

(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2017-139742

(P2017-139742A)

(43) 公開日 平成29年8月10日(2017.8.10)

(51) Int.Cl.

F 1

テーマコード (参考)

HO4N 9/07 (2006.01)

H04N 9/07

C

5C065

HO4N 5/225 (2006.01)

HO4N 9/07

A

5 C 1 2 2

H04N 5/225

F

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全 48 頁)

(21) 出願番号 特願2016-240147 (P2016-240147)

(22) 出願日 平成28年12月12日 (2016.12.12)

(31) 優先權主張番号 特願2016-17599 (P2016-17599)

(32) 優先日 平成28年2月2日 (2016.2.2)

(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(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

(74) 代理人 100101683

弁理士 奥田 誠司

(74) 代理人	100155000
----------	-----------

弁理士 喜多 修市

(74) 代理人 100180529

弁理士 梶谷 美道

(74) 代理人 100125922

弁理士 三宅 章子

(74) 代理人 100135703

弁理士 岡部 英隆

(74) 代理人	100188813
----------	-----------

弁理士 川喜田 徹

最終頁に続く

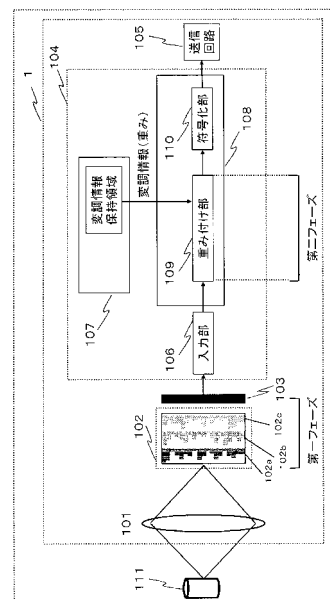
(54) 【発明の名称】 撮像装置、撮像システム、撮像方法及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】解像度の低下や偽色の発生を抑制しつつ、伝送圧縮効率を向上させる撮像装置等を提供する。

【解決手段】撮像装置 1 は、被写体 111 からの光を集光する結像光学系 101 と、複数の画素を有し、集光された光を受光して電気信号に変換する撮像素子 103 と、結像光学系 101 及び撮像素子 103 の間に配置され、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを含むフィルターユニット 102 と、電気信号を符号化する送信データ圧縮回路 104 と、を備え、フィルターユニット 102 全体の光透過率特性は、撮像素子 103 の画素単位でランダムに異なり、送信データ圧縮回路 104 は、撮像素子 103 の複数の画素の中の各画素に対応するフィルターユニット 102 全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、各画素の電気信号を重み付けして符号化する、ものである。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被写体からの光を集光する結像光学系と、
複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタと、
前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備え、
前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位でランダムに異なり、
前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する、
撮像装置。

10

【請求項 2】

前記複数のカラーフィルタの波長単位の光透過率特性は、前記撮像素子の前記複数の画素の各々に対応する位置においてランダムに異なる、
請求項 1 記載の撮像装置。

【請求項 3】

前記各画素間で共通な波長特性は、比視感度を示すものである、
請求項 1 から 2 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

20

【請求項 4】

前記各画素間で共通な波長特性は、比視感度に近似したものである、
請求項 1 から 2 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

【請求項 5】

前記各画素間で共通な波長特性は、赤（R）、緑（G）及び青（B）に対応する全波長域において光透過率が等しいものである、
請求項 1 から 2 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

【請求項 6】

前記各画素間で共通な波長特性は、赤（R）及び青（B）に対応する波長域においては光透過率が 0 であり、緑（G）に対応する波長域のみ光透過率が 0 超のものである、
請求項 1 から 2 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

30

【請求項 7】

前記各画素間で共通な波長特性は、各画素間で共通なレッド特性とブルー特性との差分特性を示すものである、
請求項 1 から 2 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

【請求項 8】

前記各画素の符号化された電気信号を復号化する画像生成装置に出力する送信回路を備えた、
請求項 1 から 2 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

【請求項 9】

前記送信回路は、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を示す変調情報を、前記画像生成装置に出力する、
請求項 8 記載の撮像装置。

40

【請求項 10】

前記送信回路は、前記画像生成装置に接続される 1 回目の通信では、前記変調情報と前記 1 回目の通信に対応する各画素の符号化された電気信号とを出力し、2 回目以降の通信では、前記変調情報を出力することなく前記 2 回目以降の各通信に対応する各画素の符号化された電気信号を出力する、
請求項 9 記載の撮像装置。

50

【請求項 1 1】

前記画像生成装置において、
前記符号化された電気信号は復号化され、
前記変調情報を用いて前記復号化された電気信号から前記重み付けは除去される、
請求項 9 から 1 0 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

【請求項 1 2】

前記送信回路は、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を指定する指定情報を、前記画像生成装置に出力する、
請求項 8 記載の撮像装置。

10

【請求項 1 3】

前記送信回路は、前記画像生成装置に接続される 1 回目の通信では、前記指定情報と前記 1 回目の通信に対応する各画素の符号化された電気信号とを出力し、2 回目以降の通信では、前記指定情報を出力することなく前記 2 回目以降の各通信に対応する各画素の符号化された電気信号を出力する、
請求項 1 2 記載の撮像装置。

【請求項 1 4】

前記画像生成装置において、
複数の撮像装置の各々に含まれる撮像素子の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を示す変調情報が保持され、
前記符号化された電気信号は復号化され、
前記指定情報に基づき、前記符号化された電気信号を出力した前記撮像装置に対応する変調情報が、前記保持された変調情報の中から選択され、
前記選択された変調情報を用いて前記復号化された電気信号から前記重み付けは除去される、
請求項 1 2 から 1 3 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

20

【請求項 1 5】

前記複数のカラーフィルタは、
シアン（C）の波長域に対応する第 1 カラーフィルタ、マゼンダ（M）の波長域に対応する第 2 カラーフィルタ、及び、イエロー（Y）の波長域に対応する第 3 カラーフィルタを含む、
請求項 1 から 1 4 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

30

【請求項 1 6】

被写体からの光を集光する結像光学系と、
複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタと、
前記撮像素子と前記複数のカラーフィルタとの間に配置され前記複数のカラーフィルタを透過した光の光透過率特性を変調させる空間光変調器と、
前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備え、
前記空間光変調器の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、
前記複数のカラーフィルタ及び空間光変調器の全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、
前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタ及び空間光変調器の全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する、
撮像装置。

40

【請求項 1 7】

前記複数のカラーフィルタの各々は、厚みが 0 mm の領域を含む、

50

請求項 16 記載の撮像装置。

【請求項 18】

被写体からの光を集光する結像光学系と、
複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタと、
前記撮像素子と前記複数のカラーフィルタとの間に配置され前記複数のカラーフィルタを透過した光の光透過率特性を変調させる空間光変調器と、
前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備え、
前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、
前記複数のカラーフィルタの波長単位の光透過率特性は、前記撮像素子の前記複数の画素の各々に対応する位置においてランダムに異なり、
前記空間光変調器の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、
前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタ及び空間光変調器の全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する、
撮像装置。

【請求項 19】

撮像装置と画像生成装置とを含む撮像システムであって、
前記撮像装置は、
被写体からの光を集光する結像光学系と、
複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを含むフィルターユニットと、
前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、
前記画像生成装置と接続された送信回路と、を備え、
前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、
前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化し、
前記送信回路は、前記各画素の符号化された電気信号を前記画像生成装置に出力し、
前記画像生成装置は、
前記各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を示す変調情報を記憶するメモリと、
前記各画素の符号化された電気信号を受信する受信回路と、
前記各画素の符号化された電気信号を復号化し、前記各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて前記復号化された電気信号から前記重み付けを除去する受信データ復号回路と、を備えた撮像システム。

【請求項 20】

被写体からの光を集光する結像光学系と、
複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを含むフィルターユニットと、
前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備えた撮像装置を用いた撮像方法であって、
前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、

前記送信データ圧縮回路において、

前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を保持し、

前記撮像素子から前記各画素の電気信号を入力し、

前記各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する、

撮像方法。

【請求項 21】

被写体からの光を集光する結像光学系と、

10

複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを含むフィルターユニットと、

前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備えた撮像装置において実行されるプログラムであって、

前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、

前記撮像装置のコンピュータに対して、

前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を保持させる処理と、

20

前記撮像素子から前記各画素の電気信号を入力させる処理と、

前記各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて前記各画素の電気信号を重み付けして符号化させる処理と、を実行させる、

プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、圧縮センシング技術を用いた撮像装置、撮像システム、撮像方法及びプログラムに関する。

30

【背景技術】

【0002】

カラー画像の撮像には、光の三原色に相当する赤（R）、緑（G）及び青（B）の3つの異なる波長情報が必要となる。一方、撮像装置は、一つの撮像素子によりカラー画像を撮像する。従来技術では、撮像装置は、単一のカラーフィルタを使用して、一つの撮像素子によりカラー画像を撮像する。本特許では、可視光のうち特定の波長域を通過させ特定の波長域を阻止するフィルタ、および、可視光のすべての波長域を通過させるフィルタをカラーフィルタとよぶ。前記単一のカラーフィルタは、撮像素子の各画素に対応する領域を有する。前記各画素に対応する領域は、赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過する。前記単一のカラーフィルタにおける赤（R）、緑（G）及び青（B）の分布パターンとしては図20に示すベイヤー配列が広く利用されてきた。ベイヤー配列では、人間の視覚特性に近いG画素を全体の画素の1/2、R画素およびB画素をそれぞれ全体の画素の1/4となるようにカラーフィルタが配置されている。撮像装置は、前記単一のカラーフィルタを使用して、撮像素子の画素毎に赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長情報を取得する。そして、カラー画像生成装置は、前記撮像装置から受信した波長情報をデモザイキングという処理により、カラー画像に復元する。

40

【0003】

特許文献1は、上記のベイヤー配列のカラーフィルタを備えた撮像システムを開示する（コラム2の52行目から57行目）。特許文献1の撮像システムの入力部は、撮像素子

50

の各画素に対して赤（Ｒ）、緑（Ｇ）又は青（Ｂ）のいずれかの一つの波長情報しか取得できない。そのため、特許文献１の撮像システムのデータ補間及び記録部は、デジタル信号プロセッサにおいてカラー画像を復元する際に、波長情報のデータ補間を行う（コラム１の５４行目から６０行目、コラム４の１５行目から３３行目）。しかし、前記データ補間により取得していない色の情報を、別の色情報から擬似的に補間するため、偽色が発生し得る。

【０００４】

特許文献２は、単一のカラーフィルタを使用した画像処理システムを開示する。前記単一のカラーフィルタでは、撮像素子の各画素に対応する領域において赤（Ｒ）、緑（Ｇ）又は青（Ｂ）がランダムなパターンで分布している（段落００３２、段落００４２、図１３）。このため、撮像素子の各画素に対して赤（Ｒ）、緑（Ｇ）又は青（Ｂ）のいずれかの一つの波長情報しか取得できない。特許文献２の画像処理システムの光変換器は、画像センサで得られた原画像の光特性を変換してサンプリングすることにより、サンプルデータ集合を生成する（段落００２７から００２８）。そして、特許文献２の画像処理システムのデータ処理装置は、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してカラー画像の復元を行う（段落００３０）。特許文献２でも、特許文献１と同様に、取得していない色の情報を、別の色情報から擬似的に補間する必要があるため、偽色が発生し得る。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【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】

【０００６】

【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

【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

【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.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

前述の従来技術では、上記のように更なる改善が必要とされていた。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本開示の一態様の撮像装置は、
被写体からの光を集光する結像光学系と、
複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタと、
前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備え、
前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位でランダムに異なり、
前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する、
撮像装置である。

【0009】

なお、これらの包括的または具体的な態様は、システム、方法、集積回路、コンピュータプログラムまたはコンピュータ読み取り可能な記録媒体で実現されてもよく、システム、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよびコンピュータ読み取り可能な記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、例えばCD-ROM (Compact Disc-Read Only Memory) などの不揮発性の記録媒体を含む。

【発明の効果】

【0010】

本開示によれば、更なる改善を実現できる。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。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1A】第1の画素に対応する複数のカラーフィルタの個々の光透過率特性及び全体の光透過率特性の一例を示す図である。

【図1B】第1の画素とは異なる第2の画素に対応する複数のカラーフィルタの個々の光透過率特性及び全体の光透過率特性の一例を示す図である。

【図1C】赤(R)、緑(G)及び青(B)に対応する全波長域において光透過率が等しい、仮想のカラーフィルタの光透過率特性の一例を示す図である。

【図1D】図1Cに示す光透過率特性を用いて図1Aに示す前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性を積和演算して得られた積分値を面積で示した図である。

【図2】本開示の第1の実施の形態に係る撮像装置を示す概略ブロック図である。

【図3】カラーフィルタ102a、カラーフィルタ102b及びカラーフィルタ102cの第一群の光透過率特性を例示的に示す図である。

【図4】厚み0%から100%まで一様分布となるように各画素の厚みを設定した各カラーフィルタの一例を示す模式図である。

【図5】厚み50%を平均とした正規分布(ガウス分布)となるように各画素の厚みを設定した各カラーフィルタの一例を示す模式図である。

【図6A】比視感度を表した波長特性の一例を示す図である。

【図6B】赤(R)及び青(B)に対応する波長域においては光透過率が0であり、緑(G)に対応する波長域のみ光透過率が0超である、仮想のカラーフィルタの光透過率特性

10

20

30

40

50

の一例を示す図である。

【図 6 C】レッド特性とブルー特性との差分特性を表した波長特性の一例を示す図である。

【図 7】本開示の第 1 の実施の形態に係る撮像システムに用いられる画像生成装置を示す概略ブロック図である。

【図 8】本開示の第 1 の実施の形態に係る撮像装置及び画像生成装置の間の処理を示すシーケンス図である。

【図 9】変調情報および符号化電気信号を伝送するための伝送フォーマットを例示的に示す模式図である。

【図 10】本開示の第 1 の実施の形態に係る撮像装置における電気信号の符号化処理を示すフローチャートである。

【図 11】重み付けした電気信号を符号化する処理を説明するために用いられる、ラスタスキャンの順序を示す模式図である。

【図 12】本開示の第 1 の実施の形態に係る撮像システムに用いられる画像生成装置における電気信号の復号化処理を示すフローチャートである。

【図 13】撮像素子の画素数を $N = 16$ とした場合の変調画像及び生成画像を例示的に示す模式図である。

【図 14】本開示の第 1 の実施の形態における撮像システムに用いられるカラー画像生成回路が生成した R チャンネル画像の一例である。

【図 15】本開示の第 1 の実施の形態における撮像システムに用いられるカラー画像生成回路が生成した G チャンネル画像の一例である。

【図 16】本開示の第 1 の実施の形態における撮像システムに用いられるカラー画像生成回路が生成した B チャンネル画像の一例である。

【図 17】本開示の第 1 の実施の形態における撮像システムに用いられるカラー画像生成回路が生成したカラー画像の一例である。

【図 18】本開示の第 2 の実施の形態における、厚みが 0 mm の領域を含む複数のカラーフィルタに加えて空間光変調器を備えた撮像装置を示す概略ブロック図である。

【図 19】本開示の第 3 の実施の形態における、各カラーフィルタの厚みが画素単位で異なる複数のカラーフィルタに加えて空間光変調器を備えた撮像装置を示す概略ブロック図である。

【図 20】ベ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】

【0012】

(本開示に係る一態様を想到するに至った経緯)

