

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4352371号
(P4352371)

(45) 発行日 平成21年10月28日(2009.10.28)

(24) 登録日 平成21年8月7日(2009.8.7)

(51) Int.Cl.

H04N 9/07 (2006.01)

F 1

H04N 9/07
H04N 9/07C
A

請求項の数 2 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2002-247617 (P2002-247617)
 (22) 出願日 平成14年8月27日 (2002.8.27)
 (65) 公開番号 特開2003-163939 (P2003-163939A)
 (43) 公開日 平成15年6月6日 (2003.6.6)
 審査請求日 平成17年7月13日 (2005.7.13)
 (31) 優先権主張番号 09/940,825
 (32) 優先日 平成13年8月27日 (2001.8.27)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

前置審査

(73) 特許権者 595168543
 マイクロン テクノロジー, インク.
 アメリカ合衆国, アイダホ州 83716
 -9632, ポイズ, サウス フェデ
 ラル ウエイ 8000
 (74) 代理人 100106851
 弁理士 野村 泰久
 (74) 代理人 100074099
 弁理士 大菅 義之
 (72) 発明者 ラマクリシュナ・カカララ
 アメリカ合衆国 94086 カリフォルニア
 州サンニーヴィル、イースト・イヴリン
 1055、ナンバー ピー-9

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】適応モザイク減少法を実装するデジタル画像処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

画素がデジタル画像のエッジ上にあるか否かにより、補間方向を決定する方法であって、

前記画素について、第1の色の第1の勾配と第2の色の第2の勾配を決定するステップを含み、前記第1および第2の勾配はそれぞれ、列成分および行成分を有しており、

前記第1の勾配の行成分の絶対値が該第1の勾配の前記列成分の絶対値よりも小さいとき、水平方向補間に第1の補間投票を提供し、前記第1の勾配の列成分の絶対値が該第1の勾配の行成分の絶対値よりも小さいとき、垂直方向補間に第1の補間投票を提供する、ステップと、

前記第2の勾配の行成分の絶対値が該第2の勾配の列成分の絶対値よりも小さいとき、水平方向補間に第2の補間投票を提供し、前記第2の勾配の列成分の絶対値が該第2の勾配の行成分の絶対値よりも小さいとき、垂直方向補間に第2の補間投票を提供する、ステップと、

前記補間投票の数に基づいて、前記水平方向補間、前記垂直方向補間、または前記水平方向補間および前記垂直方向補間の組み合わせの、いずれかを選択する、ステップとを含み、

前記第1の勾配及び第2の勾配は、前記画素のヤコビアンを形成し、

前記選択ステップは、

隣接投票データを提供するステップであって、該隣接投票データは少なくとも一つの隣

接画素からの多数決投票を含み、該多数決投票は、前記隣接画素からの最多の補間投票が水平方向補間であるときは水平方向補間であり、前記隣接画素からの最多の補間投票が垂直方向補間であるときは垂直方向補間である、ステップと、

前記近傍投票データを前記補間投票に加算して前記選択された補間方向を決定するステップと、

をさらに含む方法。

【請求項 2】

前記選択ステップは、

前記水平方向補間と前記垂直方向補間のいずれかについて、前記補間投票の数に関連する第1のしきい値及び第2のしきい値を少なくとも設定するステップと、

10

前記水平方向補間と垂直方向補間のいずれかについて、前記補間投票の数が前記第1のしきい値と第2のしきい値の間にあるときに、前記水平方向補間と垂直方向補間の組み合わせを前記選択された補間方向として選択するステップと、

をさらに含む、請求項1に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、一般にデジタル画像処理に関し、特に各画素位置で色の補間を行うモザイク減少(demosaicing)方法に関する。

20

【0002】

【従来の技術】

デジタルカラー画像センサは、2つのタイプが主流である。つまり、CCD(電荷結合素子)とCMOS-APS(相補型金属酸化物半導体-アクティブ方式画素センサ)である。これらのタイプのセンサは両方とも、一般に、行と列に配置されて画像内の色をサンプリングする光検出器(画素)のアレイを含む。各画素は、1つまたは複数の色に対応して1つまたは複数の波長の範囲内の光の強度を測定する。

【0003】

加えて、両方のタイプのセンサには、Baye rに付与された米国特許第3,971,065号に記載されたカラーフィルタアレイ(以下、ベイヤーと呼ぶ)等のカラーフィルタアレイ(CFA)が含まれる。これは参照により本明細書に援用される。ベイヤーCFAでは、各画素は赤、緑または青の1色のみを捕らえる。このサンプリングパターンを以下に示す。

30

【0004】

【数1】

G R G R G

B G B G B

G R G R G

40

【0005】

ベイヤーCFAを備えるセンサは、色空間と空間領域の両方でサンプリングされたモザイク状の画像を生成する。このサンプリング方法は、色空間と空間領域の両方で折り返しアーチファクト(aliasing artifact)を生ずる。例えば、フルカラーのスペクトルが(CFAの色に応じて)特定の画素位置だけでサンプリングされるので、画像の真の色を正確に再構成することは不可能であり、これによって色空間の折り返しアーチファクトが発生する。加えて、原画像における高い空間周波数が非常に低い周波数でサンプリングされるので、画像の元の高い周波数を画像処理によって後から再現することはできず、これによって空間領域の折り返しアーチファクトが発生する。

50

【0006】

色空間と空間領域の折り返しアーチファクト問題に対する一つの解決策は、モザイク減少法 (demosaicing) である。モザイク減少法は、画像センサから得られるデジタル画像の色を補間して、一つの画素位置で三原色の全てを得る方法である。これにより得られるモザイク減少画像は、画像を見たときに、モザイク状の画像よりも優れた品質が得られ、より視覚的に満足できる画像を与える。

【0007】

従来のモザイク減少法は、例えば画素複製 (pixel replication)、双一次補間 (bi-linear interpolation) 及び中央値補間 (median interpolation) 等が挙げられる。画素複製では、左、上、左斜め上の最近傍の画素からそれぞれの欠損値 (missing value) が取り込まれる。双一次補間は、画素複製よりも改善されるが複雑さは少し増加する。双一次補間法では、水平、垂直及び／または対角方向の近傍 (neighboring) の画素値の平均に基づいて、各欠損値が算出される。中央値補間は非線形補間法であり、特に欠陥画素があるときにこれらの3つのアルゴリズム（画素複製、双一次補間、中央値補間）のうちで最高の結果が得られるが、最も複雑である。中央値補間は、2つのステップからなる。第1に、4つの対角近傍を有する欠損値がそれら4つの値の中央値を用いて補間される。第2に、残りの欠損画素が東西南北の近傍の中央値によって補間される。

【0008】

しかしながら、上述のモザイク減少法ではすべて、見て分かる折り返しアーチファクトが画像内のエッジに現れ、モザイク減少画像に「ジッパー (zipper)」効果を生じさせる。
ジッパー効果とは、画像中の直線のエッジをジッパーのように見せてしまうことである。ジッパー効果の解決策は、Adams, Jr. に付与された米国特許第5,652,621号（以下、アダムズ・ハミルトンアルゴリズムと呼ぶ）と、1999年10月発行のJournal of Electronic Imaging, Vol. 8, No. 4, pp. 457-466に記載されたKuno による「Aliasing reduction method for color digital still cameras with a single-chip charge-coupled device（以下、Kunoアルゴリズムと呼ぶ）」に提案されており、これらは両方とも参考により本明細書に援用される。

【0009】

アダムズ・ハミルトン補間アルゴリズムは、水平エッジ及び垂直エッジを持つ画像をサンプリングする画像システムの性能の最適化を目指すものである。アダムズ・ハミルトン補間アルゴリズムでは、欠損する色値を補間する補間法が選択される。補間方向は、補間対象である色平面と画素位置の色平面から得られる値に基づいて、水平分類子と垂直分類子（または、正対角分類子と負対角分類子）の値を算出することによって選択される。

【0010】

2つの分類子の値は、補間法を選択するために、予め定義された閾値と及びお互いに比較される。例えば、分類子の値のうち1つまたは複数が予め定義された閾値より大きい場合、欠損している色値は、その色値と同じ色の近傍値及びその画素位置の色の近傍値の両方から補間される。欠損している色値は、どの分類子の値が予め定められた閾値を上回ったかに応じて、水平方向の近傍値、垂直方向の近傍値、または水平方向及び垂直方向の両方の近傍値から補間される。アダムズ・ハミルトンアルゴリズムは、細部を保存して、ジッパー効果の出現を低減する。しかし、アダムズ・ハミルトンアルゴリズムを用いても、依然として若干の「ジッパリング」が見られる。

【0011】

Kunoの補間アルゴリズムは、IEEE年会報（1988年版）第16巻(2)86乃至88頁に掲載された「Method to display full-color image by using the correlation of color」にKodera等が発表した細部の相関の仮定 (correlation of details assumption)に基づくものであり、参照により本明細書に援用される。細部の相関の仮定は、画像の局所領域において色の間に高い相関が存在することを仮定するものである。例えば、ベイヤーCFAを備える画像センサを用いたときに、細部の相関の仮定は画像の局所領域内では赤、青、緑の色値が比較的似ていると仮定する（例えば、赤画素位置の赤値

