

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2021-515501

(P2021-515501A)

(43) 公表日 令和3年6月17日(2021.6.17)

(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 予備審査請求 未請求 (全 32 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2020-546971 (P2020-546971)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成31年2月20日 (2019.2.20)</p> <p>(85) 翻訳文提出日 令和2年11月5日 (2020.11.5)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/EP2019/054222</p> <p>(87) 国際公開番号 WO2019/170420</p> <p>(87) 国際公開日 令和1年9月12日 (2019.9.12)</p> <p>(31) 優先権主張番号 1851978</p> <p>(32) 優先日 平成30年3月7日 (2018.3.7)</p> <p>(33) 優先権主張国・地域又は機関 フランス (FR)</p>	<p>(71) 出願人 509025832 サントル ナショナル ドゥ ラ ルシェ ルシェ シアンティフィク CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENT IFIQUE フランス共和国, エフー75016 パリ , リュ ミシエルーアンジュ 3</p> <p>(74) 代理人 100139594 弁理士 山口 健次郎</p> <p>(74) 代理人 100090251 弁理士 森田 憲一</p> <p>(72) 発明者 アレーソン, ダヴィド フランス共和国, 38430 モアラン, リュ ロジェ デュマレ 83 最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 カラーフィルタのモザイクで覆われたセンサによって取得されたカラー画像を再構成する方法

(57) 【要約】

本発明は、基本パターン(6)を構成する異なる色のフィルタのモザイク(3)で覆われた感光センサ(2)によって取得したカラー画像を再構成し、前記センサ(2)によってカラー画像が取得された後、デモザイク行列とセンサ(2)に由来するモザイク画像(5)の行列表現との積を得る方法に関し、モザイク画像の行列表現とデモザイク行列との前記積は、フィルタのモザイク(3)の基本パターン(6)に対応する基本パターン(43)のピクセル近傍の関数として、モザイク画像(5)の各ピクセルの色の補間を実行する。

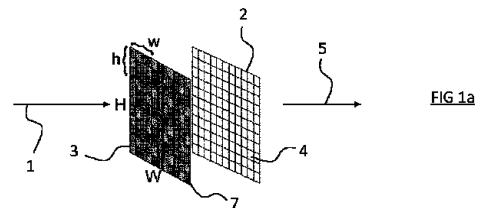


FIG 1a

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

$h < H$ および $w < W$ であるようなサイズ $h \times w$ の基本パターン (6) を構成する P 個の異なる色のフィルタ (7) の、サイズ $H \times W$ のモザイク (3) で覆われた、サイズ $H \times W$ の感光センサ (2) で取得されたカラー画像を再構成する方法であって、前記フィルタのモザイク (3) の前記基本パターン (6) は、前記基本パターン (6) 間で重複することなく前記フィルタのモザイク (3) を覆うように繰り返され、前記方法は、コンピュータによって実行される方法において、少なくとも、

参照画像と呼ばれる P 個の色成分を有する N 個の画像 I_i 、 $i \in [1, \dots, N]$ の第 1 のデータベースを使用するシミュレーションから開始してデモザイク行列 D を構成し、前記第 1 のデータベースの前記画像が前記センサ (2) によって取得された後、前記センサ (2) に由来し生成された画像をシミュレートして、 N 個の画像 J_i 、 $i \in [1, \dots, N]$ の第 2 のデータベースを生成する第 1 の予備ステップであって、前記参照画像 I_i および生成された画像 J_i は、それぞれ、 $HW / (hw)$ 個のベクトル y_1 、 x_1 の行列の形で表され、

前記 y_1 の成分は、前記参照画像 I_i に適用された前記 $HW / (hw)$ 個の基本パターンの 1 つのサイズ $n_h \times n_w$ の縮小近傍の前記 P 個の成分であり、

前記 x_1 の成分は、前記生成された画像 J_i に適用された前記 $HW / (hw)$ 個の基本パターンの 1 つのサイズ $n_h \times n_w$ の縮小近傍の前記成分であり、

かつ $n_h > h$ および $n_w > w$ である

第 1 の予備ステップと、

前記センサ (2) によって前記カラー画像が取得された後、前記センサ (2) に由来するモザイク画像 (5) の行列表現と前記デモザイク行列 D との積を生成するカラー画像を再構成する第 2 のステップであって、前記モザイク画像 (5) の前記行列表現と前記デモザイク行列 D との前記積は、前記フィルタのモザイク (3) の前記基本パターン (6) に対応するサイズ $h \times w$ の基本パターン (43) のサイズ $n_h \times n_w$ のピクセルの近傍の関数として、前記モザイク画像 (5) の各ピクセルの前記色の補間を使用する、第 2 のステップと

を含むことを特徴とする、方法。

【請求項 2】

$n_h n_w = Phw$ であることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

第 1 のデモザイク行列 D_1 が、前記第 1 のデータベースの前記 N 個の参照画像上で計算された期待値 E として表される、即ち、

【数 1】

$$D_1 = E^{i=1..N} \{y_1^T (x_1 x_1^T)^{-1}\},$$

ここで、 y は、 $HW / (hw)$ 個の前記カラー画像を表すサイズ Phw のベクトルの行列である、ことを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記第 1 のデモザイク行列 D_1 が次のように表される、即ち、

【数 2】

$$D_1 = S_1 R M_1^T (M_1 R M_1^T)^{-1}, \text{ ここで } x_1 = M_1 y_1$$

で、 M_1 は y_1 の x_1 への射影の行列、 $y = S_1 y_1$ で、 S_1 はベクトル y_1 の近傍の縮小とベクトル y_1 の y への変換の行列、および

【数 3】

$$R = \frac{1}{NPHW} E^{i=1..N} \{y_1 y_1^T\}$$

は、サイズ $n_h \times n_w$ の前記縮小近傍の関数として表される前記第 1 のデータベースの

前記分解画像の相関行列である、ことを特徴とする、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記デモザイク行列が、前記センサ (2) の前記スペクトル感度の関数として、および異なる色の前記 P 個のフィルタ (7) の前記スペクトル関数の関数として表されることを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

マルチスペクトル反射率画像を含む前記第 1 のデータベースを用いて、第 2 のデモザイク行列 D_2 が

【数 4】

$$D_2 = F^T C L S_1 R' L_1^T C_1^T F_1 M_1^T (M_1 F_1^T C_1 L_1 R' L_1^T C_1^T F_1 M_1^T)^{-1},$$

10

ここで

【数 5】

$$R' = \frac{1}{NHWP_\lambda} E^{i=1..N} \{z_1 z_1^T\},$$

によって定義され、

前記第 2 のデモザイク行列 D_2 は、

スペクトル成分を λ としてスペクトルパワー密度 $L(\lambda)$ の光源によって照らされた物体の反射から得られたマルチスペクトル反射率画像を表すベクトル行列 z_0 の関数として、P 個の成分を有する画像を表すベクトル行列 y_0 を計算するステップであって、

20

【数 6】

$$y_0 = F_0^T C_0 L_0 z_0$$

で、 F_0 は前記モザイク (3) の前記フィルタのスペクトル透過関数のサイズ $P \times P$ の行列、 C_0 は前記センサのスペクトル感度のサイズ $P \times P$ の対角行列、 L_0 は前記光源の前記スペクトルパワー密度のサイズ $P \times P$ の対角行列であるステップと、

前記多成分画像から始まる前記ベクトル行列 y と、前記マルチスペクトル反射率画像から始まるベクトル行列 z とを構成し、前記ベクトル行列 y および z は前記基本パターンを含むステップであって、 $y = F^T C L z$ 、ここで

【数 7】

$$F = I_{hw} \otimes F_0$$

30

で、 I_{hw} はディメンジョン $h \times w$ の単位行列、

$C = I_{hw} \otimes C_0$ 、および $L = I_{hw} \otimes L_0$

であるステップと、

前記マルチスペクトル反射率画像の前記基本パターンのサイズ $n_h \times n_w$ の前記縮小近傍で構成されるベクトル行列 z_1 を構成するステップであって、

【数 8】

$$y_1 = F_1^T C_1 L_1 z_1$$

40

で、 y_1 は前記マルチスペクトル反射率スペクトル画像のサイズ $h \times w$ の前記基本パターンのサイズ $n_h \times n_w$ の前記縮小近傍で構成される行列、

【数 9】

$$F_1 = I_{n_h n_w} \otimes F_0, I_{n_h n_w}$$

はディメンジョン $n_h n_w \times n_h n_w$ の単位行列、

【数 10】

$$L_1 = I_{n_h n_w} \otimes L_0 \text{ および } C_1 = I_{n_h n_w} \otimes C_0$$

であるステップと、

50

M_1 は y_1 の x_1 への射影の行列、 S_1 は前記ベクトル y_1 の前記近傍の縮小の行列および y への変換の行列である状態で、前記第 2 のデモザイク行列 D_2 を構成するステップと、

に従って構成されることを特徴とする、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

C_0 は、前記カメラの光路の構成要素の前記スペクトル感度と前記センサの前記スペクトル感度との積であり、前記構成要素は、前記カメラの対物レンズ、赤外線フィルタ、ローパス空間フィルタ、マイクロレンズシステムの内の少なくとも 1 つを含むことを特徴とする、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

10

前記デモザイク行列 D 、 D_1 、 D_2 の各行は、畳み込みフィルタとして表されることを特徴とする、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の方法のステップを実行するための手段を含むデータ処理システム。

【請求項 10】

前記プログラムがコンピュータによって実行されるとき、前記コンピュータに請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の方法のステップを実行させる命令を含むコンピュータプログラム製品。

【請求項 11】

20

フィルタのスペクトル関数を最適化し、前記フィルタ (7) を異なる色の P 個のフィルタ (7) のモザイク (3) に配置し、サイズ $h \times w$ の基本パターン (6) を埋めるように繰り返す方法であって、前記基本パターン (6) は前記フィルタのモザイク (3) を覆うように繰り返され、前記フィルタのモザイク (3) は感光センサ (2) に適用されている方法において、前記方法は、演色誤差を最小化することによって、および参照画像データベースの画像から開始して取得された、理想的なセンサに由来する画像と、前記参照画像データベースの同じ画像から開始して取得された、前記 P 個の異なるフィルタ (7) のモザイク (3) で覆われたセンサに由来する画像との間の平均二乗誤差を最小化することによって、多基準最適化を含み、前記フィルタ (7) のモザイク (3) で覆われた前記センサ (2) によって取得された前記画像は、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の方法によ

30

【請求項 12】

前記画像データベースの前記画像から開始して取得された前記理想的なセンサに由来する前記画像と一連の P 個のフィルタで覆われたセンサに由来する画像との間の演色誤差を最小化することを更に含み、前記 P 個のフィルタのそれぞれは前記センサの全体を覆い、前記画像は前記データベースの同じ画像から開始して取得されることを特徴とする、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

完全なセンサによって取得されたマクベステストチャートと前記 P 個のフィルタの前記モザイクを備えたセンサによって取得されたマクベステストチャートとの間の演色誤差を最小化することを更に含むことを特徴とする、請求項 12 に記載の方法。

