

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4945532号
(P4945532)

(45) 発行日 平成24年6月6日(2012.6.6)

(24) 登録日 平成24年3月9日(2012.3.9)

(51) Int.Cl. F 1
G 0 6 T 5/20 (2006.01) G 0 6 T 5/20 A

請求項の数 6 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2008-228555 (P2008-228555)	(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	平成20年9月5日(2008.9.5)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
(65) 公開番号	特開2010-61541 (P2010-61541A)	(72) 発明者	三島 直 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
(43) 公開日	平成22年3月18日(2010.3.18)	(72) 発明者	五十川 賢造 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
審査請求日	平成23年3月23日(2011.3.23)	(72) 発明者	馬場 雅裕 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 劣化画像復元方法、劣化画像復元装置、及び、プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の劣化過程により劣化した劣化画像を入力する劣化画像入力ステップと、
前記劣化画像と復元画像を前記劣化過程により劣化させた画像との間の二乗誤差を最小化する反復式を所定の反復回数に応じて展開した、前記劣化画像を復元するフィルタ処理のフィルタ係数を記憶手段から読み出す係数読出ステップと、
前記劣化画像に対し前記フィルタ係数による前記フィルタ処理を行うことにより前記劣化画像の復元画像を取得する復元画像取得ステップと、
を有する劣化画像復元方法。

【請求項2】

前記フィルタ処理は、前記フィルタ係数のうち前記劣化画像中の局所領域に対応するフィルタ係数により行われる局所的なフィルタ処理を、前記劣化画像が有する画素毎に該画素を中心とする局所領域毎の畳み込み演算により行う請求項1記載の劣化画像復元方法。

【請求項3】

前記局所的なフィルタ処理に用いられるフィルタ係数は、前記局所領域毎に正規化したフィルタ係数である請求項2記載の劣化画像復元方法。

【請求項4】

前記記憶手段に、異なる前記所定の反復回数のそれぞれに対応するフィルタ係数が保持されている場合に、

前記係数読出ステップにおいて、前記劣化画像の劣化度に基づいて、一つの所定の反復

回数に対応するフィルタ係数を読み出す請求項 1 ないし 3 何れか一項に記載の劣化画像復元方法。

【請求項 5】

所定の劣化過程により劣化した劣化画像を入力する画像入力手段と、

前記劣化画像と復元画像を前記劣化過程により劣化させた画像との間の二乗誤差を最小化する反復式を所定の反復回数に応じて展開した、前記劣化画像を復元するフィルタ処理のフィルタ係数が格納された記憶手段と、

前記劣化画像に対し前記フィルタ係数による前記フィルタ処理を行うことにより前記劣化画像の復元画像を取得する復元画像取得手段と、
を有する劣化画像復元装置。

10

【請求項 6】

コンピュータに、

所定の劣化過程により劣化した劣化画像を入力する劣化画像入力ステップと、

前記劣化画像と復元画像を前記劣化過程により劣化させた画像との間の二乗誤差を最小化する反復式を所定の反復回数に応じて展開して得られる、前記劣化画像を復元するフィルタ処理のフィルタ係数を記憶手段から読み出す係数読出ステップと、

前記劣化画像に対し前記フィルタ係数による前記フィルタ処理を行うことにより前記劣化画像の復元画像を取得する復元画像取得ステップと、
を実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、劣化画像復元方法、劣化画像復元装置、及び、プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、劣化した画像を復元する画像復元技術として、一般化逆フィルタを用いる方法、及び、Richardson-Lucy法(Landweber法ともいう)等がある(非特許文献1参照)。両方法とも、劣化過程が既知であるとして、劣化過程により劣化させたものと入力画像の二乗誤差が最小となるように、求めたい復元画像を決定する。

【0003】

30

一般化逆フィルタは、二乗誤差が最小となる条件を解いた結果、逆行列を計算することになる。そのままでは計算困難なことも多いので、離散フーリエ変換を施し周波数空間上で計算を行い、再び実空間に戻す。これは、周波数空間上では逆行列演算が除算となることによる。

【0004】

Richardson-Lucy法は、反復法により初期解から徐々に真の解へ収束させていくことにより、二乗誤差が最小となる復元画像を得る。例えば、特開2002-300459号公報(特許文献1)では、Richardson-Lucy法をベースとし、局所的な畳み込み演算を行うことにより、大規模な行列計算をする必要が無く省メモリな構成が示されている。

40

【0005】

【特許文献1】特開2002-300459号公報

【非特許文献1】M. R. Banham and A. K. Katsaggelos, "Digital Image Restoration", IEEE Signal Processing Magazine, pp. 24-41, 1997

【非特許文献2】J. Biemond, R. L. Lagendijk, R. M. Mersereau, "Iterative methods for image deblurring", Proceedings of the IEEE, Volume 78, Issue 5, Page(s): 856-883, May 1990

