは異なる係数を含む、前記複数の画素で共通の係数群との積和が、前記複数の画素において等しい

撮像装置。

【請求項 2】

前記係数群は、互いに等しい複数の係数で構成され、

前記複数の画素の画素毎に前記カラーフィルタが前記複数の波長域に対して有する複数の光透過率の総和が、前記複数の画素において等しい

請求項 1 に記載の撮像装置。

【請求項 3】

前記係数群は、比視感度で定められる

請求項 1 に記載の撮像装置。

【請求項 4】

前記係数群は、前記複数の波長域のそれぞれに対する輝度への変換係数で構成される

請求項 1 に記載の撮像装置。

【請求項 5】

前記複数の画素は、第 1 画素、及び、前記第 1 画素に隣接する第 2 画素を含み、

前記送信データ圧縮回路は、前記電気信号において前記第 1 画素に対する値と前記電気信号において前記第 2 画素に対する値との差分を符号化することにより、前記電気信号を圧縮する

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の撮像装置と、

画像生成装置とを備え、

前記撮像装置は、さらに、前記送信データ圧縮回路で圧縮された前記電気信号を送信する送信回路を備え、

前記画像生成装置は、

前記送信回路で送信された前記電気信号を受信する受信回路と、

前記受信回路で受信された前記電気信号の圧縮を解除する受信データ復号回路と、

前記複数の画素及び前記複数の波長域に対して前記カラーフィルタが有する複数の光透過率を示す変調情報、及び、前記受信データ復号回路で圧縮が解除された前記電気信号を用いて、画像を生成する画像生成回路とを備える

撮像システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、圧縮センシングに用いられる撮像装置等に関する。

【背景技術】

【0002】

カラー画像を撮像するためには、光の 3 原色に相当する赤 (R)、緑 (G) 及び青 (B) の 3 つの異なる波長域の情報を取得する必要がある。3 つのイメージセンサで R、G 及び B の情報を取得するカラー撮像装置も存在する。しかし、多くのカラー撮像装置は、小

10

20

30

40

50

型化及び低コスト化のために1つのイメージセンサしか搭載していない。そのため、多くのカラー撮像装置は、1つのイメージセンサでR、G及びBの情報を取得する。

【0003】

従来、画素毎にR、G及びBのうち1つの波長域の情報を取得し、デモザイキングと呼ばれる処理を行うことで、画素毎にR、G及びBの3つの波長域の情報を取得する手法が知られている。

【0004】

図19は、広く利用されているベイヤー配列を示した模式図である(例えば、特許文献1)。ベイヤー配列では、人間の視覚特性に近いGの画素が全体の画素の1/2を占め、R及びBの画素がそれぞれ全体の画素の1/4を占める。そして、デモザイキング処理によって、すべての画素に対してR、G及びBの3つの波長域の情報が取得される。

10

【0005】

一方、特許文献2では、ランダムな色パターンで光フィルタ要素を配置し、サンプルデータ集合に対して圧縮センシング技術を適用することでデモザイキングを行う技術が開示されている。

【0006】

また、撮像及び画像処理等に関連する技術として、特許文献1及び2の他に非特許文献1~5等がある。非特許文献1は、画像からノイズを除去するためのアルゴリズムに関連する。非特許文献2は、カラー画像を復元するための技術に関連する。非特許文献3は、圧縮センシング技術における復元方法に関連する。非特許文献4は、画像処理のアルゴリズムに関連する。非特許文献5は、カラー画像のデモザイキングに関連する。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0007】

【特許文献1】米国特許第5629734号明細書

【特許文献2】特表2013-511924号公報

【非特許文献1】Rudin L. I., Osher S. J., and Fatemi E.: Nonlinear total variation based noise removal algorithms. *Physica D*, vol. 60, pp. 259-268, 1992

30

【非特許文献2】Shunsuke Ono, Isao Yamada, "Decorrelated Vectorial Total Variation", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2014

【非特許文献3】J. Ma, "Improved Iterative Curvelet Thresholding for Compressed Sensing and Measurement", *IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement*, vol. 60, no. 1, pp. 126-136, 2011

【非特許文献4】M. Aharon, M. Elad, and A. M. Bruckstein, "K-SVD: An Algorithm for Designing Overcomplete Dictionaries for Sparse Representation", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 54, no. 11, pp. 4311-4322, 2006

40

【非特許文献5】D. Kiku, Y. Monno, M. Tanaka and M. Okutomi, "Minimized-Laplacian residual interpolation for color image demosaicking", *IS&T/SPIE Electronic Imaging (EI)*, 2014.

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、特許文献1及び2では、イメージセンサの各画素において、R、G及びBのうち1つの波長域の情報しか取得されない。そのため、デモザイキング後のカラー画像の解像度が低下し、偽色とよばれるアーチファクトが発生し得る。また、複数の画素で取得される情報の量が大きい場合、情報の伝送速度が低下し、また、情報を蓄積するための容量が増大する。

【0009】

本願の、限定的ではない例示的なある実施形態は、画像を生成するための情報をより適切に取得することができる撮像装置等を提供する。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

本開示の一態様にかかる撮像装置は、光信号を結像する結像光学系と、複数の画素を有し、前記複数の画素で結像された前記光信号を電気信号に変換する撮像素子と、前記結像光学系及び前記撮像素子の間に配置され、前記複数の画素の画素毎及び複数の波長域の波長域毎に異なる光透過率を有するカラーフィルタと、前記撮像素子が取得した前記電気信号を圧縮する送信データ圧縮回路とを備え、前記複数の画素の画素毎に前記カラーフィルタが前記複数の波長域に対して有する複数の光透過率に関する光透過率群と、0とは異なる係数を含む、前記複数の画素で共通の係数群との積和が、前記複数の画素において等しい。

20

【0011】

本開示の一態様の付加的な恩恵及び有利な点は本明細書及び図面から明らかとなる。この恩恵及び/又は有利な点は、本明細書及び図面に開示した様々な態様及び特徴により個別に提供され得るものであり、その1以上を得るために全てが必要ではない。

【0012】

上述の一般的かつ特定の態様は、システム、方法及びコンピュータプログラムを用いて実装されてもよいし、システム、方法及びコンピュータプログラムの組み合わせを用いて実現されてもよい。

【発明の効果】

30

【0013】

本開示の一態様にかかる撮像装置等によれば、画像を生成するための情報をより適切に取得することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】図1は、実施の形態にかかる撮像システムの構成を示す模式図である。

【図2】図2は、実施の形態にかかる撮像装置のハードウェア構成を示す模式図である。

【図3】図3は、実施の形態にかかるカラーフィルタを利用した撮像装置を示す模式図である。

【図4】図4は、実施の形態にかかる3つのフィルタの透過率を示す模式図である。

40

【図5】図5は、実施の形態にかかるカラーフィルタの模式図である。

【図6】図6は、実施の形態にかかる送信データ圧縮回路の処理の手順を示すフローチャートである。

【図7】図7は、実施の形態にかかる変調画像をラスタスキャン順に画素毎に圧縮する処理を説明するための模式図である。

【図8】図8は、実施の形態にかかる変調情報及び符号化変調画像データを伝送するための伝送フォーマットの例を示す模式図である。

【図9】図9は、実施の形態にかかる画像生成装置の主要な処理の手順を示すフローチャートである。

【図10】図10は、実施の形態にかかる受信回路及び受信データ復号回路の処理の手順

50

を示すフローチャートである。

【図 1 1】図 1 1 は、実施の形態にかかる撮像素子の画素数が $N = 16$ である場合の変調画像及び生成画像を示す模式図である。

【図 1 2】図 1 2 は、実施の形態におけるカラー画像生成部で生成されたカラー画像の一例に対応する R チャンネル画像を示す図である。

【図 1 3】図 1 3 は、実施の形態におけるカラー画像生成部で生成されたカラー画像の一例に対応する G チャンネル画像を示す図である。

【図 1 4】図 1 4 は、実施の形態におけるカラー画像生成部で生成されたカラー画像の一例に対応する B チャンネル画像を示す図である。

【図 1 5】図 1 5 は、実施の形態におけるカラー画像生成部で生成されたカラー画像の一例を示す図である。

10

【図 1 6】図 1 6 は、人間の目が光の波長毎の明るさを感じる強さに対応する比視感度曲線を示す模式図である。

【図 1 7】図 1 7 は、実施の形態にかかるカラーフィルタの第 1 変形例の模式図である。

【図 1 8】図 1 8 は、実施の形態にかかるカラーフィルタの第 2 変形例の模式図である。

【図 1 9】図 1 9 は、ペイヤー配列を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

(本開示の基礎となる知見)

例えば、特許文献 1 及び 2 に記載の技術では、1 つの画素に対して、R (赤)、G (緑) 及び B (青) のいずれかの情報しか取得されない。したがって、これらの技術によって取得される情報は必ずしも十分ではなく、適切な画像が生成されない可能性がある。

20

【0016】

そのため、例えば、1 つの画素に対して、R、G 及び B が混合された情報が取得される。その際、R、G 及び B が混合された情報を圧縮センシング技術によって R、G 及び B のそれぞれの情報に分離することができるように、各画素に対して R、G 及び B がランダムに混合される。これにより、より多くの情報が得られ、得られた情報から圧縮センシング技術によって適切な画像が生成される。

【0017】

一方で、画像に関する情報の圧縮において、近傍 (隣接) 画素間の類似性が用いられる場合がある。しかしながら、R、G 及び B がランダムに混合されることで、近傍画素間の類似性が低下すると想定される。そのため、R、G 及び B がランダムに混合された情報をさらに圧縮することは困難である。

30

【0018】

そこで、本開示の一態様にかかる撮像装置は、光信号を結像する結像光学系と、複数の画素を有し、前記複数の画素で結像された前記光信号を電気信号に変換する撮像素子と、前記結像光学系及び前記撮像素子の間に配置され、前記複数の画素の画素毎及び複数の波長域の波長域毎に異なる光透過率を有するカラーフィルタと、前記撮像素子が取得した前記電気信号を圧縮する送信データ圧縮回路とを備え、前記複数の画素の画素毎に前記カラーフィルタが前記複数の波長域に対して有する複数の光透過率に関する光透過率群と、0 とは異なる係数を含む、前記複数の画素で共通の係数群との積和が、前記複数の画素において等しい。

40

【0019】

これにより、撮像装置は、カラーフィルタが有する様々な透過率を介して、十分な情報を取得することができる。一方、カラーフィルタが画素毎に複数の波長域に対して有する複数の光透過率に、複数の画素で共通の特性が与えられる。そのため、近傍 (隣接) 画素間の類似性の低下が抑制される。したがって、撮像装置は、近傍画素間の類似性を用いて、効率的な圧縮を行うことができる。すなわち、撮像装置は、画像を生成するための情報をより適切に取得することができる。

【0020】

50

例えば、前記係数群は、互いに等しい複数の係数で構成され、前記複数の画素の画素毎に前記カラーフィルタが前記複数の波長域に対して有する複数の光透過率の総和が、前記複数の画素において等しくてもよい。

