

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5007228号
(P5007228)

(45) 発行日 平成24年8月22日 (2012. 8. 22)

(24) 登録日 平成24年6月1日 (2012. 6. 1)

(51) Int. Cl.	F I
HO 4 N 7/26 (2006. 01)	HO 4 N 7/13 Z
HO 4 N 1/409 (2006. 01)	HO 4 N 1/40 1 O 1 C
GO 6 T 5/00 (2006. 01)	GO 6 T 5/00 3 O O
HO 4 N 5/21 (2006. 01)	HO 4 N 5/21 Z

請求項の数 20 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2007-527809 (P2007-527809)	(73) 特許権者	506412169
(86) (22) 出願日	平成17年6月14日 (2005. 6. 14)		ブレコード、インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2008-503192 (P2008-503192A)		アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94
(43) 公表日	平成20年1月31日 (2008. 1. 31)		025、メンロ パーク、エル カミーノ
(86) 国際出願番号	PCT/US2005/021099		リアル 1010、スイート 300、
(87) 国際公開番号	W02005/124664		ユニット 306、メンロ センター
(87) 国際公開日	平成17年12月29日 (2005. 12. 29)	(74) 代理人	100079108
審査請求日	平成20年6月11日 (2008. 6. 11)		弁理士 稲葉 良幸
(31) 優先権主張番号	60/579, 840	(74) 代理人	100093861
(32) 優先日	平成16年6月14日 (2004. 6. 14)		弁理士 大賀 真司
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100109346
			弁理士 大賀 敏史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像クリーンアップおよび前置符号化

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

デジタル画像をフィルタ処理する方法であって、前記デジタル画像のピクセルの集合内のそれぞれのピクセルについて、

前記それぞれのピクセルに対しピクセル依存フィルタカーネルを生成することと、第1のフィルタリングパラメータに従って、前記デジタル画像内のノイズを平滑化し、前記デジタル画像内の画像エッジに関連する空間周波数を保存するために、前記それぞれのピクセルに対し前記フィルタカーネルを非反復的に適用することを含み、

前記ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネルは、それぞれのピクセル及び隣接ピクセルの第1の集合の関数であり、非反復的なノイズフィルタリングを可能とする前記それぞれのピクセルに対する閉形式を持ち、かつ前記隣接ピクセルの第1の集合からの寄与因子を含み、また前記ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネルは、前記それぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネルの要素の和を求めることによって生成される内容依存時間スケール値に基づいて正規化される、方法。

【請求項 2】

前記適用することは、前記それぞれのピクセルに対する単一パスを含む請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記それぞれのピクセルに対する前記時間スケール値は、前記デジタル画像の内容依存

の関数である時間 - スケール変換に対応する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記第 1 のフィルタリングパラメータは、平滑化と鮮鋭化との境界を決定する請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 のフィルタリングパラメータは、閾値を超える空間周波数を含む前記デジタル画像内の 1 つの位置におけるノイズの平滑化を減らすことにより、前記デジタル画像内のテクスチャ情報を実質的に維持する請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記それぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネル内の非中心要素は、隣接ピクセルの前記第 1 の集合内のピクセルと異方性拡散方程式の離散化における前記それぞれのピクセルとの間の差の大きさを含み、前記フィルタカーネル内の中心ピクセルは、前記それぞれのピクセルに対応し、前記第 1 のフィルタリングパラメータは、前記異方性拡散方程式の前記離散化における時間ステップを内容依存スケールにマッピングする請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 7】

前記異方性拡散方程式の前記離散化における伝導性は、ウェーブレット変換の関数である請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記ウェーブレット変換は、ルックアップテーブルとして実装される請求項 7 に記載の方法。

20

【請求項 9】

さらに、前記フィルタカーネルを使用して前記ピクセルの色を修正することを含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記色を修正することは、色成分を含む請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記フィルタカーネルは、サイズ $(2m + 1) \times (2n + 1)$ のウィンドウに対応し、隣接ピクセルの前記第 1 の集合を含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

m は、 n に等しい請求項 11 に記載の方法。

30

【請求項 13】

前記それぞれのピクセルに対する m および n は、1 から 50 までの範囲の正整数からなる集合から選択される請求項 11 に記載の方法。

【請求項 14】

前記フィルタカーネルに対する m および n は、ピクセルサイズおよび画像解像度の関数である請求項 1 に記載の方法。

【請求項 15】

前記デジタル画像は、映像データを含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 16】

前記適用は、前置符号化されたデジタル画像を出力するために、ピクセルの前記集合内のピクセル毎に実行され、前記方法は、さらに予め定義された画像圧縮方法に従って前記前置符号化されたデジタル画像を圧縮することを含む請求項 1 に記載の方法。

40

【請求項 17】

デジタル画像をフィルタ処理する方法であって、フィルタリングパラメータに従って、前記デジタル画像内のノイズを平滑化し、前記デジタル画像内の画像エッジに関連する空間周波数を保存するために、ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対し各ピクセル依存フィルタカーネルを非反復的に適用することを含み、

フィルタ処理されたピクセルは、

【数 1】

$$\sum_{m,n} \frac{1}{\gamma} M \otimes U,$$

に対応し、

Mは閉形式配列であり、該閉形式配列は、前記それぞれのピクセルの関数であり、ウィンドウサイズが $(2m+1) \times (2n+1)$ であり、mおよびnは正整数であり、Mは、前記ウィンドウ内の隣接ピクセルの集合からの寄与因子を含み、Uは、ピクセルの前記集合内の部分配列であり、前記それぞれのピクセルと隣接ピクセルの前記集合とを含み、

10

【数 2】



は、M内の要素とU内の要素の要素毎の乗算を示し、 \otimes は、配列

【数 3】

$$\frac{1}{\gamma} M$$

20

内の要素の和が実質的固定値に等しくなるような、内容依存正規化因子であり、
前記内容依存正規化因子 $\frac{1}{\gamma}$ は、M内の前記要素の和を求めることによって生成される内容依存時間スケール値を含む、方法。

【請求項 18】

デジタル画像処理プロセッサであって、
メモリと、
プロセッサと、

30

前記メモリ内に格納され、前記プロセッサにより実行されるように構成された1つまたは複数のプログラムとを備え、前記1つまたは複数のプログラムは、

前記デジタル画像のピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対して、

前記それぞれのピクセルに対するピクセル依存フィルタカーネルを生成し、かつフィルタリングパラメータに従って、前記デジタル画像内のノイズを平滑化し、前記デジタル画像内の画像エッジに関連する空間周波数を保存するために、前記それぞれのピクセルに対し前記フィルタカーネルを非反復的に適用する命令を含み、

前記ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネルは、それぞれのピクセル及び隣接ピクセルの第1の集合の関数であり、前記それぞれのピクセルに対する閉形式を持ち、かつ前記隣接ピクセルの第1の集合からの寄与因子を含み、また前記それぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネルは、前記それぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネルの要素の和を求めることによって生成される内容依存時間スケール値に基づいて正規化される、デジタル画像処理プロセッサ。

40

【請求項 19】

デジタル画像フィルタ処理するためのコンピュータプログラムであって、コンピュータ装置によって実行されるとき、前記コンピュータ装置に、

前記デジタル画像のピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対して、

前記それぞれのピクセルに対するピクセル依存フィルタカーネルを生成し、かつフィルタリングパラメータに従って、前記デジタル画像内のノイズを平滑化し、前記デジタル画像内の画像エッジに関連する空間周波数を保存するために、前記それぞれのピクセルに

50

対し前記フィルタカーネルを非反復的に適用することを実行させ、

前記ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネルは、それぞれのピクセル及び隣接ピクセルの第1の集合の関数であり、前記それぞれのピクセルに対する閉形式を持ち、かつ前記隣接ピクセルの第1の集合からの寄与因子を含み、また前記ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネルは、前記それぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネルの要素の和を求めることによって生成される内容依存時間スケール値に基づいて正規化される、コンピュータプログラム。

【請求項20】

デジタル画像処理プロセッサであって、

メモリ手段と、

プロセッサ手段と、

プログラムメカニズムとを備え、前記プログラムメカニズムは、前記メモリ手段内に格納され、前記プロセッサ手段により実行されるように構成されており、前記プログラムメカニズムは、

前記デジタル画像のピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対して、

前記それぞれのピクセルに対するピクセル依存フィルタカーネルを生成し、かつフィルタリングパラメータに従って、前記デジタル画像内のノイズを平滑化し、前記デジタル画像内の画像エッジに関連する空間周波数を保存するために、前記それぞれのピクセルに対し前記フィルタカーネルを非反復的に適用する命令を含み、

前記ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネルは、それぞれのピクセル及び隣接ピクセルの第1の集合の関数であり、前記それぞれのピクセルに対する閉形式を持ち、かつ前記隣接ピクセルの第1の集合からの寄与因子を含み、また前記ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネルは、前記それぞれのピクセルに対する前記フィルタカーネルの要素の和を求めることによって生成される内容依存時間スケール値に基づいて正規化される、デジタル画像処理プロセッサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、参照により本明細書に組み込まれる、2004年6月14日に出願した「Methods and Systems for Image Clean-Up and Pre-coding」という表題の米国仮出願第60/579,840号の優先権を主張するものである。

【0002】

本発明は、一般的に、画像処理に関するものである。より具体的には、画像および映像のクリーンアップおよび前置符号化(pre-coding)に関するものである。

【背景技術】

【0003】

従来の画像ノイズ除去(または低減)アルゴリズムは、統計的方法およびカーネル法の2つに分類することができる。統計的方法のアルゴリズムの1つに、中央値フィルタリングがある。中央値フィルタリングでは、画像内のクリーンアップすべき(ノイズを含む)ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対する値は、それぞれのピクセルを中心とする指定されたウィンドウ内の中央ピクセル値として決定される。中央値フィルタリングは、インパルスノイズの除去または低減に有効な場合があるが、ガウス(白色)ノイズを除去するのは困難であることが多く、ぼけた画像にすることがある(つまり、画像は平滑化される)。ぼけは、ウィンドウが大きいとき、例えばインパルスノイズの割合が高い画像内で、比較的顕著である。

【0004】

他の統計的方法である、順序統計量(order-statistics)(OS)フィルタリングを使用すると、ぼけの量や程度を低減することができる。OSフィルタリングでは、ウィンドウ内のピクセルの集合は、順序付きシーケンスとして配列され、それぞれのピクセルは、

好適な所定の重みを使用してこのシーケンスの一次結合により置き換えられる。しかしながら、同じウィンドウ（形状およびサイズ）および同じ重みを画像内のそれぞれのピクセルに対し使用することができる。したがって、画像全体の鮮鋭さを保存または維持することは困難なことが多い。

【 0 0 0 5 】

移動平均（MA）フィルタリング、無限インパルス応答（IIR）、または自己回帰移動平均（ARMA）フィルタリング（つまり、MAを自己回帰帰還と併せた）、および畳み込みフィルタリングなどのカーネル法は、ガウスノイズを低減するのにより有効であるが、インパルスノイズを低減するのにはあまり有効でない場合がある。それに加えて、フィルタ係数（フィルタ重みとも呼ばれる）に応じて、カーネル法は、画像の鮮鋭さを保存する際に統計的方法に比べてなおそいっそう困難な場合がある。

【 0 0 0 6 】

統計的方法およびカーネル法を含む、従来の画像フィルタリングは、画像平滑化により、したがって画像の鮮鋭さを犠牲にして、ノイズ低減を行うことが多い。これにより、画像の過剰なぼけが生じる。これらの方法を修正して、ある程度の画像鮮鋭さを保存することが試みられているが（例えば、逆グラディエントに従ってそれぞれのピクセルの畳み込みマスクを使用することにより）、このようなアプローチは、計算コストおよび複雑度の増大を伴い、また画像の多段処理（つまり、画像処理の何回もの反復）を使用することが多い。

【 0 0 0 7 】

画像ノイズ除去技術の最近の進歩として、「最大事後確率」（MAP）および変分法がある。MAPアプローチは、本質的に統計的（つまり、離散的）である。変分法は、解析的であり、多くの場合、曲げまたは内部（「先験的」）エネルギー汎関数の総和として定義される、エネルギー汎関数の最小化問題として提示される。内部エネルギー汎関数は、出力画像の画質を決定するものであり、外部エネルギー汎関数は、クリーンアップすべき入力画像との近似を測定するものである。ノイズが含まれる入力画像（外部エネルギーにより支配される）と比較して出力「クリーン」画像の画質（平滑度／鮮鋭度）および忠実度（fidelity）のバランスをとるためのパラメータとして正定数を使用される。エネルギー最小化問題のオイラーラグランジュ方程式を解く最急降下法から、（等方性および異方性）拡散および拡散反応偏微分方程式（PDE）が得られる。変分法および他の最近の関係するアプローチ（異方性拡散または拡散反応PDEの数値解など）は、通常、上述の従来のアルゴリズムに勝る改善をもたらすが、この改善は、計算コストおよび複雑さの増大を伴い、また画像の多段処理を使用することも多い。