40

【請求項 14】

請求項 11 ~ 13 に記載の方法のステップを実行するための手段を含む、データ処理システム。

【請求項 15】

前記プログラムがコンピュータによって実行されるとき、前記コンピュータに請求項 11 ~ 13 のいずれか一項に記載の方法のステップを実行させる命令を含む、コンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、単一センサカメラによって取得された画像の処理の分野にある。より詳細には、本発明は、いくつかの色のフィルタのモザイクから構成されるフィルタで覆われたセンサによってカラー画像が取得された後におけるカラー画像の再構成に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、カメラは、レンズなどの1つ以上の光学的構成要素で構成される少なくとも1つの対物レンズを備えている。カメラの対物レンズにより、捕捉された光は感光セルで構成されるセンサに向けられる。センサが受け取った光のスペクトルの再構成を可能にするために、1つ以上のカラーフィルタがセンサに適用される。

10

【0003】

カメラは、対物レンズとセンサの間の光路上に、赤外線 (I R c u t) をカットするフィルタ、光学ローパス (O L P) 空間フィルタ、センサの各セルに光の焦点を合わせるためのマイクロレンズなどの構成要素の内の1つまたは全てを更に備えてもよい。

【0004】

カメラは、写真装置、または画像を捕捉でき、モザイクと呼ばれるカラーフィルタのマトリックスを備えた感光センサを有する他の任意の手段であってもよい。

【0005】

フィルタの第1のモザイク3を介して、第1の感光センサ2によるカラー画像1の取得の一般的な原理を、図1aに示す。フィルタの第1のモザイク3は、生成された画像上での色を忠実に表現できるように、第1のセンサ2の各ピクセル4に異なるスペクトル感度を与える。第1のセンサ2の各ピクセル4は、第1のセンサ2のフォトサイトを表す。各フォトサイトは、特定の波長範囲の光度に敏感な光電セルであり、該光度は、光電セルのスペクトル感度に関連する小電流を生成して変換される。

20

【0006】

図1aは、異なる色のフィルタの第1のモザイク3で構成されるフィルタのマトリックスの例を示す。この例は、一例として図1bに示した第1の基本パターン6に従って配置された異なる色の6つのフィルタを含むサイズH×Wのフィルタの第1のマトリックス3を示す。ディメンジョンh×wの第1の基本パターン6は、2つの基本パターン間で重複することなく、フィルタの第1のモザイク3全体を覆うように繰り返される。

30

【0007】

取得されるカラー画像5は、P個の色成分、つまりP個の色を有する画像である。P個の色成分は、図1bに示す例では、6つのフィルタF1、F2、F3、F4、F5、F6の色である。6つのフィルタF1、F2、F3、F4、F5、F6は、サイズ3×3の第1の基本パターン6に配置される。取得されるカラー画像1を伝える光は、フィルタの第1のマトリックス3を通過し、ピクセルのマトリックスの形で、図1aに示す第1のセンサ2に到達する。フィルタの第1のマトリックス3は、サイズH×Wの第1のセンサ2を完全に覆うように配置されている。

【0008】

フィルタの第1のモザイク3で覆われた第1のセンサ2によって画像が取得された後の画像の再構成は、デモザイク処理またはデマトリックス処理と呼ばれる方法を使用する。各ピクセル4は特定の色のフィルタで覆われているので、ピクセルごとに単一の色がサンプリングされる。したがって、各ピクセル4が受け取る光の色の成分を再構成する方法を実装する必要がある。この目的のために、デモザイク法が使用される。デモザイク法は、特に、異なるピクセル4のクロミナンスの補間で構成される。デモザイク法は、第1のセンサ2によって生成された生画像5に適用されるデモザイク行列を使用する。「生画像」5とは、カラー画像1が取得された後、第1のセンサ2から直接出てくるデータを意味する。

40

【0009】

50

デモザイク行列の構成は、参照画像データベースを使用したトレーニングプロセス中に実行される。参照画像データベースは、P個の成分を有するN個の参照画像 I_i 、 i [1、...、N] を含み得る。参照画像データベースから開始して、N個のシミュレーション画像 J_i の新しいデータベースが構築される。1つのシミュレーション画像 J_i は、各参照画像 I_i に対応する。シミュレーション画像 J_i は、第1のセンサ2によって参照画像データベースの画像が取得された後、前記第1のセンサ2によって生成された生画像5のモデル化を表す。参照画像 I_i から始まるシミュレーション画像 J_i は、第1のセンサ2によって測定されない色成分を参照画像 I_i から除外することによって得られる。実際には、参照画像 I_i がP個の成分を有する場合、シミュレーション画像 J_i において、第1のセンサ2の各ピクセル上に配置されたフィルタの成分のみが維持される。次いで、シミュレーション画像 J_i は単一の平面を含む。第1のセンサ2からの生画像5のシミュレーション画像 J_i は、以下、モザイク画像5と呼ばれ、参照データベースに由来する画像 I_i は、分解画像と呼ばれる。

10

【0010】

図2aは、モザイク画像 J_i をベクトル行列 x に変換する例を示す。図2bは、分解画像 I_i を、カラー画像を表すベクトル行列 y へ変換する例を示す。モザイク画像 J_i は、図2aに示すように、サイズ $h \times w$ の一連の基本パターンで構成される。モザイク画像 J_i のベクトル行列 x は、 $HW / (hw)$ 個のサイズ hw のベクトルを含む。分解画像 I_i はP個の成分を含み、各成分はP個の色の内の1つに対応する。分解画像 I_i の各成分は、フィルタの第1のモザイク3のサイズ $H \times W$ に等しいサイズの画像である。分解画像 I_i の各成分は、そのサイズがフィルタの第1のモザイク3の第1の基本パターン6のサイズ $h \times w$ に等しいパターンに従ってカットされてもよい。したがって、 $HW / (hw)$ 個のサイズ $P \times hw$ のベクトルで構成された、分解画像 I_i を表すベクトル行列 y を定義することが可能である。

20

【0011】

分解画像 I_i から始まるモザイク画像 J_i の計算のためのモデルは、

$$x = My \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

のように表現してもよく、ここで、Mはサイズ $hw \times Phw$ の行列である。

【0012】

図2cは、第1の赤色フィルタ21、第2の緑色フィルタ22、第3の緑色フィルタ23および第4の青色フィルタ24というカラーフィルタを含むサイズ 2×2 のベイヤー(Bayer)行列の第2の基本パターン20から開始して作成されたフィルタ用に関連された行列Mの例を示す。したがって、このパターンに対して得られる行列Mのサイズは 4×12 である。行列Mは、「0」と「1」で構成される。値「1」を有する行列Mの各成分は、ベイヤー行列の第2の基本パターン20のセルを表す。デモザイク処理を得るためには、最新の技術から、モザイク画像 J_i と分解画像 I_i をそれぞれ表すベクトル行列($x; y$)の全てに適用される、最小二乗法によって定義されたいわゆるデモザイク行列Dを使用することが知られている。デモザイク行列Dは、行列Mを反転するだけでは得られない。実際には、行列Mの反転を擬似逆行列型の方法を使用して実行できたとしても、この演算では、デモザイク処理で不十分な結果を与える行列Dが生成される。

30

40

したがって、デモザイク行列Dは次のように計算できる。

$$D = E^{i=1 \dots N} \{ y x^T (x x^T)^{-1} \} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

ここで、 $E^{i=1 \dots N}$ は、シミュレーション画像データベースのN個の画像と比較したときの参照データベースのN個の画像の期待値を表す。このようにして計算されたデモザイク行列Dのサイズは、 $Phw \times hw$ である。

【0013】

計算されたデモザイク行列Dから開始して、第1のセンサ2からのモザイク画像に従って再構成された画像の推定値であるベクトル行列 y^{\sim} を決定することが可能である。

【数 1】

$$\hat{y} = Dx \quad (1002)$$

【0014】

次に、P個の成分を有するカラー画像を再構成するには、ベクトル行列 \hat{y} をP個の成分を有する画像に変換するだけで十分であり、各成分はP個の色の1つに対応しており、この変換は、図2bに示す演算の逆演算である。したがって、各成分は、モザイク画像のサイズ $H \times W$ に対応するサイズの画像である。

【0015】

カラー画像を再構成するためのこの方法の問題の1つは、再構成される画像が捕捉されたカラー画像1より大きいことである。次に、画像再構成に使用されるモデルは、ピクセルの色情報の単一の項目から始まるピクセルに対してP個の色の補間を実行する。この結果、このように計算された行列Dはかなり不安定になるので、カラー画像の再構成の質が低下する。

【0016】

最先端技術は、その色を決定するために、モザイク行列の各ピクセルの近傍から開始して補間を実行することを提案している。このような補間により、デモザイク行列Dの推定値の安定性を強化できる。仏国特許出願第2959092号明細書および仏国特許出願第2917559号明細書では、この補間を実行するために、図2dに示すような、いわゆるスライディング近傍を使用することが提案された。図2dは、第2のセンサによって生成されたモザイク行列の一部を示す。図2dに示した例に使用されるサイズ $h \times w$ の基本パターンは、ベイヤーモザイクのサイズ 2×2 の第4の基本パターン25である。第4の基本パターン25は、赤色26、緑色27および青色28という異なる色の4つのピクセルを含む。表現を簡略化するために、第4の基本パターン25のピクセルの1つは白色のままである。各ピクセル26、27、28には、サイズ 3×3 の独自のピクセル近傍があり、その中央がピクセルである。例えば、第1の赤色ピクセル26は第1のピクセル近傍200の中心にあり、第2の緑色ピクセル27は第2の近傍201の中心にあり、第3の青色ピクセル28は第3の近傍202の中心にある。第2のピクセル27は、同じ列にあるが、第1のピクセル26に対して下の行にある。したがって、第2の近傍201は、第1の近傍200の底部に向かうピクセルの平行移動である。第3のピクセル28は、同じ行にあるが、第1のピクセル26に対して右側の列にある。したがって、第3の近傍202は、第1の近傍200の右側に向かうピクセルの平行移動である。したがって、全く同じ基本パターンの全てのピクセルの近傍は異なる。モザイク行列上で1つの基本パターンから別の基本パターンに移行するとき、1つのパターンから別のパターンへの平行移動において、各ピクセルの近傍は該ピクセルに「付いて行く」。

【0017】

したがって、画像の再構成中に、各ピクセルの色を、その近傍内のピクセルの色の関数として再構成できる。したがって、ベクトル行列 x 、 y の構成で各ピクセルはその近傍だけ増加するので、各ピクセルの他の近傍もベクトル行列 x 、 y に保存されるように、各ピクセルの近傍を統合することによって行列Dを定義する。デモザイク行列の計算において近傍を考慮に入れることで、画像のより良い再構成が可能になったとしても、より大きな行列を操作しなければならないという欠点があるため、計算やデータ保存のための実質的な手段が必要である。

【発明の概要】

【0018】

本発明の目的は、特に、デモザイク行列を計算するための既知の方法の改善を提案することである。本発明の別の目的は、センサに関連するフィルタのモザイクの最適化を提案するためにこの改善を使用することである。