【0021】

これにより、信号レベルに関する感度が複数の画素において均等化され、信号レベルに関する近傍画素間の類似性が、撮像素子で取得される電気信号に反映される。したがって、撮像装置は、近傍画素間の類似性を用いて、効率的な圧縮を行うことができる。

【0022】

また、例えば、前記係数群は、比視感度で定められてもよい。

【0023】

これにより、人が感じる明るさに関する感度が複数の画素において均等化され、人が感じる明るさに関する近傍画素間の類似性が、撮像素子で取得される電気信号に反映される。したがって、撮像装置は、近傍画素間の類似性を用いて、効率的な圧縮を行うことができる。

【0024】

また、例えば、前記係数群は、前記複数の波長域のそれぞれに対する輝度への変換係数で構成されてもよい。

【0025】

これにより、輝度に関する感度が複数の画素において均等化され、輝度に関する近傍画素間の類似性が、撮像素子で取得される電気信号に反映される。したがって、撮像装置は、近傍画素間の類似性を用いて、効率的な圧縮を行うことができる。

【0026】

また、例えば、前記複数の画素は、第1画素、及び、前記第1画素に隣接する第2画素を含み、前記送信データ圧縮回路は、前記電気信号において前記第1画素に対する値と前記電気信号において前記第2画素に対する値との差分を符号化することにより、前記電気信号を圧縮してもよい。

【0027】

これにより、撮像素子で取得された電気信号が、隣接画素間の類似性に基づいて効率的に圧縮される。

【0028】

また、本開示の一態様にかかる撮像システムは、前記撮像装置と、画像生成装置とを備え、前記撮像装置は、さらに、前記送信データ圧縮回路で圧縮された前記電気信号を送信する送信回路を備え、前記画像生成装置は、前記送信回路で送信された前記電気信号を受信する受信回路と、前記受信回路で受信された前記電気信号の圧縮を解除する受信データ復号回路と、前記複数の画素及び前記複数の波長域に対して前記カラーフィルタが有する複数の光透過率を示す変調情報、及び、前記受信データ復号回路で圧縮が解除された前記電気信号を用いて、画像を生成する画像生成回路とを備えてもよい。

【0029】

これにより、画像生成装置は、撮像装置から圧縮された電気信号を効率的に受信することができる。また、画像生成装置は、光透過率に関する変調情報によらず、電気信号の圧縮を効率的に解除することができる。そして、画像生成装置は、圧縮が解除された電気信号、及び、変調情報を用いて、画像を適切に生成することができる。すなわち、撮像システムは、撮像装置において電気信号を適切に取得し、画像生成装置において画像を適切に生成することができる。

【0030】

さらに、これらの包括的又は具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム又はコンピュータ読み取り可能なCD-ROMなどの非一時的な記録媒体で実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム又は記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。

【0031】

10

20

30

40

50

以下、添付の図面を参照しながら、撮像装置及び画像生成装置を有する撮像システムに関する実施の形態を説明する。

【0032】

なお、以下で説明する実施の形態は、いずれも包括的又は具体的な例を示すものである。以下の実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置、構成要素の接続形態、ステップ、及び、ステップの順序などは、一例であり、請求の範囲を限定する主旨ではない。また、以下の実施の形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。

【0033】

また、「等しい」の表現には、実質的に等しいこと、及び、ほぼ等しいことも含まれる。例えば、2つの値に数%の誤差があっても、これらの値は等しいとみなされ得る。また、表現上、第1、第2及び第3などの序数が、構成要素などに対して、付け加えられてもよいし、付け替えられてもよいし、取り除かれてもよい。

【0034】

(実施の形態)

図1は、本実施の形態にかかる撮像システム10の構成を示す模式図である。本実施の形態の撮像システム10は、撮像装置11と画像生成装置12とを備える。撮像装置11は、変調部101と、変調画像取得部102と、送信データ圧縮回路103と、送信回路104とを有している。一方、画像生成装置12は、受信回路105と、受信データ復号回路106と、カラー画像生成回路(画像生成回路)107と、出力インタフェース装置(出力I/F装置)108とを有している。

【0035】

まず、図2を参照しながら撮像装置11を説明する。図2は、変調部101及び変調画像取得部102の構成の詳細を示す。図2に示されるように、変調部101は、結像光学系201及びカラーフィルタ202に対応する。また、変調画像取得部102は、撮像素子203に対応する。

【0036】

(結像光学系201)

結像光学系201は、レンズ(図示せず)を有する。結像光学系201は、さらに、レンズ位置調整機構(図示せず)を有していてもよい。レンズは被写体からの光を集めて、光信号を結像する。結像された光信号は「被写体の像」を示す。結像光学系201は、1枚のレンズを有していてもよいし、複数のレンズを有していてもよい。レンズ位置調整機構は、例えば、レンズによる結像位置を調整するためのアクチュエータ、及び、アクチュエータの駆動量を制御する制御回路(コントローラ)である。

【0037】

(カラーフィルタ202)

カラーフィルタ202は、結像光学系201(具体的には、レンズ)から出射した光が撮像素子203に至るまでの光路上に配置される。典型的には、カラーフィルタ202は、撮像素子203の前面に接して配置される。

【0038】

カラーフィルタ202は、撮像素子203に入射する複数の波長域の光をフィルタリングするために用いられる。カラーフィルタ202は、複数の画素のそれぞれ及び複数の波長域のそれぞれに対して光透過率を有している。具体的には、カラーフィルタ202の光透過率は、撮像素子203の各画素に対応する位置に応じて異なる。さらに、カラーフィルタ202の光透過率は、カラーフィルタ202を透過する光の波長域に応じて異なる。

【0039】

なお、撮像素子203の「前面」とは、撮像素子203の上面、又は、撮像素子203の受光面としても規定され得る。また、撮像素子203の各画素に対応する位置における

10

20

30

40

50

光透過率を単に画素に対する光透過率と呼ぶ場合がある。また、光透過率を単に透過率と呼ぶ場合がある。カラーフィルタ 202 の更なる詳細は後に説明する。

【0040】

(撮像素子 203)

撮像素子 203 は、複数の画素を有し、複数の画素に結像光学系 201 が結像した光信号を電気信号に変換する。この電気信号は、画素毎に変調された画像である変調画像を示す。すなわち、撮像素子 203 は、変調画像を撮像する。撮像素子 203 は、レンズの焦点距離に配置される。

【0041】

(送信データ圧縮回路 103)

送信データ圧縮回路 103 は、撮像素子 203 が撮像した変調画像の圧縮及び符号化を行う。送信データ圧縮回路 103 の更なる詳細は後に説明する。

【0042】

(送信回路 104)

送信回路 104 は、送信データ圧縮回路 103 が変調画像を符号化することで得られる符号化変調画像データと、カラーフィルタ 202 の複数の透過率を示す変調情報とを画像生成装置 12 に送信する。送信は、有線通信及び無線通信のいずれで行われてもよい。送信処理の詳細は後述する。

【0043】

なお、本実施の形態では、撮像システム 10 が、送信回路 104 及び受信回路 105 を備え、概ねリアルタイムで符号化変調画像データ及び変調情報を送受信して処理を行うことが想定されている。しかしながら、撮像システム 10 は、符号化変調画像データ及び変調情報を保存する記憶装置(例えばハードディスクドライブ)を備え、非リアルタイムで処理を行っていてもよい。

【0044】

再び図 1 を参照し、画像生成装置 12 の受信回路 105、受信データ復号回路 106、カラー画像生成回路 107 及び出力インタフェース装置 108 をそれぞれ説明する。

【0045】

(受信回路 105)

受信回路 105 は、撮像装置 11 から出力された符号化変調画像データと変調情報とを受け取る。受信回路 105 と送信回路 104 との間の通信は、有線通信でも無線通信でもよい。なお、送信回路 104 が符号化変調画像データ及び変調情報を有線通信で送信したとしても、有線通信を無線通信に変換する機器を経由することにより、受信回路 105 がこれらの情報を無線通信で受信してもよい。その逆も同様である。

【0046】

(受信データ復号回路 106)

受信データ復号回路 106 は、符号化変調画像データを復号し、変調画像を取得する。受信データ復号回路 106 の更なる詳細は後に説明する。

【0047】

(カラー画像生成回路 107)

カラー画像生成回路 107 は、受信データ復号回路 106 が符号化変調画像データを復号することで得られる変調画像、及び、受信回路 105 で取得された変調情報を利用してカラー画像を生成する。カラー画像の生成処理の詳細は後述する。カラー画像生成回路 107 は、生成されたカラー画像を出力インタフェース装置 108 に送る。

【0048】

(出力インタフェース装置 108)

出力インタフェース装置 108 は、映像出力端子である。出力インタフェース装置 108 は、カラー画像をデジタル信号として又はアナログ信号として画像生成装置 12 の外部に出力する。

【0049】

10

20

30

40

50

次に、図3～図5を参照しながら、図2に示されたカラーフィルタ202をより詳細に説明する。

【0050】

図3は、カラーフィルタ202を含む撮像システム10を模式的に示す。以下、カラーフィルタ202に注目する。

【0051】

上述したように、カラーフィルタ202は、撮像素子203の各画素に対応する位置、及び、波長域に応じて異なる光透過率を有している。つまり、複数の波長域の光が透過する任意の位置において、複数の波長域に対する複数の透過率の組み合わせ（透過率パターン）が他の位置とは異なっている。

10

【0052】

このような光学特性を実現するために、本実施の形態のカラーフィルタ202は、光の透過波長帯域を規定する複数種類のフィルタ1～3を有し、かつ、フィルタ1～3のそれぞれの厚さを位置によって変えている。「フィルタの厚さ」は、透過光の光軸に平行な方向に沿う、フィルタのカットフィルム（後述）の長さに対応する。

【0053】

なお、図3では3つのフィルタ1、2及び3が組み合わされて記載されているが、これは一例である。組み合わされるフィルタの数は3に限られない。

【0054】

また、フィルタ1はカットフィルム202aを有し、フィルタ2はカットフィルム202bを有し、フィルタ3はカットフィルム202cを有している。カットフィルム202a～202cの各々は、1層あたり所定の吸収率を有するカットフィルムを0枚から複数枚積層して構成されている。

20

【0055】

図4は、フィルタ1～3の各波長特性の一部である透過率を示す。フィルタ（フィルタ1～3のそれぞれ）の波長特性は、フィルタに入射した光が波長毎にどの程度、反射、透過及び吸収されるかを示す。なお、カットフィルム（カットフィルム202a～202cのそれぞれ）の波長特性も、フィルタの波長特性と同様に、カットフィルムに入射した光が波長毎にどの程度、反射、透過及び吸収されるかを示す。

【0056】

反射光、透過光及び吸収光の総和は、入射光に等しい。反射光と入射光との比率は「反射率」と呼ばれ、透過光と入射光との比率は「透過率」と呼ばれ、吸収光と入射光との比率は「吸収率」と呼ばれる。反射率は、フィルタの厚さが変化しても基本的に変わらない。吸収率は、入射光の光量から反射光の光量と透過光の光量とを減算し、さらに入射光の光量で除算することでも求められる。