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、一般化逆フィルタは一回の処理で復元画像を求めることができるが、大規模な行列演算が必要となるため、計算量が多いという課題がある。また、Richardson-Lucy法は反復解法であるため、望ましい復元結果を得るためには、数回から数十回程度の反復が必要となる。これは、Richardson-Lucy法をベースとしている特許文献1に記載の画像復元装置等でも同様である。反復回数が増えれば計算量が増加し、装置等による実現が困難となる。

【0007】

本発明は、上記の点に鑑み、劣化画像を復元する装置等における処理量を低減し、好適な復元画像を得る劣化画像復元方法、劣化画像復元装置、及び、プログラムを提供することを目的としている。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本発明の劣化画像復元方法は所定の劣化過程により劣化した劣化画像を入力する劣化画像入力ステップと、前記劣化画像と復元画像を前記劣化過程により劣化させた画像との間の二乗誤差を最小化する反復式を所定の反復回数に応じて展開した、前記劣化画像を復元するフィルタ処理のフィルタ係数を記憶手段から読み出す係数読出ステップと、前記劣化画像に対し前記フィルタ係数による前記フィルタ処理を行うことにより前記劣化画像の復元画像を取得する復元画像取得ステップと、を有する。

20

【0009】

なお、上記課題を解決するため、本発明は、上記劣化画像復元方法を実現する劣化画像復元装置、及び、上記劣化画像復元方法をコンピュータに実行させるためのプログラムとしてもよい。

【発明の効果】

【0010】

本発明の劣化画像復元方法、劣化画像復元装置、及び、プログラムによれば、劣化画像を復元する装置等における処理量を低減し、好適な復元画像を得る劣化画像復元方法、劣化画像復元装置、及び、プログラムを提供することが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

30

【0011】

以下、本実施の形態を図面に基づき説明する。

【0012】

〔実施の形態〕

図1は、Richardson-Lucy法による劣化画像を復元する劣化画像復元装置10の機能構成を示すブロック図である。図1の劣化画像復元装置10は、画像の劣化である「ボケ」を補正する機能を有する。劣化画像復元装置10は、ボケ再現部11、ボケ補正部12、判定部13、及び、フレームメモリ14を有する。

【0013】

ボケ再現部11は、入力画像に対し所定の画像劣化を加える。所定の画像劣化とは、例えば、カメラのレンズボケ等による画像の変化である。カメラのレンズボケによる画像の変化は、例えば、点広がり関数(Point Spread Function(以下、「PSF」という。))によって表される。

40

【0014】

図2は、ガウス関数により近似的に表現されたPSFの図である。ガウス関数によるPSFは、次式(1)により表される。

【数 1】

$$h(i, j) = \frac{1}{Q} \exp\left(-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2}\right) \quad \dots(1)$$

$$Q = \sum_{\substack{i \leq r, j \leq r \\ i = -r, j = -r}} \exp\left(-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2}\right)$$

なお、 Q は、正規化定数である。また、自然数 r は、 PSF の半径である。 $\sigma > 0$ は、ガウス関数の標準偏差であり、ボケの大きさを示す。

【0015】

10

ボケ補正部 12 は、ボケ再現部 11 による劣化を加えられた画像と、入力画像との間の二乗誤差が最小になるように補正を行う。判定部 13 は、ボケ再現部 11 とボケ補正部 12 とによるボケの再現とボケの補正とが、所定の反復回数を超えているか否かを判定する。所定の反復回数を超えていない場合には、ボケ補正部 12 によりボケの補正が行われた画像を、フレームメモリ 14 に格納させる。所定の反復回数を超えている場合には、ボケ補正部 12 によりボケの補正が行われた画像を、復元画像として出力させる。

【0016】

本実施の形態では、画像の劣化課程をモデルにより実現することにより、ボケの補正を行う。以下、画像の劣化過程のモデル化と、その劣化課程によるボケの補正について、説明する。

20

【0017】

入力画像を列ベクトルとして、ベクトル状に並べたものを y とする。例えば、画像の水平方向の画素値を垂直方向に1画素ずつずらしながら順につなげれば、画像を列ベクトルで表現できる。画像の大きさを横 M_1 画素、縦 M_2 画素とすると、 y は、 $M_1 \times M_2$ サイズの列ベクトルとなる。

【0018】

また、劣化画像復元装置 10 の出力となる復元画像を x と表す。 x も $M_1 \times M_2$ サイズの列ベクトルとなる。復元画像を劣化させそれにノイズをのせたものが入力画像になる、と考えると画像の劣化過程は次式(2)のモデル化をすることができる。

