

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5065099号
(P5065099)

(45) 発行日 平成24年10月31日 (2012. 10. 31)

(24) 登録日 平成24年8月17日 (2012. 8. 17)

(51) Int.Cl.
H04N 1/393 (2006.01)

F I
H04N 1/393

請求項の数 6 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2008-52808 (P2008-52808)	(73) 特許権者	000227364
(22) 出願日	平成20年3月4日 (2008. 3. 4)		日東光学株式会社
(65) 公開番号	特開2009-212740 (P2009-212740A)		長野県諏訪市大字湖南4 5 2 9番地
(43) 公開日	平成21年9月17日 (2009. 9. 17)	(74) 代理人	110000121
審査請求日	平成23年3月2日 (2011. 3. 2)		アイアット国際特許業務法人
		(72) 発明者	高橋 史紀
			長野県諏訪市上川1丁目1 5 3 8番地 日東光学株式会社上諏訪工場内
		審査官	山内 裕史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 変化要因情報のデータの生成法および信号処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

劣化等の変化が生じた原信号データの、その信号変化の要因が信号全体に一樣に影響する変化要因情報のデータを生成する変化要因情報のデータの生成法において、

任意の変化要因情報のデータを最初の変化要因情報のデータとして設定し、前記最初の変化要因情報のデータとは異なる新たな変化要因情報のデータを生成する生成処理を行い、

前記生成処理の際に、前記原信号のデータを加工したデータとして、前記原信号を小さくする縮小処理を行った縮小データを用い、

前記生成処理は、

(1) 設定された最初の変化要因情報のデータを利用して、任意の信号データから比較用データを生成して、

(2) 前記原信号のデータまたはその原信号の信号データから比較用データを生成して、

(3) 得られた差分のデータを前記最初の変化要因情報のデータを利用して前記任意の信号データに配分することで最初の復元データを生成し、

(4) その最初の復元データを前記任意の信号データの代わりに用い、必要に応じて、同様の処理を繰り返し、

(5) その結果得られた、前記復元データと前記原信号のデータまたはその原信号のデータを加工したデータとから前記最初の変化要因のデータとは異なる新たな変化要因のデータを生成し、

前記（３）の処理は、該原信号またはその原信号のデータを加工したデータおよび前記復元データを構成する信号要素のデータの一部または全部を移動させる方法において行い、前記復元データを構成する信号要素が所定の基準を満たすか否かを判定し、所定の基準を満たさない場合には、前記差分のデータを利用して算出された配分値を修正し、その満たされないデータの代わりに前記修正された配分値によって得られたデータを使用する修正処理を行う

ことを特徴とする変化要因情報のデータの生成法。

【請求項２】

前記生成処理では、前記縮小処理をしたデータから前記新たな変化要因情報のデータを
得た後、前記新たな変化要因情報のデータを大きくする拡大処理を行い、上記拡大処理し
た前記変化要因情報のデータを前記新たな変化要因情報のデータの代わりに用い、前記生
成処理と同様の処理を１回以上行い、必要に応じて上記拡大処理以降の処理を繰り返すこ
とを特徴とする請求項１記載の変化要因情報のデータの生成法。

10

【請求項３】

前記生成処理は、得られた前記変化要因情報のデータの原点位置を、各々の前記信号要
素のデータの移動に要する移動エネルギーの総和の最小値をMinとしたとき、その移動
エネルギーがMin以上で、 $Min \times 1.2$ 以下となる位置に設定することを特徴とする
請求項１または２に記載の変化要因情報のデータの生成法。

【請求項４】

前記最初の変化要因情報のデータは、強度分布がガウス分布のデータであることを特徴
とする請求項１から３のいずれか１項に記載の変化要因情報のデータの生成法。

20

【請求項５】

信号変化の要因が信号全体に一樣に影響する変化要因情報のデータを利用して劣化等
の変化が生じた原信号データから、変化する前の信号若しくは本来取得されるべきであ
った信号またはそれらの近似信号（以下、元信号という）の復元をする処理部を有し、

前記処理部は、任意の変化要因情報のデータを最初の変化要因情報のデータとして設定
し、前記最初の変化要因情報のデータとは異なる新たな変化要因情報のデータを生成する
生成処理を行い、

前記生成処理の際に、前記原信号のデータを加工したデータとして、前記原信号を小さ
くする縮小処理を行った縮小データを用い、

30

生成された前記新たな変化要因情報のデータまたはその変化要因情報のデータを加工し
たデータに基づいて前記元信号の復元を行い、

前記処理部は、

（１）設定された最初の変化要因情報のデータを利用して、任意の信号データから比較用
データを生成して、

（２）前記原信号のデータまたはその原信号の信号データから比較用データを生成して、

（３）得られた差分のデータを前記最初の変化要因情報のデータを利用して前記任意の信
号データに配分することで最初の復元データを生成し、

（４）その最初の復元データを前記任意の信号データの代わりに用い、必要に応じて、同
様の処理を繰り返し、

40

（５）その結果得られた、前記復元データと前記原信号のデータまたはその原信号のデ
ータを加工したデータとから前記最初の変化要因のデータとは異なる新たな変化要因のデ
ータを生成し、

（６）生成された前記新たな変化要因情報のデータまたはその変化要因のデータを加工し
たデータに基づいて前記元信号の復元を行い、

前記（３）の処理は、該原信号またはその原信号のデータを加工したデータおよび前記
復元データを構成する信号要素のデータの一部または全部を移動させる方法において行い
、前記復元データを構成する信号要素が所定の基準を満たすか否かを判定し、所定の基準
を満たさない場合には、前記差分のデータを利用して算出された配分値を修正し、その満
たされないデータの代わりに前記修正された配分値によって得られたデータを使用する修

50

正処理を行う

ことを特徴とする信号処理装置。

【請求項 6】

前記生成処理の際に、前記縮小処理をしたデータから前記新たな変化要因情報のデータを得た後、前記新たな変化要因情報のデータを大きくする拡大処理を行い、前記拡大処理した前記変化要因情報のデータを前記新たな変化要因情報のデータの代わりに用い、前記生成処理を行う請求項 5 記載の信号処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、変化要因情報のデータの生成法および信号処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、カメラ等の信号処理装置で撮影した際には、信号には時々劣化が生ずることが知られている。信号劣化の要因としては撮影時の手ブレ、光学系の各種の収差、レンズの歪み等がある。

【0003】

撮影時の手ブレによって劣化した画像（信号）を復元する方法としては、撮影時の手ブレ等によって劣化した画像を唯一の情報として、そのブレの原因となる点像分布関数（PSF：Point Spread Function）を推定し、元の物体画像を求める技術が提案されている（非特許文献 1 参照）。この技術は、被写体の変化前の画像データ（ A_0 ）に PSF（ G_0 ）を乗じると、撮影された劣化画像のデータ（ A' ）となることを前提としている。すなわち「 $A_0 \cdot G_0 = A'$ 」が満たされることを前提とする。そして、 A_0 および G_0 に任意の値を与えて、「 $G_0 = A' / A_0$ 」の計算をする。そして G_0 は負の値にならない等の拘束条件を与え、 G_1 を得る。そして、「 $A' / G_1 = A_1$ 」とし、 A_0 を A_1 へと変える。そして、 A_1 は負の値にならない等の拘束条件を与え、 A_2 を得る。そして、「 $A' / A_2 = G_2$ 」とし、 G_1 を G_2 へと変える。そして、 G_2 は負の値にならない等の拘束条件を与え、 G_3 を得る。このような計算を多数回繰り返して、妥当な PSF および復元画像データを得る。

【0004】

なお、一般の撮影画像以外にも、X 線写真、顕微鏡画像等、種々の画像や信号が、ブレやその他の原因によって劣化したり、変化したりすることが知られている。

【0005】

【非特許文献 1】竹田、小松「ブラインド・デコンボリューションのためのフーリエ反復アルゴリズムにおける非負拘束条件の検討」、光学、日本光学会、平成 8 年、第 25 巻、5 号、p 274 - 281