30

【0057】

図4は、上記のうちの透過率と波長との関係を示している。また、後述するように、カラーフィルタ202を構成する3つのフィルタ1～3のそれぞれは、いずれかの波長において、フィルタの厚さが変化しても透過率が変わらない、つまり吸収率が0%である波長特性を有している。

40

【0058】

例えば、フィルタ1の吸収率は波長450nm前後で0%であり、フィルタ2の吸収率は波長580nm前後で0%であり、フィルタ3の吸収率は波長640nm前後で0%である。つまり、図4のように、フィルタ1の透過率は波長450nm前後で非常に大きく100%であり、フィルタ2の透過率は波長580nm前後で非常に大きく100%であり、フィルタ3の透過率は波長640nm前後で非常に大きく100%である。

【0059】

なお、吸収率が「0%」であることは理想的であり、0%以外を排除するものではない。吸収率が数%程度であっても、カットフィルム202a～202cは機能を果たす。例えば現実的に吸収率が0～2%の範囲内であれば、吸収率は0%として取り扱われ得る。同

50

様に、透過率が「100%」であることは理想的である。しかし、透過率が98%以上100%以下の範囲内であれば、透過率は100%として取り扱われ得る。

【0060】

なお、図3に示すように、フィルタ1~3は順に積層されている。例えばフィルタ3を例に説明すると、積層されるフィルタ2を支持するため、カットフィルム202cが存在しない箇所に、透過波長に対する透過率又は吸収率に実質的に影響を与えない光学部材が充填されてもよい。他のフィルタ1及び2についても同様である。よって、カットフィルム202a~202cの光学特性が、それぞれ、フィルタ1~3の光学特性を決定する。

【0061】

上記のフィルタ1~3の構成に基づいて、画素(u, v)及び波長λに対する透過率x(λ, u, v)は、以下のように表現される。

【0062】

$$x(\lambda, u, v) = (C1(\lambda), T1(u, v)) \cdot (C2(\lambda), T2(u, v)) \cdot (C3(\lambda), T3(u, v)) \cdot \dots \text{(式1)}$$

【0063】

ここで、C1(λ)は波長λに対する1層のカットフィルム202aの波長特性を示す。C2(λ)は波長λに対する1層のカットフィルム202bの波長特性を示す。C3(λ)は波長λに対する1層のカットフィルム202cの波長特性を示す。

【0064】

また、T1(u, v)は、画素(u, v)に対応する位置におけるカットフィルム202aの厚さ(積層数)を示す。T2(u, v)は、画素(u, v)に対応する位置におけるカットフィルム202bの厚さ(積層数)を示す。T3(u, v)は、画素(u, v)に対応する位置におけるカットフィルム202cの厚さ(積層数)を示す。なお、記載の簡潔化のため、カットフィルムの厚さ(積層数)を、便宜的に「フィルタの厚さ」と記述する場合がある。

【0065】

(C(λ), T(u, v))は、波長λに対するフィルタの透過率を示す関数であって、単位厚さあたりのフィルタ(1層のカットフィルム)の波長特性C(λ)とフィルタの厚さT(u, v)とから決まる透過率を示す関数である。

【0066】

また、(C(λ), T(u, v))は、C(λ)に含まれる吸収率が0、又は、T(u, v)が0のときに固定値を示す関数である。通常、フィルタの厚さが増えると、透過率は低下する。しかし、フィルタの吸収率が0の場合、フィルタの厚さにかかわらずフィルタの透過率は固定値である。また、フィルタを配置しない場合(T(u, v) = 0)も、単位厚さあたりのフィルタの波長特性にかかわらずフィルタの透過率は固定値である。

【0067】

波長に対する透過率は、上記により規定される。また、波長域に対する透過率は、その波長域における複数の波長に対する複数の透過率で規定される。例えば、その波長域における複数の波長に対する複数の透過率の平均が、その波長域に対する透過率とみなされてもよい。この平均は、単純平均でもよいし、加重平均でもよい。

【0068】

具体的には、画素(u, v)のRに対する透過率TR(u, v)、画素(u, v)のGに対する透過率TG(u, v)、及び、画素(u, v)のBに対する透過率TB(u, v)は、以下のように表現され得る。

【0069】

10

20

30

40

【数 1】

$$TR(u, v) = \int x(\lambda, u, v) \cdot R(\lambda) d\lambda$$

$$TG(u, v) = \int x(\lambda, u, v) \cdot G(\lambda) d\lambda$$

$$TB(u, v) = \int x(\lambda, u, v) \cdot B(\lambda) d\lambda$$

・・・(式2)

【0070】

10

式2において、 $R(\lambda)$ は、波長 λ に対する R の感度に対応し、 $G(\lambda)$ は、波長 λ に対する G の感度に対応し、 $B(\lambda)$ は、波長 λ に対する B の感度に対応する。具体的には、 R の波長域内の波長 λ に対して $R(\lambda)$ は正の値を示し、 R の波長域外の波長 λ に対して $R(\lambda)$ は0を示す。同様に、 G の波長域内の波長 λ に対して $G(\lambda)$ は正の値を示し、 G の波長域外の波長 λ に対して $G(\lambda)$ は0を示す。また、 B の波長域内の波長 λ に対して $B(\lambda)$ は正の値を示し、 B の波長域外の波長 λ に対して $B(\lambda)$ は0を示す。

【0071】

上述した関係に従って、フィルタ1～3の厚さが画素毎に変更されることで、撮像素子203の画素によって、波長域に対する透過率が異なるカラーフィルタ202が実現される。

20

【0072】

特に、カラーフィルタ202における複数の画素に対応する複数の位置のうち、1つの位置における波長域毎の透過率と、他の位置における波長域毎の透過率との相関係数は、-1よりも大きく、1よりも小さい。例えば、1つの位置における波長域毎の透過率と、他の全ての位置における波長域毎の透過率との相関係数は、-1よりも大きく、1よりも小さい。又は、1つの位置における波長域毎の透過率と、他の位置における波長域毎の透過率との相関がない。つまり、1つの位置における波長域毎の透過率と、他の位置における波長域毎の透過率との相関係数は-0.2～0.2程度である。

【0073】

また、カラーフィルタ202は、画素 (u, v) の R に対する透過率 $TR(u, v)$ と、画素 (u, v) の G に対する透過率 $TG(u, v)$ と、画素 (u, v) の B に対する透過率 $TB(u, v)$ との総和が、すべての画素 (u, v) で等しくなるように構成される。

30

【0074】

図5は、このようなカラーフィルタ202の模式図である。この図において、数値は R 、 G 及び B のそれぞれに対する透過率を百分率で示しており、すべての画素のそれぞれについて、 R 、 G 及び B の透過率の和が100%である。つまり、すべての画素で次式の関係が満たされる。

【0075】

$$TR(u, v) + TG(u, v) + TB(u, v) = 1 \quad \dots (式3)$$

40

【0076】

この場合、すべての画素に対して、元の光信号（つまり、カラーフィルタ202がなかった場合の光信号）の信号レベルは、カラーフィルタ202を介して得られる光信号の信号レベルの約3倍と推定される。言い換えれば、すべての画素に対して、カラーフィルタ202を介して得られる光信号の信号レベルは、元の光信号の信号レベルにある程度対応していると推定される。また、元の光信号の信号レベルは、近傍画素間で類似すると想定される。

【0077】

したがって、撮像装置11は、近傍画素間の類似性をデータの圧縮に利用することができる。

50

【0078】

また、例えば、複数の画素及び複数の波長域に対してカラーフィルタ202が有する複数の透過率は、0%から100%までの範囲で、一様分布（一様乱数）に基づいていてもよい。そして、一様分布に基づく複数の透過率が上記の式を満たすように調整されてもよい。具体的には、画素毎に、一様分布に基づいて複数の波長域に対して与えられた複数の透過率が、これらの比を維持しつつ、これらの和が1（100%）に等しくなるように、スケールングされることで調整されてもよい。

【0079】

また、特許文献1に記載のペイヤー配列、又は、特許文献2に記載のランダムなフィルタ配置の場合、R画素、G画素及びB画素のそれぞれの透過率は一定である。例えば、特許文献2に記載のランダムなフィルタ配置であっても、透過する光の波長域に対して透過率は一定である。一方、上述のようにカラーフィルタ202が構成されることで、撮像装置11は、各波長域に対して、サンプリングの位置に関してのみならず、サンプリングの強度に関して、一様乱数によるランダムサンプリングを実現することができる。

10

【0080】

もちろん、カラーフィルタ202の透過率の分布は一様分布（一様乱数）に限られない。例えば、カラーフィルタ202の透過率の分布は、平均が50%である正規分布（ガウス分布）に基づいていてもよい。これにより、撮像装置11は、各波長域に対して、正規乱数によるランダムサンプリングを実現することができる。

【0081】

また、上記では、すべての画素に対して、R、G及びBの3つに対する3つの透過率の和が1（100%）である例が示されている。しかし、3つの透過率の平均が50%になり、3つの透過率の和が1.5（150%）に等しくなるようにカラーフィルタ202が構成されてもよい。例えば、画素毎に、正規分布に基づいて複数の波長域に対して与えられた複数の透過率が、これらの比を維持しつつ、これらの和が1.5（150%）に等しくなるように、スケールングされることで調整されてもよい。

20

【0082】

また、光の利用率を高めるため、R、G及びBの3つに対する3つの透過率の和は、より大きな値でもよい。

【0083】

また、カラーフィルタ202は、画素によってフィルタ1~3の厚さを変更する構成で実現されなくてもよい。例えば、カラーフィルタ202は、液晶又は空間光変調器を利用して実現されてもよい。空間光変調器は、空間的及び時間的に透過率を変調させる光学素子であり、画素毎に透過率を変化させることができる。

30

【0084】

次に、図6~図8を参照しながら、図2に示された送信データ圧縮回路103及び送信回路104をより詳細に説明する。

【0085】

図6は、本実施の形態にかかる送信データ圧縮回路103及び送信回路104の処理の手順を示すフローチャートである。

40

【0086】

送信データ圧縮回路103は、撮像素子203が撮像した変調画像を取得する（ステップS101）。

【0087】

また、送信データ圧縮回路103は、撮像素子203が撮像した際に利用したカラーフィルタ202の複数の透過率を示す変調情報を取得する（ステップS102）。なお、送信データ圧縮回路103は、取得した変調情報を送信回路104へ出力する。送信データ圧縮回路103は、変調画像の圧縮に変調情報を用いない。したがって、送信回路104が、送信データ圧縮回路103を介さずに、変調情報を取得する場合等において、送信データ圧縮回路103は、変調情報を取得しなくてもよい。

50

【 0 0 8 8 】

次に、送信データ圧縮回路 1 0 3 は、伝送データの圧縮方法を選択するために、まず、近傍画素を選択する。ここでは、送信データ圧縮回路 1 0 3 は、ラスタスキャン順に各画素の画素信号を圧縮する。なお、画素信号は、画素値とも呼ばれ、画素で得られた信号レベルに対応する。

