

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-167984
(P2005-167984A)

(43) 公開日 平成17年6月23日(2005.6.23)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO4N 1/46	HO4N 1/46 Z	5B057
GO6T 1/00	GO6T 1/00 510	5C077
GO6T 7/00	GO6T 7/00 100A	5C079
HO4N 1/60	HO4N 1/40 D	5L096

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L 外国語出願 (全 42 頁)

(21) 出願番号	特願2004-288884 (P2004-288884)	(71) 出願人	000005049 シャープ株式会社 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(22) 出願日	平成16年9月30日(2004.9.30)	(74) 代理人	100080034 弁理士 原 謙三
(31) 優先権主張番号	10/677,034	(74) 代理人	100113701 弁理士 木島 隆一
(32) 優先日	平成15年9月30日(2003.9.30)	(74) 代理人	100116241 弁理士 金子 一郎
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	ジョン マシュー スピーグル アメリカ合衆国 ワシントン州 9868 3, ヴァンクーヴァー, グラハム ロード エス. イー. 14908

最終頁に続く

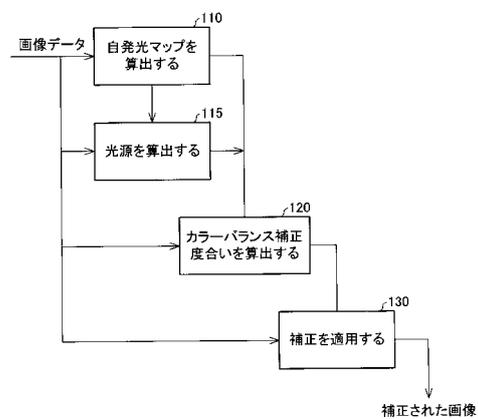
(54) 【発明の名称】 画像中の自発光要素の存在を算出するシステムおよび方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 自発光要素の存在に対して画像を補正する。

【解決手段】 本発明の実施形態は、自発光画像要素を推定し、画像を変更し、自発光要素の存在に対して画像を補正する。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

画像要素が自発光である確度を決定する方法であって、
画像要素特性を決定するステップと、
上記画像要素の特性を既知の自発光要素の特性と比較するステップであって、
（i）上記画像要素の画像境界への近接度を、既知の画像要素のその境界への近接度と比較する動作、
（ii）上記画像要素のカラー特性を、既知の光源の特性と比較する動作、
（iii）上記画像要素の輝度特性を、既知の自発光要素の特性と比較する動作
からなる組み合わせから取り入れられた少なくとも1つの動作を含む、上記比較のステップと、
上記画像要素に自発光重み付け要因を割り当てるステップと、
上記画像の少なくとも一部分について、上記重み付け要因に基づいたカラーバランス補正を推定するステップと、
を含む、画像要素が自発光である確度を決定する方法。

10

【請求項 2】

画像要素が自発光である確度を決定する方法であって、
画像要素特性を決定するステップと、
上記画像要素の上記カラー特性を、既知の光源下で得られるカラー特性と比較するステップと、
上記画像要素の上記輝度特性を、既知の光源下で得られる輝度特性と比較するステップと、
上記カラー特性および上記輝度特性のうち少なくとも1つが自発光要素の基準を満たす場合には、自発光である可能性があるものとして上記画像要素を分類するステップとを含む、画像要素が自発光である確度を決定する方法。

20

【請求項 3】

上記画像要素の画像境界への近接度を測定するステップをさらに含む方法であって、上記分類するステップが、上記基準が満たされているか否かを決定するために上記近接度を評価するステップをさらに含む方法である、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

画像の光源を推定する方法であって、
画像要素特性を決定するステップと、
画像要素それぞれに対して、その自発光である尤度にしたがって、重み付け要因を割り当てるステップと、
複数の画像要素に対する光源を推定するステップと、
上記重み付け要因によって調整されたそれぞれの画像要素について、上記光源に基づいて、画像光源を推定するステップと、
を含む、画像の光源を推定する方法。

30

【請求項 5】

上記重み付け要因の効果が、画像要素が自発光でない尤度と比例の関係にある、請求項 4 に記載の方法。

40

【請求項 6】

画像におけるカラーバランスを補正する方法であって、
画像についての画像要素特性を取得するステップと、
画像要素それぞれに対して、その自発光である尤度にしたがって、重み付け要因を割り当てるステップと、
上記画像要素特性および上記重み付け要因に基づいて画像光源を推定するステップと、
上記推定された光源に対して画像カラーバランスを補正するステップと、
を含む、画像カラーバランスを補正する方法。

【請求項 7】

50

上記補正は、
上記推定された光源に対して、自発光の可能性がない画像要素を補正するステップと、
自発光の可能性のある画像要素に対して、上記画像カラーバランスを補正するステップ
を省略するステップと、
を含む補正である、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

上記補正は、
上記画像要素をその自発光である尤度にしたがって補正するステップであって、
自発光である確度が最も低い要素に対しては、完全な補正を適用し、
自発光である確度が最も高い要素に対しては、補正を適用せず、
上記限界値の間にある要素に対しては、部分的な補正を適用する、
上記補正するステップを含む補正である、請求項 6 に記載の方法。

10

【請求項 9】

画像要素が自発光である確度を決定する実行可能な命令のセットであって、
画像要素特性を決定するステップと、
上記画像要素の特性を既知の自発光要素の特性と比較するステップであって、
(i) 上記画像要素の画像境界への近接度を、既知の画像要素のその境界への近接度と
比較する動作、
(ii) 上記画像要素のカラー特性を、既知の光源のそれと比較する動作、
(iii) 上記画像要素の輝度特性を、既知の自発光要素のそれと比較する動作、
からなる組み合わせから取り入れられた少なくとも 1 つの動作を含む、上記比較するス
テップと、
上記近接度、上記カラー特性および上記輝度特性のうち少なくとも 1 つが自発光要素の
基準を満たす場合には、自発光である可能性があるものとして上記画像要素を分類するス
テップと、
を含む方法。

20

【請求項 10】

画像要素が自発光である確度を決定するシステムであって、
画像要素特性を記憶するための記憶部と、
上記画像要素の特性を、既知の自発光要素の特性と比較するためのプロセッサであって
、上記比較は、
(i) 上記画像要素の画像境界への近接度を、既知の画像要素のその境界への近接度
と比較する動作、
(ii) 上記画像要素のカラー特性を、既知の光源のカラー特性と比較する動作、
(iii) 上記画像要素の輝度特性を、既知の自発光要素の輝度特性と比較する動作、
からなる組み合わせから取り入れられた少なくとも 1 つの動作を含む比較である、上記プ
ロセッサと、
上記近接度、上記カラー特性および上記輝度特性のうち少なくとも 1 つが自発光要素の
基準を満たす場合には、自発光である可能性があるものとして上記画像要素を分類する分
類部 (classifier) と、
を含む、画像要素が自発光である確度を決定するシステム。

30

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して、デジタル画像処理および、さらにとりわけ、画像中の色の変わり目
または自発光体の検出に関するものである。

【0002】

(背景技術)

イメージセンサに届く反射光は、画像の被写体を照らす光による。光源が異なれば、そ
の画像の被写体の表面から得るセンサ検出値 (sensor value) も異なる。ヒトの視覚シス

50

テムは、表面の色が一定の色に見えるように、反射光における上記の変化を知覚されるノルムへとおおよそ補正する。しかしながら、画像が媒体に取り込まれた場合に取り込まれた場面での光源 (a light source) とは異なる光源の下で見られると、自然法則に従った補正は起こらない。したがって、記録された画像には、自然な状態の目で見えるときのように見えるようにするために基準光源へのカラーバランス調整を行なうことが望ましいことがほとんどである。このバランス調整またはカラー補正は、ひとたびシーンの光源が特定されれば実行され得る。

【0003】

画像のシーンにおける発光体または光源の特定についての多くの方法が知られているが、従来の補正アルゴリズムは、すべての画像ピクセルが反射面を表していると想定してしまう。もし画像が、空やその他の発光体のように自発光体を含んでいれば、表面ピクセルの想定は妨害されてしまう。もし画像が、光を反射しない重要な部分、つまり自発光体を含んでいれば、従来の方法では失敗し、その画像の光源は誤って決定されてしまうであろう。例えば、もし画像が青い空を含んでいて、カラーバランスアルゴリズムがすべてのピクセルは反射物体であると想定してしまうと、青っぽいピクセルはシーンの照明 (illumination) が青っぽい証拠であるとして捉えられてしまうであろう。カラー補正とはおおよそ、推定された光源の色相を正反対にすることであるので、青っぽい光源に対する補正は画像を黄色の方向に変更してしまう。この補正の結果、過度に黄色っぽい地面や表面の領域および彩度を落とされた空の領域ができてしまうこともある。

【0004】

上記のカラー補正、カラーバランスまたはカラーコンスタンシーアルゴリズム (color constancy algorithms) は概して、発光体 (ここでは以下自発光体とも呼ばれている) を含む画像をどのように扱えばよいのかという疑問に対しては、注意を向けていない。これらはむしろ、表面ピクセルの想定を満足させる画像 (例えば、均一に光を照射されるモンドリアン風の画像) に焦点をあててきたのである。

【0005】

(図の詳細な説明)

本発明の実施形態は、以下の記述および添付の請求項において、付属の図面と関連して、さらに完全に明らかにされる。上記図面は単に典型的な実施形態を描写しているにすぎず、したがって、本発明の範囲を制限するとは考えないということ理解されたい。また、上記実施形態において、付属の図面を用いることによってさらなる特殊性および詳細が記述される。ここで、

図1aは、本発明のある実施形態における、自発光要素検出の方法を示すフローチャートである。

図1bは、本発明のある実施形態における、自発光要素検出および要素の重み付け方法を示すフローチャートである。

図2は、本発明の実施形態における要素を示すのに用いられる、典型的な画像である。

図3aは、画像境界に関連したピクセル位置に基づく、自発光である尤度を示す画像である。

図3bは、カラー特性に基づく、自発光である尤度を示す画像である。

図3cは、輝度特性に基づく、自発光である尤度を示す画像である。

図3dは、図3a、bおよびcに示された要因の組み合わせに基づく、組み合わせられた、自発光である尤度を示す画像である。

図4は、典型的な自発光確率分布を示すグラフである。

図5は、本発明の実施形態におけるいくつかのステップを示すフローチャートである。

図6は、選択された光源から反射された、さまざまな色分布を示すグラフである。

図7は、図6に示された光源の色度図を表すグラフである。

図8は、自発光である尤度に関連付けられた重み付け要因を使用する実施形態における方法を示すフローチャートである。

図9は、補正要因を使用する実施形態における方法を示すフローチャートである。

図10は、自発光要素が補正の間に識別されるような実施形態における方法を示すフローチャートである。

【0006】

(詳細な説明)

本発明のある実施形態において、画像の自発光領域を決定する方法が用いられる。デジタル画像補正パラメータは自発光領域の決定に応じて計算され得る。画像の自発光領域は画像特性基準より決定され得る。例えば、画像特性基準は、ピクセルカラー特性、ピクセル輝度および/またはピクセル位置パラメータであってもよい。ある実施形態において、自発光領域は、明るいピクセル輝度に対応して決定されてもよい。ここで、明るいピクセル輝度とは、周囲の画像領域に対する相対的な明るさのことか、および/または、明るさの閾値よりも明るいこととして定義されている。