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 8 】

したがって、画像内容（画像テクスチャおよび画像エッジなど）を実質的に保持しつつ画像中のノイズを除去または低減する改善された画像処理方法が必要である。また、計算コストの低減、複雑さの低減、および画像処理における1パス化または処理段数の低減が必要である。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

デジタル画像をフィルタ処理する方法について説明する。第1のフィルタリングパラメータに従って、デジタル画像内のノイズを平滑化し、デジタル画像内の画像エッジに関連する空間周波数を保存するために、ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対しフィルタカーネルが適用される。フィルタカーネルは、それぞれのピクセルの関数であり、それぞれのピクセルに対する閉形式（closed form）を持つ。フィルタカーネルは、隣接ピクセルの第1の集合から寄与因子（contributions）を含み、フィルタカーネル内の要素の和が実質的固定値に等しくなるように内容依存の正規化（content-dependent normalization）が行われる。言い換えると、要素の和は、固定された1つの値に等しいか、ほぼ等

しい、ということである。

【 0 0 1 0 】

適用は、それぞれのピクセルに対する単一パスを含むことができる。適用は、フィルタ処理されたデジタル画像が出力するために、ピクセルの集合内のピクセル毎に実行することができる。フィルタカーネルをピクセルの集合内のそれぞれのピクセルにさらに 1 回または複数回適用することで、フィルタ処理されたデジタル画像に実質的な変化が生じないようにすることができる。

【 0 0 1 1 】

第 1 のフィルタリングパラメータは、平滑化と鮮鋭化との境界を決定することができる。第 1 のフィルタリングパラメータは、閾値を超える空間周波数を含むデジタル画像内の 1 つの位置におけるノイズの平滑化を減らすことによりデジタル画像内のテクスチャ情報を実質的に維持することができる。

10

【 0 0 1 2 】

フィルタカーネル内の非中心要素は、隣接ピクセルの第 1 の集合内のピクセルと異方性拡散方程式の離散化 (the discretization of the anisotropic diffusion equation) におけるそれぞれのピクセルとの間の差の大きさを含むことができる。フィルタカーネル内の中心ピクセルは、それぞれのピクセルに対応しうる。第 1 のフィルタリングパラメータは、異方性拡散方程式の離散化における時間ステップを内容依存のスケール (content-dependent scale) にマッピングすることができる。異方性拡散方程式の離散化における伝導性 (conductivity) は、ウェーブレット変換の関数であってよい。伝導関数からの離散伝導要素はルックアップテーブルとして実装することができる。

20

【 0 0 1 3 】

フィルタカーネルは、サイズ $(2m + 1) \times (2n + 1)$ のウィンドウに対応し、隣接ピクセルの第 1 の集合を含むことができる。フィルタカーネルに対する m および n は、ピクセルサイズの関数とすることができる。 m は、 n に等しくてもよい。

【 0 0 1 4 】

いくつかの実施形態では、この方法は、さらに、フィルタカーネルを使用してピクセルの色または色成分を修正することを含むことができる。

【 0 0 1 5 】

いくつかの実施形態では、フィルタカーネルは、隣接ピクセルの第 2 の集合からの寄与因子を含み、さらに第 2 のフィルタリングパラメータに従う。

30

【 0 0 1 6 】

デジタル画像をフィルタ処理する方法の他の実施形態では、フィルタリングパラメータに従って、デジタル画像内のノイズを平滑化し、デジタル画像内の画像エッジに関連する空間周波数を保存するために、ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに対しフィルタカーネルが適用される。フィルタ処理されたピクセルは

【 0 0 1 7 】

【 数 1 】

$$\sum_{m,n} \frac{1}{\gamma} M \otimes U,$$

40

に対応するが、ただし、式中、 M は閉形式配列であり、該閉形式配列は、それぞれのピクセルの関数であり、ウィンドウサイズが $(2m + 1) \times (2n + 1)$ (m および n は正整数) であり、 M は、隣接ピクセルの $(2m + 1) \times (2n + 1)$ の集合からの寄与因子を含み、 U は、ピクセルの集合内の部分配列であり、それぞれのピクセルと隣接ピクセルの集合とを含み、

【 0 0 1 8 】

【数 2】



は、M内の要素とU内の要素の要素毎の乗算を示し、 γ は、時間対内容依存スケール (time to content-dependent scale) であり、その結果、

【0 0 1 9】

【数 3】

$$\frac{1}{\gamma} M$$

10

内の要素の和が固定値に等しいかまたはほぼ等しくなるように、フィルタカーネルMの正規化が行われる。

【0 0 2 0】

デジタル画像をフィルタ処理する方法およびフィルタ処理するための関係する装置では、ノイズを低減するとともに、画像内容を実質的に保存する。また、この方法および関係する装置は、計算コストの低減、複雑さの低減、およびデジタル画像の処理における1パス化または処理段数の低減も行う。

20

【0 0 2 1】

本発明をよりよく理解できるように、付属の図面とともに以下の詳細な説明が参照される。

【0 0 2 2】

図面全体を通して類似の参照番号は、対応する部分を指す。

【発明を実施するための最良の形態】

【0 0 2 3】

そこで、実施形態を詳しく参照するが、その実施例は、付属の図面に例示されている。以下の詳細な説明では、本発明を完全に理解できるように、多数の具体的詳細を述べている。しかし、当業者には、本発明は、これらの具体的詳細がなくても実施されうることが明白であろう。他の例では、これらの実施形態の態様を不必要にわかりにくくしないために、よく知られている方法、手順、コンポーネント、および回路について詳述していない。

30

【0 0 2 4】

画像処理方法ならびに関係する装置およびシステムについて説明する。画像処理は、画像内容を保存し、および/または高めつつ、画質を改善し(例えば、ノイズを低減または除去し)、通信帯域幅を低減し、および/またはデジタル画像またはデジタル画像の集合(映像など)の格納サイズを低減することができる、計算効率の高いフィルタカーネルを中心とする。フィルタカーネルは、J P E G、J P E G - 2 0 0 0、M P E G、H 2 6 3、またはH 2 6 4などの画像または映像圧縮法を使用する、画像または映像圧縮システム内に前置フィルタまたは前置符号器として含むことができる。映像圧縮アプリケーションでは、フィルタカーネルは、Iフレーム、Pフレーム、Bフレーム、および/またはマクロブロックの前置フィルタ処理のために、さらにはいわゆる動き補償画像立方体(motion compensated image cubes)の三次元前置フィルタ処理において、使用することができる。フィルタカーネルは、スキャナ、プリンタ、デジタルカメラ(携帯電話、他の携帯デバイス、および/またはスタンドアロンのカメラで使用される)、およびビデオカメラ、さらに画像の後処理で使用することができる。フィルタカーネルは、特定用途向け集積回路(A S I C)、フィールドプログラマブルゲートアレイ(F P G A)、デジタルシグナルプロセッサ(D S P)、または他の集積回路などの、ソフトウェアおよび/またはハード

40

50

ウェアで実装することができる。いくつかの実施形態では、フィルタカーネルは、閉形式を有することができる。フィルタカーネルは、1パスで、それぞれの画像に対応するピクセルの集合に適用され、フィルタ処理された画像を生成することができる。続いてフィルタカーネルをフィルタ処理済み画像に適用することで、フィルタ処理済み画像を実質的に変更のないままにすることができる。例えば、1つまたは複数の空間周波数における大きさの変化は、前置フィルタ処理値の5から10%未満とすることができる。フィルタカーネルが複数回適用された場合、フィルタカーネルに関連する1つまたは複数の平滑化/鮮鋭度パラメータは、変更されなくてもよいし、または修正されてもよい。

【0025】

フィルタカーネルは、非線形であり、内容依存である（そのため、内容依存フィルタまたはCDFとも呼ばれる）。画像内のピクセルのそれぞれの集合について、二次元CDFは、サイズ $(2m+1) \times (2n+1)$ （任意の正整数 m および n について）のウィンドウまたはフィルタに対応する。CDFは、異方性拡散モデルおよび/または異方性拡散反応モデル（anisotropic diffusion-reaction model）に基づく。異方性拡散モデル内の伝導性の項のグラディエント演算は、水平および/または垂直方向のウェーブレット変換により置き換えることができる。多数の反復ステップを必要とする、結果として得られた偏微分方程式（PDE）の数値解を計算するのではなく、1つまたは複数の時間-スケール変換が導入される。これらの変換は、PDEの離散化における定数時間ステップパラメータを、一般に画像または画像の部分集合内のそれぞれのピクセルごとに変わる1つまたは複数の内容依存スケールにマッピングする。このマッピングは、ウィンドウ内の中心ピクセルとウィンドウ内の隣接ピクセルの1つまたは複数の集合内のそれぞれのピクセルとの間の差に基づき、および/またはウェーブレット変換によるものである。したがって、一般に、結果として得られるCDFは、処理すべきそれぞれのピクセルについて異なる、つまり、フィルタ係数またはフィルタ重みは、ピクセル値（またはより一般的に、局所的画像内容）が異なれば異なる。しかし、CDFは、閉形式を持ちうる。そのようなものとして、それぞれのピクセルの画像処理は、単一演算で実行することができる、つまり、CDFは、1パスフィルタとすることができる。いくつかの実施形態では、CDFは、複数のパスで実装することができるが、（最大100個の演算または段を使用する）従来の画像フィルタよりも少ない演算または段で済む。

【0026】

CDFの構築時における時間-スケール変換（時間-スケールマッピングとも呼ばれる）は、CDFの所望のウィンドウサイズに応じて、異なる形態をとりうる。ウィンドウサイズは、画像内のピクセルサイズおよび/または画像解像度に従う。例えば、ピクセルサイズが小さい場合（高解像度）、画像内のノイズは、複数ピクセルに及ぶ可能性がある。結果として、このような状況では、大きなウィンドウを使用することができる。複数のフィルタウィンドウサイズ（ 3×3 ウィンドウを含む）に対する微分に関する以下の説明は、任意のウィンドウサイズまで広げることができ、さらに、三次元画像内の画像ノイズを除去または低減する三次元ウィンドウのフィルタまで広げることにもできる。そのようなものとして、微分は、一般的アプローチを示すと考えられる。時間-スケール変換は、画像の平滑化/鮮鋭度を調整するために使用することができる少なくとも1つのパラメータを含むことができる。少なくとも1つのパラメータは、事前に定義するか、または自動的におよび/または手作業で調整することができる。調整は、照度、シャッター速度、および/または画像内の画像内容に従う。少なくとも1つのパラメータは、閾値を超える空間周波数を含む画像内の1つの位置におけるノイズの平滑化を減らすことにより、画像内のテクスチャ情報を維持することができる。

【0027】

次に、デジタル画像をフィルタ処理するプロセスならびに関係する装置およびシステムのいくつかの実施形態に注目する。図1は、デジタル画像をフィルタ処理するプロセスの一実施形態100を例示する流れ図である。隣接ピクセルの第1の集合を含むフィルタカーネルのウィンドウサイズが、フィルタリングプロセスのために決定される（112）。50

C D F用のフィルタカーネルなどのフィルタカーネルが、隣接ピクセルの第1の集合内のそれぞれのピクセルについて決定または構築される(110)。フィルタカーネルは、1のフィルタリングパラメータに応じて、ノイズを平滑化し、画像エッジに関連する空間周波数を保存する。フィルタカーネルに関連する伝導性は、オプションのウェーブレット変換を使用して決定される(114)。隣接するピクセルの第2の集合からのフィルタカーネルへの寄与因子は、第2のフィルタリングパラメータに従って適宜決定されることができる(116)。フィルタカーネルは、隣接ピクセルの第1の集合内のそれぞれのピクセル(中心ピクセルを含む)に適用され、フィルタ処理済みデジタルピクセルを生成する(118)。それぞれのピクセルの色は、対応するフィルタカーネルを使用して適宜修正される(120)。このプロセスは、ピクセルの集合内の追加のピクセルについて、1回または複数回反復することができる(122)。このプロセスは、1つまたは複数の色チャンネルについて1回または複数回反復することができる。それぞれの色チャンネルは、RGB、YCbCr、YUV、またはYIQ色チャンネルとすることができる。プロセス100は、画像内のピクセルの少なくとも1つの部分集合について少なくとも1回の反復を含む複数回の反復を行うことができる。いくつかの実施形態では、並列プロセッサまたは回路を使用して、複数のピクセルを並列に処理することができる。プロセス100は、それよりも少ない演算または追加の演算を含むことができる。更に、2つまたはそれ以上の演算を組み合わせること、および/または演算の順序を変更することができる。

【0028】

図2は、デジタル画像をフィルタ処理するプロセス200の一実施形態を例示する流れ図である。クライアントデバイス210(例えば、イメージセンサを含むデバイス)は、ピクセルの集合をサーバデバイス(例えば、プロセッサ、DSP、またはASICを含むデバイス)212に送信する(214)。該ピクセルの集合が受信される(216)。オプションとして、1つまたは複数のフィルタカーネルが、ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルについて決定または構築される(218)。それぞれのフィルタカーネルが、ピクセルの集合内のそれぞれのピクセルに適用され、フィルタ処理済みデジタル画像が生成される(220)。フィルタ処理済みデジタル画像は、クライアントデバイス210に送信される(222)。該フィルタ処理済みデジタル画像が受信される(224)。プロセス200は、それよりも少ない演算または追加の演算を含むことができる。更に、2つまたはそれ以上の演算を組み合わせること、および/または演算の順序を変更することができる。