10

20

30

40

50

が 10 である場合に、細部の相関の仮定は、近傍の緑と青の画素位置がそれぞれ 10 に近い緑及び青の色値を生成すると仮定する)。

【 0012 】

Kuno アルゴリズムはさらに、色の変化が急である領域においてさえ、色相関が一方向（すなわち、水平方向または垂直方向）に存在することを仮定する。従って、Kuno アルゴリズムは、水平方向には色値の低い相関しか存在しない垂直の補間方向と、垂直方向には色値の低い相関しか存在しない水平の補間方向を使用する。具体的には、Kuno アルゴリズムは、欠損色値と関連する色平面の水平勾配（グラジエント）と垂直勾配を計算し、水平勾配と垂直勾配を予め定義された閾値と比較して補間方向を決定する。例えば、水平勾配と垂直勾配の両方が予め定義された閾値未満の場合、補間は水平方向と垂直方向の両方に実行される。しかし、どちらの勾配も予め定義された閾値よりも大きい場合、補間方向は 2 つの勾配のうちのより小さな方になる。10

【 0013 】

補間方向が決定すると、Kuno アルゴリズムは分割処理を用いて欠損色値を補間する。アダムズ - ハミルトンアルゴリズムと同様に、Kuno アルゴリズムはジッパー効果を低減し、画素複製、双一次補間及び中央値補間といった従来のモザイク減少法と比べると色解像度を改善する。しかし、Kuno アルゴリズムを用いても、依然として若干のジッパー効果が見られる。加えて、Kuno アルゴリズムでは分割処理をあらゆる画素位置で実行することが必要とされ、その実装には費用がかかる。20

【 0014 】

【発明が解決しようとする課題】

従って、アダムズ - ハミルトンアルゴリズムや Kuno アルゴリズムと比べてジッパー効果の可視性をさらに低減し、Kuno アルゴリズムが必要とするハードウェアの複雑さなしで実装することができる、モザイク減少方法が必要とされている。20

【 0015 】

【課題を解決するための手段】

本発明の過程では、アダムズ - ハミルトンアルゴリズムと Kuno アルゴリズムを用いてモザイクを減少した画像にジッパー効果が出現する理由について分析を行なった。分析の結果、どちらのアルゴリズムも少なくとも 2 つの色平面における勾配を別々に考慮しておらず、またどちらのアルゴリズムも所与の画素を補間するときに近傍画素における意思決定（decision）を適用していないために、アダムズ - ハミルトンアルゴリズムと Kuno アルゴリズムを用いてモザイクを減少した画像においても依然としてジッパー効果が見られるという結論が得られた。30

【 0016 】

本発明は、少なくとも 2 つの色平面において水平方向と垂直方向の両方における変化の度合（例えば、勾配（グラジエント）、ラプラシアン、または変化の度合の他の尺度）を別々に考慮することによって、各画素位置を補間する適応モザイク減少方法を提供する。適応モザイク減少アルゴリズムは、各画素位置で補間方向を決定するために投票方式を使用する。各色平面は、その色平面における変化の度合の垂直成分と水平成分との間の比較に基づいて水平か垂直に投票する。ある実施形態では、投票は画素位置それ自体で得られる測定からカウントされる他、近傍の画素からもカウントされる。40

【 0017 】

一実施形態では、補間方向は輝度（luminance）色平面にのみ適用される。輝度平面が十分に補間されると、クロミナンス（chrominance）平面は差分クロミナンス値の単純な双一次補間または中央値補間に埋められる。適応モザイク減少アルゴリズムの拡張により、適応平滑化と鮮明化（sharpening）が可能になる。例えば、適応モザイク減少アルゴリズムは、低い光レベル（すなわちノイズの多い）画像に適応させて、輝度画素間の不均衡を低減することができる。

【 0018 】

適応モザイク減少アルゴリズムは、加算、減算、桁送り及び比較のみを必要とし、これら50

はいずれもハードウェアによる実装が簡単であるので、適応モザイク減少アルゴリズムは、従来のモザイク減少法に存在したハードウェアの複雑さを低減する。加えて、適応モザイク減少アルゴリズムは従来のモザイク減少方法と比較して、モザイクを減少した画像に現われるジッパー効果を低減する。さらに、本発明は上述した実施形態の他にまたはこれらに代えて、他の特徴と長所を備えた実施形態を与える。これらの特徴と長所の多くは以下の説明から明らかになろう。

【0019】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明による適応モザイク減少アルゴリズム40を実装したデジタル画像システム10を示す。デジタル画像システム10は、デジタルカメラ、ビデオカメラ、医用撮像装置等の任意のデジタル画像装置である。デジタル画像システム10は、画像データを記憶するメモリを有するパーソナルコンピュータやサーバ等のコンピュータシステムであっても良い。適応モザイク減少アルゴリズム40は、デジタル画像装置の内部に存在したり、またはパーソナルコンピュータやサーバ上で動作する画像処理ソフトウェアの一部であっても良い。

10

【0020】

デジタル画像システム10は、CMOSセンサチップやCCDセンサチップ等のデジタル画像センサ20であって、列と行で構成された二次元アレイの画素を含む。デジタル画像センサは、各画素が1色だけを検出するカラーフィルタアレイ(CFA)によって覆われる。例えば、CFAは前述のCFAであっても良い。このアレイでは、輝度(luminance)色(緑)の市松模様の間にクロミナンス(chrominance:色光度)色(赤と青)が配置されている。ベイヤーCFAの代わりに他のCFAも使用できることは理解されよう。

20

【0021】

デジタル画像センサ20は、デジタル信号プロセッサ40に元の赤、青、緑の画素値を含む生データ25を供給する。デジタル信号プロセッサは、生データ25に対して本発明の適応モザイク減少アルゴリズム適用し、画素値を補間して各画素位置において赤、緑、青の値を得る。生データ25は、デジタル信号処理プロセッサ40に一度に供給される。従って、処理開始に必要な生データ25の必要量が得られるまで、生データ25はバッファ30に記憶される。

30

【0022】

処理開始に必要な生データ25の数は、処理の種類に依存する。例えば、生データ25に対応する画素値は、通常、センサ20の1行から一度に読み出される。所与の画素の近傍補間を開始するために、少なくとも1つの水平方向の画素近傍と、好ましくは1つの垂直画素近傍がバッファ30に格納される。加えて、大半のデジタルカメラは、画像を選択して永久に記憶させる前に複数の画像を撮影して露出が適正かどうかを確認するので、バッファ30内には一度に1つまたは複数の画像が格納される。

【0023】

モザイク減少の結果は、3つの補間された色平面35(すなわち、R、G、B)であり、それぞれが元の値と補間された値を含む。本明細書で説明する赤、青、緑の色空間の代わりに、黄、シアン、マゼンタ等の他の色空間を用いることもできることは理解されよう。補間された赤、緑、青の色平面35は、表示または処理されるまでメモリ50内に記憶される。メモリ50に記憶する前に、JPEG規格等の圧縮法(図示せず)を用いて色平面35を圧縮することに注意されたい。出力装置60(例えば、ビデオスクリーン、コンピュータスクリーンまたはプリンタ)上に圧縮画像を表示または処理するため、圧縮画像はまず復元され、復元された画像が出力装置60へ出力される。

40

【0024】

デジタル信号プロセッサ40は、図2に示す適応モザイク減少アルゴリズムに従って、バッファ30に記憶された各画像を補間する。図2に示した適応モザイク減少アルゴリズムは、ここでは主ベクトル法(PVM)と呼ぶことにする。PVMは、色エッジの検出と

50

近傍投票 (neighborhood voting) に基づくものである。画像内には、光の強度が急激に変わる多くのエッジが存在する。鮮明な出力画像を生成するには、色補間はエッジを横切るよりも、エッジに沿って行うべきである。従って、PVMアルゴリズムは各画素位置で画素がエッジ上にあるかどうかを検出し、エッジ上にある場合には、そのエッジの方向を推定する。本明細書において用語「エッジ」とは、オブジェクトの境界や強度が急激に変化する他の境界上にある画素のことを指すことは理解されよう。用語「エッジ」は、画像の4つの自然な境界のうちの1つの境界上にある画素（すなわち、センサ自身のエッジ上にある画素）を指すわけではない。

【0025】

一実施形態では、エッジ検出とエッジ方向の推定は、例えば緑の単色平面を用いることによって試行される。しかし、単一の色平面に依存すると、依存した色が存在しない画像領域や、依存した色が固定されている色付きのエッジにおいて、エラーを生じることがある。他の実施形態では、エッジ検出とエッジ方向の推定は、2つまたは3つの色平面から出し合う (pool) ことができる。3つの色平面すべてからの結果を出し合うと、一般により優れた結果が得られる。従って、図2のPVMアルゴリズムは、3つの色平面からのエッジに関連する情報（例えば、エッジの検出とエッジ方向の推定）の出し合いを示している。

10

【0026】

生データ25がデジタル信号プロセッサ40に着くと、生データ25はそれぞれが欠損要素を有する3つの生データ色平面25a、25b、25cに分離される。デジタル信号プロセッサ40は、各位置で欠損する輝度値を決定するために、輝度生データ色平面25b（すなわち、緑）に適応補間ロジック42を適用する。例えば、適応補間ロジック42は、投票メカニズムに基づいて、水平方向の補間、垂直方向の補間、または水平方向の補間と垂直方向の補間の組み合わせを用いて、赤画素と青画素のそれぞれで緑値を補間する。この投票メカニズムについては図4及び5を参照してより詳細に説明する。これによって得られる補間された緑色平面35bは、元の緑値（大文字のGで表す）と、補間された緑値（小文字のgで表す）の両方を含む。

20

【0027】

欠損緑値が決定すると、欠損する赤と青の値が補間される。最初に、減算ロジック44a及び44bが、赤または青のそれぞれの画素位置における欠損緑値と、対応する元の赤または青の画素値との間の差を計算する。例えば、青の生データ色平面25cの左下隅の青値Bを取り込み、減算ロジック44bは、補間された緑色平面35bの左下隅の補間された緑値gを、青の生データ色平面25cの左下隅の青値Bから減算する。