【0019】

この目的のために、本発明は、 $h < H$ および $w < W$ であるようなサイズ $h \times w$ の基本パ

10

20

30

40

50

ターンを構成する P 個の異なる色のフィルタのカラー画像であって、サイズ H × W のモザイクで覆われた、サイズ H × W の感光センサで取得されたカラー画像を再構成する方法を提案する。フィルタのモザイクの前記基本パターンは、基本パターン間で重複することなしにフィルタのモザイクを覆うように繰り返される。前記方法は、コンピュータによって実行される。前記方法は、少なくとも、

- ・参照画像と呼ばれる P 個の色成分を有する N 個の画像 I_i 、 $i \in [1, \dots, N]$ の第 1 のデータベースを使用するシミュレーションから開始してデモザイク行列 D を構成し、第 1 のデータベースの画像がセンサによって取得された後、前記センサから生成された画像をシミュレートして、N 個の画像 J_i 、 $i \in [1, \dots, N]$ の第 2 のデータベースを生成する第 1 の予備ステップであって、前記参照画像 I_i および生成された画像 J_i は、それぞれ、 $HW / (hw)$ 個のベクトル y_1 、 x_1 の行列の形で表され、

- y_1 の成分は、参照画像 I_i に適用された $HW / (hw)$ 個の基本パターンの 1 つのサイズ $n_h \times n_w$ の縮小近傍の P 個の成分であり、

- x_1 の成分は、生成された画像 J_i に適用された $HW / (hw)$ 個の基本パターンの 1 つのサイズ $n_h \times n_w$ の縮小近傍の成分であり、かつ $n_h > h$ および $n_w > w$ である第 1 の予備ステップと、

- ・前記センサによってカラー画像が取得された後、センサに由来するモザイク画像の行列表現とデモザイク行列 D との積を生成するカラー画像を再構成する第 2 のステップであって、モザイク画像の行列表現とデモザイク行列 D との前記積は、フィルタのモザイクの基本パターンに対応するサイズ $h \times w$ の基本パターンのサイズ $n_h \times n_w$ のピクセルの近傍の関数として、モザイク画像の各ピクセルの色の補間を使用する、第 2 のステップとを含む。

【0020】

有利には、近傍のサイズを、 $n_h n_w = Phw$ によって定義してもよい。

【0021】

第 1 のデモザイク行列 D_1 は、第 1 のデータベースの N 個の参照画像について計算された期待値 E として、

【数 2】

$$D_1 = E^{i=1..N} \{y_1^T (x_1 x_1^T)^{-1}\},$$

と表すことができ、ここで、 y は、カラー画像を表す $HW / (hw)$ 個のサイズ Phw のベクトル行列である。

【0022】

第 1 のデモザイク行列 D_1 は、

【数 3】

$$D_1 = S_1 R M_1^T (M_1 R M_1^T)^{-1}$$

と表現され、ここで、 $x_1 = M_1 y_1$ で、 M_1 は y_1 の x_1 への射影行列、 $y = S_1 y_1$ で、 S_1 はベクトル y_1 の近傍の縮小行列かつベクトル y_1 の y への変換行列、

【数 4】

$$R = \frac{1}{NPHW} E^{i=1..N} \{y_1 y_1^T\}$$

は、サイズ $n_h \times n_w$ の縮小近傍の関数として表された、第 1 のデータベースの分解画像の相関行列である。

【0023】

デモザイク行列は、センサのスペクトル感度の関数として、および P 個の異なる色のフィルタのスペクトル関数の関数として表すことができる。

【0024】

第 1 のデータベースがマルチスペクトル反射率画像を代替として含む場合があるため、

第 2 のデモザイク行列 D_2 は次の式で定義できる。

【数 5】

$$D_2 = F^T C L S_1 R' L_1^T C_1^T F_1 M_1^T (M_1 F_1^T C_1 L_1 R' L_1^T C_1^T F_1 M_1^T)^{-1},$$

ここで

【数 6】

$$R' = \frac{1}{NHWP_\lambda} E^{i=1..N} \{z_1 z_1^T\}_0.$$

第 2 のデモザイク行列 D_2 は、

・スペクトル成分を λ としてスペクトルパワー密度 $L(\lambda)$ の光源によって照らされた物体の反射から得られたマルチスペクトル反射率画像を表すベクトル行列 z_0 の関数として、 P 個の成分を有する画像を表すベクトル行列 y_0 を計算するステップであって、

【数 7】

$$y_0 = F_0^T C_0 L_0 z_0$$

で、 F_0 はモザイクのフィルタのスペクトル透過関数のサイズ $P \times P$ の行列、 C_0 はセンサのスペクトル感度のサイズ $P \times P$ の対角行列、 L_0 は光源のスペクトルパワー密度のサイズ $P \times P$ の対角行列であるステップと、

・多成分画像から始まるベクトル行列 y と、マルチスペクトル反射率画像から始まるベクトル行列 z とを構成し、前記ベクトル行列 y および z は前記基本パターンを含むステップであって、 $y = F^T C L z$ 、

【数 8】

$$F = I_{h_w} \otimes F_0$$

で、 I_{h_w} はディメンジョン $h_w \times h_w$ の単位行列、

$$C = I_{h_w} \otimes C_0, \text{ および } L = I_{h_w} \otimes L_0$$

であるステップと、

・マルチスペクトル反射率画像の基本パターンのサイズ $n_h \times n_w$ の縮小近傍で構成されるベクトル行列 z_1 を構成するステップであって、

【数 9】

$$y_1 = F_1^T C_1 L_1 z_1$$

で、 y_1 はマルチスペクトル反射率スペクトル画像のサイズ $h \times w$ の基本パターンのサイズ $n_h \times n_w$ の縮小近傍で構成される行列、

【数 10】

$$F_1 = I_{n_h n_w} \otimes F_0$$

で、

【数 11】

$$I_{n_h n_w}$$

はディメンジョン $n_h n_w \times n_h n_w$ の単位行列、

【数 12】

$$L_1 = I_{n_h n_w} \otimes L_0,$$

および

【数 13】

$$C_1 = I_{n_h n_w} \otimes C_0$$

であるステップと、

・ M_1 が y_1 の x_1 への射影の行列、 S_1 がベクトル y_1 の近傍の縮小と y への変換の行列である状態で、第2のデモザイク行列 D_2 を構成するステップと、
に従って構成されてもよい。

【0025】

C_0 は、カメラの光路の構成要素のスペクトル感度とセンサのスペクトル感度との積であってもよく、ここで、前記構成要素は、カメラの対物レンズ、赤外線フィルタ、ローパス空間フィルタ、マイクロレンズシステムの内の少なくとも1つを含んでもよい。

【0026】

デモザイク行列 D 、 D_1 、 D_2 の各行は、畳み込みフィルタとして表すことができる。

【0027】

本発明はまた、カラー画像を再構成する方法のステップを実行するための手段を含むデータ処理システムにも関する。

【0028】

本発明はまた、プログラムがコンピュータによって実行されるとき、コンピュータにカラー画像を再構成するための方法のステップを実行させる命令を含むコンピュータプログラム製品に関する。

【0029】

本発明の別の側面は、フィルタのスペクトル関数を最適化し、フィルタを P 個の異なるカラーフィルタのモザイク上に配置し、サイズ $h \times w$ の基本パターンを満たすように繰り返す方法に適用できることであり、ここで、前記基本パターンはフィルタのモザイクを覆うように繰り返し、前記フィルタのモザイクは感光センサに適用される。前記方法は、演色誤差の最小化、および参照画像データベースの画像から開始して取得された理想的なセンサに由来する画像と、参照画像データベースの同じ画像から開始して取得された P 個の異なるフィルタのモザイクで覆われたセンサに由来する画像との間の平均二乗誤差の最小化による多基準最適化を含み、フィルタのモザイクで覆われたセンサによって取得された前記画像は、カラー画像を再構成する方法によって再構成される。

【0030】

最適化の方法は、画像データベースの画像から開始して取得された理想的なセンサに由来する画像と、 P 個のフィルタの各々はセンサ全体を覆い、一連の P 個のフィルタで覆われたセンサに由来する画像との間の演色誤差を最小化することを更に含み、前記画像はデータベースの同じ画像から取得される。

【0031】

最適化の方法は、完全なセンサによって取得されたマクベス (Macbeth) テストチャートと、 P 個のフィルタのモザイクを備えたセンサによって取得されたマクベステストチャートとの間の演色誤差を最小化することを更に含む。

【0032】

本発明はまた、最適化の方法のステップを実行するための手段を含むデータ処理システムにも関する。

【0033】

本発明は更に、プログラムがコンピュータによって実行されるときに、コンピュータに最適化の方法のステップを実行させる命令を含むコンピュータプログラム製品に関する。

【0034】

有利には、本発明は、デモザイクアルゴリズムの実行速度、ならびに本発明を実行する状況で使用される計算機の全体的な記憶容量を改善することを可能にする。

【図面の簡単な説明】

【0035】

本発明の他の利点および特徴は、決して限定的ではないいくつかの実施形態の詳細な説明および添付の図面を検討することで明らかになるであろう。

【図1a】フィルタのモザイクを備えたセンサによる画像の取得の一般的な原理を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 1 b】フィルタのモザイクの基本パターンの例を示す。