まず、図 1 A から図 1 D を参照しながら、本開示の一態様の着眼点について説明する。

【0013】

図 1 A は、前記撮像素子の第 1 の画素に対応する複数のカラーフィルタ 1 から 3 の個々の光透過率特性及び前記撮像素子の第 1 の画素に対応する前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 の全体の光透過率特性を示す図である。図 1 B は、前記第 1 の画素とは異なる第 2 の画素に対応する前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 の個々の光透過率特性及び前記撮像素子の第 2 の画素に対応する前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 の全体の光透過率特性を示す図である。なお、第 1 画素に対応するカラーフィルタ 1 の厚さと第 2 画素に対応するカラーフィルタ 1 の厚さは異なり、かつ、第 1 画素に対応するカラーフィルタ 2 の厚さと第 2 画素に対応するカラーフィルタ 2 の厚さは異なり、かつ、第 1 画素に対応するカラーフィルタ 3 の厚さと第 2 画素に対応するカラーフィルタ 3 の厚さは異なる。また、「撮像素子の第 1 の画素に対応する複数のカラーフィルタ 1 から 3 の全体の光透過率特性」とは、例えば「光が撮像素子の第 1 の画素に対応する複数のカラーフィルタ 1、カラーフィルタ 2、カラーフィルタ 3 を透過した場合の光透過率特性」である。ここで、図 1 A が示す前記第 1 の画素に対応する前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 の全体の光透過率特性は、全波長域におけるいずれかの波長域において、図 1 B が示す前記第 2 の画素に対応する前記

10

20

30

40

50

複数のカラーフィルタ 1 から 3 の全体の光透過率特性と異なる。即ち、本態様では、前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 の全体の光透過率特性は画素単位及び波長単位でランダムに異なっている。

【0014】

同様に、図 1 A が示す前記第 1 の画素に対応する前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 の中の各々の光透過率特性は、全波長域におけるいずれかの波長域において、図 1 B が示す前記第 2 の画素に対応する前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 の中の各々の光透過率特性と異なる。即ち、本態様では、前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 の光透過率特性は画素単位及び波長単位でランダムに異なっている。上述のように、前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 の全体の光透過率特性が画素単位及び波長単位でランダムに異なっているのは、このような光透過率特性を有する前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 を組み合わせているからである。図 1 A は前記第 1 の画素に対応し、図 1 B は前記第 2 の画素に対応するが、これらは一例であり、前記第 1 の画素及び前記第 2 の画素以外の他の画素においても前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 の全体の光透過率特性は画素単位及び波長単位でランダムに異なっている。

10

【0015】

このように、前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 の全体の光透過率特性のランダム性を画素単位及び波長単位で高めているのは、本態様の撮像装置から前記符号化された電気信号を入力した画像生成装置において、圧縮センシング技術を用いて元のカラー画像を再現する際に、前記ランダム性が高いほど元のカラー画像をより正確に再現することが可能となるからである。

20

【0016】

続いて、前記被写体からの光は、前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 を透過し、前記撮像素子において受光される。そして、前記受光された光の光強度は、前記撮像素子において前記電気信号に変換される。

【0017】

ここで、特許文献 1 及び 2 の従来技術は、本態様とは異なり、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを用いる。そのため、前記単一のカラーフィルタの中で R の波長域の光を透過させる画素間では光透過率特性は等しい。同様に、前記単一のカラーフィルタの中で G の波長域の光を透過させる画素間、及び、前記単一のカラーフィルタの中で B の波長域の光を透過させる画素間でも光透過率特性は等しい。また、被写体が自然物の場合、前記被写体からの光の強度は一般的には急激に変化しないと仮定できる。その結果、前記単一のカラーフィルタの中の赤（R）と同一の波長域を透過した光を受光した近傍の画素同士の光強度の差分は、前記透過するカラーフィルタの光透過率特性が等しく、且つ、近傍の光同士では光強度が急激に変化しないため、小さくなる。同様に、緑（G）と同一の波長域を透過した光を受光した近傍の画素同士の光強度の差分、又は、青（B）と同一の波長域を透過した光を受光した近傍の画素同士の光強度の差分も、それぞれ、緑（G）又は青（B）の各々の光透過率特性が等しく、且つ、近傍の光同士では光強度が急激に変化しないため、小さくなる。このことを利用して、従来技術は、赤（R）、緑（G）又は青（B）の波長域毎に電気信号の差分を計算し、圧縮している。このように、従来技術では、前記カラーフィルタの光透過率特性の単位で電気信号を圧縮し、圧縮効率を上げようとしていると考えられる。

30

40

【0018】

これに対して、本態様の撮像装置では、まず、カラー画像の再現性を高めるため、前記撮像素子の各画素に対応させて前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 を設けている。ここで、前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 の全体の光透過率特性は、画素単位でランダムに異なっている。このため、前記被写体からの光を前記複数のカラーフィルタ 1 から 3 に透過させることにより、前記被写体からの光の光強度は画素単位でランダムに変化する。従って、前述の従来技術のように、前記カラーフィルタの光透過率特性の単位で電気信号を圧

50

縮することはできない。従って、カラー画像の再現性を高めつつ、圧縮効率を向上させ、伝送効率を改善するための工夫が必要となる。

【0019】

そこで、次に、本発明者は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の前記電気信号を重み付けすることを想到した。これにより、前記各画素に対応する前記電気信号を前記各画素間で共通な波長特性を基準とした値に変換している。

【0020】

前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記複数のカラーフィルタを透過した各画素に対応する前記電気信号に前記重み付けする、ことの技術的意義を説明する。

10

【0021】

ここで、前記各画素間で共通な波長特性とは、前記重み付けの際に前記撮像素子のいずれの画素に対しても共通して用いられる基準としての波長特性であり、各波長域と光透過率等の値との関係で示される。

【0022】

例えば、前記各画素間で共通な波長特性として、赤（R）、緑（G）及び青（B）に対応する全波長域において光透過率が等しい光透過率特性を用いることが考えられる。ここで、「赤（R）、緑（G）及び青（B）に対応する全波長域において光透過率が等しい」とは「赤色光の波長域における光透過率、緑色光の波長域における光透過率、青色光の波長域における光透過率が等しい」であることを意味してもよい。図1Cは、赤（R）、緑（G）及び青（B）に対応する全波長域において光透過率が等しい、仮想のカラーフィルタの光透過率特性の一例を示す図である。図1Cでは、横軸は波長を表し、縦軸は光透過率を表し、例えば、450nmから650nmの波長域において光透過率が「1」となっている。より具体的には、赤（R）の波長域（例えば、610nm～650nm）の一部、緑（G）の波長域（例えば、500nm～560nm）、及び、青（B）の波長域（例えば、450nm～480nm）の各々において光透過率が「1」となっている。

20

【0023】

また、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合は、各画素に対応する位置における前記複数のカラーフィルタの全体の波長特性と前記各画素間で共通な波長特性との積和演算で計算される。

30

【0024】

例えば、図1Aに示す前記第1の画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性と図1Cに示す前記各画素間で共通な波長特性との積和は、上記のように図1Cでは、例えば、450nmから650nmの波長域において光透過率が「1」であるため、450nmから650nm波長の領域内で図1Aに示す前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性を積分した値となる。図1Dは、図1Cに示す光透過率特性を用いて図1Aに示す前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性を積和演算して得られた積分値を面積で示した図である。図1Dにおいて、前記積分値は斜線部の面積に対応する。

40

【0025】

上述したことを前提に、まず、各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性のすべてに対して、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合を算出する。

【0026】

具体的には、例えば、前記各画素間で共通な波長特性として図1Cに示す波長特性を用いる場合、図1Aに示す前記第1の画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性に対しては、図1Aに示す前記第1の画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、図1Cに示す前記各画素間で共通な波長特性に対する割合が

50

算出される。また、図 1 B に示す前記第 2 の画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性に対しては、図 1 B に示す前記第 2 の画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、図 1 C に示す前記各画素間で共通な波長特性に対する割合が算出される。同様に、前記第 1 の画素及び前記第 2 の画素以外の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性に対しても、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、図 1 C に示す前記各画素間で共通な波長特性に対する割合が算出される。

【0027】

「第 1 画素に対応にする複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合」とは、例えば、「図 1 D に示す斜線部の面積」である。ただし、「第 1 画素に対応にする複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性」とは、図 1 A において「全体、つまり実線の太字」で表された特性であり、「各画素間で共通な波長特性」は図 1 C で示された特性である。

【0028】

これにより、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性という前記各画素に個別の特性を、前記各画素間で共通な波長特性という前記各画素に共通の特性との関係で相対的に把握することができる。

【0029】

しかし、これだけでは不十分である。なぜなら、前記各画素に対応する前記電気信号は、依然として、画素単位でランダムに異なる前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性を基準として取得された電気信号のままだからである。そのため、本態様では、前記各画素に個別の特性を基準として取得された電気信号を、前記各画素間で共通な波長特性という前記各画素に共通の特性を基準とした値に変換している。

【0030】

即ち、本態様では、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を算出している。ここで、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合は、前記各画素間で共通な波長特性に対して、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性が占める割合を示す。従って、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数は、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性に対して、前記各画素間で共通な波長特性が占める割合を示す。このため、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性を基準として取得された前記電気信号に対して、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を掛けること、即ち、前記重み付けをすることにより、前記各画素間で共通な波長特性を基準とした値に前記各画素に対応する前記電気信号を変換することができる。

【0031】

具体的には、例えば、前記各画素間で共通な波長特性として図 1 C に示す光透過率特性を用いる場合、図 1 A 及び図 1 B に例示的に示すように、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性をランダムに異ならせて、取得された前記各画素に対応する前記電気信号に対して、前記重み付けをすることにより、図 1 C に示す前記各画素間で共通な波長特性を基準とした値に前記各画素に対応する前記電気信号を変換することができる。

【0032】

これにより、前記重み付けされた電気信号は、前記各画素間で共通な波長特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号と近似する。即ち、本態様では、前記重み付けにより、画素単位で異なる前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性が、すべての画素に対応する位置において等しい波長特性、即ち、前記各画素間で共通な波長特性に変換されたと実質的に見なすことができる。このように、前記各画素に対応する前記重み

付けした電気信号は、いずれも前記各画素間で共通な波長特性を基準とした値又はそれに近似した値となる。このため、光透過率特性が等しい画素間で電気信号の差分を計算し、圧縮率を高める従来技術と同程度の圧縮率を実現できる。この結果、本態様によると、前記重み付けした電気信号の差分を取ることで、カラー画像の再現性を高めつつ、それによる伝送効率の低下を回避することができる。

【0033】

以上により、たとえば、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせた複数のカラーフィルタを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

10

【0034】

以上の考察により、本発明者らは、以下に開示する各態様を想到するに至った。

【0035】

（本開示の実施の形態の概要）

本開示の一態様の撮像装置は、

被写体からの光を集光する結像光学系と、

複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる第一群の光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを含むフィルターユニットと、

20

前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備え、

前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位でランダムに異なり、

前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する、ものである。

【0036】

本開示の一態様によると、異なる第一群の光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを含むフィルターユニットを設ける。従来のベイヤー配列などの画素毎に相互に異なる単一のカラーフィルタを使用した場合は、カラー画像を再現する際に取得していない色の情報を別の色情報からデータ補間するため、これに起因して偽色が発生する。一方で、本態様では、被写体からすべての色情報を含んだ光を受光するので、解像度の低下を防止しつつ偽色の発生を防止できる。

30

【0037】

また、前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位でランダムに異なる。これは、前記フィルターユニットに含まれている前記複数のカラーフィルタの波長単位の光透過率特性を、前記撮像素子の前記複数の画素の各々に対応する位置においてランダムに異ならせているからである。この結果、前記複数のカラーフィルタを含む前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、画素単位だけでなく波長単位でもランダムに異なることとなる。これにより、前記被写体からの光の光透過率特性を、画素単位及び波長単位で相乗的にランダムに異ならせている。このようにランダム性を高めているのは、本態様の撮像装置から前記符号化された電気信号を入力した画像生成装置において、前記ランダム性が高いほど元のカラー画像をより正確に再現することが可能となるからである。具体的には、前記画像生成装置において圧縮センシング技術を用いてカラー画像を生成するが、圧縮センシング技術では、データをサンプリングする際によりランダムな状態でサンプリングすることで、復元したデータと元のデータとの差異がより小さくなる。この点に鑑みて、上記のように前記ランダム性を画素単位及び波長単位で相乗的に高めている。

40

【0038】

さらに、前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対

50

応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する。これにより、前記重み付けされた電気信号は、前記各画素間で共通な波長特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号と近似する。このように、前記各画素に対応する前記重み付けした電気信号は、いずれも前記各画素間で共通な波長特性を基準とした値である。このため、光透過率特性が等しい画素間で電気信号の差分を計算し、圧縮率を高める従来技術と同程度の圧縮率を実現できる。これにより、たとえ、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせたフィルターユニットを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

10

【0039】

一方で、本態様の撮像装置から前記符号化された電気信号を入力した画像生成装置において、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を入手していれば、前記符号化された電気信号を元の重み付けされていない電気信号に再現できる。その結果、たとえ、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせたフィルターユニットを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

20

【0040】

（実施の形態）

以下本開示の各実施の形態について、図面を参照しながら説明する。なお、各図面において、同じ構成要素については同じ符号が用いられている。

【0041】

（第1の実施の形態）

（全体構成）

図2は、本開示の第1の実施の形態に係る撮像装置を示す概略ブロック図を示す。図2に示すように、撮像装置1は、結像光学系101、フィルターユニット102、撮像素子103、送信データ圧縮回路104及び送信回路105を備えている。撮像装置1は、被写体111からの光を受光する。「被写体111からの光」とは、被写体111から反射された光、又は、被写体111から発光された光を意味する。

30

【0042】

（結像光学系101）

結像光学系101は、少なくとも、レンズと、レンズ位置調整機構とを有する。図2において、レンズは、被写体111からの光を集光して、被写体111の像を撮像素子103において結像する。結像光学系101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。

40

【0043】

レンズ位置調整機構は、図示しないが、レンズの結像位置を調整するための機構である。レンズ位置調整機構として、例えば、レンズ位置を調整する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）を用いることができる。

【0044】

（フィルターユニット102）

図2に示すように、フィルターユニット102は、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタ、即ち、カラーフィルタ102a、カラーフィルタ102b及びカラーフィルタ102cを含む。なお、フィルターユニット102は、カラーフィルタ102a、カラーフィルタ102b及びカラーフィルタ102c以外の光学要素を含んでいてもよい

50

。フィルターユニット102は、結像光学系101から入射した光が撮像素子103に至るまでの光路上に配置される。典型的には、フィルターユニット102は、撮像素子103の前面に接して配置される。なお、ここで「撮像素子103の前面」とは、撮像素子103の上表面、又は撮像素子103の受光面としても規定されうる。

【0045】

フィルターユニット102は、撮像素子103に入射する光を波長的にも空間的にもランダムに受光するために用いられる。カラーフィルタ102aから102cは、例えば、色材の三原色に対応する3枚のカラーフィルタ、即ち、シアン（C）の波長域に対応するカラーフィルタ、マゼンダ（M）の波長域に対応するカラーフィルタ、及び、イエロー（Y）の波長域に対応するカラーフィルタに対応している。

10

【0046】

また、図2に示すように、カラーフィルタ102aから102cはそれぞれカットフィルムを有している。ここで、カットフィルムとは、1層あたり所定の光吸収率特性を有する材質を任意の厚さに積層して構成されるフィルムをいう。