【0029】

図3は、クライアントコンピュータ、クライアントデバイス、またはサーバデバイス(例えば、プロセッサ、DSP、またはASICを含むデバイス)300の一実施形態を例示するブロック図である。クライアントコンピュータ、クライアントデバイス、またはサーバデバイス300は、少なくとも1つのデータプロセッサ、ビデオプロセッサ、および/または中央演算処理装置(CPU)310、1つまたは複数のオプションのユーザインターフェース314、他のコンピュータ、サーバおよび/またはデバイス400(図4)と通信するための通信またはネットワークインターフェース322、メモリ324、およびこれらのコンポーネントを互いに結合するための1つまたは複数の通信バスまたは信号線312を備えることができる。少なくとも1つのデータプロセッサ、ビデオプロセッサ、および/または中央演算処理装置(CPU)310は、マルチスレッドおよび/または並列処理をサポートすることができる。ユーザインターフェース314は、1つまたは複数のディスプレイ316、キーボード318、および/またはポインタ320(マウスなど)を備えることができる。クライアントまたはサーバデバイス300は、ピクセルの集合の少なくとも部分集合に対しローリングキャッシュとして使用することができる1つまたは複数のキャッシュメモリ308を備えることができる。

【0030】

メモリ324は、ROM、RAM、EPROM、EEPROM、1つまたは複数のフラッシュディスクドライブ、1つまたは複数の光ディスクドライブ、および/または1つま

10

20

30

40

50

たは複数の磁気ディスク記憶デバイスを含む、高速ランダムアクセスメモリおよび/または不揮発性メモリを含むことができる。メモリ324は、基本システムサービス処理しハードウェア依存のタスクを実行するためのプロシージャ(つまり、命令セット)を含む、LINUX、UNIX、OS9、またはWINDOWSなどの、オペレーティングシステム326を格納することができる。メモリ324は、さらに、ネットワーク通信モジュール328内に通信プロシージャ(または命令セット)を格納することもできる。通信プロシージャは、1つまたは複数のコンピュータ、サーバ、および/またはデバイス400と通信するために使用される(図4)。

【0031】

メモリ324は、さらに、画像処理モジュール330(または命令セット)、ウェーブレット変換モジュール336(または命令セット)、色変換モジュール338(または命令セット)、JPEGまたはMPEGなどの符号化/復号化モジュール340(または命令セット)、ピクセルの1つまたは複数の集合342、および/または1つまたは複数のフィルタ処理済みデジタル画像344を含む、要素、またはそのような要素の部分集合または上位集合を含むこともできる。画像処理モジュール330は、フィルタカーネルジェネレータ332および/または1つまたは複数のフィルタカーネル334を含むことができる。いくつかの実施形態では、メモリ324は、さらに、フィルタ処理済み圧縮画像352を生成すべく、画像または映像圧縮法(JPEG、JPEG-2000、MPEG、H263、またはH264など)を使用してフィルタ処理済みデジタル画像344を圧縮するために使用される、画像圧縮モジュール350を備える。

【0032】

図3は、クライアントまたはサーバ300を多数の個別アイテムとして示しているが、図3は、本明細書で説明されている実施形態の構造概略としてではなく、クライアントまたはサーバ300内に存在しうる様々な特徴の機能を説明するものとして意図されている。実際、当業者であれば理解するように、クライアントまたはサーバ300の機能を多数のサーバまたはクライアント上に分散させ、クライアントまたはサーバの様々なグループがこれらの機能の特定の部分集合を実行するようにできる。図3に別々に示されているアイテムを組み合わせること、いくつかのアイテムを別に分けること、および/または追加のアイテムを含めることができる。

【0033】

図4は、カメラ、デジタルカメラ、またはビデオカメラを備える携帯電話などのデバイス400の一実施形態を例示するブロック図である。デバイス400は、1つまたは複数のデータプロセッサ、ビデオプロセッサ、および/または中央演算処理装置(CPU)410、1つまたは複数のオプションのユーザインターフェース414、1つまたは複数のイメージセンサ418、他のコンピュータ、サーバおよび/またはデバイス400と通信するための通信またはネットワークインターフェース422(USBなど)、メモリ424、およびこれらのコンポーネントを互いに結合するための1つまたは複数の通信バスまたは信号線412を備えることができる。1つまたは複数のデータプロセッサ、ビデオプロセッサ、および/または中央演算処理装置(CPU)410は、マルチスレッドおよび/または並列処理をサポートすることができる。ユーザインターフェース414は、1つまたは複数のディスプレイ416、および/または1つまたは複数のキーまたはキーパッドを備えることができる。デバイス400は、さらに、電源420を備えることもできる。デバイス400は、ピクセルの集合の少なくとも部分集合に対しローリングキャッシュとして使用することができる1つまたは複数のキャッシュメモリ408を備えることができる。

【0034】

メモリ424は、ROM、RAM、EPROM、EEPROM、1つまたは複数のフラッシュディスクドライブ、1つまたは複数の光ディスクドライブ、および/または1つまたは複数の磁気ディスク記憶デバイスを含む、高速ランダムアクセスメモリおよび/または不揮発性メモリを含むことができる。メモリ424は、LINUX、OS9、UNIX

、またはWINDOWS、あるいは、工業用または商用デバイス上で使用するに好適なりアルタイムオペレーティングシステム（例えば、Wind River Systems, Inc. 社のVxWorks）などの、組み込みオペレーティングシステム426を格納することができる。組み込みオペレーティングシステム426は、基本システムサービスを処理しハードウェア依存のタスクを実行するためのプロシージャ（つまり、命令セット）を含むことができる。メモリ424は、さらに、通信モジュール428内に通信プロシージャ（または命令セット）を格納することもできる。通信プロシージャは、1つまたは複数のコンピュータ、サーバ、および/またはデバイス400と通信するために使用される。

【0035】

メモリ424は、さらに、画像処理モジュール430（または命令セット）、ウェーブレット変換モジュール436（または命令セット）、色変換モジュール438（または命令セット）、JPEGまたはMPEGなどの符号化/復号化モジュール440（または命令セット）、1つまたは複数のピクセルの集合442を含む、要素、またはそのような要素の部分集合または上位集合を含むこともできる。画像処理モジュール430は、フィルタカーネルジェネレータ432および/または1つまたは複数のフィルタカーネル434を含むことができる。デバイス400は、さらに、1つまたは複数のフィルタ処理済みデジタル画像444も含むことができる。フィルタ処理済みデジタル画像444は、メモリ424、またはフラッシュメモリなどの別個の不揮発性メモリに格納することができ、これは取り外し可能であってもよい。いくつかの実施形態では、メモリ424は、さらに、フィルタ処理済みおよび圧縮画像452を生成すべく、画像または映像圧縮法（JPEG、JPEG-2000、MPEG、H263、またはH264など）を使用してフィルタ処理済みデジタル画像444を圧縮するために使用される、画像圧縮モジュール450を備える。

【0036】

図4は、デバイス400を多数の個別アイテムとして示しているが、図4は、本明細書で説明されている実施形態の構造概略としてではなく、デバイス400内に存在しうる様々な特徴の機能を説明するものとして意図されている。図4に別々に示されているアイテムを組み合わせること、いくつかのアイテムを別に分けること、および/または追加のアイテムを含めることができる。

【0037】

図5は、デジタル画像または映像をフィルタ処理するプロセスの一実施形態500を示す流れ図である。ノイズを含む画像が受信される（510）。オプションとして、画像は前処理され（512）、該前処理は、アナログデジタル変換（必要な場合）および/または色変換を含む。1つまたは複数のフィルタカーネルが複数のチャネルに適用される（514）。それぞれの色空間内の画像がクリーンアップされる（516）。画像は、例えばJPEGまたはMPEG圧縮を使用して、符号化される（518）。流れ図500は、それよりも少ない演算または追加の演算を含むことができる。更に、2つまたはそれ以上の演算を組み合わせること、および/または演算の順序を変更することができる。

【0038】

次に、CDFのフィルタカーネルに注目する。すでに説明されているように、ノイズ除去または低減を行う従来の画像処理は、MAPおよび変分法を含む。異方性拡散PDEとともに、異方性拡散反応PDEに基づくアプローチは、変分法に使用される。ここで、エネルギー汎関数は、拡散モデルの対応する伝導関数 c が定数ではないように最小化され、その結果、非線形PDEが得られる。一般に、このような非線形PDEは、反復プロセスを使用して数値的に解かれる。

【0039】

いくつかの従来のアプローチでは、伝導性 c を関数 $c(p) = \gamma'(p)/p$ と定義することにより、異方性拡散PDEに基づいてアプローチを拡張するが、この関数は $(0) = 0$ である微分可能非減少関数 $\gamma(p)$ に対応する。 $\gamma(p)$ が内部エネルギー汎関

10

20

30

40

50

数の内部エネルギー密度関数である場合、最小エネルギー問題においてオイラーラグランジュ方程式を解くための最急降下法は、外部エネルギーの離散公式に対する異方性拡散 PDE および外部エネルギーの連続公式に対する拡散反応 PDE が得られる)。p 6 1 0 の関数としての関数 $c(p)$ (二重引用符 " は二階導関数であることを示す) は、図 6 に例示されており、ただし、 $p = |u|$ は空間グラディエント u の大きさであり、ある時点における異方性拡散方程式の (未知の) 解である。内部エネルギー密度関数に対するポピュラーな選択の 1 つとして、 $c(p) = p$ がある。この選択について、対応する伝導性関数は $c(p) = 1/p$ である。p 6 1 0 の小さな値は、画像内容の高速拡散に対応する。その結果、画像テクスチャおよび軽度の画像エッジなどの画像詳細は、画像処理中に失われる可能性がある。p 6 1 0 の大きな値は、画像内容の中のエッジの鮮鋭化に対応する。これらの上下限の間に連続的な変化があるが、遷移パラメータ p_0 6 1 4 と呼ばれるゼロ交差は、2 つの領域に分離する。

【0040】

図 7 は、画像エッジ上のある 1 つの点における横方向単位ベクトル t 7 1 0 および法線方向単位ベクトル n 7 1 2 を含む、局所座標 7 0 0 を例示するブロック図である。 $p = |u|$ (図 6) が遷移パラメータ p_0 6 1 4 よりも大きい場合、鮮鋭化は、法線方向単位ベクトル n 7 1 2 にそった逆方向拡散のため生じる。法線方向単位ベクトル n 7 1 2 は、(未知の) 解 u のグラディエントの方向の単位ベクトルであり、横方向単位ベクトル t 7 1 0 は、右手の法則に従って n に直交する。 $p = |u|$ (図 6) が遷移パラメータ p_0 6 1 4 よりも小さい場合 (図 6)、最小の拡散が法線方向単位ベクトル n 7 1 2 にそって生じ、したがってぼけはあまり見えない。遷移パラメータ p_0 6 1 4 を適切に選択する場合、画像ノイズを除去または低減しつつ、画像鮮鋭度を維持するか、または高めることができる。しかし、すでに説明されているように、異方性拡散 PDE に基づくこれらのモデルおよび他のモデルでは、複雑度が増しており、また数値解を求めるために使用される計算量が増える。典型的には、非線形異方性拡散 PDE のこれらの解および他の解では、何回もの反復または多段画像処理を使用する。例えば、一定の時間ステップパラメータ τ を使用して PDE を離散化し、非線形差分方程式をたてることができる。ノイズを含む入力画像は、PDE の初期条件として使用される。「クリーンな」出力画像に対応する、数値解は、典型的には、多数の反復ステップまたは演算 (最大 100 回またはそれ以上) を伴い、また反復プロセスを終了させるための停止時間のアドホックな選択に依存する。

【0041】

後述の CDF の微分では、異方性拡散 PDE が離散化される。他の実施形態では、拡散反応 PDE などの、関係する非線形 PDE は、離散化することができる。ノイズを含む画像を初期条件として使用する。伝導性関数 $c(p)$ は、 $p = |u|$ の関数として定義される。例示的な実施形態では、伝導性関数は

【0042】

【数 4】

$$c(p) = e^{\frac{-p^2}{2p_0^2}},$$

$$c(p) = \frac{p_0^2}{p_0^2 + p^2},$$

または

10

20

30

40

50

【 0 0 4 3 】

【 数 5 】

$$c(p) = \min(1, \frac{1}{p}).$$

とすることができる。

10

【 0 0 4 4 】

PDEを数值的に解く代わりに、時間パラメータをピクセル依存スケールにマッピングする。このスケールを使用すると、停止時刻を使用しなくて済み、画像処理を1パスで行えるようになる。例示的な一実施形態として、 3×3 フィルタウィンドウを考える。 3×5 、 5×5 、および 7×7 のフィルタウィンドウに対する結果も示される。当業者には明らかなように、フィルタサイズの大きなCDFだけでなく、三次元CDFも構築できる。