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

非特許文献 1 に記載されている技術を採用すると、あらゆる画像に対応する拘束条件の設定が困難であり、また、処理時間が長くなることから汎用装置への採用は困難な状況となっている。

【0007】

そこで、本発明の目的は、実用的な信号復元を可能とする変化要因情報のデータの生成法および信号処理装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するため、本発明の変化要因情報の生成法は、劣化等の変化が生じた原信号データの、その信号変化の要因となる変化要因情報のデータを生成する変化要因情報のデータの生成法において、任意の変化要因情報のデータを最初の変化要因情報のデータ

10

20

30

40

50

として設定し、最初の変化要因情報のデータとは異なる新たな変化要因情報のデータを生成する生成処理を行い、生成処理の際に、原信号のデータを加工したデータとして、原信号を小さくする縮小処理を行った縮小データを用いる。

【0009】

この発明によれば、変化の大きさも縮小されることから、変化要因情報のデータを推定し易くなり、実用的な信号復元を可能とする変化要因情報のデータを生成できる。

【0010】

他の発明に係る変化要因情報の生成法は、上述した発明に加え、生成処理では、縮小処理をしたデータから新たな変化要因情報のデータを得た後、新たな変化要因情報のデータを大きくする拡大処理を行い、拡大処理した変化要因情報のデータを新たな変化要因情報のデータの代わりに用い、生成処理と同様の処理を1回以上行い、必要に応じて拡大処理以降の処理を繰り返す。この方法を採用することによって、縮小処理を行って得た良質な変化要因情報のデータに基づいて大きな変化要因情報のデータの推定をすることができる。

【0011】

他の発明に係る変化要因情報の生成法は、上述した発明に加え、生成処理は、得られた変化要因情報のデータの原点位置を、各々の信号要素のデータの移動に要する移動エネルギーの総和の最小値をMinとしたとき、その移動エネルギーがMin以上で、Min×1.2以下となる位置に設定する。

【0012】

他の発明に係る変化要因情報の生成法は、上述した発明に加え、最初の変化要因情報のデータは、強度分布がガウス分布のデータである。この方法を採用することによって、変化がどのようなブレまたはボケを含んでいても、良好な変化要因情報のデータの推定をすることができる。

【0013】

上記目的を達成するため、本発明の信号処理装置は、劣化等の変化が生じた原信号データから、変化する前の信号若しくは本来取得されるべきであった信号またはそれらの近似信号（以下、元信号という）の復元をする処理部を有し、処理部は、任意の変化要因情報のデータを最初の変化要因情報のデータとして設定し、最初の変化要因情報のデータとは異なる新たな変化要因情報のデータを生成する生成処理を行い、生成処理の際に、原信号のデータを加工したデータとして、原信号を小さくする縮小処理を行った縮小データを用い、生成された新たな変化要因情報のデータまたはその変化要因情報のデータを加工したデータに基づいて元信号の復元を行う。

【0014】

この発明によれば、変化の大きさも縮小されることから、変化要因情報のデータを推定し易くなり、実用的な信号復元が可能となる。

【0015】

他の発明に係る信号処理装置は、上述した発明に加え、生成処理の際に、縮小処理をしたデータから新たな変化要因情報のデータを得た後、新たな変化要因情報のデータを大きくする拡大処理を行い、拡大処理した変化要因情報のデータを新たな変化要因情報のデータの代わりに用い、生成処理を行う。この構成を採用することによって、縮小処理を行って得た良質な変化要因情報のデータに基づいて大きな変化要因情報のデータの推定をすることができ、そのデータに基づいた実用的な信号復元が可能となる。

【発明の効果】

【0016】

本発明では、実用的な信号復元を可能とする変化要因情報のデータの生成法および信号処理装置を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

（信号処理装置の構成）

10

20

30

40

50

以下、本発明の実施の形態に係る信号処理装置を、図を参照しながら説明する。なお、この信号処理装置は、民生用のカメラとしているが、監視用カメラ、テレビ用カメラ、ハンディタイプのビデオカメラ、内視鏡カメラ、等他の用途のカメラとしたり、顕微鏡、双眼鏡、さらにはNMR撮影等の画像診断装置、画像を印刷するプリンタ、画像を読み込むスキャナ等、カメラ以外の機器にも適用できる。

【0018】

図1には信号処理装置1の構成の概要を示している。信号処理装置1は、人物等の画像を撮影する撮影部2と、その撮影部2を駆動する制御系部3と、撮影部2で撮影された画像を処理する処理部4と、を有している。また、この実施の形態に係る信号処理装置1は、さらに処理部4で処理された画像を記録する記録部5と、画像劣化等を生じさせる変化要因情報のデータを保存する要因情報保存部7を有する。

10

【0019】

撮影部2は、レンズを有する撮影光学系やレンズを通過した光を電気信号に変換するCCDやC-MOS等の撮影素子を備える部分である。制御系部3は、撮影部2、処理部4、記録部5、および要因情報保存部7等、信号処理装置内の各部を制御するものである。

【0020】

処理部4は、画像処理プロセッサで構成されており、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)のようなハードウェアで構成されている。そして、処理部4は、後述する変化要因情報のデータの生成法に係る処理および画像の復元処理を実行する。たとえば処理部4は、変化要因情報のデータを生成する過程で原信号を小さくする縮小処理を行う。

20

【0021】

また、この処理部4には、後述する比較用データを生成する際の元となる画像のデータが保管されることもある。さらに処理部4は、ASICのようなハードウェアとして構成されるのではなく、ソフトウェアで処理する構成としても良い。記録部5は、半導体メモリで構成されているが、ハードディスクドライブ等の磁気記録手段、またはDVD等を使用する光記録手段等を採用しても良い。

【0022】

要因情報保存部7は、本発明の実施の形態に係る変化要因情報のデータの生成法によって生成される変化要因情報のデータまたはそのデータを加工したデータを保存しておく記録部である。そして要因情報保存部7は、そのデータの中枢をなすブレの軌跡(履歴)と、その軌跡上の各点にとどまっていた時間(重み)を記憶する。要因情報保存部7で記録されたデータは、撮影された原画像(劣化等の変化が生じた画像)から元画像(変化する前の画像もしくは本来撮影されるべきであった画像またはそれらの近似画像)への復元処理の際に、処理部4で用いられる。よって、処理部4と要因情報保存部7との間では、相互にデータの受け渡しが可能となっている。

30

【0023】

(変化要因情報のデータの生成)

図2に、処理部4が行う本発明の実施の形態に係る変化要因情報のデータの生成法の一例のフローチャートを示す。

40

【0024】

まず、処理部4は、最初の変化要因情報のデータ(PSF)の任意の初期値(P_0)を設定する(ステップS101)。ここでは、その初期値を強度分布がガウス分布のデータであるガウシアンディスクとして設定する。

【0025】

次に、処理部4は、ステップS101の処理と併行してまたはその処理の前若しくは後に、撮影した原画像のデータ(原信号のデータ)Img'を1/4に縮小する。すなわち、原信号のデータImg'のデータを間引いて25%の容量値とする縮小処理(加工)を行う(ステップS102)。この縮小処理を経たデータである縮小データをSImg'と記す。

50

【 0 0 2 6 】

次に、処理部 4 は、その縮小データ $SImg'$ と同一容量の任意の信号データとして I_0 を用い、 I_0 と P_0 とを重畳積分して比較用のブレたデータ I_0' を得る（ステップ $S103$ ）。なお、任意の信号データ I_0 としては、縮小された原画像のデータ $SImg'$ が好ましい。