【図 2 a】フィルタのモザイクを備えたセンサからの画像のベクトル行列への変換を示す図である。

【図 2 b】いくつかの成分を持つ画像のベクトル行列への変換を示す。

【図 2 c】ベイヤーフィルタモザイクを備えたセンサの出力における画像の計算行列の例を示す。

【図 2 d】最新技術によるスライディング近傍を使用するピクセルの色の補間の例を示す。

【図 3】本発明による近傍を使用するピクセルの色の補間の例を示す。

【図 4 a】センサの出力におけるモザイク画像のベクトル行列への変換を示す。

10

【図 4 b】多成分画像のベクトル行列への変換を示す。

【図 5】連続スペクトル領域にわたってデモザイク行列を計算するためのデータ取得の例を示す。

【図 6 a】マルチスペクトル画像のいくつかの異なるベクトル行列への変換を示す。

【図 6 b】フィルタと組み合わせられたセンサによってマルチスペクトル画像が取得された後に生成された画像を表すベクトル行列の計算を示す。

【図 7】デモザイク行列の畳み込みフィルタへの変換の原理を示す。

【図 8】フィルタのモザイクのフィルタの配置およびスペクトル関数を最適化するためのデータ取得の例を示す。

【図 9】フィルタのモザイクのフィルタの配置およびスペクトル関数を最適化するために使用される異なる画像の計算を示す。

20

【図 10】本発明によるデモザイク法および装置を示す。

【図 11】本発明によるデモザイク行列を構成する方法を示す。

【詳細な説明】

【0036】

本発明は、特に、サイズ $H \times W$ の多色または多成分カラー画像の取得に関する。図 1 a では、画像は P 個の色成分を含む。 P 個の色成分を有する画像 1 は、物体からの光が P 個の異なる色のフィルタ 7 から構成されるフィルタの第 1 のモザイク 3、またはマトリックスを通過した後に、第 1 の感光センサ 2 によって取得される。前記フィルタのモザイク 3 のサイズは $H \times W$ である。第 1 のセンサ 2 は、サイズ $H \times W$ のピクセルマトリックス 4 によって定義される。各フィルタ 7 は、第 1 のセンサ 2 の 1 つのピクセル 4 のサイズであり、第 1 のセンサ 2 の 1 つのピクセル 4 を覆っている。カラーフィルタ 7 のモザイク 3 は、サイズ $h \times w$ で $h \times w = P$ の第 1 の基本パターン 6 から開始して構成される。第 1 の基本パターン 6 は $h \times w$ 個の色で構成されており、色は異なってもよいし、同じでもよい。例えば、図 1 b では、第 1 の基本パターン 6 は、2 つの赤色フィルタ F_1 、2 つのオレンジ色フィルタ F_2 、2 つの緑色フィルタ F_3 、1 つのピンク色フィルタ F_4 、1 つの青色フィルタ F_5 および 1 つの黄色フィルタ F_6 を含む。第 1 の基本パターン 6 のフィルタ F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 、 F_6 は、特定の配置に従って配置される。図 1 b に示す例では、第 1 の基本パターン 6 は、左から右へ、上から下に、 F_3 、 F_1 、 F_2 、 F_4 、 F_5 、 F_3 、 F_1 、 F_6 、 F_2 のように配置されたフィルタの 3×3 マトリックス形式である。カラーフィルタのマトリックスまたはモザイク 3 では、第 1 の基本パターン 6 が繰り返され、異なる基本パターン 6 の間で重複することなくモザイク 3 全体を覆う。第 1 の基本パターン 6 のサイズは、 H が h の倍数であり、 W が w の倍数であるように定義される。本発明の範囲から逸脱することなく、他の基本パターンを使用してもよい。

30

40

【0037】

第 1 のセンサ 2 によって画像が取得されると、多成分画像を再構成するために処理される。第 1 のセンサ 2 を出てくる生画像に対して実行される処理は、デモザイク行列 D_1 を使用するデモザイク処理である。デモザイク行列 D_1 は、ベクトル行列 x_1 、 y に適用される最小二乗法によって下記の通り得られる。

【数 1 4】

$$D_1 = E^{i=1..N}\{yx_1^T(x_1x_1^T)^{-1}\} \quad (1003)$$

【0038】

式(1003)では、 y は図2bに示すベクトル行列である。ベクトル行列 y は、最新技術で説明されているように、トレーニングにより行列 D_1 を構成するために使用される参照画像データベースの一部を形成する P 個の色成分を有する分解画像 I_i から得られる。分解画像 I_i のディメンジョンは $H \times W$ であり、サイズ $h \times w$ の第3の基本パターン21を含む。ベクトル行列 y は、第3の基本パターン21から P 個の成分、即ち、第3の基本パターン21の各ピクセルの P 個の成分を取り込むことによって構成される。したがって、 y の各ベクトルはサイズ $P h w$ であり、 y は参照画像データベースに由来する多成分画像 I に含まれる全ての情報を表すために、 $H W / (h w)$ 個のサイズ $P h w$ のベクトルを含む。

10

【0039】

本明細書では、行列のサイズや画像のサイズに対して、 $H \times W$ を無差別に使用している。行列の場合、 $H \times W$ は、行列の行の数 $H \times$ 列の数 W を表す。画像の場合、 $H \times W$ は、サイズ $H \times W$ のマトリックスに対応する画像のディメンジョンを表す。同様に、第1の基本パターン6のサイズは h 行 \times w 列である。ひいては、画像では、画像と同じサイズの行列において第1の基本パターン6のサイズに対応するサイズの部分が定義されている。したがって、基本パターン6が画像に適用されていると言える。類推によって、図2bに示される第3の基本パターン21など基本パターンに対応する画像部分も、基本パターンと呼ばれるであろう。画像の基本パターンのサイズは、行列の基本パターンと同じディメンジョンである。ひいては、画像の基本パターンのサイズは $h \times w$ として定義される。

20

【0040】

式(1003)では、 x_1 は図4aに示すように構成される。参照画像データベースから開始して、シミュレーションは、第1のセンサ2によって参照画像データベースの画像が取得された後にシミュレーションされた、第1のセンサ2からのデータを含む生画像40の新しいデータベースを得ることを可能にする。第1のセンサ2からのデータは、サイズ $H \times W$ の生画像40を形成し、これはピクセル41に分解することができ、各ピクセル41は、例えば、図4aに示されるように、第1のセンサ2のフォトサイトの応答に対応する。生画像40は、図1aに示すように、フィルタ7のモザイク3の基本パターンに対応する第1の基本パターン6を含むサイズ $H \times W$ のマトリックスとして表すことができる。図4aに示す例では、各ピクセルは P 個の色成分の1つに対応しており、したがって、 P 個のフィルタ7の1つに対応している。図4aでは、第1の基本パターン6の成分は、 F_1 から F_p で示されている。したがって、モザイク画像40の第1の基本パターン6のサイズは $h \times w$ である。図4aでは、例えば、基本パターンのサイズは 3×3 である。本発明によれば、第4のピクセル近傍30は、第1の基本パターン6に関して定義される。第4の近傍30のサイズは $n_h \times n_w$ である。本発明による第4の近傍30は、以下、縮小近傍30と呼ばれる。縮小近傍30のサイズは、本発明に従って、 $n_h > h$ および $n_w > w$ となるように定義される。例えば、 $n_h n_w = P h w$ となるように縮小近傍を使用することが可能である。有利には、このように定義された縮小近傍は、捕捉されたカラー画像1を記述するための最適な色情報の量と質を含む。

30

40

【0041】

図3は、モザイク画像40の各ピクセルの色の補間計算を実行するための、本発明による縮小近傍30の使用を示す。例えば、使用される基本パターンは、最新技術による図2dに示されるような第4の基本パターン25である。したがって、第4の基本パターン25の周りの図3に示される例に対して、サイズ 4×4 の縮小近傍30が定義される。縮小近傍30は、例えば、第4の基本パターン25よりも幅および長さが1ピクセル大きいサイズを有する。第4の基本パターン25の各ピクセルの色は、縮小近傍30のピクセルの色を補間することによって計算される。モザイク画像40上で第4の基本パターン25か

50

ら隣接する第4の基本パターン25へ移行する場合、縮小近傍30は、第4の基本パターン25の片側のサイズに等しいピクセル数だけ、即ち、この例では2ピクセルだけ、モザイク画像40上で平行移動する。近傍30は、全く同じ基本パターンの全てのピクセルに全く同じ近傍が使用されるため、縮小と呼ばれ、この同じ近傍を基本パターンの近傍として定義してもよい。

【0042】

一般に、縮小近傍30は、 $n_h > h$ および $n_w > w$ となるように定義される。例えば、 $n_h n_w = P h w$ を使用してもよい。

【0043】

したがって、本発明によるサイズ $n_h \times n_w$ の同じ縮小近傍30は、本発明による捕捉されたカラー画像1の再構成中に第1の基本パターン6の各ピクセルの色を補間するために使用される。したがって、デモザイク行列を構成するために、ベクトル行列 x_1 は、各ベクトルがモザイク画像40を構成する各第1の基本パターン6の縮小近傍30の成分のみを含むように構成される。したがって、 x_1 の各ベクトルはサイズ $n_h n_w$ であり、行列 x_1 は $HW / (h w)$ 個のサイズ $n_h n_w$ のベクトルを含む。したがって、式(1003)のデモザイク行列 D_1 のサイズは、 $P h w \times n_h n_w$ である。有利には、このような行列は、カラー画像の再構成において良好な品質を維持しつつも、最新技術による行列の場合よりもサイズが小さい。例えば、サイズ $n_h \times n_w$ のスライディング近傍で再構成された画像は、サイズ $(n_h + h - 1) \times (n_w + w - 1)$ の縮小近傍と同じ性能を有していることを実験的に示すことができる。理論的な観点から見ると、2つの近傍はモザイク画像の同じ領域を覆っている。例えば、サイズ 2×2 のベイヤーの基本パターンとサイズ 3×3 のスライディング近傍の場合、性能の点で、サイズ 4×4 の縮小近傍と同じ結果が得られる。

【0044】

図4bに示すように、ベクトル行列 y_1 を定義することもできる。ベクトル行列 y_1 は、行列 y として構成されたサイズ $P n_h n_w$ の $HW / (h w)$ 個のベクトルの行列の形式で P 個の成分を有する分解画像42を表すが、分解画像42の P 個の成分のそれぞれについて、第1の基本パターン6の代わりに第1の基本パターン6の縮小近傍30を取り込んでいる。したがって、以下の演算子を定義することにより、デモザイク行列 D_1 の簡略版を得ることができる。

【0045】

縮小近傍30を備えた P 個の成分を有する分解画像のベクトル行列 y_1 の縮小近傍30を備えたモザイク画像40の、ベクトル行列 x_1 への射影行列 M_1 は、以下のように定義される。

$$x_1 = M_1 y_1 \quad (1004)$$

【0046】

これをベクトル行列 y に変換するためのベクトル行列 y_1 の縮小近傍30の縮小行列 S_1 は、次のように定義される。

$$y = S_1 y_1 \quad (1005)$$

したがって、デモザイク行列 D_1 を次のように定義でき、

【数15】

$$D_1 = S_1 R M_1^T (M_1 R M_1^T)^{-1} \quad (1006)$$

ここで、 R は次のような相関行列である。

【数16】

$$R = \frac{1}{NPHW} E^{i=1..N} \{y_1 y_1^T\} \quad (1007)$$

【0047】

有利には、式(1006)による D_1 の定式化を使用して、参照画像データベースのカラー画像または分解画像の相関行列 R を一度だけ計算することが可能であり、前記分解画

10

20

30

40

50

像は、サイズ $n_h \times n_w$ の縮小近傍 30 を備える。したがって、考慮されるフィルタのモザイクに従って演算子 M_1 および S_1 を変更することにより、デモザイク行列 D_1 を簡単な方法で再計算することが可能である。

【0048】

デモザイク法に関連する誤差の推定は、

【数17】

$$e = E^{i=1..N} \{tr((\tilde{y}-y)(\tilde{y}-y)^T)\} \quad (1008)$$

で表すことができ、したがって

【数18】

$$e = tr\{D_1 M_1 R M_1^T D_1^T + S_1 R S_1^T - S_1 R M_1^T D_1^T - D_1 M_1 R S_1^T\} \quad (1009)$$

であり、ここで、 tr はトレース演算子である。

【0049】

したがって、参照画像データベースをエンコードするためのフィルタの特定のモザイクの性能を演繹的に評価することが可能である。

【0050】

参照画像データベースにより、縮小近傍の所定のサイズ $n_h \times n_w$ の R を計算することができる。

【0051】

フィルタのモザイクの第1の基本パターン6を定義すると、 M_1 、 S_1 、 D_1 の計算が可能になる。

【0052】

これらのデータに基づいて、第1のセンサ2上に配置された特定のモザイクの使用に関連する画像の再構成における平均誤差は、参照画像データベースから直接計算することができる。

