

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4328424号
(P4328424)

(45) 発行日 平成21年9月9日(2009.9.9)

(24) 登録日 平成21年6月19日(2009.6.19)

(51) Int.Cl.

F I

H O 4 N 9/07 (2006.01)

H O 4 N 9/07

A

H O 4 N 9/07

C

請求項の数 7 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願平11-298563	(73) 特許権者	398038580
(22) 出願日	平成11年10月20日(1999.10.20)		ヒューレット・パカード・カンパニー
(65) 公開番号	特開2000-134634 (P2000-134634A)		HEWLETT-PACKARD COMPANY
(43) 公開日	平成12年5月12日(2000.5.12)		アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト
審査請求日	平成18年7月25日(2006.7.25)		ハノーバー・ストリート 3000
(31) 優先権主張番号	09/177729	(74) 代理人	100075513
(32) 優先日	平成10年10月23日(1998.10.23)		弁理士 後藤 政喜
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100084537
			弁理士 松田 嘉夫
		(72) 発明者	デビット・エス・トープマン
			オーストラリア国 エヌエスダブリュー
			2073, ピンブル, ピンブル・アベニュー
			39

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像変換方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第一の画像から第二の画像を生成する為にデータ処理をする方法であって、前記第一の画像は2次元アレイの画素の値からなり、各々の前記画素の値は、複数のスペクトル帯域の内の1つにおいて前記第一の画像中における輝度に対応している、データ処理をする方法において、

前記第一の画像の前記画素を複数の入力画像平面へ分けるステップであって、前記入力画像平面の各々は前記入力画像平面の他の各々と水平方向及び垂直方向で同数のサンプルを有するサンプリング間隔で、他の前記入力画像平面と同数の画素を持ち、前記入力画像平面内の全ての前記画素は、他の入力画像平面における前記画素と同じスペクトル帯域を持つ、複数の入力画像平面へ分けるステップと、

前記第一の画像を入力画素面の組合せとして表わすステップであって、前記入力画素面の各々が大きさPのベクトルであり、前記Pは、前記複数の入力画像平面からの複数の入力画素に対応する成分を有する、入力画素面の組合せとして表わすステップと、

出力画像平面の組合せを設定するステップであって、複数のスペクトル帯域の内の1つにおいて、前記出力画像平面内の各画素が、前記第二の画像中の格子点に対応している前記第二の画像の前記輝度を表わす、出力画像平面の組合せを設定するステップと、

前記第二の画像を出力画素面の組合せとして表わすステップであって、前記出力画素面の各々が大きさQのベクトルであり、前記Qは、前記出力画像平面からの画素に対応する成分を有する、出力画素面の組合せとして表わすステップと、

10

20

前記入力画素面から得たベクトルに線形変換を用いて、前記出力画素面の少なくとも１つを含むベクトルを得るステップとを含むことを特徴とする画像変換方法。

【請求項２】

前記第一の画像が、光学装置により生成され、

前記光学装置は、感光性検出素子アレイと、前記感光性検出素子に結像するためのレンズ系とを有し、

前記線形変換が前記レンズ系の特性に依存することを特徴とする請求項１に記載の画像変換方法。

【請求項３】

前記特性が、前記レンズ系の焦点距離であることを特徴とする請求項２に記載の画像変換方法。

10

【請求項４】

前記特性が、前記レンズ系のｆナンバーであることを特徴とする請求項２に記載の画像変換方法。

【請求項５】

前記線形変換が、前記第一の画像を生成する為に用いられた照明源に基づいて変化することを特徴とする請求項１に記載の画像変換方法。

【請求項６】

前記線形変換が前記第一の画像に取り込まれた像の種類に基づいて変化することを特徴とする請求項１に記載の画像変換方法。

20

【請求項７】

前記線形変換が前記第二の画像の出力フォーマットに基づいて変化することを特徴とする請求項１に記載の画像変換方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、デジタルカメラに関し、より具体的にはカメラセンサからのデータをカラー画像へと変換する為の改善された画像変換方法に関する。

【０００２】

【従来の技術】

30

通常、デジタルカラー画像は、整列した格子上の各格子点における画像の輝度を表わす画素値の配列により構成される。代表的には３つの色が画像の作成に利用される。格子上の各格子点には、これら各々の色の輝度が指定されており、従ってその格子ポイントには、画像の輝度及び色の両方が指定される。

【０００３】

従来のカラー写真記録では、スペクトルの異なる感度領域（通常は赤、緑、青）を有する色感度層が３つ重なり合うことにより、画像データが記録されている。それとは対照的に通常デジタルカメラでは、１つの単層のセンサアレイが用いられる。

【０００４】

カラー画像を検出するセンサアレイが１つだけの場合、特定のセンサ位置で検出されるのは一色のみである。結果として、これらのセンサによって作られるのは、これまでの通念のカラー画像ではなく、むしろ個々のセンサに割り当てられたカラーフィルタによる個々の色サンプルの集合である。この割り当てはカラーフィルタ配列（ＣＦＡ）、即ちカラーモザイク配列と呼ばれる。この配列の各位置において検出されるのはもともと一色のみであるので、各サンプル位置において色サンプルの完全なセット（通常は赤、緑、青）を持つ真のカラー画像を作成するために、失われた情報を推定するための多大な量の計算が必要となる。この処理を「デモザイク」処理と呼ぶことにする。