【 0 0 2 7 】

次に、処理部 4 は、 $SImg'$ と I_0' とを比較し、その差分のデータ を得る（ステップ $S104$ ）。その差分のデータ が所定値以内かを判定し（ステップ $S105$ ）、所定値以内であればステップ $S120$ へ移行し、所定値以内でなければステップ $S106$ へ移行する。ステップ $S106$ では、その差分のデータ に係数 k （変化要因情報（ PSF ）に基づいた係数）を乗じたものを I_0 に配分して、最初の復元データ I_{0+n} （今回は I_{0+1} ）を得る。ステップ $S106$ において、 I_0 に配分する際には、その配分値（更新量）の妥当性を判断する処理を行う（ステップ $S107$ ）。そして、その妥当性に応じて I_{0+n} を修正する処理を行う（ステップ $S108$ ）。次に、ステップ $S109$ に移行し、この処理が所定回数に達したか否かを判断し、所定回数（たとえば 10 回）に達したらステップ $S120$ へ移行し、所定回数に達していないときはステップ $S110$ へ移行する。

10

【 0 0 2 8 】

そして処理部 4 は、 I_{0+1} を I_0 の代わりに用いて（ステップ $S110$ ）ステップ $S103$ の処理を行い、ステップ $S103$ 、ステップ $S104$ 、ステップ $S105$ 、ステップ $S106$ 、ステップ $S107$ 、ステップ $S108$ 、ステップ $S109$ およびステップ $S110$ の処理を所定回数（今回は 10 回）繰り返す。その所定回数に達したか否かの判断をステップ $S109$ にて行う。

20

【 0 0 2 9 】

ステップ $S106$ の処理は、縮小した原画像のデータ $SImg'$ および復元データ I_{0+n} を構成する画素のデータの一部または全部を移動（配分）させる処理である。なお、ステップ $S107$ およびステップ $S108$ の詳細については後述する。

【 0 0 3 0 】

次に、ステップ $S109$ にて所定回数に達したと判断された場合は、処理部 4 は、 PSF を算出する処理を行う（ステップ $S120$ ）。その処理は、得られた復元データ I_{0+n} と縮小された原画像のデータ $SImg'$ から新たな $PSF (= P)$ を得る処理である。その処理の具体例は、得られた復元データ I_{0+n} と原画像の縮小データ $SImg'$ をそれぞれフーリエ変換し、周波数空間での割り算によって PSF の周波数特性を算出し、その周波数特性をフーリエ逆変換することによって $PSF (= P)$ を得る。

30

【 0 0 3 1 】

次に、処理部 4 は、 P のデータの中枢をなすブレの軌跡の部分（骨格部）のデータの値を 2 倍にして、骨格部を強調する処理を行う（ステップ $S121$ ）。図 3（A）は、現段階の時点で推定される PSF を $X-Y$ 平面上に示したものである。この $X-Y$ 平面は、後述する図 6 に示す信号処理装置 1 のブレが生じやすい $X-Y$ 平面に相当する。 PSF は、そのデータの中枢をなすブレの軌跡に相当する部分（骨格部）A と、その周辺のデータ値の小さな部分 B（ボケ等の部分）とからなる。この小さな値となる部分 B は、ボケの部分と考えられる。図 3（B）は、A の部分を強調する処理（ステップ $S121$ ）を行った後の PSF の状態を示している。A の骨格部分が若干強調されていることがわかる。この処理に当っては、細線化処理が採用されているが、他の強調方法を採用してもよい。この処理の結果、ステップ $S120$ で得られた P のデータは、 P' のデータとなる。その後、ステップ $S106$ における配分のための移動エネルギーが最小となるように P' の原点を設定する処理（詳細は後述する）を行う（ステップ $S122$ ）。

40

【 0 0 3 2 】

次に、処理部 4 は、 P' が妥当な PSF か否かを判断する。具体的には、処理部 4 は、ステップ $S120$ から $S122$ までの処理を 3 回繰り返したか否かを判断する（ステップ

50

S 1 2 3)。繰り返しの回数、すなわち P S F の算出回数が 3 回を満たしていなければ (N)、P' のデータを P₀ の代わりに用いて (ステップ S 1 2 4)、ステップ S 1 0 3 から S 1 1 0 までの処理を繰り返し、その後再度ステップ S 1 2 0 ~ S 1 2 2 を実行する。

【 0 0 3 3 】

そして、ステップ S 1 2 3 の判断において、P S F 算出の回数、すなわち繰り返しの回数が 3 回を満たしていれば (Y)、処理部 4 は、得られた P' のデータおよび I_{0 + n} のデータを同じ比率で拡大処理する (ステップ S 1 2 5)。この実施の形態では、最後に得られた P' と I_{0 + n} を 4 / 3 倍する。その拡大処理が予め定められていた縮小率、すなわち、原画像に対する縮小の程度に至ったか否かを判断する (ステップ S 1 2 6)。所定の縮小率に至っていないと判断すると、拡大処理した I_{0 + n} のデータを I₀ のデータの代わりに用い (ステップ S 1 2 7)、拡大処理した P' のデータを P₀ の代わりに用いる (ステップ S 1 2 4)。一方、原画像のデータを 1 / 3 に縮小した新たな縮小画像 S I m g' を得る。この 1 / 3 に縮小した画像は先に 4 / 3 倍したデータとは同じサイズの画像となる。そして、処理部 4 は、新たな各データを用い、ステップ S 1 0 3 から S 1 1 0 までの処理を繰り返し、また、ステップ S 1 2 0 から S 1 2 4 までの処理を繰り返す。この繰り返しは、ステップ S 1 2 6 で所定の縮小率、たとえば原画像データに対して 1 / 3 の縮小率に達していると判定されたときは、ステップ S 1 2 8 へ移行する。なお、ステップ S 1 2 5 では、得られた P' のデータおよび I_{0 + n} のデータを同じ比率で拡大処理しているが、拡大処理するのは P' のデータのみとし、拡大処理した I_{0 + n} のデータの代わりに任意の信号データを用い、ステップ S 1 2 5 を実行しても良い。その任意の信号データは、たとえば S I m g' のデータ等である。但し、ステップ S 1 2 5 では、本実施の形態のように得られた P' のデータおよび I_{0 + n} のデータを同じ比率で拡大処理した方が、復元処理を経た I_{0 + n} のデータを用いるため、良質な P S F を生成できる場合がある。

【 0 0 3 4 】

なお、ステップ S 1 2 5 における P' のデータの拡大処理は、処理部 4 が、隣接する信号要素の間にその隣接する信号要素の値の平均値の新たな信号要素のデータを挿入することにより行う。また、I_{0 + n} のデータの拡大処理は、処理部 4 が、隣り合う画素の間に新たな画素を挿入することにより行う。その新たな画素の画素値は、隣り合う画素の画素値を平均した値とする。この拡大処理によって所定の縮小率に達したか否かの判断は、処理部 4 がステップ S 1 2 6 で行う。拡大処理によって所定の縮小率に達したら (Y)、処理部 4 は、現段階で得られている P' を実寸大に拡大する (ステップ S 1 2 8)。すなわち、現段階で得られている P' は、実寸の 1 / 3 のものであるから、処理部 4 は、現段階で得られている P' を 3 倍に拡大する。この拡大処理も、処理部 4 が隣り合う画素の間に新たな画素を挿入することにより行う。その新たな画素の画素値は、隣り合う画素の画素値を平均した値とする。なお、ステップ S 1 0 5、S 1 2 8 の各拡大処理に当っては、上述の補間法以外に、処理部 4 が、隣り合う画素の間にその隣り合う画素の一の画素の画素値の画素を挿入することにより行う補間法を採用してもよい。

【 0 0 3 5 】

以上の処理によって、本発明の実施の形態に係る変化要因情報のデータの生成法が終了 (ステップ S 1 2 9)、P S F が生成される。この P S F は、処理部 4 によって要因情報保存部 7 に記憶され、信号の復元処理の際に用いられる。以上の過程を経て得られた P S F を「G」と表す。

【 0 0 3 6 】

(配分値の妥当性を判断する処理)

上述のステップ S 1 0 7 で行う、配分値の妥当性を判断する処理について図を用いて説明する。

【 0 0 3 7 】

図 4 および図 5 は、図 2 におけるステップ S 1 0 7 および S 1 0 8 の処理の詳細を説明するための図である。この処理の基本的な考え方は、次の通りである。この処理は、復元