【0053】

同様に、参照画像と分解画像との間の色差の平均値を以下に説明する方法で算出することができる。

【0054】

フィルタの分光量子効率を含む行列は、 F_{QE} で表される。分光量子効率は、モノクロメータを使用して測定できるが、フィルタのスペクトル透過関数が事前にわかっていない場合は、適切な変換によって推定できる。分光量子効率の測定は、基本パターンの各ピクセルについて、モノクロメータによって生成された準色光に対応する画像から開始して、第1のセンサ2によって取得されたデータの記録を進めることによって実行される。画像のレベルは、測定中の露光時間に関連する感度のレベルが対応するように配置される、即ち、画像のレベルには、所定の放射測定装置の感度を調和させるために、露光時間に応じた係数が乗じられる。所定の波長間隔で、所定の波長範囲にわたって P 個の異なるフィルタで覆われた P 個の異なるピクセルの量子効率を計算するには、 N 間隔の波長でフィルタまたは光路全体の透明度を測定するために機器を使用する。例えば、 $380 \text{ nm} \sim 780 \text{ nm}$ の範囲で 1 nm の間隔の場合、 $N = 401$ が得られる。

【0055】

フィルタ空間から標準化された三色 $CIE\ 1931 - XYZ$ 色空間への変換は、

【数19】

$$F_{toXYZ} = XYZ^T F_{QE} (F_{QE}^T F_{QE})^{-1} \quad (1010)$$

のように定義され、ここで、 F_{QE} はサイズ $N \times P$ の、 XYZ はサイズ $N \times 3$ の行列で、 $CIE\ 1931 - XYZ$ 色空間用に定義されたフィルタのスペクトル関数を含み、 F_{toXYZ} のサイズは $3 \times P$ である。 F_{toXYZ} は、 P 個の成分を有するカラー画像を、 $CIE\ 1931 - XYZ$ 色空間で表現された色座標を有する画像に変換できる変

10

20

30

40

50

換行列である。CIE 1931 - XYZ色空間は、1931年に国際照明委員会(CIE)によって定義された。変換行列FtoXYZのサイズをベクトルyのサイズに拡張すると、次のように定義される変換 y_{xyz} が得られ、

【数20】

$$y_{XYZ} = (I_{hw} \otimes FtoXYZ)y \quad (1011)$$

【0056】

ここで、 I_{hw} はサイズ $hw \times hw$ の単位行列であり、

⊗

はクロネッカー積を表す。

フィルタの所定のモザイクと定義された近傍サイズの参照画像データベースでの平均二乗色差 $E^{i=1..N} \{ \Delta E^2 \}$ の近似は、

【数21】

$$E^{i=1..N} \{ \Delta E \} = \sqrt{\overline{\Delta E^2}} \quad (1012)$$

と、

【数22】

$$\begin{aligned} \overline{\Delta E^2} &= \text{tr}(K(\hat{y} - y)(\hat{y} - y)^T K^T) \\ &= \text{tr}\{KD_1 M_1 R M_1^T D_1^T K^T + KSR S^T K^T - KSR M_1^T D_1^T K^T - KD_1 M_1 R S^T K^T\} \end{aligned} \quad (1013),$$

$$K = I_{hw} \otimes J' \quad (1014),$$

$$J' = \left(\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 & 116 & 0 \\ 500 & -500 & 0 \\ 0 & 200 & -200 \end{bmatrix} FtoXYZ \right) \quad (1015)$$

で与えられ、 J' は、CIE L*a*b*色空間への変換の近似値である。

【0057】

CIE 1931 - XYZ色空間での表現は、視覚システムの線形表現である。現在、この表現は色差を予測するには不十分である。したがって、そのためにCIE L*a*b*色空間が使用され、これにより、色空間が均一になり、人間の知覚に近くなる。CIE L*a*b*色空間は、1976年に国際照明委員会(CIE)によって定義された。

【0058】

したがって、特に、テストされるモザイクが何であれ、Rの計算は第1の参照データベースの各画像の縮小近傍30を1回だけ実行されるため、より少ない計算コストで様々なモザイクをテストおよび評価することが可能である。したがって、所定のモザイクを用いた参照データベースの画像の再構成における平均誤差を計算することが可能である。

【0059】

有利には、本発明によるデモザイク法によって再構成された画像を、CIE 1931 - XYZ色空間から導出された任意の正規化された空間に変換することが可能である。例えば、標準CIE 61966-2-1(1999)で定義されている三色の色空間であるsRGB空間(標準の赤、緑、青)を選択できる。例えば、sRGB色空間への変換は次のように実行できる。

【数23】

$$y_{sRGB} = A(I_{hw} \otimes FtoXYZ)\hat{y} \quad (1016)$$

D_1 と x_1 に適用される式(1002)を使用すると、次のようになる。

【数24】

$$y_{sRGB} = A(I_{hw} \otimes FtoXYZ)D_1 x_1 \quad (1017)$$

10

20

30

40

50

および

【数 2 5】

$$A = I_{hw} \otimes \begin{bmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \quad (1018)$$

A は、CIE 1931 - XYZ 色空間から sRGB 色空間への変換行列である。

【0060】

図 5 は、本発明によるデモザイク行列の計算の、スペクトル領域全体、即ち連続スペクトル領域への一般化を示している。図 5 は、異なるスペクトル成分、即ち 2 つの所定の波長間のエネルギーの値の関数として定義されるスペクトルパワー密度 $L(\lambda)$ の光源 50 を示す。光源 50 は、マルチスペクトル反射率画像 $R(x', y', \lambda)$ 52 によって表される物体 51 の表面によって反射される。反射率は、それが反射される物体 51 による光源 50 のスペクトルの変調を表す。マルチスペクトル反射率画像 52 は、直交座標系 (x', y', λ) で定義されたサイズ $H \times W$ の P 個の画像で構成されている。反射物体または反射表面 51 での光 50 の反射は、放射輝度画像 $L(\lambda) R(x', y', \lambda)$ を与える。

10

【0061】

マルチスペクトル反射率画像 52 にスペクトルパワー密度 $L(\lambda)$ を乗じて放射輝度画像 53 を決定することにより、マルチスペクトル反射率画像から始まる多成分画像 54 を表現することが可能である。次に、放射輝度画像 53 を表す行列に、光のスペクトル成分および $C(\lambda)$ の関数としてフィルタ $F_1(\lambda)$ 、 $F_2(\lambda)$ 、...、 $F_P(\lambda)$ の透過関数を乗じる。この演算は、図 6 a および図 6 b に示されているように、ベクトル形式で実行することができる。 $C(\lambda)$ は、フィルタのモザイクのスペクトル感度を含まない状態でのカメラの光路のスペクトル感度として定義される。その光路上で、カメラは、対物レンズ、赤外線フィルタ、ローパス空間フィルタ、マイクロレンズシステム、および第 3 のセンサ 55 を含んでもよい。次に、 $C(\lambda)$ は、モザイクのフィルタの透過関数を含まない状態での光路の各構成要素のスペクトル透過関数の積として定義することができる。カメラの光路上のセンサのみを考慮する場合、 $C(\lambda)$ は第 3 のセンサ 55 の感度である。代替的に、センサに加えて、対物レンズ、赤外線フィルタ、ローパス空間フィルタ、マイクロレンズシステムなど、1 つ以上の構成要素を光路上で考慮することもできる。

20

30

【0062】

デモザイク行列を決定することによってモデル化される演算は、放射輝度画像 53 を取得した後、スペクトル関数 $F(\lambda)$ である、フィルタの第 2 のモザイク 57 が配置された第 3 のセンサ 55 によって生成されたモザイク画像 56 から始まる多成分画像の再構成である。フィルタの第 2 のモザイク 57 は、スペクトル領域における値の P 個の範囲に対して定義された P 個のフィルタから構成される。一般に、400 nm ~ 700 nm のスペクトル領域では、10 nm の間隔が考慮される。第 3 のセンサ 55 は図 1 a に示す第 1 のセンサ 2 と同様であり、フィルタの第 2 のモザイク 57 は図 1 a に示すフィルタ 3 の第 1 のモザイクと同様である。

【0063】

図 6 a は、前記マルチスペクトル反射率画像 52 のいくつかのベクトル変換、または前記マルチスペクトル反射率画像 52 を展開するいくつかの方法を示す。

40

【0064】

第 1 のベクトル行列 z_0 を構成することができ、そのベクトルは、サイズ P のマルチスペクトル反射率画像 52 のスペクトル成分である。第 1 のベクトル行列 z_0 は、 $H \times W$ 個の異なるベクトルで構成されている。

【0065】

マルチスペクトル反射率画像 52 を表す第 2 のベクトル行列 z も構成することができる。第 2 のベクトル行列 z を構成するために、ピクセルは、サイズ $h \times w$ のグループと一緒にグループ化され、各グループは、スペクトル成分 P の全てに対してフィルタの第 2 のモ

50

ザイク 5 7 上の基本パターン 6 の位置に対応する。したがって、第 2 のベクトル行列 z は、 $HW / (hw)$ 個のサイズ hwP のベクトルで構成される。

【 0 0 6 6 】

第 3 のベクトル行列 z_1 は、フィルタの第 2 のモザイク 5 7 上の基本パターン 6 のそれぞれの周りのサイズ $n_h \times n_w$ の近傍を使用して、マルチスペクトル反射率画像 5 2 から開始して構成することができる。近傍の各ピクセルのスペクトル成分の累積ベクトルのディメンジョンは $n_h n_w P$ である。次に、第 3 の行列 z_1 は $HW / (hw)$ 個の異なるベクトルで構成される。

【 0 0 6 7 】

図 6 b は、第 1 のベクトル行列 z_0 から始まる多成分ベクトル行列 y_0 の計算を示す。マルチスペクトル反射率画像 5 2 を表す第 1 のベクトル行列 z_0 に、最初にディメンジョン $P \times P$ の対角行列 L_0 を乗じると、その成分は光源のスペクトル密度 $L(\)$ の P 値であり、行列 L_0 の他の値はゼロに設定される。次いで第 2 に、その結果にディメンジョン $P \times P$ の対角行列 C_0 を乗じる。対角行列 C_0 は、その対角線上に、フィルタのモザイク 5 7 のスペクトル透過関数を含まないカメラの光路のスペクトル感度 $C(\)$ の成分を含む。次に、その結果に、フィルタのモザイクの P 個のフィルタ $F_1(\)$ 、 $F_2(\)$ 、 \dots 、 $F_P(\)$ の P 個のスペクトル透過関数の行列 F_0 の転置行列を乗じるが、前記行列 F_0 のサイズは $P \times P$ である。したがって、結果は以下のサイズ $P \times HW$ の多成分ベクトル行列 y_0 になる。

【 数 2 6 】

$$y_0 = F_0^T C_0 L_0 z_0 \quad (1019)$$

【 0 0 6 8 】

図 2 b に示すように、ベクトル行列 y が多成分分解画像 I_i から開始して構成されるのと同じ方法で、即ち、図 4 b に示すように、前記行列の行ベクトルに第 1 の基本パターン 6 を組み込み、行ベクトルに第 1 の基本パターン 6 を含めることにより、マルチスペクトル反射率画像 5 2 から開始して第 2 のベクトル行列 z を構成することが可能である。この場合、 z のディメンジョンは $P \times hw \times HW (hw)$ である。次に、式 (1019) を転置して、 y を z の関数として

$$y = F^T C L z \quad (1020)$$

と表すことができ、ここで

$$F = I_{hw} \otimes F_0, \quad C = I_{hw} \otimes C_0, \quad \text{および} \quad L = I_{hw} \otimes L_0, \quad \text{であり、}$$

