

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4429103号
(P4429103)

(45) 発行日 平成22年3月10日 (2010. 3. 10)

(24) 登録日 平成21年12月25日 (2009. 12. 25)

(51) Int. Cl.	F I
H O 4 N 5/262 (2006. 01)	H O 4 N 5/262
H O 4 N 5/235 (2006. 01)	H O 4 N 5/235
G O 6 T 1/00 (2006. 01)	G O 6 T 1/00 5 1 0
G O 6 T 5/00 (2006. 01)	G O 6 T 5/00 1 0 0
G O 6 T 7/20 (2006. 01)	G O 6 T 7/20 B
請求項の数 20 (全 29 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2004-212192 (P2004-212192)	(73) 特許権者	500046438
(22) 出願日	平成16年7月20日 (2004. 7. 20)		マイクロソフト コーポレーション
(65) 公開番号	特開2005-45804 (P2005-45804A)		アメリカ合衆国 ワシントン州 9805
(43) 公開日	平成17年2月17日 (2005. 2. 17)		2-6399 レッドモンド ワン マイ
審査請求日	平成19年6月1日 (2007. 6. 1)		クロソフト ウェイ
(31) 優先権主張番号	10/623, 033	(74) 代理人	100140109
(32) 優先日	平成15年7月18日 (2003. 7. 18)		弁理士 小野 新次郎
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100089705
			弁理士 社本 一夫
		(74) 代理人	100075270
			弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100080137
			弁理士 千葉 昭男
		(74) 代理人	100096013
			弁理士 富田 博行
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 高ダイナミックレンジ画像を生成するシステムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

各画像の露出時間を変化させながら捕捉されたシーンの画像シーケンスから、高ダイナミックレンジ (H D R) 画像を生成するシステムであって、

汎用コンピューティングデバイスと、

前記コンピューティングデバイスによって実行可能なプログラムモジュールを備えるコンピュータプログラムとを備え、

前記コンピューティングデバイスは、前記コンピュータプログラムの前記プログラムモジュールにより、

有効ピクセル数が最も多い画像を基準画像に指定し、ピクセルは、飽和しておらず、かつ許容できる程度のコントラストを示す場合に有効とし、

基準画像を除く各画像ごとに、検討対象の画像より前記基準画像の露出時間に近く、かつ前記画像の中で検討対象の画像の露出時間に最も近い露出時間を示す、前記基準画像を含む画像と前記検討対象の画像とを重ね合わせて、フロー場を生成し、

まだ前記基準画像と重ね合わされていない非基準画像に生成された前記フロー場を連結して、各前記非基準画像を前記基準画像と重ね合わせ、

各非基準画像に関連付けられた前記フロー場を用いて各非基準画像をワープし、

前記基準画像と前記ワープされた画像を組み合わせて、前記 H D R 画像を表す放射輝度マップを作成する

ように指示される

10

20

ことを特徴とするシステム。

【請求項 2】

前記放射輝度マップをトーンマッピングして、前記放射輝度マップをレンダリングに適した 8 ビット表現に変換するプログラムモジュール

をさらに備えたことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記放射輝度マップをトーンマッピングするプログラムモジュールは、

前記放射輝度マップを C I E 空間に変換し、色度座標を回復して輝度画像を生成するサブモジュールと、

前記輝度画像のダイナミックレンジを縮小し、クロミナンスを再挿入するサブモジュールと、

前記 C I E 空間画像を変換して最終的な 8 ビットの R G B 画像を生成するサブモジュールと

を備えたことを特徴とする請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記画像シーケンス中の画像数と前記画像間の露出の変化は、前記画像が、前記画像中に描写されるシーンの実質的にすべての輝度の変化をまとめて捕捉するようなものである

ことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

ピクセルの強度は、8 ビットの R G B 色空間値で測定し、ピクセルは、その各 R G B 値が規定の間隔内である場合に飽和しておらず、許容できる程度のコントラストを示すものとみなされる

ことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記規定の間隔は、17 以上 254 以下である

ことを特徴とする請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記検討対象の画像より前記基準画像の露出時間に近く、かつ前記画像の中で検討対象の画像の露出時間に最も近い露出時間を示す画像と前記検討対象の画像とを重ね合わせて、フロー場を生成するサブモジュールは、

前記検討対象の画像の露出時間が、その画像が重ね合わされるもう一方の入力画像より短い場合は、

前記検討対象の画像の強度をブーストして、前記もう一方の入力画像の強度範囲と実質的に一致させるサブモジュールと、

前記検討対象の画像をもう一方の画像にマッピングするグローバル変換を推定することにより、前記検討対象の画像を前記もう一方の入力画像と大域的に重ね合わせるフロー場を計算するサブモジュールと、

勾配に基づくオプティカルフローを使用して、前記グローバル変換を用いて計算されたフロー場に対する局所的な補正を形成する密な動き場を計算するサブモジュールとを備え、

補正されたフロー場は、(i) 前記グローバル変換から得られた大域成分と、(ii) 前記大域成分に対する局所的補正を形成する前記密な動き場から取られた局所成分と、の合計である、前記フロー場の各ピクセル位置の合成ベクトルを備える

ことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

勾配に基づくオプティカルフローを使用して、前記フロー場に対する局所的な補正を形成する密な動き場を計算するサブモジュールは、

ラプラシアンピラミッドのフレームワークで使用される Lucas および Kanade の技術の変形を用い、検討対象の画像を前記もう一方の入力画像の方向にワープし、前記ピラミッドの各レベルで剰余のフローベクトルを推定するサブモジュールと、

前記ピラミッドの各レベルに各ピクセルに計算された前記剰余のフローベクトルを蓄積して、前記密な動き場の前記局所成分を確立するサブモジュールとを備えたことを特徴とする請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 9】

検討対象の画像より前記基準画像の露出時間に近く、かつ前記画像の中で前記検討対象の画像の露出時間に最も近い露出時間を示す画像と前記検討対象の画像とを重ね合わせて、フロー場を生成するサブモジュールは、

前記検討対象の画像の露出時間が、その画像が重ね合わされるもう一方の入力画像よりも長い場合は、

前記もう一方の画像の強度をブーストして、前記検討対象の画像の強度範囲と実質的に一致させるサブモジュールと、

前記検討対象の画像をもう一方の画像にマッピングするグローバル変換を推定することにより、前記検討対象の画像を前記もう一方の入力画像と大域的に重ね合わせるフロー場を計算するサブモジュールと、

勾配に基づくオプティカルフローを使用して、前記グローバル変換を用いて計算されたフロー場に対する局所的補正を形成する密な動き場を計算するサブモジュールとを備え、

補正されたフロー場は、(i) 前記グローバル変換から得られた大域成分と、(ii) 前記大域成分に対する局所的補正を形成する前記密な動き場から取られた局所成分と、の合計である、前記フロー場の各ピクセル位置の合成ベクトルを備える

ことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

勾配に基づくオプティカルフローを使用して、前記グローバル変換に対する局所的な補正を形成する動き場を計算するサブモジュールは、

ラプラシアンピラミッドのフレームワークで使用される Lucas および Kanade の技術の変形を用い、前記検討対象の画像を前記もう一方の入力画像の方向にワープし、前記ピラミッドの各レベルで剰余のフローベクトルを推定するサブモジュールと、

前記ピラミッドの各レベルに各ピクセルに計算された前記剰余のフローベクトルを蓄積して、前記密な動き場の前記局所成分を確立するサブモジュールとを備える

ことを特徴とする請求項 9 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記基準画像とワープした画像を組み合わせて前記放射輝度マップを作成するプログラムモジュールは、

前記基準画像と各ワープ画像をそれぞれ放射輝度画像に変換するサブモジュールと、

前記放射輝度マップ中の各ピクセル位置に放射輝度値を割り当てるサブモジュールとを備え、

前記放射輝度マップの放射輝度値は、前記基準画像中のそのピクセル位置のピクセルの強度に基づきどちらの値が信頼できると考えられるかに応じて、前記基準画像に関連付けられた前記放射輝度画像中の同じピクセル位置に割り当てられた放射輝度値か、または、前記基準画像および前記ワープ画像に関連付けられた前記放射輝度画像中の対応するピクセル位置から取られた 2 つ以上の放射輝度値の重み付きの組合せである

ことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 12】

コンピュータによって実施される、各画像の露出時間を変化させながら捕捉されたシーンの画像シーケンスから、高ダイナミックレンジ (HDR) 画像を生成する方法であって、コンピュータを使用して、

前記画像を入力する動作と、

有効ピクセル数が最も多い入力画像を基準画像に指定する動作であって、ピクセルは、飽和しておらず、かつ許容できる程度のコントラストを示す場合に有効とされる動作と、

基準画像を除く各入力画像ごとに、検討対象の入力画像より前記基準画像の露出時間に

10

20

30

40

50

近く、かつ前記入力画像の中で検討対象の入力画像の露出時間に最も近い露出時間を示す、前記検討対象の画像と前記基準画像を含む別の画像との間で対応するピクセルを識別する動作と、

入力画像の対の間で識別された前記ピクセルの対応関係を使用して、前記基準画像の各ピクセルに対して前記入力画像間で対応するピクセルのセットを確立する動作と、

対応するピクセルの各セットにつき、信頼できるピクセルを表す少なくとも1つのピクセルを前記セット中で識別し、前記1つまたは複数の識別された信頼できるピクセルに関連付けられたピクセルの色情報を用いてそのピクセルセットの放射輝度値を計算して、前記H D R画像を表す放射輝度マップを形成する動作と

を行うことを特徴とする方法。

10

【請求項13】

前記放射輝度マップをトーンマッピングして、前記放射輝度マップをレンダリングに適した8ビット表現に変換する動作

をさらに備えることを特徴とする請求項12に記載の方法。

【請求項14】

前記検討対象の画像と前記別の入力画像との間で対応するピクセルを識別する動作は、その画像を前記別の入力画像と重ね合わせるフロー場を計算する動作を備える

ことを特徴とする請求項12に記載の方法。

【請求項15】

入力画像の対の間で識別された前記ピクセルの対応関係を使用して、前記基準画像の各ピクセルに対して前記入力画像間で対応するピクセルのセットを確立する動作は、まだ前記基準画像と重ね合わされていない非基準画像に生成された前記フロー場を連結して、各前記非基準画像を前記基準画像と重ね合わせる動作を備える