【0019】

30

【数 2】

$$y = Hx + n \quad \dots(2)$$

【0020】

なお、 H は点応答関数で、復元画像の各点に関して PSF を並べたものであり、 $(M_1 \times M_2) \times (M_1 \times M_2)$ サイズの行列である。また n はノイズである。

【0021】

ボケ補正部 12 が行うボケ補正は、復元画像を劣化させたものと入力画像との二乗誤差が最小となるように復元画像を選ぶことであり、次式(3)で表される最小二乗問題として定式化できる。

【0022】

40

【数 3】

$$\min_x E(x) = \|y - Hx\|_{L_2}^2 \quad \dots(3)$$

但し、 $\|\cdot\|_{L_2}$ は L_2 ノルム

また、式(3)は、以下のように書き直すことができる。

【0023】

【数 4】

$$\min_x E(x) = (y - Hx)^T (y - Hx) \quad \dots(4)$$

50

【 0 0 2 4 】

ここで、 x^T は x の転置を表す。式 (4) を解くことにより、劣化過程が与えられたときに、入力画像に最も近いと思われる復元画像が得られる。式 (4) の最適性必要条件は、式 (4) を x に関して微分することにより得られる次式 (5) で表される。

【 0 0 2 5 】

【数 5】

$$\nabla E = -H^T(y - Hx) = 0 \quad \dots(5)$$

式 (5) を、 x に関して解くと、式 (6) が得られる。式 (6) が、一般化逆フィルタの式である。式 (5) に対して勾配法を構成すると式 (7) が得られる。

【 0 0 2 6 】

【数 6】

$$x = (H^T H)^{-1} H^T y \quad \dots(6)$$

$$\frac{\partial x}{\partial t} = -\nabla E = H^T(y - Hx) \quad \dots(7)$$

式 (7) を離散化すると、Richardson - Lucy 法の方程式である式 (8) 及び式 (9) が得られる。

【 0 0 2 7 】

【数 7】

$$x^{(n+1)} = x^{(n)} + \alpha H^T(y - Hx^{(n)}) \quad \dots(8)$$

$$x^{(0)} = y \quad \dots(9)$$

式 (8) 及び式 (9) において、上付数字は、反復回数 (以下、「イテレーション」ともいう。) を表し、 $\alpha > 0$ は、ステップサイズを表す。式 (8) 及び式 (9) を、Richardson - Lucy 法による反復数式という。なお、式 (8) 及び式 (9) は、非特許文献 2 の 8 6 7 ページ、(7 4) 式と同等である。

【 0 0 2 8 】

一般化逆フィルタは、最適性必要条件を満たす x を、逆行列を計算することにより直接求める。一方、Richardson - Lucy 法は、入力画像を初期解として反復解法により逐次的に解を更新し、それを繰り返すことにより最適性必要条件を満たす x を求める方法である。

【 0 0 2 9 】

一般化逆フィルタによる復元画像を求める処理は、ノイズの無い場合には、一回の処理で理想的な復元画像を求めることができるが、ノイズのある場合には、復元画像にノイズが発散してしまい望ましい画像を得ることができない。

【 0 0 3 0 】

それに対して Richardson - Lucy 法では、反復を途中で止めることができるため、復元画像にノイズを発散させないことが可能である。したがって、完全な復元ではなくてある程度の復元にはなるものの、ノイズが発散しない望ましい画像を得ることができる。しかし、反復処理が必須であるため計算量が多くなってしまいう課題がある。

【 0 0 3 1 】

本実施の形態では、式 (8) 及び式 (9) を、初期解 $x^{(0)} = y$ に関して再帰的に展開し、一つ以上の所定のイテレーションにおける解 $x^{(n)}$ と入力画像 y との関係式を求める。

【 0 0 3 2 】

以下では、実際に展開を行うことによりフィルタリング係数を導く。 $n = 1$ のときは、式 (8) 及び式 (9) より、入力画像 y との関係式である次式 (1 0) が導かれる。

【 0 0 3 3 】

10

20

30

40

50

【数8】

$$\begin{aligned} x^{(1)} &= x^{(0)} + \alpha H^T (y - Hx^{(0)}) \\ &= y + \alpha H^T y - \alpha H^T H y \quad \dots(10) \\ &= (I + \alpha H^T - \alpha H^T H) y \end{aligned}$$