【 0 0 8 9 】

図 7 は、ラスタスキャン順に各画素の画素信号を圧縮する処理を説明するための模式図である。すなわち、図 7 において、送信データ圧縮回路 1 0 3 は、まず $(u, v) = (1, 1)$ の画素信号を圧縮し、次に $(2, 1)$ 、さらに $(3, 1)$ 、... と順に画素信号を圧縮して、最後に $(4, 4)$ の画素信号を圧縮する。この場合、送信データ圧縮回路 1 0 3 は、近傍画素として、着目画素の左隣の画素を選択する。

10

【 0 0 9 0 】

送信データ圧縮回路 1 0 3 は、近傍画素が存在しない場合（ステップ S 1 0 3 で N o）、つまり変調画像の左端 $(u = 1)$ に位置する着目画素の画素信号を圧縮する場合、変調画像の画素信号自体を符号化することで画素信号を圧縮する（ステップ S 1 0 4）。具体的には、送信データ圧縮回路 1 0 3 は、画素信号自体をエントロピー符号又はハフマン符号によって符号化すればよい。変調画像の符号化対象信号 $d(u, v)$ は、変調画像の着目画素の画素信号 $y(u, v)$ によって次式のように表現される。

【 0 0 9 1 】

$$d(u, v) = y(u, v) \quad \cdot \cdot \cdot \text{ (式 4)}$$

20

【 0 0 9 2 】

一方、近傍画素が存在する場合（ステップ S 1 0 3 で Y e s）、つまり変調画像の左端 $(u = 1)$ に位置しない着目画素の画素信号を圧縮する場合、送信データ圧縮回路 1 0 3 は、着目画素と近傍画素との差分信号を計算する（ステップ S 1 0 5）。そして、送信データ圧縮回路 1 0 3 は、差分信号をエントロピー符号又はハフマン符号によって符号化することで着目画素の画素信号を圧縮する（ステップ S 1 0 6）。つまり、送信データ圧縮回路 1 0 3 は、変調画像の差分圧縮を行う。

【 0 0 9 3 】

ステップ S 1 0 5 において、着目画素と近傍画素との差分信号である符号化対象信号 $d(u, v)$ は、例えば、以下のように計算される。

30

【 0 0 9 4 】

$$d(u, v) = y(u, v) - y(u - 1, v) \quad \cdot \cdot \cdot \text{ (式 5)}$$

【 0 0 9 5 】

送信データ圧縮回路 1 0 3 は、上記の処理（ステップ S 1 0 3 ~ S 1 0 6）を繰り返すことにより、変調画像における全ての画素の画素信号の圧縮及び符号化を行い、変調画像の圧縮及び符号化を行う。

【 0 0 9 6 】

特に、送信データ圧縮回路 1 0 3 は、着目画素と近傍画素との差分を計算することで、圧縮処理を行うことができる。自然画像では、隣り合った画素間の相関は非常に近いことが知られている。また、本実施の形態において、画素毎にカラーフィルタ 2 0 2 が複数の波長域に対して有する複数の光透過率の和が全ての画素において等しい。そのため、隣り合った画素間の相関がある程度維持される。したがって、送信データ圧縮回路 1 0 3 は、効率的な圧縮を行うことができる。

40

【 0 0 9 7 】

送信回路 1 0 4 は、送信データ圧縮回路 1 0 3 が変調画像を圧縮することで得られる符号化変調画像データと、変調情報とを画像生成装置 1 2 へ送信する（ステップ S 1 0 7）。

【 0 0 9 8 】

図 8 は、変調情報及び符号化変調画像データを伝送するための伝送フォーマットの例を示す模式図である。例えば、伝送データのヘッダ部には変調情報が記述され、伝送データ

50

のデータ部には符号化変調画像データが記述される。

【0099】

また、送信回路104は、図8のような伝送フォーマットで伝送データを暗号化して伝送する際、伝送データ全体を暗号化せずに、伝送データのうちヘッダ部の変調情報のみを暗号化してもよい。後述のように、本実施の形態の復元処理では、変調情報が用いられる。そこで、送信回路104は、伝送データ全体を暗号化せずに、ヘッダ部の変調情報を暗号化することで、演算負荷を抑えながら、伝送データの暗号化を行うことができる。

【0100】

次に、図9～図11を参照しながら、図1に示された画像生成装置12をより詳細に説明する。

【0101】

図9は、画像生成装置12の主要な処理の手順を示すフローチャートである。画像生成装置12の受信回路105は、撮像装置11の送信回路104が送信した符号化変調画像データと変調情報とを受信する(ステップS201)。通信は、無線又は有線の通信回線(ネットワーク)を介して行われる。

【0102】

受信データ復号回路106は、受信回路105が受信した符号化変調画像データを復号し、変調画像を取得する。(ステップS202)。カラー画像生成回路107は、変調画像及び変調情報から、画像復元技術(例えば圧縮センシング技術)を利用して、カラー画像を生成する(ステップS203)。出力インタフェース装置(出力I/F装置)108は、カラー画像生成回路107が生成したカラー画像を、ディスプレイに表示したり、人検出などの画像処理に利用したりするために、出力する(ステップS204)。

【0103】

以下、受信データ復号回路106とカラー画像生成回路107の処理をより詳しく説明する。

【0104】

図10は、本実施の形態にかかる受信回路105及び受信データ復号回路106の処理の手順を示すフローチャートである。

【0105】

受信回路105は、送信回路104が符号化変調画像データと変調情報とを受信する(ステップS201)。

【0106】

受信データ復号回路106は、まず、符号化変調画像データに含まれる符号化信号をエントロピー復号又はハフマン復号によって復号することで圧縮の解除を行う。これにより、受信データ復号回路106は、符号化信号に対応する復号信号を取得する。そして、受信データ復号回路106は、復号信号が、着目画素の画素信号であるか、着目画素と近傍画素との差分信号であるかを判定する(ステップS211)。その際、受信データ復号回路106は、着目画素が画像の左端($u = 1$)に位置するかどうかを判定すればよい。

【0107】

着目画素が画像の左端、つまり、復号信号が差分信号ではなく着目画素の画素信号である場合(ステップS211でNo)、受信データ復号回路106は、復号信号 $d(u, v)$ から変調画像における着目画素の画素信号 $y(u, v)$ を取得する(ステップS212)。具体的には、変調画像における着目画素の画素信号 $y(u, v)$ は、次式で導出される。

【0108】

$$y(u, v) = d(u, v) \quad \dots (式6)$$

【0109】

一方、復号信号が差分信号である場合(ステップS211でYes)、受信データ復号回路106は、復号信号 $d(u, v)$ 、及び、近傍画素の画素信号 $y(u-1, v)$ から、変調画像における着目画素の画素信号 $y(u, v)$ を取得する(ステップS213)。

10

20

30

40

50

具体的には、受信データ復号回路106は、変調画像における着目画素の画素信号 $y(u, v)$ を以下のように計算することにより、圧縮(差分圧縮)の解除を行う。

【0110】

$$y(u, v) = d(u, v) + y(u - 1, v) \quad \dots \text{(式7)}$$

【0111】

受信データ復号回路106は、上記の処理(ステップS211~S213)を繰り返すことにより、変調画像における全ての画素の画素信号を導出して、変調画像を取得する。

【0112】

次に、カラー画像生成回路107の処理を説明する。カラー画像の生成処理は、撮像された変調画像が y で表現され、生成されるカラーRGB画像である生成画像が x で表現される場合、以下のように定式化される。

【0113】

$$y = Ax \quad \dots \text{(式8)}$$

【0114】

ここで、行列 A は、変調情報によって決まるサンプリング行列である。サンプリング行列 A は、変調画像 y と、生成画像 x との関係を示している。また、例えば、画素数が N である場合、変調画像 y は N 行1列の行列で表現され、生成画像 x は $3N$ 行1列の行列で表現され、サンプリング行列 A は N 行 $3N$ 列の行列で表現される。

【0115】

以下、サンプリング行列 A の取得方法を説明する。ここでは、マクベスカラーチェッカーによるカラーキャリブレーションを利用する手法を説明する。マクベスカラーチェッカーは、マンセルカラーシステムに基づいた、24色の色見本である。マクベスカラーチェッカーにおいて、各色見本のXYZ値及びsRGB値が既定されている。

【0116】

例えば、各色見本 j ($j = 1, 2, 3, \dots, 24$) のsRGB値は、 $R'(j)$ 、 $G'(j)$ 及び $B'(j)$ で表現される。また、この各色見本 j を本実施の形態の撮像装置11で撮像することで、各画素 i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$) で変調画像の画素信号 $I(j, i)$ が取得される。この場合、以下の関係式が成り立つ。

【0117】

$$c(1, i) \cdot R(j) + c(2, i) \cdot G(j) + c(3, i) \cdot B(j) = I(j, i) \quad \dots \text{(式9)}$$

【0118】

ただし、 $c(x, i)$ ($x = 1, 2, 3$) は、サンプリング行列 A の i 行 ($3(i - 1) + x$) 列の要素である。サンプリング行列 A の i 行 ($3(i - 1) + x$) 列以外の要素は0である。また、 $R(j)$ 、 $G(j)$ 及び $B(j)$ は、 $R'(j)$ 、 $G'(j)$ 及び $B'(j)$ をリニアに変換することによって得られる。具体的には以下のような計算によって得られる。

【0119】

$$\begin{aligned} R(j) &= \{ (R'(j) / 255 + 0.055) / 1.055 \}^{2.4} \times 255 \\ G(j) &= \{ (G'(j) / 255 + 0.055) / 1.055 \}^{2.4} \times 255 \\ B(j) &= \{ (B'(j) / 255 + 0.055) / 1.055 \}^{2.4} \times 255 \\ &\dots \text{(式10)} \end{aligned}$$

【0120】

式9の関係から、3つの未知数 $c(1, i)$ 、 $c(2, i)$ 及び $c(3, i)$ に対し、24の方程式が導出される。したがって、最小二乗法により、 $c(1, i)$ 、 $c(2, i)$ 及び $c(3, i)$ を導出することが可能である。この処理を、すべての画素 i に対して行うことにより、サンプリング行列 A を取得することが可能である。

【0121】

次に、サンプリング行列 A 及び変調画像 y から生成画像 x を取得する方法を説明する。

10

20

30

40

50

説明を簡略化するために、撮像素子 203 の画素数が $N = 16$ である場合について説明する。

【0122】

図 11 は、撮像素子 203 の画素数が $N = 16$ である場合の変調画像と生成画像とを示す模式図である。図 11 において、 $u = 1 \sim 4$ 及び $v = 1 \sim 4$ で定められる 16 画素が示されている。また、(a) は変調画像を示し、(b) は生成されたカラー画像の赤 (R) チャンネルである生成 R 画像を示し、(c) は生成されたカラー画像の緑 (G) チャンネルである生成 G 画像を示し、(d) は生成されたカラー画像の青 (B) チャンネルである生成 B 画像を示す。図 11 の例において、式 8 の y 及び x は以下のように表現される。