20

ことを特徴とする請求項14に記載の方法。

【請求項16】

対応ピクセルの各セットにつき、信頼できるピクセルを表す少なくとも1つのピクセルを前記セット中で識別し、前記1つまたは複数の識別された信頼できるピクセルに関連付けられたピクセルの色情報を用いてそのピクセルセットの放射輝度値を計算して、前記H D R画像を表す放射輝度マップを形成する動作は、

前記基準画像と各ワープした画像をそれぞれ放射輝度画像に変換する動作と、

30

前記基準画像の各ピクセル位置について、

前記ワープした画像中の対応する位置に割り当てられた放射輝度値が、検討対象の前記基準画像のピクセル位置に割り当てられた前記放射輝度値の許容できる最大のノイズ分散の範囲内であるかどうかを判定する動作と、

ワープした画像中の前記対応する位置に割り当てられた前記放射輝度値の少なくとも1つが、検討対象の前記基準画像の当該ピクセル位置に割り当てられた前記放射輝度値の許容できる最大のノイズ分散の範囲内であることが判明した場合、前記検討対象の基準フレームのピクセル位置と、その放射輝度値が前記許容できる最大のノイズ分散の範囲内にある前記ワープした画像中の前記対応するピクセル位置とに割り当てられた放射輝度値の加重平均を計算する動作、および前記加重平均を、前記放射輝度マップ中の前記検討対象のピクセル位置の前記放射輝度値として割り当てる動作と、

40

前記ワープした画像中の前記対応する位置に割り当てられた前記放射輝度値のいずれも、前記基準画像の当該ピクセル位置に割り当てられた前記放射輝度値の許容できる最大のノイズ分散の範囲内にないことが判明した場合、前記基準画像中の前記検討対象のピクセル位置に割り当てられた放射輝度値を、前記放射輝度マップ中の前記検討対象のピクセル位置の放射輝度値として割り当てる動作と

を備える

ことを特徴とする請求項14に記載の方法。

【請求項17】

前記検討対象の基準フレームのピクセル位置と、その放射輝度値が前記許容できる最大

50

のノイズ分散の範囲内にある前記ワープした画像中の前記対応するピクセル位置とに割り当てられた放射輝度値の加重平均を計算する動作は、

【数 1】

$$R_{\text{wavg}} = \frac{f_{\text{WM}}(p_R, p_{S_1})p_{S_1} + \dots + f_{\text{WM}}(p_R, p_{S_n})p_{S_n} + f_{\text{WM}}(p_R, p_{L_1})p_{L_1} + \dots + f_{\text{WM}}(p_R, p_{L_n})p_{L_n} + f_W(p_R)p_R}{f_{\text{WM}}(p_R, p_{S_1}) + \dots + f_{\text{WM}}(p_R, p_{S_n}) + f_{\text{WM}}(p_R, p_{L_1}) + \dots + f_{\text{WM}}(p_R, p_{L_n}) + f_W(p_R)}$$

として前記加重平均の放射輝度を計算する動作を備え、

p_R 、 p_{S_i} および p_{L_i} は、前記放射輝度画像中の対応するピクセルであり、下付き文字 R は、前記基準画像に関連付けられた前記放射輝度画像を表し、下付き文字 S_i は、露出時間が前記基準画像より短い各前記ワープ画像に関連付けられた前記放射輝度画像を表し、下付き文字 L_i は、露出時間が前記基準画像より長い各前記ワープ画像に関連付けられた前記放射輝度画像を表し、重み関数 $f_{\text{WM}}(q, p) = f_M(|p - q|) f_W(p)$ は、尤もらしさのマップ f_M で調整した、強度に基づく重み関数 f_W であり、 f_M は、

10

【数 2】

$$f_M(\delta) = \begin{cases} 2\left(\frac{\delta}{\delta_{\text{max}}}\right)^3 - 3\left(\frac{\delta}{\delta_{\text{max}}}\right)^2 + 1 & \delta < \delta_{\text{max}} \text{ の場合} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

20

によって定義されるエルミートの三次式であり、 δ_{max} は規定のパラメータであり、前記許容できる最大のノイズ分散を超えるワープ画像に関連付けられた放射輝度値の調整された重みは、前記加重平均の放射輝度を計算する際にゼロに設定される

ことを特徴とする請求項 16 に記載の方法。

【請求項 18】

段階露出画像のシーケンスから高ダイナミックレンジ (HDR) 画像を生成するコンピュータ実行可能命令を有するコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記コンピュータ実行可能命令は、

(a) 前記段階露出画像を入力するステップと、

(b) 前記入力画像を露出時間の順に並べ替えるステップと、

30

(c) 有効ピクセル数が最も多い入力画像を基準画像に指定するステップであって、ピクセルは、飽和しておらず、かつ規定された程度のコントラストを示す場合に有効とするステップと、

(d) これまでに重ね合わされていない非基準入力画像を選択するステップと、

(e) 前記選択された入力画像の露出時間が前記基準画像より短い、長いかを判定するステップと、

(f) 前記選択された入力画像の露出時間が前記基準画像より短い場合は、

露出時間が次に短く、前記選択された入力画像よりは長い入力画像を識別するステップであって、当該入力画像は重ね合わされた画像であってもよいステップと、

前記選択した画像をブーストして前記識別された画像の露出と一致させるステップと

40

前記ブーストした選択画像を前記識別された画像と重ね合わせて、前記選択画像のフロー場を生成するステップと、

(g) 前記選択された入力画像の露出時間が前記基準画像より長い場合は、

露出時間が次に長く、前記選択された入力画像よりは短い入力画像を識別するステップであって、当該入力画像は重ね合わされた画像であってもよいステップと、

前記識別した画像をブーストして前記選択された画像の露出と一致させるステップと

前記選択画像を前記ブーストした識別画像と重ね合わせて、前記選択画像のフロー場を生成するステップと、

50

(h) 重ね合わされていない非基準入力画像が残っているかどうかを判定し、残っている場合は、すべての前記非基準画像が重ね合わされるまで命令(d)から(h)を繰り返すステップと、

(i) まだ前記基準画像と重ね合わされていない前記非基準入力画像に生成された前記フロー場を連結して、各前記非基準画像を前記基準画像と重ね合わせるステップと、

(j) 各非基準入力画像に関連付けられた前記フロー場、またはある場合には連結されたフロー場を使用して、各非基準入力画像をワープするステップと、

(k) 前記基準画像と前記ワープ画像を組み合わせて、前記H D R画像を表す放射輝度マップを作成するステップと

を備えることを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

10

【請求項19】

前記放射輝度マップをトーンマッピングして、前記放射輝度マップをレンダリングに適した8ビット表現に変換する命令

をさらに備えたことを特徴とする請求項18に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項20】

ピクセルの強度は、8ビットのRGB色空間値で測定し、ピクセルは、その各RGB値が17以上254以下である場合に飽和しておらず、許容できる程度のコントラストを示すものとみなされる

ことを特徴とする請求項18に記載のコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高ダイナミックレンジ画像を生成するシステムおよび方法に関する。より詳細には、一続きの段階露出画像から高ダイナミックレンジ(H D R)画像を生成することに関し、画像間にシーンまたはカメラの動きが存在してもそのようなH D R画像を生成する、動きのあるシーンの複数の露出から高ダイナミックレンジ画像を生成するシステムおよび方法並びに記録媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

現実の世界には、今日の大半のカメラで利用できるセンサによって捉えられる数をはるかに上回る明るさの変化(variation)がある。単一のシーンの放射輝度は、影から完全に光が当たった領域まで4桁の輝度の大きさを含むことができる。一般的なC C D(charge-coupled device)センサまたはC M O S(complementary metal-oxide semiconductor)センサでは、256~1024程度の輝度レベルしか捉えることができない。

【0003】

いくつかの文献に上述のような従来技術に関連した技術内容が開示されている(例えば、非特許文献1~12参照)。

【0004】

【非特許文献1】J. R. Bergen, P. Anandan, K. J. Hanna, and R. Hingorani. Hierarchical model-based motion estimation. In Second European Conference of Computer Vision (ECCV'92), pages 237-252, 1992

40

【非特許文献2】L. Bogoni. Extending dynamic range of monochrome and color images through fusion. Int'l Conf. on Pattern Recognition, vol. 3, pages 7-12, September 2000

【非特許文献3】P. E. Debevec and J. Malik. Recovering high dynamic range radiance maps from photographs. Proc. of SIGGRAPH 97, pages 369-378, August 1997

【非特許文献4】F. Durand and J. Dorsey. Fast bilateral filtering for the display of high dynamic range images. ACM Trans. on Graphics (TOG), 21(3): 257-266, 2002

50

【非特許文献 5】R. Fattal, D. Lischinski, and M. Werman. Gradient domain high dynamic range compression. ACM Trans. on Graphics, 21(3): 249-256, 2002

【非特許文献 6】B. D. Lucas and T. Kanade. An iterative image registration technique with an application in stereo vision. In Int'l Joint Conf. on Artificial Intelligence, pages 674-679, 1981

【非特許文献 7】S. Mann and R. W. Picard. On being "undigital" with digital cameras: Extending dynamic range by combining differently exposed pictures. In IS & T's 48th Annual Conference, Society for Imaging Science and Technology, Washington D.C., pages 422-428, 1995

【非特許文献 8】S. Mann, C. Manders, and J. Fung. Painting with Looks: Photographic images from video using quantimetric processing. In ACM Multimedia, Dec. 2002

【非特許文献 9】T. Mitsunaga and S. K. Nayar. Radiometric self calibration. In IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, volume 1, pages 374-380, June 1999

【非特許文献 10】T. Mitsunaga and S. K. Nayar. High dynamic range imaging: Spatially varying pixel exposures. In IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, volume 1, pages 472-479, June 2000

【非特許文献 11】E. Reinhard, M. Stark, P. Shirley, and J. Ferwerda. Photographic tone reproduction for digital images. ACM Trans. on Graphics, 21(3): 267-276, 2002

【非特許文献 12】Y. Tsin, V. Ramesh, and T. Kanade. Statistical calibration of CCD imaging process. In Int'l Conf. on Computer Vision, volume 1, pages 480-487, July 2001