10

【0007】

ある実施形態において、自発光領域は、色度関数、色相角関数、カラー彩度関数、または明度関数などのような、複数の項 (terms) からなるカラー特性の一般的な関数を用いて決定されてもよい。

【0008】

他の実施形態において、自発光領域は、画像の端または他の幾何学的画像特性に関するピクセル位置に関連付けられて決定されてもよい。

【0009】

本発明の実施形態における多くのアルゴリズムにおいて、補正は、CIE 1931 XYZの三刺激値 (tristimulus) などのような線形の色空間において採用されている行列の形をとっている。入力された三刺激値は、行列によって、1組のカラー補正值を生成するために以下のように乗算される。

20

【0010】

【数1】

$$\mathbf{x}' = \mathbf{M} \cdot \mathbf{x}$$

【0011】

ここで、 \mathbf{x} は三刺激値のうちの1つのベクトルを表し、

\mathbf{M} はカラーコレクションマトリクスを表し、

\mathbf{x}' は補正值のベクトルを表している。

上記カラー補正は、CIE 1931 XYZまたはRGBセンサスペースの線形変換を含む、他の色空間において実行することも可能である。

30

【0012】

カラー補正のある特徴 (One view) とは、クリティカルステップが、そのシーンの光源を推定するステップであり、次に上記推定結果からコレクションマトリクスが定義され得るということである。上記アプローチは表面反射率関数およびそれぞれのピクセルにおける照度を推定しようとするものである。次に、元のセンサ検出値は、標準的な光源下での値へとマッピングされる。上記プロセスでは、表面ピクセルの仮定が満足されているものと想定される。

40

【0013】

コレクションマトリクスを定義するある方法は、反射率および光源の線形モデル、およびシーンについて推定された光源に関するものである。反射率または光源関数 (例えば、光沢のないマンセルチップセット、または基準の昼光パワースペクトルなど) の大きな集合内の原理構成要素の分析 (または、特異値分解、SVD) の実行後、典型的な光源および面が低次元線形モデルを用いて概算により求められ得る。次に、関数は、重み付けの集合を定義することによって線形モデル上に近似値を得ることが可能となる。

【0014】

【数 2】

$$r = B_s w_s$$

$$e = B_e w_e$$

【0015】

ここで、

r は概算された反射率値の $1 \times n$ の波長ベクトルを、

e は概算された光源スペクトルパワー値の $1 \times n$ の波長ベクトルを、

w_s はサーフェスリニアモデルにおける重み付けの集合を、

w_e はイルミネトリニアモデルにおける重み付けの集合を、

B_s は表面反射率関数に基づくサーフェスの集合を、

B_e は光源スペクトルパワー関数に基づくイルミネナントの集合を表す。

【0016】

色空間座標 x は、ある光源の下で計算された反射率関数、

【0017】

【数 3】

$$x = T E B_s w_s$$

【0018】

に対して算出される。ここで、

【0019】

【数 4】

E は、光源を表す対角 [n 波長、 n 波長] 行列、つまり、 $E = \text{diag}(B_e w_e)$ を表し、
 T は、波長領域から色座標への変換（例えば、CIE 1931 カラーマッチング関数またはセンサ応答関数 (sensor response functions) など) を表す行列を表す。

【0020】

センサ検出値を算出するための、上記方程式は、光沢のない反射面から反射している光源スペクトルパワー分布の物理的現象を表しており、センサの集合に信号を適用している。上記基底の次元は (The dimensions of the bases)、[n 波長、 $n B_s$] および [n 波長、 $n B_e$] である。

【0021】

第一のシーンについての光源を推定すると、色座標から面の重み付けまでのマッピングを反転させることが可能である。次に、上記面の重み付けは、第二のシーンにおける光源（例えば、CIE D6500 のような標準光源条件）の下で再計算され得る。上記第二光源下でのカラー補正值 x' は以下のように算出され得る。

【0022】

【数 5】

$$x' = M \cdot x$$

ここで、

$$M = T E_2 B_s (T E_1 B_s)^{-1}$$

$$E_2 = \text{diag}(e_{\text{canonical}})$$

$$E_1 = \text{diag}(B_e w_e)$$

【0023】

$e_{\text{canonical}}$ は、標準光源のスペクトルパワー分布である。

【0024】

コレクションマトリクスを定義するあるいは別の方法は、補正の形に制約を加える。例えば、ある方法においては、上記コレクションマトリクスは、全てに値が配置された行列であるよりはむしろ対角行列でなければならない。他の方法においては、取得した値は、推定される光源の下でのニュートラル体 (neutral object) を標準光源下でのニュートラル値にマッピングするように定義される。コレクションマトリクスのそれぞれの形につい

10

20

30

40

50

て、推定された光源パラメータから補正パラメータへのマッピングが必要である。

【0025】

自発光または反射しない画像領域は、誤った光源推定への偏向を含む問題、または第一のカラー補正変換における想定妨害によるカラー補正の問題を引き起こすこともある。

【0026】

本発明のある実施形態において、ピクセルまたはそのグループなどの画像要素は、その画像において自発光体らしさを表しているかどうかを決定するために評価される。上記要素は、もしそれらが画像の端に近接して位置していたら自発光である確度はさらに高くなり得る。例えば、しかしこれに限定する意図はないが、空の領域および自発光の領域を含む画像において、自発光の空の領域は典型的に画像の上端に沿って位置している。風景写真から顔写真まで、あらゆる画像を回転させた場合には、上端が側端になることもあり、その逆もまたあり得る。したがって、本発明のある実施形態においては、どの端においてもそこに近接しているということが、自発光の尺度となってもよい。他の実施形態において、画像方向性アルゴリズムは、画像の上部、下部、および側部を特定するのに用いることができる。また他の実施形態において、画像が画像の方向性に関するメタデータまたはいくつかの別の尺度を含んでいてもよい。方向が特定される上記のような実施形態においては、特定の端部に近接していることが自発光であることを示し得る。例えば、しかしこれに限定する意図はないが、あるピクセルが画像の上端に近接していることは、画像の両側端や下端に近接していることよりも、より自発光であること目印となり得る。

10

【0027】

ある実施形態において、要素の自発光である尤度は、要素のカラー特性または記述子に関連して決定される。ある実施形態において、この関数で出力されたものは、連続的な色調のグレースケール画像として見ることができ、このグレースケールにおいては、明るい領域ほど自発光体らしき領域に相当し、暗い領域ほど反射面に相当する。

20

【0028】

ある実施形態において、要素の色度またはカラー特性は自発光を決定するのに用いられてもよい。要素の色度が既知の光源または一般の自発光体の色度と同じ場合には、その要素は自発光である可能性がより高いということになる。

【0029】

本発明の実施形態のいくつかは、図1aのチャートにおいて示されるステップを含む。この図において、ピクセルまたは関心領域 (region of interest) などの画像要素は、位置などのような特性、色度などのような強度のないカラー特性、および/または輝度のような強度の値などの、その特性を決定するために評価される(10)。要素の位置は、画像の端に対する近接度を決定するために評価される(12)。ここで、もし要素が端、つまり、ある特定の端、あるいはいくつかの他の幾何学的形状の画像における境界に十分近接していたら、その要素はより自発光である可能性が高いとみなされ、フラグまたは決定変数値が、上記の尤度にしたがって設定(11)、または、増やされる。

30

【0030】

次に要素のカラー特性が評価され(14)、もしそのカラー特性が既知の光源または自発光体のカラー特性と合えば、その要素が自発光である可能性がさらになくなったと考えられる。カラー特性は、色度、輝度および他の属性を含む。上記特性が、自発光である尤度を示した場合は、フラグまたは決定変数値が、上記の尤度にしたがって設定される(13)。

40

【0031】

上記評価(12、14)および上記関連付けられたフラグまたは決定変数の設定は、特定の適用先の必要に応じていかなる順番で実行されてもよい。上記評価の結果は、ブール論理の変数加算、または他の方法によって結合され(16)、もし重要な証拠が存在すれば、その要素は自発光体の可能性があると考えられ得る(18)。

【0032】

本発明の他の実施形態においては、図1bに示されるように、画像要素が重み付け要因

50

またはスコアにしたがって算定および分類されてもよい。このような実施形態において、要素は、それらの位置が画像の端、つまり特定の端、またはいくつかの他の画像境界特性に近接しているか否かを決定するために算定される。もしその位置が、ひとつまたはそれ以上の上記特性にかなり近接している場合は、その要素における、上記重み付け要因またはスコアは増やされ(24)、その要素はさらに評価される。

【0033】

もし要素のカラー特性が、青空、曇り空、タングステン白熱光、蛍光などのような既知の自発光体のカラー特性と似ていれば(26)、その要素は自発光である可能性があると考えられ、上記尤度を反映するため、上記要素の重み付け要因またはスコアは増やされる(28)。

10

【0034】

もし要素の輝度特性が既知の自発光体の輝度特性と似ていれば(30)、その要素が自発光であるというより高い尤度を反映するため、上記要素の重み付け要因またはスコアは増やされる(32)。上記要素のスコアまたは重み付け要因が十分高い値であれば、その要素は自発光であるとみなされ得る。

【0035】

本発明の実施形態における方法は、元のデジタル画像である図2、および図3(a)~図3(d)を参照しながら示す。図3(a)~図3(d)は、図2から導き出された画像のセットで、要素の位置、色度またはカラー特性、および/または輝度パラメータに基づく自発光の尤度を示している。図3(a)~図3(d)の画像において、白い領域は高い尤度の領域を、一方黒い領域は低い尤度の領域を表している。

20

【0036】

本発明のある実施形態において、上記自発光決定変数 s は、上記ピクセルカラー値 x 、およびピクセル位置 (i, j) より、

$$s = f(x, i, j)$$

として算出され得る。

【0037】

ある実施形態において、上記要因間の独立性もまた想定されうる。上記は、項(terms)同士が、相関関係があるという利点を享受しないという点で、計算上便利である。(例えば、空は青っぽくかつ高い輝度である可能性がある。)

30

$$s = g(X) * h(i, j)$$

カラー値によって決定する項は、色度 c および輝度 Y に基づいて分離可能な項に分解される。

$$s = g_1(c) * g_2(Y) * h(i, j)$$

$g_1(c)$ において、関数は、「青空」の色相角のときに最大値をとるように、および、その色相角が上記の値から離れていくにつれて減少するようになっている。 $g_2(Y)$ は大部分の空領域の輝度分布に基づいている。 $h(i, j)$ については、空は画像の端近くにある可能性がより高いという簡単な前提が成立し得る。ここで、 $h(i, j)$ はピクセル行数の線形関数である。注意すべきは、 $g_1(c)$ および $g_2(Y)$ に対するこれらの選択(these choices)は上記モデルを自発光体としての「青空」の領域、または、他の光源または光源のグループの領域を特定するように強く方向付けるということである。