I_{hw} はサイズ $hw \times hw$ の単位行列である。

【 0 0 6 9 】

次に、マルチスペクトル画像に適用される新しいデモザイク行列 D_2 は、

【 数 2 7 】

$$D_2 = F^T C L S_1 R' L_1^T C_1^T F_1 M_1^T (M_1 F_1^T C_1 L_1 R' L_1^T C_1^T F_1 M_1^T)^{-1} \quad (1021)$$

と記述でき、ここで

【 数 2 8 】

$$R' = \frac{1}{NHW P_\lambda} E^{i=1..N} \{z_1 z_1^T\} \quad (1022)$$

$$y_1 = F_1^T C_1 L_1 z_1 \quad (1023)$$

$$F_1 = I_{n_h n_w} \otimes F_0 \quad (1024)$$

$$L_1 = I_{n_h n_w} \otimes L_0 \quad (1025)$$

$$C_1 = I_{n_h n_w} \otimes C_0 \quad (1026)$$

であり、 $x_1 = M_1 y_1 = M_1 F_1 C_1 L_1 z_1$ および $y = S_1 y_1$ である。

【 0 0 7 0 】

10

20

30

40

50

このように定義された新しいデモザイク行列 D_2 により、フィルタ F_0 の透過関数と光源 L_0 のスペクトル密度の M_1 によって特徴づけられるフィルタのモザイク内の色の配置を考慮することが更に可能になる。有利には、 D_2 の定式化は、本発明による縮小近傍の定義を考慮に入れる。

【0071】

また、フィルタの空間配置、フィルタのスペクトル透過関数、および使用する光源によって定義される特定のフィルタのモザイクの性能を演繹的に計算することもできる。この目的のために、デモザイク処理に関連する推定誤差を計算する式(1008)、(1009)およびデモザイク処理に関連する色差を計算する式(1012)、(1013)、(1014)、(1015)をマルチスペクトル領域に適合させることが可能である。

10

【0072】

フィルタの分光量子効率 F_{QE} は、フィルタ F および C の透過行列の積に相当し、ここで、 C は、センサの感度に、フィルタのモザイクがない状態でのカメラの光路の構成要素のスペクトル透過関数を乗じたものである。簡単にするために、 C を計算するためにセンサの感度のみを考慮することが可能である。

【0073】

有利には、式(1021)において、式 $F^T C L S_1$ による左側の乗算は、 P 個の色成分に従って再構成された画像を射影する。換言すると、 $F^T C L S_1$ は、スペクトル領域の P 個の成分を、モザイクのフィルタの P 個の色に射影する。

【0074】

P 個の色成分に従って再構成された画像の射影が実行されない場合、マルチスペクトル画像の再構成フィルタが得られる。したがって、モザイク画像から開始して再構成された画像の各ピクセルに対する色スペクトルを推定することが可能である。

20

【0075】

図7は、例えば、 D_1 などのデモザイク行列の畳み込みフィルタへの変換を示している。

【0076】

行列 D_1 などのデモザイク行列により、モザイク画像を表すベクトル行列 x_1 から開始して、再構成された画像を表すベクトル行列 y を、 $y = D_1 x_1$ に再構成することができる。

30

【0077】

デモザイク行列の各行を、カラー画像のサイズ $h \times w$ の第5の基本パターン70のピクセルの1つの色の1つを P 個の成分で再構成することを可能にする、畳み込みフィルタと見なしてもよい。第5の基本パターン70は、モザイク画像内の前記対応するピクセルを含む基本パターン $h \times w$ の、サイズ $n_h \times n_w$ の縮小近傍73から開始して、サイズ $P \times h \times w$ の第1の列ベクトル71としてエンコードされる。縮小近傍73は、第2の列ベクトル74としてエンコードされる。

【0078】

デモザイク行列 D_1 の各行は、モザイク画像の各ピクセルに適用される等価な畳み込みフィルタ72に変換され、 P 個の成分を有するカラー画像のピクセルを再構成することができる。有利には、それぞれがモザイク画像のピクセルに適用できる一連の畳み込みフィルタとしてデモザイク行列を表現することにより、計算時間、計算リソースおよびメモリの点で高価な演算となるモザイク画像のベクトル行列への変換を回避することができる。有利には、このようにして、分解しなければならないベクトル行列の形ではない再構成画像が得られる。したがって、再構成画像のベクトル行列を、基本パターンの各ピクセルが畳み込みフィルタに対応する完全な再構成画像に変換する演算を省くことにより、計算時間、計算リソース、およびメモリを節約することが可能である。

40

【0079】

畳み込みフィルタへの変換はまた、マルチスペクトルモザイク画像のデモザイク行列 D_2 にも適用できる。

50

【0080】

また、本発明によれば、フィルタの透過関数のスペクトル最適化方法およびモザイクの基本パターン上でのフィルタの配置方法を実行することが可能となる。

【0081】

この目的のために、本発明による縮小近傍30と共に最小二乗法を使用して、フィルタまたはデモザイク行列のトレーニングが使用される。上記および特に式(1021)で見られるように、デモザイク行列は、フィルタFのスペクトル関数によって表すことができる。デモザイク行列を使用して、第3のセンサ55によって捕捉された画像をP個の成分を有するカラー画像に再構成する際の品質基準MSE(平均二乗誤差)およびEを計算することが可能である。したがって、生成される画像の品質基準を最大化するために、フィルタのスペクトル関数のパラメータを最適化することが可能である。

10

【0082】

図8に示すように、図1に示す原理に従って取得された画像から開始して、本発明による方法を使用して、P個の色成分を有する画像を再構成することが可能である。式(1016)および以下の式を使用して、CIE 1931-XYZ空間などの標準化された三色空間で生成された画像を再構成することも可能である。

【0083】

図8では、画像の形成のモデルは、マルチスペクトル反射率画像52から開始して、
 ・マルチスペクトル反射率画像52から始まる式 $y_{XYZ} = F_t \cdot X_{YZ} \times F^T L C_z$ によって生成されたCIE 1931-XYZ三色空間の3成分画像80であって、3成分のそれぞれはフィルタX()、Y()、Z()の1つに対応する3成分画像80と、
 ・それぞれがフィルタ $F_1()$ 、 $F_2()$ 、...、 $F_p()$ の1つの出力に対応するP個の成分を有する多成分画像54と、
 ・ベクトル行列形式のスペクトル関数F()のフィルタの第3のモザイク83を介して直接第3のセンサ55によって取得された画像に対応するモザイク画像56であって、そのベクトルはフィルタ $F_1(1)$ 、 $F_2(1)$ 、...、 $F_p(1)$ のスペクトル関数であるモザイク画像56と

20

の間で、画像の再構成を提案する。

【0084】

放射輝度画像53は、光束を3つの成分に分割するためのシステムを含む第1の理論的で理想的な撮像システムによって測定することができる。各成分は、フィルタX()、Y()、Z()を通過し、次に、第4の理想的なセンサ81によって測定される。C()は、センサを含むがフィルタのモザイクがない状態でのカメラの光路のスペクトル感度である。このような理想的な撮像システムでは、CIE 1931-XYZ色空間内の各ピクセルの座標X、Y、Zを直接捕捉し、CIE 1931-XYZ色空間内に3つの成分を持つ、いわゆる理想的なカラー画像80が直接生成される。

30

【0085】

第2の撮像システムは、P個のカラーフィルタから構成されてもよく、その透過関数は、 $F_{i=1...P}()$ によって与えられる。光はこれらのP個のフィルタのそれぞれを通過し、次に、第3のセンサ55によって測定される。第3のセンサ55は、それぞれがP個のフィルタ $F_i()$ の1つに対応する、P個の色成分を有する多成分画像54を生成する。第3のセンサ55を含むがフィルタのモザイクを含まない状態でのカメラの光路のスペクトル感度は、C()である。代替的に、C()はセンサのスペクトル感度のみであると考えられることもできる。

40

【0086】

第3の撮像システムは、モデル化を試みたものである。第3の撮像システムは、第1の基本パターン6上に配置され、第3のセンサ55のサイズで複製されたP個の異なる色のフィルタ83の第2の行列、またはモザイクから構成される。第3の撮像システムはまた、第3のセンサ55も備える。

50

【 0 0 8 7 】

最初のベクトル行列 z_0 から開始して、以下の成分 $X Y Z$ の理想的な画像に対応するベクトル行列 $y_{x y z}$ を構成できる。

$$y_{x y z} = X Y Z^T L_0 z_0 \quad (1027)$$

例えば、

【 数 2 9 】

$$XYZ = \begin{bmatrix} X(380) & Y(380) & Z(380) \\ X(381) & Y(381) & Z(381) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X(780) & Y(780) & Z(780) \end{bmatrix} \quad (1028)$$

$$L_0 = \begin{bmatrix} L(380) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & L(381) & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & L(780) \end{bmatrix} \quad (1029)$$

10

また、

【 数 3 0 】

$$C_0 = \begin{bmatrix} C(380) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & C(381) & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & C(780) \end{bmatrix} \quad (1030)$$

20

【 0 0 8 8 】

行列 $y_{x y z}$ のサイズは $3 \times HW$ であり、再構成された画像の各ピクセルの3つの成分 $X Y Z$ を含むサイズ $H \times W \times 3$ の画像に変換できる。

【 0 0 8 9 】

サイズ $n_h n_w P \times HW (hw)$ の第3の行列 z_1 から開始して、デモザイク行列 D_2 は式 (1021) に従って記述できる。

【 0 0 9 0 】

D_2 を書くこの方法は、参照画像データベースの全ての画像について、相関行列 R' 全体について一度計算することを可能にする。これにより、帰納的に定義され、フィルタのスペクトル関数の行列 F_1 にエンコードされたフィルタのモザイクのデモザイク行列 D_1 を計算できる。したがって、式 (1031) による D_2 のモデルは、解かれるべき問題のデータの関数としてのデモザイク演算子または行列 D_2 の直接表現、即ち、フィルタのモザイクのフィルタのスペクトル関数の最適化を、有利に可能にする。したがって、取得された画像の再構成の品質を最適化するように F_1 を得ることが可能である。

30

【 0 0 9 1 】

使用される最適化基準は、空間 MSE および比色 E という画像再構成の品質基準である。

【 0 0 9 2 】

最適化基準は、マルチスペクトル反射率画像 5_2 から始まる第4の理想的なセンサ 8_1 によって生成される理想的な画像 8_0 と、フィルタの第3のモザイク 8_3 を介して取得され、デモザイク処理され、即ち、デマトリクス処理され、最適化基準の計算を可能にする色空間に変換されるモザイク画像 5_6 との間で、計算される。