【 0 0 4 5 】

以下で求められる、CDFは、水平と垂直の両方向に有限フィルタ長を持つ（CDFの三次元実施形態は、第3方向にも有限長を持つ）。フィルタ処理された画像の少なくとも1つの部分集合内のそれぞれのピクセルは、それ独自のCDFフィルタを持つことができる。いくつかの実施形態では、これらのCDFフィルタは、水平方向および垂直方向に対称的な形状を持つウィンドウに対応する。ウィンドウは、 $(2m+1) \times (2n+1)$ 個のピクセルに対応するが、 m および n は、任意の正整数である（三次元実施形態については、第3の方向の次元は q である）。例示的な一実施形態では、 m および n は、それぞれ1から50までの範囲の正整数である（また、三次元実施形態については、 q は、1から10までの範囲の正整数とすることができる）。いくつかの実施形態では、 m は、 n に等しい、つまり、ウィンドウは正方形とすることができる。いくつかの実施形態では、ウィンドウは長方形とすることができる。いくつかの実施形態では、ウィンドウは、偶数個 \times 奇数個のピクセルまたは奇数個 \times 偶数個のピクセルなどの非対称的な形状とすることもできる。CDFは、上述の形式（formalism）よりもいくつか多い追加の機能を組み込む。このプロセスでは、画像処理は、単一パス、つまり、非反復的方法で実装することができる。

20

30

【 0 0 4 6 】

CDFがより効果的であるためには、いくつかの実施形態において、ウィンドウ内のエントリは任意のゼロフィルタ係数または重みを持たなくてもよい。例えば、 3×3 フィルタを設計する場合、フィルタ行列

【 0 0 4 7 】

【 数 6 】

$$F_{ij}^k$$

40

内のコーナーエントリは、異方性拡散モデルの伝導性関数に応じて決定される。そのため、いくつかの実施形態では、ウィンドウ内の中心ピクセルに関して地理的方向（geographic directions）のすべてが、ウィンドウのサイズに従って離散化され、それにより、ウィンドウ内のすべての要素に対するエントリが決定される。

【 0 0 4 8 】

未知の解 u の空間グラディエントの大きさの関数である伝導性関数 $c(|u|)$ の使用は、難題をもたらす可能性がある。特に、未知の解 u は、入力画像データを最初に表すために使用されるので、これは、ノイズで汚染されている場合があり、 u の空間グラディ

50

エント値は不正確で、強い変動を示すことがある。これに対処するために、離散伝導性関数における入力画像の空間グラディエントは、水平および／または垂直方向の入力画像のウェーブレット変換により置き換えることができる。他の実施形態では、伝導性関数における入力画像の空間グラディエントは、グラディエント演算が適用される前に、（未知の）解 u に対しガウス畳み込みが実行されるように修正することができる。CDF は 1 パスで適用することができるが、CDF が複数回適用される場合、後におこる反復は、フィルタ処理された画像がもはやノイズを含まないため、上述の伝導性関数 $c(|u|)$ の修正版を使用しても使用しなくてもよい。

【 0 0 4 9 】

それに加えて、時間 - スケール変換（時間 - スケールマッピングともいう）が導入される。これらの変換は、異方性拡散 PDE の離散化における定数時間ステップパラメータ t （これ以降で表す）を、1 つまたは複数のピクセル依存スケールにマッピングする。これらのスケールは、ノイズを含む入力画像内の中心ピクセルとともにフィルタウィンドウ内の隣接ピクセルの関数として公式化される。以下で詳しく説明されるように、時間 - スケール変換は、画像平滑化 / 鮮鋭化調整を決定する 1 つまたは複数のパラメータに関連付けられる。1 つまたは複数のパラメータを使用して、いくつかの異なる画像エッジの鮮鋭度を実質的に変えずに、感じの良いぼけ効果を生み出すことができる。時間 - スケール変換を使用することで、異方性拡散または他の PDE を数値的に解かずに、CDF のフィルタカーネルを構築することができる。その結果、CDF を適用して、画像からノイズを除去または低減する場合、反復ステップおよび停止時刻 k は必要ない。

【 0 0 5 0 】

離散化の後、異方性拡散 PDE は、

【 0 0 5 1 】

【数 7】

$$u_{ij}^{k+1} = u_{ij}^k + \frac{\Delta t}{h^2} [C_E^k \partial_E + C_S^k \partial_S + C_W^k \partial_W + C_N^k \partial_N] u_{ij}^k,$$

として表すことができるが、ただし、

【 0 0 5 2 】

【数 8】

$$u_{ij}^0$$

は、入力画像の (i, j) 番目のピクセルを表し、

【 0 0 5 3 】

【数 9】

$$u_{ij}^k$$

は、 k 回反復した（または k 反復時間ステップ）後の差分方程式の解 (i, j) 番目のピクセル位置の）を表し、定数時間ステップパラメータは t により表され、隣接するピクセル距離は h により表される。

【 0 0 5 4 】

【数 10】

$$C_E^k, C_S^k, C_W^k,$$

10

20

30

40

50

および

【 0 0 5 5 】

【 数 1 1 】

C_N^k

は、隣接するピクセルの第 1 の集合に関連付けられている、東 (E)、南 (S)、西 (W)、および北 (N) の地理的方向または向きにそって、伝導性関数 $c (| u |)$ を離散化することを表している。これ以降、これらは、離散伝導性関数と呼ぶ。伝導性関数 $c (| u |)$ は、空間座標 (x , y) および時刻変数 t を持つ、未知の解 $u = u (x , y , t)$ のグラディエントの関数であるため、差分方程式は、未知の解にも依存し、したがって、画像内容依存である。上記式において、 E 、 S 、 W 、 N は、ピクセルに適用される 1 階空間差分を表す。特に、

10

【 0 0 5 6 】

【 数 1 2 】

$$\partial_E u_{ij}^k = u_{i+1,j}^k - u_{ij}^k$$

$$\partial_S u_{ij}^k = u_{i,j-1}^k - u_{ij}^k$$

$$\partial_W u_{ij}^k = u_{i-1,j}^k - u_{ij}^k$$

$$\partial_N u_{ij}^k = u_{i,j+1}^k - u_{ij}^k$$

20

となる。差分方程式は、

【 0 0 5 7 】

【 数 1 3 】

$$u_{ij}^{k+1} = \left[1 - \frac{\Delta t}{h^2} (C_E^k + C_S^k + C_W^k + C_N^k) \right] u_{ij}^k + \frac{\Delta t}{h^2} C_E^k u_{i+1,j}^k + \frac{\Delta t}{h^2} C_S^k u_{i,j-1}^k + \frac{\Delta t}{h^2} C_W^k u_{i-1,j}^k + \frac{\Delta t}{h^2} C_N^k u_{i,j+1}^k.$$

30

として再び表すことができる。この差分方程式は、反復ピクセル依存フィルタリングプロセスとして書き換えることができ、フィルタは行列テンプレート

【 0 0 5 8 】

【 数 1 4 】

$$F_{ij}^k = \begin{bmatrix} 0 & \Delta t c_N^k / h^2 & 0 \\ \Delta t c_W^k / h^2 & 1 - \Delta t (c_N^k + c_E^k + c_S^k + c_W^k) / h^2 & \Delta t c_E^k / h^2 \\ 0 & \Delta t c_S^k / h^2 & 0 \end{bmatrix},$$

40

により表され、離散伝導性関数

【 0 0 5 9 】

【数 1 5】

$$C_E^k, C_S^k, C_W^k,$$

および

【 0 0 6 0 】

【数 1 6】

$$C_N^k$$

10

は、隣接ピクセルの第 1 の集合とともに中心ピクセルの関数、つまり、

【 0 0 6 1 】

【数 1 7】

$$u_{ij}^k, u_{i+1,j}^k, u_{i,j-1}^k, u_{i-1,j}^k, u_{i,j+1}^k \quad .$$

である。したがって、

【 0 0 6 2 】

【数 1 8】

20

$$C_E^k, C_S^k, C_W^k, C_N^k$$

は、ピクセル位置 (i , j) にも依存する。ただし、表記を簡単にするため、下付 i 、 j は示されていない。反復的な既存のフィルタリングアプローチでは、反復フィルタリングプロセス (k = 0 , 1 , 2 , . . .) は、構成要素毎 (component-wise) の行列乗算 (エントリ毎の乗算または要素毎の乗算ともいう) と、その後続く、結果として得られるすべての行列構成要素つまり

30

【 0 0 6 3 】

【数 1 9】

$$u_{i,j}^{k+1} = \sum F_{ij}^k \otimes u_{ij}^k,$$

の総和により記述することができるが、ただし、

【 0 0 6 4 】

【数 2 0】

40

$$u_{ij}^k$$

は、k 回反復の後のフィルタウィンドウに対応するピクセルの集合内の中心ピクセルである。

【 0 0 6 5 】

3 × 3 フィルタウィンドウを持つ C D F に対するフィルタカーネルを構築するために、北東 (N E) 、南東 (S E) 、南西 (S W) 、および北西 (N W) の方向の隣接ピクセルの第 2 の集合も離散化される。差分方程式は、これら 4 つの追加のピクセルを含むように拡張できる。

【 0 0 6 6 】

50

【数 2 1】

$$u_{ij}^{k+1} = u_{ij}^k + \frac{\Delta t}{h^2} \left[(C_E^k \partial_E + \cdots + C_N^k \partial_N) + \nu (C_{NE}^k \partial_{NE} + \cdots + C_{NW}^k \partial_{NW}) \right] u_{ij}^k$$

ただし、 ν は、独立に調整することができるパラメータ、または、1つの自由パラメータのみが画像平滑化／鮮鋭化調整に使用されるように、 $\nu = \Delta t$ に結合できるパラメータである。差分方程式は、 ν を画像平滑化／鮮鋭化調整に対応するパラメータとする内容依存スケール値

【0 0 6 7】

10

【数 2 2】

$$k_{ij} = 1 + \frac{\alpha}{h^2} \left[(C_E^0 + \cdots + C_N^0) + \nu (C_{NE}^0 + \cdots + C_{NW}^0) \right],$$

を定義することにより、また定数時間ステップパラメータ Δt をピクセル依存の、したがって画像内容依存のスケール

【0 0 6 8】

20

【数 2 3】

$$\frac{\alpha}{k_{ij}}.$$

にマッピングする時間 - スケール変換

【0 0 6 9】

【数 2 4】

30

$$\Delta t = \lambda \rightarrow \frac{\alpha}{k_{ij}},$$

を導入することにより、CDFにおいて変更することができる。ノイズを含む入力画像をクリーンアップするための結果として得られるCDFは、

【0 0 7 0】

40

【数 2 5】

$$u_{ij} = \sum F_{ij} \otimes u_{ij}^o.$$

である。表記

【0 0 7 1】

【数 2 6】



50

は、構成要素毎の行列乗算を表し、表記 \mathbf{F}_{ij} は、結果の行列のすべての構成要素またはエントリにわたる総和を示す。反復指数 k は、もはや存在しないことに留意されたい。 3×3 \mathbf{CDF} は、行列テンプレート

【 0 0 7 2 】

【 数 2 7 】

$$\mathbf{F}_{ij} = \frac{1}{k_{ij}} \begin{bmatrix} \frac{\mu C_{NW}^0}{h^2} & \frac{\alpha C_N^0}{h^2} & \frac{\mu C_{NE}^0}{h^2} \\ \frac{\alpha C_W^0}{h^2} & 1 & \frac{\alpha C_E^0}{h^2} \\ \frac{\mu C_{SW}^0}{h^2} & \frac{\alpha C_S^0}{h^2} & \frac{\mu C_{SE}^0}{h^2} \end{bmatrix},$$

10

20

により表すことができ、他の画像平滑化 / 鮮鋭化パラメータ $\mu = \nu$ が導入されている (上述のように、パラメータ α は、パラメータ μ に結合することができ、その結果、画像平滑化 / 鮮鋭化調整の単一の自由パラメータが得られる) 。例示的な一実施形態では、 $\mu = \nu / 4$ である。 \mathbf{CDF} は、さらに、

【 0 0 7 3 】

【 数 2 8 】

$$u_{ij} = \frac{1}{k_{ij}} \left\{ \left(\frac{\mu C_{NW}^0}{h^2} u_{i-1,j+1}^0 + \frac{\alpha C_N^0}{h^2} u_{i,j+1}^0 + \frac{\mu C_{NE}^0}{h^2} u_{i+1,j+1}^0 \right) + \left(\frac{\alpha C_W^0}{h^2} u_{i-1,j}^0 + u_{ij}^0 + \frac{\alpha C_E^0}{h^2} u_{i+1,j}^0 \right) + \left(\frac{\mu C_{SW}^0}{h^2} u_{i-1,j-1}^0 + \frac{\alpha C_S^0}{h^2} u_{i,j-1}^0 + \frac{\mu C_{SE}^0}{h^2} u_{i+1,j-1}^0 \right) \right\}.$$