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

この限られたダイナミックレンジの問題に触発されて近年多くの解決法が考案されている。静的なシーンの完全な放射輝度を捉える方法の 1 つは、そのシーンの複数の露出を捕捉し、次いでそれらを組み合わせて高ダイナミックレンジ (HDR) マップを作成するものである [3、7、8、9、12] (特許文献 3、7、8、9、12)。これらの技術は複数の入力画像を必要とするので、シーン中の動的な要素または移動するカメラ (例えば手持ち型のカメラ) が原因となって入力間に動きが生じる可能性がある。Mitsunaga 他 [9] (特許文献 9) は、大域的な運動モデルを入力に適合させることにより、限られた程度この問題に対処する。Mann 他 [8] (特許文献 8) は、より大きなカメラの回転を補償することが可能なホモグラフィーを使用して、露出が異なるフレームを重ね合わせる (register)。Bogoni [2] (特許文献 2) は、アフィン動きの後にピクセル単位のフローを使用して異なる露出を重ね合わせるが、フレーム重ね合わせ (registration) の詳細は与えられない。

【0006】

異なる時間に取り込まれた画像を融合する必要性は、複数の画像検出器、新規のセンサ、または空間的に変化するピクセル露出を使用して解消する (そして動きの問題を解消する) ことができる [10] (特許文献 10)。しかし、本発明の主眼は、広く利用できる従来の (すなわち低ダイナミックレンジの) 画像センサおよびカメラを使用して実現できる事に向けられる。

【0007】

HDR 画像を計算すると、その画像をディスプレイにレンダリングすることができる。一般的なディスプレイでは約 2 桁の輝度値の大きさしか得られないので、HDR 画像にコントラストの減少を行わなくてはならない。このいわゆるトーンマッピングの問題は、近年複数の研究者によって研究されている [4、5、11] (特許文献 4、5、11)。

【0008】

先行する段落と本明細書の残りの部分では、説明で、角括弧内に示す数字で識別される各種の個々の文献を参照することに留意されたい。例えば、そのような参考文献は、「参考文献[1]（特許文献1）」あるいは単に「[1]（特許文献1）」と記すことによって識別することができる。複数の参考文献は、例えば[2、3]（特許文献2、3）など複数の数字を含む角括弧で識別する。各数字に対応する文献を含む参考文献の一覧は、「[発明を実施するための最良の形態]」の項の最後でも得ることができる。

【0009】

本発明は、このような状況に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、画像間にシーンまたはカメラの動きがあっても、あるシーンの段階露出画像のシーケンスから高ダイナミックレンジ（HDR）画像を生成する、高ダイナミックレンジ画像を生成するシステムおよび方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、画像間にシーンまたはカメラの動きがあっても、あるシーンの段階露出画像のシーケンスから高ダイナミックレンジ（HDR）画像を生成するシステムおよび方法を対象とする。このシステムおよび方法は、まずシーケンスのうち最大数の「有効」ピクセルを有する画像を基準画像に指定することを伴う。ピクセルは、飽和しておらず、許容できる程度のコントラストを示す場合に有効とみなす。試験した実施形態では、ピクセル強度を8ビットのRGB（red-green-blue）色空間値で測定し、ピクセルは、各RGB値がある間隔内である場合に、飽和しておらず、許容できる程度のコントラストを示すものとみなした。本発明の試験バージョンでは、この間隔の最小値および最大値はそれぞれ17と254に設定した。

【0011】

基準画像を選択すると、シーケンス中の各「非基準」画像を基準画像と重ね合わせる。本システムおよび方法の一実施形態では、これは、検討対象の画像よりも基準画像の露出時間に近く、かつその他の画像の中で検討対象の画像の露出時間に最も近い露出を示す段階露出シーケンスの画像（基準画像を含む）と検討対象の画像を重ね合わせることににより、非基準画像ごとに行われる。この重ね合わせ手順では、各非基準画像のフロー場を生成する。本発明の試験バージョンでは、この重ね合わせには、ピクセル単位のオプティカルフロー場を計算することが伴った。

【0012】

まだ基準画像と重ね合わされていない非基準画像に生成されたフロー場を連結して、各非基準画像を基準画像と重ね合わせる。次いで、連結したフロー場、または元々基準画像と直接重ね合わせた画像の場合は変更が加えられていないフロー場を使用して、各非基準画像をワープ（warp）する。このワープした画像を次いで基準画像と組み合わせて、HDR画像を表す放射輝度マップを作成する。8ビットディスプレイを使用してHDR画像をレンダリングおよび表示する場合は、本システムにより放射輝度マップにトーンマッピング手順を行って、放射輝度マップをディスプレイに適した画像に変換する。

【0013】

これは必須ではないが、理想的には、段階露出シーケンス中の画像の数と画像間の露出の変化は、それらの画像が、画像中に描写されるシーンの実質的にすべての輝度の変化をまとめて捕捉できるようなものであることに留意されたい。

【0014】

非基準画像のピクセル単位のオプティカルフロー場の計算については、この計算は、本HDR画像生成システムおよび方法の一実施形態により以下のように達成することができる。検討対象の画像が、その画像が重ね合わされるもう一方の入力画像よりも露出時間が短い場合は、検討対象の画像の強度をブースト（boost）してもう一方の画像の強度範囲と実質的に一致させる。これに対し、検討対象の画像が、その画像を重ね合わせるもう一方の画像よりも露出時間が長い場合は、もう一方の画像の強度をブーストして検討対象の

画像の強度範囲と実質的に一致させる。いずれの場合も、ブースト手順が完了すると、検討対象の画像をもう一方の画像にマッピングするグローバル変換を推定することにより、検討対象の画像をもう一方の入力画像と大域的に重ね合わせるフロー場を計算する。次いで、勾配に基づくオプティカルフロー手順を用いて密な動き場を計算する。この計算により、グローバル変換を用いて計算されたフロー場に対する局所的な補正が生成される。補正されたフロー場は、グローバル変換から得られる大域成分と、大域成分に対する局所的な補正を形成する密な動き場から取られた局所成分との合計である、各ピクセル位置の複合ベクトルからなる。任意の適切な従来のグローバル変換を用いることができる。本発明の試験バージョンでは、使用したグローバル変換はアフィン変換であった。

【0015】

10

グローバル変換に対する局所的な補正を形成する密な動き場を計算する上述の手順は、LucasおよびKanade [6] (特許文献6) の技術の変形をラプラシアンピラミッドのフレームワーク [1] (特許文献1) で使用することを伴う。より詳細には、検討対象の画像は、それを重ね合わせるシーケンス中のもう一方の画像の方向にワープし、ピラミッドの各レベルで剰余のフローベクトルを推定する。この剰余のフローベクトルをピラミッドの各レベルでピクセルごとに蓄積して、密な動き場の最終的な局所成分を確立する。

【0016】

基準画像とワープした画像を組み合わせて放射輝度マップを作成することについては、これは、本HDR画像生成システムおよび方法の一実施形態により次のように達成することができる。初めに、基準画像と各ワープ画像を個々の放射輝度画像に変換する。次いで放射輝度マップの各ピクセル位置に放射輝度値を割り当てる。この放射輝度値は、基準画像のみに関連付けられた放射輝度値か、または、基準画像およびワープ画像に関連付けられた放射輝度画像中の対応するピクセル位置から取られた2つ以上の放射輝度値の重み付きの組合せのいずれかである。一般には、この決定は、ピクセルの強度に基づいてどちらの値が信頼できると考えられるかによって決まる。

20

【0017】

より詳細には、基準画像のピクセル位置ごとに、初めに、ワープした画像中の対応する位置に割り当てられた放射輝度値が、検討対象の基準画像のそのピクセル位置に割り当てられた放射輝度値の許容できる最大のノイズ分散の範囲内であるかどうかを判定する。上述したワープ画像中の対応する位置に割り当てられた放射輝度値の少なくとも1つが、許容できる最大のノイズ分散の範囲内であることが判明した場合は、それらの放射輝度値と基準画像の放射輝度値の加重平均を、放射輝度マップにおける検討対象のピクセル位置の放射輝度値として割り当てる。ただし、ワープした画像中の対応する位置に割り当てられた放射輝度値のいずれも上述した許容できる最大のノイズ分散の範囲内にないことが判明した場合は、基準画像のみに関連付けられた放射輝度値を、放射輝度マップの検討対象のピクセル位置の放射輝度値として割り当てる。

30

【0018】

上記の利点に加えて、本発明の他の利点は、添付図面と併せて読むことにより以下の詳細な説明から明らかになる。

40

【0019】

本発明の具体的な特徴、態様、および利点は、以下の説明、特許請求の範囲、および添付図面との関連でより正確に理解されよう。

【発明の効果】**【0020】**

本発明によれば、画像間にシーンまたはカメラの動きがあっても、あるシーンの段階露出画像のシーケンスから高ダイナミックレンジ (HDR) 画像を生成することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】**【0021】**

50

以下、図面を参照して本発明を適用できる実施形態を詳細に説明する。以下の本発明の好適実施形態の説明では説明の一部を形成する添付図面を参照し、図面には本発明を実施することが可能な特定の実施形態を例示として示す。本発明の範囲から逸脱することなく、この他の実施形態を利用することができ、構造的な変更を加えられることは理解されよう。

【0022】

1.0 HDR画像生成のコンピューティング環境

本発明の好適実施形態を説明する前に、本発明を実施することが可能な適切なコンピューティング環境の簡潔で概略的な説明を述べる。図1に適切なコンピューティングシステム環境100の一例を示す。コンピューティングシステム環境100は適切なコンピューティング環境の一例に過ぎず、本発明の使用または機能性の範囲について何らの制限を示唆するものではない。またコンピューティングシステム環境100は、例示的動作環境のコンピューティングシステム環境100に示す構成要素の任意の1つまたは組合せに関連する依存関係または必要性を有するものとも解釈すべきでない。

10

【0023】

本発明は、数多くの他の汎用または特殊目的のコンピューティングシステム環境または構成で動作することができる。本発明に使用するのに適している可能性がある周知のコンピューティングシステム、環境、および／または構成の例には、これらに限定しないが、パーソナルコンピュータ、サーバコンピュータ、ハンドヘルドまたはラップトップ機器、マルチプロセッサシステム、マイクロプロセッサを利用したシステム、セットトップボックス、プログラム可能な家庭用電化製品、ネットワークPC (personal computer)、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータ、上述のシステムまたはデバイスのいずれを含む分散コンピューティング環境などがある。

20

【0024】

本発明は、コンピュータによって実行されるプログラムモジュールなどのコンピュータ実行可能命令に概ね即して説明することができる。一般に、プログラムモジュールには、特定タスクを行うか、特定の抽象データ型を実装するルーチン、プログラム、オブジェクト、コンポーネント、データ構造などが含まれる。本発明は、通信ネットワークを通じてリンクされたりリモートの処理機器によってタスクを行う分散コンピューティング環境で実施することもできる。分散コンピューティング環境では、メモリ記憶装置を含むローカルおよびリモート両方のコンピュータ記憶媒体にプログラムモジュールを置くことができる。