10

20

30

40

50

データ I_{0+n} に対し一括して行うものではなく、復元データ I_{0+n} を構成する信号要素毎に行うものである。この点はステップ S 1 0 3 , S 1 0 5 および S 1 0 6 の信号 (画像) 全体の処理とは大きく異なる。まず、 P_0 によって一つの信号要素となる一つの画素が影響を受ける範囲の複数の画素のうち、更新によって画素値の変化が大きくなるものがある場合は、その複数の画素の範囲にエッジとなる部分が存すると考える。そのエッジとなる部分は、対応する部分の差分のデータに基づく更新量が適切な量となり難い。なぜならば、エッジ部分を跨ぐ2つの画素の画素値は、その違いが大きすぎるため、一方の画素から他方の画素へとエッジ部分を越えて画素値を配分しても、その配分は適切なものとはなりにくいためである。そこで、更新によって画素値の変化が周囲に比べ不自然に大きくなる画素については、更新量の絶対値を小さくすることで、エッジ近傍への更新量を適切なものに近づける。

10

【 0 0 3 8 】

そのためには、まず、所定の差分のデータからある画素の更新量 (D_c) を算出する (ステップ S 2 0 1)。そして、変化要因情報 G によって一つの画素が影響を及ぼす範囲の複数の画素 (一部の信号要素) およびその一つの画素との集合を参照し、その参照する各々の画素の更新前の画素値 ($= I_b$) の最小値 ($= Min$)、最大値 ($= Max$) および平均値 ($= Av$) を算出する (ステップ S 2 0 2)。なお、この一部の画素 (参照する画素) は、単純に隣接する複数の画素、あるいは所定の画素を中心としてそこから所定の距離に含まれる複数の画素としても良い。その所定の距離は、たとえば変化要因情報のデータ G を利用して決定される。

20

【 0 0 3 9 】

次に、参照する画素のうちの一つの画素 ($=$ 一つの信号要素) の更新後の画素値となるデータ ($= I_a$) を算出する (ステップ S 2 0 3)。この更新後の画素値 I_a は、ある画素に対応した差分のデータから算出した各画素毎の更新量 (D_c) を用いて更新した場合の各画素毎の画素値であり、次の (1) 式によって導かれる。

$$I_a = I_b + D_c \quad \dots \dots (1)$$

【 0 0 4 0 】

次に、修正前の更新量 (D_c) の妥当性を判断する。まず、復元データを構成する信号要素のデータとなる更新後の画素値 I_a が最小値 Min 以上であり最大値 Max 以下である場合には (ステップ S 2 0 4 の判断が「 Y 」 ($= Yes$))、その画素は、周囲の画素との画素値のバランスが自然であり、更新量 D_c は、修正せずにそのまま修正後の更新量 (D_p) とし、修正値 I_a' を得る (ステップ S 2 0 5 , S 2 1 4)。なおステップ S 2 1 4 は、修正後の更新量 D_p によって修正値 I_a' を得るステップである。図 5 の (A) に示す矢印は、ステップ S 2 0 5 およびステップ S 2 1 4 の処理を経た状態を概略的に表しており、矢印の黒丸は画素の更新前の画素値 I_b を示し、三角の矢示は D_p によって更新した後の修正値 I_a' を示し、矢印の長さは更新量 ($D_c = D_p$) を示している。左側の矢印は、修正前の更新量 D_c の値が正の値の場合、右側の矢印は、修正前の更新量 D_c の値が負の値の場合についての一例を示している。

30

【 0 0 4 1 】

そして、ステップ S 2 0 4 の判断が「 N 」 ($= No$) の場合は、ステップ S 2 0 6 へと進む。ここでは、更新後の画素値 I_a が最大値 Max を超えてしまっている場合であって更新前の画素値 I_b が平均値 Av 以下である場合には (ステップ S 2 0 6 の判断が「 Y 」 ($= Yes$))、その画素は、周囲の画素との画素値のバランスが不自然であると判断する。そして、更新量 D_c は、最大値 Max から更新前の画素値 I_b を差し引いた値 D_p へと変更される (ステップ S 2 0 7)。この結果、修正値 I_a' の画素値は、最大値 Max と等しくなる。図 5 の (B) に示す矢印は、ステップ S 2 0 7 およびステップ S 2 1 4 を経た状態を、図 5 (A) と同様に概略的に表している。左側の矢印は、 D_c によって更新した場合の I_a 、右側の矢印は、 D_p によって更新した場合の修正値 I_a' を示している。

40

【 0 0 4 2 】

50

そして、ステップS 2 0 6の判断が「N」(= N o)の場合は、ステップS 2 0 8へと進む。ここでは、更新後の画素値I aが最大値M a xを超えてしまっている場合であって更新前の画素値I bが平均値A vを超える場合には(ステップS 2 0 8の判断が「Y」(= Y e s))、その画素は、周囲の画素との画素値のバランスが不自然であると判断する。その場合、更新量D cは、以下の(2)式から得られる値D pへと変更される(ステップS 2 0 9)。この結果、修正値I a'の画素値は、更新後の画素値I aが最大値M a xをプラス側に超えた分の1 / 4を最大値M a xに加えた値となる。図5の(C)に示す矢印は、ステップS 2 0 9およびステップS 2 1 4を経た状態を、図5(B)と同様に概略的に表している。

$$D p = 0.25(I a - M a x) + (M a x - I b) \quad \dots (2)$$

10

【0043】

そして、ステップS 2 0 8の判断が「N」(= N o)の場合は、ステップS 2 1 0へと進む。ここでは、更新後の画素値I aが最小値M i n未満であって更新前の画素値I bが平均値A v以下である場合には(ステップS 2 1 0の判断が「Y」(= Y e s))、その画素は、周囲の画素との画素値のバランスが不自然であると判断する。そして、更新量D cは、以下の(3)式から得られる値D pへと変更される(ステップS 2 1 1)。この結果、修正値I a'の画素値は、更新後の画素値I aが最小値M i nをマイナス側に超えた分の1 / 4を最小値M i nから引いた値となる。図5の(D)に示す矢印は、ステップS 2 1 1およびステップS 2 1 4を経た状態を、図5(B)と同様に概略的に表している。

$$D p = -(I b - M i n) - 0.25(M i n - I a) \quad \dots (3)$$

20

【0044】

そして、ステップS 2 1 0の判断が「N」(= N o)の場合は、更新後の画素値I aが最小値M i n未満であって更新前の画素値I bが平均値A vを超えている場合となる(ステップS 2 1 2)。その場合には、その画素は、周囲の画素との画素値のバランスが不自然である。そして、更新量D cは、最小値M i nから更新前の画素値I bを差し引いた値D pへと変更される(ステップS 2 1 3)。この結果、修正値I a'の画素値は、最小値M i nと等しくなる。図5の(E)に示す矢印は、ステップS 2 1 3およびステップS 2 1 4を経た状態を、図5(B)と同様に概略的に表している。

【0045】

以上のステップS 2 0 4, S 2 0 6, S 2 0 8, S 2 1 0に示す判断の処理は、所定の基準を満たすか否かを判定する処理となる。なお、このステップS 2 0 4, S 2 0 6, S 2 0 8, S 2 1 0の判断、およびステップS 2 1 2の条件を満足するか否かを判断基準としたものの判断の順序は、適宜変更できる。その変更を行ったときも、実際に判断するのは最初から4つめまでである。その4つに該当しなかった場合は、必ず残りの条件に当てはまることとなるため、残りの条件に該当するか否かは、図4におけるステップS 2 1 2と同様に所定の基準を満たすか否かを判定する処理とはならない。