40

【 0 0 9 3 】

最適化基準を計算するために、 $sRGB$ 空間または $Adobe$ (登録商標) RGB などの他の関連空間内の位置を採用できる。 $sRGB$ 空間内の位置を採用するには、上記の演算を実行する、即ち、式 (1010) と (1011) を使用して標準化された三色 $CIE 1931 - XYZ$ 色空間に変換し、次に式 (1016)、(1017)、(1018) を使用して $sRGB$ 空間に変換する。

【 0 0 9 4 】

別の色空間を使用することもできる。例えば、行列 A を変更することで、 XYZ 空間に

50

基づいて表現できる色空間を得ることができる。その他の空間では、F t o X Y Zを置換する必要がある。例えば、宛先空間がA B Cと呼ばれる場合、式(1010)でX Y ZをA B Cに置換することによってF t o A B Cを推定する必要がある。

【0095】

M S Eタイプの基準またはP S N Rタイプの基準を計算することも可能である。P S N R(ピーク信号対雑音比)は、画像の色歪みの指標である。s R G B空間で表現された2つの多成分画像の場合、 $I'(x', y', c)$ と $K'(x', y', c)$ は0と1の間で正規化され、ここで、 c は3色成分の1つであり、基準M S Eは次のように計算される。

【数31】

$$MSE = \frac{1}{HWP} \sum_{x'=1..H} \sum_{y'=1..W} \sum_{c=1..P} (I'(x', y', c) - K'(x', y', c))^2 \quad (1031)$$

10

【0096】

基準P N S Rは次のように計算される。

【数32】

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{1}{MSE} \quad (1032)$$

【0097】

Eの計算は、X Y Z参照系で表現された2つの画像 I' と K' については、非線形計算を区分線形関数で次のように近似して実行される。

20

【数33】

$$\Delta E = \sqrt{\frac{1}{HW} \sum_{x'=1..H} \sum_{y'=1..W} (I'(x', y', c) - K'(x', y', c))} \quad (1033)$$

ここで、

【数34】

$$K'' = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 & 116 & 0 \\ 500 & -500 & 0 \\ 0 & 200 & -200 \end{bmatrix} \text{diag}(XYZ \cdot \text{diag}(XYZ^T L))^{-1} \quad (1034)$$

ここで、 diag はベクトルを行列の対角線に配置する関数である。

【0098】

図9は、反射率画像 $R(x', y',)$ で実行される様々な演算を示している。

30

【0099】

図9に示すように、以下の3つの異なる画像が生成される。

- ・理想的なカラー画像80などのC I E 1931 - X Y Z色空間における第1の3成分画像103、
- ・多成分画像54など、3つのカラーフィルタが配置された第3のセンサ55から生じる第2の3成分画像104、
- ・モザイク画像56に対応する、フィルタの第3のモザイク83が配置されている第3のセンサ55から生じる第3の3成分画像105。

【0100】

各画像は、第3および第4のセンサ55、81の出力における3つの異なる処理経路100、101、102の1つからのものである。

40

【0101】

第1の経路100は、図6aに示すように、マルチスペクトル反射率画像 $R(x', y',)$ をサイズPのHW個のベクトルの行列 z_0 に変換することから構成される、第2の処理経路101の第1の処理を使用する。放射輝度画像 $L() R(x', y',)$ から開始することもできる。

【0102】

次に、第1の処理経路100の第1の処理は、式(1027)によって記述されるように、X Y Z空間への行列 z_0 の射影である。サイズ $3 \times HW$ のベクトル行列 z_{xyz} が得

50

られる。

次に、式(1017)と(1018)で説明されているように、行列 z_{XYZ} は、行列Aを適用して、sRGB空間に射影される。サイズ $3 \times HW$ の新しい行列 z_{sRGB} が得られる。次に、行列 z_{sRGB} を「展開」して、sRGB色空間でサイズ $H \times W$ の第1の3成分画像103を再構成できる。

【0103】

第2の経路101は、式(1019)に従ってベクトル行列 y_0 を得るために、ベクトル z_0 に対して、図6bに示される演算を実行する。次に、ベクトル行列 y_0 は、図2bに示すように、ディメンジョンがPhwで $HW/(hw)$ 個のベクトルの行列に変換される。次に、関係(1011)によって説明されているように、ベクトル行列 y_0 は関数FtoXYZによってXYZ空間に射影される。このようにして、サイズ HW の3つのベクトル y_{0XYZ} の行列が得られる。次に、式(1017)と(1018)で説明されているように、行列 y_{0XYZ} は、行列Aを適用して、sRGB空間に射影される。サイズ $3 \times HW$ の新しい行列 y_{0sRGB} が得られる。次に、行列 y_{0sRGB} を「展開」して、sRGB色空間でサイズ $H \times W$ の第2の3成分画像104を再構成できる。

10

【0104】

フィルタの第3のモザイク83で覆われた第3のセンサ55によって取得されたマルチスペクトル反射率画像 $R(x', y',)$ から始まる第3の経路102は、図6aに示すように、サイズ $P \times n_h \times n_w \times HW/(hw)$ の行列 z_1 を与える。行列 z_1 から開始して、サイズ $n_h \times n_w \times HW/(hw)$ の行列 x_1 は、関係(1023)に従って

20

【数35】

$$x_1 = M_1 F_1^T C_1 L_1 z_1$$

となるように得ることができる。次に、式(1021)で説明したデモザイク行列 D_2 の形式のデモザイク行列 D_0 を適用すると、 $y_{\sim 1} = D_0 x_1$ となるようなサイズ $P \times n_h \times n_w \times HW/(hw)$ の $y_{\sim 1}$ が得られる。次に、変換FtoXYZが $y_{\sim 1}$ に適用され、式(1011)、即ち、サイズ $3 \times HW$ の

$$y_{\sim XYZ} = (I_{hw} \otimes F_{toXYZ}) y_{\sim 1},$$

に従ってXYZ空間で結果の画像が取得される。最後に、式(1018)で定義された行列Aを適用することにより、

30

$$y_{\sim sRGB} = A (I_{hw} \otimes F_{toXYZ}) y_{\sim XYZ}$$

でサイズ $3 \times HW$ となる $y_{\sim sRGB}$ が得られる。次に、得られた行列 $y_{\sim sRGB}$ は、sRGB色空間で第3の3成分画像105を再構成するために「展開」される。

【0105】

図9に示す異なるベクトル行列から開始して、 E_1 、 E_2 、 E_3 およびMSEなどいくつかの異なるEを計算でき、これらのEを最小化して、スペクトル関数とフィルタの第3のモザイク83での分布を最適化することを試みる。異なるEの計算は、式(1012)、(1013)、(1014)および(1015)に従って実行される。

【0106】

40

第1の E_1 は、マルチスペクトル反射率画像 $R(x', y',)$ から開始して直接生成された行列 z_{XYZ} に含まれる画像と、フィルタ F_1 、 F_2 、 F_3 を介して直接取得され、次いでXYZ色空間への変換を経た画像 y_{0XYZ} との間で計算される。

【0107】

第2の E_2 は、行列 z_{XYZ} に含まれる画像と、フィルタの第3のモザイク83を使用して取得した後のXYZ色空間で表される画像 $y_{\sim XYZ}$ との間で計算される。

【0108】

第3の E_3 は、フィルタの演色能力をテストするために画像の再構成を使用しない純粋なスペクトル基準である。第3の E_3 を計算するには、マクベス(Macbeth)テストチャートまたは24色を含むカラーチャートのスペクトルを使用する。代替的に、

50

他のスペクトル参照基準を使用することも可能である。マクベステストチャートの24の正方形のマルチスペクトル反射率データから開始して、一方ではXYZ色空間への変換が直接適用されて第4番の画像を得て、他方ではフィルタ F_1 、 F_2 、 F_3 およびカメラの光路の感度、次いで第3のセンサ55の出力における画像のXYZ色空間への変換が適用されて、第5の画像を得る。第4および第5の画像は、第3の E_3 の計算に使用される。

【0109】

次に、MSEとPNRは、マルチスペクトル反射率画像から開始して直接生成された第1の画像103と、モザイク行列83と第3のセンサ55とを通過した後のマルチスペクトル反射率画像から開始して生成された第3の画像との間で計算される。

10

【0110】

図10は、本発明によるデモザイク装置および方法を示す。

【0111】

第1のステップ100は、画像取得装置102によるカラー画像101を取得するステップである。画像取得装置102は、図1a、図5、および図8に示すように、センサ2、55を備える。画像取得装置102は、図1a、図5、および図8に示すように、モザイクフィルタ3、57、83、またはフィルタのモザイクを、HW個のフィルタのマトリックスの形態で更に備える。フィルタのモザイク3、57、83がセンサに適用される。この装置はまた、カメラによって取得された光を、モザイクフィルタ3、57、83を備えたセンサ2、55に向けて収束させる光学装置も備えている。したがって、センサ2、55のセルに到達する前に、光はフィルタのモザイク3、57、83のカラーフィルタ7の1つを通過する。図4aに示すように、センサ2、55に由来する生信号103は、サイズ $H \times W$ のモザイク画像40の形で表すことができる。次に、モザイク画像40は、本発明によるデモザイク演算105を実行する第1の計算機またはコンピュータ104に送信される。デモザイク演算は、図4aに示すように、行列形式 x_1 で表されるモザイク画像40にデモザイク行列 D_0 、 D_1 、 D_2 を乗じることで構成される。デモザイク演算105の結果は、ベクトル行列であり、この行列は、図2bに示すプロセスとは逆のプロセスに従って、いくつかの色成分で生成された画像に変換され、このことは、ベクトル行列を「展開」して、いくつかの色成分を含む画像の形式で表現することで構成される。次に、再構成画像106を、ディスプレイ107など、その活用のための適切な手段に送信することができる。

20

30

【0112】

図11は、デモザイク行列を生成する方法とその装置を示す。

【0113】

デモザイク行列を構成するための装置は、第1のデータベース110を含む。第1のデータベース110は、いわゆる参照画像を含む。参照画像は、多成分画像またはマルチスペクトル画像であってもよい。参照画像はまた、可視スペクトル外の画像であってもよい。第1のデータベース110から開始して、デモザイク行列を構成する第1のステップは、フィルタのモザイクで覆われたセンサからのモザイク画像をモデル化するステップである。モデル化は、センサ2、55のモデルを実装するシミュレーションアプリケーション111によって実行される。シミュレーションアプリケーション111は、第2の計算機またはコンピュータ112の1つ以上のプロセッサによって実行されてもよい。代替的に、シミュレーションアプリケーション111は、第1の計算機104によって実行されてもよい。

40

【0114】

各参照画像から開始して、シミュレーションアプリケーション111は、モザイク画像を生成し、これにより、いわゆるモザイク画像の第2のデータベース114が追加されるであろう。