30

【0028】

得られた差分色平面28a及び28bは、差分補間ロジック46a及び46bにより、それぞれ中央値補間、双一次補間、画素複製等の既知の方法によって補間される。図2は双一次補間法を示している。赤と青の差分色平面28a及び28bが双一次補間ロジック46a及び46bに入力され、それぞれ赤及び青の差分補間色平面（図示せず）を出力する。最終的な赤及び青の補間色平面35a及び35cは、赤及び青の差分補間色平面をそれぞれ加算ロジック48a及び48bへ入力することによって得られる。この加算ロジックは、赤及び青の差分補間色平面を、対応する画素位置について、補間された緑色平面35bの緑値g及びGに加算する。DSP40からメモリ50（図1）に出力されるのは、これらの補間された赤、青、緑の色平面35a、35b及び35cである。

40

【0029】

図3は、PVMモザイク減少アルゴリズムを実行するステップを示す。最初に、DSPは生データを受け取り（ステップ300）、生データを3つの生データ色平面に分離する（ステップ310）。DSPは、適応補間技術（図4、5で後述）を輝度色平面（すなわち、緑）に適用する（ステップ320）。補間された輝度色平面を用いて、DSPは、補間された輝度値を対応する画素クロミナンス色値から減算することによって、差分クロミナンス色平面（赤と青）を求める（ステップ330）。例えば、補間された緑平面をチルダ

50

- G で表わすと、欠損する赤値及び青値は、次式に示すように赤画素位置または青画素位置における差を形成することによって補間することができる。

【0030】

【数2】

$$D_{RG}(x,y) = R(x,y) - \tilde{G}(x,y), \quad (\text{式1})$$

$$D_{BG}(x,y) = B(x,y) - \tilde{G}(x,y). \quad (\text{式2})$$

10

【0031】

これによって2つの差分画像 D_{RG} と D_{BG} が得られ、これらの値は赤画素位置と青画素位置においてのみそれぞれ知られている。

【0032】

その後、DSPは差分クロミナンス値 (difference chrominance value) を用いて差分クロミナンス色平面 (difference chrominance color plane) を補間する (ステップ340)。上述のように、差分クロミナンス色平面は、中央値補間、双一次補間、画素複製等の任意の既知の方法を用いて補間することができる。

【0033】

最も単純な形態のクロミナンス補間は、画素複製である。例えば、画素複製では、各欠損値が左、上、左斜め上の最近傍の画素から取り込まれる。人間の視覚系では、クロミナンス色に対する鋭さは輝度色に対するよりも低いので、画素複製は大半の状況で優れた結果をもたらす。

20

【0034】

双一次補間は、複雑さが僅かに増すが画素複製よりも改善される点がいくつかある。双一次補間法では、以下の 3×3 フィルタを用いて差分赤値または差分青値が畳み込まれる。

【0035】

【数3】

$$\frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{式3})$$

30

【0036】

上述のフィルタでは、乗算と除算が2のべき乗によるものであり、従って桁送り (シフト) で実現できることに注意されたい。

【0037】

非線形補間法である中央値補間は、特に欠陥画素があるときに最高の結果を与えるが、複雑さは最大である。中央値補間は2つのステップからなる。第1は、4つの対角近傍を有する欠損値をこれら4つの値の中央値を用いて補間するステップである。第2は、残る欠損値を東西南北の近傍の中央値によって補間するステップである。

40

【0038】

一例として、画素値の近傍において差分画像 D_{RG} が以下の値を有すると仮定する。

【0039】

【数4】

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 23 & 0 \end{bmatrix}$$

【0 0 4 0】

第1のステップの後、4つの対角近傍を有する欠損値は、それらの近傍の中央値によって 10
補間される。第1のステップの結果は以下の通りである。

【0 0 4 1】

【数5】

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -3 & 0 \\ * & 0 & -1 & 0 & * \\ 0 & -4 & 0 & 7 & 0 \\ * & 0 & 5 & 0 & * \\ 0 & 2 & 0 & 23 & 0 \end{bmatrix}$$

20

【0 0 4 2】

*と記した位置も補間されているが、それらの値が示されていないのは、図示の 5×5 の
領域の外側にある近傍値に依存するからである。第2のステップは、以下のように、東西
南北の4つの近傍の中央値を用いて残りの欠損値を埋める。

【0 0 4 3】

【数6】

$$\begin{bmatrix} * & 1 & * & -3 & * \\ * & * & -1 & * & * \\ * & -4 & 2 & 7 & * \\ * & * & 5 & * & * \\ * & 2 & * & 23 & * \end{bmatrix}$$

30

【0 0 4 4】

チルダー D_{RG} 及びチルダー D_{BG} で表される補間された差分画像が得られると、最終的な補
間された赤値と青値は、次式のように元の緑値と補間された緑値の加算 (ステップ 3 5 0
) によって求めることができる。 40

【0 0 4 5】

【数7】

$$\tilde{R}(x, y) = \tilde{D}_{RG}(x, y) + G(x, y), \quad (\text{式4})$$

$$\tilde{B}(x, y) = \tilde{D}_{BG}(x, y) + G(x, y). \quad (\text{式5})$$

【0 0 4 6】

これらの補間された輝度(緑)色平面とクロミナンス(赤と青)色平面は、メモリへ出力 50

される（ステップ360）。

【0047】

ここで、図4を参照して適応補間ロジック42をさらに詳細に説明する。適応補間ロジック42が生データ色平面25a、25b、25cを受け取ると、それぞれの勾配ロジック100a、100b、100cが、各色平面25a、25b、25cの勾配105a、105b、105cを求め、ヤコビアンロジック110が色平面25a、25b、25cのヤコビアン115を求める。続いて、色平面25a、25b、25cの勾配105a、105b、105cとヤコビアン115を説明する。

【0048】

カラー画像は、二次元（2D）領域から三次元（3D）空間すなわち色空間への写像であるから、カラー画像の各成分は、 (x, y) 領域上で定義される関数、すなわち $R(x, y)$ 、 $G(x, y)$ 、 $B(x, y)$ と見なすことができる。B. Jahn e及びH. Hauss eck e rの編集による「Computer vision and applications: a guide for students and practitioners, San Diego: Academic Press, 2000, pp. 334-335」は、参照により本明細書に援用されるが、これに記載されているように、カラー画像における局所方向の計測法は、二次元平面から三次元色平面への写像のヤコビアン（J）を作成することから始まる。

【0049】

【数8】

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial R}{\partial x} & \frac{\partial G}{\partial x} & \frac{\partial B}{\partial x} \\ \frac{\partial R}{\partial y} & \frac{\partial G}{\partial y} & \frac{\partial B}{\partial y} \end{bmatrix} = [\nabla R \quad \nabla G \quad \nabla B] \quad (\text{式6})$$

ここで、 ∇ は勾配（すなわち、最も増加が急な方向）を表わす。ヤコビアンは、水平（x）及び垂直（y）方向のカラー画像の局所的な一次変化率をとらえる。

【0050】

例えば、以下の生データが適応補間ロジック42へ供給されると仮定する。

【0051】

【数9】

$$\begin{array}{ccc} B_1 & G_{y1} & B_2 \\ G_{x1} & R_1 & G_{x2} \\ B_3 & G_{y2} & B_4 \end{array}$$

【0052】

画素位置 R_1 の緑の勾配を決定するためには、画素 R_1 の水平方向の緑導関数と垂直方向の緑導関数を計算しなければならない。水平方向の緑導関数は $(G_{x1} - G_{x2})$ であり、垂直方向の緑導関数は $(G_{y1} - G_{y2})$ である。画素位置 R_1 における赤の勾配と青の勾配も、同様の方法で算出される。例えば、水平方向の青導関数は $((B_1 + B_3) / 2 - (B_2 + B_4) / 2)$ であり、垂直方向の青導関数は $((B_1 + B_2) / 2 - (B_3 + B_4) / 2)$ である。赤導関数は、上述していないが水平方向及び垂直方向の赤値を用いて算出される。

【0053】

ヤコビアンの特異値分解（SVD）は、次式のように書くことができる。

【0054】

【数10】

10

20

30

40

50

$$J = U S V^t = s_1 u_1 v_1^t + s_2 u_2 v_2^t \quad (\text{式7})$$

ここで、 $s_1, s_2 \neq 0$ は特異値であり、 u_k, v_k はそれぞれ左、右の k 番目の特異ベクトルである。（二乗誤差の合計を最小化するという意味での） J に対する最高位の近似の 1 つが以下のようになることは、当分野において周知である。

【0055】

【数11】

$$J \approx s_1 u_1 v_1^t. \quad (\text{式8})$$

10

【0056】

ベクトル u_1 はカラー画像の最大の変化方向を与えるので、ベクトル u_1 はヤコビアンの主ベクトル、または簡単に主ベクトルという。

【0057】

ヤコビアンの SVD は、カラー画像のエッジ構造に関して有益な情報を与える。式 6 に示すように、 J の 3 つの列はそれぞれ R、G、B の色平面の一つにおける勾配である。勾配が互いに平行であるときは、エッジは 3 つの平面において整合している（consistent）と言うことができる。この場合、主ベクトルは勾配と同じ方向を指し、小さい方の特異値 s_2 は 0 に等しい。R、G、B 勾配が平行でないときは、主ベクトルは 3 つの勾配に対し最も「適合（fit）」する。主ベクトルが勾配に適合する度合は、特異値から決定することができる。例えば、適合の程度は次式のように求めることができる。