40

【０００５】

失われた情報を生成するために、画像センサ内の隣接する画素の情報を使わなければならない。推定処理により発生する人工的な結果を最低限に抑えつつ失われた情報を提供しよ

50

うと、多くのアルゴリズムが提案されている。最も簡単なアルゴリズムにおいては、失われた情報を提供するために類似色のカラーセンサからのデータを補間する。これらのアルゴリズムでは、例えば赤センサを緑センサから独立したものとして扱う。所定の位置に赤色の値を与えるために、その位置の領域内にある赤センサにより測定された値が補間される。この手法においては、画像を低域フィルタでフィルタリングしなければならない。このようなフィルタリングをすると、画像の解像度がその基となるセンサアレイの画素解像度よりも低くなってしまふ。しかし、この失われた解像度を回復することは出来ない。

【 0 0 0 6 】

この解像度の低下を避けるのために、高級なカメラでは、よりマイルドな光学低域フィルタを利用しているものがある。しかしながら、そのようなシステムにおいては、カラーセンサを独立したものとして取り扱うことが出来なくなる。例えば、W o b e r 等による米国特許第 5、4 7 5、7 6 9 号では、失われた色情報を計算しようとする画素に隣接した画素値の加重平均を計算することにより、失われた色情報を生成する方法が記載されている。この方法では、復元しようとする色だけではなく全てのカラーセンサによって、値に重み付けがされる。しかしながらこの方法でさえも、全ての画像に対して一組の重み付けしか用いないために、改善の要望が多い。

【 0 0 0 7 】

【発明が解決しようとする課題】

一つの画素アレイを、各平面が同じ色のセンサを有する複数の別々の画素平面から構成されているものと見る事が出来る。画素は重なり合わない為、様々な平面にあるセンサは異なる位置にある。1 以上の平面にわたって加重平均を取るシステムでは、これらサンプル位置間の統計的依存性が利用される。要するに、カメラの光学系がぼけることによって 1 つの色平面のセンサに正確に入る画像のエッジを、他の色平面にもあるかのように見せる事が出来るということで、これは画像がそのセンサ上でぼけて他の色平面に広がるためである。異なる色平面間における統計的依存性は、カメラの光学系のぼけ量によって影響を受けるために、最適なアルゴリズムとするには物理的なカメラ設定に関しての配慮が必要となる。従って、一組の重み付け関数では失われた情報の最適な推定が出来ない。

【 0 0 0 8 】

また、統計的依存性は、照明源にも依存する。異なる照明源は異なるスペクトルを持つ。画素フィルタは赤、緑及び青の波長が中心の通過帯域幅を有する。画像のぼけがない場合、いずれの画素の反応もそのカラーフィルタ、撮影される像の対応する位置の反射率、そして照明源からそのポイントに入射する光スペクトルによって決定される。カメラの光学系によるぼけは画素間の光を混ぜ合わせる。従って一般的に、統計的依存性は照明源及びカメラの光学系の両方に依存している。従来技術による方法では、画素アレイデータを完全にサンプリングされたカラーデジタル画像へと変換するにあたり、照明源についての配慮がなされていなかった。

【 0 0 0 9 】

本発明はこのような状況に鑑みてなされたもので、広義的に言えば、本発明の目的は、重なり合わないセンサを持つ画素アレイからのデータを完全にサンプリングされたデジタル画像へ変換するための改善された画像変換方法を提供するところにある。

【 0 0 1 0 】

本発明の更なる目的は、カメラの光学系に関する修正を行う画像変換方法を提供するところにある。

【 0 0 1 1 】

本発明のまた更なる目的は、照明源に関する修正を行う画像変換方法を提供するところにある。

【 0 0 1 2 】

本発明のこれら及びその他の目的は、以下の本発明に関する詳細な説明及び添付の図とにより当業者に明らかとなるものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

本発明は、データ処理システムを操作して第一の画像から第二の画像を生成するものである。第一の画像は、2次元アレイの画素値を含み、各画素値は第一の画像中の一箇所における複数のスペクトル帯域の内の1つの輝度に対応する。画像変換方法は、少なくとも1つの出力画素面を含むベクトルを得る為に、入力画素面からのベクトルへ線形変換を行う。入力画素面は、第一の画像の画素を複数の入力画像平面へと分割することにより定められる。各入力画像平面は他の入力画像平面と同数あり、正規化された水平及び垂直方向のサンプリング間隔の画素である。ある特定の画像平面中にある画素は全て、その入力画像平面内の他の画素と同じスペクトル帯域に対応する。各入力画素面は大きさP（Pは入力画像平面数）のベクトルであり、そのベクトルの各成分は対応する入力画像平面からの入力画素である。同様に、1組の出力画像平面が画定されるが、ある特定の出力画像平面中の各画素は、第二の画像中の対応するポイントにおける複数スペクトル帯域の内の1つで、第二の画像の輝度を表わしている。各出力画素面は大きさQ（Qは出力画像平面数）のベクトルであり、そのベクトルの各成分は対応する出力画像平面からの画素である。本発明の実施形態においては、線形変換は第一の画像を生成するために、利用された光学系及び照明源の特性に依存する。また、線形変換は第一の画像に取り込んだ像の内容及び第二の画像の所望の出力フォーマットを考慮するように変えることも出来る。

10

【 0 0 1 4 】

この画像変換方法によれば、入力画素面から得たベクトルに線形変換を用いて、出力画素面のベクトルを得るようにしているので、この線形変換によってベクトルを目的にそって変換することができる。

20

【 0 0 1 5 】

【発明の実施の形態】

本発明の画像変換方法は、センサアレイからサンプルを得ることのできるカラーサンプリング装置に適用でき、該センサアレイは下記の2つの条件を満たす複数の画像平面へと分解可能である。