【0123】

$$y = [y_{1,1} \quad y_{2,1} \quad y_{3,1} \quad \cdots \quad y_{4,4}]^T$$

$$x = [r_{1,1} \quad g_{1,1} \quad b_{1,1} \quad r_{2,1} \quad g_{2,1} \quad b_{2,1} \quad r_{3,1} \quad g_{3,1} \quad b_{3,1} \quad \cdots \quad r_{4,4} \quad g_{4,4} \quad b_{4,4}]^T$$

・・・ (式 11)

10

【0124】

式 11 から明らかなように、式 8 において、未知数である x の要素数が 48 であり、観測数である y の要素数が 16 である。つまり、未知数に対して方程式の数が少ない。そのため、式 8 は、不良設定問題となっている。

【0125】

撮像システム 10 は、この不良設定問題を解くために、圧縮センシング技術を利用する。圧縮センシング技術とは、信号のセンシング時に加算処理 (符号化) することによりデータ量を圧縮し、圧縮したデータを利用して復元処理を行うことで元の信号を復号する技術である。圧縮センシング処理では、不良設定問題を解くために、事前知識が利用される。

20

【0126】

自然画像に対する事前知識として、画像上の近傍位置間における輝度変化の絶対値和である全変動 (Total Variation) (例えば、非特許文献 1 及び 2) が利用されてもよい。また、ウェーブレット (Wavelet) 変換、DCT 変換又はカーブレット (Curvelet) 変換などの線形変換において多くの係数が 0 になるというスパース性 (例えば、非特許文献 3) が利用されてもよい。

30

【0127】

また、上述の線形変換の変換係数を学習によって取得する辞書学習 (Dictionary Learning) (例えば、非特許文献 4) などが利用されてもよい。

【0128】

ここでは、全変動の一種に分類される手法である無相関化ベクトル型全変動 (Decorrelated Vectorial Total Variation) について説明する。この手法は、カラー画像の輝度成分及び色差成分の勾配を分離して計算することにより、偽色と呼ばれるアーチファクトの発生を抑制する。これは、以下の評価関数を最小化することで実現される。

40

【0129】

【数 2】

$$\arg \min_{x \in [0, 255]^{3 \times N}} J(x) + \|Ax - y\|_2^2 \quad \cdots \text{(式 12)}$$

【0130】

この評価関数は、以下の 3 つの項から成り立っている。

【0131】

1. データ忠実 (Data Fidelity) 項: $\|Ax - y\|_2^2$: 式 8 を満たすための拘束項。

【0132】

50

2. ダイナミックレンジ (Dynamic Range) 項: 最小値 \min を演算するための x の範囲 ($[0, 255]^{3 \times N}$): 画素値が 0 以上 255 以下であるための拘束項。

【0133】

3. 無相関化ベクトル型全変動 (Decorrelated Vectorial Total Variation) 項: $J(x)$: カラー画像の輝度成分と色差成分の勾配を分離した全変動 (Total Variation) 項。

【0134】

ここで、 $\|Ax - y\|_{1,2}^{(w,2,4)}$ は、 $Ax - y$ の 2 乗和 (L2 ノルム) を示す。また、 $J(x)$ は、画像全体における輝度成分及び色差成分に関する近傍画素間の差分に対応し、以下の式 13 ~ 式 17 で表現される。なお、式 13 ~ 式 17 において、 R は実数、 R_+ は非負の実数を示す。

10

【0135】

【数 3】

$$J: R^{3N} \rightarrow R_+ : x \mapsto \|DCx\|_{1,2}^{(w,2,4)} \quad \dots \text{(式 13)}$$

【数 4】

$$x = [x_R^T \quad x_G^T \quad x_B^T]^T \in R^{3N} \quad \dots \text{(式 14)}$$

20

【数 5】

$$C: R^{3N} \rightarrow R^{3N} : x \mapsto [x_1 \quad x_2 \quad x_3] \quad (\text{直交色変換})$$

$$x_1 = \frac{1}{\sqrt{3}}(x_R + x_G + x_B), \quad x_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(x_R - x_B), \quad x_3 = \frac{1}{\sqrt{6}}(x_R - 2x_G + x_B)$$

... (式 15)

【数 6】

$$D = \text{diag}(D_1 \quad D_1 \quad D_1) \in R^{6N \times 3N} \quad (\text{カラー画像における 1 次勾配演算子})$$

30

$$D_1 = [D_v^T \quad D_h^T]^T \in R^{2N \times N} \quad (\text{各チャンネルの 1 次勾配演算子})$$

$$D_v, D_h \in R^{N \times N} \quad (\text{垂直/水平の 1 次勾配演算子}) \quad (\text{ノイマン境界})$$

... (式 16)

【数 7】

$$\|\cdot\|_{1,2}^{(w,k_1,k_2)} : R^{(k_1+k_2)N} \rightarrow R_+ : x \mapsto w \|x_1\|_{1,2}^{(k_1)} + \|x_2\|_{1,2}^{(k_2)}$$

40

$$x = [x_1^T \quad x_2^T]^T, \quad x_1 \in R^{k_1N}, \quad x_2 \in R^{k_2N}$$

$$w \in (0,1)$$

$$\|\cdot\|_{1,2}^{(k)} : R^{kN} \rightarrow R_+ : x \mapsto \sum_{i=1}^N \sqrt{\sum_{j=0}^{k-1} m_{i+jN}^2} \quad (m_i \text{ は } x \text{ の } i \text{ 番目の要素})$$

... (式 17)

【0136】

図 12 ~ 図 14 は、本実施の形態におけるカラー画像生成回路 107 が生成したカラー

50

画像の一例を色毎に示す。図 1 2 は R 画像を示し、図 1 3 は G 画像を示し、図 1 4 は B 画像を示す。本願発明者らは実際にカラー画像を生成し比較したが、図 1 2 ~ 図 1 4 では、各画像が、その画像の輝度値に基づいて誤差拡散法で 2 値化して図示されている。

【 0 1 3 7 】

これらの図において、(a) は 3 板式カメラで撮像した正解カラー画像を示す。(b) は、一般的なデモザイキング手法であって、特許文献 1 に記載の手法である適応色平面補間 (Adaptive Color Plane Interpolation : ACP I) 法によるデモザイキング画像を示す。(c) は、非特許文献 5 に記載の最小化ラプラシアン残差補間 (Minimized - Laplacian Residual Interpolation : MLRI) 法によるデモザイキング画像を示す。(d) は、本実施の形態におけるカラー画像生成回路 1 0 7 による復元画像を示す。

10

【 0 1 3 8 】

以下では、例として図 1 2 を参照して説明するが、図 1 3 及び図 1 4 にも同様の説明が適用され得る。

【 0 1 3 9 】

図 1 2 の (a) の中央部には、格子状のパターンを有する窓が示されている。図 1 2 の (b) 及び (c) には、図 1 9 に示した従来のベイヤー配列が利用されている。本願発明者らは検証を行い、図 1 2 の (b) に示す ACP I によるデモザイキング画像では、エッジ近傍に偽色とよばれるアーチファクトが存在することを確認した。具体的には、窓のエッジ部分に実際に偽色の存在を確認した。本願発明者らは、このような偽色は、図 1 2 の (d) に示す本実施の形態による復元画像には存在していないことも確認した。

20

【 0 1 4 0 】

図 1 2 の (c) に示す MLRI 法によるデモザイキング画像では、窓の格子状のパターンなどの高周波成分が復元できていない。一方、本実施の形態におけるカラー画像生成回路 1 0 7 は、従来技術に比べ、アーチファクトもなく、高周波領域まで復元できていることをこれらの画像は示している。

【 0 1 4 1 】

図 1 5 は、全ての色を含むカラー画像の一例である。具体的には、図 1 5 では、全ての色を含むカラー画像が、当該カラー画像の輝度値に基づいて誤差拡散法で 2 値化して示されている。窓の格子状のパターンを一見すると明らかなように、本実施の形態による復元画像が正解画像に最も近い。

30

【 0 1 4 2 】

以上のように、本実施の形態の撮像システム 1 0 は、カラーフィルタ 2 0 2 を利用して撮像を行い、圧縮センシング技術によってカラー画像生成処理を行うことにより、アーチファクトを低減し、高精細のカラー画像を取得することができる。

【 0 1 4 3 】

上記の例では、カラーフィルタ 2 0 2 は、各画素の複数の波長域 (R、G 及び B) に対する複数の光透過率の総和が、すべての画素 (u , v) で等しくなるように構成されている。しかし、カラーフィルタ 2 0 2 は、各画素の複数の波長域 (R、G 及び B) に対する複数の光透過率に関する光透過率群と、複数の画素で共通の係数群との積和が、すべての画素 (u , v) で等しくなるように構成されてもよい。

40

【 0 1 4 4 】

すなわち、カラーフィルタ 2 0 2 は、ある波長特性と各画素の波長特性との積和がすべての画素で等しくなるように構成されてもよい。ここでは、比視感度と各画素の波長特性との積和について説明する。

【 0 1 4 5 】

図 1 6 は、比視感度曲線を示す。比視感度は、人間の目が光の波長毎の明るさを感じる強さを数値で示す。各画素の波長特性と、比視感度との積和演算を行なうことにより、画素毎の明るさに関する感度が求められる。そこで、以下の例では、各画素の波長特性と、比視感度との積和が、複数の画素において等しくなるように、カラーフィルタ 2 0 2 が構

50

成される。

【 0 1 4 6 】

具体的には、画素 (u , v) 及び波長 λ に対する透過率 $x(\lambda, u, v)$ と、波長 λ に対する比視感度 $F(\lambda)$ とが次の式 1 8 の関係を満たすように、カラーフィルタ 2 0 2 が構成される。

【 0 1 4 7 】

【 数 8 】

$$\int x(\lambda, u, v) \cdot F(\lambda) d\lambda = p \quad \dots \text{(式 1 8)}$$

10

【 0 1 4 8 】

式 1 8 において、 p は固定値である。これにより、人が感じる明るさに関する感度が複数の画素において均等化される。被写体の明るさは、近傍において、高い相関があることが知られている。この相関が維持されるようにカラーフィルタ 2 0 2 が構成されることで、撮像素子 2 0 3 で取得される画素信号に関して近傍画素間の類似性の低下が抑制される。したがって、撮像装置 1 1 は、近傍 (隣接) 画素間の差分を計算することで、画素信号を適切に圧縮することができる。なお、式 1 8 に代えて、次の式 1 9 が用いられてもよい。

【 0 1 4 9 】

【 数 9 】

$$\sum_{\lambda} x(\lambda, u, v) \cdot F(\lambda) = p \quad \dots \text{(式 1 9)}$$

20

【 0 1 5 0 】

なお、比視感度 $F(\lambda)$ は、複数の画素で共通の係数群に対応する。透過率 $x(\lambda, u, v)$ によって、各波長域の透過率が規定される。したがって、透過率 $x(\lambda, u, v)$ は、各画素の複数の波長域に対する複数の光透過率に関する光透過率群に対応する。つまり、式 1 8 及び式 1 9 は、各画素の複数の波長域に対する複数の光透過率に関する光透過率群と、複数の画素で共通の係数群との積和が、複数の画素において等しいことを示している。