ここで I は単位行列である。

次に $n = 2$ 、及び、 $n = 3$ についても同様に、それぞれ、次式 (11)、及び、式 (12) が得られる。

【0034】

【数9】

10

$$\begin{aligned} x^{(2)} &= x^{(1)} + \alpha H^T (y - Hx^{(1)}) \\ &= (I + \alpha H^T - \alpha H^T H) y + \alpha H^T y - \alpha H^T H (I + \alpha H^T - \alpha H^T H) y \quad \dots(11) \\ &= (I + 2\alpha H^T - 2\alpha H^T H - \alpha^2 H^T H H^T + \alpha^2 H^T H H^T H) y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x^{(3)} &= x^{(2)} + \alpha H^T (y - Hx^{(2)}) \\ &= (I + 2\alpha H^T - 2\alpha H^T H - \alpha^2 H^T H H^T + \alpha^2 H^T H H^T H) y + \alpha H^T y \\ &\quad - \alpha H^T H (I + 2\alpha H^T - 2\alpha H^T H - \alpha^2 H^T H H^T + \alpha^2 H^T H H^T H) y \quad \dots(12) \\ &= \left(I + 3\alpha H^T - 3\alpha H^T H - 3\alpha^2 H^T H H^T + 3\alpha^2 H^T H H^T H \right. \\ &\quad \left. + \alpha^3 H^T H H^T H H^T - \alpha^3 H^T H H^T H H^T H \right) y \end{aligned}$$

20

$n = 4$ 以降についても同様に再帰的な展開により、所定のイテレーション n における復元画像 $x^{(n)}$ と入力画像 y との関係式を導くことができる。

【0035】

これらの関係式は、点応答関数が決まると一意に決定できるため、事前に計算しておくことが可能である。つまり入力画像 y に前記関係式を計算すると任意のイテレーションにおける解 $x^{(n)}$ が1回の処理で計算できる。また、入力画像 y とこれらの関係式の計算は、フィルタリングとして定式化できる。よって任意のイテレーションにおける前記関係式に相当するフィルタ係数を、ルックアップテーブル(以下、「LUT」という。)に格納しておくことにより、Richardson-Lucy法による画像復元は、入力画像 y に対するフィルタリング演算として実現できる。任意のイテレーションの画像復元を1回のフィルタリング処理で実現できるため大きな計算量削減効果が期待できる。

30

【0036】

なお、これらの関係式については規則性があり、次式(13)のように2項定理によって定式化することができる。

【0037】

【数10】

$$\begin{aligned} x^{(n)} &= \left(I + \sum_{r=1}^{r \leq n} (-1)^{r-1} \alpha^r \frac{n!}{r!(n-r)!} (H^{[2r-1]} - H^{[2r]}) \right) y \equiv X^{(n)} y \quad 40 \\ H^{[r]} &= \prod_{j=1}^{j \leq r} \begin{cases} H^T & \text{if } j \text{ is odd} \\ H & \text{if } j \text{ is even} \end{cases} \quad \dots(13) \end{aligned}$$

【0038】

ここで、 $X^{(n)}$ を復元行列とする。 $X^{(n)} y$ は、一回の畳み込み処理であるから、これにより1回の処理で n イテレーションの処理が可能となる。しかし、復元行列 $X^{(n)}$ は、 $((M_1 \times M_2) \times (M_1 \times M_2))$ の行列であり、 $x^{(n)}$ のある一画素を処理する畳み込み演算は $(M_1 \times M_2)$ 個の積和演算、すなわち、画面全体の積和演算となる。これは、非常に大きな計算量である。

【0039】

50

本実施の形態では、さらに上式(13)による処理を、画面全体の処理から局所処理へと発展させる。そうすることにより画面全体の畳み込みから、局所領域の畳み込みとなり、局所的なフィルタリングが実現できる。

【0040】

任意の画素位置 $(i, j)^T$ を中心とした局所矩形領域(以下、「ローカルカーネル」という。)内の入力画像を列ベクトルとしてベクトル状に並べたものを y_i とする。例えば、ローカルカーネル内で、画像の水平方向の画素値を垂直方向に1画素ずつずらしながら順につなげれば、画像を列ベクトルで表現できる。同様に、画素位置 $(i, j)^T$ のローカルカーネル内の復元画像を $x_i^{(n)}$ とする。同様に、点応答関数は、画素位置 $(i, j)^T$ のローカルカーネル内で生成したものを H_i とする。ローカルカーネルは、例えば、 $((2L+1), (2L+1))$ サイズの正方領域とする。

10

【0041】

このとき、 y_i と $x_i^{(n)}$ とは、 $((2L+1) * (2L+1))$ の列ベクトル、 H_i は、 $((2L+1) * (2L+1) * (2L+1) * (2L+1))$ の行列である。このとき、画素位置 $(i, j)^T$ のローカルカーネルの復元行列は、次式(14)となる。

【0042】

【数11】

$$x_i^{(n)} = \left(I + \sum_{r=1}^{r \leq n} (-1)^{r-1} \alpha^r \frac{n!}{r!(n-r)!} (H_i^{[2r-1]} - H_i^{[2r]}) \right) y_i \equiv X_i^{(n)} y_i \quad \dots(14)$$

$$H_i^{[r]} = \prod_{j=1}^{j \leq r} \begin{cases} H_i^T & \text{if } j \text{ is odd} \\ H_i & \text{if } j \text{ is even} \end{cases}$$