【0047】

カラーフィルタ102aから102cの各々の厚さは、図2に示すように、均一ではない。ここで、「厚さ」は、各カラーフィルタを透過する光の光軸に平行な方向に沿う、各カラーフィルタのカットフィルムの長さに対応する。このように、カラーフィルタ102aから102cの各々の厚さを画素単位でランダムに異ならせることにより、フィルターユニット102全体の光透過率特性は画素単位及び波長単位でランダムに異なることになる。これは、画像生成装置（図7）においてカラー画像の再現性を高めるためである。

20

【0048】

このように、本実施態様は、まず、第一フェーズとして、フィルターユニット102全体の光透過率特性を画素単位及び波長単位でランダムに異ならせ、被写体111からの光をフィルターユニット102に透過させることにより、被写体111からの光の光強度を画素単位でランダムに変化させている。これにより、画像生成装置（図7）においてカラー画像の再現性を高めることができる。

【0049】

なお、図2では、3枚のカラーフィルタを組み合わせたフィルターユニット102を記載しているが、これは一例である。組み合わせるカラーフィルタの数は3枚に限られない。フィルターユニット102の更なる詳細は後に説明する。

30

【0050】

（撮像素子103）

図2において、撮像素子103は、複数の画素を有し、結像光学系101が集光した光を複数の各画素において受光し、電気信号に変換する。電気信号は画素毎に取得される。以下、撮像素子103において取得された電気信号を「変調画像」とも表記しうる。撮像素子103は、レンズの焦点距離に配置される。

【0051】

（送信データ圧縮回路104）

図2において、送信データ圧縮回路104は、入力部106、メモリ107及び制御部108を備えている。入力部106は、撮像素子103が取得した各画素の電気信号を撮像素子103から受け取る。

40

【0052】

図2において、メモリ107は、各画素に対応するフィルターユニット102全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数（以下、「重み」と表記しうる）を保持している。この「重み」を示す情報を「変調情報」とする。前記変調情報の更なる詳細は後に説明する。

【0053】

図2において、制御部108は、重み付け部109と符号化部110とを備える。重み付け部109は、変調情報を用いて、前記電気信号を重み付けする。符号化部110は、

50

前記重み付けされた電気信号を符号化することでデータ圧縮を行う。

【0054】

このように、本実施態様は、第二フェーズとして、各画素に対応する電気信号の値を、前記重み付けすることによって、前記各画素間で共通な波長特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号と近似する。これにより、たとえ、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせたフィルターユニット102を使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤(R)、緑(G)又は青(B)のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

10

【0055】

尚、上記の重み付け及び符号化の更なる詳細は後(図10)に説明する。

【0056】

(送信回路105)

図2において、送信回路105は、変調情報と、送信データ圧縮回路104が符号化した符号化電気信号とを、撮像装置1の外部の画像生成装置(図7)に送信する。送信は有線および無線のいずれでもよい。なお、本実施の形態では、撮像装置1と画像生成装置(図7)間で、概ねリアルタイムで変調情報及び符号化電気信号が送受信されて処理が行われていることを想定している。しかしながら、変調情報を保持するメモリ107以外に、符号化電気信号を保存する記憶装置(例えば、ハードディスクドライブ)をさらに設けることにより、非リアルタイムで処理を行っていてもよい。

20

【0057】

次に、図2から5を参照しながら、フィルターユニット102をより詳細に説明する。

【0058】

図3は、カラーフィルタ102a、カラーフィルタ102b及びカラーフィルタ102cの光透過率特性を例示的に示す図である。図3に示すように、カラーフィルタ102aから102cは異なる光透過率特性を有する。ここで、異なる光透過率特性とは、波長域毎に光透過率が異なることをいう。

【0059】

また、図3に示すように、カラーフィルタ102aから102cの各々の光透過率特性は、いずれかの波長において、各カラーフィルタの厚さが変化しても変化しない、即ち、光吸収率が0%であるとしている。具体的には、例えば、図3では、カラーフィルタ102aが光透過率100%となる波長域は波長450nm前後であり、カラーフィルタ102bが光透過率100%となる波長域は波長640nm前後であり、カラーフィルタ102cが光透過率100%となる波長域は波長580nm前後である。また、カラーフィルタ102aから102cの各々の光透過率は、100%、即ち、光吸収率が0%となっている。

30

【0060】

なお、いずれかの波長において、光吸収率が「0%」であることは理想的である。しかし、カットフィルムは、その光吸収率が数%程度であっても、本実施形態のカットフィルムとして機能し得る。例えば、現実には光吸収率が0から2%の範囲内であれば、光吸収率は0%であるとして取り扱うことができる。同様に、いずれかの波長において、光透過率が「100%」であることは理想的である。しかし、光透過率が98%以上100%以下の範囲内であれば、光透過率は100%であるとして取り扱うことができる。

40

【0061】

なお、図2において、カラーフィルタ102aから102cは順に積層して構成されている。例えば、カラーフィルタ102cを例に説明すると、カラーフィルタ102bを積層する際の支持のため、カラーフィルタ102cのカットフィルムが存在しない箇所に、カラーフィルタ102cの光透過率または光吸収率に実質的に影響を与えない光学部材を充填してもよい。他のカラーフィルタ102a及びカラーフィルタ102bについても同

50

様である。よって、各カットフィルムの光学特性が、カラーフィルタ102aから102cの各々の光学特性を決定する。

【0062】

次に、フィルターユニット102の光透過率特性と、カラーフィルタ102aから102cの各々の光透過率特性及びカットフィルムの厚さとの関係について説明する。波長 λ に関する、カラーフィルタ102aのカットフィルムの光透過率特性を $C1(\lambda)$ 、カラーフィルタ102bのカットフィルムの光透過率特性を $C2(\lambda)$ 、カラーフィルタ102cのカットフィルムの光透過率特性を $C3(\lambda)$ とする。また、画素位置 (u, v) に対応するカラーフィルタ102aのカットフィルムの厚さを $T1(u, v)$ 、カラーフィルタ102bのカットフィルムの厚さを $T2(u, v)$ 、カラーフィルタ102cのカットフィルムの厚さを $T3(u, v)$ とする。この場合、画素位置 (u, v) に対応するフィルターユニット102全体の光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ は、次式で表現される。なお、記載の簡潔化のため、カットフィルムの厚さを、便宜的に「カラーフィルタの厚さ」と記述する。

【数1】

$$x(\lambda, u, v) = \Phi(C1(\lambda), T1(u, v)) \cdot \Phi(C2(\lambda), T2(u, v)) \cdot \Phi(C3(\lambda), T3(u, v)).$$

【0063】

ただし、 $\Phi(C(\lambda), T(u, v))$ は、カラーフィルタの光透過率特性 $C(\lambda)$ とカラーフィルタの厚さ $T(u, v)$ から決まる、波長 λ の光透過率を示す関数である。また、 $\Phi(C(\lambda), T(u, v))$ は、 $C(\lambda)$ に含まれる光吸収率が0、または、 $T(u, v)$ が0のときに固定値をとる関数である。具体的には、通常、カラーフィルタの厚さが増えると、光透過率は低下するが、カラーフィルタの光吸収率が0の場合はカラーフィルタの厚さにかかわらず光透過率が固定値となる。また、カラーフィルタを設置しない($T(u, v) = 0$)の場合も光透過率が固定値になる。

【0064】

数1から、カラーフィルタ102aから102cの厚さを画素単位でランダムに異ならせることにより、画素単位及び波長単位で光透過率特性がランダムに異なるフィルターユニット102を実現することができる。ここで、「画素単位及び波長単位で光透過率特性がランダムに異なる」とは、撮像素子103の第1の複数の画素に対応する領域及び第1の複数の画素に対応する領域とは異なる第2の複数の画素に対応する領域間における光透過率の相関係数の絶対値が、画素単位及び波長単位のいずれにおいても1未満であることを意味する。前記相関係数の絶対値は、0~0.2程度であってもよい。

【0065】

ここで、カラーフィルタ102aから102cの各々の厚さは、厚さ0%（フィルタを配置しない）から最大厚さ100%まで一様分布となるように設定する。ここで、「厚み0%から100%まで一様分布」とは、厚み0%から100%までの出現数が等しい分布を意味する。図4は、厚み0%から100%まで一様分布となるように各画素の厚みを設定した各カラーフィルタの一例を示す模式図である。図4(a)は、撮像素子103の各画素に対応する位置におけるカラーフィルタ102aの厚みの一例を示す模式図である。図4(b)は、撮像素子103の各画素に対応する位置におけるカラーフィルタ102bの厚みの一例を示す模式図である。図4(c)は、撮像素子103の各画素に対応する位置におけるカラーフィルタ102cの厚みの一例を示す模式図である。図4(a)から図4(c)に示すように、撮像素子103の各画素に対応する位置における各カラーフィルタの厚みは、画素単位でランダムに異なっている。このように、一様分布に従う乱数、即ち、一様乱数に基づいて、撮像素子103の各画素に対応する位置における各カラーフィルタの厚みを設定することで、数1に従い、画素単位及び波長単位で光透過率特性がランダムに異なるフィルターユニット102を実現することができる。

【0066】

ここで、特許文献2の従来技術は、赤（R）、緑（G）又は青（B）の各領域がランダムに配置され、かつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを用いる。そのため、前記単一のカラーフィルタの中でRの波長域の光を透過させる画素間では光透過率特性は等しい。同様に、前記単一のカラーフィルタの中でGの波長域の光を透過させる画素間、及び、前記単一のカラーフィルタの中でBの波長域の光を透過させる画素間でも光透過率特性は等しい。従って、特許文献2の従来技術では、画素単位では光透過率特性はランダムに異なるが、波長単位では光透過率特性がランダムに異なる。

【0067】

一方、本態様の実施形態では、上述のようにフィルターユニット102を構成することで、画素単位だけでなく、波長単位にも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。

【0068】

尚、各カラーフィルタの厚さの設定には、一様分布以外の分布を用いてもよい。例えば、厚さ50%を平均とした正規分布（ガウス分布）で設定してもかまわない。図5は、厚み50%を平均とした正規分布（ガウス分布）となるように各画素の厚みを設定した各カラーフィルタの一例を示す模式図である。図5（a）は、撮像素子103の各画素に対応する位置におけるカラーフィルタ102aの厚みの一例を示す模式図である。図5（b）は、撮像素子103の各画素に対応する位置におけるカラーフィルタ102bの厚みの一例を示す模式図である。図5（c）は、撮像素子103の各画素に対応する位置におけるカラーフィルタ102cの厚みの一例を示す模式図である。図5（a）から図5（c）に示すように、撮像素子103の各画素に対応する位置における各カラーフィルタの厚みは、画素単位でランダムに異なっている。このように、正規分布に従う乱数、即ち、正規乱数に基づいて、撮像素子103の各画素に対応する位置における各カラーフィルタの厚みを設定することで、数1に従い、画素単位及び波長単位で光透過率特性がランダムに異なるフィルターユニット102を実現することができる。これにより、画素単位及び波長単位で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。

【0069】

次に、電気信号の重み付けの際に基準となる各画素間で共通な波長特性に関して、図1Cに示す赤（R）、緑（G）及び青（B）に対応する全波長域において光透過率が等しい光透過率特性以外の例を説明する。

【0070】

図6Aは、前記各画素間で共通な波長特性の一例として比視感度を表した波長特性を示す図である。比視感度とは、人間の目が光の波長ごとの明るさを感じる強さを数値で表したものである。前記波長特性においては、図6Aに示すように、緑（G）に対応する550nm近傍の波長域において光強度が大きい。

【0071】

図6Bは、赤（R）及び青（B）に対応する波長域においては光透過率が0であり、緑（G）に対応する波長域のみ光透過率が0超である、仮想のカラーフィルタの光透過率特性の一例を示す図である。即ち、前記光透過率特性は、緑（G）に対応する波長域のバンドパスフィルタが有する光透過率特性と同一である。前記光透過率特性においては、図6Cに示すように、緑（G）に対応する550nm近傍の波長域において、光透過率が1であり、それ以外の波長域においては、光透過率が0である。

【0072】

図6Cは、レッド特性とブルー特性との差分特性を表した波長特性の一例を示す図である。前記波長特性は、レッド特性とブルー特性との差分、即ち、色差を示すものである。前記波長特性においては、図6Cに示すように、約570nm以下の波長域においては値が0より大きく、一方、約570nm以上の波長域においては値が0より小さい。

【0073】

なお、図1C、及び図6Aから図6Cに示す波長特性は例に過ぎず、各画素間で共通な

10

20

30

40

50

波長特性はこれらに限られない。

【0074】

次に、図7を参照しつつ、本開示の一実施の形態に係る撮像システムに用いられる画像生成装置に関して説明する。

【0075】

図7は、本開示の第1の実施の形態に係る撮像システムに用いられる画像生成装置2を示す概略ブロック図である。図7に示すように、画像生成装置2は、受信回路201、受信データ復号回路202、カラー画像生成回路203および出力インターフェース装置204を備えている。

【0076】

10

(受信回路201)

受信回路201は、撮像装置1から出力された変調情報と符号化電気信号とを受け取る。受信回路201と送信回路105との間の通信は、有線でも無線でも構わない。なお、送信回路105が変調情報と符号化電気信号を有線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201がこれらの情報を無線で受信してもよい。その逆も同様である。

【0077】

(受信データ復号回路202)

図7に示すように、受信データ復号回路202は、メモリ205、制御部206及び出力部207を備えている。メモリ205は、受信回路201から受け取った変調情報を保持する。

20

【0078】

図7に示すように、制御部206は、復号化部208と重み付け除去部209とを備えている。復号化部208は、符号化電気信号を復号化する(第三フェーズ)。重み付け除去部209は、メモリ205から取得した変調情報を利用して、復号化された電気信号から重み付けを除去する(第四フェーズ)。ここで、前記第三フェーズは撮像装置1における前記第二フェーズに対応し、前記第四フェーズは撮像装置1における前記第一フェーズに対応する。即ち、前記第三フェーズにおいて得られた復号化された電気信号は、重み付けされた電気信号、即ち、前記各画素間で共通な波長特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号に近似した値に対応する。そのため、このままでは、カラー画像の再現性を高めることはできない。次に、前記第四フェーズにおいて、重み付け除去部209が前記変調情報を用いて前記復号化された電気信号から重み付けを除去することで、被写体111からの光がフィルタユニット102を透過した後の値を得ることができる。

30

【0079】

その結果、撮像装置1から符号化電気信号を入力した画像生成装置2において、変調情報入手していれば、復号化後の電気信号を元の重み付けされていない電気信号に再現できる。このように、たとえ、画像生成装置2が、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせたフィルタユニット102を使用して前記電気信号を撮像装置1から取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤(R)、緑(G)又は青(B)のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

40

【0080】

尚、上記の復号化及び重み付け除去の更なる詳細は後(図12)に説明する。

【0081】

出力部207は、重み付けが除去された電気信号、即ち、変調画像をカラー画像生成回路203に送信する。

【0082】

(カラー画像生成回路203)

図7において、カラー画像生成回路203は、受信データ復号回路202から取得した

50

変調画像に基づいてカラー画像を生成する。また、カラー画像生成回路 203 は、生成されたカラー画像を出力インターフェース装置 204 に送る。カラー画像生成回路 203 の更なる詳細は後に説明する。

【0083】

(出力インターフェース装置 204)

出力インターフェース装置 204 は、映像出力端子である。出力インターフェース装置 204 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 2 の外部に出力する。