30

【0025】

図1を参照すると、本発明を実施する例示的システムは、コンピュータ110の形態の汎用コンピューティングデバイスを含む。コンピュータ110の構成要素には、これらに限定しないが、プロセッサ120、システムメモリ130、およびシステムメモリを含む各種のシステム構成要素をプロセッサ120に結合するシステムバス121が含まれる。システムバス121は、各種のバスアーキテクチャの任意のものを使用したメモリバスまたはメモリコントローラ、ペリフェラルバス、およびローカルバスを含む数タイプのバス構造のいずれでもよい。これらに限定しないが、例として、このようなアーキテクチャには、ISA (Industry Standard Architecture) バス、MCA (Micro Channel Architecture) バス、EISA (Enhanced ISA) バス、VESA (Video Electronics Standards Association) ローカルバス、およびメザニンバスとも称されるPCI (Peripheral Component Interconnects) バスが含まれる。

40

【0026】

コンピュータ110は通例各種のコンピュータ可読媒体を含む。コンピュータ可読媒体は、コンピュータ110がアクセスすることができる任意の利用可能媒体でよく、揮発性および不揮発性の媒体、リムーバブルおよびノンリムーバブル媒体が含まれる。これに限

50

定しないが、例としてコンピュータ可読媒体は、コンピュータ記憶媒体と通信媒体を含むことができる。コンピュータ記憶媒体は、コンピュータ可読命令、データ構造、プログラムモジュール、またはその他のデータなどの情報を記憶するための任意の方法または技術として実装された揮発性および不揮発性の媒体、リムーバブルおよびノンリムーバブル媒体を含む。コンピュータ記憶媒体には、これらに限定しないが、RAM、ROM、EEPROM (electrically erasable programmable read-only memory)、フラッシュメモリまたは他のメモリ技術、CD (compact disc) - ROM、DVD (digital video disc) または他の光ディスクストレージ、磁気カセット、磁気テープ、磁気ディスクストレージまたは他の磁気記憶装置、あるいは、所望の情報の記憶に用いることができ、コンピュータ110によるアクセスが可能な任意の他の媒体が含まれる。通信媒体は、通例、コンピュータ可読命令、データ構造、プログラムモジュール、または他のデータを、搬送波などの変調データ信号または他の搬送機構として実施し、任意の情報伝達媒体を含む。用語「変調データ信号」とは、信号中に情報を符号化する形でその特性の1つまたは複数を設定または変化させた信号を意味する。例として、通信媒体には、これらに限定しないが、有線ネットワークまたは直接配線接続などの有線媒体と、音響、RF (radio frequency)、赤外線、および他の無線媒体などの無線媒体が含まれる。上記の媒体のいずれの組合せもコンピュータ可読媒体の範囲に含めるべきである。

【0027】

システムメモリ130は、読み取り専用メモリ (ROM) 131およびランダムアクセスメモリ (RAM) 132など、揮発性および／または不揮発性メモリの形態のコンピュータ記憶媒体を含む。起動時などにコンピュータ110内の要素間の情報転送を助ける基本ルーチンを含むBIOS (Basic Input/Output System) 133は、通例ROM131に記憶される。RAM132は通例、プロセッサ120から即座にアクセス可能な、かつ／または現在プロセッサ120によって操作中のデータおよび／またはプログラムモジュールを保持する。これらに限定しないが、例として、図1にはオペレーティングシステム134、アプリケーションプログラム135、他のプログラムモジュール136、およびプログラムデータ137を示している。

【0028】

コンピュータ110は、この他のリムーバブル／ノンリムーバブル、揮発性／不揮発性のコンピュータ記憶媒体も含むことができる。単なる例として、図1には、ノンリムーバブル、不揮発性の磁気媒体の読み書きを行うハードディスクドライブ141、リムーバブル、不揮発性の磁気ディスク152の読み書きを行う磁気ディスクドライブ151、およびCD-ROMや他の光学媒体などのリムーバブル、不揮発性の光ディスク156の読み書きを行う光ディスクドライブ155を示す。この例示的動作環境で使用できる他のリムーバブル／ノンリムーバブル、揮発性／不揮発性のコンピュータ記憶媒体には、これらに限定しないが、磁気テープカセット、フラッシュメモリカード、DVD、デジタルビデオテープ、ソリッドステートRAM、ソリッドステートROMなどが含まれる。ハードディスクドライブ141は通例、インタフェース140などのノンリムーバブルメモリインタフェースを通じてシステムバス121に接続され、磁気ディスクドライブ151および光ディスクドライブ155は通例、インタフェース150などリムーバブルメモリインタフェースによってシステムバス121に接続される。

【0029】

上記で説明し、図1に示すドライブとそれに関連付けられたコンピュータ記憶媒体は、コンピュータ110のコンピュータ可読命令、データ構造、プログラムモジュール、およびその他のデータの記憶を提供する。例えば図1では、ハードディスクドライブ141にオペレーティングシステム144、アプリケーションプログラム145、他のプログラムモジュール146、およびプログラムデータ147を記憶している。これらのコンポーネントは、オペレーティングシステム134、アプリケーションプログラム135、他のプログラムモジュール136、およびプログラムデータ137と同じものでも、異なるものでもよいことに留意されたい。ここではオペレーティングシステム144、アプリケーシ

10

20

30

40

50

ョンプログラム145、他のプログラムモジュール146、およびプログラムデータ147には、それらが少なくとも異なるコピーであることを表すために異なる参照符号を付している。ユーザは、キーボード162、および通例はマウス、トラックボール、タッチパッドと称されるポインティングデバイス161などの入力装置を通じてコンピュータ110にコマンドと情報を入力することができる。他の入力装置（図示せず）には、マイクロフォン、ジョイスティック、ゲームパッド、衛星放送受信アンテナ、スキャナなどがある。これらおよび他の入力装置は、システムバス121に結合されたユーザ入力インタフェース160を通じてプロセッサ120に接続することが多いが、パラレルポート、ゲームポート、あるいはユニバーサルシリアルバス（USB）など他のインタフェースおよびバス構造で接続することも可能である。モニタ191または他タイプの表示装置も、ビデオインタフェース190などのインタフェースを介してシステムバス121に接続される。コンピュータは、モニタに加えて、スピーカ197やプリンタ196など他の周辺出力装置も含むことができ、それらは出力周辺機器インタフェース195を通じて接続することができる。本発明に特に重要なものとして、一続きの画像193を捕捉することが可能なカメラ192（デジタル／電子静止カメラまたはビデオカメラ、またはフィルム／写真スキャナ）も、パーソナルコンピュータ110の入力装置として含めることができる。さらに、図には1つのみのカメラを示すが、複数のカメラをパーソナルコンピュータ110の入力装置として含めることもできる。1つまたは複数のカメラからの画像193は、適切なカメラインタフェース194を介してコンピュータ110に入力される。このインタフェース194はシステムバス121に接続され、それにより画像をRAM132、またはコンピュータ110に関連付けられた他のデータ記憶装置の1つに転送し、記憶することができる。ただし、画像データは、カメラ192の使用を必要とせずに、前述のコンピュータ可読媒体からコンピュータ110に入力することができることに留意されたい。

【0030】

コンピュータ110は、リモートコンピュータ180など1つまたは複数のリモートコンピュータとの論理接続を使用するネットワーク環境で動作することができる。リモートコンピュータ180はパーソナルコンピュータ、サーバ、ルータ、ネットワークPC、ピアデバイス、あるいはその他の一般的なネットワークノードでよく、図1にはメモリ記憶装置181のみを示すが、通例はコンピュータ110との関連で上記で挙げた要素の多くまたはすべてを含む。図1に示す論理接続には、ローカルエリアネットワーク（LAN）171とワイドエリアネットワーク（WAN）173が含まれるが、他のネットワークを含むことも可能である。このようなネットワーキング環境は、オフィス、企業内のコンピュータネットワーク、イントラネット、およびインターネットに一般的に見られる。

【0031】

LANネットワーキング環境で使用する場合、コンピュータ110はネットワークインタフェースまたはアダプタ170を通じてLAN171に接続される。WANネットワーキング環境で使用する場合、コンピュータ110は通例、インターネットなどのWAN173を通じて通信を確立するためのモデム172またはその他の手段を含む。モデム172は内蔵型でも外付け型でもよく、ユーザ入力インタフェース160または他の適切な機構を介してシステムバス121に接続することができる。ネットワーク環境では、コンピュータ110との関連で図示したプログラムモジュール、またはその一部はリモートのメモリ記憶装置に格納することができる。これに限定しないが、例として図1ではリモートアプリケーションプログラム185がメモリ装置181に存在する。図のネットワーク接続は例示的なものであり、コンピュータ間に通信リンクを確立する他の手段を使用できることは理解されよう。

【0032】

2.0 HDR画像の生成

例示的動作環境について説明したので、この説明の項の残る部分では、本発明を実施するプログラムモジュールを説明する。概略的に述べると、本発明によるシステムおよび方法は、一続きの段階露出画像の画像がシーンおよびカメラの動きを捕捉する場合でも、そ

のような画像を使用してH D R画像を生成するものである。

【0033】

2. 1 入力画像シーケンス

上記で指摘したように、本H D R画像生成システムおよび方法は、段階露出を使用してH D R画像を生成する。段階露出（b r a c k e t i n g）は、本来は写真技術で用いられる用語であり、最適な露出レベルの写真を1枚得ることを期待して複数の露出設定で同じシーンの写真を複数枚取することを意味する。本発明のコンテキストでは、用語「段階露出」画像は、概して、露出レベルを変化させながらカメラによって捕捉された画像のセットを意味する。これを実現する方式の1つは、現在の多くの静止写真カメラに備わる自動段階露出機能を使用することによる。あるシーンを自動的に段階露出する際、カメラは、
10 現在の測光モードを使用して適正露出を決定し、そのレベルで画像を捕捉する。次いで、元の露出の固定された倍数でさらに多くの露出を追加的に捕捉する。例えば、そうしたカメラの多くは、「適正露出」の画像と比較してより短い露出時間（例えば+1〜2の絞り値）で1つの画像を捕捉し、より長い露出時間（例えば−1〜2の絞り値）で1つの画像を捕捉する。段階露出したシーケンス中の画像の数と画像間の露出時間の変化は、それらの画像が、画像中に描写されるシーンの実質的にすべての輝度の変化をまとめて捕捉するようなものであることが理想的であることに留意されたい。このようにすると、結果得られるH D R画像は、そのシーンのダイナミックレンジ全体を表す。