30

【0046】

このように、得られたD pを修正した更新量とし、修正値I a'が得られることとなる(ステップS 2 1 4)。この結果、ある画素が更新される(ステップS 2 1 5)。そして、全ての画素が更新されたか否かの判断を行う(ステップS 2 1 6)。その判断が「N」(= N o)の場合は、参照する画素を変更して(ステップS 2 1 7)、変更後の参照する画素(他の一部の信号要素)から所定の基準を求めるためおよび次の画素の修正値I a'を得るためにステップS 2 0 2に戻り、ステップS 2 0 2 ~ 2 1 7の処理を繰り返す。この処理では、一つの画素の更新量を修正したら、参照する画素を変更して別の一つの画素の更新量を変更している。そして、ステップS 2 1 6の判断が「Y」(= Y e s)の場合は、全ての画素の修正値I a'を用いて復元データI_{0 + n}を修正する(ステップS 2 1 8)。以上で図2におけるステップS 1 0 7, 1 0 8が終了する。

40

【0047】

(P' の原点を設定する処理)

上述の図2におけるステップS 1 2 2で行う、P'の原点を設定する処理について図を

50

用いて説明する。

【 0 0 4 8 】

要因情報保存部 7 には、上述の図 2 におけるステップ S 1 2 2 の段階のデータが保存される。すなわち、図 6 に示す信号処理装置 1 のブレと推定できるデータが要因情報保存部 7 に保存される。この図 6 には、図 1 に示す信号処理装置 1 の外観が示されている。この信号処理装置 1 の図に示す X Y Z の各方向軸を中心とした回転がブレとなるが、特に現れやすいのは X と Y の方向軸回りである。図 7 に示すブレに関するデータは、図 6 における X - Y 平面上における座標データの経時変化のデータである。そのデータは、図 7 に示す X - Y 平面で表されるようなブレの軌跡の情報およびその軌跡上の各位置にどの程度の期間とどまっていたかの情報を含む。図 7 に示す X - Y 平面の始点 A (X₁ , Y₁) は、撮影開始位置であり、軌跡の終点 B (X_N , Y_N) は、撮影終了位置である。

10

【 0 0 4 9 】

ブレによる画像の劣化は、光エネルギーが 1 点に集中せずに、光エネルギーが図 7 に示す軌跡 A - B 上に分散する現象である。よって分散した光エネルギーを 1 点に集中させることが、原画像を元画像へと復元することとなる。その光エネルギーを集中させる 1 点は、自由に決定できる。たとえば図 4 における A 点、B 点、A - B の軌跡上または A - B の軌跡を外れた点に決定できる。

【 0 0 5 0 】

ここで、分散した光エネルギーを集中させる点を「原点位置」ということとし、原点位置は、図 7 に示す X - Y 平面上の点 0 座標 (0 x , 0 y) で表すこととする。また、上述したステップ S 1 2 0 で算出した P S F の骨格部をステップ S 1 2 1 の処理で強調したデータ (P') を G (X_n , Y_n) で表すこととする。これは、各位置 (X_n , Y_n) においてどの程度の期間とどまっていたかの情報である「重さ」を示し、(4) 式を満たす。(4) 式は、光エネルギーを 1 と正規化して取り扱うことを示す。なお、(X_n , Y_n) は、図 7 に示す X - Y 平面上の座標である。

20

$$\sum_{n=1}^N G(X_n, Y_n) = 1$$

・・・ (4)

【 0 0 5 1 】

また、分散した光エネルギーを原点位置である点 0 へ集中させる移動エネルギーを E (0 x , 0 y) で表すこととする。すると分散したエネルギーを原点位置 (0 x , 0 y) に集中させる移動エネルギーは、移動距離と重さの関数で表現することができ、たとえば以下の式 (5) (n = 1 , 2 , ... N : N は分散して広がった領域数) で表わすことができる。

$$E(0x, 0y) = \sum_{n=1}^N \sqrt{\{(X_n - 0x)^2 + (Y_n - 0y)^2\}} \cdot G(X_n, Y_n)$$

・・・ (5)

【 0 0 5 2 】

そして、移動エネルギー E (0 x , 0 y) を最小値とする原点位置 (0 x , 0 y) を設定する。この設定は、処理部 4 で行われる。また、処理部 4 は、新たに原点位置が設定されたデータを、その設定の前に要因情報保存部 7 に保存されていたデータに代えて保存する。

30

40

また、より移動距離に重きを置く場合は、以下の式 (6) を用いることもできる。この (6) 式の方が平方根の計算が無く、計算が楽になる利点がある。

$$E(0x, 0y) = \sum_{n=1}^N \{(X_n - 0x)^2 + (Y_n - 0y)^2\} \cdot G(X_n, Y_n)$$

・・・ (6)

50

さらに、より計算を楽にするためには、以下の式(7)を用いることもできる。

$$E(0x, 0y) = \sum_{n=1}^N \{ |X_n - 0x| + |Y_n - 0y| \} \cdot G(X_n, Y_n)$$

・・・(7)

【0053】

(信号復元処理)

次に、以上のように構成された本実施の形態に係る信号処理装置1の処理部4の画像復元処理方法(復元手段)の概要を、図8および図9に基づいて説明する。なお、画像復元処理方法は先に説明したステップS102, S103, S104, S105, S106, S107, S108, S110の処理とほぼ同様であり、繰り返し処理となっている。

10

【0054】

ここで、原画像の元画像への復元処理を実行する時期は、撮影用の電源がオフされている時、処理部4が稼働していない時、処理部4の稼働率が低い時等、原画像を撮影した時期から遅らせた時期とすることができる。その場合には、記録部5に保存された原画像データおよび、要因情報保存部7に保存された、その原画像についての伝達関数等の変化要因情報が、それぞれが関連づけられた状態で長期間に渡り保存される。このように、原画像の復元処理を実行する時期を、原画像を撮影した時期から遅らせる利点は、種々の処理を伴う撮影時の処理部4の負担を軽減できることである。

【0055】

20

図8中、「 I_0 」は、任意の初期画像であって、処理部4の記録部に予め保存されている画像のデータである。「 I_0' 」は、その初期画像のデータの I_0 の劣化画像のデータを示し、比較のための比較用データである。「 G 」は、図2に示す処理で推定された変化要因情報(=劣化要因情報(伝達関数))のデータで、要因情報保存部7に保存されていたものを処理部4が抽出し、処理部4の記録部に保存されるものである。「 Img 」は、原画像のデータである。

【0056】

「 k 」は、原画像データ Img と、比較用データ I_0' との差分のデータである。「 I_{0+n} 」は、初期画像のデータ I_0 に、差分のデータを变化要因情報のデータ G に基づいて配分して新たに生成した復元画像のデータ(復元データ)である。「 Img 」は、元画像のデータである。ここで、 Img と Img' の関係は、次の(8)式で表されるものとする。

30

$$Img' = Img * G \quad \dots \dots (8)$$

ここで、「 $*$ 」は、重畳積分を表す演算子である。

【0057】

なお、差分のデータは、対応する画素の単純な差分でも良い場合もあるが、一般的には、変化要因情報のデータ G により異なり、次の(9)式で表される。

$$= f(Img', Img, G) \quad \dots (9)$$

【0058】

処理部4の処理ルーチンは、まず、分散した光エネルギーを集中させる原点位置を決定する(ステップS300)。この決定は、既に図2に示すステップS122で行っている。よって、この処理の詳細な説明は省略する。そして、任意の画像データ I_0 を用意する(ステップS301)。この初期画像のデータ I_0 としては、劣化している原画像のデータ Img' を用いても良く、また、黒ベタ、白ベタ、灰色ベタ、市松模様等のような画像のデータを用いても良い。ステップS302で、(8)式の Img の代わりに初期画像となる任意の画像のデータ I_0 を入れ、劣化画像である比較用データ I_0' を求める。次に、原画像データ Img' と比較用データ I_0' とを比較し、差分のデータを算出する(ステップS303)。