【0058】

【数12】

$$= s_2 / (s_1 + s_2) \quad (\text{式9})$$

【0059】

$s_1 = s_2$ であり、 $\theta = 1/2$ であるので、 $= 0$ のとき（勾配は全て平行であるから）主ベクトルは完全に適合し、一方、 $= 1/2$ のとき適合は最低である。 $= 1/2$ が起こる状況の例は、3 つの勾配のうちの 2 つが直角の方向を指し、第 3 の勾配が 0 であるときである。

【0060】

30

上述のように、主ベクトル u_1 は、変化が最大の方向を指示する。しかし、PVM アルゴリズムを用いた適応モザイク減少法は、実際には変化が最小の方向の近傍から補間を行い、エッジがぼやける危険を最小化する。従って、 u_1 に直交し変化が最小の方向を指すべきベクトル u_2 が補間方向として用いられる。例えば、 I_1 が u_1 に沿って補間を行った結果であり、 I_2 が u_2 に沿って補間を行った結果であると仮定する。すると、 I で表わされる全補間は I_1 と I_2 の重み付き結合となり、重み付けは次式のように適合度に基づく。

【0061】

【数13】

$$J = I_1 + (1 - \theta) I_2 \quad (\text{式10})$$

40

【0062】

この重み付けによって、全補間が、 I_2 ($\theta = 0$ 、従って主ベクトルが勾配に完全に適合するとき) と $I = (I_1 + I_2)/2$ ($\theta = 1/2$ 、適合が最小のとき) との間で連続して変化することが保証される。

【0063】

矩形状にサンプリングされる生データ 25a、25b、25c から I_1, I_2 を計算するため、 I_h と I_v がそれぞれ水平方向と垂直方向の補間を表わすものとする。 I_h と I_v は、(I_h については) 行に沿って画素値を単純に線形結合することによって、または(I_v については) 列に沿って画素値を単純に線形結合することによって計算することができる。次に、 $u_1 = [u_1(1), u_1(2)]^t$ 、 $u_2 = [u_2(1), u_2(2)]^t$ とし、 u_1 、

50

u_2 が単位長ベクトルであるとすると、次式が成り立つ。

【0064】

【数14】

$$I_1 = u_1(1)^2 I_h + u_1(2)^2 I_v \quad (\text{式11})$$

$$I_2 = u_2(1)^2 I_h + u_2(2)^2 I_v \quad (\text{式12})$$

式10に式11と式12を組み合わせることで、 I は次式のようになる。

【0065】

【数15】

$$I = I_h + (1 -) I_v \quad (\text{式13})$$

$$(\text{但し}, = u_1(1)^2 + (1 -) u_2(1)^2)$$

10

【0066】

これから分るように、式13の値 I の計算には、 I_h 、 I_v の3つが必要である。最初の2つ I_h 、 I_v は直接的に計算されるが、これは画素値の単純な線形結合にのみ含むからである。しかし、3つ目の は J の SVD から導出される項に基づいている。これは、各画素で J の SVD 計算を要求することになる可能性があり、コストが非常に高い。

【0067】

しかし、一実施形態では、計算を簡単にするために、の近似値を推定することができる。例えば、の計算を簡単にするために、適応補間ロジック42は、の値を3つのレベルすなわち0、1、1/2に量子化できると仮定することができる。これは、式13の全補間 I が純粹に水平、純粹に垂直、または2つの平均のいずれかであることを意味する。適応補間ロジック42は、主ベクトル u_1 の方向をただ2つの可能性すなわち水平または垂直のうちの1つに量子化できると仮定することもできる。例えば、水平軸からの u_1 の傾きが ±45度未満のとき u_1 は水平となり、それ以外のとき u_1 は垂直となる。同様に、| $u_1(1)| |u_1(2)|$ であるときは u_1 は水平となり、そうでない場合は垂直となる。

20

【0068】

適応補間ロジック42は、多数決ルールを適用することによって主ベクトルが水平であるか垂直であるかの判定を行なうと仮定することもできる。多数決ルールとは以下の通りである。すなわち、ヤコビアン115の最下行の成分の大部分（垂直方向の導関数）が絶対値でヤコビアン115の最上行の対応する成分（水平方向の導関数）を越える場合、主ベクトルは垂直となる。それ以外の場合、主ベクトルは水平となる。例えば、ヤコビアン115が次式で表されるとすると、最上行の成分のうちの2つが絶対値で最下行の対応する成分を越えていることになる。

30

【0069】

【数16】

$$J = \begin{bmatrix} 1 & 3 & -2 \\ 3 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

従って、このヤコビアン115の主ベクトルは水平と仮定される。

【0070】

40

多数決ルールによって主ベクトルの方向を得ることはできるが、多数決ルール単独では {0, 1/2, 1} の中から を決定できない。上述したように、主ベクトル自体が補間方向として用いられることはない。むしろ、補間方向は、主ベクトルの方向に対して直角である。従って、重み付け係数 の選択時に、適応補間ロジック42は垂直方向の導関数を上回る水平方向の導関数の実際の数を考慮する（またはその逆を考慮する）。

【0071】

例えば、全ての水平方向の導関数がそれらの対応する垂直方向の導関数を上回る場合、は0に設定され、（主ベクトルに直交する方向である）垂直方向の補間を強制する。画像内の垂直エッジ上にある画素については、垂直方向の補間が好ましい。水平方向に隣接する（adjacent）画素では急な輝度の変化が存在するため、垂直エッジ上にある画素に対し

50

て水平方向の補間を行うと適切な補間値が得られない。上述の重み付け係数 の選択法は、画素が垂直エッジ上にあることを検出するが、これは垂直エッジ画素の一次導関数が垂直方向よりも水平方向で大きいからである。重み付け係数 が垂直エッジ上にある画素に対応する場合、垂直方向の補間が適用される。

【 0 0 7 2 】

しかし、水平方向の導関数のいずれも対応する垂直方向の導関数を上回らない場合、 は水平方向の補間を強制するよう 1 に設定される。垂直エッジ上の画素と関連して上述したのと同じ理由から、画像内の水平エッジ上にある画素については水平方向の補間が好ましい。しかし、水平方向の導関数のうちの 1 つまたは 2 つのみが対応する垂直方向の導関数を上回る場合は、 は水平方向及び垂直方向の補間の両方を含むように 1 / 2 に設定される。
10 これは勾配が平行でない箇所では主ベクトルの適合が最低であるからである。画素がエッジ上にないときは、適合は通常最低であり、従って、水平方向の補間と垂直方向の補間の両方を行なうことが好ましい。

【 0 0 7 3 】

図 4 に示すように、上述の の選択メカニズムは、適応補間ロジック 4 2 内の列投票ロジック 1 2 0 に実装される。列投票ロジック 1 2 0 は、ある特定の画素についてヤコビアン 1 1 5 の各列を取り込み、各列に 1 つの票を割り当てる。最下値が最上値を上回る場合、列は水平方向に投票し、最上値が最下値を上回る場合は、列は垂直方向に投票する。こうして、3 つの列投票 1 2 5 が各画素で集められる。

【 0 0 7 4 】

この投票方式は、各画素での投票だけでなく近傍画素の投票も含めるようさらに拡張することができる。このように、重み付け係数 を決定する前に、適応補間ロジック 4 2 は、列投票 1 2 5 に加えて近傍投票のデータ 1 4 0 を考慮することができる。例えば、2 つの近傍の画素において、各近傍画素のヤコビアン 1 1 5 の 2 つ以上の列が水平方向へ投票した場合、近傍投票データ 1 4 0 は 2 つの水平方向の投票を含むことになる。この拡張された投票方式は、近傍画素での個々のヤコビアン 1 1 5 の列投票を用いず、多数決ルールの結果を考慮するだけであるが、他の実施形態においては、拡張された投票方式は近傍画素における各列の投票を含むことができる点に注意されたい。
20

【 0 0 7 5 】

近傍投票データ 1 4 0 は、画像のラスタースキャン内の現在の画素に先行する画素の任意のサブセットからのデータと定義することができる。例えば、近傍投票データ 1 4 0 は、現在の画素の左及び上に隣接する画素からのデータを含むことができる。この近傍は、距離 1 の近傍と呼ばれる。しかし、異なる距離の他の近傍画素も選ぶことができることを理解されたい。
30

【 0 0 7 6 】

列投票ロジック 1 1 0 が特定の画素の各列についての投票を求めるとき、列投票ロジック 1 1 0 は最多投票 1 3 5 を決定（すなわち、垂直方向または水平方向）して、メモリ 1 3 0 （図 1 に示したのと同じメモリ 5 0 でよい）に最多投票 1 3 5 を記憶する。例えば、最多投票 1 3 5 が水平方向（すなわち、2 以上の列が水平方向に投票）の場合、列投票ロジック 1 1 0 はその画素についてメモリ 1 3 0 に「1」を記憶する。最多投票 1 3 5 が垂直方向である場合、列投票ロジック 1 1 0 はその画素についてメモリ 1 3 0 に「0」を記憶する。従って、適応補間ロジック 4 2 が生データ 2 5 a、2 5 b、2 5 c を補間するときに、近傍距離 N に対応する多くの先行するライン上の多数決ルールの結果がメモリ 1 3 0 に記憶される。有利であることに、必要なメモリは記憶する各ラインについて 1 画素につき 1 ビットだけである。
40

【 0 0 7 7 】

列投票ロジック 1 1 0 と、1 以上の多数決投票 1 3 5 を含む近傍投票データ 1 4 0 からの列投票 1 2 5 が全て集められると、加算ロジック 1 5 0 は、列投票ロジック 1 1 0 によって供給された現在の画素についての列投票 1 2 5 を、近傍投票データ 1 4 0 によって供給された近傍投票に加算する。投票の加算結果 1 5 5 は、重み付け決定ロジック 1 6 0 へ送
50