30

として明示的に書き出すことができる。フィルタ重みは、隣接ピクセルと中心ピクセルとの間の差の大きさと、隣接ピクセルの第 1 の集合または隣接ピクセルの第 2 の集合に対応するパラメータ (α または μ) との積であることに留意されたい。また、内容依存スケール値 k_{ij} は、中心ピクセルに相対的であり、これにより、フィルタ重みまたは要素の和が固定値に等しいか、または近似的に等しくなるように、行列 \mathbf{F}_{ij} が確実に正規化されることにも留意されたい。フィルタ重みの和は、数値処理のアーティファクトなどにより、固定値からわずかに異なることがある。 \mathbf{CDF} 内の非中心要素は、入力画像の平滑化を決定することができる。

【 0 0 7 4 】

40

同様に、 3×5 、 5×5 、および 7×7 のウィンドウに対する \mathbf{CDF} を決定または構築することができる。 3×5 ウィンドウでは、 \mathbf{CDF} は、

【 数 2 9 】

$$\begin{bmatrix} \lambda c_{i+1,j-2} / k_{i,j} & \beta c_{i+1,j-1} / k_{i,j} & \alpha c_{i+1,j} / k_{i,j} & \beta c_{i+1,j+1} / k_{i,j} & \lambda c_{i+1,j+2} / k_{i,j} \\ \omega c_{i,j-2} / k_{i,j} & \alpha c_{i,j-1} / k_{i,j} & 1 / k_{ij} & \alpha c_{i,j+1} / k_{i,j} & \omega c_{i,j+2} / k_{i,j} \\ \lambda c_{i-1,j-2} / k_{i,j} & \beta c_{i-1,j-1} / k_{i,j} & \alpha c_{i-1,j} / k_{i,j} & \beta c_{i-1,j+1} / k_{i,j} & \lambda c_{i-1,j+2} / k_{i,j} \end{bmatrix}.$$

として定式化できる。追加の方向 ($NE - E$ 、 $E - E$ 、 $SE - E$ 、 $SW - W$ 、 $W - W$ 、 $NW - W$) は、インデックス ($i + 2$, $j + 1$) . . . ($i - 2$, $j + 1$) を使用すること

50

により考慮されており、隣接ピクセルの追加の集合に対応する追加の平滑化 / 鮮鋭化パラメータが含まれていることに留意されたい。CDFのこの式で使用されている4つのパラメータ(、)、を結び合わせて、1つまたは2つの独立パラメータを作ることができる。典型的な比は、 $1/2$ 、 $1/4$ 、 $3/4$ 、 $3/8$ 、 $5/8$ 、 $7/8$ 、 $1/16$ 、 $3/16$ 、 $5/16$ 、 $7/16$ 、 $9/16$ 、 $11/16$ 、 $13/16$ 、 $15/16$ 、 $1/32$ 、 $3/32$ 、 $5/32$ 、 $7/32$ 、 $9/32$ 、 $11/32$ 、 $13/32$ 、 $15/32$ 、 $17/32$ 、 $19/32$ 、 $21/32$ 、 $23/32$ 、 $25/32$ 、 $27/32$ 、 $29/32$ 、および $31/32$ を含む。5×5ウィンドウでは、CDFは、

【数30】

$$\begin{aligned} & \gamma c_{i-2,j+2}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i-1,j+2}/k_{i,j} \quad \nu c_{i,j+2}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i+1,j+2}/k_{i,j} \quad \gamma c_{i+2,j+2}/k_{i,j} \\ & \lambda c_{i-2,j+1}/k_{i,j} \quad \beta c_{i-1,j+1}/k_{i,j} \quad \alpha c_{i,j+1}/k_{i,j} \quad \beta c_{i+1,j+1}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i+2,j+1}/k_{i,j} \\ & \nu c_{i-2,j}/k_{i,j} \quad \alpha c_{i-1,j}/k_{i,j} \quad 1/k_{i,j} \quad \alpha c_{i+1,j}/k_{i,j} \quad \nu c_{i+2,j}/k_{i,j} \cdot \\ & \lambda c_{i-2,j-1}/k_{i,j} \quad \beta c_{i-1,j-1}/k_{i,j} \quad \alpha c_{i,j-1}/k_{i,j} \quad \beta c_{i+1,j-1}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i+2,j-1}/k_{i,j} \\ & \gamma c_{i-2,j-2}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i-1,j-2}/k_{i,j} \quad \nu c_{i,j-2}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i+1,j-2}/k_{i,j} \quad \gamma c_{i+2,j-2}/k_{i,j} \end{aligned}$$

10

として定式化できる。CDFのこの式で使用されている5つのパラメータ(、)、を結び合わせて、1つまたは2つの独立パラメータを作ることができる。典型的な比は、 $1/2$ 、 $1/4$ 、 $3/4$ 、 $3/8$ 、 $5/8$ 、 $7/8$ 、 $1/16$ 、 $3/16$ 、 $5/16$ 、 $7/16$ 、 $9/16$ 、 $11/16$ 、 $13/16$ 、 $15/16$ 、 $1/32$ 、 $3/32$ 、 $5/32$ 、 $7/32$ 、 $9/32$ 、 $11/32$ 、 $13/32$ 、 $15/32$ 、 $17/32$ 、 $19/32$ 、 $21/32$ 、 $23/32$ 、 $25/32$ 、 $27/32$ 、 $29/32$ 、および $31/32$ を含む。7×7ウィンドウでは、CDFは、

【数31】

$$\begin{aligned} & \sigma c_{i-3,j+3}/k_{i,j} \quad \chi c_{i-2,j+3}/k_{i,j} \quad \delta c_{i-1,j+3}/k_{i,j} \quad \kappa c_{i,j+3}/k_{i,j} \quad \delta c_{i+1,j+3}/k_{i,j} \quad \chi c_{i+2,j+3}/k_{i,j} \quad \sigma c_{i+3,j+3}/k_{i,j} \\ & \chi c_{i-3,j+2}/k_{i,j} \quad \gamma c_{i-2,j+2}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i-1,j+2}/k_{i,j} \quad \nu c_{i,j+2}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i+1,j+2}/k_{i,j} \quad \gamma c_{i+2,j+2}/k_{i,j} \quad \chi c_{i+3,j+2}/k_{i,j} \\ & \delta c_{i-3,j+1}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i-2,j+1}/k_{i,j} \quad \beta c_{i-1,j+1}/k_{i,j} \quad \alpha c_{i,j+1}/k_{i,j} \quad \beta c_{i+1,j+1}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i+2,j+1}/k_{i,j} \quad \delta c_{i+3,j+1}/k_{i,j} \\ & \kappa c_{i-3,j}/k_{i,j} \quad \nu c_{i-2,j}/k_{i,j} \quad \alpha c_{i-1,j}/k_{i,j} \quad 1/k_{i,j} \quad \alpha c_{i+1,j}/k_{i,j} \quad \nu c_{i+2,j}/k_{i,j} \quad \kappa c_{i+3,j}/k_{i,j} \\ & \delta c_{i-3,j-1}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i-2,j-1}/k_{i,j} \quad \beta c_{i-1,j-1}/k_{i,j} \quad \alpha c_{i,j-1}/k_{i,j} \quad \beta c_{i+1,j-1}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i+2,j-1}/k_{i,j} \quad \delta c_{i+3,j-1}/k_{i,j} \\ & \chi c_{i-3,j-2}/k_{i,j} \quad \gamma c_{i-2,j-2}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i-1,j-2}/k_{i,j} \quad \nu c_{i,j-2}/k_{i,j} \quad \lambda c_{i+1,j-2}/k_{i,j} \quad \gamma c_{i+2,j-2}/k_{i,j} \quad \chi c_{i+3,j-2}/k_{i,j} \\ & \sigma c_{i-3,j-3}/k_{i,j} \quad \chi c_{i-2,j-3}/k_{i,j} \quad \delta c_{i-1,j-3}/k_{i,j} \quad \kappa c_{i,j-3}/k_{i,j} \quad \delta c_{i+1,j-3}/k_{i,j} \quad \chi c_{i+2,j-3}/k_{i,j} \quad \sigma c_{i+3,j-3}/k_{i,j} \end{aligned}$$

30

として定式化できる。CDFのこの式で使用されている9つのパラメータ(、)、を結び合わせて、1つまたは2つの独立パラメータを作ることができる。典型的な比は、 $1/2$ 、 $1/4$ 、 $3/4$ 、 $3/8$ 、 $5/8$ 、 $7/8$ 、 $1/16$ 、 $3/16$ 、 $5/16$ 、 $7/16$ 、 $9/16$ 、 $11/16$ 、 $13/16$ 、 $15/16$ 、 $1/32$ 、 $3/32$ 、 $5/32$ 、 $7/32$ 、 $9/32$ 、 $11/32$ 、 $13/32$ 、 $15/32$ 、 $17/32$ 、 $19/32$ 、 $21/32$ 、 $23/32$ 、 $25/32$ 、 $27/32$ 、 $29/32$ 、 $31/32$ 、 $1/64$ 、 $3/64$ 、 $5/64$ 、 $7/64$ 、 $9/64$ 、 $11/64$ 、 $13/64$ 、 $15/64$ 、 $17/64$ 、 $19/64$ 、 $21/64$ 、 $23/64$ 、 $25/64$ 、 $27/64$ 、 $29/64$ 、 $31/64$ 、 $33/64$ 、 $35/64$ 、 $37/64$ 、 $39/64$ 、 $41/64$ 、 $43/64$ 、 $45/64$ 、 $47/64$ 、 $49/64$ 、 $51/64$ 、 $53/64$ 、 $55/64$ 、 $57/64$ 、 $59/64$ 、 $61/64$ 、 $63/64$ 、および $65/64$ を含む。

【0075】

次に、ウェーブレット変換の実施形態に注目する。図8は、すでに説明されているウェ

40

50

ーブレット変換を含む、フィルタカーネルを決定または構築するプロセスの一実施形態 800 を例示する流れ図である。画像 u が受信される (810)。 u とローパスフィルタ L との畳み込みを使用して、フィルタ処理された画像 ($L * u$) が生成される (812)。いくつかの実施形態では、水平方向および/または垂直方向の L の重み総和は、有限値を持つことができる。($L * u$) の差分演算は、水平または垂直方向の u のウェーブレット変換である。このウェーブレット変換が 2 つの方向のうちの 1 つで適用されない場合、代わりにその方向に 1 階差分演算を使用することができる。いくつかの実施形態では、他のウェーブレット変換を使用することができる。ウェーブレット変換 ($| (L * u)|$) の大きさ、または 1 階差分が、決定される (814)。この値は、それぞれの伝導性レベル I に合わせて、量子化することができる (816)。ウェーブレット変換 (1 階差分演算の代わり) は、ノイズを含む入力画像に使用することができる。これらの結果は、対応する伝導性 $c(i * 2^m - n)$ にマッピングされる (818)。流れ図 500 は、それよりも少ない演算または追加の演算を含むことができる。更に、2 つまたはそれ以上の演算を組み合わせること、および/または演算の順序を変更することができる。

【0076】

図 8 に例示されているように、ノイズを含む入力画像を修正して、伝導性関数に関連付けられている離散伝導性要素を生成することができる。例示的な一実施形態では、離散グラディエント演算に対する 1 階差分の代わりに、例えば、レベル/伝導性チャートとともに u のローパスフィルタリングの差分演算を適用することにより、ウェーブレット変換を実装することができる。例示的な一実施形態では、 $c(|u|)$ の空間グラディエントを、 u の何らかの離散スプライン - ウェーブレット変換により置き換えられる。例えば、 $c(|u|)$ における u は、 $(L * u)$ Wu で置き換えることができるが、ただし、 L は、何らかの望ましいカーギナル B スプラインに関連付けられているローパスフィルタであり、表記 $*$ は、標準畳み込み演算を表し、 Wu は、離散ウェーブレット変換演算を表す。演算 L および W は、ノイズを含む入力画像 u の中心ピクセルに関して、それぞれの (地理的) 方向で決定することができる。例えば、

$W_E u_{i,j} = E(L * u)_{i,j}$ 、 $W_S u_{i,j} = S(L * u)_{i,j}$ 、 $W_W u_{i,j} = W(L * u)_{i,j}$ 、 $W_N u_{i,j} = N(L * u)_{i,j}$ 、
 $W_{NE} u_{i,j} = NE(L * u)_{i,j}$ 、 $W_{SE} u_{i,j} = SE(L * u)_{i,j}$ 、
 $W_{SW} u_{i,j} = SW(L * u)_{i,j}$ 、 $W_{NW} u_{i,j} = NW(L * u)_{i,j}$ である。他の実施形態では、所望の離散化を得るために差分演算が適用される前に、ガウス畳み込みを u のローパスフィルタとして使用することができる。

【0077】

表 1 は、伝導性レベル/伝導性関数チャートの一実施形態を例示しており、これは、伝導性レベルを離散伝導性要素の値に関連付ける。入力画像がチャンネル毎に r ビットのグレーレベルを持ち (典型的には、 $r = 8$)、伝導性レベルが s ビットに量子化される場合 (s は、 r 以下であり、典型的には 1 から 8 までの範囲である)、 $p = |u|$ の範囲はシーケンス $[0, \dots, 2^r - 1]$ である。このシーケンスが、 $2^{r-s} [0, \dots, 2^s - 1]$ に量子化される場合、伝導性関数 $c(p)$ は、 $[0, \dots, 2^s - 1]$ を $[c(0), c(2^{r-s}), \dots, c(2^{r-s}(2^s - 1))]$ にマッピングする。前述のように、伝導性関数の典型的な実施例は、 $c(p) = e^{-p^2/K^2}$ 、