40

【0038】

図2は、表面反射領域42および空領域40を含む画像である。図3は、それぞれの自発光尤度関数についての決定変数マップを示す。CIE 1931 x, y, Y 色空間にしたがって、色度を表すのに「 x, y 」、および輝度を表すのに「 Y 」が用いられている。地面の領域においては、最終決定変数はほぼ0であり、図3(a)~図3(d)における4つのすべての画像において黒色で示されている。

【0039】

図3(a)において、画像の上端近くの要素における、自発光である尤度が、明るめの陰によって示されている。この陰は、その位置が上端から遠くなるほど次第に暗くなって

50

いる。

【0040】

図3(b)において、「青空」または、他の光源または光源のグループと同様のクロミナンスを有する要素またはピクセルが白で示されている。一方、色相のその範囲から「遠い」ものはより暗めの陰によって示されている。

【0041】

図3(c)において、既知の自発光体と同様の輝度値を有する要素またはピクセルが、明るめの陰によって示されている。この典型的な画像の場合においては、ほとんどのピクセルがこの画像の空ほど高い輝度を有しておらず、比較的暗い。

【0042】

図3(d)は、図3(a)から図3(c)に示された画像の組み合わせを表している、合成画像を示す。この図において空にある要素のみが明るめの陰によって示され、このことにより組み合わせ解析適用の成功を表すことができる。

【0043】

図4は、図3(d)に対応する自発光決定変数の分布を示す図表である。「空」領域は0.2から0.35の範囲の値に対応している。

【0044】

本発明における実施形態は、デジタル画像におけるカラーバランスまたはカラーコンスタンスシーメソッド(color constancy estimation methods)およびカラーバランス補正との組み合わせで用いることもできる。本発明のある実施形態において、図5に示されているように、発明の方法およびシステムを、自発光要素を決定する(110)ために用いることができる。上記方法およびシステムは、さらに、画像光源の決定(115)およびカラーバランスを獲得するために用いられる補正(120)に影響を与えることもある。また、上記方法およびシステムは、カラーバランス補正の適用(130)における効果を有していてもよい。

【0045】

自発光でないと分類されたピクセルのみから推定するカラーバランスアルゴリズムのほとんどは、カラーバランスパラメータを獲得するための自発光分類マップを用いるために、変更可能である。上記変更されたアルゴリズムは、自発光画像領域が存在するために、傾きを減少させて推定結果を返す

例えば、グレーワールドアルゴリズム(a greyworld algorithm)は、シーンの色度の重み付けされた平均を算出するように変更可能である。この重み付けは、自発光らしきピクセルに対しては減らされる。

【0046】

関数 $f(e_i)$ が画像Iにおいて最大になるような光源パラメータ e_i を選択する光源算定方法を考えると、

【0047】

【数6】

$$f(e_i) = \sum p(x_k | I, S_k=0) * p(x_k | e_i)$$

【0048】

となり、

x_k は、カラー値のベクトルを、

S_k は、自発光($S=1$)または表面反射($S=0$)の状態を表示するバイナリ変数を、
 e_i は、 i 番目の光源のパラメータ集合を表す。

$p(x_k | I, S_k=0)$ は、自発光でないピクセルに対し、画像Iにおいて色座標 x_k が観察される尤度を表す。 $p(x_k | e_i)$ は、光源 e_i の下で色座標 x_k が観察される尤度を表す。上記項は、光源によってインデキシングされた、シーン/画像のカラー確率モデルを表す。画像において見られる色度数(the color frequencies)が、ある特定の光源の下で予想される色度数を合うならば、 f の値は大きいはずである。 $f(e_i)$ の最大

10

20

30

40

50

値に相当する光源は、画像における上記表面反射ピクセルに最も一致する光源である。
色座標の別の集合については、観察されたカラーの尤度関数は、

【0049】

【数7】

$$p(\mathbf{x}_k | I, S=0) = n_k / N_{S=0}$$

【0050】

と概算される。

n_k は、座標 X_k の距離 以内の表面反射ピクセル数を表し、

$N_{S=0}$ は、表面分類におけるピクセル数を表す。

10

【0051】

画像 I より光源を推定するある別の方法は、分類マップよりむしろ上述の自発光決定変数を直接用いることである。関数 $g(e_i)$ が最大になるような光源パラメータ e_i を選択する光源推定方法を考えると、

【0052】

【数8】

$$g(e_i) = \sum w_k * p(\mathbf{x}_k | e_i)$$

【0053】

となり、

w_k は、対応する自発光決定変数によって決まるカラー値の k 番目のベクトルに対する重み付けを表す。

20

【0054】

w_k の値は、ピクセル自発光決定変数 s から算出されてもよい。

$$w_k = 1 - s$$

となり、0 から 1 の範囲を有するように正規化されている。

【0055】

$p(\mathbf{x}_k | e_i)$ は、光源 e_i の下で色座標 x_k が観察される尤度を表す。上記項 w_k は、自発光ピクセルよりも、自発光でないピクセルにより多く重み付けするようになっていいる。こうして値 $g(e_i)$ は、光源 e_i が画像において表面反射ピクセルとどれほど結びついているのかの尺度となるであろう。

30

【0056】

色座標のある別の集合に対して、上記重み付けは、

$$w_k = w_j$$

として算出されてもよい。 j は座標 x_k の距離 以内のピクセルを示す指標となる。

【0057】

ある実施形態において、画像データ上で調整された上記光源パラメータの光源事後確率分布 (the illuminant posterior probability distribution) $p(e_i | I)$ を最大値にする、ベイズカラーバランス推定技術が、光源 e_i を選択するという問題を公式化する。ベイズ法は、上記事後確率 (the posterior) を事前確率 $p(e_i)$ と画像尤度関数 $p(I | e_i)$ とに関連付ける。

40

$$p(e_i | I) = k \cdot p(I | e_i) \cdot p(e_i)$$

となり、

k は、正規化された定数を、

$p(e_i)$ は、さまざまな光源の尤度を、

$p(I | e_i)$ は、画像が光源 e_i によって照射される尤度を表す。

【0058】

もしピクセルが別のもう1つのピクセルと独立していると想定される場合、その光源を、

【0059】

50

【数 9】

$$p(I | e_i) = \prod p(x_j | e_i)$$

【0060】

とすると、

画像の色の尤度が、それぞれのピクセルにおけるカラー値の尤度の積、 x_j となる。

【0061】

自発光分類マップを上記ピクセル尤度関数に導入するある方法とは、バイナリ変数 S に、ピクセルが自発光である ($S = 1$)、または、ピクセルが自発光でない ($S = 0$) ことを表示させることである。カラー尤度関数は、

$$p(x_j | e_i) = p(x_j | e_i, S = 0) p(S = 0) + p(x_j | e_i, S = 1) p(S = 1)$$

となる。

【0062】

ピクセルが自発光である場合について、カラー尤度関数は、光源

$$p(x_j | e_i, S = 1) = p(x_j | S = 1)$$

から条件付きで独立しているとして取り扱われ得る。

$p(x_j | S = 1)$ は自発光領域についての確率モデルである。あるいは、画像尤度は、

$$p(I | e_i) = \{ p(x_j | e_i, S = 0) p(S = 0) + p(x_j | S = 1) p(S = 1) \}$$

として算出可能である。上記画像尤度関数より、光源事後確率分布 (the illuminant posterior distribution) は算出され、次に光源推定のために最大化され得る。

【0063】

ある実施形態において、上記事後確率 (the posterior) $p(e_i | I)$ は、画像尤度および光源事前確率 (illuminant prior) を掛けることによって推定されてもよい。事前確率 (prior) $p(e_i)$ は、さまざまな光源の相対的尤度を説明するのに用いられてもよい。例えば、光源は、昼光の位置付近にあると予測され得る。

【0064】

またある実施形態において、コスト関数が用いられ、(CIE D6500などの) 基準光源寄りに結果を偏向する関数を事後確率に掛けることにより推定 (computed) されてもよい。極端な方向に推定された光源と関連付けられた補正は好ましくない結果を画像にもたらすこともあるので、もし光源が誤って推定された場合には、基準光源寄りのバイアスは、有益となり得る。

【0065】

光源推定とは、コスト関数を適用した後の最大値と関連付けられた光源であってもよい。

【0066】

光源パラメータが $p(x_j | e_i)$ と定められたカラー尤度関数は、シーンにおける色の分布の想定または測定によって推定 (computed) される。この項の目的は、さまざまな色の尤度をそれぞれの光源の下で特徴付けることである。例えば、赤みを帯びた光源の下では、名目上赤っぽい色相を有する色度の可能性はより高く、名目上青っぽい色度の可能性はきわめて低い。

【0067】

図 6 は、光沢のないマンセル表面反射のある集合が、昼光の位置に近い光源のある集合の下でどのように変化するかを示す。表の縦列は光源の違いに対応している。

【0068】

図 7 は、図 6 において描画された光源の色度を示す。上記光源の色は青 - 黄方向においてさまざまであり、それぞれの光源について、マンセルセットの色度における明らかな変化が見られる。 $p(x_j | e_i)$ を算出するある方法とは、画像における色がマンセルセットの光沢のない部分から均一に (置き換えられて) 描写されると想定することである。

10

20

30

40

50

長期間の (long-term) 平均色度数は、上述の光源下のマンセルセットを計算するのと同じであろう。i 番目の光源の下での、ある一定の色度 $[x, y]$ の確率は、単に、その光源の下でのマンセルセットの分布の色度における度数である。あるいは、別のある方法とは、多数の画像または対象物のコレクションにわたっての表面カラー分布から、経験に基づいたカラーモデルを導き出すことである。

【0069】

本発明のある実施形態において、ある特定の色が生じる尤度は、光源のある集合に対してあらかじめ算出可能である。これには、モデル色域 $p(x | e_j)$ が参照されてもよい。上記モデル色域は、上記定められた光源の下でそれぞれの色が生じる確率を表す。

【0070】

上記自発光である確率は、それぞれのピクセルに対して、 $p(S = 1 | \text{色度、輝度、位置})$ として算出される。上記確率は、画像におけるピクセルの位置、その輝度、その色度、またはカラー特性に基づいている。その逆の値、 $p(S = 0 | \text{色度、輝度、位置})$ は、色度の関数として蓄積される。上記蓄積の結果は、色度関数 $h(\text{色度})$ に対する、 $p(S = 0)$ のヒストグラムである。

【0071】

ある実施形態において、上記画像尤度 $p(I | e_i)$ は、 $h(\text{色度})$ および $p(\text{色度} | e_i)$ の間の内積として概算で求められてもよい。上記画像尤度はそれぞれの光源に対して算出される。すべての光源を通して、上記は光源色度関数 $L(\text{色度})$ である。

【0072】

本発明のある実施形態を、図8を参照しながら説明することができる。図8は、画像光源推定プロセスのステップを示したフローチャートである。この方法は、理解しやすいように一連の番号を付して描画されているが、明記しない限りは、付した番号から順番が決定されるべきではない。上記ステップのいくつかは、飛ばされることもあるし、平行して実行されることもあるし、または、連番の正確な順序を守らないで実行されることもあるということを理解されたい。まず、画像要素特性が取得される(200)。上記特性は典型的に、画像要素カラー特性、輝度特性、位置データおよびその他の同じような特性を含む。上記要素特性のデータを用いて、それぞれの画像要素が自発光である尤度が決定され得る(202)。上記は、上述の他の実施形態において説明された通りに、画像要素の画像の端、または境界線への近接度を参照しながら、既知の光源の色度および要素輝度に関連した要素色度に対して実行されてもよい。