【0084】

以上のように構成された本開示の第 1 実施形態における撮像装置 1 及び画像生成装置 2 を含む撮像システムについて、以下、その動作を説明する。

10

【0085】

図 8 は、本開示の一実施の形態に係る撮像装置 1 及び画像生成装置 2 の間の処理シーケンスを示すシーケンス図である。

【0086】

図 9 は、変調情報および符号化電気信号を伝送するための伝送フォーマットを例示的に示す模式図である。図 9 (a) は、変調情報が記述された伝送フォーマットを例示的に示す模式図である。また、図 9 (b) は、符号化電気信号が記述された伝送フォーマットを例示的に示す模式図である。

【0087】

20

まず、撮像装置 1 の撮像素子 103 は、結像光学系 101 が集光した光を複数の各画素において受光し、電気信号に変換する (S801)。

【0088】

撮像装置 1 の送信データ圧縮回路 104 は、メモリ 107 から取得した変調情報を用いて前記電気信号を重み付けする (S802)。

【0089】

撮像装置 1 の送信データ圧縮回路 104 は、前記重み付けされた電気信号を符号化する (S803)。

【0090】

撮像装置 1 の送信回路 105 は、画像生成装置 2 に接続される 1 回目の通信では、前記変調情報を図 9 (a) で表された伝送フォーマットを用いて画像生成装置 2 に送信し、及び、前記符号化された電気信号を図 9 (b) で表された伝送フォーマットを用いて画像生成装置 2 に送信する (S804)。ここで、撮像装置 1 は、前記変調情報の代わりに、前記変調情報を指定する指定情報を送信してもよい。この場合、画像生成装置 2 が予め前記変調情報を保持していれば、撮像装置 1 は、撮像装置 1 に対応する変調情報を指定できる。

30

【0091】

画像生成装置 2 の受信回路 201 は、送信回路 105 から送信された前記変調情報及び前記符号化電気信号を受信する (S805)。

【0092】

40

画像生成装置 2 のメモリ 205 は、前記変調情報を保持する (S806)。尚、上述のように、送信回路 105 が前記指定情報を送信した場合は、画像生成装置 2 のメモリ 205 は、前記指定情報を保持する (S806)。

【0093】

画像生成装置 2 の復号化部 208 は、前記符号化電気信号を復号化する (S807)。尚、S807 は、S806 と並行して行ってもよいし、S806 より先に行ってもよい。

【0094】

画像生成装置 2 の重み付け除去部 209 は、メモリ 205 から取得した前記変調情報を用いて前記復号化された電気信号から重みを除去する (S808)。

【0095】

50

また、S 8 0 1、S 8 0 2 及び S 8 0 3 と同様に、撮像装置 1 は、結像光学系 1 0 1 が集光した光を電気信号に変換し（S 8 0 9）、前記変調情報を用いて前記電気信号を重み付けし（S 8 1 0）、前記重み付けされた電気信号を符号化する（S 8 1 1）。

【0096】

ここで、撮像装置 1 の送信回路 1 0 5 は、画像生成装置 2 に接続される 2 回目の通信では、前記変調情報を出力せず、前記符号化された電気信号を図 9（b）で表された伝送フォーマットを用いて画像生成装置 2 に送信する（S 8 1 2）。前記変調情報は、撮像装置 1 において固有の固定値である。従って、送信回路 1 0 5 は、画像生成装置 2 に接続される 2 回目以降の通信では、画像生成装置 2 に前記変調情報を毎回送る必要はない。同様に、画像生成装置 2 に接続される 1 回目の通信において送信回路 1 0 5 が前記指定情報を送信した場合は、送信回路 1 0 5 は、画像生成装置 2 に接続される 2 回目以降の通信において、画像生成装置 2 に前記指定情報を毎回送る必要はない。

10

【0097】

次に、画像生成装置 2 は、送信回路 1 0 5 から送信された前記符号化電気信号を受信する（S 8 1 3）。ここでは S 8 0 5 と異なり、画像生成装置 2 は、前記変調情報は受信しない。これは、前記変調情報は、S 8 0 6 において、画像生成装置 2 のメモリ 2 0 5 に保持されているからである。続いて、前記符号化電気信号を復号化し（S 8 1 4）、メモリ 2 0 5 から取得した前記変調情報を用いて前記復号化された電気信号から重みを除去する（S 8 1 5）。

【0098】

20

次に、図 1 0 及び図 1 1 を参照しながら、送信データ圧縮回路 1 0 4 の動作をより詳細に説明する。図 1 0 は、本開示の第 1 の実施の形態に係る撮像装置 1 における電気信号の符号化処理を示すフローチャートである。

【0099】

図 1 0 において、まず、送信データ圧縮回路 1 0 4 の入力部は、撮像素子 1 0 3 において取得された電気信号を取得する（S 1 0 0 1）。

【0100】

送信データ圧縮回路 1 0 4 の重み付け部 1 0 9 は、メモリ 1 0 7 から変調情報を取得する（S 1 0 0 2）。前記変調情報は、上述のように、各画素に対応するフィルタユニット 1 0 2 全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数、即ち、「重み」を表す情報である。より具体的には、前記変調情報は、画素位置（ u ， v ）におけるフィルタユニット 1 0 2 全体の光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ と各画素間で共通な波長特性との積和演算の逆数として計算される値である。前記各画素間で共通な波長特性を $T(\lambda)$ とすると、前記変調情報 $w(u, v)$ は、次式で計算できる。

30

【数 2】

$$w(u, v) = 1 / \left(\int x(\lambda, u, v) \cdot T(\lambda) d\lambda \right).$$

【0101】

ここで、フィルタユニット 1 0 2 全体の光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ を第二群の光透過率特性である赤（R）、緑（G）及び青（B）の線形和で表現することを考える。ここで、「光透過率特性である赤（R）、緑（G）及び青（B）」とは「仮想的に決定した赤色光の光透過率、仮想的に決定した緑色光の光透過率、仮想的に決定した青色光の光透過率」であることを意味してもよい。画素（ u, v ）に対応するフィルタユニット 1 0 2 全体の R の波長域に対応する光透過率特性の寄与度を $T_R(u, v)$ 、画素（ u, v ）に対応するフィルタユニット 1 0 2 全体の G の波長域に対応する光透過率特性の寄与度を $T_G(u, v)$ 、画素（ u, v ）に対応するフィルタユニット 1 0 2 全体の B の波長域に対応する光透過率特性の寄与度を $T_B(u, v)$ とすると、上記の数 2 は次式で表すことができる。

40

【数 3】

$$w(u, v) = 1/(\alpha_R \cdot TR(u, v) + \alpha_G \cdot TG(u, v) + \alpha_B \cdot TB(u, v)).$$

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

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

10

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

【0102】

ただし、 $R(\lambda)$ は赤色光の光透過率特性、 $G(\lambda)$ は緑色光の光透過率特性及び $B(\lambda)$ は青色光の光透過率特性を示している。 $R(\lambda)$ 、 $G(\lambda)$ 、 $B(\lambda)$ 各々はこの装置、方法、システムを開発する開発者が仮想的に決定してもよい。例えば、

・ $R(\lambda)$ = 光透過率が 1 ($610 \text{ nm} \leq \lambda \leq 650 \text{ nm}$)、光透過率が 0 ($\lambda < 610 \text{ nm}$ 、 $\lambda > 650 \text{ nm}$)

・ $G(\lambda)$ = 光透過率が 1 ($500 \text{ nm} \leq \lambda \leq 560 \text{ nm}$)、光透過率が 0 ($\lambda < 500 \text{ nm}$ 、 $\lambda > 560 \text{ nm}$)

・ $B(\lambda)$ = 光透過率が 1 ($450 \text{ nm} \leq \lambda \leq 480 \text{ nm}$)、光透過率が 0 ($\lambda < 450 \text{ nm}$ 、 $\lambda > 480 \text{ nm}$)

であってよい。

【0103】

また、 α_R 、 α_G 及び α_B は、各画素間で共通な波長特性の種類に応じて定まる定数である。例えば、各画素間で共通な波長特性が、赤 (R)、緑 (G) 及び青 (B) に対応する全波長域において光透過率が等しいものである場合、 α_R 、 α_G 及び α_B は、以下の数 4 に示す値となる。

【数 4】

30

$$\alpha_R = 0.3333.$$

$$\alpha_G = 0.3333.$$

$$\alpha_B = 0.3333.$$

【0104】

この場合、前記変調情報 $w(u, v)$ は、数 4 に示す係数を数 3 に示す式に代入して得られた値である。

【0105】

40

また、各画素間で共通な波長特性が、比視感度を示す波長特性である場合、 α_R 、 α_G 及び α_B は、以下の数 5 に示す値となる。

【数 5】

$$\alpha_R = 0.2126.$$

$$\alpha_G = 0.7152.$$

$$\alpha_B = 0.0722.$$

【0106】

50

この場合、前記変調情報 $w(u, v)$ は、数 5 に示す係数を数 3 に示す式に代入して得られた値である。

【0107】

また、各画素間で共通な波長特性が、赤 (R) 及び青 (B) に対応する波長域においては光透過率が 0 であり、緑 (G) に対応する波長域のみ光透過率が 0 超のものである場合、 α_R 、 α_G 及び α_B は、以下の数 6 に示す値となる。

【数 6】

$$\alpha_R = 0$$

$$\alpha_G = 1$$

$$\alpha_B = 0$$

10

【0108】

この場合、前記変調情報 $w(u, v)$ は、数 6 に示す係数を数 3 に示す式に代入して得られた値である。

【0109】

また、各画素間で共通な波長特性が各画素間で共通なレッド特性とブルー特性との差分特性を示すものである場合、 α_R 、 α_G 及び α_B は、以下の数 7 に示す値となる。

【数 7】

20

$$\alpha_R = -1$$

$$\alpha_G = 0$$

$$\alpha_B = 1$$

【0110】

この場合、前記変調情報 $w(u, v)$ は、数 7 に示す係数を数 3 に示す式に代入して得られた値である。

【0111】

30

続いて S1003 に進む。S1003 では、送信データ圧縮回路 104 の重み付け部 109 は、上述のように得られた前記変調情報 $w(u, v)$ を用いて前記電気信号を重み付けする。画素 (u, v) に対応する前記電気信号を $y(u, v)$ とすると、画素 (u, v) に対応する重み付けした前記電気信号 $d(u, v)$ は次式で表現される。

【数 8】

$$d(u, v) = w(u, v) \cdot y(u, v).$$

【0112】

ここで、S1003 は、本実施態様の第二フェーズに対応する。このように、各画素に対応する電気信号の値 $y(u, v)$ を、前記変調情報 $w(u, v)$ を用いて前記重み付けすることによって得られた、重み付けした前記電気信号 $d(u, v)$ は、前記各画素間で共通な波長特性 $T(\lambda)$ を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号と近似する。

40

【0113】

即ち、まず、前記変調情報 $w(u, v)$ を算出することにより、前記各画素に対応するフィルタユニット 102 全体の光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ という前記各画素に個別の特性を、前記各画素間で共通な波長特性 $T(\lambda)$ という前記各画素に共通の特性との関係で相対的に把握することができる。ここで、数 2 の右辺の分母に対応する、画素位置 (u, v) に対応するフィルタユニット 102 全体の光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ と各画素間で共通な波長特性との積和は、前記各画素間で共通な波長特性 $T(\lambda)$ に対して、

50

前記各画素に対応するフィルタユニット102全体の光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ が占める割合を示す。数2に示すように、前記変調情報 $w(u, v)$ は前記割合の逆数である。従って、前記変調情報 $w(u, v)$ は、前記各画素に対応するフィルタユニット102全体の光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ に対して、前記各画素間で共通な波長特性 $T(\lambda)$ が占める割合を示す。

【0114】

このため、次に数8に示すように、前記各画素に対応するフィルタユニット102全体の光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ を基準として取得された前記電気信号 $y(u, v)$ に対して、前記変調情報 $w(u, v)$ を掛けること、即ち、前記重み付けをすることにより、前記各画素に個別の特性 $x(\lambda, u, v)$ を基準として取得された電気信号 $y(u, v)$ を、前記各画素間で共通な波長特性 $T(\lambda)$ という前記各画素に共通の特性を基準とした値 $d(u, v)$ に変換することができる。このように、前記各画素に対応する前記重み付けした電気信号 $d(u, v)$ は、いずれも前記各画素間で共通な波長特性 $T(\lambda)$ を基準とした値である。このため、光透過率特性が等しい画素間で電気信号の差分を計算し、圧縮率を高める従来技術と同程度の圧縮率を実現できる。

【0115】

これにより、たとえ、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせたフィルタユニット102を使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤(R)、緑(G)又は青(B)のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0116】

次に、送信データ圧縮回路104の符号化部110は、ラスタスキャンの順序に従って、各画素に対応する前記重み付けした電気信号を順次符号化する(S1004からS1007)。

【0117】

ここで、図11を用いてラスタスキャンについて説明する。図11は、前記重み付けした電気信号を符号化する処理を説明するために用いられる、ラスタスキャンの順序を示す模式図である。尚、図11において、説明を簡略化するために、撮像素子103の画素数は $N=16$ であるとしている。まず、図11の $v=1$ において、左端の画素 $(u, v) = (1, 1)$ から順次一つずつ右端の画素 $(u, v) = (4, 1)$ に至るまで画素が選択される。次に、同様に $v=2$ においても、左端の画素 $(u, v) = (1, 2)$ から順次一つずつ右端の画素 $(u, v) = (4, 2)$ に至るまで画素が選択される。そして、同様に $v=3$ とその次の $v=4$ においても左端の画素から順次一つずつ右端の画素に至るまで選択される。よって、最後に選択される画素は $(u, v) = (4, 4)$ の画素である。このような順序にて、送信データ圧縮回路104の符号化部110は、各画素に対応する前記重み付けした電気信号を順次符号化する。

【0118】

S1004に戻り、送信データ圧縮回路104の符号化部110は、前記重み付けした電気信号の圧縮方法を選択するために、まず、着目画素に対して近傍画素が存在するか判断する。ここで、「近傍画素」とは、着目画素の左隣の画素を意味する。例えば、図11では、左端の画素である $(u, v) = (1, 1)$ 、 $(1, 2)$ 、 $(1, 3)$ 及び $(1, 4)$ には近傍画素が存在しない。一方、それ以外の画素には近傍画素が存在する。

【0119】

着目画素に対して近傍画素が存在しない場合(S1004において「No」の場合)、即ち、撮像素子103の左端の画素の場合、送信データ圧縮回路104の符号化部110は、着目画素に対応する前記重み付けした電気信号自体を符号化する(S1005)。前記符号化は、エントロピー符号又はハフマン符号によって行えばよい。

【0120】

一方、着目画素に対して近傍画素が存在する場合(S1004において「Yes」の場

10

20

30

40

50

合)、送信データ圧縮回路104の符号化部110は、着目画素に対応する前記重み付けした電気信号と近傍画素に対応する前記重み付けした電気信号との差分(以下、「差分信号」という)を計算する(S1006)。S1006において、前記差分信号 $d(u, v)$ は、例えば、以下のように計算される。

【数9】

$$d(u, v) = w(u, v) \cdot y(u, v) - d(u-1, v)$$

【0121】

符号化部110は、前記差分信号を符号化する(S1007)。前記符号化は、エントロピー符号又はハフマン符号によって行えばよい。以下、前記符号化された差分信号を符号化電気信号とも表記しうる。

【0122】

送信データ圧縮回路104は、前記変調情報と前記符号化電気信号とを送信回路105から画像生成装置2に送信させる(S1008)。

【0123】

以上のように、第1の実施態様の撮像装置1によると、たとえ、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせたフィルタユニット102を使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤(R)、緑(G)又は青(B)のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0124】