第一の条件は、正規化された水平及び垂直のサンプリング間隔において、各画像平面がそれぞれ同数のサンプルを有していることである。また、異なる画像平面は互いに任意にずらされていても良い。

第二の条件は、ある特定の画像平面全てのサンプルが、同一の色特性でなければならないことである。また、複数の画像平面が同じ色特性であっても良い。

30

【 0 0 1 6 】

検出素子ユニットが反復してなるセンサ配列である画像センサであればいずれもこれらの条件を満たしている。例えば、ある一般的な画像センサアレイは、2つの緑センサ、1つの赤センサ及び1つの青センサを持つ2×2のセンサアレイユニットが反復してなるベイヤ配列に基づいたものである。

【 0 0 1 7 】

図1において、このベイヤ配列は10であり、ユニットは12に示されている。このような画像センサは14～17に示している様に、2つの緑平面14及び17、1つの赤平面16、そして1つの青平面15の4つの平面として見る事ができる。

40

サンプリングの間隔は、そのユニットがもともと占めている領域である。各平面は他の平面に対してずれている。見て明らかとなおり、規則正しいサンプリング格子は、いずれも上記条件を満たす1組の画像平面へと分解することが出来る。

【 0 0 1 8 】

各画像平面において測定された輝度値を、 $x_p[n_1, n_2]$ で示す。ここで n_1 及び n_2 は、p番目の画像平面における画素位置を示す記号であり、 x_p はその画素の輝度値である。量 $[n_1, n_2]$ は、 n_a で表わされるベクトルの2次元の整数値である。画像平面の組全体としては、ベクトルの組合せ $x_a[n_a]$ で表わされ、これを下記(1)式に示す。

【 0 0 1 9 】

【数1】

50

$$\mathbf{xa} [n_a] = \begin{bmatrix} \mathbf{xa}_1 [n_1, n_2] \\ \mathbf{xa}_2 [n_1, n_2] \\ \vdots \\ \mathbf{xa}_p [n_1, n_2] \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

【 0 0 2 0 】

出力画像も同様に異なる画像平面の組に定義されたベクトルの組合せとして表わすことが出来る。通常、デモザイク処理アルゴリズムの目的は、3色の平面（赤（R）、緑（G）、青（B））の規則正しい間隔である画素の組合せを生成することである。

また、i番目の色の平面における輝度は $y_i [n_1, n_2]$ で示すと、出力画素もベクトルの組合せにより表わすことが出来る。

【 0 0 2 1 】

【 数 2 】

$$\mathbf{ya} [m_a] = \begin{bmatrix} \mathbf{ya}_1 [m_1, m_2] \\ \mathbf{ya}_2 [m_1, m_2] \\ \vdots \\ \mathbf{ya}_Q [m_1, m_2] \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

【 0 0 2 2 】

デモザイク処理の場合、通常3であるが上記Qには、異なるQの値を用いることもできる。例えば、4色の染料を用いたカラープリンタで印刷する画像は $Q = 4$ として、作成することができる。

【 0 0 2 3 】

一般的に出力画像は入力画像とは異なる空間解像度を有する。入力画像は、“画素面”の組合せである $\mathbf{xa} [n_a]$ から成るように見える。同様に、出力画像は画素面の組合せである $\mathbf{ya} [m_a]$ から成る。各入力画素に対応する出力画素の縦及び横方向の数は、それぞれ n_1 及び n_2 で示される。上述のベイヤ配列の場合、デモザイク処理においては $n_1 = n_2 = 2$ とされる。即ち、入力アレイの各センサについて、1つが1つの出力画素（RGB）を作るのである。

【 0 0 2 4 】

本実施形態において、出力画素は、 $\mathbf{xa} [n_a]$ 及び $\mathbf{ya} [m_a]$ から得たベクトルに作用する線形演算によって、入力画素と関連付けられる。これらの中間ベクトルは解像度の違いや、各出力画素が1つ以上の画素面への依存について考慮される。 $\mathbf{ya} [m_a]$ に対応する中間ベクトルは、下記（3）式において、 $\mathbf{xa} [n_a]$ で表わされ、 $\mathbf{xa} [n_a]$ と同じサンプリング密度を有する。

【 0 0 2 5 】

【 数 3 】

10

20

30

40

$$\zeta[na] = \begin{bmatrix} ya [\Lambda(na + \delta_1)] \\ ya [\Lambda(na + \delta_2)] \\ \vdots \\ ya [\Lambda(na + \delta_{\lambda_1 \lambda_2})] \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

10

【0026】

ここで行列 は、下記(4)式に表される。

【0027】

【数4】

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \quad \dots (4)$$

20

【0028】

ベイア配列の場合、 $\mathbf{r}_1 = [0, 0]$ 、 $\mathbf{r}_1 = [1/2, 0]$ 、 $\mathbf{r}_1 = [0, 1/2]$ 、そして $\mathbf{r}_1 = [1/2, 1/2]$ である。以下の説明において、ベクトル $[na]$ を多相出力ベクトルと呼ぶ。

【0029】

本発明の方法においては、各多相出力ベクトルは入力画素面の有限な数に依存する。一般的に、特定の多相出力ベクトル $[na]$ に対する入力画素面は画素位置 $[na]$ の近傍に位置する。

以下により詳細を説明するが、その正確な画素はカメラ及び撮像光学系の特性により左右される。画素位置 na における多相出力ベクトルに対する入力画素面は、変位ベクトル k_1 、 k_2 、 \dots 、 k_K の組み合わせに関係している。即ち、多相出力ベクトル $[na]$ は、 $xa[na + k_1]$ 、 $xa[na + k_2]$ 、 \dots 、 $xa[na + k_K]$ に依存するのである。