【0073】

重み付け要因は、それぞれの要素に対して、その自発光である尤度に基づいて割り当てられる(204)。次に、要素特性に基づいて、最も可能性が高い光源がそれぞれの要素について推定される(206)。次に上記画像光源は、画像要素特性および上記重み付け要因を用いて推定される(208)。上記画像光源は、本発明の実施形態における方法にしたがったさまざまなやり方で算定されてもよい(208)。ある実施形態においては、上記重み付け要因は、画像光源算定プロセスに合わせて要素の重み付けの量を調整するのに用いられることもある。上記の調整は、自発光らしき要素の完全な省略、または、推定プロセスに合わせた上記要素の重み付け量の削減を含む。

【0074】

本発明の他の実施形態を、図9を参照しながら説明することができる。図9は、画像カラーバランス補正プロセスを示したフローチャートである。上記実施形態において、画像要素特性が、本技術分野において既知の典型的なやり方で取得される(220)。それぞれの画像要素が自発光である尤度は、次に、以下に説明される方法にしたがって決定される(222)。画像要素全体は、画像全体に対して、画像要素特性およびそれぞれの要素が自発光であるという尤度に基づき、推定される(224)。次に、推定された光源に対して画像のカラーを調整するために、補正要因が算出される(226)。次に、上記補正要因は、画像が適切にカラー調整されるように、画像に適用される(228)。

【0075】

10

20

30

40

50

本発明の他の実施形態を、図10を参照しながら説明することができる。図10は、カラーバランス補正要因を選択的に適用するための方法を示したフローチャートである。上記実施形態において、画像要素特性は、本技術分野において既知の方法によって取得される(240)。それぞれの要素が自発光である尤度が、上述において説明されたように決定され(242)、画像光源が、上記要素特性およびそれぞれの要素が自発光であるという尤度に基づき、推定される(244)。ひとつまたはそれ以上の補正要因が、上記光源に対して上記画像を補正するために算出される(246)。上記ひとつまたはそれ以上の補正要因は、要素それぞれの自発光である尤度にしたがって上記画像に適用される(248)。上記実施形態において、上記補正要因は、自発光ではなさそうな要素に対してのみ適用されてもよいし、自発光である尤度の大きさにしたがってある程度適用されてもよいし、要素が自発光である尤度に対して正比例または反対の関係にある、他のやり方で適用されてもよい。

10

【0076】

画像要素が自発光である尤度を決定し、補正パラメータを算出し、デジタル画像補正パラメータを適用するためのシステムおよび方法をここに述べてきた。2、3の例が本発明の特徴を説明および明確にするために挙げられてきたが、本発明は上記例のみに限定されるものではない。特定の補正アルゴリズムも、本発明についてのコンテキストを提供するために挙げられてきたが、これについても、本発明は上述のアルゴリズムにのみ限定されるものではない。本発明の他の変形体および実施形態も本技術分野における当業者によって実現し得る。

20

【図面の簡単な説明】

【0077】

【図1a】本発明のある実施形態における、自発光要素検出の方法を示すフローチャートである。

【図1b】本発明のある実施形態における、自発光要素検出および要素の重み付け方法を示すフローチャートである。

【図2】本発明の実施形態における要素を示すのに用いられる、典型的な図である。

【図3】(a)は、画像境界に関連したピクセル位置に基づく、自発光である尤度を示す画像であり、(b)は、カラー特性に基づく、自発光である尤度を示す画像であり、(c)は、輝度特性に基づく、自発光である尤度を示す画像であり、(d)は、図3(a)、(b)および(c)に示された要因の組み合わせに基づく、組み合わされた、自発光である尤度を示す画像である。