【0115】

第2のデータベース114が構築されると、デモザイク行列を構成するための方法の第

50

2のステップ115を実施することができる。デモザイク行列を構成する方法を、第2の計算機112の1つ以上のプロセッサ上で実行されるコンピュータプログラムによって実行することができる。代替的に、デモザイク行列を構成する方法は、第3の計算機、またはコンピュータ(図示せず)、あるいは第1の計算機104で実行することができる。デモザイク行列を構成する方法は、2つのデータベース110、114の画像を使用する。第1のデータベース110は、テスト中のデモザイク行列をそれに適用することによって、即ち、本発明によるデモザイク法を使用することによって、参照画像から始まるモザイク画像を生成するために使用される。このようにして生成されたモザイク画像は、次に、第2のデータベース114内の参照画像に対応するモザイク画像と比較される。この比較は、シミュレーションによって生成されたモザイク行列と、テスト中のデモザイク行列の適用によって構成されたモザイク行列との間の誤差の計算で構成される。デモザイク行列を構成する方法は反復法であり、モザイク行列の構成の誤差がしきい値を下回ると、反復は停止する。そうでない場合は、新しいデモザイク行列が決定され、テストされる。

10

【0116】

本発明の異なる実施形態は、様々なステップを含む。これらのステップは、例えば、マイクロプロセッサによって実行可能な機械命令によって実行されてもよい。

【0117】

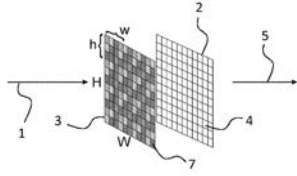
代替的に、これらのステップは、ステップを実行するための配線論理を含む特定の集積回路によって、またはプログラム可能なコンポーネントと個別コンポーネントとの任意の組合せによって実行されてもよい。

20

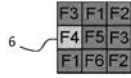
【0118】

本発明はまた、コンピュータプログラム製品の形態で提供されてもよく、該製品は、データ処理マシン上で実行可能な命令を含む非一時的なコンピュータ記憶媒体を含んでもよく、これらの命令は、本方法を実行するためのコンピュータ(または他の任意の電子デバイス)をプログラミングするために使用可能である。

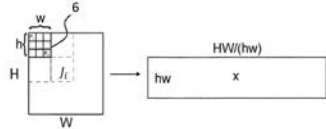
【 図 1 a 】



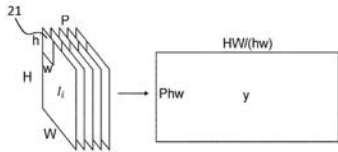
【 図 1 b 】



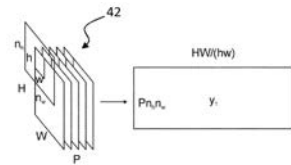
【 図 2 a 】



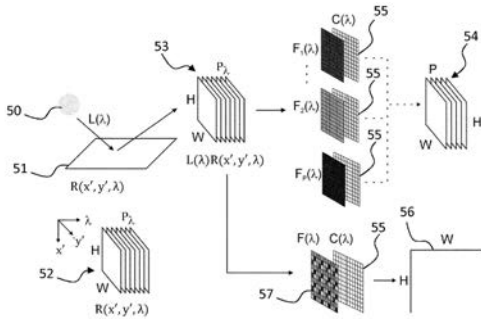
【 図 2 b 】



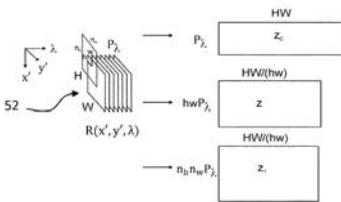
【 図 4 b 】



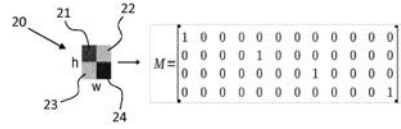
【 図 5 】



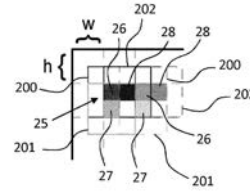
【 図 6 a 】



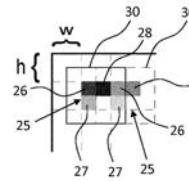
【 図 2 c 】



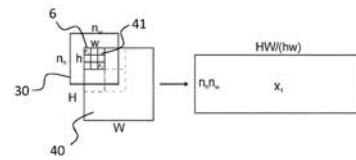
【 図 2 d 】



【 図 3 】



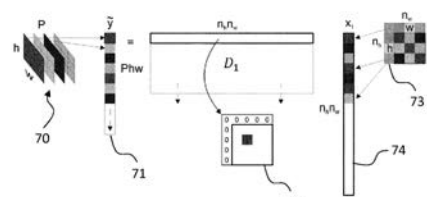
【 図 4 a 】



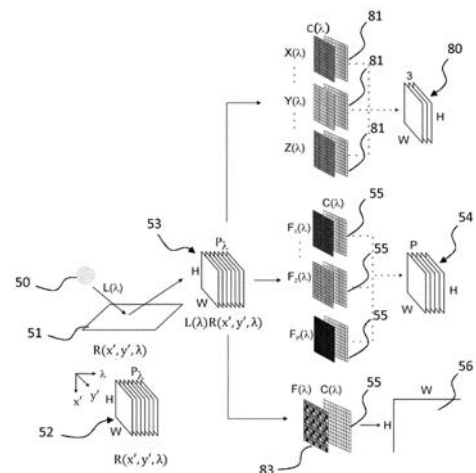
【 図 6 b 】

$$P \begin{bmatrix} HW \\ y_i \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} P_2 & & \\ & 0 & \\ & & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_2 & & \\ & 0 & \\ & & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} HW \\ z_i \end{bmatrix} P_2$$

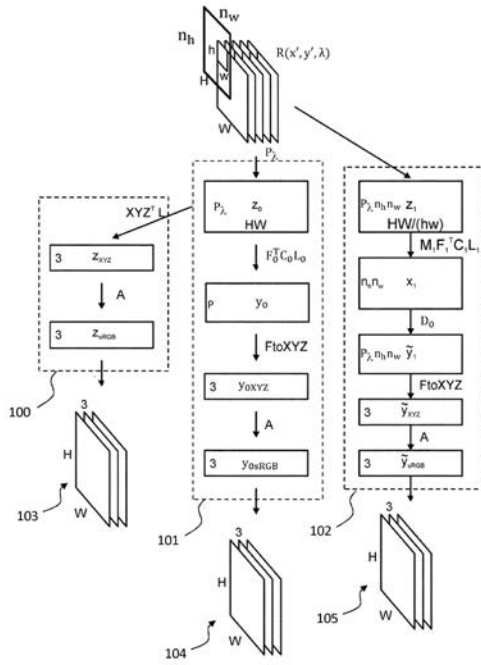
【 図 7 】



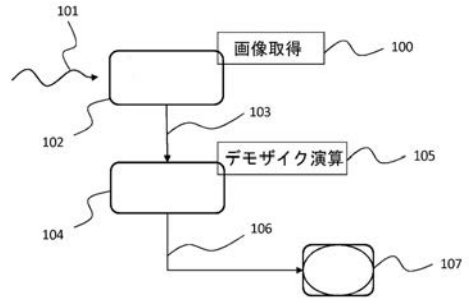
【 図 8 】



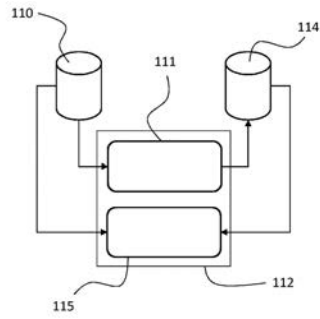
【 図 9 】



【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/EP2019/054222
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>H04N 9/04(2006.01)i; G06T 3/40(2006.01)i</i> According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H04N; G06T Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 2561681 A1 (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]) 27 February 2013 (2013-02-27) cited in the application paragraph [0016] - paragraph [0072]; figures 1-9	1-15
A	EP 2160904 A2 (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]; UNIV JOSEPH FOURIER [FR]) 10 March 2010 (2010-03-10) cited in the application paragraph [0045] - paragraph [0091]; figures 1, 2a, 2b	1-15
A	TRUSSELL H J ET AL. "Mathematics for Demosaicking" <i>IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US</i> , Vol. 11, No. 4, 01 April 2002 (2002-04-01), ISSN: 1057-7149, XP011074253 the whole document	1-15
A	US 7149262 B1 (NAYAR SHREE K [US] ET AL) 12 December 2006 (2006-12-12) column 6, line 34 - column 30, line 43; figures 1-31	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date, or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 07 May 2019		Date of mailing of the international search report 16 May 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Seytter, Fritz Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/054222

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	2561681	A1	27 February 2013	EP	2561681	A1	27 February 2013
				FR	2959092	A1	21 October 2011
				JP	5736447	B2	17 June 2015
				JP	2013526170	A	20 June 2013
				US	2013258114	A1	03 October 2013
				WO	2011131898	A1	27 October 2011
EP	2160904	A2	10 March 2010	EP	2160904	A2	10 March 2010
				FR	2917559	A1	19 December 2008
				JP	6104985	B2	29 March 2017
				JP	2010531560	A	24 September 2010
				JP	2013243750	A	05 December 2013
				JP	2015188240	A	29 October 2015
				US	2010253818	A1	07 October 2010
				WO	2009007543	A2	15 January 2009
US	7149262	B1	12 December 2006	NONE			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2019/054222

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H04N9/04 G06T3/40 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H04N G06T		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 2 561 681 A1 (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]) 27 février 2013 (2013-02-27) cité dans la demande alinéa [0016] - alinéa [0072]; figures 1-9 -----	1-15
A	EP 2 160 904 A2 (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]; UNIV JOSEPH FOURIER [FR]) 10 mars 2010 (2010-03-10) cité dans la demande alinéa [0045] - alinéa [0091]; figures 1, 2a, 2b ----- -/--	1-15
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "Z" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
7 mai 2019		16/05/2019
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Seytter, Fritz

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2019/054222

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>TRUSSELL H J ET AL: "Mathematics for Demosaicking", IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 11, no. 4, 1 avril 2002 (2002-04-01), XP011074253, ISSN: 1057-7149 le document en entier -----</p>	1-15
A	<p>US 7 149 262 B1 (NAYAR SHREE K [US] ET AL) 12 décembre 2006 (2006-12-12) colonne 6, ligne 34 - colonne 30, ligne 43; figures 1-31 -----</p>	1-15

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2019/054222

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2561681	A1	27-02-2013	EP 2561681 A1	27-02-2013
			FR 2959092 A1	21-10-2011
			JP 5736447 B2	17-06-2015
			JP 2013526170 A	20-06-2013
			US 2013258114 A1	03-10-2013
			WO 2011131898 A1	27-10-2011

EP 2160904	A2	10-03-2010	EP 2160904 A2	10-03-2010
			FR 2917559 A1	19-12-2008
			JP 6104985 B2	29-03-2017
			JP 2010531560 A	24-09-2010
			JP 2013243750 A	05-12-2013
			JP 2015188240 A	29-10-2015
			US 2010253818 A1	07-10-2010
WO 2009007543 A2	15-01-2009			

US 7149262	B1	12-12-2006	AUCUN	

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT

(72)発明者 アンバ, プラカー

フランス共和国, 3 8 1 0 0 グルノーブル, アヴェニュー レオン ブリュム 6

Fターム(参考) 5C065 AA01 BB22 CC01 DD17 EE05 GG13 GG21 GG22 GG23