30

実施形態においては、多相出力ベクトル $[na]$ は、入力画素面に線形的に依存する。また変位ベクトル k_1 、 k_2 、 \dots 、 k_K の組み合わせは、 na に対して独立しており、スカラー量としての $k_1 \times k_2$ の長方形格子に配列されている。

【0030】

出力多相ベクトル $[na]$ に依存する画素面の全てを含むベクトル $[na]$ に基づくと、下記(5)式に示すように線形関係を容易に定義することが出来る。

40

【0031】

【数5】

$$\xi[na] = \begin{bmatrix} xa[na + k_1] \\ \vdots \\ xa[na + k_k] \end{bmatrix} \quad \dots (5)$$

【0032】

また、このベクトルに置き換えると、 $[na]$ と $[na]$ との関係を行列の掛け算とすることができる。

【0033】

$$[na] = T [na] \quad \dots (6)$$

【0034】

ここで、 T は $(Q_1 \dots Q_k) \times (PK_1 K_2)$ 行列である。

【0035】

図2及び図3を参照して、出力画素 $Y_j[N, M]$ と入力画素 $x_i[N, M]$ 及び、上記のベイア配列センサにおける2つの出力多相ベクトルとの関係を説明する。図2は、センサアレイの一部分と、そのセンサアレイ中の $[N, M]$ のための入力画素を描いたものである。図3が示すのは出力RGB画像の一部及びその出力RGB画像の $[N, M]$ に対応する画素であり、これらは図2に示される画素から(6)式の行列乗算により計算されたものである。

【0036】

行列 T は複数の因子に依存する。これらのいくつかは特定の撮像装置に固有であり、またいくつかは撮像装置の特定の利用方法に依存する。例えば、画素のスペクトル感光度やモザイクパターン及び画素数などのような、センサアレイの物理的特性は、通常、画像毎に変化することはない。

対照的に、カメラのレンズ設定(f ナンバー及びズーム)といった撮像装置の光学的特性は画像毎に変化する。更に、照明源のスペクトル特性も画像により変化する(日光、フラッシュ、白熱灯等)。

【0037】

更に、取り込まれる画像の統計値は行列 T を通じて得られる。例えば、高い容量の縦及び横エッジ画像を有する画像又は画像の一部を、そのような特徴の無い画像とは異なる行列で処理することができ、従って出力画像の画質が向上する。

【0038】

可変出力フォーマットのカメラにおいては、最終画像の解像度を異なる行列 T を用いて設定することができる。かわりに、単一の行列 T を全ての解像度に対して用い、そして固定解像度の画像を再サンプリングすることにより所望の出力画像を決定しても良い。

同様に、異なる行列 T を使用することにより、又は単一色フォーマットを再サンプリングすることにより、出力画像色平面を他の色表現に変えることができる。一般的に低コスト撮像装置においては、行列 T の大きさを変える特性は、出来れば固定行列 T を用いて最終画像を再サンプリングすることが好ましい。

【0039】

異なる行列 T の数が比較的小さい場合、システムを既知の画像に向けることにより、行列 T の係数を決定することができる。可能な行列 T 各々について、撮像装置によって複数の既知の画像が撮影される。するとセンサ入力から計算された画像と、既知の画像との間の差異が最小となるように、行列 T の係数が計算される。このような最適化計算は当業者には良く知られたものであるため、ここではその詳細には触れない。

【0040】

10

20

30

40

50

f ナンバー等、幾つかのパラメータにおける変化が比較的なめらかである場合、行列 T は独立したパラメータの値についてのみ計算するだけで良い。その後、計算されなかった可変パラメータ値に対する正確な行列 T は、計算された行列 T の補間によって計算することが出来る。

【 0 0 4 1 】

(1) モデルベースの行列 T の計算

上述したように、状況によって対象となる画像から、適切な行列 T を計算することができる場合がある。残念ながらこの手法は、必要とされる異なる撮像条件の数、すなわち異なる行列 T の数が比較的小さいアプリケーションのみに限られる。

【 0 0 4 2 】

ここに示した構成の目的は、基本画像における特定の統計的モデルの対象である任意の撮像装置（例えば任意の色感度、センサ位置及び光学特性）と任意の照明により、特に良好な再構成画質が得られる行列 T を直接的に計算する方法を説明することである。後に明らかとなるように、この統計的画像モデルはわずかな数のパラメータだけで制御される。より高度なアプリケーションにおいては、種々の方法により推測可能であるエッジの方向等、画像の統計的特性が整合するように、これらのパラメータは局所的に或は全体的に調整される。

【 0 0 4 3 】

(2) 画像形成モデル

ここでは原画像を原画像の画像平面 $x_a[n_a]$ へとマッピングする画像形成プロセスにおけるパラメータを説明する。少なくとも理論上においては、画像形成モデルは測定可能な確定量に依存する。これらの確定量を以下に示す。

【 0 0 4 4 】

- ・ 像の光源のスペクトル電力密度： $l(\quad)$
- ・ 各入力画像平面 p における色スペクトル応答関数： $r_p(\quad)$
- ・ 入力画像平面 p の光学的伝達関数及びセンサ積分挙動を組合せた効果に関する点広がり関数： $h_p(\quad, s)$