【0078】

【数 32】

$$c(p) = e^{-p^2/K^2}$$

および $c(p) = K^2 / (K^2 + p^2)$ を含み、 K は、すべての画像ピクセルに対して正定数であるか、または隣接ピクセル値に応じて適合させることができる (画像平滑さ/鮮鋭さの調整のため)。 K の例示的な実施形態では、大域的スカラーとして (as a global

10

20

30

40

50

scalar)、Kは、50とすることができる。多くの画像について、この数値は、画像内のグラディエント値の大きさのほぼ90%よりも大きい。結果として得られるチャートは、図13および14を参照しつつ以下で説明されているように、ルックアッププロシージャにおいて使用することができ、そこでは、ノイズを含む1ビット画像(0ビット「黒色」部分と1ビット「白色」部分とを分離する単一画像エッジを伴う)が入力画像とみなされ、それぞれの(中心)ピクセルは、画像エッジ(図13)上のピクセルであり、画像エッジ(図14)上のピクセルではない。

【0079】

【表1】

表1 伝導性レベル／伝導性関数チャート

レベル(i)	0	1	...	2^s-1
伝導性 $c(i*2^{r-s})$	$c(0)$	$c(2^{r-s})$...	$c(2^{r-s}(2^s-1))$

【0080】

次に、CDFの決定または構築およびその使用を例示する追加の実施形態に注目する。図9は、画像、画像タイル、またはサイズ 5×5 のPもしくはBフレーム(映像圧縮における)のマクロブロックなどの画像ブロック内の、ピクセルの集合900を例示するブロック図である。図10、11、および12は、 5×5 画像タイル内のノイズを除去または低減するため、それぞれ、A、B、およびCのラベルが付いているピクセルの集合に対する最大 3×3 までのウィンドウを持つ対応する二次元CDFの構築を例示している。図9のピクセルの集合Aは、図10のコーナーピクセル $u_{0,0}$ に対するCDFの構築および適用を例示している。図9のピクセルの集合Bは、図11の境界ピクセル $u_{i,0}$ に対するCDFの構築および適用を例示している。図9のピクセルの集合Cは、図12の内部中心ピクセル $u_{i,j}$ に対するCDFの構築および適用を例示している。ラベルAが付いているピクセルの集合について、中心ピクセルは、ピクセル900の集合内のコーナーピクセルである。したがって、これは、その隣接要素の3つのピクセル値に基づく値で置き換えられる。ラベルBが付いているピクセルの集合では、中心ピクセルは、ピクセルの集合900内の境界ピクセルであり、その隣接要素の5つのピクセル値に基づく値で置き換えられる。ラベルCが付いているピクセルの集合では、中心ピクセルは、ピクセルの集合900内の内部ピクセルであり、その隣接要素の8つのピクセル値に基づく値で置き換えられる。

【0081】

図10は、CDF用のフィルタカーネルを構築し、該CDFをコーナーピクセル $u_{0,0}$ に適用するプロセスの一実施形態1000を例示する流れ図である。1階差分演算がピクセルの集合1010に適用されて要素1012を生成し、これが、レベルおよび伝導性チャート(表1に示されているようなもの)を使用してマッピングされ、離散伝導性要素1014を生成する。フィルタカーネル1016は、離散伝導性要素1014の定義済み部分集合に平滑化および鮮鋭化パラメータである α および μ を乗算することにより、構築される。例示的な実施形態では、 α は約0.0625から1までの範囲であり、 μ は、ほぼ0と1の間にある。例えば、 $\alpha = 0.25$ および $\mu = 0.0625$ である。要素1016は、ピクセルの集合1010と要素毎に乗算され1022、要素1024を生成する。要素1024は、総和され(1025)、値 $r_{0,0}$ 、1026を生成する。要素1016は、さらに、総和され1018、正規化値とも呼ばれる、時間スケール値 $k_{0,0}$ 、1020を生成する。値 $r_{0,0}$ と時間スケール値 $k_{0,0}$ 、1020との比1027は、対応する出力フィルタ処理ピクセル値1028である。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 2 】

図 1 1 は、C D F 用のフィルタカーネルを構築し、該 C D F を境界ピクセル $u_{i,0}$ に適用するプロセスの一実施形態 1 1 0 0 を例示する流れ図である。1 階差分演算がピクセルの集合 1 1 1 0 に適用されて要素 1 1 1 2 を生成し、これが、レベルおよび伝導性チャート（表 1 に示されているようなもの）を使用してマッピングされ、離散伝導性要素 1 1 1 4 を生成する。フィルタカーネル 1 1 1 6 は、離散伝導性要素 1 1 1 4 の定義済み部分集合に平滑化および鮮鋭化パラメータである μ を乗算することにより、構築される。要素 1 1 1 6 は、ピクセルの集合 1 1 1 0 と要素毎に乗算され 1 1 2 2、要素 1 1 2 4 を生成する。要素 1 1 2 4 は、総和され（1 1 2 5）、値 $r_{i,0}$ 1 1 2 6 を生成する。要素 1 1 1 6 は、総和され 1 1 1 8、正規化値とも呼ばれる、時間スケール値 $k_{i,0}$ 1 1 2 0 を生成する。値 $r_{i,0}$ と時間スケール値 $k_{i,0}$ 1 1 2 0 との比 1 1 2 7 は、入力ピクセル値 $u_{i,0}$ に対応する出力フィルタ処理ピクセル値 1 1 2 8 である。

10

【 0 0 8 3 】

図 1 2 は、C D F 用のフィルタカーネルを構築し、該 C D F を内部（中心）ピクセル $u_{i,j}$ に適用するプロセスの一実施形態 1 2 0 0 を例示する流れ図である。1 階差分演算がピクセルの集合 1 2 1 0 に適用されて要素 1 2 1 2 を生成し、これが、レベルおよび伝導性チャート（表 1 に示されているようなもの）を使用してマッピングされ、離散伝導性要素 1 2 1 4 を生成する。フィルタカーネル 1 2 1 6 は、離散伝導性要素 1 2 1 4 の定義済み部分集合に平滑化および鮮鋭化パラメータである μ を乗算することにより、構築される。フィルタカーネル 1 2 1 6 の要素は、ピクセルの集合 1 2 1 0 と要素毎に乗算され 1 2 2 2、要素 1 2 2 4 を生成する。要素 1 2 2 4 は、総和され（1 2 2 5）、値 $r_{i,j}$ 1 2 2 6 を生成する。要素 1 2 1 6 は、総和され（1 2 1 8）、時間スケール値 $k_{i,j}$ 1 2 2 0 を生成する。値 $r_{i,j}$ 1 2 2 6 と時間スケール値 $k_{i,j}$ 1 2 2 0 との比 1 2 2 7 を計算して、入力ピクセル値 $u_{i,j}$ に対応する出力フィルタ処理ピクセル値 1 2 2 8（ $r_{i,j} / k_{i,j}$ ）を生成する。

20

【 0 0 8 4 】

図 1 3 は、C D F 用のフィルタカーネルを構築し使用するプロセスの一実施形態 1 3 0 0 を例示する流れ図である。1 階差分演算が、中心ピクセルが（画像タイルまたは配列内の）画像エッジ上に配置されているピクセルの集合 1 3 1 0 に適用され、要素 1 3 1 1 を生成する。この実施例におけるピクセルの集合 1 3 1 0 は、画像の明暗領域の間の垂直エッジを表す。要素 1 3 1 1 は、対応する伝導性レベルに量子化されて、離散伝導性関数値 1 3 1 2 を生成し、レベルおよび伝導性チャート（表 1 に示されているようなもの）を使用してマッピングされ、要素 1 3 1 4 を生成する。要素 1 3 1 4 の定義済み部分集合に平滑化および鮮鋭化パラメータである μ を乗算し、フィルタカーネル 1 3 1 6 を生成する。ピクセルの集合 1 3 1 0 は、フィルタカーネル 1 3 1 6 と要素毎に乗算され（1 3 2 2）、要素 1 3 2 4 を生成する。要素 1 3 2 4 は、総和され（1 3 2 5）、値 $r_{i,j} = 28.9316$ （1 3 2 6）を生成する。フィルタカーネル要素 1 3 1 6 は、総和され（1 3 1 8）、時間スケール値 $k_{i,j} = 3.0051$ （1 3 2 0）を生成する。値 $r_{i,j}$ 1 3 2 6 と時間スケール値 $k_{i,j}$ 1 3 2 0 との比 1 3 2 7 を計算して、入力ピクセル値 $u_{i,j}$ に対応する出力フィルタ処理ピクセル値 1 3 2 8（ $r_{i,j} / k_{i,j} = 9.6275$ ）を生成する。この実施例では、フィルタ処理されたピクセル 1 3 2 8 は、値 1 0 に量子化することができる。実施形態 1 3 0 0 では、 $\alpha = 0.5$ 、 $\mu = 0.25$ 、 $K = 50$ であり、伝導性関数は、

30

40

【 0 0 8 5 】

【 数 3 3 】

$$c(p) = e^{\frac{-p^2}{2p_0^2}}.$$

50

となるように選択される。

【 0 0 8 6 】

図 1 4 は、C D F 用のフィルタカーネルを構築し使用するプロセスの一実施形態 1 4 0 0 を例示する流れ図である。1 階差分演算が、中心ピクセルが画像エッジ上にないピクセルの集合 1 4 1 0 に適用されて、要素 1 4 1 1 を生成し、対応する伝導性レベルに量子化されて、離散伝導性関数値 1 4 1 2 を生成し、レベルおよび伝導性チャート（表 1 に示されているようなもの）を使用してマッピングされ、要素 1 4 1 4 を生成する。要素 1 4 1 4 の定義済み部分集合に平滑化および鮮鋭化パラメータである σ および μ を乗算し、要素毎に（または項毎に）乗算して、フィルタカーネル（C D F）1 4 1 6 を生成する。初期中心ピクセル = 2 3 0 を持つ入力画像ブロック 1 4 1 0 は、C D F 1 4 1 6 により要素毎に乗算され 1 4 2 2、要素 1 4 2 4 を生成する。要素 1 4 2 4 が、総和され（1 4 2 5）、値 $r_{i,j}$ （9 2 1 . 8 2 6）1 4 2 6 を生成し、C D F の要素 1 4 1 6 が、総和され 1 4 1 8、時間スケール値 $k_{i,j}$ （3 . 9 9 5）1 4 2 0 を生成する。値 $r_{i,j}$ 1 4 2 6 と時間スケール値 $k_{i,j}$ 1 4 2 0 との比 1 4 2 7 を計算して、入力ピクセル値 $u_{i,j}$ に対応する出力フィルタ処理ピクセル値（2 3 0 . 7 4 5）1 4 2 8 を生成する。フィルタ処理されたピクセル 1 4 2 8 は、値 2 3 1 に量子化することができる。実施形態 1 4 0 0 では、 $\sigma = 0 . 5$ 、 $\mu = 0 . 2 5$ 、 $K = 5 0$ であり、伝導性関数は、

【 0 0 8 7 】

【数 3 4】

$$c(p) = e^{\frac{-p^2}{2\sigma^2}}.$$

となるように選択される。

【 0 0 8 8 】

C D F は、画像内のノイズを除去または低減するための前置符号器として使用することができ、該画像は、ビデオシーケンスの I フレームであってよい。例えば、図 1 5 の実施形態 1 5 0 0 では、画像の 8 × 8 タイル 1 5 1 2 または I フレームは、C D F 1 5 1 4 により処理される。画像のフィルタ処理された画像タイルまたは I フレーム 1 5 1 6 は、符号器 1 5 1 8 に送られる。符号器 1 5 1 8 は、離散コサイン変換（D C T）1 5 2 0、量子化 1 5 2 2、およびエントロピー符号化 1 5 2 4 を含む。より小さなビットレートを持つ符号化されたビットストリーム 1 5 2 6 が出力される。流れ図 1 5 0 0 は、それよりも少ない演算または追加の演算を含むことができる。更に、2 つまたはそれ以上の演算を組み合わせること、および / または演算の順序を変更することができる。

【 0 0 8 9 】

それぞれの C D F は、M J P E G、M P E G - 1、2、4、7、および H 2 6 3、A V C、または H 2 6 4 などの既存の符号器内に、前置符号器として組み込むことができる。それぞれの C D F または C D F の集合を使用して生成されるフィルタ処理済み画像は、既存の復号器と互換性を持つことができる。C D F 用のそれぞれのフィルタカーネルを使用して、動き推定補償において I フレーム、P フレーム、および / またはマクロブロックをクリーンアップすることができる。図 1 6 は、そのようなプロセスの一実施形態 1 6 0 0 を例示するブロック図である。フィルタカーネル 1 6 1 2 は、動き補償 P フレーム 1 6 0 8 に適用され、フィルタ処理済み I フレーム 1 6 1 0（これは図 1 5 に例示されていた）から差し引かれる 1 6 1 4。D C T 1 6 1 8 および量子化 1 6 2 0 が、結果として得られるフィルタ処理済み B / P フレーム 1 6 1 6 に適用される。