られて重み付け係数 α を割り当てる。一例として、投票は 3 つの範囲に分割される。第 1 に、水平方向への投票の数が第 1 の閾値 T_1 未満の場合は、 $\alpha = 0$ となる。第 2 に、水平方向への投票の数が第 1 の閾値 T_1 と第 2 の閾値 T_2 の間である場合は、 $\alpha = 0.5$ となる。第 3 に、水平方向への投票の数が第 2 の閾値 T_2 よりも大きい場合は、 $\alpha = 1$ となる。

【0078】

T_1 と T_2 の選択は、近傍 N の大きさに依存する。例えば、 N が 1 の距離である場合、一実施形態では $T_1 = 1$ 、 $T_2 = 4$ となる。従って、1 の距離を有する近傍については、最大投票数は 5 となる（すなわち、現在の画素に 3 票、隣接する画素にそれぞれ 1 票）。 T_1 と T_2 をこのように選択することで、水平方向補間への投票が 1 以下の場合、 $\alpha = 0$ によって垂直方向補間が選択される。水平方向補間への投票が 4 または 5 の場合、 $\alpha = 1$ によって水平方向補間が選択される。2 または 3 の投票が得られる中間の場合は、 $\alpha = 0.5$ によって水平方向補間と垂直方向補間の平均が適用される。異なる近傍 N が選択されれば他の閾値が使用できることを理解されたい。重み付け係数 α が決定すると、補間ロジック 170 は α を用いて欠損する緑値を補間し、補間された緑色平面 35b を出力する。

【0079】

図 5 を参照すると、輝度色平面を補間するステップ（すなわち、クロミナンス画素位置での欠損緑値の決定）が示されている。第 1 のステップとして、各生データクロミナンス色平面（すなわち、赤と青）の勾配が、水平方向と垂直方向の一次導関数をとることによって推定される（ステップ 500）。一次導関数の代わりに、二次導関数等の変化の度合を測る他の尺度も使用できることを理解されたい。

【0080】

各画素位置での勾配が推定されると、式 6 に示すように、各画素位置のヤコビアンが既知となる（ステップ 510）。ヤコビアンの各列（すなわち、各勾配）は水平方向か垂直方向のいずれかに投票する（ステップ 520）。各勾配（列）からそれぞれ票が得られ、最多投票（すなわち、どちらが最も多く票を得たかによる垂直または水平の結果）がメモリに記憶される（ステップ 530）。

【0081】

一般に、DSP は行ごとに生データを処理する。従って、現在処理中の画素位置の右及び下に隣接する画素についての生データが既知であっても、これらの隣接画素に対する最多投票は未知である。従って、一般に近傍投票を考慮すると（ステップ 540）、投票を完了してメモリ内に最多投票を記憶させた隣接画素だけが、現在処理中の画素位置の左及び上に隣接する画素となる。例えば、以下に示すベイヤーパターンの画素位置 R_1 を考えると、近傍投票データは G_{x1} と G_{y1} からの最多投票を含むことになる。近傍投票の数を増やして、現在処理された画素から 2 画素またはそれ以上離れた近傍を考慮することもできることを理解されたい。

【0082】

【数 17】

$$\begin{array}{ccc} B_1 & G_{y1} & B_2 \\ G_{x1} & R_1 & G_{x2}, \\ B_3 & G_{y2} & B_4 \end{array}$$

【0083】

距離 1 の近傍については、現在処理中の画素位置の左と上の隣接画素それからの最多投票が、現在処理中の画素位置の列投票に加算され、結果として計 5 票が得られる（ステップ 550）。重み付け係数 α は、上述のように水平方向への投票の総数対垂直方向への投票の総数に基づいて決定される（ステップ 560）。例えば、上述の画素位置 R_1 を考えると、赤勾配（列）が水平方向に投票し、青勾配（列）が垂直方向に投票し、緑勾配（

10

20

30

40

50

列) が水平方向に投票した場合、画素位置 G_{x_1} の最多投票は水平方向となる。加えて、画素位置 G_{x_1} からの最多投票が水平方向であり、画素位置 G_{y_1} についての最多投票が垂直方向であった場合、水平方向への投票の総数は 3 であり、垂直方向への投票の総数は 2 となる。

【0084】

上述のように、水平方向への投票の総数または垂直方向への投票の総数のいずれかに基づいた 1 つまたは複数の閾値は、重み付け係数 α を決定するために設定することができる。図 4 に関連して上述した例では、2 つの閾値 T_1 、 T_2 が水平方向への投票の総数に基づいて設定された。図 4 の例では、 $T_1 = 1$ 、 $T_2 = 4$ である。従って、上述の画素位置 R_1 からの全投票数を用いると、3 票の水平方向の票があったため、重み付け係数 α は 0.5 となる。従って、画素位置 R_1 における欠損緑値の補間は、水平方向と垂直方向の画素値の両方に基づくことになる。10

【0085】

補間結果は、通常、線形予測を適用して改善される。滑らかな関数 $f(x)$ については、線形予測は次式のようになる。

【0086】

【数 18】

$$f(x) \approx f(x_o) + (x - x_o)f'(x_o). \quad (式14)$$

20

【0087】

例えば、上述のベイヤーパターン内の R_1 を含むラインを延長すると、水平方向の近傍には以下の画素が存在する。

$R_2 \ G_{x_1} \ R_1 \ G_{x_2} \ R_3$

G_{x_1} から R_1 における緑値の線形予測は、差分近似 $f'(x_0) = (R_1 - R_2) / 2$ を用い、 $x - x_0 = 1$ と置くと、次式のようになる。

【0088】

【数 19】

$$G_{x_1} + \{(R_1 - R_2) / 2\} \quad (式15)$$

30

この色の混合は、色平面間の強固な局所相関の仮定に基づくものであり、従って同じ方向の差分は同等となるはずである。

【0089】

同様に G_{x_2} から R_1 における線形予測は、 $x - x_0 = -1$ とすると、次式のようになる。

【0090】

【数 20】

$$G_{x_2} - \{(R_3 - R_1) / 2\} \quad (式16)$$

従って、式 13 において I_h で表わされる、 R_1 における水平方向に補間された緑値は、式 15 と式 16 の結果の平均となる。40

【0091】

【数 21】

$$I_h = \{(G_{x_1} + G_{x_2}) / 2\} + \{(-R_2 + 2R_1 - R_3) / 4\} \quad (式17)$$

【0092】

低光 (low-light) レベルの画像処理状況では、ノイズによって線形予測の有効性が阻害される。画像が低光の画像であるか否かは、画素値を見ることによって一般に判断される。画素値は、通常 0 ~ 255 の範囲にある。例えば、大半の画素値が低光の閾値 (オペレータによる判定またはデジタル撮像システム内にプログラムされた値) に満たない場合

50

、画像は低光の画像であるとみなされる。従って、0 1である係数（入力画素に対して適用されるゲインに従って設定される）によって線形補間の大きさを変えることは有利である。具体的には、式17は次式のように書き換えることができる。

【0093】

【数22】

$$I_h = \{(G_{x1} + G_{x2})/2\} + \gamma \{(-R_2 + 2R_1 - R_3)/4\}$$

(式18)

【0094】

低光レベルに対しては、ゲインは高く、その結果ノイズも多く、は0または小さな正の値に等しくなる。通常の照明では、は1に等しい。

【0095】

式18に示したのと同様の補間が、青と緑をもつラインの水平方向補間に使用され、また垂直方向補間にも使用される。画素位置R₁における補間された輝度値を計算するには、上述のように水平方向補間と垂直方向補間の平均が使用される。

【0096】

欠損輝度値が補間される（ステップ570）と、補間された輝度色平面は、図2に関連して上述したように、任意の既知のモザイク減少技法を用いて、クロミナンス色平面の補間に使用される図2の適応補間ロジックによって出力される（ステップ580）。適応モザイク減少PVMアルゴリズムを用いることで、画像は孤立した補間誤差が減少する。従つて、近傍を用いることによって、従来のモザイク減少法よりも滑らかな画像が再生される。

【0097】

PVMの性能は、追加の処理ステップによりさらに改良することができる。PVMモザイク減少アルゴリズムの拡張方法の一種を図6Aに示す。図6Aは、G1:G2の不一致を補償するための例示的なステップである。図2に示した生データ25内の緑画素は、2つのカテゴリーに分類される。すなわち、（1）水平方向の近傍として赤画素を、垂直方向の近傍として青画素を持つ、「G1」画素と、（2）水平方向の近傍として青画素を、垂直方向の近傍として赤画素を持つ、「G2」画素である。G1画素は、センサの構造とCFAの不良を含む要因によって、同じ照明に対してG2画素とかなり異なる値を呈することが多い。緑が一様である画像領域では緑値の変化が最も目立ち、詳細に検査すると市松模様状に見える。

【0098】

G1画素とG2画素の間の不一致は、PVMモザイク減少アルゴリズムの前に適用される2つの事前処理ステップを用いて補正することができる。図6Aに示され「平均バランス化（mean balancing）ステップ」と呼ばれる第1のステップは、全体的な補正を行う。この平均バランス化ステップは、画像全体のG1画素の平均値を計測し（ステップ600）、別に画像全体のG2画素の平均値を計測する（ステップ610）ことによって進められる。2つの平均値が等しい場合（ステップ620）、不一致は存在せず、処理は終了する（ステップ630）。しかし、2つの平均値が等しくない場合（ステップ620）には、2つの平均値の間の差の百分率が求められる（ステップ640）。その後、2つの平均（G1平均またはG2平均）のうちの小さな方の緑画素値が、差の百分率を用いて拡大される（ステップ650）。