30

【図4】典型的な自発光確率分布を示すグラフである。

【図5】本発明の実施形態におけるいくつかのステップを示すフローチャートである。

【図6】選択された光源から反射された、さまざまな色分布を示すグラフである。

【図7】図6に示された光源の色度図を表すグラフである。

【図8】自発光である尤度に関連付けられた重み付け要因を使用する実施形態における方法を示すフローチャートである。

【図9】補正要因を使用する実施形態における方法を示すフローチャートである。

【図10】自発光要素が補正の間に識別されるような実施形態における方法を示すフローチャートである。

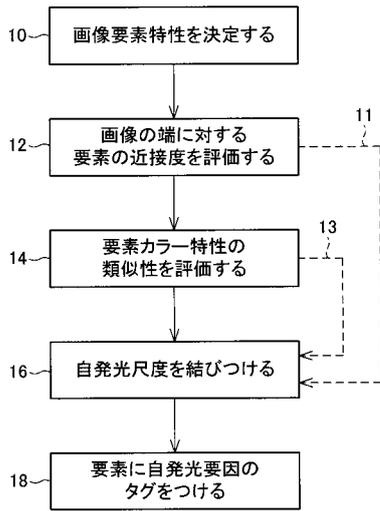
40

【符号の説明】

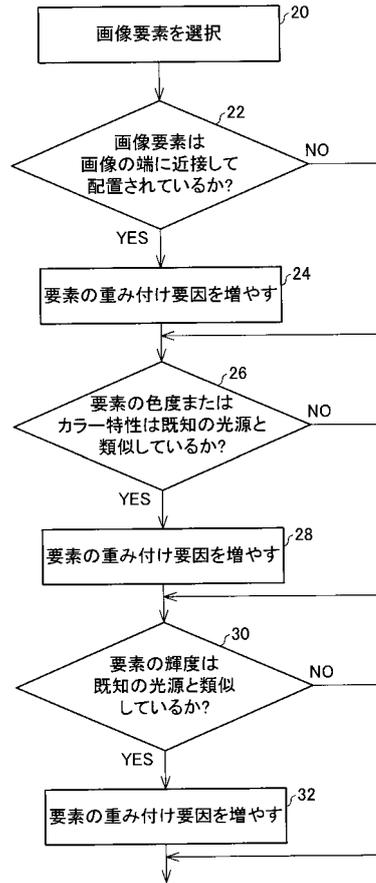
【0078】

- | | |
|----|------|
| 40 | 空領域 |
| 42 | 表面領域 |

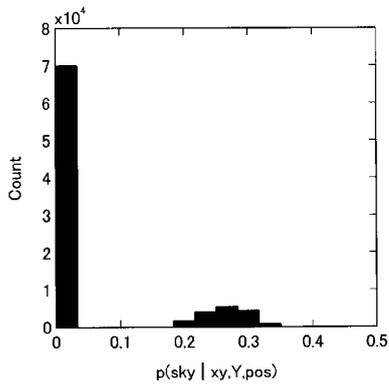
【 図 1 a 】



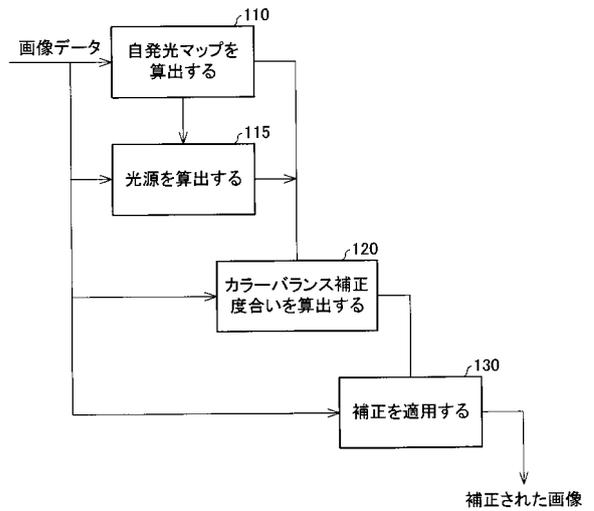
【 図 1 b 】



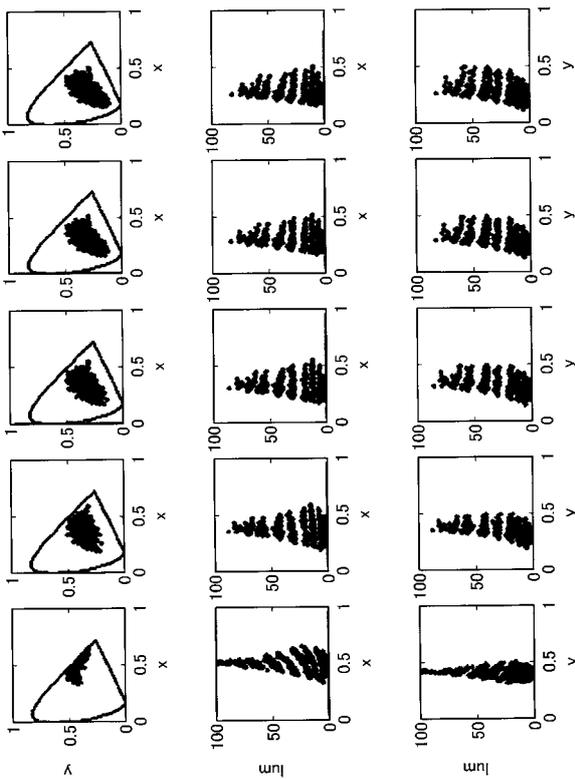
【 図 4 】



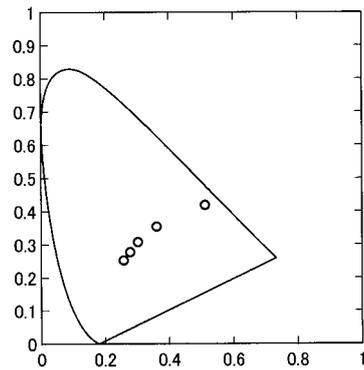
【 図 5 】



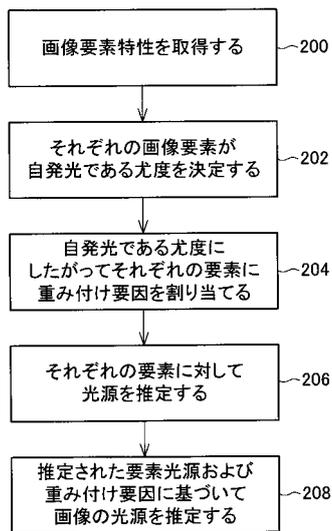
【図6】



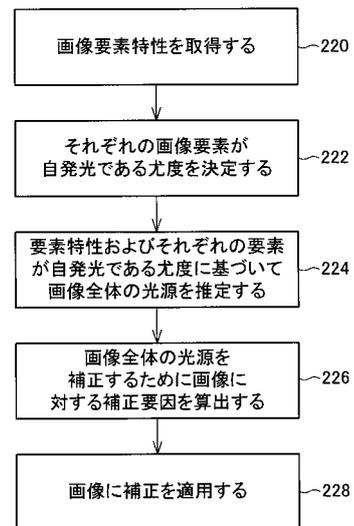
【図7】



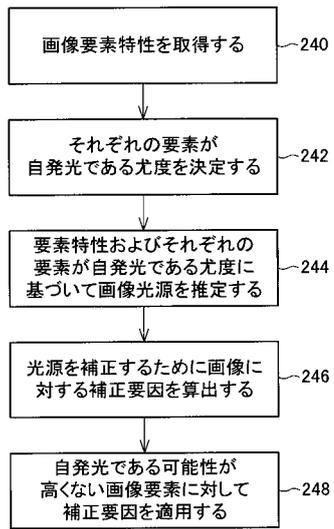
【図8】



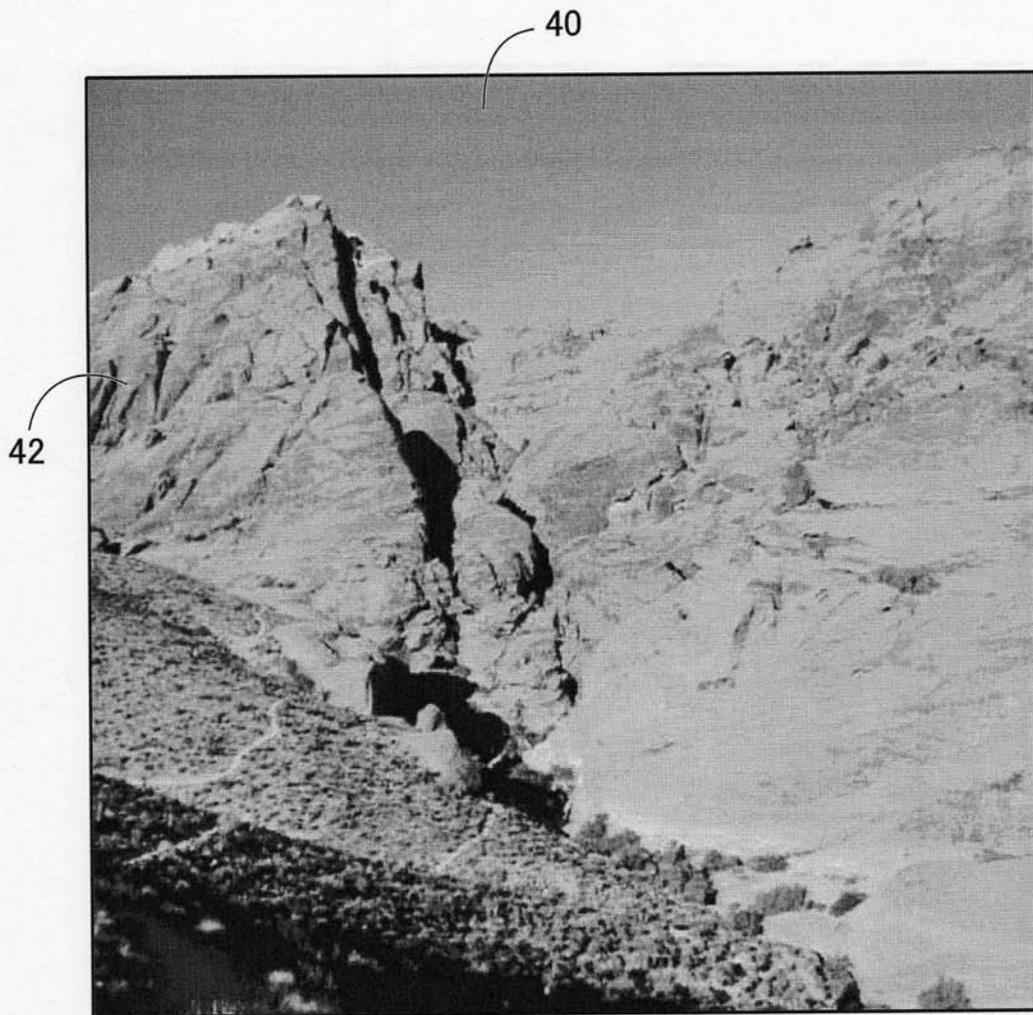
【図9】



【 図 1 0 】



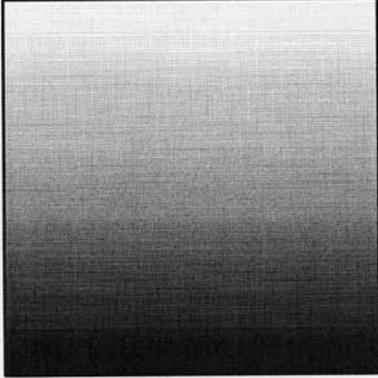
【 図 2 】



【 図 3 】

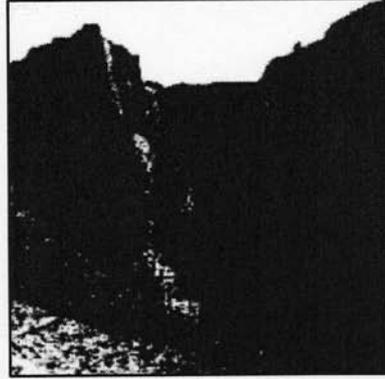
(a)

$p(\text{sky} \mid \text{pos})$



(b)

$p(\text{sky} \mid xy)$



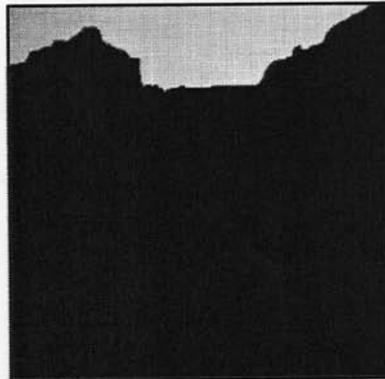
(c)

$p(\text{sky} \mid Y)$



(d)

$p(\text{sky} \mid xy, Y, \text{pos})$



フロントページの続き

(72)発明者 ジョン エドワード ドーラン

アメリカ合衆国 ワシントン州 9 8 6 8 3 , ヴァンクーヴァー , エヴァーグリーン ハイウェイ
エス . イー . 1 5 2 0 1

F ターム(参考) 5B057 AA20 CA01 CA08 CB01 CB08 CE17 CH01 DA12 DB06 DB09

DC22 DC33

5C077 LL01 MP08 PP35 PP36 PP37 PQ18 PQ20

5C079 HB05 JA10 JA25 LA01 LA23 MA11 NA01 NA29

5L096 AA02 AA06 CA02 FA35 MA03

【外国語明細書】

SYSTEMS AND METHODS FOR COMPUTING THE PRESENCE OF SELF-LUMINOUS ELEMENTS IN AN IMAGE

TECHNICAL FIELD

[01] The present invention relates generally to digital image processing and more particularly to the detection of aperture colors or self-luminous objects in an image.

BACKGROUND

[02] The reflected light reaching an image sensor is dependent on the light that illuminates the subject matter of the image. Different illuminants will produce different sensor values from the surfaces of the image subject matter. The human visual system approximately compensates these shifts in reflected light to a perceived norm such that surface colors appear color constant. However, when images are captured on media and viewed under a light source different than the source in the image scene, these natural corrections do not take place. Accordingly, it is often desirable for recorded images to be color-balanced to a reference light source in order to appear as they would to the natural eye. This balancing or color correction can be performed once the scene illuminant is identified.

[03] There are many known methods for identification of a light source or illuminant in an image scene. However, the conventional correction algorithms assume that all image pixels represent reflecting surfaces. When an image contains self-luminous objects such as sky and other light sources, the surface-pixel assumption is violated. When an image contains a significant portion of non-reflective, self-luminous objects, conventional methods will fail and the image illuminant will be incorrectly determined. For example, if an image contains blue sky and the color-balance algorithm assumes that all pixels are reflective objects, "bluish" pixels could be taken as evidence that the illumination of the scene is bluish. Because a color correction is approximately the opposite hue of the estimated illuminant, the correction for a bluish illuminant would be to shift the image in a yellowish direction. This correction might produce an overly yellowish ground/surface region and a desaturated sky region.

[04] These color correction, color balance or color constancy algorithms generally do not address the question of how to handle images containing luminous objects, which are also referred to herein as self-luminous objects. They have, rather, focused on images where the surface-pixel assumption is satisfied (e.g., uniformly illuminated Mondrian-like images).

[05] It would be advantageous if a method existed that permitted accurate digital image illuminant corrections to be made for images containing significant exception regions, such as self-luminous regions.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[06] The present embodiments will become more fully apparent from the following description and appended claims, taken in conjunction with the accompanying drawings. Understanding that these drawings depict only typical embodiments and are, therefore, not to be considered limiting of the invention's scope, the embodiments will be described with additional specificity and detail through use of the accompanying drawings in which:

Fig. 1a is a flowchart illustrating methods of self-luminous element detection of some embodiments of the present invention;

Fig. 1b is a flowchart illustrating methods of self-luminous element detection and element weighting of some embodiments of the present invention;

Fig. 2 is an exemplary image used to illustrate elements of embodiments of the present invention;

Fig. 3a is an image illustrating a likelihood of being self-luminous based on pixel position relative to an image boundary;

Fig. 3b is an image illustrating a likelihood of being self-luminous based on color characteristics;

Fig. 3c is an image illustrating a likelihood of being self-luminous based on luminance characteristics;

Fig. 3d is an image illustrating a combined likelihood of being self-luminous based on the combination of factors illustrated in figures 3a, 3b and 3c;

Fig. 4 is a diagram illustrating an exemplary self-luminous probability distribution

Fig. 5 is a flowchart illustrating some steps of embodiments of the present invention;

Fig. 6 is a diagram illustrating the various color distributions reflected from selected illuminants;

Fig. 7 is a diagram illustrating the chromaticities of the illuminants shown in Fig. 6;

Fig. 8 is a flowchart illustrating methods of embodiments employing a weighting factor related to a likelihood of being self-luminous;

Fig. 9 is a flowchart illustrating methods of embodiments employing a correction factor;
and

Fig. 10 is a flowchart illustrating methods of embodiments wherein self-luminous elements are distinguished during correction.

DETAILED DESCRIPTION

[07] In some embodiments of the present invention, methods for determining image self-luminous regions are employed. Digital image correction parameters may be calculated in response to determining the self-luminous regions. Image self-luminous regions can be determined from image feature measures. For example, image feature measures can be pixel color characteristics, pixel luminance and/or pixel position parameters. In some embodiments, self-luminous regions may be determined in response to bright pixel luminance, where bright pixel luminance is defined as relatively bright with respect to surrounding image regions and/or brighter than a threshold brightness.

[08] In some embodiments, self-luminous regions may be determined using a general function of color characteristics with a plurality of terms such as a function of chromaticity, hue angle, color saturation, or brightness.

[09] In other embodiments, self-luminous regions may be determined in relation to the position of pixels with respect to the image edges or other geometric image characteristics.

[10] In many algorithms of embodiments of the present invention, the correction takes the form of a matrix that is applied in a linear colorspace such as the tristimulus values of CIE 1931 XYZ. Input tristimulus values can be multiplied by a matrix to produce a set of color-corrected values as follows:

$$x' = M \cdot x$$

where

x is a vector of tristimulus values

M is a color correction matrix

x' is the vector of corrected values.

The color correction can be performed in other color spaces, including linear transformations of CIE 1931 XYZ or RGB sensor spaces.