【 0 1 5 1 】

図 1 7 は、比視感度に基づく透過率を有するカラーフィルタ 2 0 2 の例を示す。具体的には、R に対する透過率、G に対する透過率、及び、B に対する透過率が、画素毎に示されている。例えば、カラーフィルタ 2 0 2 が、式 1 8 を満たす透過率 $x(\lambda, u, v)$ を有し、カラーフィルタ 2 0 2 の R、G 及び B に対する透過率が、式 2 によって定められる。図 1 7 は、その結果を示している。

30

【 0 1 5 2 】

また、例えば、各画素の R、G 及び B に対する 3 つの透過率と、R、G 及び B の比視感度に対応する 3 つの係数との積和が、複数の画素において等しくなるように、カラーフィルタ 2 0 2 が構成されてもよい。R、G 及び B の比視感度に対応する 3 つの係数 F_R 、 F_G 及び F_B は、以下の式 2 0 によって導出される。

40

【 0 1 5 3 】

【 数 1 0 】

$$F_R = \int F(\lambda) \cdot R(\lambda) d\lambda$$

$$F_G = \int F(\lambda) \cdot G(\lambda) d\lambda$$

$$F_B = \int F(\lambda) \cdot B(\lambda) d\lambda$$

⋯⋯ (式 2 0)

50

【 0 1 5 4 】

ここで、 F () は比視感度を示し、 R () は R の感度に対応し、 G () は G の感度に対応し、 B () は B の感度に対応する。そして、画素 (u, v) に関して、 R に対する透過率 $T_R(u, v)$ 、 G に対する透過率 $T_G(u, v)$ 、 B に対する透過率 $T_B(u, v)$ 、及び、3つの係数 F_R 、 F_G 及び F_B が以下の関係を満たすように、カラーフィルタ202が構成されてもよい。

【 0 1 5 5 】

$$F_R \cdot T_R(u, v) + F_G \cdot T_G(u, v) + F_B \cdot T_B(u, v) = p$$

・・・(式21)

【 0 1 5 6 】

式21において、 p は固定値である。式21は、3つの波長域に対する3つの透過率と、3つの波長域の比視感度を示す3つの係数との積和が複数の画素において等しいことを示している。

【 0 1 5 7 】

また、各画素の複数の波長域に対する複数の透過率と、複数の波長域に対する複数の輝度変換係数との積和が、複数の画素において等しくなるように、カラーフィルタ202が構成されてもよい。複数の輝度変換係数は、複数の波長域に対応する複数の信号レベルを輝度に変換するために定められている。

【 0 1 5 8 】

具体的には、 R 、 G 及び B に対して、0.2126、0.7152及び0.0722が、3つの輝度変換係数として定められている。例えば、輝度 Y は、 R 、 G 及び B に対する3つの信号レベル L_R 、 L_G 及び L_B から、式22によって導出される。

【 0 1 5 9 】

$$Y = 0.2126 \cdot L_R + 0.7152 \cdot L_G + 0.0722 \cdot L_B$$

・・・(式22)

【 0 1 6 0 】

上記のような3つの輝度変換係数に基づいて、各画素の R 、 G 及び B に対する3つの透過率と、 R 、 G 及び B に対する3つの輝度変換係数との積和が、複数の画素において等しくなるように、カラーフィルタ202が構成されてもよい。具体的には、画素 (u, v) に関して、 R に対する透過率 $T_R(u, v)$ 、 G に対する透過率 $T_G(u, v)$ 、 B に対する透過率 $T_B(u, v)$ 、及び、3つの輝度変換係数 Y_R 、 Y_G 及び Y_B が以下の関係を満たすように、カラーフィルタ202が構成されてもよい。

【 0 1 6 1 】

$$Y_R \cdot T_R(u, v) + Y_G \cdot T_G(u, v) + Y_B \cdot T_B(u, v) = p$$

$$Y_R = 0.2126$$

$$Y_G = 0.7152$$

$$Y_B = 0.0722$$

・・・(式23)

【 0 1 6 2 】

式23において、 p は固定値である。式23は、各画素の複数の波長域に対する複数の透過率と、複数の波長域に対する複数の輝度変換係数との積和が複数の画素において等しいことを示している。

【 0 1 6 3 】

図18は、輝度変換係数に基づく透過率を有するカラーフィルタ202の例を示す。具体的には、 R に対する透過率、 G に対する透過率、及び、 B に対する透過率が、画素毎に示されている。この例において、カラーフィルタ202は、式23を満たす透過率を有する。具体的には、各画素の複数の波長域に対する複数の透過率と、複数の波長域に対する複数の輝度変換係数との積和は、71~72%の範囲内であり、実質的に等しいとみなされる範囲内である。

【 0 1 6 4 】

10

20

30

40

50

以上の通り、本実施の形態に示された撮像装置 11 は、結像光学系 201 と、撮像素子 203 と、カラーフィルタ 202 と、送信データ圧縮回路 103 とを備える。

【0165】

結像光学系 201 は、光信号を結像する。撮像素子 203 は、複数の画素を有し、複数の画素で結像された光信号を電気信号に変換する。カラーフィルタ 202 は、結像光学系 201 及び撮像素子 203 の間に配置され、複数の画素の画素毎及び複数の波長域の波長域毎に異なる光透過率を有する。送信データ圧縮回路 103 は、撮像素子 203 が取得した電気信号を圧縮する。

【0166】

そして、画素毎にカラーフィルタ 202 が複数の波長域に対して有する複数の光透過率に関する光透過率群と、0とは異なる係数を含む、複数の画素で共通の係数群との積和が、複数の画素において等しい。

【0167】

これにより、撮像装置 11 は、カラーフィルタ 202 が有する様々な透過率を介して、様々な情報を取得することができる。一方、カラーフィルタ 202 が画素毎に複数の波長域に対して有する複数の光透過率に、複数の画素で共通の特性が与えられる。そのため、近傍画素間の類似性の低下が抑制される。したがって、撮像装置 11 は、近傍画素間の類似性を用いて、効率的な圧縮を行うことができる。すなわち、撮像装置 11 は、画像を生成するための情報をより適切に取得することができる。

【0168】

例えば、係数群は、互いに等しい複数の係数で構成されてもよい。そして、画素毎にカラーフィルタ 202 が複数の波長域に対して有する複数の光透過率の総和が、複数の画素において等しくてもよい。

【0169】

これにより、信号レベルに関する感度が複数の画素において均等化され、信号レベルに関する近傍画素間の類似性が、撮像素子 203 で取得される電気信号に反映される。したがって、撮像装置 11 は、近傍画素間の類似性を用いて、効率的な圧縮を行うことができる。

【0170】

また、例えば、係数群は、比視感度で定められてもよい。より具体的には、係数群は、比視感度を示す複数の係数で構成されてもよい。これにより、人が感じる明るさに関する感度が複数の画素において均等化され、人が感じる明るさに関する近傍画素間の類似性が、撮像素子 203 で取得される電気信号に反映される。したがって、撮像装置 11 は、近傍画素間の類似性を用いて、効率的な圧縮を行うことができる。

【0171】

また、例えば、係数群は、複数の波長域のそれぞれに対する輝度への変換係数で構成されてもよい。これにより、輝度に関する感度が複数の画素において均等化され、輝度に関する近傍画素間の類似性が、撮像素子 203 で取得される電気信号に反映される。したがって、撮像装置 11 は、近傍画素間の類似性を用いて、効率的な圧縮を行うことができる。

【0172】

また、例えば、複数の画素は、第 1 画素、及び、第 1 画素に隣接する第 2 画素を含んでもよい。そして、送信データ圧縮回路 103 は、電気信号において第 1 画素に対する値と電気信号において第 2 画素に対する値との差分を符号化することにより、電気信号を圧縮してもよい。これにより、撮像素子 203 で取得された電気信号が、隣接画素間の類似性に基づいて効率的に圧縮される。

【0173】

また、例えば、撮像システム 10 は、撮像装置 11 と、画像生成装置 12 とを備える。撮像装置 11 は、さらに、送信データ圧縮回路 103 で圧縮された電気信号を送信する送信回路 104 を備える。

10

20

30

40

50

【0174】

画像生成装置12は、受信回路105と、受信データ復号回路106と、画像生成回路107とを備える。受信回路105は、送信回路104で送信された電気信号を受信する。受信データ復号回路106は、受信回路105で受信された電気信号の圧縮を解除する。画像生成回路107は、複数の画素及び複数の波長域に対してカラーフィルタ202が有する複数の光透過率を示す変調情報、及び、受信データ復号回路106で圧縮が解除された電気信号を用いて、画像を生成する。

【0175】

これにより、画像生成装置12は、撮像装置11から圧縮された電気信号を効率的に受信することができる。また、画像生成装置12は、光透過率に関する変調情報によらず、電気信号の圧縮を効率的に解除することができる。そして、画像生成装置12は、圧縮が解除された電気信号と、変調情報とを用いて、画像を適切に生成することができる。すなわち、撮像システム10は、撮像装置11において電気信号を適切に取得し、画像生成装置12において画像を適切に生成することができる。

10

【0176】

なお、上記の通り、カラーフィルタ202は、複数の画素の画素毎及び複数の波長域の波長域毎に異なる光透過率を有する。すなわち、カラーフィルタ202において、一の画素と一の波長域とに対する光透過率は、当該一の画素と他の波長域とに対する光透過率とは異なり、かつ、他の画素と当該一の波長域とに対する光透過率とも異なる。

【0177】

例えば、複数の画素は、第1の画素と第2の画素とを含み、複数の波長域は、第1の波長域と第2の波長域とを含む。このとき、カラーフィルタ202において、第1の画素と第1の波長域とに対する光透過率は、第1の画素と第2の波長域とに対する光透過率とは異なり、かつ、第2の画素と第1の波長域とに対する光透過率とも異なる。

20

【0178】

また、例えば、カラーフィルタ202が複数の画素及び複数の波長域に対して有する複数の光透過率は、複数の画素のうち2つの画素及び複数の波長域のうち2つの波長域に対して互いに異なる4つの光透過率を含む。すなわち、カラーフィルタ202が複数の画素及び複数の波長域に対して有する複数の光透過率は、画素及び波長域によって互いに異なる複数の光透過率を含む。

30

【0179】

また、例えば、複数の画素は、第1の画素、第2の画素、第3の画素、及び第4の画素を含む。このとき、第1の画素、第2の画素、第3の画素、及び第4の画素のそれぞれに対応するカラーフィルタ202は、複数の波長域に対して、異なる光透過率を有する。また、例えば、カラーフィルタ202は、0%とも100%とも異なる光透過率を含む3種類以上の光透過率を有する。ここで、上述のように、数%の違いを有する光透過率は、実質的に同じ値の透過率ともみなされ得る。そして、カラーフィルタ202は、上記の積和が画素間で等しいという条件において、ランダムな光透過率を有し得る。