40

【0059】

そして、差分のデータの各々の絶対値が所定値未満であるか否かを判断する(ステッ

50

プ S 3 0 4)。ステップ S 3 0 4 で差分のデータ が所定値以上であれば、ステップ S 3 0 5 で新たな復元画像のデータ (= 復元データ) を生成する処理を行う。すなわち、個々の信号要素が得られた個々の差分のデータ を変化要因情報のデータ G に基づいて、任意の画像データ I_0 に配分し、新たな復元データ I_{0+n} を生成する。

【 0 0 6 0 】

そして、復元データ I_{0+n} を生成する際に用いる更新量 (配分値) の妥当性を判断し (ステップ S 3 0 6)、復元データ I_{0+n} を修正する (ステップ S 3 0 7)。このステップ S 3 0 6 およびステップ S 3 0 7 の処理は、上述した図 2 に示すステップ S 1 0 6、S 1 0 7 で行う、配分値の妥当性を判断し修正する処理と同様に行う。よって、この処理の詳細な説明は省略する。

10

【 0 0 6 1 】

その後、図 8 のステップ S 3 0 2 ~ S 3 0 7 を繰り返す。この繰り返しの最中の復元データ I_{0+n} は、処理が行われた途中段階の復元データとなる。ステップ S 3 0 4 において、各画素の差分のデータの各々の絶対値が所定値未満となったら、繰り返し処理を終了する。そして、繰り返し処理を終了した時点での復元データ I_{0+n} を元画像のデータ I_{img} と推定する。すなわち、各画素の差分のデータの各々の絶対値の最高値または平均値が所定値より小さくなった場合、比較用データ I_{0+n}' の元となった復元データ I_{0+n} は元画像のデータ I_{img} と非常に近似したものとなることから、その復元データ I_{0+n} を元画像のデータ I_{img} と推定するのである。なお、記録部 5 には、初期画像のデータ I_0 、変化要因情報のデータ G、を記録しておき、必要により処理部 4 に渡すようにしても良い。

20

【 0 0 6 2 】

上述した繰り返し処理方法 (復元手段) の考え方をまとめると以下ようになる。すなわち、この処理方法においては、処理の解を逆問題としては解かず、合理的な解を求める最適化問題として解くのである。逆問題として解く場合、理論上は可能であるが、現実問題としては困難である。

【 0 0 6 3 】

最適化問題として解く場合において、本実施の形態では、次のような条件を前提としている。

すなわち、

30

(1) 入力に対する出力は、一意に決まる。

(2) 出力が同じであれば、入力と同じである。

(3) 出力が同じになるように、入力を更新し、その更新量を妥当な値に修正しながら反復処理することにより、解を収束させていく。

【 0 0 6 4 】

このことを換言すれば、図 9 (A) (B) に示すように、原画像のデータ I_{img}' と近似である比較用データ I_{0}' (I_{0+n}') を生成できれば、その生成の元データとなる初期画像のデータ I_0 または復元データ I_{0+n} は、元画像のデータ I_{img} に近似したものとなる。

【 0 0 6 5 】

40

なお、この実施の形態では、差分のデータの判定基準となる値は、各データを 8 ビット (0 ~ 2 5 5) で表した場合に、この実施の形態では「 6 」としている。すなわち、6 より小さい、つまり 5 以下の時は、処理を終了している。

【 0 0 6 6 】

次に、図 8 に示す手ブレの復元処理方法 (ステップ S 3 0 2, S 3 0 3, S 3 0 4, S 3 0 5, S 3 0 6, S 3 0 7 の反復処理 (復元手段)) の詳細を、図 1 0, 図 1 1, 図 1 2, 図 1 3, 図 1 4, 図 1 5, 図 1 6 および図 1 7 に基づいて説明する。

【 0 0 6 7 】

(手ブレの復元アルゴリズム)

手ブレが無いとき、所定の画素に対応する光エネルギーは、露光時間中、その画素に集

50

中する。また、手ブレがある場合、光エネルギーは、露光時間中にブレた画素に分散する。さらに、露光時間中のブレがわかれば、露光時間中のエネルギーの分散の仕方がわかるため、ブレた画像からブレの無い画像を作ることが可能となる。

【0068】

以下、簡単のため、横一次元で説明する。画素を左から順に $S-1$, S , $S+1$, $S+2$, $S+3$, \dots , とし、ある画素 S に注目する。ブレが無いとき、露光時間中のエネルギーは、その画素に集中するため、エネルギーの集中度は「1.0」である。この状態を図10に示す。このときの撮影結果を、図11の表に示す。図11に示すものが、劣化しなかった場合の正しい画像データ Img となる。なお、各データは、8ビット(0~255)のデータで表している。

10

【0069】

露光時間中にブレがあり、露光時間中の50%の時間は S 番目の画素に、30%の時間は $S+1$ 番目の画素に、20%の時間は $S+2$ 番目の画素にそれぞれブレていたとする。エネルギーの分散の仕方は、図12に示す表のとおりとなる。これが変化要因情報のデータ G となる。

【0070】

露光時間中にブレがあり、露光時間中の50%の時間は S 番目の画素に、30%の時間は $S+1$ 番目の画素に、20%の時間は $S+2$ 番目の画素にそれぞれブレていたとする。エネルギーの分散の仕方は、図12に示す表のとおりとなる。これが変化要因情報のデータ G となる。上述の式(5)における「 N 」の値は「3」となり、「重み」としての50%、30%、および20%の総和が「1」となる。よって、この変化要因情報 G (ここでは、横一次元で考えるため、 $G(X_n)$ となる)は、上述の式(4)を満たす。

20

【0071】

この図12および式(5)に基づいて、移動エネルギー $E(0x, 0y)$ を算出する。ここでは、横一次元で考えるため、移動エネルギーは、 $E(0x)$ となる。また、移動距離は、画素一つ分の移動距離を「1」として計算する。すると、分散した光エネルギーを画素「 S 」に集中させる場合の移動エネルギーは、 $E(0x)$ は、以下のように計算され、求められる。

$$(1 \times 0) + (0 \times 0.5) + (1 \times 0.3) + (2 \times 0.2) = 0.7$$

【0072】

同様に、分散した光エネルギーを画素「 $S+1$ 」に集中させる場合の移動エネルギーは、 $E(0x)$ は、以下のように計算され、求められる。

$$(1 \times 0.5) + (0 \times 0.3) + (1 \times 0.2) = 0.7$$

30

【0073】

同様に、分散した光エネルギーを画素「 $S+2$ 」に集中させる場合の移動エネルギーは、 $E(0x)$ は、以下のように計算され、求められる。

$$(2 \times 0.5) + (1 \times 0.3) + (0 \times 0.2) = 1.3$$

【0074】

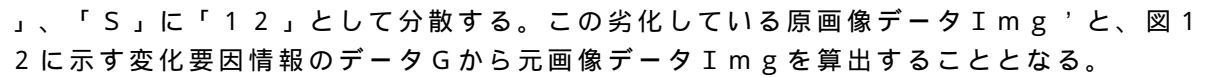
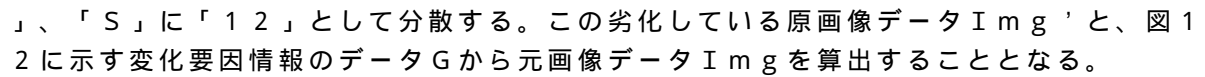
以上の結果から、図12の場合は、分散した光エネルギーを画素「 S 」または「 $S+1$ 」に集中させることで、移動エネルギーを最小値の「0.7」とすることができる。また、図12の代わりに「 $S=0.45$ 」「 $S+1=0.3$ 」「 $S+2=0.25$ 」の場合は、画素「 $S+1$ 」への移動エネルギーの総和が最も小さくなる。すなわち、画素「 S 」への移動は「0.8」となり画素「 $S+1$ 」への移動は「0.7」となり、画素「 $S+2$ 」への移動が「1.2」となるためである。以下、分散した光エネルギーを移動エネルギーが最も小さい位置、すなわち上述の図12の例で画素「 S 」へと、集中させる場合の繰り返し処理の詳細について説明する。