[11] One view of color correction is that the critical step is estimating an illuminant for the scene and then from this estimate a correction matrix can be defined. This approach seeks to estimate surface reflectance functions and the illumination at each pixel. The original sensor values can then be mapped to values under a canonical illuminant. This process assumes that the surface-pixel assumption is satisfied.

[12] One method of defining a correction matrix is in terms of linear models for reflectances and illuminants and an estimated illuminant for the scene.. After performing a principle components analysis (or singular value decomposition, SVD) on a large set of reflectance or illuminant functions (e.g., those of the matte Munsell chipset or measured daylight power spectra), typical illuminants and surfaces can be approximated using low-dimensional linear models. Functions can then be approximated within the linear model by defining sets of weights:

$$\mathbf{r} = \mathbf{B}_s \mathbf{w}_s$$

$$\mathbf{e} = \mathbf{B}_e \mathbf{w}_e$$

where

\mathbf{r} is a 1-by- n Wavelengths vector of approximated reflectance values;

\mathbf{e} is a 1-by- n Wavelengths vector of approximated illuminant spectral power values;

\mathbf{w}_s is a set of weights within the surface linear model;

\mathbf{w}_e is a set of weights within the illuminant linear model;

\mathbf{B}_s is a set of linear basis functions for surface reflectance; and,

\mathbf{B}_e is a set of linear basis functions for illuminant spectral power.

[13] Colorspace coordinates, \mathbf{x} , can be computed for a reflectance function rendered under an illuminant.

$$\mathbf{x} = \mathbf{T} \mathbf{E} \mathbf{B}_s \mathbf{w}_s$$

where

\mathbf{E} is a diagonal [n Wavelengths, n Wavelengths] matrix representing the illuminant,

i.e., $\mathbf{E} = \text{diag}(\mathbf{B}_e \mathbf{w}_e)$.

\mathbf{T} is a matrix representing the conversion from wavelength domain to color coordinates (e.g., CIE 1931 color matching functions or a set of sensor response functions).

This equation for computing sensor values describes the physics of reflecting an illuminant spectral power distribution from a matte reflecting surface and applying the signal to a set of sensors. The dimensions of the bases are [nWavelengths, nBs] and [nWavelengths, nBe].

[14] Given an illuminant estimate for a first scene, it is possible to invert the mapping from color coordinates to surface weights. The surface weights may then be re-rendered under an illuminant in a second scene (e.g., a standard illumination condition such as CIE D6500). The color-corrected values under the second illuminant, x' , can be computed as:

$$x' = M \cdot x$$

where

$$M = TE_2 B_s (TE_1 B_s)^{-1}$$

$$E_2 = \text{diag}(e_{\text{canonical}})$$

$$E_1 = \text{diag}(B_{\text{BWR}})$$

$e_{\text{canonical}}$ is the spectral power distribution of a canonical illuminant.

[15] Some alternative methods of defining a correction matrix impose constraints on the form of the correction. For example, in some methods, the correction matrix must be diagonal rather than fully-populated. In other methods the gain values are defined so as to map a neutral object under the estimated illuminant to neutral values under the reference illuminant. For each form of correction matrix, it is necessary to map from estimated illumination parameters to correction parameters.

[16] Self-luminous or non-reflecting image regions can lead to problems including incorrectly biasing the illuminant estimate or problems in color correction due to violations of the assumptions underlying the color correction transform.

[17] In some embodiments of the present invention, image elements, such as pixels or groups thereof, are evaluated to determine whether they are likely to represent self-luminous objects in the image. These elements may be more likely to be self-luminous when they are located in proximity to the edges of the image. For example, and not by way of limitation, in images that contain regions of sky, a self-luminous area, the self-luminous sky area is typically located along the top edge of the image. When images are rotated, such as from landscape to portrait format,

top edges may become side edges and vice versa. Accordingly, in some embodiments of the present invention, proximity to any edge can be an indicator of self-luminance. In other embodiments, image orientation algorithms may be used to identify the top, bottom and sides of an image. In other embodiments, an image may comprise metadata or some other indication of image orientation. In these embodiments with identified orientation, proximity to particular edges may be indicative of self-luminance. For example and not by way of limitation, a pixel's proximity to the top of the image may be more indicative of self-luminance than proximity to the side or bottom of the image.

[18] In some embodiments, an element's likelihood of being self-luminous may be determined in relation to the luminance or brightness of the element. In some embodiments, the output of this function can be viewed as a continuous-tone grayscale image, where lighter regions correspond to regions likely to be self-luminous objects and darker regions correspond to reflecting surfaces.

[19] In some embodiments, an element's chromaticity or color characteristics can be used to determine self-luminance. When an element's chromaticity is similar to the chromaticity of known illuminants or common self-luminous objects, that element is more likely to be self-luminous.

[20] Some embodiments of the present invention comprise the steps illustrated in the chart of Fig. 1a wherein an image element, such as a pixel or region of interest, is evaluated 10 to determine its characteristics such as location, chromaticity or color characteristics and/or luminance value. The location of the element is evaluated 12 to determine its proximity to image edges and, if the element is sufficiently proximate to an edge, a specific edge or some other geometric image boundary the element is considered more likely to be self-luminous and a flag or decision variable value is set 11 or incremented according to this likelihood.

[21] The color characteristics of the element are then evaluated 14 and the element is considered more likely to be self-luminous if the color characteristics match those of known illuminants or self-luminous objects. Color characteristics comprise chromaticity, luminance and other attributes. When these characteristics indicate a likelihood of being self-luminous, a flag or decision variable value is set 13 according to this likelihood.

[22] These evaluations 12, 14 and the associated flag or decision variable setting may be performed in any order as needed for specific applications. The results of these evaluations can be combined 16, such as by variable addition, Boolean logic or by other methods, and, if sufficient evidence exists, the element can be considered likely to be self-luminous 18.

[23] In other embodiments of the present invention, as illustrated in Fig. 1b, an image element can be evaluated and classified according to a weighting factor or score. In these embodiments, an element is evaluated to determine whether its location is proximate to image edges, specific edges or some other image boundary characteristic. If the location is sufficiently proximate to one of more of these characteristics, the weight factor or score of that element is increased 24 and the element is further evaluated.

[24] If an element's color characteristics are similar to those of known self-luminous objects 26, such as blue sky, overcast sky, tungsten-incandescent light, fluorescent light and others, that element can be considered likely to be self-luminous and the element's weighting factor or score can be increased 28 to reflect this likelihood.

[25] If an element's luminance characteristics are found to be similar to those of known self-luminous objects 30, the weighting factor or score of that element can be increased 32 to reflect a higher likelihood that the element is self-luminous. When the score or weighting factor of an element is sufficiently high, the element may be considered self-luminous.

[26] The methods of some embodiments of the present invention may be illustrated with reference to Fig. 2, which is an original digital image and Figs. 3a-3d, which is a set of images derived from Fig. 2 depicting the likelihood of self-luminosity based on element location, chromaticity or color characteristics, and/or luminance parameters. In the images in Figures 3a-3d, white areas represent areas of high likelihood, while black areas represent low likelihood.

[27] In some embodiments of the present invention, the self-luminous decision variable, s , can be computed from the pixel color values, x , and pixel position, (i,j) , as:

$$s = f(x,i,j)$$

[28] In some embodiments, independence between the factors can also be assumed. This is convenient computationally at the expense of not taking advantage of correlations between terms (e.g., that sky is likely to be both bluish and of high luminance).

$$s = g(x) * h(i,j)$$

The term dependent on color values can be decomposed into separable terms based on chromaticity, c , and luminance, Y :

$$s = g_1(c) * g_2(Y) * h(i,j)$$

[29] For $g_1(c)$, a function can be designed that has a maximum at the hue angle of "blue sky" and that decreases as the hue angle deviates from this value. We base $g_2(Y)$ on luminance distributions for a large number of sky regions. For $h(i,j)$, the simple assumption can be made that sky is more likely near the edges of the image. Here $h(i,j)$ is a linear function of pixel row number. Note that these choices for $g_1(C)$ and $g_2(Y)$ strongly bias the model toward identifying regions of "blue sky" or another illuminant or group of illuminants as self-luminous objects.

[30] Fig. 2 is an image containing surface regions 42 and sky regions 40. Fig. 3 illustrates a decision variable map for each self-luminosity likelihood function. We use "xy" to denote chromaticity and "Y" to denote luminance, after the CIE 1931 xyY colorspace. In the ground regions, the final decision variable is near zero as illustrated by the black color in all four images in Figs 3a-3d.

[31] In Fig. 3a, the likelihood of an element being self-luminous near the top edge of the image is shown by the lighter shading that gets progressively darker as the location becomes more distant from the top edge.

[32] In Fig. 3b, the elements or pixels that have chrominance similar to "blue sky" or another illuminant or group of illuminants are shown in white, while those "distant" from that range of hues are shown in darker shades.

[33] In Fig. 3c, the elements or pixels that have luminance values similar to those of known self-luminous objects are shown in lighter shades. In this exemplary image case, few pixels have high luminance as the sky in this image is relatively dark.

[34] Fig. 3d shows a composite image representing a combination of images shown in Figs. 3a-3c. In this figure, only elements in the sky are shown in lighter shades thereby signifying a successful application of the combined analysis.

[35] Fig. 4 is a diagram illustrating the distribution of self-luminosity decision variables corresponding to Fig. 3d. The "sky" region corresponds to the values in the 0.2 - 0.35 range.

[36] Embodiments of the present invention may be used in conjunction with color balance or color constancy estimation methods and color balance correction in digital images. In some embodiments of the present invention, as shown in Fig. 5, inventive methods and systems may be used to determine self-luminous elements 110. These methods and systems may further influence the determination of an image illuminant 115 and the correction used to achieve color balance 120. These systems and methods may also have an effect on the application of the color balance correction 130.

[37] Most color-balance algorithms can be modified to use a self-luminous classification map to derive color-balance parameter estimates from only those pixels classified as non-self-luminous. These modified algorithms would produce estimates with reduced bias due to the presence of self-luminous image regions.

[38] For example, a greyworld algorithm can be modified to compute a weighted average of the scene chromaticities where the weight would be reduced for pixels likely to be self-luminous.

[39] Consider the illuminant estimation method that selects the illuminant parameters e_i such that the function $f(e_i)$ is maximized for the image, I:

$$f(e_i) = \sum p(x_k | I, S_k=0) * p(x_k | e_i)$$

where

x_k represents a vector of color values

S_k represents a binary variable indicating the state of self-luminous ($S=1$) or surface ($S=0$)

e_i represents a set of parameters for the i th illuminant

$p(x_k | I, S_k=0)$ represents the likelihood of observing color coordinates x_k in an image, I, for the non-self-luminous pixels. $p(x_k | e_i)$ represents the likelihood of observing color coordinates x_k under illuminant e_i . This term represents a scene/image color probability model that is indexed by illuminant. When the color frequencies observed in the image match the color frequencies expected under a particular illuminant, the value f will be large. The illuminant corresponding to the maximum of $f(e_i)$ is the illuminant most consistent with the surface pixels in the image.