【0034】

段階露出した画像を得る方式に関係なく、本システムに入力されると、画像は露出時間
20 に応じて並べ替えられる。そして「有効」ピクセル数が最も多い画像が基準画像に選択される。ピクセルは、飽和していない場合、または低コントラストでない場合に「有効」とみなす。これを実施する1方式は、各「有効」ピクセルが所定の間隔内のR G B値を有することを要求するものである。例えば、本発明の試験バージョンでは、この間隔の最小値と最大値をそれぞれ17と254に設定した。

【0035】

したがって、図2 Aおよび2 Bを参照すると、H D R画像の生成方法は、一続きの段階露出画像を入力することによって開始する（動作200）。次いでそれらの画像を各自の露出レベルで並べ替える（動作202）。例えば、図3（a）に、露出によって並べ替え、
30 一列に表示した日の出のシーンの5つの段階露出画像からなるセットを示す。この例では、最も短い露出時間を示す画像304が一番左に示され、画像の露出時間は左から右へと増加していく。したがって、図3（a）では最も長い露出時間を示す露出308が一番右に示される。H D R画像の生成方法は、続いて有効ピクセルが最も多い入力画像を選択し（動作204）、その画像を基準画像に指定する（動作206）。図3（a）に示す例では、列の中央にある画像300が有効ピクセルが最も多いことが判明し、この画像を矢印で示す。

【0036】

2. 2 H D R画像のステッチ

段階露出した入力画像は様々に異なる露出を示すので、H D R画像を生成するには、入力画像からピクセルの色情報を転送することが必要となる。これには、異なる入力画像間の
40 ピクセルの対応関係が極めて正確であることが要求される。ピクセルの対応関係を計算し、色情報を転送し、H D R画像を抽出するプロセスをH D R画像のステッチ（stitchin g）と称する。

【0037】

このH D Rのステッチ操作を実現するために、露出時間順に並べた入力画像の各隣接する対を、選択された基準画像の方向に重ね合わせていく。これを図3（b）に示し、この図には、上述した一続きの日の出の段階露出画像を上記した露出時間順に再度示す。同図に示すように、一番左の露出時間が最も短い画像304は、次に露出レベルが短い画像302と重ね合わせる。次いで後者の画像302を基準画像300と重ね合わせる。同様に、最も長い露出を示す画像308を次に露出レベルが長い画像306と重ね合わせ、画像
50

306を基準画像300と重ね合わせる。隣接する対を選択するのは、隣接する画像は視覚的变化がより小さく、その結果重ね合わせがより強固になるためである。この対で行われる入力画像間の一連の重ね合わせは、次に説明するワーブプロセスを用いて達成される。

【0038】

2. 2. 1 画像のワーブ

上述の対で行われる重ね合わせ手順では、一般に、まず検討対象の対のうち露出時間がより短い画像をブーストして、露出時間がより長い隣接画像と一致させることが必要となる。次いで、（選択された基準画像に対して）より中心から離れた露出時間を有する画像をワーブプロセスを介して「より近い」画像と重ね合わせ、ワーブプロセスは、一実施形態では、大域的な動きの推定を行ってから、局所的なピクセル単位のフロー計算を行うことを伴う。

【0039】

より詳細には、HDRのステッチプロセスではワーブした画像を生成する。選択された基準画像（R）よりも露出時間が短い画像（S）を、基準画像R自体であってもよい露出時間がより長いすぐ隣の隣接画像と重ね合わせて、重ね合わされたより短い露出の画像（ S_U ）を生成する。下付き文字「U」は、それがワーブした画像であることを表す。表記の便宜上、露出がより短い画像には下付きの数字 i を付し、 $i = 1, 2, 3, \dots$ であり、この数字は各画像の露出時間の順序を表す。詳細には、下付きの数字 i が大きいほど基準画像Rに対して露出時間が短くなる。結果得られる重ね合わされた画像 S_U は、それに対応する下付きの数字を有する。

【0040】

上述の画像ワーブプロセスは次のようにして達成する。最初に、検討する現在の入力画像が基準画像より短い露出時間で捕捉された、すなわち S_i と想定する。HDRステッチプロセスの最初の段階では、検討対象の露出がより短い画像の強度をブーストして、次に露出時間が短い入力画像の強度範囲と実質的に一致させる。次に露出が短い画像は、基準画像自体であってもよい。露出がより短い画像の強度をブーストしてより露出が長い画像と一致させることにより、重ね合わせプロセスが容易になることに留意されたい。より露出が長いフレームの飽和領域でピクセル強度の不一致が生じないように、露出時間が長い画像の強度を下げるのではなく、露出が短い画像をブーストすることが好ましい。露出時間が短い画像をブーストして、露出時間が長い画像中の飽和領域にあるディテールの欠如と一致させる。ブーストされた画像は下記で説明するようにフロー場の計算のみに使用されることにも留意されたい。ブーストした画像は、ブーストプロセスで生じるノイズと飽和のために、放射輝度マップの計算には使用しない。必要とされる強度のブースト量を見つけるために、カメラの応答関数を使用して露出時間がより短い画像を放射輝度マップに変換し、次いで逆応答を使用して露出時間がより長い仮想画像に変換する。この仮想画像は、それが重ね合わされる、露出時間がより長い画像のピクセル値（モジュロ離散化およびノイズ）と一致しなければならない。

【0041】

次いで、勾配を利用した技術を用いてフロー場 f_{S_i} を計算する。基本的に、この計算には、検討対象の画像の対間の密な動きの一致を計算することが伴い、その一致を使用してピクセル情報をワーブする。より詳細には、この手順は2段階からなる。最初に、2つの画像（すなわち検討対象の露出時間が短いブースト後の画像と、それに隣接する「露出時間がより長い」画像）を、1つの画像をもう一方の画像にマッピングするグローバル変換を推定することにより大域的に重ね合わせる。任意の適切な従来のグローバル変換を用いることができる。本発明の試験バージョンでは、使用したグローバル変換はアフィン変換であった。次いで勾配に基づくオプティカルフローを使用して、グローバル変換に対する局所的な補正を形成する密な動き場を計算する。したがって、各ピクセルに、大域成分と局所成分の合計である合成ベクトルが得られる。大域的なワーブパラメータから大域成分を取り出し、次に説明するオプティカルフロー手順により局所成分を生成する。

【0042】

前述の局所的な動きの推定には、LucasおよびKanade [6] (特許文献6)の技術の変形をラプラシアンピラミッドのフレームワーク [1] (特許文献1)で使用する。合計した部分的な導関数の行列の固有値を計算し、それが悪条件であるかどうかを判定することにより、退化したフローの事例に対処する技術も追加することができる。基本的に、反復ごとに隣接画像に向けて漸進的に検討対象の画像をワープし、剰余のフローベクトルを推定し、ピラミッドの下方へと蓄積していく。この技術は、ワープの際に大域的なアフィンフローを含めて、蓄積された剰余が常に大域的フローに対する局所的な補正として表されるようにすることにより補強される。この結果は、上述したフロー場 f_{S_i} になる。

10

【0043】

同様に、選択された基準画像 (R) よりも露出時間が長い画像 (L) は、基準画像 (R) 自体であってよい露出時間が「より長くない」すぐ隣の隣接画像と重ね合わせて、露出時間がより長い重ね合わせ画像 (L_U) を生成する。表記の便宜上、露出がより長い画像にも下付きの数字 i を付し、 $i = 1, 2, 3, \dots$ であり、この数字は各自の露出時間の順序を表す。詳細には、下付きの数字 i が大きいほど、基準画像に対して露出時間が長くなる。結果得られる重ね合わされた画像 L_U は、それに対応する下付きの数字を有する。

【0044】

検討中の現在の入力画像が基準画像よりも長い露出で捕捉された場合、すなわち L_i の場合、前述のフロー場の計算手順は次のように達成される。ステッチ手順の最初の段階で、検討対象の露出時間がより長い画像に対して露出時間が次に「短い」画像 (基準画像自体であってもよい) の強度をブーストして、対象画像の強度範囲と実質的に一致させる。次いで、上述の勾配に基づく技術を使用してフロー場 f_{L_i} を計算する。この場合、露出がより長い画像間の密な動きの一致を計算し、その一致を使用してピクセル情報をワープする。より詳細には、各ピクセルに、それぞれが大域成分と局所成分の合計である合成ベクトルが得られる。この場合も、大域成分は大域的なワープパラメータから得られ、局所成分は、先に説明したオプティカルフロー手順で生成される。この結果は上述したフロー場 f_{L_i} になる。

20

【0045】

各「非基準」画像のフロー場 (f_{S_i} または f_{L_i}) を計算すると、それらを連結して、基準画像に最も近い露出時間を有するより短い露出の画像と長い露出の画像すなわち S_1 および L_1 を除く各画像を直接基準画像と重ね合わせられるようにする。 S_1 および L_1 のフロー場は最初に計算されたものをそのまま用い、その他の非基準画像について計算された連結フローを、以前に計算されたフロー場の代わりとする。より詳細には、フロー場 f_{S_i} および f_{L_i} を与えられて、 $i = 1, 2, \dots, n$ であり、 n が状況に応じて露出時間がより短いまたは長い画像の数である場合、 S_1 以外の露出時間がより短い各画像に対して連結フロー f_{S_j} が $f_{S_j} = f_{S_j} * \dots * f_{S_1}$ として計算され、 L_1 以外の露出がより長い各画像については、連結フロー f_{L_j} が $f_{L_j} = f_{L_j} * \dots * f_{L_1}$ として計算され、 $j = 2, \dots, n$ である。

30

【0046】

次いで、状況に応じて各非基準画像に関連付けられたフロー場または連結されたフロー場を使用して各非基準画像をワープして、重ね合わされた、すなわち「固定された」画像 S'_i および L'_i のセットを生成する。前述の手順を図3(c)に図式的に示しており、非基準画像302、304、306、308がそれぞれ基準画像300と直接重ね合わされていることが見て取れる。