【0099】

この平均バランス化ステップは、PVMアルゴリズムを用いたモザイク減少前に適用することができる。上述のように、デジタルカメラでは画像を選択して永久に記憶させる前に複数の画像を撮影して露出が適正かどうかを確認することが多い。従つて、この平均バランス化ステップは、画像を記憶させる前に、撮影した画像のうちの1つに対して実行される。

【0100】

10

20

30

40

50

第2のステップが図6Bに示されており、これを「適応平滑化」と呼ぶ。この第2のステップも、緑の色平面の補間に実行することができ、平均バランス化ステップの後に実行するのが好ましい。適応平滑化ステップは、エッジ上にない画素における生の緑値に平滑フィルタを適用し、平滑化された緑値を補間に用いる。画素がエッジ上にあるか否かは、式6に示したヤコビ行列からエントリの絶対値の合計を計算することによって決定することができる。ヤコビアンのエントリの絶対値の合計が所定の閾値（実験においては、閾値として64を用いた）未満である場合（ステップ670）、画素はエッジ上には無く、従って生の緑値に対し平滑化が適用される。合計が所定の閾値未満でない場合（ステップ670）、画素はエッジ上にあり、処理はこの画素に関して終了する（ステップ680）。適応平滑化ステップにとって、緑の画素値のヤコビアンの緑の列は、同等の緑画素、すなわちG1値とG1値またはG2値とG2値の差を取ることによって計算され、G1値とG2値の差を取ることによって計算されるのではないことに注意されたい。10

【0101】

緑画素がエッジ上に無いと決定されると（ステップ670）、平滑化は以下のような 3×3 のフィルタを用いて緑値を畳み込むことによって実現される（ステップ690）。

【0102】

【数23】

$$\frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 4 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (\text{式19}) \quad \text{20}$$

式19のフィルタは、以下に示すのと同様のベイヤーパターンを仮定する。

【0103】

【数24】

$$\begin{array}{ccc} G_1 & R & G_1 \\ B & G_2 & B \\ G_1 & R & G_1 \end{array}$$

30

ここで、G2値は、4つのG1値により囲まれている。G2値を平滑化するために、G2値は4倍されて周囲にあるG1値にそれぞれ加算される。加算後の合計は8で除算され、得られた値がG2値として用いられる。

【0104】

PVMモザイク減少技法に対するさらなる拡張を図7に示す。図7は、画像鮮明化（シャープ化）ステップを示す。画像は画素位置でのみサンプリングされるので、本質的に画像のアンダーサンプリングが存在し、画像内の一部の高周波成分が除かれてしまうことがある。従って、画像を鮮明化するため、二次導関数を元の画像へ付け加える。例えば、以下のベイヤーパターンを考える。40

【0105】

【数25】

G11	R12	G13	R14	G15
B21	G22	B23	G24	B25
G31	R32	G33	R34	G35
B41	G42	B43	G44	B45
G51	R52	G53	R54	G55

【0106】

G33 の水平方向の二次導関数は、(2G33 - G31 - G35) によって推定することができる。同様に、G33 の垂直方向の二次導関数は、(2G33 - G53 - G13) によって推定することができる。 10

【0107】

鮮明化の量はユーザーの好みに応じて調整可能であるのが好ましい。例えば、ラプラシアンを²で表わし、 κ を0～1の間で調整可能なパラメータとすると、次式により元の画像 $I(x, y)$ から鮮明化画像 $\hat{I}(x, y)$ ハットが求められる。

【0108】

【数26】

$$\hat{I}(x, y) = I(x, y) + \kappa \nabla^2 I(x, y). \quad (式20) \quad 20$$

ここで、 I はモザイク減少後に得られる十分に密にされた(fully-populated) 赤、緑、青の色平面のいずれかである。

【0109】

第1のステップとして、ユーザは調整可能なパラメータ κ を設定する(ステップ700)。調整可能なパラメータ κ は、鮮明化を望まないときは0に、最大量の鮮明化を望むときは1に設定される。しかし、 κ に0と1の間の任意の値を使用できることを理解されたい。調整可能なパラメータ κ が0に設定されると(ステップ710)、鮮明化は実行されない(ステップ720)。調整可能なパラメータ κ が0に設定されない場合(ステップ710)、ラプラシアンが求められ(ステップ730)、調整可能なパラメータ κ を乗じられ(ステップ740)、元の画素値に加算される(ステップ750)。 30

【0110】

一実施形態では、鮮明化は、差分画像補間の前に、補間された緑画像に適用することができる。例えば、チルダー $G(x, y)$ が補間された緑平面であるとすると、鮮明化された緑平面 $\hat{G}(x, y)$ ハットは以下のようになる。

【0111】

【数27】

$$\hat{G}(x, y) = G(x, y) + \kappa \nabla^2 G(x, y). \quad (式21) \quad 40$$

【0112】

式1及び式2内のチルダー $G(x, y)$ を $G(x, y)$ ハットで置き換えることにより、最小の処理で鮮明化が実現される。

【0113】

PVMモザイク減少アルゴリズムについての別の拡張を図8に示す。図8は、画像のノイズを低減するステップである。G1:G2補償について提案された適応平滑化は、ノイズを低減するために、赤画素と青画素に簡単に拡張することができる。ノイズ低減用の適応平滑化は、エッジ上にない画素での生の赤値と青値へ平滑化フィルタを適用し、平滑化さ 50

れた赤値と青値を補間に用いる。図6に関連して上述したように、画素がエッジ上にあるか否かは、式6に示したヤコビ行列式からエントリの絶対値の合計を計算することによって決定することができる(ステップ800)。ヤコビアンのエントリの絶対値の合計が所定の閾値未満の場合(ステップ810)、画素はエッジ上ではなく、従って生の赤値または青値に平滑化が適用される。合計が所定の閾値(ステップ810)未満でない場合、画素はエッジ上にあり、処理が終了する(ステップ820)。5×5のノイズ低減用平滑化フィルタは、以下のようなになる(ステップ830)。

【0114】

【数28】

10

$$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 8 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (\text{式22})$$

赤画素値と青画素値用の上記フィルタを用いた適応平滑化は、エッジをぼかすことなくノイズを低減するという長所を有する。

20

【0115】

本発明には例として以下の実施形態が含まれる。

【0116】

(1) 画素がデジタル画像のエッジ上にあるか否かを判定する方法であって、前記画素について、第1の色の第1のエッジ方向と第2の色の第2エッジ方向を決定するステップと、

前記第1のエッジ方向と前記第2のエッジ方向に関連する個別の補間の投票を提供し、選択された補間方向を決定するステップであって、前記個別の補間の投票が第1の補間方向または第2の補間方向のいずれかであり、前記選択された補間方向が前記第1の補間方向と前記第2の補間方向への前記投票の数に基づいている、ステップと、
を含む方法。

30

【0117】

(2) 前記第1のエッジ方向及び第2のエッジ方向はそれぞれ第1の勾配及び第2の勾配であり、該第1の勾配及び第2の勾配は前記画素のヤコビアンを形成する、上記(1)に記載の方法。

【0118】

(3) 前記第1の補間方向は水平方向補間であり、前記第2の補間方向は垂直方向補間であり、

前記提供するステップは、

前記第1の勾配に関連する補間の投票の第1の票を設定するステップであって、前記第1の勾配の行成分の絶対値が該第1の勾配の列成分の絶対値よりも小さいとき、前記第1の補間投票は前記水平方向補間に設定され、前記第1の勾配の列成分の絶対値が該第1の勾配の行成分の絶対値よりも小さいとき、前記第1の補間投票は前記垂直方向補間に設定される、ステップと、
40

前記第2の勾配に関連する補間の投票の第2の票を設定するステップであって、前記第2の勾配の行成分の絶対値が該第2の勾配の列成分の絶対値よりも小さいとき、前記第2の補間投票は前記水平方向補間に設定され、前記第2の勾配の列成分の絶対値が該第2の勾配の行成分の絶対値よりも小さいとき、前記第2の補間投票は前記垂直方向補間に設定される、ステップと、

前記設定ステップに基づいて、選択された前記補間方向について、前記水平方向補間、前

50

記垂直方向補間、または水平方向補間と垂直方向補間の組み合わせのいずれかを選択するステップと、

をさらに含む、上記(2)に記載の方法。

【0119】

(4) 前記選択ステップは、

隣接投票データを提供するステップであって、該隣接投票データは少なくとも一つの隣接画素からの多数決投票を含み、該多数決投票は、前記隣接画素からの最多の補間投票が水平方向補間であるときは水平方向補間であり、前記隣接画素からの最多の補間投票が垂直方向補間であるときは垂直方向補間である、ステップと、

前記近傍投票データを前記補間投票に加算して前記選択された補間方向を決定するステップと、
10

をさらに含む、上記(3)に記載の方法。

【0120】

(5) 前記選択ステップは、

前記水平方向補間と前記垂直方向補間のいずれかについて、前記補間投票の数に関連する第1の閾値及び第2の閾値を少なくとも設定するステップと、

前記水平方向補間と垂直方向補間のいずれかについて、前記補間投票の数が前記第1の閾値と第2の閾値の間にあるときに、前記水平方向補間と垂直方向補間の組み合わせを前記選択された補間方向として選択するステップと、

をさらに含む、上記(4)に記載の方法。
20

【0121】

(6) 画素位置における値として表わされるディジタル画像をモザイク減少する方法であつて、

一組の第1の色値と一組の第2の色値を受け取るステップと、

前記画素位置の所与の位置に関連する前記第1の色値のうちの所与の色値について、前記一組の第1の色値を使用して第1の変化の度合を決定するとともに、前記一組の第2の色値を使用して第2の変化の度合を決定するステップであって、前記第1の変化の度合及び第2の変化の度合はそれぞれ行成分と列成分を有する、ステップと、