For a discrete set of color coordinates, the observed color likelihood function can be approximated as:

$$p(x_k | I, S=0) = n_k / N_{S=0}$$

where

n_k represents the number of surface pixels within a distance ϵ of coordinate x_k

$N_{S=0}$ is the number of pixels in the surface class

[40] An alternative method of estimating an illuminant from an image, I , is to directly use the self-luminous decision variable rather than a classification map. Consider the illuminant estimation method that selects the illuminant parameters e_i such that the function $g(e_i)$ is maximized:

$$g(e_i) = \sum w_k * p(x_k | e_i)$$

where

w_k represents a weight for a k th vector of color values that is dependent on the corresponding self-luminous decision variable

[41] The value w_k may be computed from pixel self-luminous decision variable, s :

$$w_k = 1 - s$$

where s is normalized to have range 0 - 1.

[42] $p(x_k | e_i)$ represents the likelihood of observing color coordinates x_k under illuminant e_i . The term w_k weights the contributions of pixels that are non-self-luminous more than pixels that are self-luminous. Thus the value $g(e_i)$ will be a measure of how consistent illuminant e_i is with the surface pixels in the image.

[43] For a discrete set of color coordinates, the weight may be computed as:

$$w_k = \sum w_j$$

where

j indexes over the pixels within a distance ϵ of coordinate x_k

[44] In some embodiments, Bayesian color balance estimation techniques formulate the problem as selecting the illuminant, e_i , that maximizes the illuminant posterior probability

distribution, $p(e_i | I)$, of the illuminant parameters conditioned on the image data. Bayes' Law relates the posterior to the prior, $p(e_i)$, and image likelihood function, $p(I | e_i)$:

$$p(e_i | I) = k \cdot p(I | e_i) \cdot p(e_i)$$

where

k is a normalizing constant

$p(e_i)$ represents the likelihood of different illuminants

$p(I | e_i)$ represents the likelihood the image was illuminated by illuminant e_i .

[45] If pixels are assumed independent from one another, then the color likelihood of the image is the product of the likelihoods of each pixel's color values, x_j , given the illuminant:

$$p(I | e_i) = \prod p(x_j | e_i)$$

[46] One method of introducing a self-luminous classification map into the pixel likelihood function is to let a binary variable S indicate that a pixel is self-luminous ($S=1$) or non-self-luminous ($S=0$). The color likelihood function is equal to,

$$p(x_j | e_i) = p(x_j | e_i, S=0)p(S=0) + p(x_j | e_i, S=1)p(S=1)$$

[47] For the case where a pixel is self-luminous, the color likelihood function can be treated as conditionally independent of the illuminant:

$$p(x_j | e_i, S=1) = p(x_j | S=1)$$

where

$p(x_j | S=1)$ is a probabilistic model for self-luminous regions

Substituting, the image likelihood is computable as:

$$p(I | e_i) = \prod \{p(x_j | e_i, S=0)p(S=0) + p(x_j | S=1)p(S=1)\}$$

From the image likelihood function, the illuminant posterior distribution may be computed and then maximized to yield an illuminant estimate.

[48] In some embodiments, the posterior, $p(e_i | I)$, may be computed by multiplying the image likelihood and illuminant prior. The prior, $p(e_i)$, may be used to account for the relative likelihood of different illuminants; for instance, illuminants may be expected to be near the daylight locus.

[49] In some embodiments, a cost function may be used and computed by multiplying the posterior by a function, which biases the result toward a reference illuminant (such as CIE D6500). A bias toward a reference illuminant can be useful because corrections associated with extreme estimated illuminants can produce undesirable resultant images if the illuminant estimate is in error.

[50] The illuminant estimate may be the illuminant associated with the maximum after applying the cost function.

[51] The color likelihood function given the illuminant parameters, $p(x_j | e_i)$, is computed by making assumptions or measurements of the distributions of colors in scenes. The purpose of this term is to characterize the likelihood of different colors under each illuminant. For example, under a reddish illuminant chromaticities with a nominally reddish hue would be more likely and nominally bluish chromaticities would be highly unlikely.

[52] Fig. 6 illustrates how a set of matte Munsell surfaces shifts under a set of illuminants that are near the daylight locus. Each column of plots corresponds to a different illuminant.

[53] Fig. 7 illustrates the chromaticities of the illuminants depicted in Fig. 6. The color of these illuminants varies in a bluish-yellowish direction and there is a clear shift in the chromaticities of the Munsell set with each illuminant. One method of computing $p(x_j | e_i)$ is to assume that colors in images are uniformly drawn (with replacement) from the set of Munsell matte patches. The long-term average color frequencies will be the same as rendering the Munsell set under the illuminant. The probability of a given chromaticity, $[x,y]$, under the i th illuminant will simply be the frequency at that chromaticity of the distribution of the Munsell set under that illuminant. An alternative method is to derive an empirical color model from the surface color distributions across a large collection of images or objects.

[54] In some embodiments of the present invention, a likelihood of occurrence of specific colors may be pre-computed for a set of illuminants. These may be referred to as model gamuts, $p(\text{chromaticity} | e_i)$. The model gamuts represent the probability of occurrence of each chromaticity given the illuminant.

[55] The probability of being self-luminous is computed for each pixel, $p(S=1 | \text{chromaticity, luminance, position})$. This probability is based on the pixel's position in the image, its

luminance, and its chromaticity or color characteristics. The inverse values, $p(S=0 \mid \text{chromaticity, luminance, position})$, are accumulated as a function of chromaticity. The result of this accumulation is a histogram of $p(S=0)$ as a function of chromaticity, $h(\text{chromaticity})$.

[56] In some embodiments, the image likelihood, $p(I \mid e_i)$, may be approximated as the inner product between $h(\text{chromaticity})$ and $p(\text{chromaticity} \mid e_i)$. The image likelihood is computed for each illuminant. Across all illuminants, this is a function of illuminant chromaticity, $L(\text{chromaticity})$.

[57] Some embodiments of the present invention may be explained with reference to Fig. 8, which is a flowchart illustrating the steps of an image illuminant estimation process. Although the method is depicted as a sequence of numbered steps for clarity, no order should be inferred from the numbering unless explicitly stated. It should be understood that some of these steps may be skipped, performed in parallel, or performed without the requirement of maintaining a strict order of sequence. Initially, image element characteristics are obtained 200. These characteristics typically comprise image element color characteristics, luminance characteristics and location data as well as other characteristics. Using the element characteristic data, the likelihood that each image element is self-luminous can be determined 202. This may be performed as explained in other embodiments above with reference to image element proximity to image edges or boundaries, to element chromaticity relative to chromaticity of known illuminants and to element luminance.

[58] A weighting factor may be assigned 204 to each element based on its likelihood of being self-luminous. The most likely illuminant is then estimated 206 for each element based on element characteristics. The image illuminant is then estimated 208 using image element characteristics and the weighting factors. The image illuminant may be estimated 208 in many ways according to the methods of embodiments of the present invention. In some embodiments, the weighting factor may be used to adjust the contribution of elements to the image illuminant estimation process. This adjustment may comprise complete omission of likely self-luminous elements or diminution of their contribution to the estimation process.

[59] Other embodiments of the present invention may be explained with reference to Fig. 9, which is a flow chart showing an image color-balance correction process. In these embodiments,

image element characteristics are obtained 220 in a typical manner as is known in the art. A likelihood that each image element is self-luminous is then determined 222 according to methods explained herein. A global image illuminant is estimated 224 for the entire image based on image element characteristics and the likelihood that each element is self-luminous. A correction factor is then computed 226 to color-balance the image for the illuminant that has been estimated. This correction factor is then applied to the image 228 to achieve proper color-balance.

[60] Other embodiments of the present invention may be explained with reference to Fig. 10, which is a flow chart illustrating a method for selective application of a color-balance correction factor. In these embodiments, image element characteristics are obtained 240 by methods known in the art. A likelihood that each element is self-luminous is determined 242 as explained above and an image illuminant is estimated 244 based on the element characteristics and the likelihood that each element is self-luminous. One or more correction factors are computed 246 to correct the image for the illuminant and the correction factor or factors are applied to the image 248 according to each element's likelihood of being self-luminous. In these embodiments, the correction factor may be applied only to elements that are not likely to be self-luminous, may be applied in degrees according to magnitude of the likelihood of being self-luminous or may be applied in other ways that are proportional or otherwise related to the likelihood of an element being self-luminous.

[61] Systems and methods for determining a likelihood of an image element being self-luminous, computing correction parameters and applying digital image correction parameters have been explained herein. A few examples have been given to illustrate and clarify aspects of the invention. However, the invention is not limited to merely these examples. Specific correction algorithms have also been given to provide a context for the invention, but again, the invention is not limited to just the mentioned algorithms. Other variations and embodiments of the invention will occur to those skilled in the art.

[62] What is claimed is:

1. A method for determining that an image element is likely to be self-luminous, the method comprising:
 - a. determining image element characteristics;
 - b. comparing the characteristics of said image element to those for known self-luminous elements wherein said comparing comprises at least one act taken from the set consisting of:
 - (i) comparing the proximity of said image element to image boundaries with the proximity of known image elements to their boundaries,
 - (ii) comparing the color characteristics of said image element to characteristics of a known illuminant, and
 - (iii) comparing the luminance characteristics of said image element to characteristics of known self-luminous elements;
 - c. assigning a self-luminosity weight factor to said image element; and
 - d. estimating a color balance correction for at least a portion of said image wherein said correction is based on said weight factor

2. A method for determining that an image element is likely to be self-luminous, the method comprising:
 - a. determining image element characteristics;
 - b. comparing the color characteristics of said image element to those found under a known illuminant;
 - c. comparing the luminance characteristics of said image element to those found under a known illuminant; and
 - d. classifying said image element as likely to be self-luminous when at least one of said color characteristics and said luminance characteristics meet a criteria for self-luminous elements.

3. A method as described in claim 2 further comprising measuring the proximity of said image element to an image boundary and wherein said classifying further comprises evaluation of said proximity to determine whether said criteria are met.
4. A method for estimating the illuminant of an image, the method comprising:
 - a. determining image element characteristics;
 - b. assigning a weighting factor to each image element according to its likelihood of being self-luminous;
 - c. estimating an illuminant for a plurality of image elements;
 - d. estimating an image illuminant based on said illuminants for each image element adjusted by said weighting factors.
5. A method as described in claim 4 wherein the effect of said weighting factor is proportional to the likelihood that an image element is non-self-luminous.

6. A method of correcting color-balance in an image, the method comprising:
 - a. obtaining image element characteristics for an image;
 - b. assigning a weighting factor to each image element according to its likelihood of being self-luminous;
 - c. estimating an image illuminant based on said image element characteristics and said weighting factors; and
 - d. correcting image color-balance for said estimated illuminants.

7. A method as described in claim 6 wherein said correcting comprises:
 - a. correcting image elements that are not likely to be self-luminous for the estimated illuminant; and
 - b. omitting said correcting image color-balance for image elements that are likely to be self-luminous.

8. A method as described in claim 6 wherein said correcting comprises:
 - a. correcting said image elements according to their likelihood of being self-luminous wherein a full correction is applied to elements that are least likely to be self-luminous, no correction is applied to elements that are most likely to be self-luminous and a partial correction is applied to elements that fall between these limits.