40

【0047】

したがって、再度図2Aおよび2Bを参照すると、対で行われる重ね合わせ手順は、一般的には、初めに、基準画像を除外して、これまでに重ね合わされていない入力画像を選択することを伴う (動作208)。次いで動作210で、選択された画像の露出時間が基準画像よりも短い、または長いかを判定する。選択された画像の露出が基準画像より短

50

い場合は、露出時間が次に短く、選択された画像よりは長い入力画像を識別する（動作 2 1 2）。識別される画像は基準画像自体であってもよいことに留意されたい。次いで、選択した画像をブーストして、識別された画像の露出レベルと一致させる（動作 2 1 4）。ブーストすると、選択した画像を識別した画像と重ね合わせ（動作 2 1 6）、この際には一実施形態では、大域的な動きの推定を行い、次いで局所的なピクセル単位のフロー計算を行うことが伴う。ただし、選択された画像が基準画像より露出が長いことが判明した場合は、露出時間が次に長く、選択された画像よりは短い入力画像を識別する（動作 2 1 8）。ここでも、識別される画像は基準画像自体でもよい。この場合は、識別された画像をブーストして、選択された画像の露出レベルと一致させる（動作 2 2 0）。次いで、選択した画像を識別された画像と重ね合わせる（動作 2 2 2）。次いで、重ね合わされていない非基準画像が残っているかどうかを判定する（動作 2 2 4）。残っている場合は、動作 2 0 8～2 2 4を繰り返す。残っていない場合は、基準画像とまだ重ね合わされていない非基準入力画像に対して生成されたフロー場を連結して、各非基準入力画像を基準画像と重ね合わせる（動作 2 2 6）。次いで、重ね合わされた画像および基準画像から放射輝度マップを回復する（動作 2 2 8）。この放射輝度マップを使用して所望の H D R 画像を生成し（動作 2 3 0）、この際にトーンマッピング手順が伴う場合もある。放射輝度マップの回復およびトーンマッピングの手順については次の項で説明する。

【0048】

2. 2. 2 放射輝度マップの回復

上記のように、固定された画像と基準画像を使用して放射輝度マップを回復する。基本的には、それらの画像を組み合わせる図 3（d）に示すように放射輝度マップを生成する。これを行うにはいくつかの技術が提案されている [3、7、9、12]（特許文献 3、7、9、12）。これらの各技術では、既知の露出値と計算されたカメラの応答関数を使用して入力画像を放射輝度画像に変換する。次いで、あるピクセルにおける最終的な放射輝度値を、それらの放射輝度画像中の対応するピクセルの加重和として計算する。先に指摘したように、カメラの応答関数 $F_{response}$ は、[9]（特許文献 9）の技術を使用して計算することが好ましい。この技術から得られる重み関数 f_w の例を図 4（a）に大域的な重み対ピクセル強度を示すグラフで示す。ただし、既存の方式では完全に重ね合わされた入力画像を想定することに留意されたい。H D R ステッチプロセスの最初の部分で誤った重ね合わせが行われる可能性があるため、本方法のこの部分では完全な重ね合わせは想定しない。代わりに、基準画像だけでなく固定された画像のピクセルからも得た放射輝度値を使用して、この手順がピクセル重ね合わせにおける誤差に対してより耐性を持つようにする。最終的な放射輝度マップ中のピクセルが、先行する画像中の対応するピクセルから取られた 2 つ以上の値の 1 つの放射輝度値から得られたのか、または 2 つ以上の値の組合せの放射輝度値から得られたのかを判定する論理的プロトコルを用いる。一般には、この判定は、入力画像中のピクセルの強度に基づいて行われる。

【0049】

より詳細には、図 5 を参照すると、H D R ステッチで用いる放射輝度マップの回復は次のように行われる。初めに、基準画像 R と固定された各画像 S'_i および L'_i を、従来の方法を使用して、応答関数 $F_{response}$ とそれら画像の個々の露出値を用いて放射輝度画像に変換する（動作 5 0 0）。この場合一般的には、

【0050】

【数 1】

$$Rad = \frac{F_{response}^{-1}(p)}{exp}$$

【0051】

となり、 Rad はピクセルの放射輝度であり、 p はピクセル強度であり、 exp は露出レベルである。これらの放射輝度画像をそれぞれ

【0052】

10

20

30

40

50

【数 2】

$\hat{R}$

【0 0 5 3】

、

【0 0 5 4】

【数 3】

$\hat{S}_i'$

【0 0 5 5】

、および

【0 0 5 6】

【数 4】

$\hat{L}_i$

【0 0 5 7】

と表す。上述の露出を計算するには、段階露出画像が捕捉された際に用いられていた特定のカメラパラメータ設定を知ることが必要となることに留意されたい。例えば、一般には、シャッター速度と口径の設定を知ることが必要である。このために、各画像に関連付けられたデータ中に、標準的なメタデータ情報（例えば E X I F タグ）として上記およびその他の所望のカメラパラメータを記憶しておくことが可能である。これにより放射輝度マップの計算を自動化することができる。

【0 0 5 8】

次いで、基準画像 R のこれまでに選択されていないピクセルを選択する（動作 5 0 2）。次いで、

【0 0 5 9】

【数 5】

$\hat{S}_i'$

【0 0 6 0】

の画像および

【0 0 6 1】

【数 6】

$\hat{L}_i$

【0 0 6 2】

の画像それぞれの対応する放射輝度値を

【0 0 6 3】

【数 7】

$\hat{R}$

【0 0 6 4】

の選択されたピクセルと比較して、

【0 0 6 5】

【数 8】

$\hat{R}$

【0 0 6 6】

の放射輝度値と比較していくつの値が許可された規定の最大のノイズ分散を下回るかを判定する（動作 5 0 4）。

10

20

30

40

50

【0067】

【数9】

 $\hat{S}_i'$

【0068】

および

【0069】

【数10】

 $\hat{L}_i'$

10

【0070】

の画像の放射輝度値すべてが、規定の許可された最大のノイズ分散を下回ることが判明した場合は、それらの値と基準画像における選択された位置の値の加重平均計算し、最終的な放射輝度マップ中のそのピクセル位置の放射輝度値として使用する（動作506）。加重平均の放射輝度 R_{wavg} は次のように計算する。

【0071】

【数11】

$$R_{wavg} = \frac{f_{WM}(p_R, p_{S_i}) p_{S_i} \cdots + \cdots + f_{WM}(p_R, p_{S_n}) p_{S_n} + f_{WM}(p_R, p_{L_i}) p_{L_i} \cdots + \cdots + f_{WM}(p_R, p_{L_n}) p_{L_n} + f_W(p_R) p_R}{f_{WM}(p_R, p_{S_i}) \cdots + \cdots + f_{WM}(p_R, p_{S_n}) + f_{WM}(p_R, p_{L_i}) \cdots + \cdots + f_{WM}(p_R, p_{L_n}) + f_W(p_R)} \quad (1)$$

20

【0072】

p_R 、 p_{S_i} および p_{L_i} は、放射輝度画像

【0073】

【数12】

 $\hat{R}, \hat{S}_i'$

【0074】

、および

【0075】

【数13】

30

 $\hat{L}_i'$

【0076】

中の対応するピクセルである。重み関数 $f_{WM}(q, p) = f_M(|p - q|) f_W(p)$ は、尤もらしさのマップ f_M で調整した、強度に基づく重み関数 f_W [9]（特許文献9）であり、 $f_M()$ は、

【0077】

【数14】

$$f_M(\delta) = \begin{cases} 2\left(\frac{\delta}{\delta_{max}}\right)^3 - 3\left(\frac{\delta}{\delta_{max}}\right)^2 + 1 & \delta < \delta_{max} \text{ の場合} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases} \quad (2)$$

40

【0078】

によって定義されるエルミートの三次式であり、この式は、対応する基準放射輝度値と過度に異なるワープされた放射輝度値を低く扱う（downplay）。 δ_{max} は、上述した許容される最大のノイズ分散を表すユーザ指定のパラメータである。この放射輝度マップの回復手順の試験バージョンでは、許容される最大のノイズ分散は、16段階の強度レベルに設定した。調節関数の一例を図4（b）のグラフに示す。

50

【0079】

ただし、

【0080】

【数15】

$\hat{S}_i'$

【0081】

および

【0082】

【数16】

10

$\hat{L}_i'$

【0083】

の画像の放射輝度値がこの最大のノイズ分散を超えることが分かった場合は、その値は破棄し、そのピクセル位置の最終的な放射輝度マップで使用される放射輝度値を、

【0084】

【数17】

$\hat{R}_i'$

【0085】

20

の値、および

【0086】

【数18】

$\hat{S}_i'$

【0087】

と

【0088】

【数19】

30

$\hat{L}_i'$

【0089】

の画像の残りの値から加重平均として計算する（動作508）。許容される最大のノイズ分散を超えることが分かっている

【0090】

【数20】

$\hat{S}_i'$

【0091】

および

40

【0092】

【数21】

$\hat{L}_i'$

【0093】

の画像の放射輝度値を含む項はゼロになるので、この加重平均は式（2）の範囲外となる。したがって、式（1）を使用して残りの放射輝度値で加重平均を計算する。

【0094】

最終的に、

【0095】

50

【数 2 2】

$\hat{S}_i$

【0 0 9 6】

と

【0 0 9 7】

【数 2 3】

$\hat{L}_i$

【0 0 9 8】

の画像のすべての放射輝度値が許容される最大のノイズ分散を超えることが判明した場合は、それらの値はすべて式（2）にしたがって破棄し、選択されたピクセル位置の最終的な放射輝度マップで使用される放射輝度値を直接

【0 0 9 9】

【数 2 4】

$\hat{R}$

【0 1 0 0】

から取り出す（動作 5 1 0）。

【0 1 0 1】

次いで、動作 5 1 2 で、まだ選択および処理されていない基準画像のピクセルがあるかどうかを判定する。まだピクセルがある場合は動作 5 0 2 ～ 5 1 2 を繰り返す。その他の場合方法は終了する。

【0 1 0 2】

2. 3 トーンマッピング

トーンマッピングを使用して、浮動小数点の放射輝度マップを、一般的な電子ディスプレイシステムまたは紙面上にレンダリングするのに適した 8 ビット表現に変換する。HDR 画像を表示するためにそのようなシステムを使用する場合は、トーンマッピングを使用して各 HDR 画像のダイナミックレンジを縮小し、同時に、高輝度領域と低輝度領域の両方に良好なコントラストレベルを維持しなければならない。