20

【0043】

さらに、画素位置 $(i, j)^T$ の復元画素 $x_i^{(n)}$ に関するフィルタリングを行う場合には、復元行列 $X_i^{(n)}$ 全体は必要無く、復元画素 $x_i^{(n)}$ に相当する部分、すなわち、復元行列 $X_i^{(n)}$ の第 $L+1$ 行のデータがあれば良い。復元行列 $X_i^{(n)}$ の第 $L+1$ 行のデータを取り出し、元のローカルカーネルの画素配置と同じように並べ直した行列を $w_i^{(n)}$ とし、これを復元フィルタ係数とする。

【0044】

復元フィルタ係数を使うと、復元フィルタリングは次式(15)となる。

30

【数12】

$$x_i^{(n)} = w_i^{(n)} ** y_i \quad \dots(15)$$

ここで y_i は画素位置 $(i, j)^T$ の入力画素、**はフィルタ係数 $w_i^{(n)}$ を使ったローカルカーネルに対する畳み込み演算を表す。

【0045】

図3は、ローカルカーネルによる復元フィルタリングを説明する図である。図3(a)は、画面全体の処理を説明する図であり、式(14)に示す行列演算の図である。なお、図中、「画面」を「フレーム」と表記する。

【0046】

40

図3(b)は、ローカルカーネルに対応する復元行列を説明する図である。図3(b)では、図3(a)における復元画素 $x_i^{(n)}$ に相当する、復元行列 $X_i^{(n)}$ の第 $L+1$ 行のデータからなる復元行列が示されている。図3(c)は、図3(b)の行列演算を、復元画素毎のフィルタリング処理として表記したものであり、式(15)に対応する。

【0047】

図4は、式(13)による復元行列から得られる復元フィルタ係数が、LUTに格納された、劣化画像復元装置の機能構成を示すブロック図である。図4の劣化画像復元装置200は、復元フィルタリング部210、及び、LUT保持部290を有する。

【0048】

復元フィルタリング部210は、入力される入力画像に対し、LUT保持部290に格

50

納された復元フィルタ係数を用いて、劣化画像の復元を行う。LUT保持部290は、所定のイテレーションにおける復元フィルタ係数を保持する。

【0049】

なお、図中、ステップS21は、ボケ再現部11による所定の入力画像に対する画像を劣化させる処理であり、ステップS22は、ステップS21において劣化された画像に対する所定のイテレーションにおける復元行列及び復元フィルタ係数を生成する処理である。ステップS21とステップS22の処理とが、入力画像の復元に先んじて行われることにより、LUT保持部290に保持する復元フィルタ係数が取得され、LUT保持部290に保持される。

【0050】

図5は、復元フィルタ係数における打ち切り誤差の補正を説明する図である。図5において、復元フィルタ係数 $w^{(n)}$ のうち、ローカルカーネル k に対応する部分を用いてフィルタリング処理を行った場合に、打ち切り誤差 c_1 及び c_2 が生じる。より詳細には、本来画像全体処理において復元行列が持っていた、中心から外れた領域の振幅成分が、ローカルカーネルに限定してしまうことによって残ったものが、打ち切り誤差 c_1 及び c_2 である。打ち切り誤差 c_1 及び c_2 が残ったままだとフィルタ係数の総和が1とはならず、フィルタリングの結果がずれてきてしまう。

【0051】

そこで、復元フィルタ係数 $w_i^{(n)}$ の和を Q とすると、打ち切り誤差 c は、 $c = 1 - Q$ で表され、次式(16)となる。また、打ち切り誤差 c を用いる復元フィルタ係数の補正は、例えば、次式(17)で表される。

【0052】

【数13】

$$c = 1 - \sum w_i^{(n)} \quad \dots(16)$$

$$\omega_j' = \omega_j + \frac{1}{(2L+1)^2} c \quad \dots(17)$$

【0053】

なお、 ω_j は、復元フィルタ係数 $w_i^{(n)}$ の、 j 番目の要素である。式(17)のように復元フィルタ係数の全要素に補正する他に、復元フィルタ係数内で振幅が最大のものに対して、ローカルカーネル全体に対応する打ち切り誤差補正係数を適用することにより補正してもよい。

【0054】

打ち切り誤差を補正した復元フィルタ係数 $w_i^{(n) '}$ によるローカルカーネル内の入力画像 y_i に対するフィルタリングは、次式(18)で表される。

【0055】

【数14】

$$x_i^{(n)} = w_i^{(n)'} ** y_i \quad \dots(18)$$

【0056】

図6は、図4の復元フィルタリング部210における処理の詳細を説明するフロー図である。図6では、劣化した入力画像 y に対し、復元処理が行われることにより、出力画像 x が得られる。