【 0 0 9 0 】

図 1 7 は、フレーム 1 7 1 2 などのデジタル画像または画像タイルをフィルタ処理する 1 7 1 8、特に動き補償用の 1 6 × 1 6 マクロブロックをフィルタ処理する 1 7 1 8、プロセスの一実施形態 1 7 0 0 を例示するブロック図である。いくつかの実施形態では、前

のIまたはPフレーム1710を使用して、動きベクトル1716__1を決定し、および/またはその後のPまたはBフレーム1714を使用して、動きベクトル1716__2を決定する。前者は、フレーム1712がPフレームである場合に発生し、後者は、フレーム1712がBフレームである場合に発生しうる。

【0091】

図18は、画像立方体と呼ばれる、三次元デジタル画像をフィルタ処理または前置符号化するプロセス1800の一実施形態を例示する流れ図である。プロセス1800において、動き推定および補償がPフレームおよびBフレーム(図17に例示されていた)に適用されビデオフレーム1810、1812、1814を作成した後、三次元CDFを生成して適用し1816、3つの連続するビデオフレーム1810、1812、1814に基づき立方体などの画像立方体から、雑音を低減または除去する。MJPEGなどのいくつかの実施形態では、ビデオフレーム1810、1812、および1814はIフレームである。いくつかの実施形態では、CDF用のフィルタカーネルは、画像立方体を構成するI、P、および/またはBフレームの混合に適用することができる。

【0092】

CDF用のフィルタカーネルを、1つまたは複数の画像、または1つまたは複数の画像の1つまたは複数の部分集合に適用し、画像エッジに関連するテクスチャおよび/または空間周波数などの画像内容をほぼ変化しないようにしつつ、ノイズを低減または除去することができる。これは、図19に例示されており、フィルタ処理されていないデジタル画像および本発明の一実施形態を使用動きベクトルして生成されたフィルタ処理済みデジタル画像を示している。

【0093】

本発明の特定の実施形態の前記説明は、例示および説明を目的として提示されている。これらは、網羅的(exhaustive)であること、または本発明を開示した正確な形態だけに限ることを意図されていない。むしろ、上記の教示を鑑みて多くの修正および変更が可能であることが理解されるであろう。これらの実施形態は、本発明の原理およびその実用的用途を最もよく説明するために選択され、記述されており、それにより、当業者は、考え付く特定の用途に適しているような様々な修正とともに、本発明および様々な実施形態を最もよく利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0094】

【図1】デジタル画像をフィルタ処理するプロセスの一実施形態を例示する流れ図である。

【図2】デジタル画像をフィルタ処理するプロセスの一実施形態を例示する流れ図である。

【図3】クライアントまたはサーバの一実施形態を例示するブロック図である。

【図4】デバイスの一実施形態を例示するブロック図である。

【図5】デジタル画像をフィルタ処理するプロセスの一実施形態を例示する流れ図である。

【図6】遷移パラメータを例示するブロック図である。

【図7】画像エッジ上の一点の局所座標を例示するブロック図である。

【図8】フィルタカーネルを決定するプロセスの一実施形態を例示する流れ図である。

【図9】画像タイル内のピクセルの集合を例示するブロック図である。

【図10】画像タイルのコーナーのピクセルへのフィルタカーネルを構築するプロセスの一実施形態を例示する流れ図である。

【図11】画像タイルの境界上のピクセルへのフィルタカーネルを構築するプロセスの一実施形態を例示する流れ図である。

【図12】画像タイルの内部のピクセルへのフィルタカーネルを構築するプロセスの一実施形態を例示する流れ図である。

【図13】フィルタカーネルを構築し使用するプロセスの一実施形態を例示する流れ図で

10

20

30

40

50

ある。

【図14】フィルタカーネルを構築し使用するプロセスの一実施形態を例示する流れ図である。

【図15】デジタル画像をフィルタ処理するプロセスの一実施形態を例示する流れ図である。

【図16】映像圧縮のため、または映像圧縮時に、PまたはBフレームをフィルタ処理するプロセスの一実施形態を例示する流れ図である。

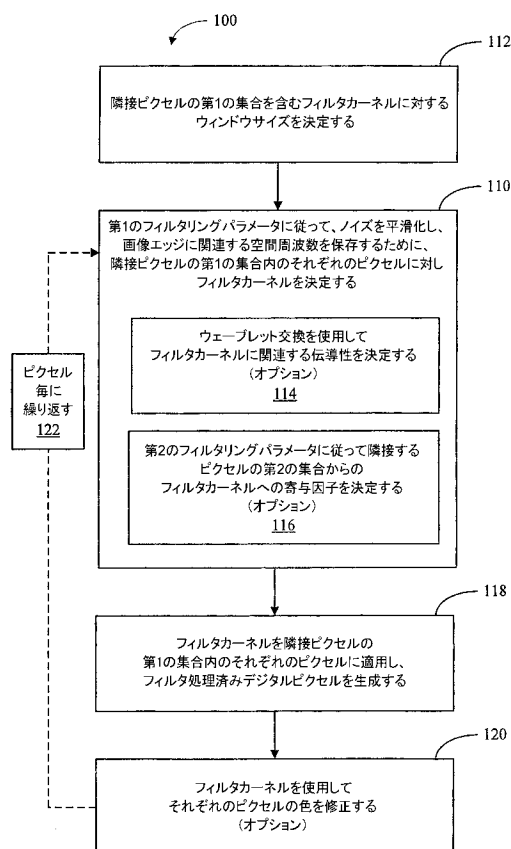
【図17】映像圧縮のため、または映像圧縮時に、マクロブロックをフィルタ処理するプロセスの一実施形態を例示する流れ図である。

【図18】三次元デジタル画像をフィルタ処理するプロセスの一実施形態を例示する流れ図である。

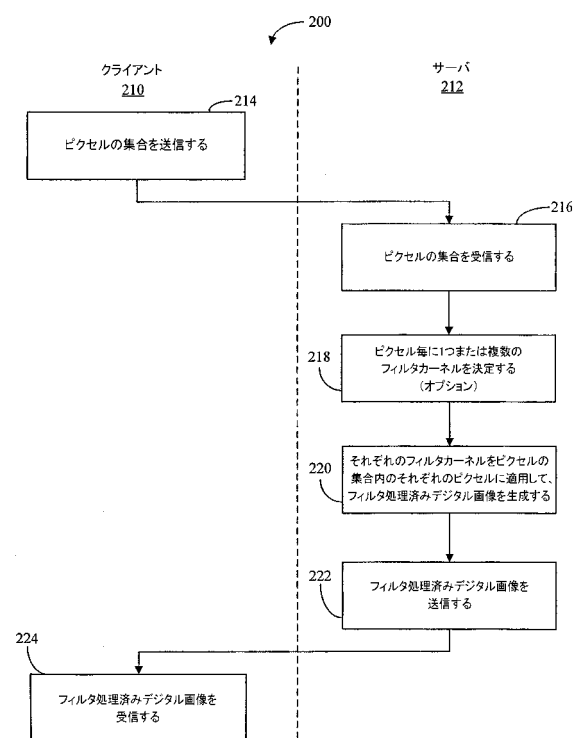
10

【図19】フィルタ処理をしていないデジタル画像、およびフィルタ処理済みデジタル画像の実施形態を例示するブロック図である。

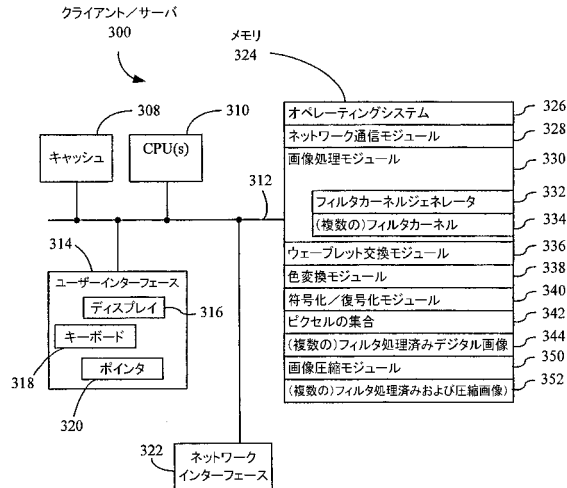
【図1】



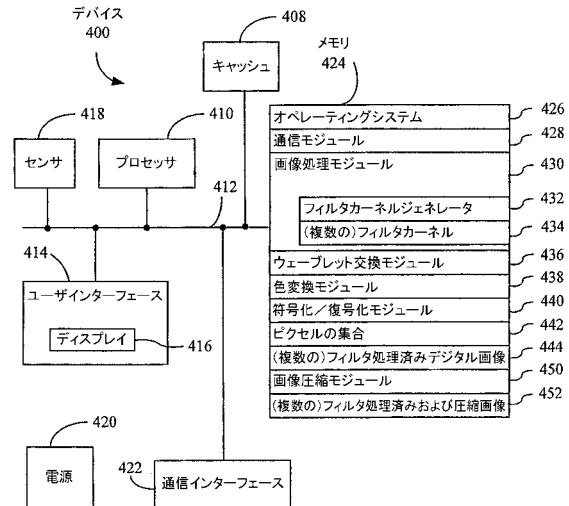
【図2】



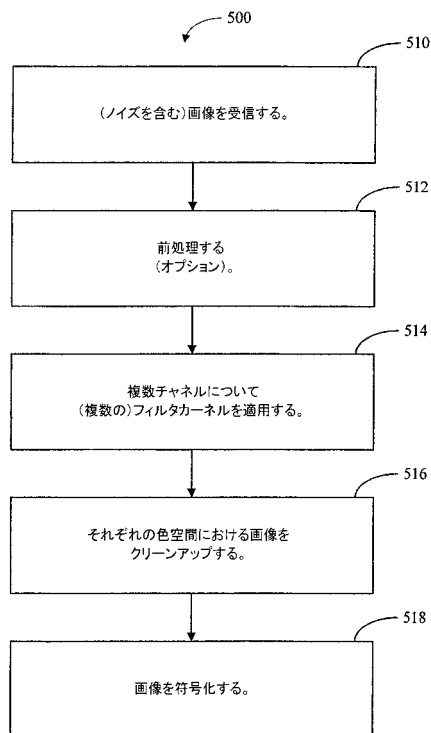
【図 3】



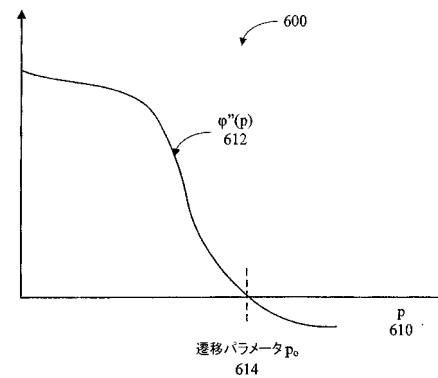
【図 4】



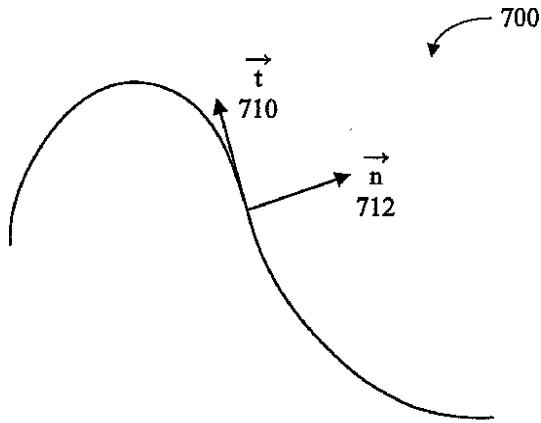
【図 5】



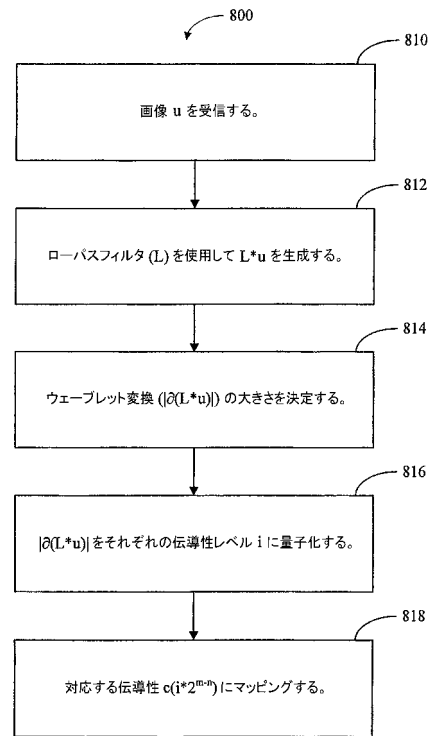
【図 6】



【図 7】

Figure 7
(Prior Art)