【0 1 0 3】

この目的には任意の既存のトーンマッピング手順を使用することができるが、本 HDR 画像生成システムは、覆い焼き（*d o d g i n g*）と焼きこみ（*b u r n i n g*）の写真技術に基づく、[1 1]（特許文献 1 1）によって提供されるトーンマップを利用する。一般に、このトーンマッピングプロセスは、従来の方法を利用して放射輝度画像を C I E（Commission Internationale d'Eclairage）空間に変換し、色度座標を回復することによって開始する。次いで輝度画像を処理してダイナミックレンジを縮小する。最後に、クロミナンスを再挿入し、C I E 空間画像を変換して最終的なバイトレンジの RGB 画像を生成する。このトーンマッピングプロセスの一部として、特定のグローバルパラメータを設定して全体的な輝度バランスを制御しなければならない。基本的には、トーンマッピングする入力画像の統計的分析を行ってそれらのグローバルパラメータをどのように設定するかを決定する。

【0 1 0 4】

2. 4 結果

前述の HDR 画像生成システムおよび方法の有効性は、先に説明した一続きの日の出の段階露出画像（図 6（a）に示す）を使用して示すことができる。この画像の場合は、カメラの動きと、地面に対する雲の動きの両方がある。したがって、これらの画像はシーンの動きを捕捉している。従来の大域的重ね合わせ手順（例えば 2 次元透視やホモグラフィ）を用いて合成 HDR 画像を生成した場合は、図 6（b）および 6（c）に示す結果が得られる（図 6（c）は図 6（b）の右側部分を拡大したバージョン）。これに対し、本

10

20

30

40

50

HDR画像生成方法を用いると、図6(d)および6(e)に示すように大幅に改良された結果が得られる。ここで、図6(e)は、図6(d)の右側を拡大したバージョンである。画像図6(d)および図6(e)中の木の枝がより鮮明に見えることに留意されたい。

【0105】

3. 0 参考文献

[1] J. R. Bergen, P. Anandan, K. J. Hanna, and R. Hingorani. Hierarchical model-based motion estimation. In Second European Conference of Computer Vision (ECCV'92), pages 237-252, 1992

[2] L. Bogoni. Extending dynamic range of monochrome and color images through fusion. Int'l Conf. on Pattern Recognition, vol. 3, pages 7-12, September 2000 10

[3] P. E. Debevec and J. Malik. Recovering high dynamic range radiance maps from photographs. Proc. of SIGGRAPH 97, pages 369-378, August 1997

[4] F. Durand and J. Dorsey. Fast bilateral filtering for the display of high dynamic range images. ACM Trans. on Graphics (TOG), 21(3): 257-266, 2002

[5] R. Fattal, D. Lischinski, and M. Werman. Gradient domain high dynamic range compression. ACM Trans. on Graphics, 21(3): 249-256, 2002

[6] B. D. Lucas and T. Kanade. An iterative image registration technique with an application in stereo vision. In Int'l Joint Conf. on Artificial Intelligence, pages 674-679, 1981 20

[7] S. Mann and R. W. Picard. On being "undigital" with digital cameras: Extending dynamic range by combining differently exposed pictures. In IS & T's 48th Annual Conference, Society for Imaging Science and Technology, Washington D.C., pages 422-428, 1995

[8] S. Mann, C. Manders, and J. Fung. Painting with Looks: Photographic images from video using quantimetric processing. In ACM Multimedia, Dec. 2002

[9] T. Mitsunaga and S. K. Nayar. Radiometric self calibration. In IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, volume 1, pages 374-380, June 1999

[10] T. Mitsunaga and S. K. Nayar. High dynamic range imaging: Spatially varying pixel exposures. In IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, volume 1, pages 472-479, June 2000 30

[11] E. Reinhard, M. Stark, P. Shirley, and J. Ferwerda. Photographic tone reproduction for digital images. ACM Trans. on Graphics, 21(3): 267-276, 2002

[12] Y. Tsin, V. Ramesh, and T. Kanade. Statistical calibration of CCD imaging process. In Int'l Conf. on Computer Vision, volume 1, pages 480-487, July 2001

【図面の簡単な説明】

【0106】

【図1】本発明を実施する例示的システムを構成する汎用コンピューティングデバイスの図である。

【図2A】本発明によるHDR画像を生成する全プロセスを説明する流れ図である。 40

【図2B】本発明によるHDR画像を生成する全プロセスを説明する流れ図である。

【図3(a)】図2のHDR画像生成プロセスの各部分によって画像を操作する方式を示す注釈を付けた日の出のシーンの一続きの5つの段階露出画像の図である。

【図3(b)】図2のHDR画像生成プロセスの各部分によって画像を操作する方式を示す注釈を付けた日の出のシーンの一続きの5つの段階露出画像の図である。

【図3(c)】図2のHDR画像生成プロセスの各部分によって画像を操作する方式を示す注釈を付けた日の出のシーンの一続きの5つの段階露出画像の図である。

【図3(d)】図2のHDR画像生成プロセスの各部分によって画像を操作する方式を示す注釈を付けた日の出のシーンの一続きの5つの段階露出画像の図である。

【図4(a)】図2の放射輝度マップの計算手順に関連するグラフであり、大域的な重み 50

対強度を示すグラフの図である。

【図４（ｂ）】図２の放射輝度マップの計算手順に関連するグラフであり、一致させたピクセルの放射輝度の整合性に基づく尤もらしさのマップのグラフの図である。

【図５】図２の放射輝度マップの計算手順の一実施形態を説明する流れ図である。

【図６（ａ）】大域的な重ね合わせ技術を使用した場合と比較した本発明による重ね合わせ手順を使用した結果の図であり、一続きの日の出のシーンの５つの段階露出画像の図である。

【図６（ｂ）】大域的な重ね合わせ技術を使用した場合と比較した本発明による重ね合わせ手順を使用した結果の図であり、図６（ａ）の画像に大域的な重ね合わせのみを行った結果の図である。

10

【図６（ｃ）】大域的な重ね合わせ技術を使用した場合と比較した本発明による重ね合わせ手順を使用した結果の図であり、図６（ａ）の画像に大域的な重ね合わせのみを行った結果の図であり、図６（ｂ）の右側部分を拡大した図である。

【図６（ｄ）】大域的な重ね合わせ技術を使用した場合と比較した本発明による重ね合わせ手順を使用した結果の図であり、本発明による重ね合わせの結果を示す図である。

【図６（ｅ）】大域的な重ね合わせ技術を使用した場合と比較した本発明による重ね合わせ手順を使用した結果の図であり、本発明による重ね合わせの結果を示し、図６（ｄ）の右側部分を拡大した図である。

【符号の説明】

【０１０７】

20

１００ コンピューティングシステム環境

１１０ コンピュータ

１２０ プロセッサ

１２１ システムバス

１３０ システムメモリ

１３４ オペレーティングシステム

１４４ オペレーティングシステム

１３５ アプリケーションプログラム

１４５ アプリケーションプログラム

１３６ 他のプログラムモジュール

30

１４６ 他のプログラムモジュール

１３７ プログラムデータ

１４７ プログラムデータ

１４０ ノンリムーバブル不揮発性メモリインタフェース

１４１ ハードディスクドライブ

１５０ リムーバブル不揮発性メモリインタフェース

１５１ 磁気ディスクドライブ

１５２ 磁気ディスク

１５５ 光ディスクドライブ

１５６ 光ディスク

40

１６０ ユーザ入力インタフェース

１６１ マウス

１６２ キーボード

１７０ ネットワークインタフェース

１７１ ローカルエリアネットワーク

１７２ モデム

１７３ ワイドエリアネットワーク

１８０ リモートコンピュータ

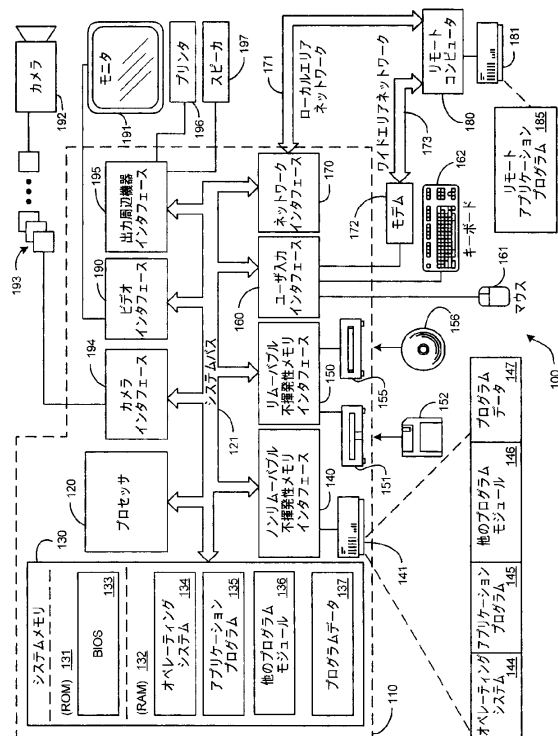
１８５ リモートアプリケーションプログラム

１９０ ビデオインタフェース

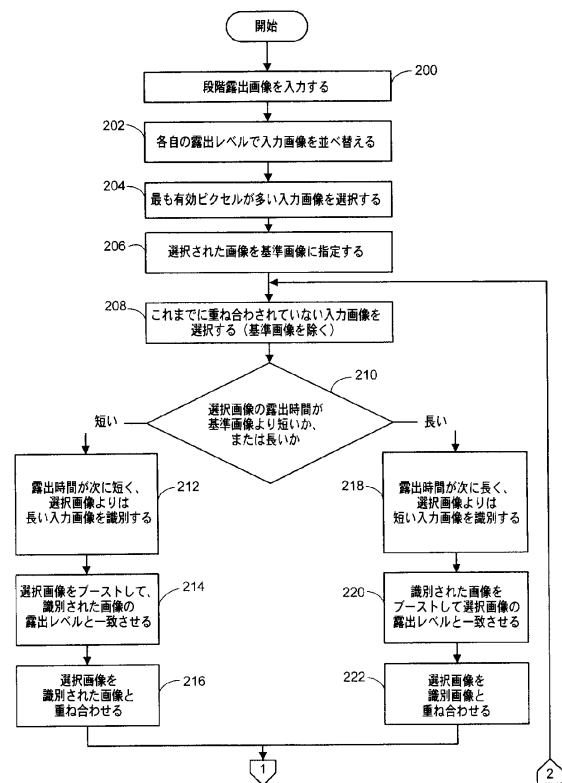
50

- 191 モニタ
- 192 カメラ
- 193 画像
- 194 カメラインタフェース
- 195 出力周辺機器インタフェース
- 196 プリンタ
- 197 スピーカ