前記第1の変化の度合及び第2の変化の度合の両方について、前記行成分を前記列成分と比較して、選択された補間方向を決定するステップと、
30

を含む方法。

【0122】

(7) 前記選択された補間方向を使用して、前記所与の画素位置に関連する欠損する第2の色値を補間するステップをさらに含む、上記(6)に記載の方法。

【0123】

(8) 前記補間ステップは、前記第1の色値と前記第2の色値を用いる線形予測関数を適用することによって、前記欠損する第2の色値を補間するステップをさらに含む、上記(7)に記載の方法。

【0124】

(9) 前記補間ステップは、

低光(low-light)の閾値未満の前記第1の色値及び第2の色値の数を決定するステップと、

前記数が他の閾値を越えたとき、前記線形予測関数を無効とする(turn off)ステップと、
40

をさらに含む、上記(8)に記載の方法。

【0125】

(10) 前記所与の第1の色値から前記補間した欠損する第2の色値を減算することによつて差分値を決定するステップと、

少なくとも前記差分値を用いて、欠損する第1の色値を補間するステップであつて、該欠損する第1の色値は前記第1の色値を生成しなかった前記画素位置のうちの一つに関連す
50

る、ステップと、
をさらに含む、上記(7)に記載の方法。

【0126】

(11) 前記第1の変化の度合及び第2の変化の度合はそれぞれ前記第1の勾配及び第2の勾配であり、該第1の勾配及び第2の勾配は前記所与の第1の色値のヤコビアンを形成しており、

前記比較ステップは、

前記第1の勾配及び第2の勾配のそれぞれによって個々の補間投票を供給するステップであって、該補間投票は第1の補間方向または第2の補間方向のいずれかであり、前記選択された補間方向は前記第1の補間方向と前記第2の補間方向についての前記補間投票の数に基づく、ステップをさらに含む、上記(6)に記載の方法。

10

【0127】

(12) 前記第1の補間方向は水平方向補間であり、前記第2の補間方向は垂直方向補間であり、

前記供給ステップは、

前記第1の勾配及び第2の勾配のそれぞれの前記行成分の絶対値が該勾配の前記列成分の絶対値よりも小さいとき、前記第1の勾配及び第2の勾配のそれぞれによって前記補間投票を前記水平方向補間として設定するステップと、

前記第1の勾配及び第2の勾配のそれぞれの前記列成分の絶対値が該勾配の前記列成分の絶対値よりも小さいとき、前記第1の勾配及び第2の勾配のそれぞれによって前記補間投票を前記垂直方向補間として設定するステップと、

20

前記設定ステップに基づいて、前記選択された補間方向について、前記水平方向補間、前記垂直方向補間、または水平方向補間と垂直方向補間の組み合わせのいずれかを選択するステップと、

をさらに含む、上記(11)に記載の方法。

【0128】

(13) 前記選択ステップは、

近傍投票データを提供するステップであって、該近傍投票データは前記画素位置に隣接する少なくとも1つの画素からの前記所与の画素位置に対する多数決投票を含み、該多数決投票は、前記画素位置の前記隣接画素からの最多の前記補間投票が水平方向補間であるときは水平方向補間であり、前記画素位置の前記隣接画素からの最多の前記補間投票が垂直方向補間であるときは垂直方向補間である、ステップと、

30

前記近傍投票データを前記補間投票に加算して、前記選択された補間方向を決定するステップと、

をさらに含む、上記(12)に記載の方法。

【0129】

(14) 前記選択ステップは、

前記水平方向補間または前記垂直方向補間のいずれかについて、前記補間投票の数に関する少なくとも第1の閾値と第2の閾値を設定するステップと、

前記水平方向補間か垂直方向補間のいずれかについて、前記補間投票の数が前記第1の閾値と第2の閾値の間にあるときに、前記水平方向補間と垂直方向補間の組み合わせを前記選択された補間方向として選択するステップと、

40

をさらに含む、上記(13)に記載の方法。

【0130】

(15) 前記第1の色値はクロミナンス色値であり、前記第2の色値は輝度色値である、上記(6)に記載の方法。

【0131】

(16) 前記輝度色値の第1グループの第1の平均輝度値と前記輝度色値の第2グループの第2の平均輝度値を決定するステップと、

前記第1の平均輝度値と前記第2の平均輝度値との間の差の百分率を求めるステップと、

50

前記第1の平均輝度値が前記第2の平均輝度値未満であるときに、前記差の百分率により前記輝度色値の第1グループを増大させるステップと、
をさらに含む、上記(15)に記載の方法。

【0132】

(17) 前記一組の輝度色値から前記輝度色値のうちの所与の一つのヤコビアンを求めるステップと、

前記ヤコビアン内の値の絶対値の第1の合計を求めるステップと、

前記第1の合計が所定の閾値に満たない場合に、

前記所与の輝度色値に4を乗ずるステップと、

4個の対角に隣接する画素位置の前記輝度色値を加算して第2の合計を得るステップと、

前記第2の合計を8で除算するステップと、

をさらに含む、上記(15)に記載の方法。

【0133】

(18) 前記所与の第1の色値のヤコビアンを求めるステップと、

前記ヤコビアン内の値の絶対値の第1の合計を求めるステップと、

前記第1の合計が所定の閾値未満である場合に、

前記所与の第1の色値に8を乗ずるステップと、

8個の最も近い画素位置の前記第1の色値を加算し、第2の合計を得るステップと、

前記第2の合計を16で除算するステップと、

をさらに含む、上記(6)に記載の方法。

10

20

【0134】

(19) 画素位置における値として表わされるディジタル画像をモザイク減少するディジタル画像処理システムであって、

一組の第1の色値と一組の第2の色値を受け取るようにされたプロセッサであって、前記画素位置の所与の位置に関連する前記第1の色値のうちの所与の色値について、前記一組の第1の色値を使用して第1の変化の度合を決定するとともに、前記一組の第2の色値を使用して第2の変化の度合を決定し、前記第1の変化の度合及び第2の変化の度合はそれぞれ行成分と列成分を有しており、前記第1の変化の度合及び第2の変化の度合の両方について前記行成分を前記列成分と比較して選択された補間方向を決定するプロセッサを備えるシステム。

30

【0135】

(20) 前記プロセッサは、前記選択された補間方向を使用して、前記所与の画素位置に関連する前記画素位置の欠損する第2の色値を補間するようにさらに適応されている、上記(20)に記載のシステム。

【0136】

(21) 前記プロセッサは、前記第1の色値と前記第2の色値を用いる線形予測関数を適用することによって、前記欠損する第2の色値を補間するようにさらに適応されている、上記(20)に記載のシステム。

【0137】

(22) 前記プロセッサは、低輝度の閾値未満の前記第1の色値及び第2の色値の数を決定し、前記数が他の閾値を越えたときに前記線形予測関数を無効とするようにさらに適応されている、上記(21)に記載のシステム。

40

【0138】

(23) 前記プロセッサは一組の第3の色値を受け取るように適応されており、前記一組の第1、第2及び第3の色値はそれぞれ異なる色に関連しており、前記プロセッサは前記第3の色値に関連する第3の変化の度合を決定することができる、上記(20)に記載のシステム。

【0139】

(24) 前記プロセッサは、前記所与の第1の色値から前記補間された欠損する第2の色値を減算することによって差分値を決定し、少なくとも該差分値を用いて、前記第2の色

50

値及び第3の色値に関する前記画素位置について欠損する第1の色値を補間するようさらに関連する前記画素位置について欠損する第1の色値を補間するように適応されている、上記(23)に記載のシステム。

【0140】

(25) 前記第1、第2及び第3の変化の度合はそれぞれ第1、第2及び第3の勾配であり、

該第1、第2及び第3の勾配は前記所与の第1の色値のヤコビアンを形成しており、該第1、第2及び第3の勾配のそれぞれが個々の補間投票を供給し、前記補間投票は第1の補間方向または第2の補間方向のいずれかであり、

前記選択された補間方向は前記第1の補間方向と前記第2の補間方向についての前記補間投票数に基づく、上記(23)に記載のシステム。 10

【0141】

(26) 前記第1の補間方向は、前記画素位置と同一の行内の前記画素位置からの少なくとも1つ以上の前記第2の色値を、前記所与の画素位置として用いた水平方向補間であり、

前記第2の補間方向は、前記画素位置と同一の列内の前記画素位置からの少なくとも1つ以上の前記第2の色値を、前記所与の画素位置として用いた垂直方向補間であり、

前記第1、第2及び第3の勾配のそれぞれの前記補間投票は、前記それぞれの勾配の前記行成分の絶対値が該勾配の前記列成分の絶対値よりも小さいとき、前記水平方向補間であり、前記それぞれの勾配の前記列成分の絶対値が該勾配の前記行成分の絶対値よりも小さいとき、前記垂直方向補間であり、 20

前記選択された補間方向は、前記水平方向補間、前記垂直方向補間、または垂直方向補間と水平方向補間の組み合わせからなるグループから選択される、上記(25)に記載のシステム。

【0142】

(27) 近傍投票データを記憶することのできるメモリをさらに備え、

該近傍投票データは前記所与の画素位置に対し前記画素位置に隣接する少なくとも一つの画素からの多数決投票を含み、

該多数決投票は前記画素位置の前記隣接画素からの最多の前記補間投票が水平方向補間であるときは水平方向補間であり、前記隣接画素からの最多の前記補間投票が垂直方向補間であるときは垂直方向補間であり、 30