【図 8】



【図 9】

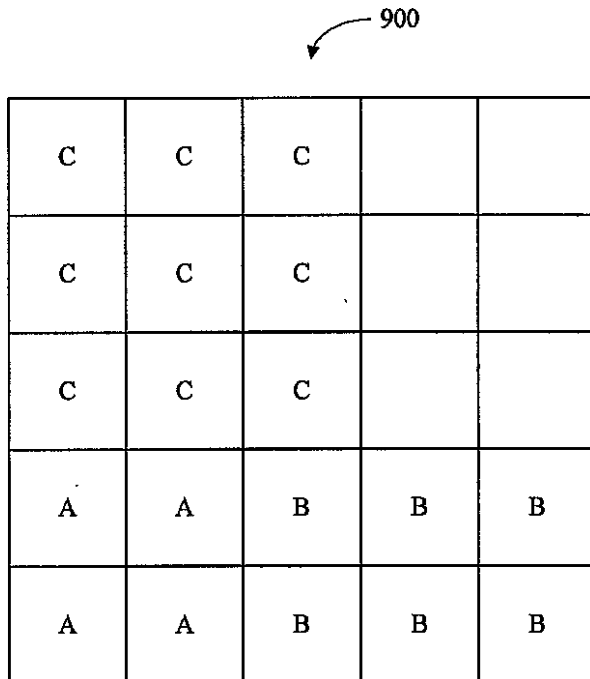


Figure 9

【図 10】

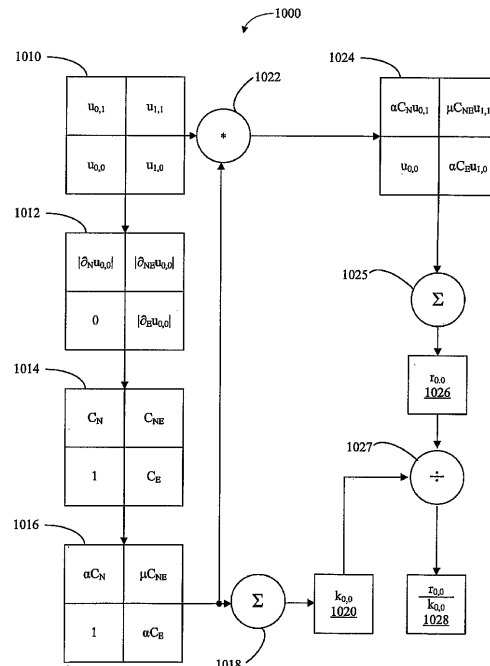


Figure 10

【図 1 1】

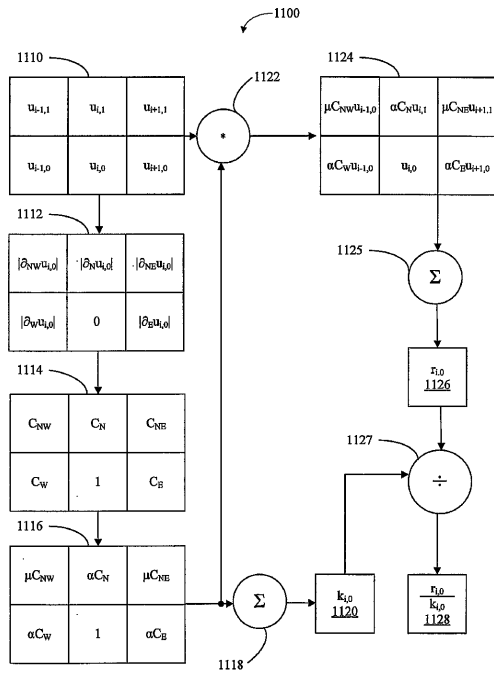


Figure 11

【図 1 2】

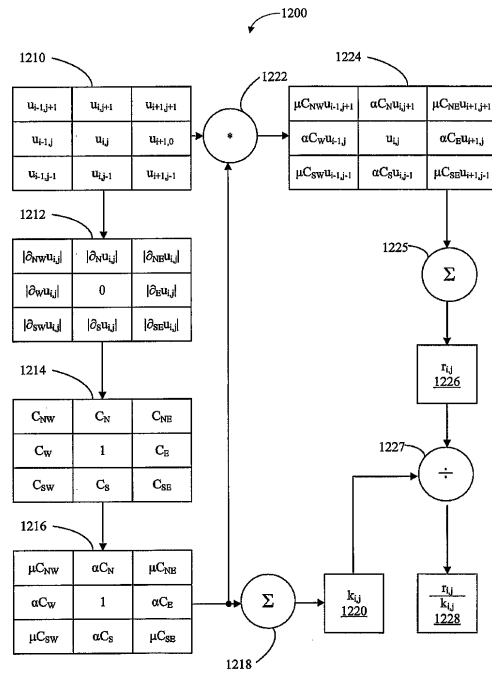
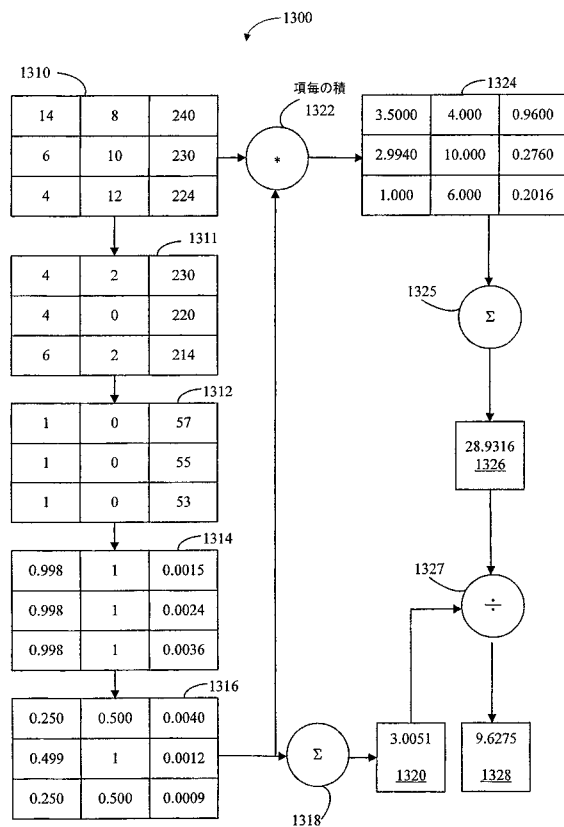
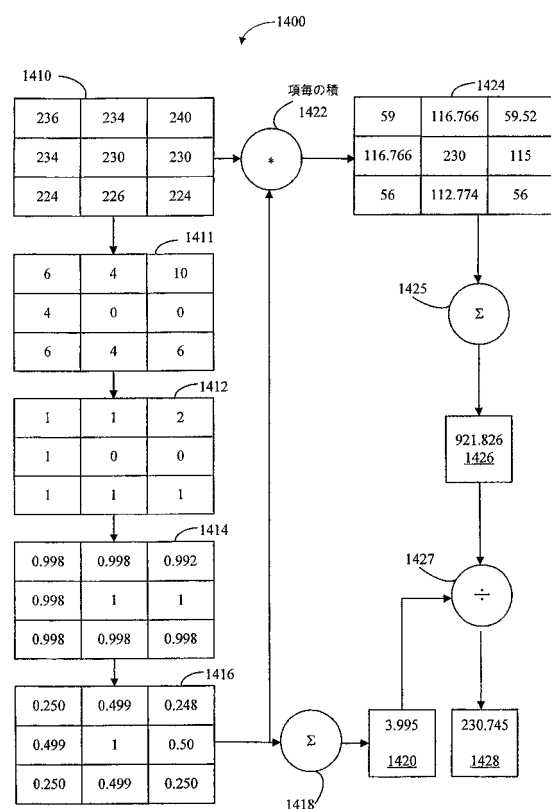


Figure 12

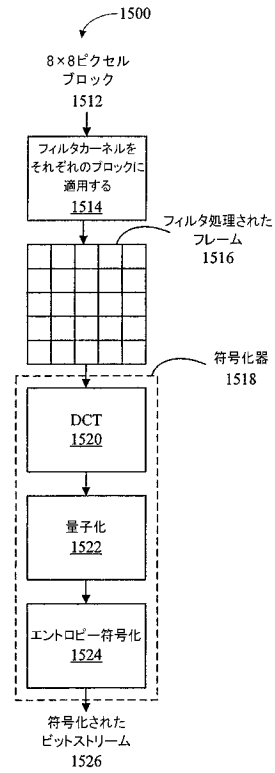
【図 1 3】



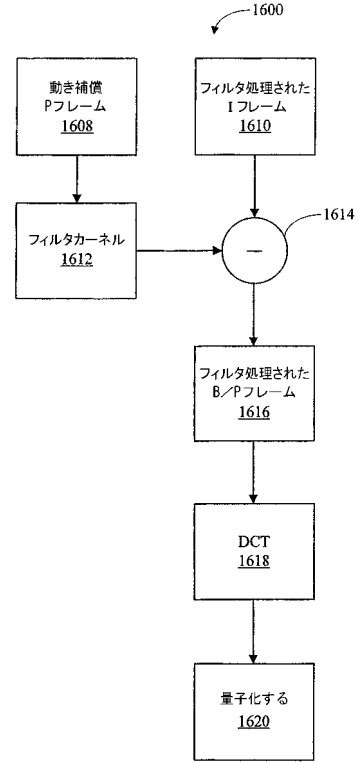
【図 1 4】



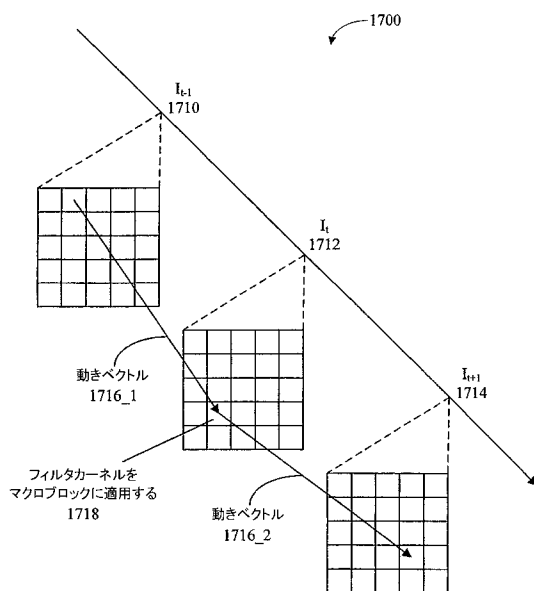
【図 15】



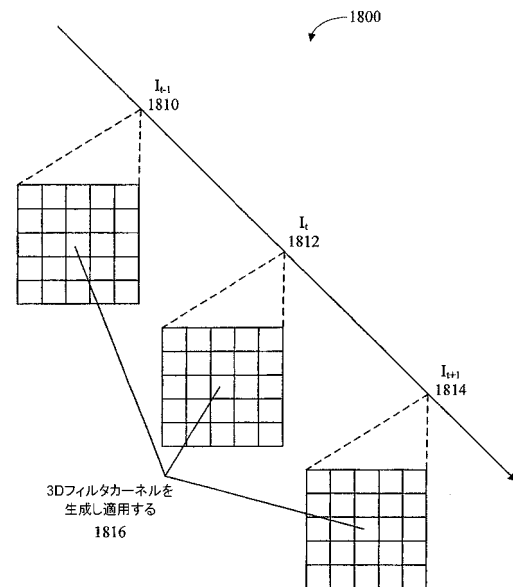
【図 16】



【図 17】

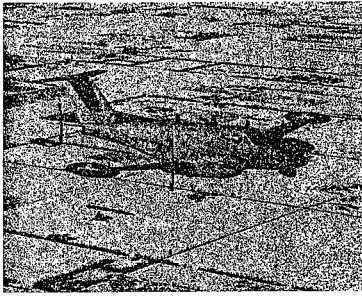


【図 18】

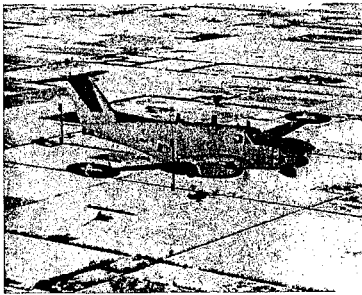


【図 19】

1900



入力画像 - フィルタ処理されていない
1902



CDFを適用した後の結果
1904

フロントページの続き

(72)発明者 チュイ, チャールズ, ケー .
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 94025, メンロ パーク, オリーブ ストリート 340

(72)発明者 ワン, チャンチョン
アメリカ合衆国, テキサス州 77382, ザ ウッドランズ, カヌー パーチ プレイス 2

審査官 金田 孝之

(56)参考文献 特開平08-163408(JP, A)
米国特許第6731821(US, B1)
米国特許出願公開第2005/0025378(US, A1)
Sziranyi, T. et al., Anisotropic diffusion as a preprocessing step for efficient image compression, Pattern Recognition, 1998. Proceedings. Fourteenth International Conference on, IEEE, 1998年 8月, vol.2, pp.1565-1567
Perona, P. et al., Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, IEEE, 1990年 7月, Vol.12, No.7, pp.629-639

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 5/00- 5/50
H04N 1/40- 1/409
H04N 5/14- 5/217
H04N 7/12
H04N 7/26
H04N 7/30- 7/32