【0057】

図6では、各処理に先んじて、入力画像 y が、劣化画像復元装置に入力される。ステップS101では、出力画像の変数 x が定義される。例えば、出力画像 x に対応するデータ領域がメモリ上に確保される。ステップS101に続いてステップS102に進み、LUT保持部290から復元フィルタ係数 w が読み出される。

【0058】

10

20

30

40

50

ステップS102に続くステップS103からステップS107では、ステップS102で取得された復元フィルタ係数 w により、入力画像 y に対する復元画像 x を取得する処理が行われる。

【0059】

ステップS102に続くステップS103では、入力画像の一画面に対する復元処理が開始される。ここでは、画面内の画素位置 (i, j) が初期化される。ステップS103に続いてステップS104に進み、一の画素に対するローカルカーネルによる復元フィルタリング処理のループが開始される。

【0060】

より詳細には、例えば、ローカルカーネルの半径を L とし、画面の横方向に、 $-L \leq k \leq L$ 、画面の縦方向に、 $-L \leq l \leq L$ の範囲の入力画素 y によるフィルタリング処理が行われる。そこで、ステップS103に続くステップS104では、ローカルカーネルの中心画素 $x(i, j)$ の値を0に初期化する。

【0061】

ステップS104に続いてステップS105に進み、次式(19)による復元フィルタリング処理が行われる。より詳細には、ローカルカーネル内の各入力画素に対して復元フィルタリング係数を乗じた値が演算され、既に演算されている値に加算される。

$$x(i, j) += w(k, l) * y(i + k, j + l) \cdots (19)$$

【0062】

ステップS105に続いてステップS106に進み、ローカルカーネル内の全ての入力画素 y に対する式(19)の演算が行われている場合には、ステップS107に進み、行われていない場合には、ステップS104に戻って処理を繰り返す。ステップS106に続くステップS107では、処理中の一画面内の全画素に対し、ローカルカーネルによる復元処理が行われたか否かが判断される。全画素に対する復元処理が終了している場合には、処理を終了し、出力画像 x を出力する。一方、復元処理が終了していない画素が残っている場合には、ステップS103に戻って処理を繰り返す。

【0063】

なお、ステップS104からステップS106の処理において、ローカルカーネルの端が、画面の外に存在する場合には、画面の外の画素値は、画面内の画素のミラーリング処理により取得されてもよく、また、所定の画素値を用いてもよい。

【0064】

以上のように本実施の形態によれば、任意のイテレーションの画像復元処理を、一回のフィルタリング処理として実現できるため、計算量を大幅に削減できる。

【0065】

図7は、一以上のイテレーションのそれぞれに対応する復元フィルタ係数を用いる劣化画像復元装置300を説明する図である。図4の劣化画像復元装置200では、所定の回数の反復復元処理を、一回のフィルタリング処理で等価に実現する。これにより少ない計算量で復元性能を高めることができる。しかしながら、等価に実現するイテレーションを大きくし過ぎるとノイズの影響も大きくなり望ましい復元画像となくなってしまうことがある。

【0066】

図7の劣化画像復元装置300は、一つ以上複数のイテレーションを実現した復元フィルタ係数を用意しておき、ノイズ量を推定し、推定されたノイズ量に応じて前記複数の復元フィルタ係数からいずれか一つを選択し復元フィルタリングを行う。

【0067】

劣化画像復元装置300は、復元フィルタリング部310、ノイズ量推定部320、セレクト部330、LUT保持部390a、LUT保持部390b、LUT保持部390c、及び、LUT保持部390dを有する。

【0068】

LUT保持部390aないし390dは、各々、異なるイテレーションに対応する復元

10

20

30

40

50

フィルタ係数を保持する。図中では、 $n = 1, 5, 10, N$ を、それぞれ、LUT保持部390 aないし390 dが保持する復元フィルタ係数のイテレーションとしている。

【0069】

ノイズ量推定部320は、劣化された入力画像のノイズ量を、ローカルカーネルに対応する矩形領域毎に推定する。セクタ330は、ノイズ量推定部320により推定されたノイズ量に基づいて、LUT保持部390 aないし390 dのうち、一のLUT保持部から、復元フィルタ係数を取得する。

【0070】

より詳細には、次のように、復元フィルタ係数を取得するLUT保持部を決定する。イテレーションが小さいものは、復元性能も小さいがノイズを大きく増幅しない。またイテレーションが大きいものは、復元性能は高いがノイズも大きく増幅してしまう。そこで推定されたノイズ量が大きい場合にはイテレーションが小さい復元フィルタを選択し、推定されたノイズ量が小さい場合にはイテレーションが大きい復元フィルタを選択する。なお、ノイズ量の値とイテレーションの値との対応は、例えば、複数の所定のノイズ量の値を閾値とすることにより、各々、対応づけるとよい。このようにすることにより、復元性能とノイズ増幅のバランスを取ることが可能となる。