次に、図12を参照しながら、画像生成装置2の動作をより詳細に説明する。

【0125】

図12は、本開示の第1の実施の形態に係る撮像システムに用いられる画像生成装置2における電気信号の復号化処理を示すフローチャートである。

【0126】

画像生成装置2の受信回路201は、送信回路105から送信された前記変調情報及び前記符号化電気信号を受信する(S1201)。前記受信は、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。

【0127】

画像生成装置2のメモリ205は、前記変調情報を保持する(S1202)。

【0128】

画像生成装置2の復号化部208は、前記復号化電気信号が前記重み付けした電気信号を符号化したものか、もしくは、前記差分信号を符号化したものかを判断する(S1203)。このことは、着目画素が撮像素子103の左端の画素($u=1$)に対応するものか否かによって判断できる。

【0129】

前記復号化電気信号が前記差分信号を符号化したものではない場合(S1203において「No」の場合)、画像生成装置2の復号化部208は、前記符号化電気信号を復号化する(S1204)。S1204は、本実施態様の第三フェーズに対応する。前記復号化電気信号は、数8に示す重み付けした電気信号 $d(u, v)$ である。従って、前記復号化電気信号 $d(u, v)$ は、重み付けされた電気信号、即ち、前記各画素間で共通な波長特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号に近似した値に対応する。そのため、このままでは、カラー画像の再現性を高めることはできない。

【0130】

そこで、画像生成装置2の重み付け除去部209は、前記復号化電気信号から重みを除去する(S1205)。これは、次式で計算される。S1205は、本実施態様の第四フェーズに対応する。前記第四フェーズにおいて、重み付け除去部209は、S1202に

10

20

30

40

50

においてメモリ 205 に保持された前記変調情報 $w(u, v)$ を用いて前記復号化電気信号 $d(u, v)$ から重み付けを除去する。これにより、被写体 111 からの光がフィルターユニット 102 を透過した後の値を得ることができる。

【数 10】

$$y(u, v) = d(u, v) / w(u, v).$$

【0131】

一方、前記復号化電気信号が前記差分信号を符号化したものである場合（S1203 において「Yes」の場合）、画像生成装置 2 の復号化部 208 は、前記符号化電気信号を復号化する（S1206）。S1206 は、本実施態様の第三フェーズに対応する。前記復号化電気信号は、数 9 に示す差分信号 $d(u, v)$ である。従って、前記復号化電気信号は、即ち、前記各画素間で共通な波長特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号に近似した値の差分に対応する。そのため、このままでは、カラー画像の再現性を高めることはできない。そこで、以下の、画像生成装置 2 の重み付け除去部 209 は、S1207 及び S1208 の処理を行う。

【0132】

画像生成装置 2 の重み付け除去部 209 は、前記復号化された電気信号、即ち、差分信号から、重み付けした電気信号を算出する（S1207）。これは、次式で計算される。

【数 11】

$$w(u, v) \cdot y(u, v) = d(u, v) + d(u-1, v)$$

【0133】

画像生成装置 2 の重み付け除去部 209 は、前記重み付けした電気信号から重みを除去する（S1208）。これは、次式で計算される。S1208 は第四フェーズに対応する。前記第四フェーズにおいて、重み付け除去部 209 は、S1202 においてメモリ 205 に保持された前記変調情報 $w(u, v)$ を用いて前記復号化電気信号 $d(u, v)$ から重み付けを除去する。これにより、被写体 111 からの光がフィルターユニット 102 を透過した後の値を得ることができる。

【数 12】

$$y(u, v) = (d(u, v) + d(u-1, v)) / w(u, v).$$

【0134】

画像生成装置 2 の出力部 207 は、前記重み付けを除去した電気信号、即ち、変調画像を画像生成装置 2 のカラー画像生成回路 203 に出力する（S1209）。

【0135】

以上のように、撮像装置 1 から符号化電気信号を入力した画像生成装置 2 において、変調情報 $w(u, v)$ を入手していれば、復号化後の電気信号を元の重み付けされていない電気信号 $y(u, v)$ に再現できる。このように、たとえ、画像生成装置 2 が、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせたフィルターユニット 102 を使用して前記電気信号を撮像装置 1 から取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0136】

以上の S1209 までの処理で得られた、元の重み付けされていない電気信号 $y(u, v)$ 、即ち、変調画像は、モノクロ画像である。

【0137】

次に、カラー画像生成回路 203 は、モノクロ画像である前記変調画像からカラー画像

を生成する（S1210）。ここで、赤（R）、緑（G）及び青（B）の3つの波長情報からなるカラー画像の情報量は、モノクロ画像の情報量の3倍である。カラー画像生成回路203は、圧縮センシング技術を利用して、少ない情報からカラー画像を生成する。

【0138】

カラー画像の生成処理は、前記変調画像を y 、生成されるカラー画像を x とすると、以下のように定式化できる。

【数13】

$$y = Ax$$

10

【0139】

ここで、行列 A は、各画素に対応するフィルタユニット102全体の波長単位の光透過率特性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、前記変調画像 y と、生成されるカラー画像 x との関係を示している。ここで、生成されるカラー画像 x は特定の複数の波長特性を有する。このことに着目すると、数13は、フィルタユニット102全体の光透過率特性が、前記特定の複数の光透過率特性の線形和で表現されることを示している。また、フィルタユニット102全体は、画素単位でランダムな光透過率特性を持っているため、行列 A の各要素はランダムに異なる。即ち、行列 A は、生成されるカラー画像 x に対するランダム射影となる。ランダム射影は、圧縮センシングにおいて、復元性能の高いサンプリング方法である。カラー画像生成回路203は、圧縮センシング技術を利用しているため、このようなフィルタユニット102を利用することで、カラー画像の再現性を高めることができる。

20

【0140】

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は、各色見本の XYZ 値や $sRGB$ 値が既定されている。

【0141】

ここで、この24色の色見本 j を本実施形態の撮像装置1で撮影した、ある画素 i （ $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ）において受光した光の光強度を $I(j, i)$ （ $j = 1, 2, 3, \dots, 24$ ）とし、各色見本の $sRGB$ 値を $R'(j)$ 、 $G'(j)$ 、 $B'(j)$ とすると、以下の関係式が成り立つ。

30

（数14）

$$c(1, i) \cdot R(j) + c(2, i) \cdot G(j) + c(3, i) \cdot B(j) = I(j, i), \quad j = 1, 2, \dots, 24.$$

【0142】

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（ $i = 1, 2, 3, \dots, N$ 、 $j = 1, 2, 3, \dots, 24$ ）以外の要素は0である。また、 $R(j)$ 、 $G(j)$ 、 $B(j)$ は、 $R'(j)$ 、 $G'(j)$ 、 $B'(j)$ 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。

40

【数 1 5】

$$R(j) = \{(R'(j)/255 + 0.055)/1.055\}^{2.4} \times 255,$$

$$G(j) = \{(G'(j)/255 + 0.055)/1.055\}^{2.4} \times 255,$$

$$B(j) = \{(B'(j)/255 + 0.055)/1.055\}^{2.4} \times 255.$$

10

【0 1 4 3】

数 1 5 は、未知数 3 に対し、方程式の数が 2 4 であるため、最小二乗法により解くことができる。この処理を、すべての画素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。

【0 1 4 4】

説明を簡略化するために、撮像素子 1 0 3 の画素数は $N = 16$ であるとする。図 1 3 は、撮像素子の画素数を $N = 16$ とした場合の変調画像及び生成画像を例示的に示す模式図である。図 1 3 (a) は、撮像素子の画素数を $N = 16$ とした場合の変調画像を例示的に示す模式図である。図 1 3 (b) は、撮像素子の画素数を $N = 16$ とした場合の、生成されたカラー画像の赤 (R) チャンネルである生成 R 画像を例示的に示す模式図である。図 1 3 (c) は、撮像素子の画素数を $N = 16$ とした場合の、生成されたカラー画像の緑 (G) チャンネルである生成 G 画像を例示的に示す模式図である。図 1 3 (d) は、撮像素子の画素数を $N = 16$ とした場合の、生成されたカラー画像の青 (B) チャンネルである生成 B 画像を例示的に示す模式図である。数 1 3 において、 y および x は以下のように表される。

20

【数 1 6】

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

30

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

【0 1 4 5】

数 1 6 から明らかなように、数 1 3 では、未知数である x の要素数が 4 8 に対して、観測数である y の要素数が 1 6 と少ない。このため、数 1 3 は不良設定問題となっている。

【0 1 4 6】

カラー画像生成回路 2 0 3 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後で復元処理を行うことで元の信号を復号化する技術である。圧縮センシング処理は、不良設定問題を解くために、事前知識を利用する。圧縮センシング処理は、自然画像に対する事前知識として、画像上における近傍との輝度変化の絶対値和であるトータル・バリエーション (Total Variation) (例えば、非特許文献 1、非特許文献 2) や、ウェーブレット (Wavelet) 変換や DCT 変換、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)、もしくは、上述の線形変換の変換係数を学習によって取得するディクショナリ・ラーニング (Dictionary Learning) (例えば、非特許文献 4) などを利用することができる。

40

【0 1 4 7】

ここでは、トータル・バリエーションの一種に分類される手法である、デ・コリレイテ

50

ッド・ベクトリアル・トータル・バリエーション (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と色差成分の勾配を分離して計算することにより、偽色の発生を抑制するものである。これは、以下の評価関数を最小化することによって実現する。

【数 17】

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

【0148】

10

数 17 の評価関数は、以下の 3 つの項から成り立っている。

1. Data Fidelity 項 $\|\mathbf{Ax} - \mathbf{y}\|_2^2$: 数 13 を満たすための拘束項
2. Dynamic Range 項 : ($\mathbf{x}$ が $[0, 255]^{3 \times N}$) : 画素値が 0 以上 255 以下であるための拘束項
3. Decorrelated Vectorial Total Variation 項 $J(\mathbf{x})$: カラー画像の輝度成分と色差成分の勾配を分離した Total Variation 項

【0149】

ここで、以下の式が成り立つ。

【数 18】

20

$$J: R^{3N} \rightarrow R_+ : \mathbf{x} \mapsto \|\mathbf{DCx}\|_{1,2}^{(w,2,4)}.$$

ただし、

$$\mathbf{x} = [\mathbf{x}_R^T \quad \mathbf{x}_G^T \quad \mathbf{x}_B^T]^T \in R^{3N},$$

C は直交色変換 : $R^{3N} \rightarrow R^{3N} : \mathbf{x} \mapsto [\mathbf{x}_1 \quad \mathbf{x}_2 \quad \mathbf{x}_3]$,

$$\mathbf{x}_1 = \frac{1}{\sqrt{3}}(\mathbf{x}_R + \mathbf{x}_G + \mathbf{x}_B), \mathbf{x}_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\mathbf{x}_R - \mathbf{x}_B), \mathbf{x}_3 = \frac{1}{\sqrt{6}}(\mathbf{x}_R - 2\mathbf{x}_G + \mathbf{x}_B),$$

30

$\mathbf{D} = \text{diag}(\mathbf{D}_1 \quad \mathbf{D}_1 \quad \mathbf{D}_1) \in R^{6N \times 3N}$ はカラー画像における 1 次勾配演算子、

$\mathbf{D}_1 = [\mathbf{D}_v^T \quad \mathbf{D}_h^T]^T \in R^{2N \times N}$ は各チャネルの 1 次勾配演算子、

$\mathbf{D}_v, \mathbf{D}_h \in R^{N \times N}$ は垂直／水平の 1 次勾配演算子 (Neumann 境界)、

$$\|\cdot\|_{1,2}^{(w,k_1,k_2)} : R^{(k_1+k_2)N} \rightarrow R_+ : \mathbf{x} \mapsto w \|\mathbf{x}_1\|_{1,2}^{(k_1)} + \|\mathbf{x}_2\|_{1,2}^{(k_2)},$$

$$\|\cdot\|_{1,2}^{(k)} : R^{kN} \rightarrow R_+ : \mathbf{x} \mapsto \sum_{i=1}^N \sqrt{\sum_{j=0}^{k-1} x_{i+jN}^2},$$

40

$$x_i \text{ は } \mathbf{x} \text{ の } i \text{ 番目の要素、 } \mathbf{x} = [\mathbf{x}_1^T \quad \mathbf{x}_2^T]^T, \mathbf{x}_1 \in R^{k_1N}, \mathbf{x}_2 \in R^{k_2N},$$

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

R は実数、 R_+ は非負の実数である。

【0150】

以上のようにして、カラー画像生成回路 203 は、前記変調画像からカラー画像を生成する。

【0151】

画像生成装置 2 の出力インターフェース (I/F) 装置 204 は、カラー画像生成回路

50

203が生成したカラー画像を画像生成装置2の外部、例えば、ディスプレイに出力する(S1211)。

【0152】

最後に、本開示の第1の実施の形態における撮像システムによって生成されたカラー画像のサンプルを示す。

【0153】

図14から図16は、本開示の第1の実施の形態における撮像システムに用いられるカラー画像生成回路203が生成した色ごとのカラー画像の一例である。本願発明者は実際にカラー画像を生成し比較したが、図14から図16は各画像の輝度値を利用して図示している。

10

【0154】

図14は、本開示の第1の実施の形態における撮像システムに用いられるカラー画像生成回路203が生成したRチャンネル画像の一例である。図15は、本開示の第1の実施の形態における撮像システムに用いられるカラー画像生成回路203が生成したGチャンネル画像の一例である。図16は、本開示の第1の実施の形態における撮像システムに用いられるカラー画像生成回路203が生成したBチャンネル画像の一例である。図14から図16において、それぞれ、(a)は3板式カメラで撮影した正解カラー画像、(b)は一般的なデモザイキング手法である特許文献1に記載のAdaptive Color Plane Interpolation法(ACPI法)によるデモザイキング画像、(c)は非特許文献5に記載のMinimized-Laplacian Residual Interpolation法(MLRI法)によるデモザイキング画像及び(d)は第1の実施の形態における撮像システムに用いられるカラー画像生成回路203が生成した復元画像を示している。

20

【0155】

以下では例として図14を参照して説明するが、図15および図16にも同様の説明が適用され得る。

【0156】

図14(a)の画像の中央部には、格子状のパターンを有する窓が示されている。図14(b)及び(c)の各画像は、図20に示す従来のベイヤー配列のカラーフィルタを用いて撮影された画像である。本発明者は検証を行い、図14(b)に示すACPIによるデモザイキング画像では、エッジ近傍に偽色が存在することを確認した。具体的には、本発明者は、窓のエッジ部分に実際に偽色の存在を確認した。本発明者は、図14(d)に示す本実施形態による復元画像にはこのような偽色が存在していないことも確認した。

30

【0157】

また、図14(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に対応する高周波成分が復元できていない。一方、図14(d)に示す本実施形態による復元画像では、従来技術に比べ、偽色もなく、高周波成分まで復元できていることがわかる。

【0158】

図17は、全ての色を含むカラー画像の一例である。図17は、当該カラー画像の輝度値を利用して示されている。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と言える。

40

【0159】

(第2の実施の形態)

次に、図18を参照して第2の実施の形態について説明する。図18は、本開示の第2の実施の形態における撮像装置1を示す概略ブロック図である。第2の実施の形態の撮像装置1において、第1の実施の形態と異なり、フィルターユニット102は、0mmの厚みの領域を有する複数のカラーフィルタ(102aから102c)及び、空間光変調器112を備えている。ここで、空間光変調器112は、空間的・時間的に光透過率特性を変調させる光学素子のことである。空間光変調器112の光透過率特性は、撮像素子103