【 0 0 4 5 】

ここで $s = [s_1, s_2]$ は、点広がり関数 (PSF) の、各波長における空間的に連続した引数である。留意すべきは、PSF が必然的に異なる入力画像平面間の相対的変位の作用を含んでいるという点である。以下においては PSF について、空間周波数ベクトル $\mathbf{u} = [u_1, u_2]$ が、入力画素面のナイキスト周波数において $u_1 = u_2 = 1$ となるように、正規化されるフーリエ変換 $h_p(\quad)$ を通して引用する。よって、元のセンサアレイのナイキスト周波数は $\mathbf{u} = [u_1, u_2]$ に対応する。

【 0 0 4 6 】

直接的に所望の出力画像画素面に関して、画像形成プロセスをモデリングするよりも、表面スペクトル反射率において中間表現にした方が良く、これはそれが統計学的観点から、像の放射輝度よりも良好であることがよく知られている。従って、次に述べる統計的モデリングになじみ易いのである。

【 0 0 4 7 】

具体的には、原画像のスペクトル反射率が、所定数の固定基本関数 $b_1(\quad)$ 、 $b_2(\quad)$ 、 \dots 、 $b_s(\quad)$ の一次結合として完全に表現可能であると仮定すると良く、ここで通常、 s に 3 又は 4 が選択されるが、それより大きくても良い。以下に示すように、実際の出力画像平面ベクトル $y_a[m_a]$ は、スペクトル反射率中間ベクトル $z[m_a]$ で表わすことができる。

【 0 0 4 8 】

【数 6】

10

20

30

40

$$\begin{aligned}
 ya[ma] &= T_{out} \cdot z[ma] \\
 &= \begin{pmatrix} \int_0^\infty d_1(\lambda)l(\lambda)b_1(\lambda)d\lambda & \int_0^\infty d_1(\lambda)l(\lambda)b_2(\lambda)d\lambda & \cdots & \int_0^\infty d_1(\lambda)l(\lambda)bs(\lambda)d\lambda \\ \int_0^\infty d_2(\lambda)l(\lambda)b_1(\lambda)d\lambda & \int_0^\infty d_2(\lambda)l(\lambda)b_2(\lambda)d\lambda & \cdots & \int_0^\infty d_2(\lambda)l(\lambda)bs(\lambda)d\lambda \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \int_0^\infty d_Q(\lambda)l(\lambda)b_1(\lambda)d\lambda & \int_0^\infty d_Q(\lambda)l(\lambda)b_2(\lambda)d\lambda & \cdots & \int_0^\infty d_Q(\lambda)l(\lambda)bs(\lambda)d\lambda \end{pmatrix} \cdot z[ma] \cdots (7)
 \end{aligned}$$

10

【 0 0 4 9 】

ここで $d_q(\quad)$ は q 番目の表示スペクトル反応関数のスペクトル反応である。例えば、目的が XYZ 表色画像を復元することである場合、 Q を 3 に設定し、 $d_1(\quad)$ から $d_3(\quad)$ までは CIE (国際照明委員会) の標準 1931 の三刺激関数に設定する。

【 0 0 5 0 】

他の例としては、センサアレイ上の異なるカラーフィルタと同じ色特性を持つ画像を復元する場合、 Q は一意の入力反応関数 $r_p(\quad)$ の数に設定し、これら一意の $r_p(\quad)$ 及び $d_q(\quad)$ を一対一で対応させる。この基本構成における主要目的は、入力画像平面 $[na]$ の周辺を対応するスペクトル反射率画素面へとマッピングする $(S_{1 \ 2}) \times (PK_1 K_2)$ の再構成行列 T_{ref} を計算することである。

20

【 0 0 5 1 】

【 数 7 】

$$\zeta'[na] = \begin{pmatrix} z[\Lambda(na + \delta_1)] \\ z[\Lambda(na + \delta_2)] \\ \vdots \\ z[\Lambda(na + \delta_{\lambda_1 \lambda_2})] \end{pmatrix} \cdots (8)$$

30

【 0 0 5 2 】

すると、最終 $(Q_{1 \ 2}) \times (PK_1 K_2)$ の再構成行列が簡単な行列乗算により求められる。

【 0 0 5 3 】

【 数 8 】

$$T = \begin{pmatrix} T_{out} & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & T_{out} & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ & \vdots & & \ddots & \vdots & \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & T_{out} \end{pmatrix} \cdot T_{ref} \cdots (9)$$

40

【 0 0 5 4 】

こうして線形画像形成モデルを、下記 (10) 式のように短く表わすことが出来る。

【 0 0 5 5 】

【 数 9 】

$$x_b(\omega) = v_b(\omega) + \sum_{\omega_a \in \Omega_a(\omega)} H(\omega_a) z_b(\Lambda^{-1}\omega_a) \quad \dots (10)$$

【 0 0 5 6 】

ここで

- ・ $x_b(\)$ は入力画像 $x_a[n_a]$ の離散空間フーリエ変換である。
- ・ $b(\)$ はサンプリングノイズベクトルシーケンスの離散空間フーリエ変換である。

【 0 0 5 7 】

- ・ $z_b(\)$ はスペクトル反射率ベクトル $z[m_a]$ の離散空間フーリエ変換である。 10
- ・ $a(\)$ は、それぞれの $[- ,]^2$ に対する、格子 $[m_a]$ 上の高解像度出力画像の入力画素面格子 $[n_a]$ へのサンプリングに関連する全ての $_1 _2$ エイリアシング周波数を含むセットである。
- ・ $H(\)$ は、下記 (1 1) 式に示される $P \times S$ 画像形成行列である。