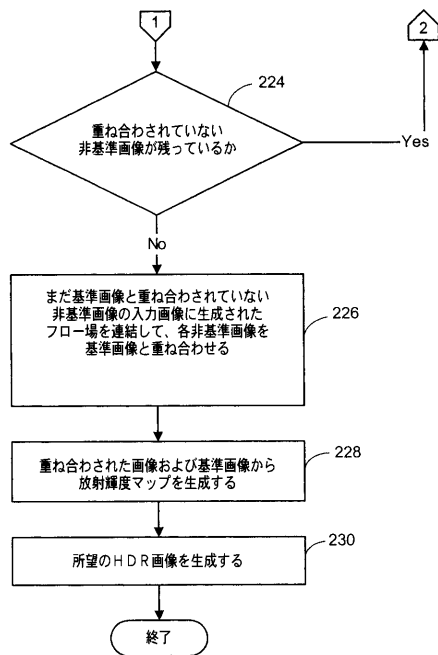
【図 1】



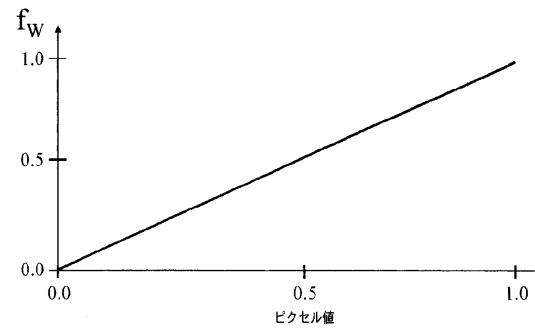
【図 2 A】



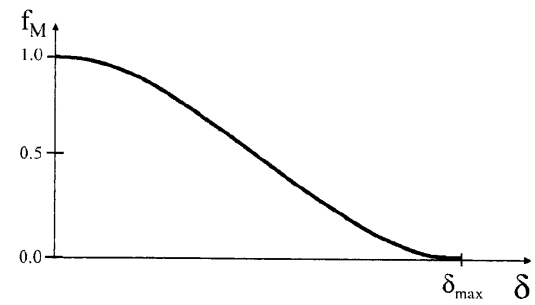
【図 2 B】



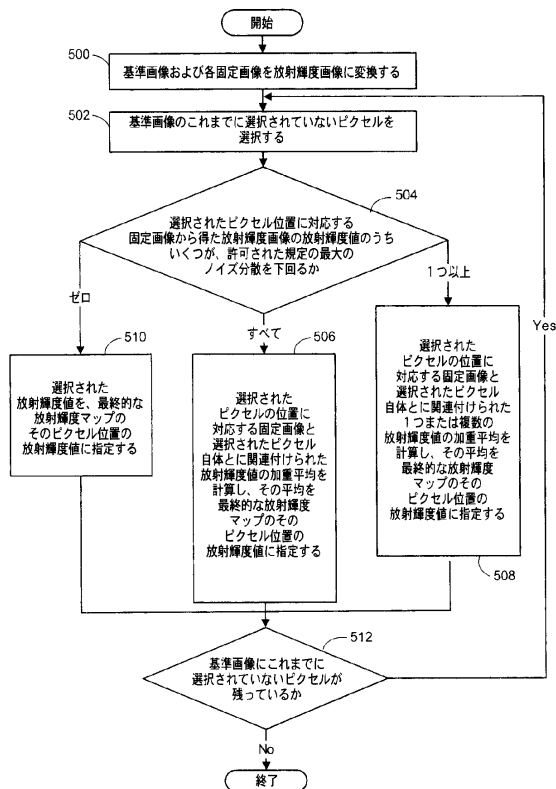
【図 4 (a)】



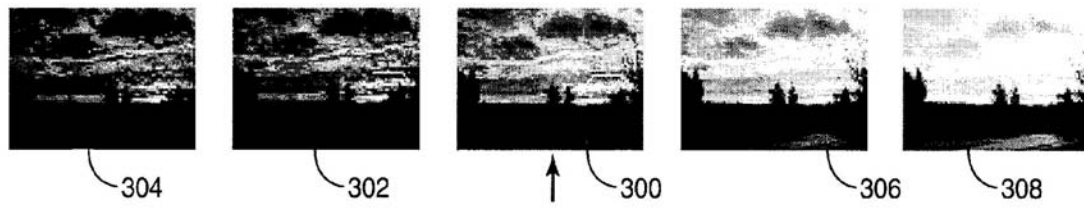
【図 4 (b)】



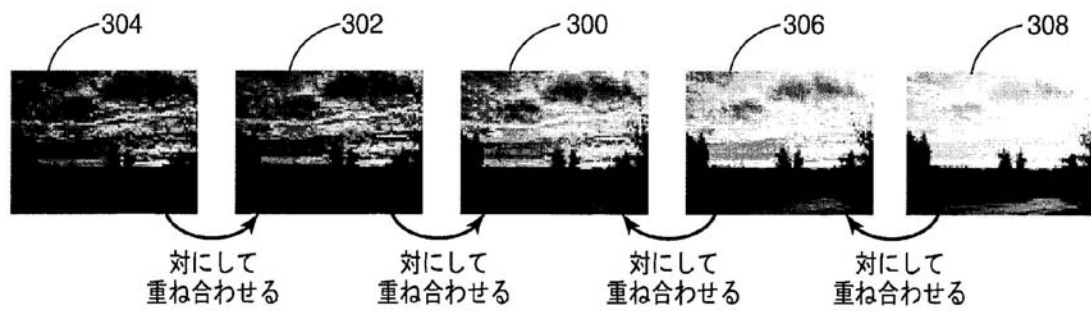
【図 5】



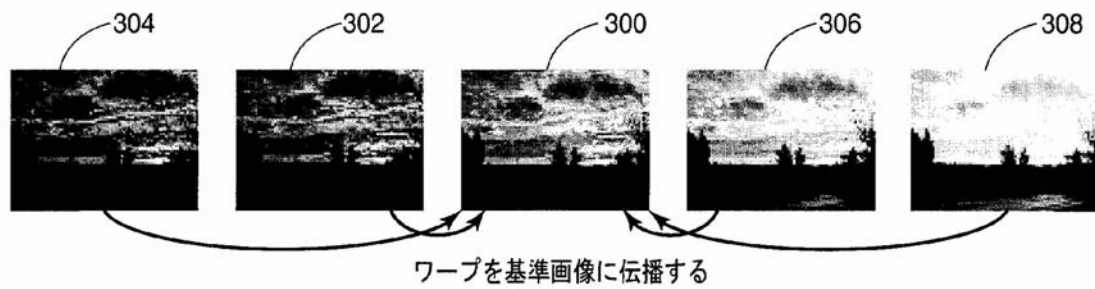
【図 3 (a)】



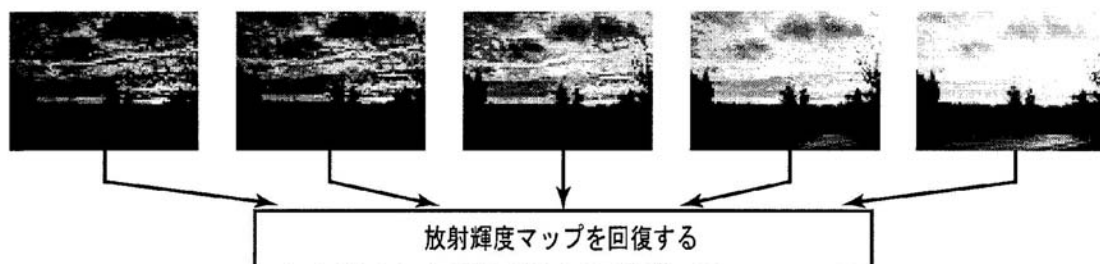
【図 3 (b)】



【図 3 (c)】



【図 3 (d)】



【図 6 (a)】



【図 6 (b)】



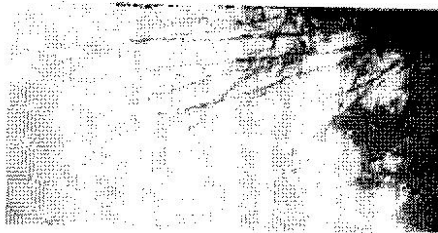
【図 6 (c)】



【図 6 (d)】



【図 6 (e)】



フロントページの続き

- (51)Int.Cl. F I
H 0 4 N 1/60 (2006.01) H 0 4 N 1/40 D
H 0 4 N 1/407 (2006.01) H 0 4 N 1/40 1 0 1 E
H 0 4 N 1/46 (2006.01) H 0 4 N 1/46 Z
- (74)代理人 100091063
 弁理士 田中 英夫
- (74)代理人 100153028
 弁理士 上田 忠
- (74)代理人 100120112
 弁理士 中西 基晴
- (74)代理人 100113974
 弁理士 田中 拓人
- (72)発明者 シン ビン カン
 アメリカ合衆国 9 8 0 5 2 ワシントン州 レッドモンド ノースイースト 1 0 0 コート
 1 8 2 1 7
- (72)発明者 マシュー ティー. オイテンダーレ
 アメリカ合衆国 9 8 1 2 2 ワシントン州 シアトル エリー アベニュー 1 5 3
- (72)発明者 サイモン ワインダー
 アメリカ合衆国 9 8 1 2 2 ワシントン州 シアトル イースト パイク ストリート 3 0 3
 ナンバー 6 0 6
- (72)発明者 リチャード セリスキー
 アメリカ合衆国 9 8 0 5 2 ワシントン州 レッドモンド 1 3 1 プレイス ノースイースト
 2 6 0 2

審査官 鈴木 明

- (56)参考文献 特表 2 0 0 6 - 5 2 5 7 4 7 (JP, A)
 特開 2 0 0 2 - 2 2 3 3 8 7 (JP, A)
 米国特許第 6 6 8 7 4 0 0 (US, B1)
 米国特許第 6 6 5 0 7 7 4 (US, B1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
 H 0 4 N 5 / 2 2 2 - 5 / 2 7 8
 G 0 6 T 1 / 0 0
 G 0 6 T 5 / 0 0
 G 0 6 T 7 / 2 0
 H 0 4 N 1 / 4 0 7
 H 0 4 N 1 / 4 6
 H 0 4 N 1 / 6 0