50

の画素単位にランダムに異ならせることが可能である。尚、図 18 において図 2 と同一の構成要素については、同一の符号を付し、説明を省略する。

【0160】

図 18 に示すように、撮像素子 103 と複数のカラーフィルタ（102a から 102c）との間に、複数のカラーフィルタ（102a から 102c）を透過した光の明度を変調させる空間光変調器 112 を設けている。また、カラーフィルタ 102a から 102c の各々には、撮像素子 103 の画素単位でカラーフィルタの厚みが 0mm である箇所が存在する。また、カラーフィルタ 102a から 102c の各々の厚みは、前記カラーフィルタの厚みが 0mm である箇所を除くと、一定である。

【0161】

ここで、各画素に対応する位置における各カラーフィルタの厚みが 0mm であるかどうかによって、決まった値をとる関数 M を次のように定義する。画素（ u ， v ）に対応する位置において、カラーフィルタ 102a の厚みが 0mm でない場合は $M1(u, v) = 1$ 、カラーフィルタ 102a の厚みが 0mm である場合は $M1(u, v) = 0$ とする。同様に、画素（ u ， v ）に対応する位置において、カラーフィルタ 102b の厚みが 0mm でない場合は $M2(u, v) = 1$ 、カラーフィルタ 2 の厚みが 0mm である場合は $M2(u, v) = 0$ とする。画素（ u ， v ）に対応する位置において、カラーフィルタ 102c の厚みが 0mm でない場合は $M3(u, v) = 1$ 、カラーフィルタ 3 の厚みが 0mm である場合は $M3(u, v) = 0$ とする。さらに、画素（ u ， v ）に対応する位置における空間光変調器 112 の光透過率特性を $S(u, v)$ とする。この場合、画素位置（ u ， v ）に対応する位置における複数のカラーフィルタ（102a から 102c）及び空間光変調器 112 の全体の光透過率特性、即ち、フィルターユニット 102 全体の光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ は、次式で表現される。

【数 19】

$$x(\lambda, u, v) = P(C1(\lambda), M1(u, v)) \cdot P(C2(\lambda), M2(u, v)) \cdot P(C3(\lambda), M3(u, v)) \cdot S(u, v).$$

【0162】

ただし、 P は、各カラーフィルタの厚みが 0mm であるかどうかによって光透過率特性を決定する関数であり、次式で表現される。

【数 20】

$$P(C, M) = \begin{cases} 1; & M = 0, \\ C; & M \neq 0. \end{cases}$$

【0163】

数 19 及び数 20 に示すように、複数のカラーフィルタ（102a から 102c）の波長単位の光透過率特性 $C1(\lambda)$ 、 $C2(\lambda)$ 及び $C3(\lambda)$ を画素位置に依存しないようにして複数のカラーフィルタ（102a から 102c）の構造を簡素化したとしても、空間光変調器 112 を介在させて、フィルターユニット 102 全体の光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ を、撮像素子 103 の画素単位にランダムに異ならせることができる。そのため、複数のカラーフィルタ（102a から 102c）の構造を簡素化することにより、前記各画素に対応する光透過率特性のパターン数が制限される場合でも、空間光変調器 112 を用いることで、前記各画素に対応する光透過率特性のパターンを増加させることができる。例えば、上記のように、3つのカラーフィルタを利用すると、複数のカラーフィルタ（102a から 102c）の全体の光透過率特性を 8 種類作り出すことができる。これに、空間光変調器 112 を加えることで、上述の 8 種類をさらに増大させることができる。その結果、複数のカラーフィルタ（102a から 102c）の構造を簡素化した場合でも、復元画像の再現品質を向上させることができる。

【0164】

(第3の実施の形態)

次に、図19を参照して第3の実施の形態について説明する。図19は、本開示の第3の実施の形態における撮像装置1を示す概略ブロック図である。第3の実施の形態の撮像装置1において、第1の実施の形態と異なり、フィルターユニット102は、複数のカラーフィルタ(102aから102c)以外にも空間光変調器112を備えている。尚、図19において図2および図18と同一の構成要素については、同一の符号を付し、説明を省略する。

【0165】

図19に示すように、撮像素子103と複数のカラーフィルタ(102aから102c)との間に、複数のカラーフィルタ(102aから102c)を透過した光の明度を変調させる空間光変調器112を設けている。この場合、画素位置(u, v)に対応する位置における光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ は、次式で表現される。

【数21】

$$x(\lambda, u, v) = \Phi(C1(\lambda), T1(u, v)) \cdot \Phi(C2(\lambda), T2(u, v)) \cdot \Phi(C3(\lambda), T3(u, v)) \cdot S(u, v)$$

【0166】

数21において、複数のカラーフィルタ(102aから102c)の全体の光透過率特性、即ち、 $\Phi(C1(\lambda), T1(u, v)) \cdot \Phi(C2(\lambda), T2(u, v)) \cdot \Phi(C3(\lambda), T3(u, v))$ は、画素単位にランダムに異なる。さらに、空間光変調器112の光透過率特性 $S(u, v)$ は画素単位にランダムに異なる。この結果、複数のカラーフィルタ(102aから102c)及び空間光変調器112の全体の光透過率特性、即ち、フィルターユニット102全体の光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ を、相乗的にランダムな状態で画素単位に相互に異ならせることができる。加えて、複数のカラーフィルタ(102aから102c)の波長単位の光透過率特性 $\Phi(C1(\lambda), T1(u, v))$ 、 $\Phi(C2(\lambda), T2(u, v))$ 及び $\Phi(C3(\lambda), T3(u, v))$ は、画素単位にランダムに異なる。このように、画素単位及び波長単位で相乗的にランダムに異ならせたことにより、画像生成装置2において圧縮センシング技術を用いてカラー画像を生成する際に元のカラー画像をより正確に再現できる。

【0167】

さらに、複数の画像を撮像する場合、撮像フレーム毎に空間光変調器112の光透過率特性 $S(u, v)$ を撮像素子103の画素単位で変化させることによって、フィルターユニット102全体の光透過率特性 $x(\lambda, u, v)$ を撮像フレーム単位でもランダムに異ならせることができる。これにより、ランダム性がさらに高まる結果、前記画像生成装置において圧縮センシング技術を用いてカラー画像を生成する際に元のカラー画像をより一層正確に再現できる。

【0168】

以上、一つまたは複数の態様に係る撮像装置システムについて、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。本開示の主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や、異なる実施の形態における構成要素を組み合わせて構築される形態も、一つまたは複数の態様の範囲内に含まれてもよい。

【0169】

(本開示の実施の形態の概要)

本開示の一態様の撮像装置は、

被写体からの光を集光する結像光学系と、

複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる第一群の光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを含むフィルターユニットと、

10

20

30

40

50

前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備え、

前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位でランダムに異なり、

前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する、ものである。

【0170】

本開示の一態様によると、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを含むフィルターユニットを設ける。従来のバイヤー配列などの画素毎に相互に異なる単一のカラーフィルタを使用した場合は、カラー画像を再現する際に取得していない色の情報を別の色情報からデータ補間するため、これに起因して偽色が発生する。一方で、本態様では、被写体からすべての色情報を含んだ光を受光するので、解像度の低下を防止しつつ偽色の発生を防止できる。

【0171】

また、前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位でランダムに異なる。これは、前記フィルターユニットに含まれている複数のカラーフィルタの波長単位の光透過率特性を、前記撮像素子の前記複数の画素の各々に対応する位置においてランダムに異ならせているからである。この結果、前記複数のカラーフィルタを含む前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、画素単位だけでなく波長単位でもランダムに異なることとなる。これにより、前記被写体からの光の光透過率を、画素単位及び波長単位で相乗的にランダムに異ならせている。このようにランダム性を高めているのは、本態様の撮像装置から前記符号化された電気信号を入力した画像生成装置において、前記ランダム性が高いほど元のカラー画像をより正確に再現することが可能となるからである。具体的には、前記画像生成装置において圧縮センシング技術を用いてカラー画像を生成するが、圧縮センシング技術では、データをサンプリングする際によりランダムな状態でサンプリングすることで、復元したデータと元のデータとの差異がより小さくなる。この点に鑑みて、上記のように前記ランダム性を画素単位及び波長単位で相乗的に高めている。

【0172】

さらに、前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する。これにより、前記重み付けされた電気信号は、前記各画素間で共通な波長特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号と近似する。このように、前記各画素に対応する前記重み付けした電気信号は、いずれも前記各画素間で共通な波長特性を基準とした値である。このため、光透過率特性が等しい画素間で電気信号の差分を計算し、圧縮率を高める従来技術と同程度の圧縮率を実現できる。これにより、たとえ、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせたフィルターユニットを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0173】

一方で、本態様の撮像装置から前記符号化された電気信号を入力した画像生成装置において、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を入手していれば、前記符号化された電気信号を元の重み付けされていない電気信号に再現できる。その結果、たとえ、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせたフィルターユニットを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用す

る従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0174】

また、上記態様において、例えば、前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、前記第一群とは異なる第二群の異なる光透過率特性の線形和で表現されるものであってもよい。

【0175】

上記態様によると、前記フィルターユニットとして、前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、前記第一群とは異なる第二群の異なる光透過率特性の線形和で表現されるものを用いることができる。ここで、第二群の異なる光透過率特性は、再現するカラー画像それぞれの光透過率特性である。これにより、たとえ、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位で光透過率特性をランダムに異ならせたフィルターユニットを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0176】

本開示の別の態様の撮像装置は、
被写体からの光を集光する結像光学系と、
複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタと、
前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備え、
前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位でランダムに異なり、

前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する、ものである。

【0177】

本開示の別の態様によると、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを設ける。従来のベイヤー配列などの画素毎に相互に異なる単一のカラーフィルタを使用した場合は、カラー画像を再現する際に取得していない色の情報を別の色情報からデータ補間するため、これに起因して偽色が発生する。一方で、本態様では、被写体からすべての色情報を含んだ光を受光するので、解像度の低下を防止しつつ偽色の発生を防止できる。

【0178】

また、前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位でランダムに異なる。これは、前記複数のカラーフィルタの波長単位の光透過率特性を前記撮像素子の前記複数の画素の各々に対応する位置においてランダムに異ならせているからである。この結果、前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性は、画素単位だけでなく波長単位でもランダムに異なることとなる。これにより、前記被写体からの光の光透過率特性を、画素単位及び波長単位で相乗的にランダムに異ならせている。このようにランダム性を高めているのは、本態様の撮像装置から前記符号化された電気信号を入力した画像生成装置において、前記ランダム性が高いほど元のカラー画像をより正確に再現することが可能となるからである。具体的には、前記画像生成装置において圧縮センシング技術を用いてカラー画像を生成するが、圧縮センシング技術では、データをサンプリングすることによりランダムな状態でサンプリングすることで、復元したデータと元のデータとの差異がより小さくなる。この点に鑑みて、上記のように前記ランダム性を画素単位及び波長単位で相乗的に高めている。

【0179】

さらに、前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に

対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する。これにより、前記重み付けされた電気信号は、前記各画素間で共通な波長特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号と近似する。このように、前記各画素に対応する前記重み付けした電気信号は、いずれも前記各画素間で共通な波長特性を基準とした値である。このため、光透過率特性が等しい画素間で電気信号の差分を計算し、圧縮率を高める従来技術と同程度の圧縮率を実現できる。これにより、たとえ、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位で光透過率特性をランダムに異ならせた複数のカラーフィルタを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

10

【0180】

一方で、本態様の撮像装置から前記符号化された電気信号を入力した画像生成装置において、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を入手していれば、前記符号化された電気信号を元の重み付けされていない電気信号に再現できる。その結果、たとえ、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位で光透過率特性をランダムに異ならせた複数のカラーフィルタを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

20

【0181】

また、上記態様において、例えば、前記複数のカラーフィルタの波長単位の光透過率特性は、前記撮像素子の前記複数の画素の各々に対応する位置においてランダムに異なってもよい。

【0182】

上記態様によると、前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位でランダムに異なる。また、前記複数のカラーフィルタの波長単位の光透過率特性は、前記撮像素子の前記複数の画素の各々に対応する位置においてランダムに異なる。これにより、前記被写体からの光の光透過率特性を、画素単位及び波長単位で相乗的にランダムに異ならせている。このため、本態様の撮像装置から前記符号化された電気信号を入力した画像生成装置において、圧縮センシングを用いて元のカラー画像を再現する際に、元のカラー画像をより正確に再現することが可能となる。

30

【0183】

また、上記態様において、例えば、前記各画素間で共通な波長特性は、赤（R）、緑（G）及び青（B）に対応する全波長域において光透過率が等しいものであってもよい。

【0184】

上記態様によると、前記波長特性は、赤（R）、緑（G）及び青（B）の各成分の光透過率が均等な光透過率特性である。前記各画素間で共通な波長特性を基準とした前記重み付けにより、前記電気信号は、赤（R）、緑（G）及び青（B）に対応する全波長域において光透過率が等しい光透過率特性を基準とした値に変換される。即ち、前記重み付けされた電気信号は、赤（R）、緑（G）及び青（B）に対応する全波長域において光透過率が等しい光透過率特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号と近似する。これにより、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

40

【0185】

また、上記態様において、例えば、前記各画素間で共通な波長特性は、比視感度を示すものであってもよい。

【0186】

50

ここで、比視感度とは、人間の目が光の波長ごとの明るさを感じる強さを数値で表したものである。

【0187】

上記態様によると、前記各画素間で共通な波長特性を基準とした前記重み付けにより、前記電気信号は、比視感度を基準とした値に変換される。即ち、前記重み付けされた電気信号は、比視感度を示す波長特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号と近似する。これにより、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0188】

また、上記態様において、例えば、前記各画素間で共通な波長特性は、比視感度に近似したものであってもよい。

【0189】

上記態様によると、前記比視感度を示す波長特性の代わりに前記比視感度に近似した波長特性を、前記各画素間で共通な波長特性として用いることができる。これにより、前記比視感度を示す波長特性に厳密に拘る必要がなくなり、前記各画素間で共通な波長特性の選択肢を増やすことができる。

【0190】

また、上記態様において、例えば、前記各画素間で共通な波長特性は、赤（R）及び青（B）に対応する波長域においては光透過率が0であり、緑（G）に対応する波長域のみ光透過率が0超のものであってもよい。

【0191】

ここで、人間の目には、赤（R）、緑（G）及び緑（G）の内、緑（G）に対する感度が最も高い。

【0192】

上記態様によると、赤（R）及び青（B）に対応する波長域においては光透過率が0であり、緑（G）に対応する波長域においては光透過率が0超である光透過率特性を前記各画素間で共通な波長特性として用いる。その結果、前記各画素間で共通な波長特性を基準とした前記重み付けにより、前記電気信号は、緑（G）の波長域を基準とした値に変換される。即ち、前記重み付けされた電気信号は、赤（R）及び青（B）に対応する波長域においては光透過率が0であり、緑（G）に対応する波長域のみ光透過率が0超である光透過率特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号と近似する。これにより、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0193】

また、上記態様において、例えば、前記各画素間で共通な波長特性は、各画素間で共通なレッド特性とブルー特性との差分特性を示すものであってもよい。

【0194】

上記態様によると、前記波長特性を基準とした前記重み付けにより、前記電気信号は、レッド特性とブルー特性との差分特性、即ち、色差を基準とした値に変換される。即ち、前記重み付けされた電気信号は、色差を示す波長特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号と近似する。これにより、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0195】