【 0 0 5 8 】

【数 1 0】

$$H(\omega) = \begin{pmatrix} \int_0^\infty \gamma_1(\lambda) l(\lambda) b_1(\lambda) h_{a1}(\lambda, \omega) d\lambda & \dots & \int_0^\infty \gamma_1(\lambda) l(\lambda) b_s(\lambda) h_{a1}(\lambda, \omega) d\lambda \\ \int_0^\infty \gamma_2(\lambda) l(\lambda) b_1(\lambda) h_{a2}(\lambda, \omega) d\lambda & \dots & \int_0^\infty \gamma_2(\lambda) l(\lambda) b_s(\lambda) h_{a2}(\lambda, \omega) d\lambda \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \int_0^\infty \gamma_p(\lambda) l(\lambda) b_1(\lambda) h_{ap}(\lambda, \omega) d\lambda & \dots & \int_0^\infty \gamma_p(\lambda) l(\lambda) b_s(\lambda) h_{ap}(\lambda, \omega) d\lambda \end{pmatrix} \quad \dots (11) \quad 20$$

【 0 0 5 9 】

(3) 統計的モデル

画像の再構成に関して適切な解を計算するには、サンプリングノイズ $b(\)$ 及びスペクトル反射率 $z_b(\)$ に統計的モデルを導入する必要がある。ここでは以下の共分散行列により広義的固定ガウスモデルを仮定する。

【 0 0 6 0 】

【数 1 1】

$$C_v(\omega) = E \left[v_b(\omega) \cdot v_b(\omega)^* \right] \quad \dots (12)$$

$$C_z(\omega) = E \left[z_b(\omega) \cdot z_b(\omega)^* \right]$$

40

【 0 0 6 1 】

通常、ノイズ共分散行列は、ホワイトノイズに対応する全ての ω に対する定数 $C(\) = \sigma^2 I$ であるが、他のモデルを利用しても良い。

【 0 0 6 2 】

以下のパラメータモデルは反射率共分散行列に用いられる。

【 0 0 6 3 】

【数 1 2】

$$C_Z(\omega) = C_Z^0 \cdot \|\Gamma \omega\|^{-\frac{\rho}{10}} \quad \dots (13)$$

【 0 0 6 4 】

ここで C_Z^0 は定 $S \times S$ 共分散行列であり、 ρ は通常は 20 から 30 dB (10 進) の範囲から選択される周波数ロールオフパラメータであり、そして Γ は 2×2 「正行列」である。上記の式中の、定共分散行列 C_Z^0 の後ろの項は、周波数領域においてその輪郭が楕円であるスカラ包絡線関数を説明するものである。これら楕円輪郭の向き及びアスペクト比は行列によって明確に制御することが出来る。円形断面には恒等行列 $\Gamma = I$ を用いることが出来る。

10

【 0 0 6 5 】

C_Z により表わされる統計的モデルは、最終的に再構成される画像の画質の決定に重要な役割を果たす。前記パラメータモデルは以下の理由から正しい。モデルはスケールの不変であり、これは像の統計値を平均すると、カメラと像との距離にはよらないことを意味する。実際の撮像アプリケーションにおいては光景中の対象物の絶対距離が得られることは希であるため、このスケールの不変性は重要である。更に、周波数ロールオフ関数 ρ が約 20 dB (10 進) の場合、像におけるこのスケールの不変性が重要である。

20

【 0 0 6 6 】

(4) 行列 T の効率的計算方法

前記のように重要な目的は、 $(S_{1 \times 2}) \times (PK_1 K_2)$ 行列 T_{ref} を計算することであり、これにより、(14) 式をもって T を容易に回復することができる。下記に続く説明は、前記に説明した 2 つのモデルの対象となる最適線形最小平均自乗誤差 (LMMSE) 推定量の導関数 T_{ref} に関するものである。このような推定量の公式は周知であるが、具体的には下記に示す。

【 0 0 6 7 】

$$T_{ref} = Z \cdot X^{-1} \quad \dots (14)$$

【 0 0 6 8 】

ここで、 Z は $(S_{1 \times 2}) \times (PK_1 K_2)$ 交差共分散行列である。

30

【 0 0 6 9 】

$$Z = E[na \cdot na^t] \quad \dots (15)$$

【 0 0 7 0 】

そして、 X が $(PK_1 K_2) \times (PK_1 K_2)$ 次元自動共分散行列である。

【 0 0 7 1 】

$$X = E[na \cdot na^t] \quad \dots (16)$$

【 0 0 7 2 】

実際、 X は以下の Toeplitz ブロック - Toeplitz 構造を有する。

【 0 0 7 3 】

40

【 数 1 3 】

$$X = \begin{pmatrix} X_a[0] & X_a[1] & \dots & X_a[K_2 - 1] \\ X_a[-1] & X_a[0] & \dots & X_a[K_2 - 2] \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ X_a[1 - K_2] & X_a[2 - K_2] & \dots & X_a[0] \end{pmatrix} \quad \dots (17)$$

50

【 0 0 7 4 】

各ブロック $X a [l_2]$ は、T o e p l i t z のフォームを有する。

【 0 0 7 5 】

【 数 1 4 】

$$X a [l_2] = \begin{pmatrix} X b [0, l_2] & X b [1, l_2] & \cdots & X b [K_1 - 1, l_2] \\ X b [-1, l_2] & X b [0, l_2] & \cdots & X b [K_1 - 2, l_2] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X b [1 - K_1, l_2] & X b [2 - K_2, l_2] & \cdots & X b [0, l_2] \end{pmatrix} \cdots (18)$$