【0180】

また、例えば、カラーフィルタ202は、複数の波長域に対する複数の光透過率のパターンである光透過率パターンを画素毎に有する。そして、カラーフィルタ202は、複数の画素に対して複数の光透過率パターンを有する。カラーフィルタ202は、互いに異なる4種類以上の光透過率パターンを有してもよいし、互いに異なる5種類以上の光透過率パターンを有してもよい。

40

【0181】

そして、撮像装置11で取得される電気信号は、複数の波長域の全体に対して画素毎に1つの値を示す。つまり、複数の波長域に対する光信号は、画素毎に混合(加算)され、電気信号に変換される。

【0182】

また、上記の複数の波長域のそれぞれは、赤(R)、緑(G)又は青(B)などの色に

50

対応していてもよい。例えば、複数の波長域は、赤（R）、緑（G）及び青（B）の3つの波長域に対応していてもよい。あるいは、複数の波長域は、より細かく規定されてもよく、4つ以上の波長域に対応していてもよい。

【0183】

また、上記の光透過率群は、各画素の複数の波長域に対する複数の光透過率で構成されてもよい。あるいは、光透過率群は、各画素の複数の波長域に対する複数の光透過率を規定する複数の光透過率で構成されてもよい。例えば、光透過率群は、各画素の複数の波長に対する複数の光透過率で構成されてもよい。

【0184】

また、上記の実施の形態では、撮像装置11の送信回路104が変調情報を送信し、画像生成装置12の受信回路105が変調情報を受信する。しかし、撮像装置11及び画像生成装置12が変調情報を予め保持している場合、変調情報の送受信は不要である。

【0185】

また、撮像装置11と画像生成装置12とが一体化されている場合、又は、情報伝達に記録媒体が用いられる場合等において、撮像装置11は、送信回路104を備えていなくてもよいし、画像生成装置12は、受信回路105を備えなくてもよい。また、画像生成装置12において生成された画像は、出力されることなく、分析等に利用されてもよい。この場合、画像生成装置12は、出力インタフェース装置108を備えなくてもよい。

【0186】

また、積和が複数の画素において等しい場合には、積和が複数の画素において実質的に等しい場合、及び、積和が複数の画素においてほぼ等しい場合も含まれる。例えば、積和が複数の画素において数%の誤差の範囲内であれば、積和は複数の画素において等しいとみなされ得る。また、積和が複数の画素において等しいという表現は、積和が複数の画素において等しい値を有するという表現に置き換えられてもよい。

【0187】

また、上記の実施の形態において、各構成要素（特に、各回路等）は、専用のハードウェアで構成されるか、各構成要素に適したソフトウェアプログラムを実行することによって実現されてもよい。各構成要素は、CPU（Central Processing Unit）又はプロセッサなどのプログラム実行部が、ハードディスク又は半導体メモリなどの記録媒体に記録されたソフトウェアプログラムを読み出して実行することによって

【0188】

また、撮像装置11に含まれる複数の回路は、全体として1つの回路を構成してもよいし、それぞれ別々の回路でもよい。同様に、画像生成装置12に含まれる複数の回路は、全体として1つの回路を構成してもよいし、それぞれ別々の回路でもよい。また、これらの回路は、それぞれ、汎用的な回路でもよいし、専用の回路でもよい。

【0189】

以上、一つ又は複数の態様に係る撮像装置11及び撮像システム10等について、実施の形態に基づいて説明したが、本開示は、この実施の形態に限定されるものではない。本開示の趣旨を逸脱しない限り、当業者が思いつく各種変形を本実施の形態に施したもののや、異なる実施の形態における構成要素を組み合わせる構築される形態も、一つ又は複数の態様の範囲内に含まれてもよい。

【0190】

例えば、上記実施の形態において、特定の構成要素が実行する処理を特定の構成要素の代わりに別の構成要素が実行してもよい。また、複数の処理の順序が変更されてもよいし、複数の処理が並行して実行されてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0191】

本開示にかかる撮像装置は、圧縮センシングに利用可能であり、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、携帯電話及びスマートフォン等に適用可能である。

10

20

30

40

50

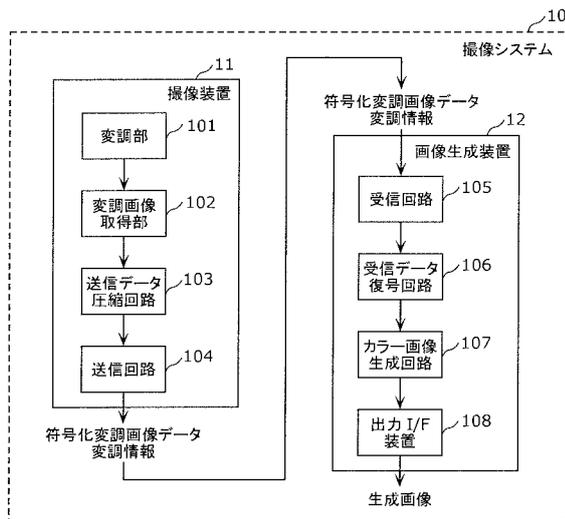
【符号の説明】

【0192】

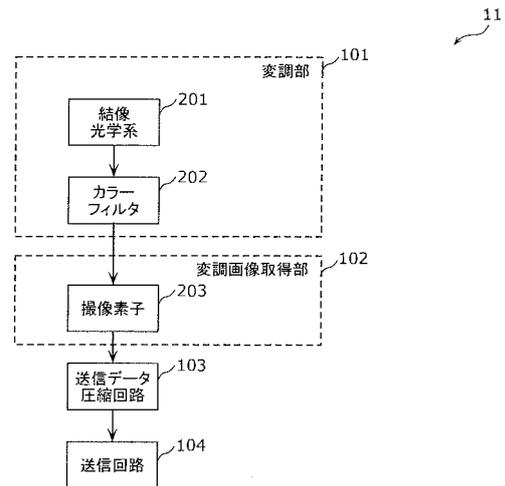
- 1、2、3 フィルタ
- 10 撮像システム
- 11 撮像装置
- 12 画像生成装置
- 101 変調部
- 102 変調画像取得部
- 103 送信データ圧縮回路
- 104 送信回路
- 105 受信回路
- 106 受信データ復号回路
- 107 カラー画像生成回路（画像生成回路）
- 108 出力I/F装置（出力I/F装置）
- 201 結像光学系
- 202 カラーフィルタ
- 202 a、202 b、202 c カットフィルム
- 203 撮像素子