また、上記態様において、例えば、前記各画素の符号化された電気信号を、前記各画素の符号化された電気信号を復号化する画像生成装置に出力する送信回路を備えてもよい。

【0196】

上記態様によると、前記撮像装置は、前記送信回路を介して前記画像生成装置に、前記各画素の符号化された電気信号を出力できる。

【0197】

また、上記態様において、例えば、前記送信回路は、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を示す変調情報を、前記画像生成装置に出力するようにしてもよい。

【0198】

上記態様によると、前記画像生成装置は、本態様の撮像装置から前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を示す変調情報を入手できる。そのため、前記画像生成装置は、前記符号化された各画素の電気信号になされた重み付けを再現できる。

10

【0199】

また、上記態様において、例えば、前記送信回路は、前記画像生成装置に接続される1回目の通信では、前記変調情報と前記1回目の通信に対応する各画素の符号化された電気信号とを出力し、2回目以降の通信では、前記変調情報を出力することなく前記2回目以降の各通信に対応する各画素の符号化された電気信号を出力するようにしてもよい。

【0200】

上記態様によると、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数は、前記撮像装置において固有の固定値である。従って、前記撮像装置は前記画像生成装置に前記変調情報を毎回送る必要はない。

20

【0201】

そのため、前記撮像装置は前記画像生成装置に接続される1回目の通信において前記画像生成装置に前記変調情報を出力すれば、その後、前記画像生成装置は前記変調情報を保持する。

【0202】

これにより、前記画像生成装置は、前記符号化された各画素の電気信号になされた重み付けを、前記保持している前記変調情報を用いて再現できる。

【0203】

また、上記態様において、例えば、前記画像生成装置において、前記符号化された電気信号は復号化され、前記変調情報を用いて前記復号化された電気信号から前記重み付けは除去されるようにしてもよい。

30

【0204】

上記態様によると、前記画像生成装置は、前記符号化された各画素の電気信号の重み付けを再現できる。そのため、前記変調情報を用いて前記復号化された電気信号から前記重み付けを除去することで、元の重み付けされていない電気信号に再現できる。その結果、たとえ、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせた複数のカラーフィルタを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

40

【0205】

また、上記態様において、例えば、前記送信回路は、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を指定する指定情報を、前記画像生成装置に出力するようにしてもよい。

【0206】

上記態様によると、前記画像生成装置は、本態様の撮像装置から前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を指定する指定情報を入手できる。そのため、前記画像生成装置は、前記符号化された各画素の電気信号の重み付けを再現できる。

50

【0207】

ここで、前記指定情報は、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を示す変調情報そのものではない。前記画像生成装置において、複数種の撮像装置に適用できる場合、予め、前記複数種の撮像装置の各々に対応する変調情報を、保持しておくこともできる。

【0208】

この場合、前記撮像装置は、前記画像生成装置に前記変調情報そのものを出力する必要はなく、前記画像生成装置において保持されている、前記撮像装置に対応する変調情報を指定すればよい。

【0209】

また、上記態様において、例えば、前記送信回路は、前記画像生成装置に接続される1回目の通信では、前記指定情報と前記1回目の通信に対応する各画素の符号化された電気信号とを出力し、2回目以降の通信では、前記指定情報を出力することなく前記2回目以降の各通信に対応する各画素の符号化された電気信号を出力するようにしてもよい。

【0210】

上記態様によると、前記各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数は、前記撮像装置において固有の固定値である。従って、前記撮像装置は前記画像生成装置に前記変調情報を指定する前記指定情報を毎回送る必要はない。

【0211】

そのため、前記撮像装置は前記画像生成装置に接続される1回目の通信において前記画像生成装置に前記指定情報を出力すれば、その後、前記画像生成装置は前記指定情報を保持する。前記指定情報に基づいて、前記画像生成装置は、保持している前記変調情報を指定できる。これにより、前記画像生成装置は、前記符号化された各画素の電気信号になされた重み付けを、前記保持している前記変調情報を用いて再現できる。

【0212】

また、上記態様において、例えば、
前記画像生成装置において、
複数種の撮像装置の各々に含まれる撮像素子の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性の、前記各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を示す変調情報が保持され、
前記符号化された電気信号は復号化され、
前記指定情報に基づき、前記符号化された電気信号を出力した前記撮像装置に対応する変調情報が、前記保持された変調情報の中から選択され、
前記選択された変調情報を用いて前記復号化された電気信号から前記重み付けは除去されるようにしてもよい。

【0213】

上記態様によると、前記画像生成装置は、前記符号化された各画素の電気信号の重み付けを再現できる。そのため、前記変調情報を用いて前記復号化された電気信号から前記重み付けを除去することで、元の重み付けされていない電気信号に再現できる。その結果、たとえば、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせた複数のカラーフィルタを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0214】

前記複数のカラーフィルタは、シアン（C）の波長域に対応する第1カラーフィルタ、マゼンダ（M）の波長域に対応する第2カラーフィルタ、及び、イエロー（Y）の波長域に対応する第3カラーフィルタを含んでいてもよい。

【0215】

上記態様によると、前記被写体からの光を、前記第1カラーフィルタ、第2カラーフィルタ、及び、第3カラーフィルタを介して受光する。全ての画素の前記電気信号は、色材の3原色を用いて前記被写体の原色を反映させたものであり、すべての色情報を含んでいる。そのため、解像度の低下を防止しつつ偽色の発生を防止できる。

【0216】

本開示の別の態様の撮像装置は、
被写体からの光を集光する結像光学系と、
複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタと、

10

前記撮像素子と前記複数のカラーフィルタとの間に配置され前記複数のカラーフィルタを透過した光の光透過率特性を変調させる空間光変調器と、

前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備え、

前記空間光変調器の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、

前記複数のカラーフィルタ及び空間光変調器の全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、

前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタ及び空間光変調器の全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する、ものである。

20

【0217】

本開示の別の態様によると、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを設ける。従来のベイヤー配列などの画素毎に相互に異なる単一のカラーフィルタを使用した場合は、カラー画像を再現する際に取得していない色の情報を別の色情報からデータ補間するため、これに起因して偽色が発生する。一方で本態様では、被写体からすべての色情報を含んだ光を受光するので、解像度の低下を防止しつつ偽色の発生を防止できる。

【0218】

また、前記撮像素子と前記複数のカラーフィルタとの間に、前記複数のカラーフィルタを透過した光の明度を変調させる空間光変調器を設けている。これにより、前記複数のカラーフィルタの波長単位の光透過率特性をほぼ同じにして前記複数のカラーフィルタの構造を簡素化したとしても、前記空間光変調器を介在させて、前記複数のカラーフィルタ及び空間光変調器の全体の光透過率特性を、前記撮像素子の画素単位にランダムに異ならせることができる。そのため、前記複数のカラーフィルタの構造を簡素化することにより、前記各画素に対応する光透過率特性のパターン数が制限される場合でも、前記空間光変調器を用いることで、前記各画素に対応する光透過率特性のパターンを増加させることができる。その結果、前記複数のカラーフィルタの構造を簡素化した場合でも、復元画像の再現品質を向上させることができる。

30

【0219】

さらに、上記態様によると、前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタ及び空間光変調器の全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する。これにより、前記重み付けされた電気信号は、前記各画素間で共通な波長特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号と近似する。このように、前記各画素に対応する前記重み付けした電気信号は、いずれも前記各画素間で共通な波長特性を基準とした値である。このため、光透過率特性が等しい画素間で電気信号の差分を計算し、圧縮率を高める従来技術と同程度の圧縮率を実現できる。これにより、たとえば、カラー画像の再現性を高めるために、前記複数のカラーフィルタ及び空間光変調器の全体の光透過率特性を前記撮像素子の画素単位にランダムに異ならせて、前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤(R)、緑(G)又は青(B)のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一の

40

50

カラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0220】

また、上記態様において、例えば、前記複数のカラーフィルタの各々は、厚みが0mmの領域を含んでいてもよい。

【0221】

上記態様によると、前記複数のカラーフィルタの各々に、厚みが0mmの領域を含めることで、前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性を画素単位で異ならせることができる。

【0222】

この場合、例えば、3つのカラーフィルタを利用すると、前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性を8種類作り出すことができる。これに、前記空間光変調器を加えることで、上述の8種類をさらに増大させることができる。

【0223】

これにより、前記複数のカラーフィルタの構造を簡素化した場合でも、復元画像の再現品質を向上させることができる。

【0224】

本開示の別の一態様の撮像装置は、
被写体からの光を集光する結像光学系と、
複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタと、

前記撮像素子と前記複数のカラーフィルタとの間に配置され前記複数のカラーフィルタを透過した光の光透過率特性を変調させる空間光変調器と、

前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備え、

前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、

前記複数のカラーフィルタの波長単位の光透過率特性は、前記撮像素子の前記複数の画素の各々に対応する位置においてランダムに異なり、

前記空間光変調器の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、

前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタ及び空間光変調器の全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する、ものである。

【0225】

本開示の一態様によると、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを設ける。従来のベイヤー配列などの画素毎に相互に異なる単一のカラーフィルタを使用した場合は、カラー画像を再現する際に取得していない色の情報を別の色情報からデータ補間するため、これに起因して偽色が発生する。一方で本態様では、被写体からすべての色情報を含んだ光を受光するので、解像度の低下を防止しつつ偽色の発生を防止できる。

【0226】

また、前記複数のカラーフィルタの全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なる。さらに、前記撮像素子と前記複数のカラーフィルタとの間に、前記複数のカラーフィルタを透過した光の明度を変調させる空間光変調器を設けており、前記空間光変調器の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なる。これにより、前記複数のカラーフィルタおよび前記空間光変調器の全体の光透過率特性を、相乗的にランダムな状態で前記撮像素子の画素単位に相互に異ならせることができる。加えて、前記複数のカラーフィルタの波長単位の光透過率特性は、前記撮像素子の前記複数の画素の各々に対応する位置においてランダムに異なる。このように、画素単位及び波長単位で相乗的にランダムに異ならせたことにより、前記画像生成装置において圧縮センシング技術

10

20

30

40

50

を用いてカラー画像を生成する際に元のカラー画像をより正確に再現できる。

【0227】

さらに、複数の画像を撮像する場合、撮像フレーム毎に前記空間光変調器の光透過率特性を前記撮像素子の画素単位で変化させることによって、前記複数のカラーフィルタおよび前記空間光変調器の全体の光透過率特性を撮像フレーム単位でもランダムに異ならせることができる。これにより、ランダム性がさらに高まる結果、前記画像生成装置において圧縮センシング技術を用いてカラー画像を生成する際に元のカラー画像をより一層正確に再現できる。

【0228】

また、上記態様によると、前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記複数のカラーフィルタ及び空間光変調器の全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する。これにより、前記重み付けされた電気信号は、前記各画素間で共通な波長特性を有するカラーフィルタを使用して得られる電気信号と近似する。このように、前記各画素に対応する前記重み付けした電気信号は、いずれも前記各画素間で共通な波長特性を基準とした値である。このため、波長特性が等しい画素間で電気信号の差分を計算し、圧縮率を高める従来技術と同程度の圧縮率を実現できる。これにより、たとえば、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせた複数のカラーフィルタを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0229】

本開示の別の態様の撮像システムは、
撮像装置と画像生成装置とを含み、
前記撮像装置は、
被写体からの光を集光する結像光学系と、
複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを含むフィルターユニットと、
前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、
前記画像生成装置と接続された送信回路と、を備え、
前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、

前記送信データ圧縮回路は、前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて、前記各画素の電気信号を重み付けして符号化し、

前記送信回路は、前記各画素の符号化された電気信号を前記画像生成装置に出力し、

前記画像生成装置は、

前記各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を示す変調情報を記憶するメモリと、

前記各画素の符号化された電気信号を受信する受信回路と、

前記各画素の符号化された電気信号を復号化し、前記各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて前記復号化された電気信号から前記重み付けを除去する受信データ復号回路と、を備えたものである。

【0230】

本開示の別の態様によると、前記撮像システムは、本態様の撮像装置から前記符号化された電気信号を入力した画像生成装置において、前記各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を入手してい

れば、前記符号化された電気信号を元の重み付けされていない電気信号に再現できる。その結果、たとえば、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせたフィルターユニットを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0231】

本開示の別の一態様の撮像方法は、
被写体からの光を集光する結像光学系と、
複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを含むフィルターユニットと、
前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備えた撮像装置を用いた撮像方法であって、

前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、

前記送信データ圧縮回路において、

前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を保持し、

前記撮像素子から前記各画素の電気信号を入力し、

前記各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて前記各画素の電気信号を重み付けして符号化する、ものである。

【0232】

本開示の一態様によると、前記撮像方法では、たとえば、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせたフィルターユニットを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【0233】

本開示の別の一態様のプログラムは、

被写体からの光を集光する結像光学系と、

複数の画素を有し、前記集光された光を受光して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、異なる光透過率特性を有する複数のカラーフィルタを含むフィルターユニットと、

前記電気信号を符号化する送信データ圧縮回路と、を備えた撮像装置において実行されるプログラムであって、

前記フィルターユニット全体の光透過率特性は、前記撮像素子の画素単位にランダムに異なり、

前記撮像装置のコンピュータに対して、

前記撮像素子の前記複数の画素の中の各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を保持させる処理と、

前記撮像素子から前記各画素の電気信号を入力させる処理と、

前記各画素に対応する前記フィルターユニット全体の光透過率特性の、各画素間で共通な波長特性に対する割合の逆数を用いて前記各画素の電気信号を重み付けして符号化させる処理と、を実行させる、ものである。

【0234】

本開示の一態様によると、前記プログラムを用いることで、たとえば、カラー画像の再現性を高めるために、画素単位及び波長単位の光透過率特性をランダムに異ならせたフィル

ターユニットを使用して前記電気信号を取得した場合であっても、解像度の低下及び偽色の発生を防止しつつ、一つの画素に対して赤（R）、緑（G）又は青（B）のいずれか一つの波長域の光を透過させる単一のカラーフィルタを使用する従来技術と同程度にまで伝送圧縮効率を向上させることができる。

【産業上の利用可能性】

【0235】

本開示の例示的な実施形態にかかる撮像システムによれば、画質を向上させながら、伝送データを削減するために有用である。

【符号の説明】

【0236】

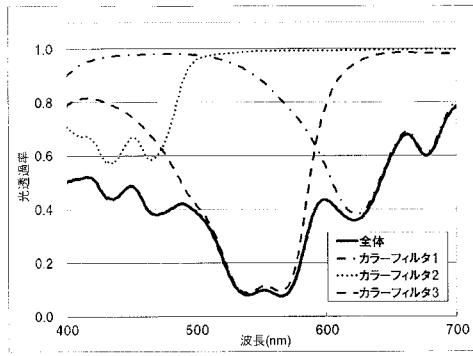
10

- 1 撮像装置
- 2 画像生成装置
- 101 結像光学系
- 102 フィルターユニット
- 103 撮像素子
- 104 送信データ圧縮回路
- 105 送信回路
- 106 入力部
- 107 メモリ
- 108 制御部
- 109 重み付け部
- 110 符号化部
- 111 被写体
- 112 空間光変調器
- 201 受信回路
- 202 受信データ復号回路
- 203 カラー画像生成回路
- 204 出力インターフェース装置
- 205 メモリ
- 206 制御部
- 207 出力部
- 208 復号化部
- 209 重み付け除去部