【0071】

復元フィルタリング部310は、入力画像に対し、セクタ330により取得された復元フィルタ係数による処理を行い、出力画像を出力する。

【0072】

なお、図中、ステップS31は、ボケ再現部11による所定の入力画像に対する画像を劣化させる処理であり、ステップS32は、ステップS31において劣化された画像に対する異なる複数のイテレーションにおける復元行列及び復元フィルタ係数を生成する処理である。ステップS31とステップS32の処理とが、入力画像の復元に先んじて行われることにより、LUT保持部390 aないし390 dのそれぞれに保持される、異なるイテレーションに対応する復元フィルタ係数が取得される。

【0073】

図8は、劣化画像復元装置100のハードウェア構成を示したブロック図である。図8に示すように、劣化画像復元装置100は、CPU(Central Processing Unit)101、操作部102、表示部103、ROM(Read Only Memory)104、RAM(Random Access Memory)105、信号入力部106、及び、記憶部107を有し、各々はバス108により接続されている。

【0074】

CPU101は、RAM105の所定領域を作業領域として、ROM104等に予め記憶された各種プログラムとの協働により各種処理を実行し、劣化画像復元装置100を構成する各部の動作を統括的に制御する。CPU101は、また、ROM104等に予め記憶されたプログラムとの協働により、本実施形態に係る劣化画像復元方法を実行する。

【0075】

操作部102は、各種入力キー等を備え、ユーザーから操作入力された情報を入力信号として受け付け、その入力信号をCPU101に出力する。

【0076】

表示部103は、LCD(Liquid Crystal Display)等の表示手段により構成され、CPU101からの表示信号に基づいて、各種情報を表示する。なお、表示部103は、操作部102と一体的にタッチパネルを構成する態様としてもよい。

【0077】

ROM104は、劣化画像復元装置100の制御に係るプログラムや各種設定情報等を書き換え不可能に記憶する。RAM105は、例えば、SDRAM等の記憶手段であって、CPU101の作業エリアとして機能し、バッファ等の役割を果たす。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 8 】

信号入力部 1 0 6 は、動画像や音声を電気信号に変換し、映像信号として CPU 1 0 1 に出力するものである。信号入力部 1 0 6 は、放送番組受信機（チューナー）等を用いるとよい。

【 0 0 7 9 】

記憶部 1 0 7 は、磁氣的又は光学的に記録可能な記憶媒体を有し、信号入力部 1 0 6 を介して取得された映像信号、又は、図示しない通信部や I / F（インターフェース）等を介して外部から入力される映像信号等のデータを記憶する。

【 0 0 8 0 】

以上、発明を実施するための最良の形態について説明を行ったが、本発明は、この最良の形態で述べた実施の形態に限定されるものではない。本発明の主旨をそこなわない範囲で変更することが可能である。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 8 1 】

【 図 1 】 Richardson - Lucy 法による劣化画像を復元する機能構成を示すブロック図である。

【 図 2 】 ガウス関数により近似的に表現された P S F の図である。

【 図 3 】 ローカルカーネルによる復元フィルタリングを説明する図である。

【 図 4 】 復元フィルタ係数が L U T に格納された機能構成を示すブロック図である。

【 図 5 】 打ち切り誤差の補正を説明する図である。

【 図 6 】 復元フィルタリング部における処理の詳細を説明するフロー図である。

【 図 7 】 一以上のイテレーションのそれぞれに対応する復元フィルタ係数を用いる機能構成を説明する図である。

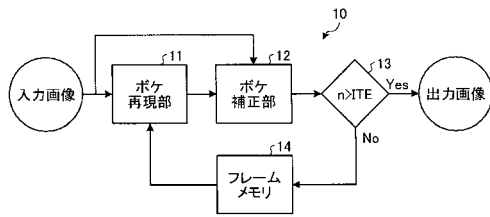
【 図 8 】 劣化画像復元装置のハードウェア構成を示したブロック図である。

【 符号の説明 】

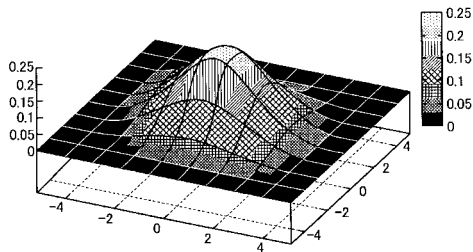
【 0 0 8 2 】

1 0	劣化画像復元装置	
1 1	ボケ再現部	
1 2	ボケ補正部	
1 3	判定部	30
1 4	フレームメモリ	
1 0 0	劣化画像復元装置	
1 0 2	操作部	
1 0 3	表示部	
1 0 6	信号入力部	
1 0 7	記憶部	
1 0 8	バス	
2 0 0	劣化画像復元装置	
2 1 0	復元フィルタリング部	
2 9 0	L U T 保持部	40
3 0 0	劣化画像復元装置	
3 1 0	復元フィルタリング部	
3 2 0	ノイズ量推定部	
3 3 0	セレクタ	
3 9 0 a	L U T 保持部	
3 9 0 b	L U T 保持部	
3 9 0 c	L U T 保持部	
3 9 0 d	L U T 保持部	