40

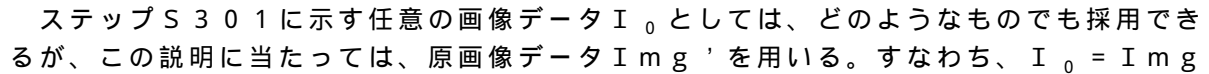
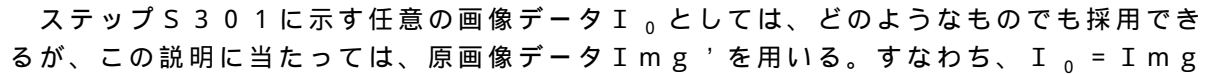
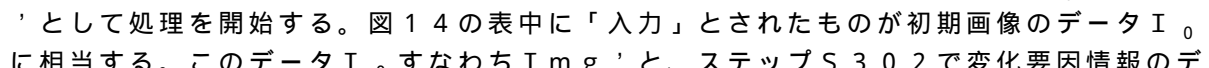
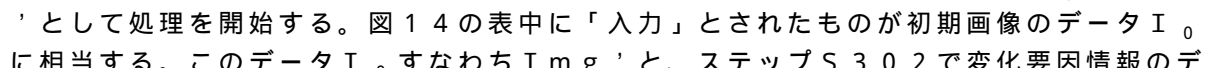
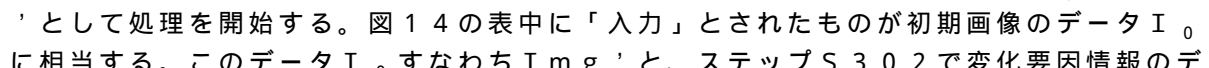
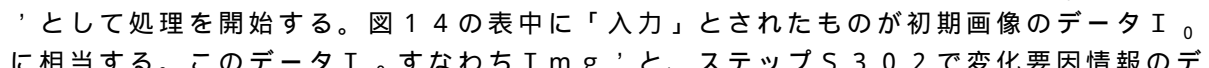
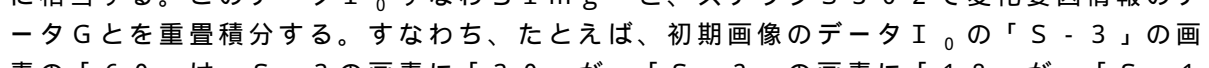
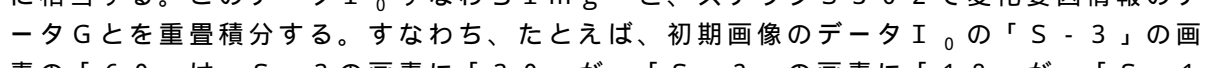
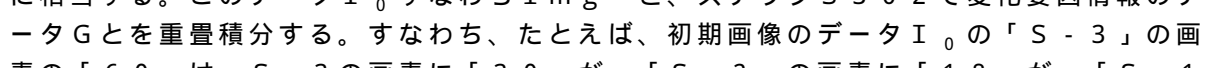
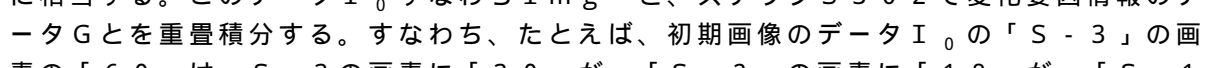
【0075】

ブレは、全ての画素で一様であり、線形問題として把握される。そして、上ブレ(縦ブレ)が無いとすると、ブレの状況は、図13に示す表のとおりとなる。図13中の「ブレ画像」として示されるデータが、劣化している原画像のデータ Img' となる。具体的に

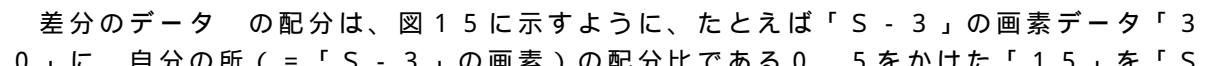
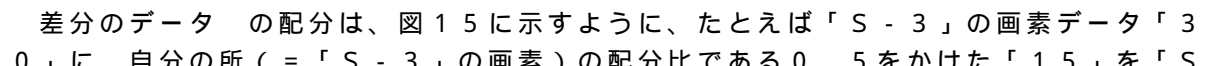
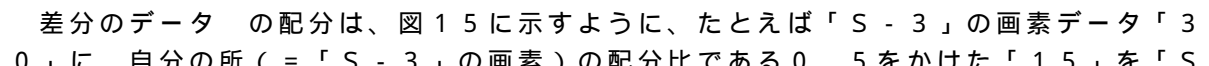
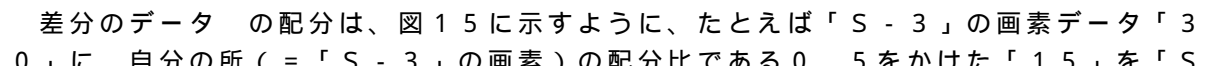
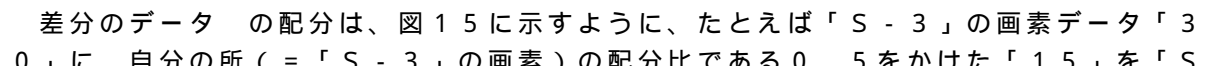
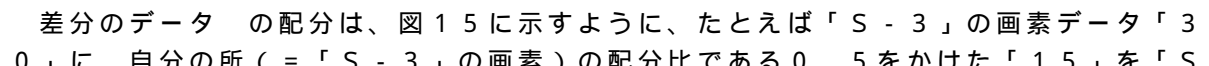
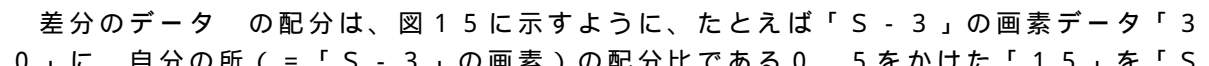
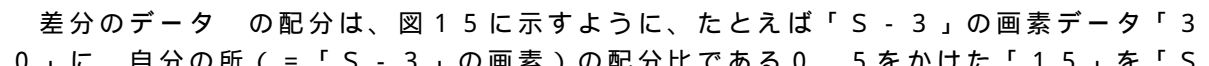
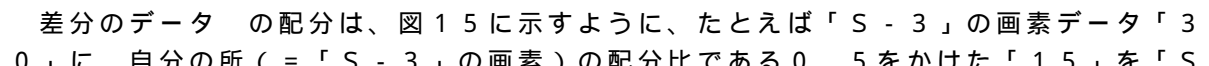
50

は、たとえば「S - 3」の画素の「120」は、ブレ情報である変化要因情報のデータGの「0.5」「0.3」「0.2」の配分比に従い、「S - 3」の画素に「60」、「S - 2」の画素に「36」、「S - 1」の画素に「24」というように分散する。同様に、「S - 2」の画素データである「60」は、「S - 2」に「30」、「S - 1」に「18」、「S」に「12」として分散する。この劣化している原画像データと、図12に示す変化要因情報のデータGから元画像データを算出することとなる。

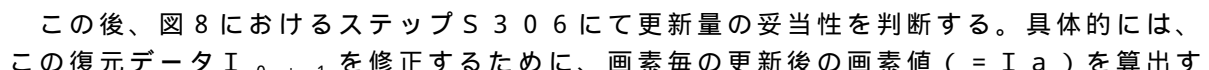
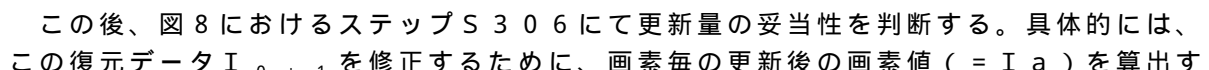
【0076】