10

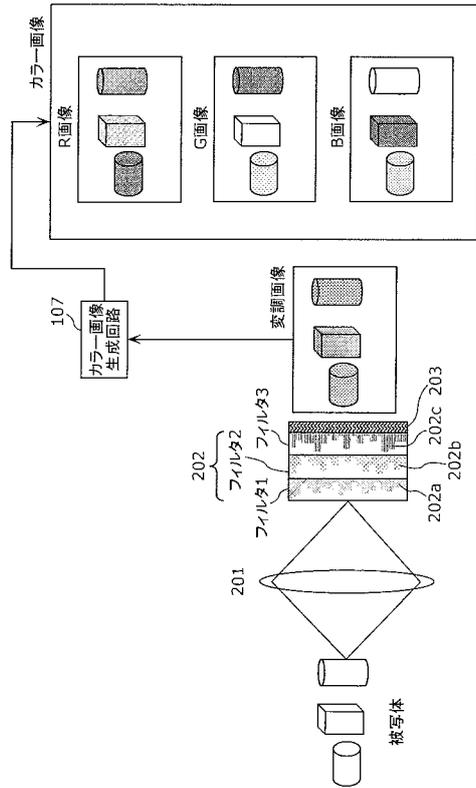
【図1】



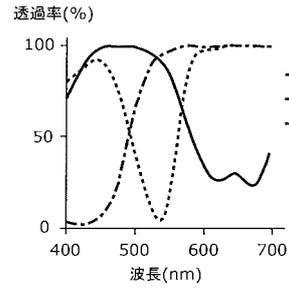
【図2】



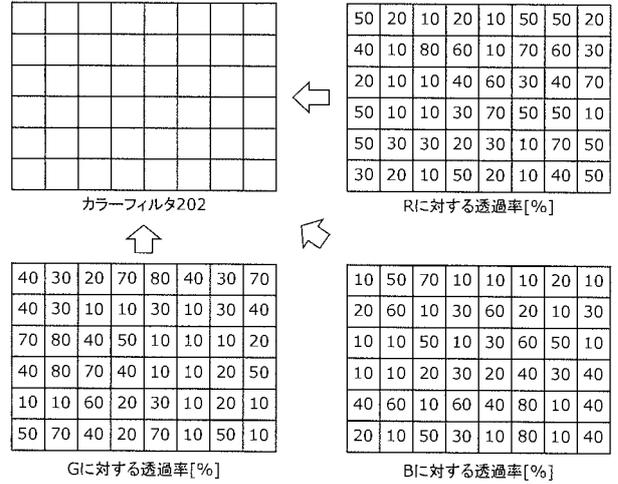
【図3】



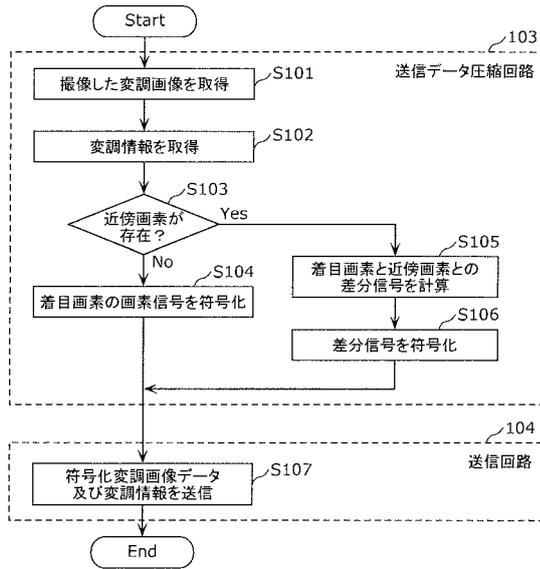
【図4】



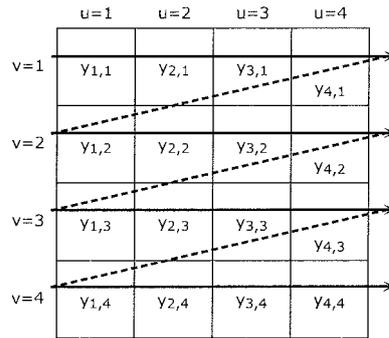
【図5】



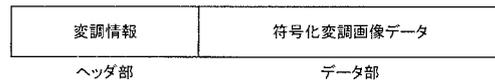
【図6】



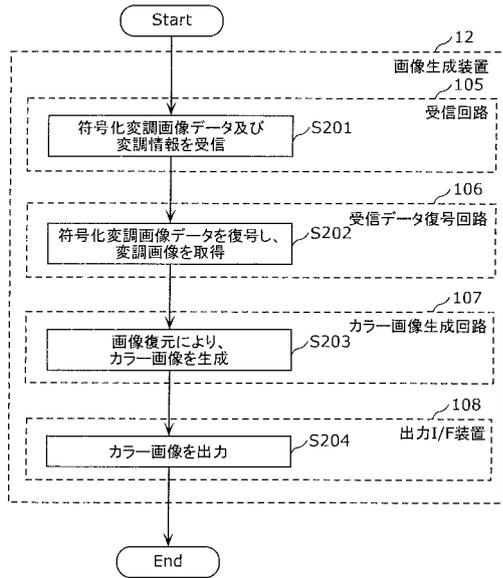
【図7】



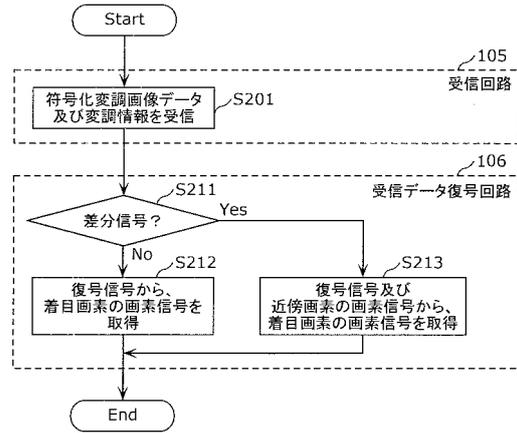
【図8】



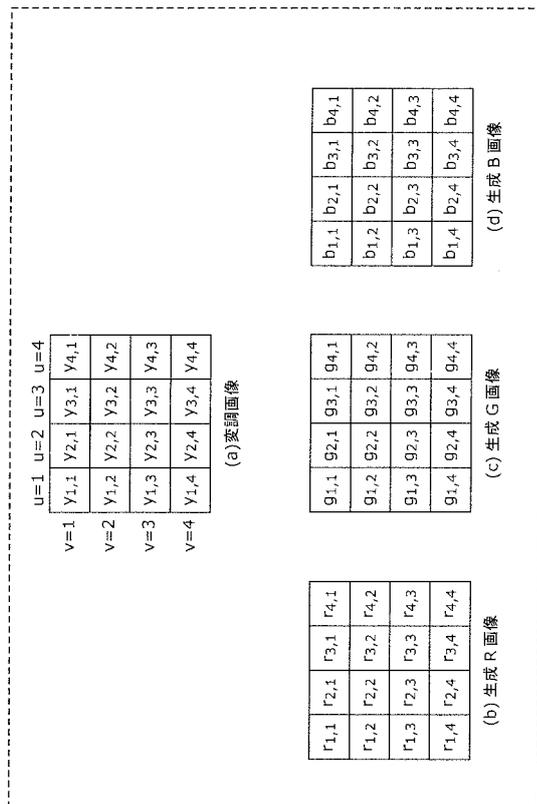
【図 9】



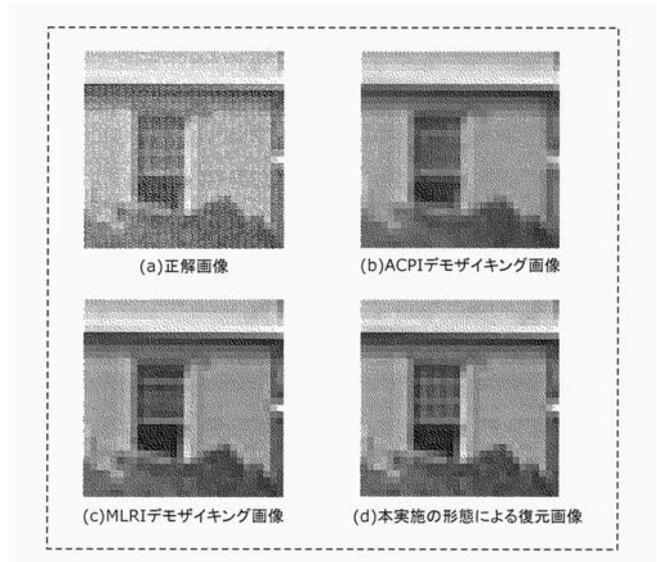
【図 10】



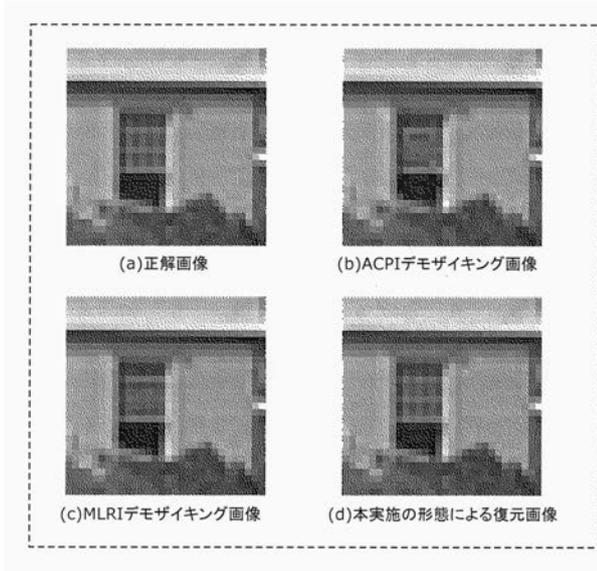
【図 11】



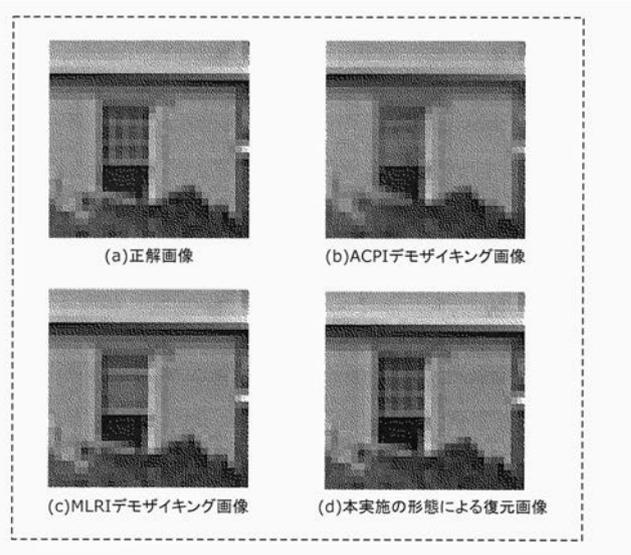
【図 12】



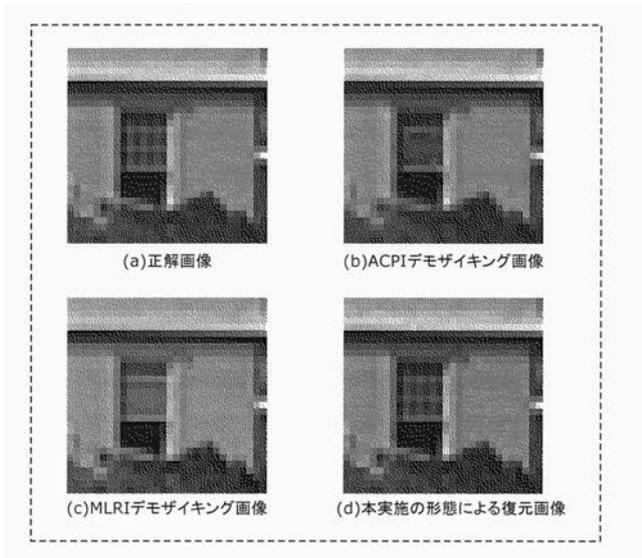
【 図 1 3 】



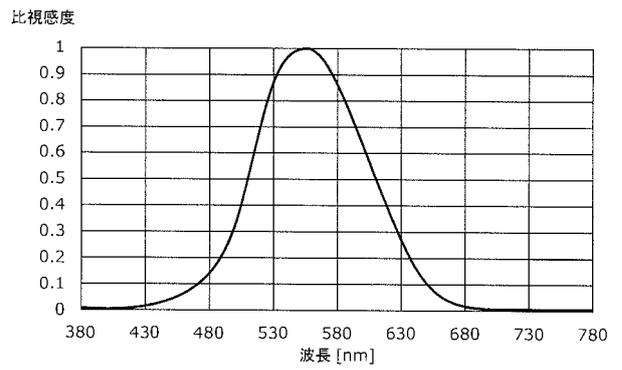
【 図 1 4 】



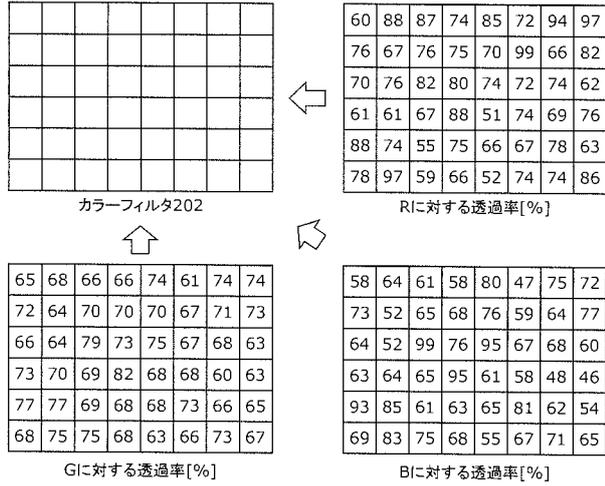
【 図 1 5 】



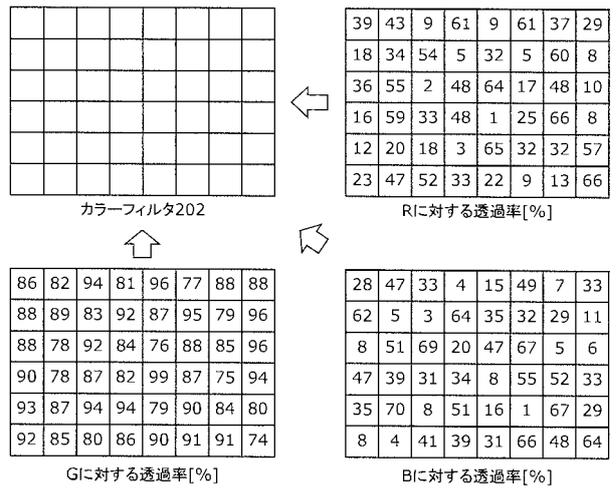
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



【 図 1 9 】

R	G	R	G	R	G	R	G
G	B	G	B	G	B	G	B
R	G	R	G	R	G	R	G
G	B	G	B	G	B	G	B
R	G	R	G	R	G	R	G
G	B	G	B	G	B	G	B
R	G	R	G	R	G	R	G
G	B	G	B	G	B	G	B

フロントページの続き

- (72)発明者 吾妻 健夫
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 丸山 亜矢子
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 若井 信彦
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内
- Fターム(参考) 5C065 BB13 EE03 EE12 GG21 GG22 GG23