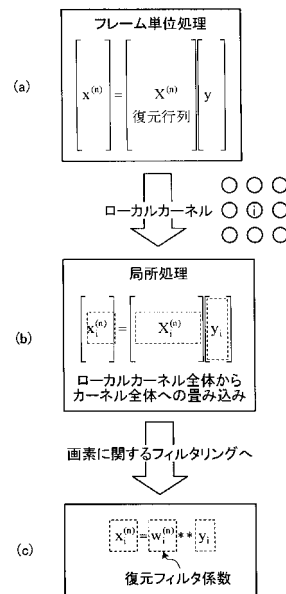
【図1】



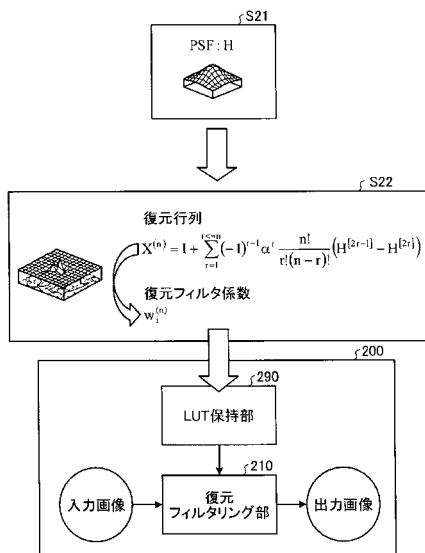
【図2】



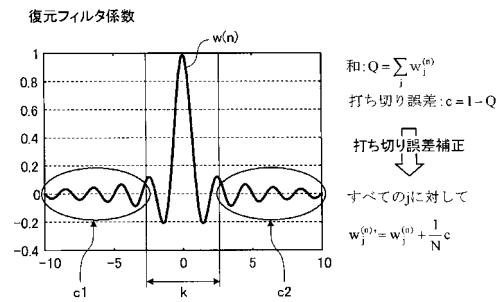
【図3】



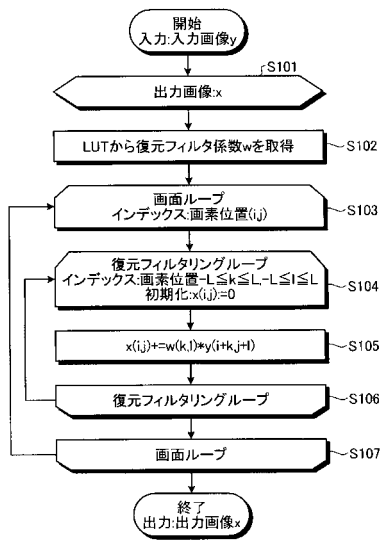
【図4】



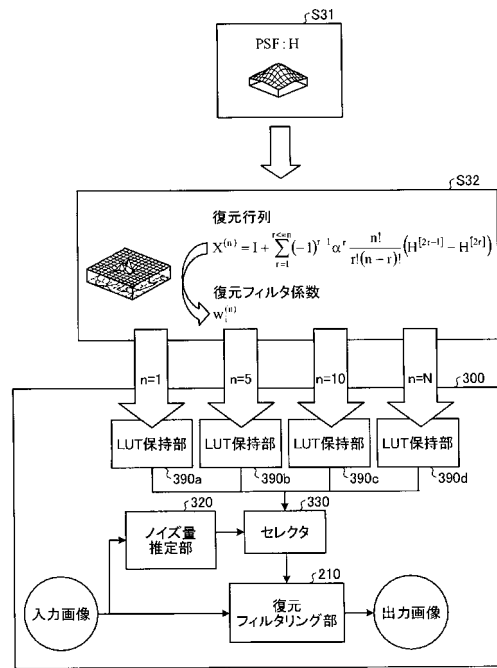
【図5】



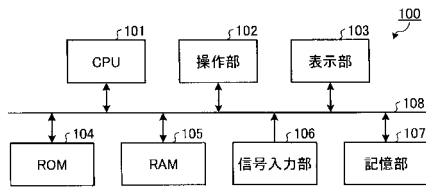
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

審査官 佐藤 実

(56)参考文献 特開2008-176735(JP,A)
特開2002-288653(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06T 5/20