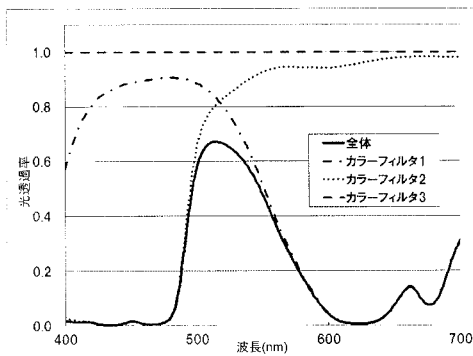
20

30

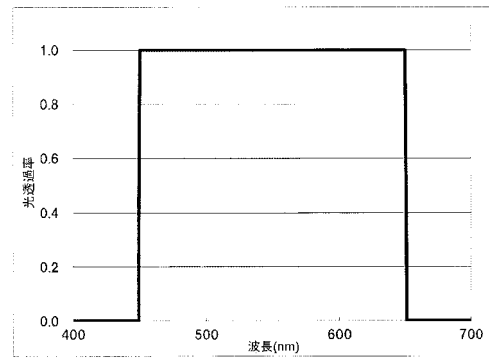
【図 1 A】



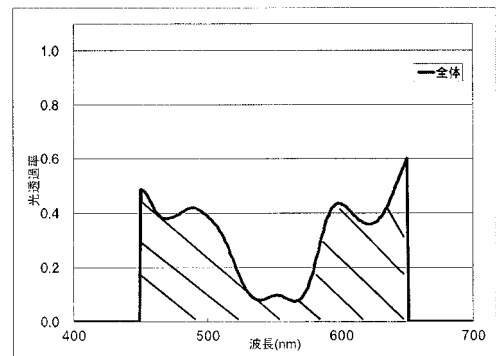
【図 1 B】



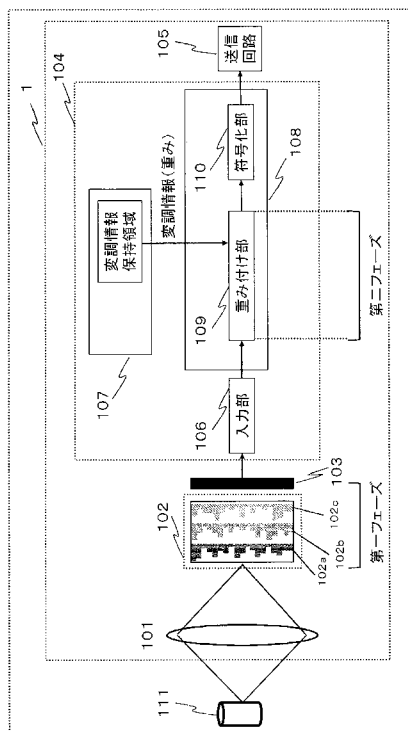
【図 1 C】



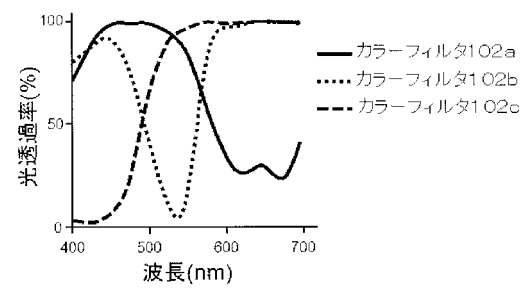
【図 1 D】



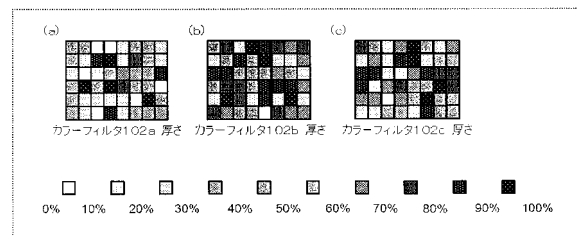
【図 2】



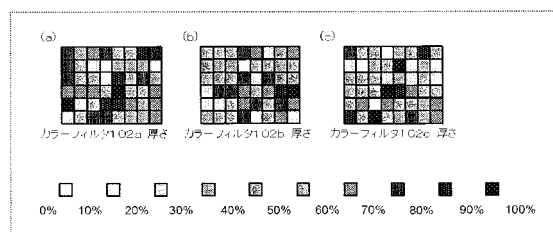
【図 3】



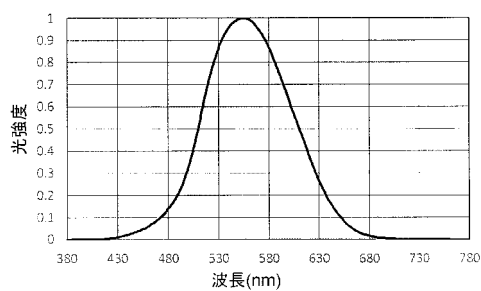
【図 4】



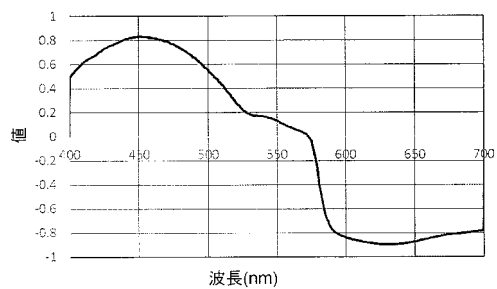
【図 5】



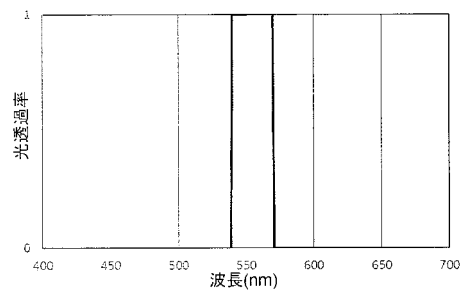
【図 6 A】



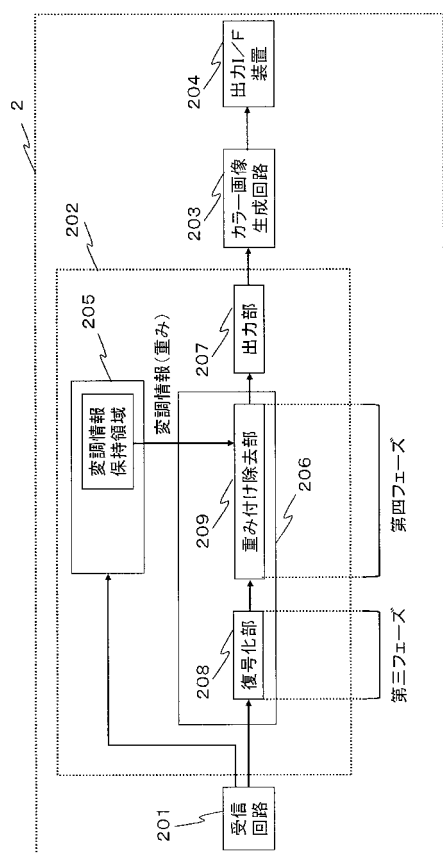
【図 6 C】



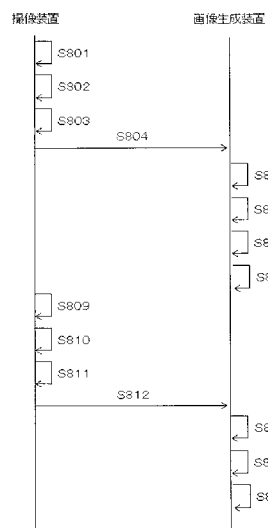
【図 6 B】



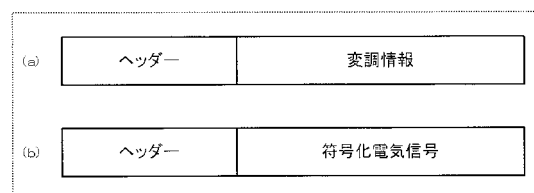
【图 7】



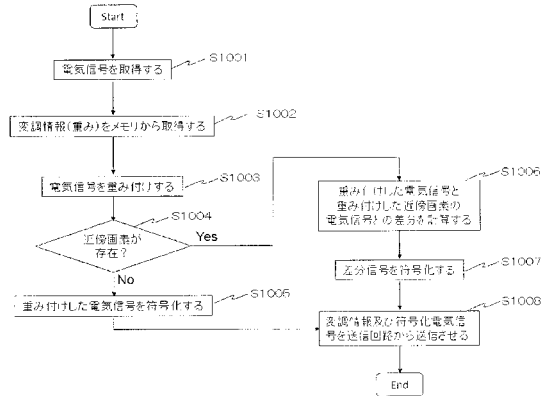
【图 8】



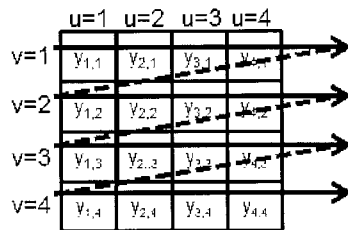
【図 9】



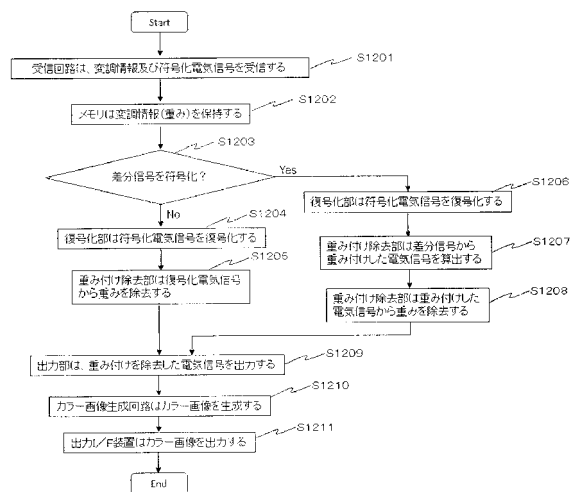
【図 10】



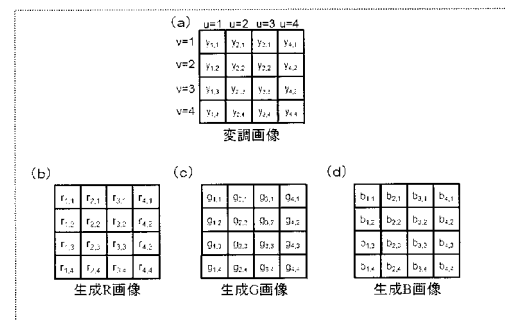
【図 11】



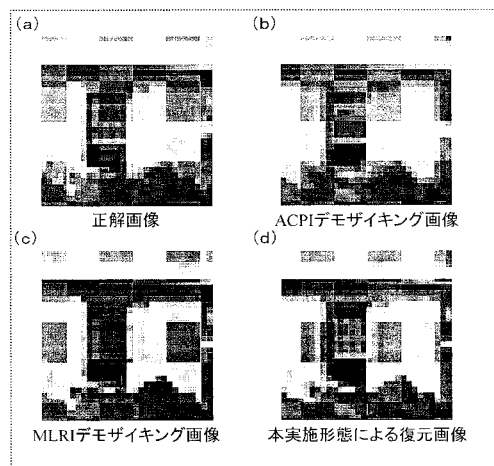
【図 12】



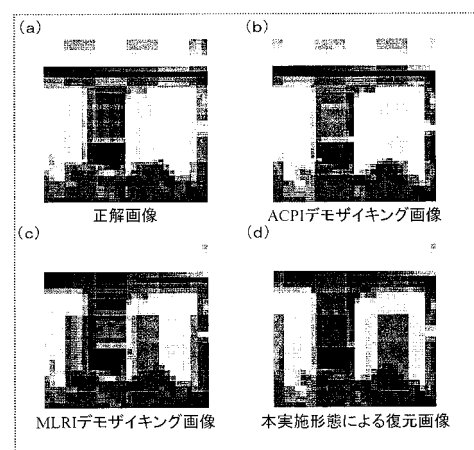
【図 13】



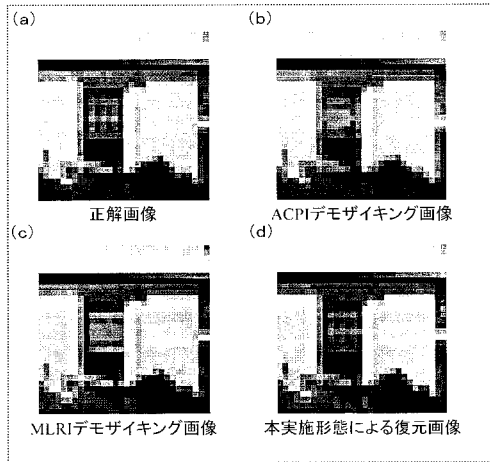
【図 14】



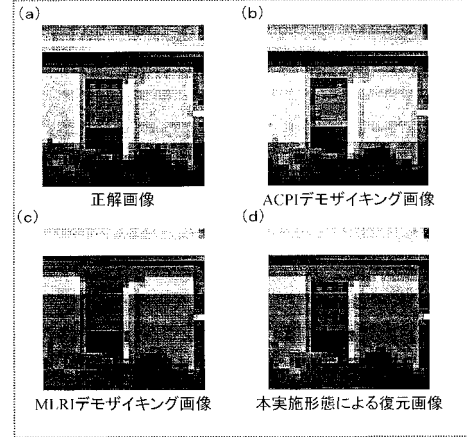
【図 15】



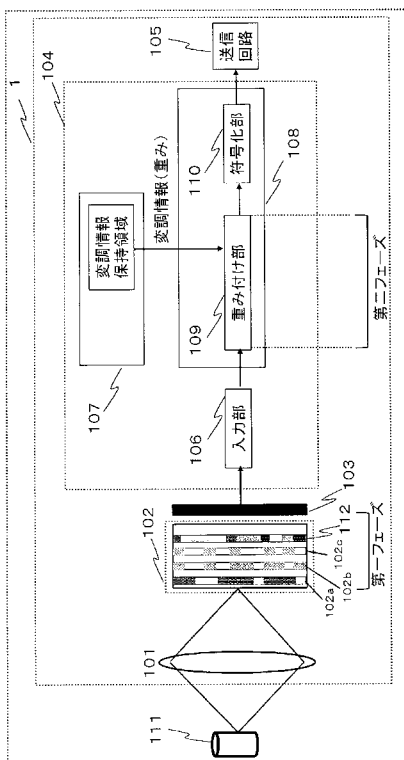
【図 16】



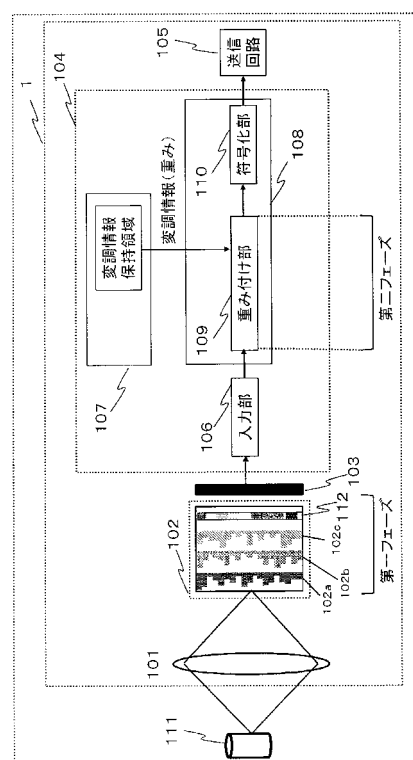
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【図 20】

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

(74)代理人 100184985

弁理士 田中 悠

(74)代理人 100202197

弁理士 村瀬 成康

(72)発明者 佐藤 智

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 登 一生

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 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 CC01 DD17 EE05 EE10 GG23

5C122 EA12 EA37 FB16 FC06 GC52 HA39 HA40 HB01 HB03 HB06