10

【 0 0 7 6 】

そして各サブブロック $X b [l_1, l_2]$ が以下により得られる $P \times P$ の原画像面共分散行列である。

【 0 0 7 7 】

$$X b [L] = E [x a [n a] \cdot x a [n a + L]^t] \cdots (19)$$

【 0 0 7 8 】

($S_{1 \ 2}$) \times ($P K_1 K_2$) 行列 Z もまた二重にネスティングされたブロック構造を持っている。

【 0 0 7 9 】

20

【 数 1 5 】

$$Z = \left(Z a \left[- \left\lfloor \frac{K_2}{2} \right\rfloor \right] \quad Z a \left[1 - \left\lfloor \frac{K_2}{2} \right\rfloor \right] \quad \cdots \quad Z a \left[\left\lfloor \frac{K_2 - 1}{2} \right\rfloor \right] \right) \cdots (20)$$

【 0 0 8 0 】

であり、ここで $Z a [l_2]$ は、

【 0 0 8 1 】

【 数 1 6 】

30

$$Z a [l_2] = \left(Z b \left[- \left\lfloor \frac{K_2}{2} \right\rfloor, l_2 \right] \quad Z b \left[1 - \left\lfloor \frac{K_2}{2} \right\rfloor, l_2 \right] \quad \cdots \quad Z b \left[- \left\lfloor \frac{K_2 - 1}{2} \right\rfloor, l_2 \right] \right) \cdots (21)$$

【 0 0 8 2 】

であり、そして ($S_{1 \ 2}$) \times P サブブロック行列 $Z b [L]$ は以下により得られる。

【 0 0 8 3 】

$$Z b [L] = E [\quad [n a] \cdot \quad [n a + L]^t] \cdots (22)$$

【 0 0 8 4 】

40

T_{ref} を計算する為には、行列 $X b [L]$ を $-K_i < l_i < K_i$ の範囲において $[L] = [l_1, l_2]$ とし、 $Z b [L]$ を $- \left\lfloor \frac{K_i}{2} \right\rfloor \leq l_i \leq \left\lfloor \frac{(K_i - 1)}{2} \right\rfloor$ の範囲において $[L] = [l_1, l_2]$ として計算すればよく、その後 X 及び Z が求められ、式 (1 4) によって計算される。 T_{ref} の効率的計算において重要なのは、行列 $X b [L]$ 及び $Z b [L]$ の効率的な計算である。

【 0 0 8 5 】

これらの行列はパーセヴァルの関係式を利用することにより、効率的に計算できる。具体的には以下に示す。

【 0 0 8 6 】

【 数 1 7 】

50

$$Xb[-L] = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\pi}^{\pi} d\omega_1 \int_{-\pi}^{\pi} d\omega_2 e^{j\omega_1^t L} Cx(\omega) \quad \dots(23)$$

$$Zb[-L] = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\pi}^{\pi} d\omega_1 \int_{-\pi}^{\pi} d\omega_2 e^{j\omega_1^t L} C_{\xi} x(\omega)$$

【 0 0 8 7 】

であり、周波数自動及び交差共分散行列 $C_X(\quad)$ 及び $C_{\xi} X(\quad)$ は以下から得ることが出来る。 10

【 0 0 8 8 】

【 数 1 8 】

$$C_X(\omega) = C_{\nu}(\omega) + \sum_{\omega_a \in \Omega_a(\omega)} (H(\omega_a) C_Z(\omega_a) H(\omega_a)^*) \quad \dots(24)$$

$$C_{\xi} X(\omega) = \sum_{\omega_a \in \Omega_a(\omega)} (\Phi(\omega_a) C_Z(\omega_a) H(\omega_a)^*)$$

20

【 0 0 8 9 】

ここで (\quad) は $(S_{1 \ 2}) \times S$ の移相の行列であり、

【 0 0 9 0 】

【 数 1 9 】

$$\Phi(\omega) = \begin{pmatrix} e^{j\omega^t \delta_1} I(S) \\ e^{j\omega^t \delta_2} I(S) \\ \vdots \\ e^{j\omega^t \delta_{\lambda_1 \ \lambda_2}} I(S) \end{pmatrix} \quad \dots(25)$$

30

【 0 0 9 1 】

出力多相成分の各々の相対的変位に対応するものである。

【 0 0 9 2 】

行列 $Xb[L]$ 及び $Zb[L]$ を計算する為に、 $C_X(\quad)$ 及び $C_{\xi} X(\quad)$ は周波数

$[-\pi, \pi]^2$ の有限数で求められ、その後式 (23) の逆フーリエ変換 (IFT) 整数が概算される。行列 $Xb[L]$ 及び $Zb[L]$ を求めるために最適な周波数ポイントを決

定する手法や、数値積分処理の最中にこれらの周波数ポイント間を補間する手法は様々あるが、それらはここでは説明を省略する。

【 0 0 9 3 】

以上の説明及び添付の図から、当業者にとっては本発明への様々な変更が可能となる。従って、本発明は唯一請求項の範囲によってのみ、限定されるものである。

【 0 0 9 4 】

以下に、本発明の実施の形態を要約する。

1. 第一の画像から第二の画像を生成する為のデータ処理システムを操作する方法であって、前記第一の画像は2次元アレイの画素値からなり、各々の前記画素値は、前記第一の

50

画像中における複数スペクトル帯域の内の 1 つのスペクトル帯域の輝度に対応しており、前記第一の画像の画素を複数の入力画像平面へ分けるステップであって、各入力画像平面は正規化された水平及び垂直方向のサンプリング間隔で、他の入力画像平面と同数の画素を持ち、前記入力画像平面の全ての画素は該入力画像平面において、同じスペクトル帯域を持つステップと、