9. A set of executable instructions for determining that an image element is likely to be self-luminous, the method comprising:
- a. determining image element characteristics;
 - b. comparing the characteristics of said image element to those for known self-luminous elements wherein said comparing comprises at least one act taken from the set consisting of:
 - (i) comparing the proximity of said image element to image boundaries with the proximity of known image elements to their boundaries,
 - (ii) comparing the color characteristics of said image element to those of known illuminant, and
 - (iii) comparing the luminance characteristics of said image element to those of known self-luminous elements, and
 - c. classifying said image element as likely to be self-luminous when at least one of said proximity, said color characteristics and said luminance characteristics meet a criteria for self-luminous elements.

10. A system for determining that an image element is likely to be self-luminous, the system comprising:
- a. a storage for storing image element characteristics;
 - b. a processor for comparing the characteristics of said image element to those for known self-luminous elements wherein said comparing comprises at least one act taken from the set consisting of:
 - i. comparing the proximity of said image element to image boundaries with the proximity of known image elements to their boundaries,
 - ii. comparing the color characteristics of said image element to those of known illuminants, and
 - iii. comparing the luminance characteristics of said image element to those of known self-luminous elements, and
 - c. a classifier for classifying said image element as likely to be self-luminous when at least one of said proximity, said color characteristics and said luminance characteristics meet a criteria for self-luminous elements.

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

Embodiments of the present invention comprise systems and methods for estimating self-luminous image elements and modifying images and image corrections for the presence of self-luminous elements.

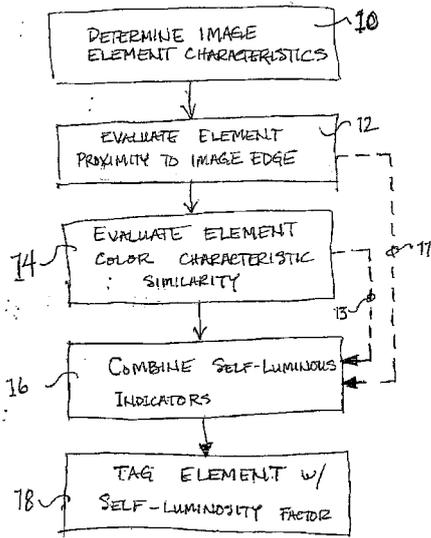


FIG. 1A

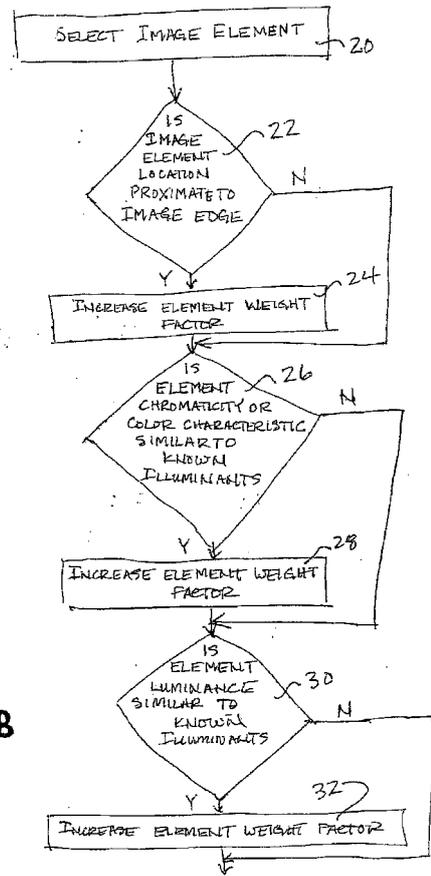


FIG. 1B

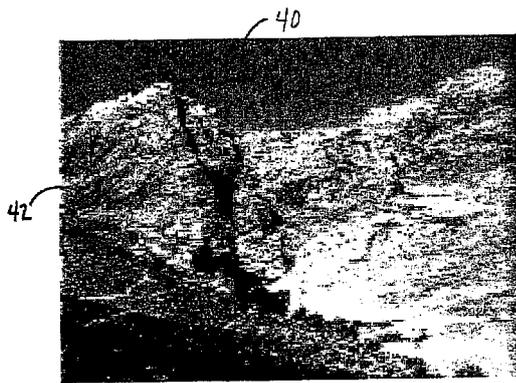


FIG. 2

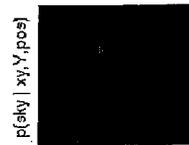


FIG. 3d

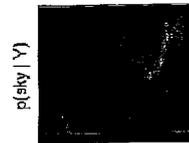


FIG. 3c



FIG. 3b

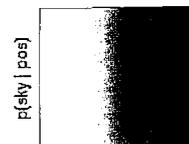


FIG. 3a

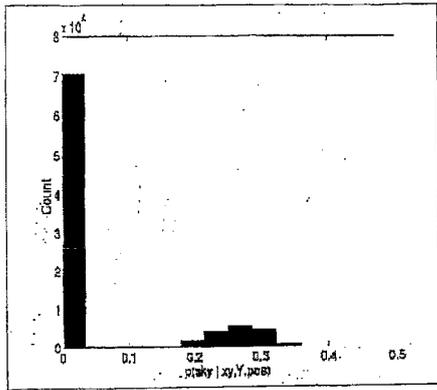


Fig. 4

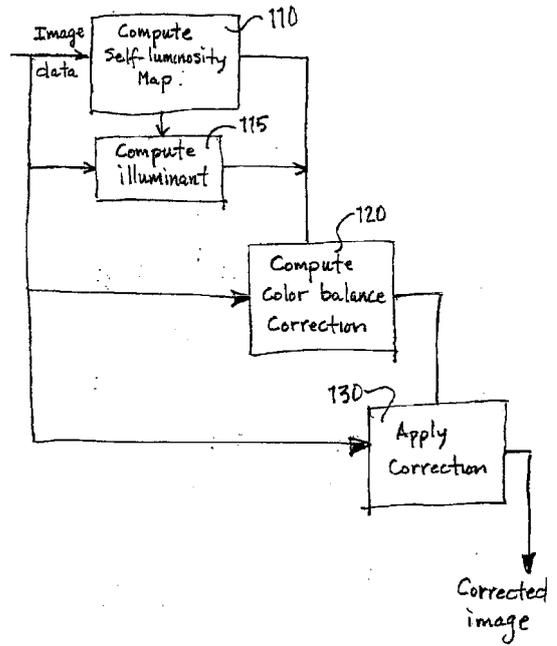


Fig. 5

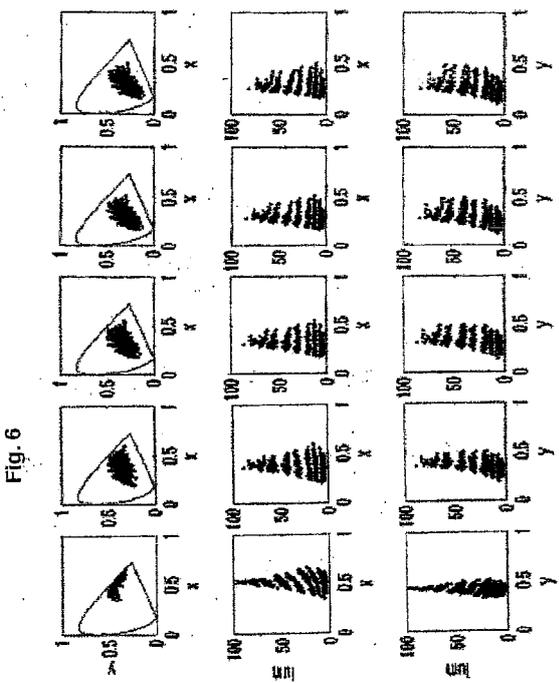


Fig. 6

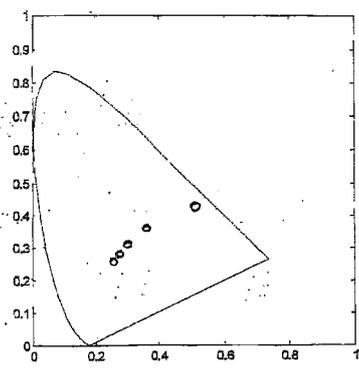


Fig. 7

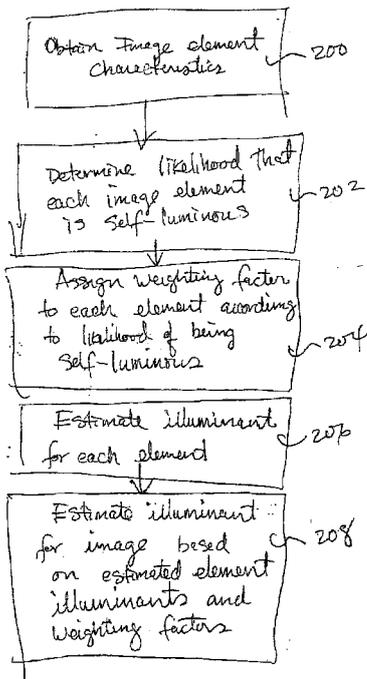


Fig. 8

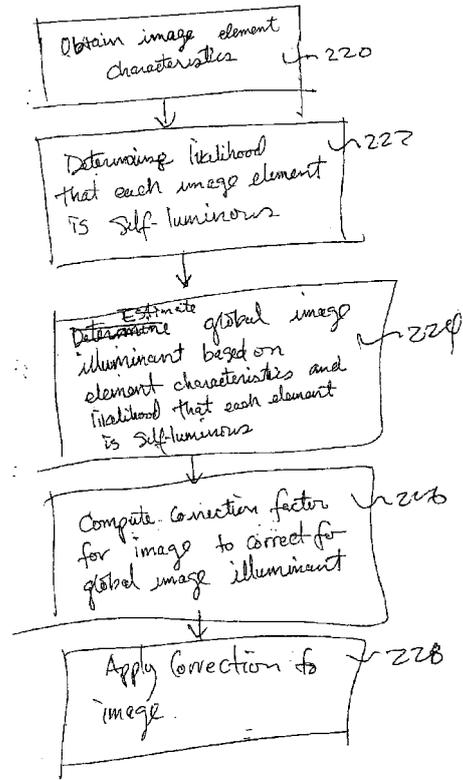


Fig. 9

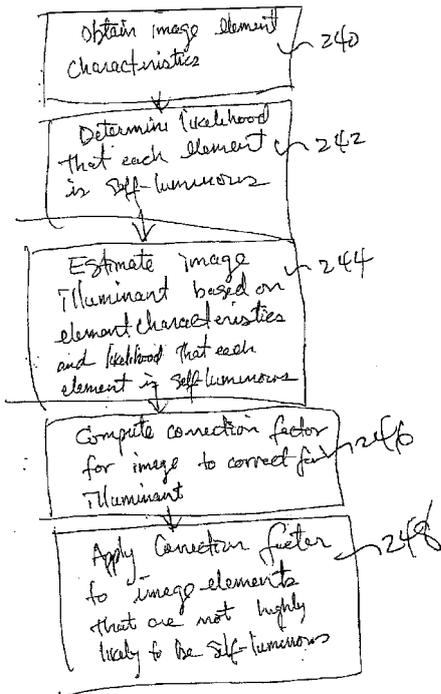


Fig. 10