前記近傍投票データを前記補間投票に加算して、前記選択された補間方向を決定する、上記(26)に記載のシステム。

【0143】

(28) 前記水平方向補間または前記垂直方向補間のいずれかについて前記補間投票数に関連する少なくとも第1の閾値及び第2の閾値をさらに備え、

前記選択された補間方向は、前記水平方向補間または前記垂直方向補間のいずれかについて前記補間投票数が前記第1の閾値と第2の閾値の間にあるときに、前記水平方向補間と垂直方向補間の組み合わせとなる、上記(27)に記載のシステム。 30

【0144】

(29) 前記第1の色値はクロミナンス色値であり、前記第2の色値は輝度色値である、上記(19)に記載の前記システム。 40

【0145】

(30) 前記プロセッサは、

前記輝度色値の第1グループの第1の平均輝度値と前記輝度色値の第2グループの第2の平均輝度値を決定し、

前記第1の平均輝度値と前記第2の平均輝度値との間の差の百分率を求め、

前記第1の平均輝度値が前記第2の平均輝度値未満であるときに、前記差の百分率により前記輝度色値の第1グループを増大させるようにさらに適応されている、上記(29)に記載のシステム。 50

【0146】

(3 1) 前記プロセッサは、

前記一組の輝度色値から前記輝度色値のうちの所与の一つのヤコビアンを求め、前記ヤコビアン内の値の絶対値の第1の合計を求め、

前記第1の合計が所定の閾値に満たないときに、前記所与の輝度色値に4を乗じ、4個の対角に隣接する画素位置の前記輝度色値を加算して第2の合計を求め、該第2の合計を8で除算するようさらに適応されている、上記(29)に記載のシステム。

【 0 1 4 7 】

(3 2) 前記プロセッサは、前記第1の色値の組と前記第2の色値の組のいずれかの内の選択された色値のラプラシアンを求め、調整可能なパラメータを乗じた前記ラプラシアンを前記選択された色値に加算するようさらに適応されている、上記(19)に記載のシステム。 10

【 0 1 4 8 】

(3 3) 前記プロセッサは、前記所与の第1の色値のヤコビアンを求め、前記ヤコビアン内の値の絶対値の第1の合計を求め、

前記第1の合計が所定の閾値未満であるときに、前記所定の第1の色値に8を乗じ、8個の最も近い画素位置の前記第1の色値を加算して第2の合計を求め、該第2の合計を16で除算するようさらに適応されている、上記(19)に記載のシステム。

【 0 1 4 9 】

当業者はならば認めるように、本明細書に記載された発明の概念は、広範囲の用途に合せて修正、変更することができる。従って、本発明の範囲は、説明した特定の教示のいずれにも限定されるべきではない。 20

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の例示的な実施形態に従った適応モザイク減少アルゴリズムを用いたデジタル画像システムを示すブロック図である。

【 図 2 】 本発明の例示的な実施形態に従ったモザイク減少アルゴリズムを実装するロジックを示すブロック図である。

【 図 3 】 図 2 に示したモザイク減少アルゴリズムを実行する例示的なステップを示すフローチャートである。

【 図 4 】 本発明のモザイク減少アルゴリズムに従って輝度色平面の例示的な適応補間を実行するロジックを示すブロック図である。 30

【 図 5 】 図 4 に示した適応補間処理を実行する例示的なステップを示すフローチャートである。

【 図 6 】 画像の色の不一致を補償する本発明のモザイク減少アルゴリズムへの拡張の例示的なステップを示すフローチャートである。

【 図 7 】 画像をシャープにする本発明のモザイク減少アルゴリズムへの拡張の例示的なステップを示すフローチャートである。

【 図 8 】 画像のノイズを減らす本発明のモザイク減少アルゴリズムへの拡張の例示的なステップを示すフローチャートである。

【 符合の説明 】

2 0 デジタル画像センサ

40

2 5 生データ

2 5 a , 2 5 b , 2 5 c 生データ赤色平面

2 8 a , 2 8 b 差分クロミナンス色平面

3 0 バッファ

3 5 a , 3 5 b , 3 5 c 補間色平面

4 0 デジタル信号プロセッサ

4 2 適応補間ロジック

4 4 a , 4 4 b 減算ロジック

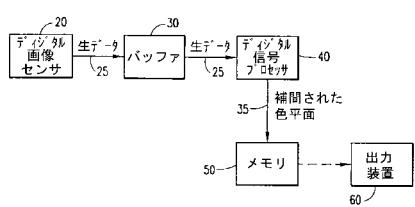
4 6 a , 4 6 b 差分補間ロジック

4 8 a , 4 8 b 加算ロジック

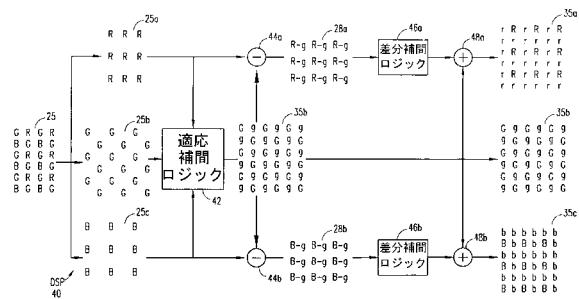
50

5 0 メモリ
 6 0 出力装置
 1 0 0 a , 1 0 0 b , 1 0 0 c 勾配ロジック
 1 0 5 a , 1 0 5 b , 1 0 5 c 勾配
 1 1 0 ヤコビアンロジック
 1 1 5 ヤコビアン
 1 2 0 列投票ロジック
 1 2 5 列投票
 1 3 0 メモリ
 1 3 5 最多投票
 1 4 0 近傍投票データ
 1 5 0 加算ロジック
 1 5 5 加算結果
 1 6 0 重み付け係数判定ロジック
 1 7 0 補間ロジック 10

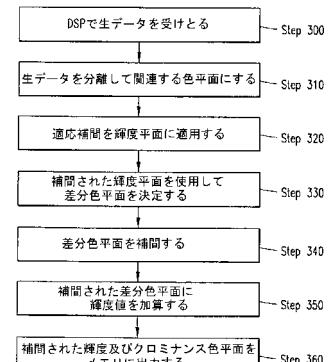
【図 1】



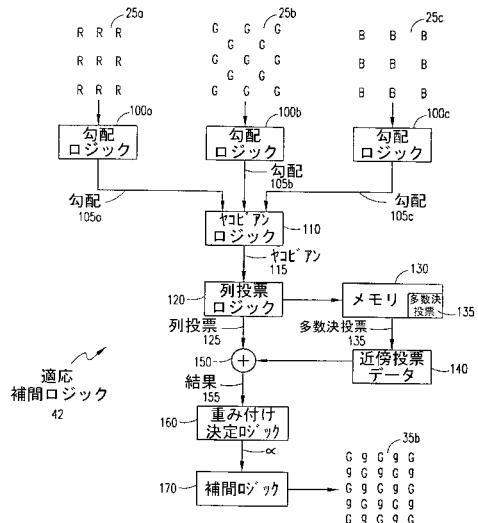
【図 2】



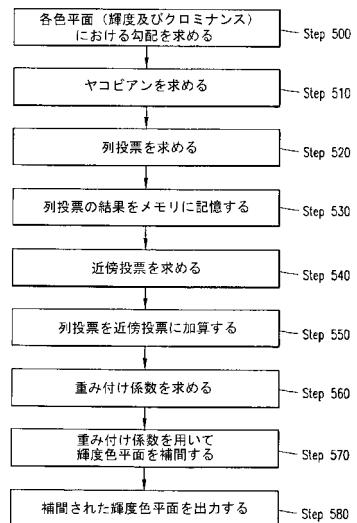
【図 3】



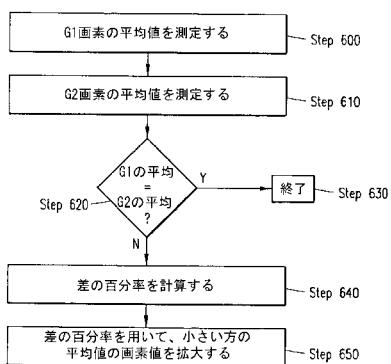
【図4】



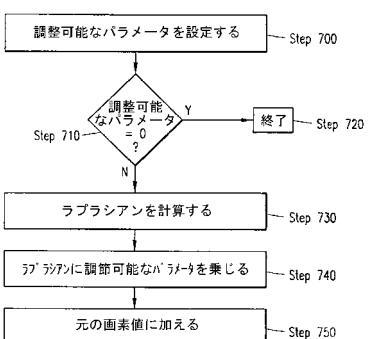
【図5】



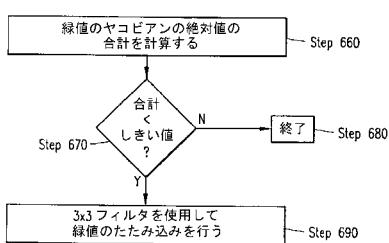
【図6 A】



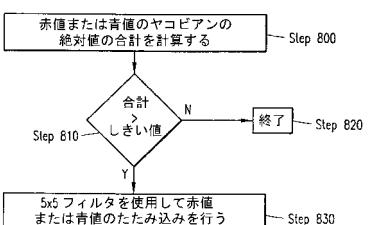
【図7】



【図6 B】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 イザーク・バハラヴ

アメリカ合衆国 9 5 1 2 4 カリフォルニア州サン・ノゼ、セイント・ローレンス・ドライブ 25
48

審査官 松田 岳士

(56)参考文献 特開2000-175208 (JP, A)

特開平10-164602 (JP, A)

特開2000-244934 (JP, A)

特開平11-215515 (JP, A)

特開平09-238355 (JP, A)

特開平11-275373 (JP, A)

特開2001-231052 (JP, A)

特開2000-341701 (JP, A)

特開平09-084031 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04N 9/04 - 9/11