前記第一の画像を入力画素面の組合せとして表わすステップであって、前記入力画素面の各々が大きさ P のベクトルであり、ここで P は前記入力画像平面の数であり、そのベクトルの各成分は対応する入力画像平面からの入力画素とするステップと、

出力画像平面の組合せを設定するステップであって、複数のスペクトル帯域の内の 1 つにおいて、所定の出力画像平面中の各画素は、前記第二の画像中の点に対応している前記第二の画像の輝度を表わすステップと、

前記第二の画像を出力画素面の組合せとして表わすステップであって、前記出力画素面の各々が大きさ Q のベクトルであり、ここで Q は前記出力画像平面の数であり、そのベクトルの各成分は対応する出力画像平面からの画素とするステップと、

前記入力画素面から得たベクトルに線形変換を用いて、前記出力画素面の少なくとも 1 つを含むベクトルを得るステップとを含むことを特徴とする画像変換方法。

【 0 0 9 5 】

2 . 前記第一の画像が、感光性検出素子アレイに結像するためのレンズ系を有する光学装置により生成され、前記線形変換が前記レンズ系の特性に依存することを特徴とする上記 1 に記載の画像変換方法。

【 0 0 9 6 】

3 . 前記特性が、前記レンズ系の焦点距離であることを特徴とする上記 2 に記載の画像変換方法。

【 0 0 9 7 】

4 . 前記特性が、前記レンズ系の f ナンバーであることを特徴とする上記 2 に記載の画像変換方法。

【 0 0 9 8 】

5 . 前記線形変換が、前記第一の画像を生成する為に用いられた照明源に依存することを特徴とする上記 1 に記載の画像変換方法。

【 0 0 9 9 】

6 . 前記線形変換が前記第一の画像として取り込まれた像の種類に依存することを特徴とする上記 1 に記載の画像変換方法。

【 0 1 0 0 】

7 . 前記線形変換が前記第二の画像の出力フォーマットに依存することを特徴とする上記 1 に記載の画像変換方法。

【 0 1 0 1 】

【発明の効果】

第一の画像データに対応する入力画素面のベクトルを、線形変換を用いて第二の画像データに対応する出力画素面のベクトルに変換しているので、第二の画像データの完全にサンプリングされた出力画素の復元を行うことができる。

【 0 1 0 2 】

【図面の簡単な説明】

【図 1】反復する 2×2 のパターンを持つ画像センサの画像平面への分離を示す平面図である。

【図 2】センサアレイの一部分及びそのセンサアレイ中の、特定の間入力ベクトルに対する入力画素を示す平面図である。

【図 3】RGB (赤緑青) 出力画像の一部分及びその RGB 出力画像中の、図 2 に示す中間出力ベクトルに対応する画素を示す平面図である。

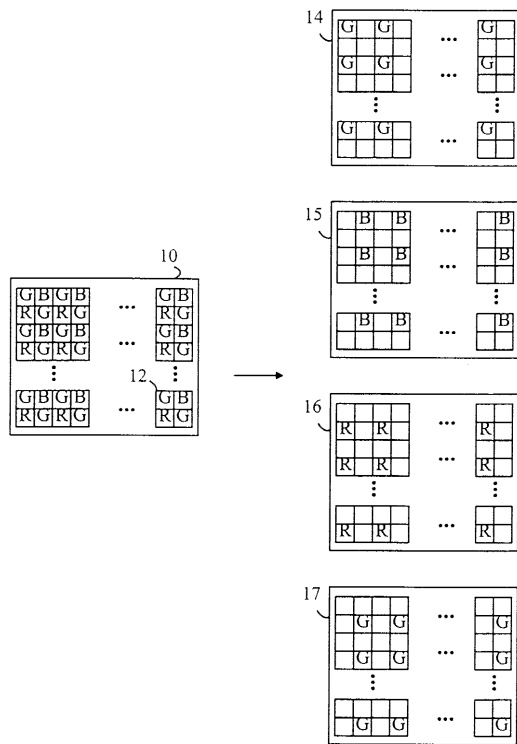
10

20

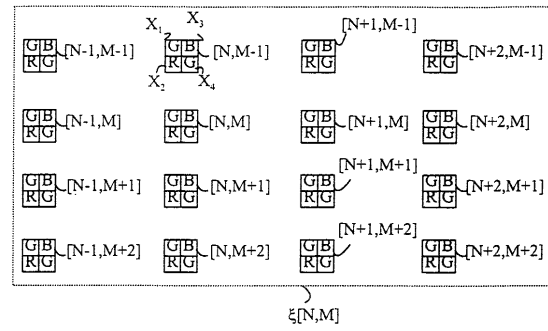
30

40

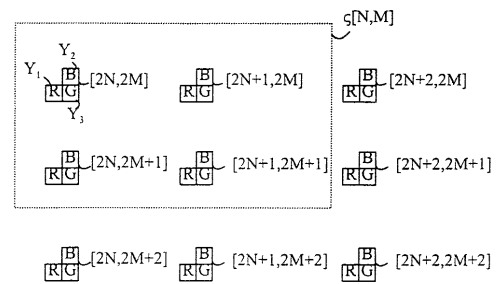
【図 1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

審査官 内田 勝久

(56)参考文献 特開平 0 9 - 2 1 4 9 8 8 (J P , A)
特開平 1 0 - 1 6 4 6 0 2 (J P , A)
特開平 0 7 - 2 3 6 1 4 7 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H04N 9/04 ~ 9/11
H04N 9/44 ~ 9/78