ステップS301に示す任意の画像データとしては、どのようなものでも採用できるが、この説明に当たっては、原画像データを用いる。すなわち、 $I_0 = \text{img}$ として処理を開始する。図14の表中に「入力」とされたものが初期画像のデータに相当する。このデータすなわちと、ステップS302で変化要因情報のデータGとを重畳積分する。すなわち、たとえば、初期画像のデータの「S - 3」の画素の「60」は、S - 3の画素に「30」が、「S - 2」の画素に「18」が、「S - 1」の画素に「12」がそれぞれ割り振られる。他の画素についても同様に配分され、「出力として示される比較用データが生成される。このため、ステップS303の差分のデータは、図14の最下欄に示すようになる。この差分のデータの絶対値の最高値が所定値、たとえば10未満となるか判断する(ステップS304)、この例では「S - 3」の画素の差分のデータが30であり、ステップS304でNo(=N)となり、ステップS305へ移行する。

【0077】

差分のデータの配分は、図15に示すように、たとえば「S - 3」の画素データ「30」に、自分の所(=「S - 3」の画素)の配分比である0.5をかけた「15」を「S - 3」の画素に配分し、また「S - 2」の画素のデータ「15」にその「S - 2」の画素にきているはずの配分比である0.3をかけた「4.5」を配分し、さらに、「S - 1」の画素のデータ「9.2」に、その「S - 1」の画素にきているはずの配分比である0.2をかけた「1.84」を配分する。「S - 3」の画素に配分された総量(各画素毎の更新量Dc)は、「21.34」となり、この値を図4における初期画像のデータである、図4におけるにプラスして、図8における復元データ I_{0+1} である、図4における更新後の画素値Iaが算出される。この例では、図15に示すように更新後の画素値Iaは「81.34」となる。このように、差分のデータを変化要因情報のデータGを使用して、任意の画像のデータに配分して、図15中の「次回入力」として示される復元データ I_{0+n} を生成する。この場合、第1回目であるため、図15では、 I_{0+1} と表している。

【0078】

この後、図8におけるステップS306にて更新量の妥当性を判断する。具体的には、この復元データ I_{0+1} を修正するために、画素毎の更新後の画素値(=Ia)を算出する。この算出は、上述の通り(1)式による。そこで、差分のデータを各画素に配分する。そして、図15に示すように、各画素ごとに、参照する各々の画素の更新前の画素値(=Ib)の最小値(=Min)、最大値(=Max)および平均値(=Av)を算出する(図4におけるステップS202)。たとえば画素「S - 3」は、画素「S - 3」、画素「S - 2」および画素「S - 1」を参照している。よって、図15に示すように、画素「S - 3」、画素「S - 2」および画素「S - 1」の最小値(=Min)、最大値(=Max)および平均値(=Av)を算出する。図に示す例では、画素「S - 3」に関しては、最大値が画素「S - 1」に「82.00」で、最小値が画素「S - 3」の「66.00」となり、平均値は、画素「S - 3」「S - 2」「S - 1」の各値の合計を3で割った値で「69.33」となる。画素「S - 2」~「S + 4」についても同様の算出を行う。

【0079】

そして、IaおよびIbが図4におけるステップS204、S206、S208、S210およびS212のいずれかの条件を満足するのかを判定する。たとえば画素「S - 3」のIaは、「Min(60.00) Ia(81.34) Max(82.00)」の

10

20

30

40

50

条件を満足するため、図4におけるステップS204の条件を満足する。よって、図15に示すようにステップS205の処理を行い、Dcである更新量「21.34」をそのまま修正後の更新量Dpとして用い、修正値Ia'は、修正前のIaと等しい「81.34」となる。「S-2」～「S」、「S+2」および「S+3」の更新後の画素値Iaについても同様の修正を行う。この修正値Ia'が復元データI_{0+n}の修正値となる。

【0080】

たとえば画素「S+1」では、ステップS204、S206の条件を満足せず、ステップS208に移行する。そして、「Ib(121.00) > Av(113.33)」であり、「Ia(130.11) > Max(121.00)」の条件を満足するため、図4におけるステップS208の条件を満足することになる。よって、図15に示すようにステップS209の処理を行い、「2.28」を修正後の更新量Dpとして用い、修正値Ia'は「123.28」となる。画素「S+4」のIaについても同様の修正を行う。このIa'が復元データI_{0+n}の修正値となる。

【0081】

図16に示すように、この修正された復元データI₀₊₁(Ia')がステップS302の新たな入力画像のデータ(=初期画像のデータI₀に代わるもの)になり、ステップS302が実行され、ステップS303へと移行し、新しい差分のデータを得る。その差分のデータの大きさをステップS304で判断し、所定値より大きい場合、ステップS305で新しい差分のデータを前回の修正された復元データI₀₊₁に配分し、新しい復元データI₀₊₂を生成することとなるが、その際に、図15の説明と同様にして新しい復元データI₀₊₂を修正する(図17参照)。たとえば、画素「S-3」、「S」および「S+3」の更新後の画素値Iaについては、上述の図15における画素「S-3」と同様の修正を行う。すなわち、更新後の画素値Iaがそのまま修正値Ia'となる。

【0082】

また、たとえば画素「S+1」では、ステップS204、S206の条件を、満足せず、ステップS208に移行する。そして「Ib(121.00) > Av(116.15)」であり、「Ia(125.43) > Max(121.00)」の条件を満足するため、図4におけるステップS208の条件を満足することとなる。よって、図17に示すようにステップS209の処理を行い、上述の(2)式による値「1.106」を修正後の更新量Dpとして用い、修正値Ia'は「122.11」となる。画素「S+4」の更新後の画素値Iaについても同様の修正を行う。この修正値Ia'が復元データI_{0+n}の修正値となる。

【0083】

また、たとえば画素「S-2」では、ステップS204、S206、S208の条件を、満足せず、ステップS210に移行する。そして「Ib(77.30) > Av(87.67)」であり、「Ia(76.97) < Min(77.30)」の条件を満足するため、図4におけるステップS210の条件を満足することとなる。よって、図17に示すようにステップS211の処理を行い、上述の(3)式による値「-0.082」を修正後の更新量Dpとして用い、修正値Ia'は「77.22」となる。画素「S-1」および「S+2」の更新後の画素値Iaについても同様の修正を行う。この修正値Ia'が復元データI_{0+n}の修正値となる。

【0084】

その後、修正された復元データI₀₊₂を用いてステップS302を遂行することにより、修正された復元データI₀₊₂から新しい比較用データI₀₊₂'が生成される。このように、ステップS302、S303が実行された後、ステップS304へ行き、そこでの判断によりステップS305へ移行する。このような処理を繰り返す。

【0085】

(本実施の形態によって得られる主な効果)

本実施の形態に係る変化要因情報の生成法の処理(図2)を実行することによって、変化要因情報のデータ(PSF)が未知であっても妥当なPSFを生成でき、実用的な信号

10

20

30

40

50

復元が可能となる。よって、ブレ等を機械的に測定する速度センサまたは加速度センサをカメラ等の信号処理装置 1 の構成要素から省略することができる。また、この処理の際に、処理部 4 が、縮小処理（ステップ S 1 0 2）をすることによって、変化の大きさも縮小されることから、P S F を推定し易くなり、妥当な P S F が生成される。また、この処理の際に、処理部 4 が、拡大処理（ステップ S 1 2 5）を拡大率を徐々に大きくして繰り返し行うことによって、縮小処理を行って得た良質な P S F に基づいて大きな P S F の推定をすることができる。また、この処理の際に、処理部 4 が、配分値の妥当性を判断し修正する処理（ステップ S 1 0 7、S 1 0 8）をすることによって、配分による極端なデータの値の変化を抑制でき、より妥当な P S F が生成される。また、この処理の際に、処理部 4 が、P' の原点を再設定する処理をすることによって、配分による極端なデータの値の変化を抑制でき、より妥当な P S F が生成される。また、この処理の際に、処理部 4 が、縮小処理（ステップ S 1 0 2）を実行することによって、変化の大きさも縮小されることから、P S F を推定し易くなり、より妥当な P S F が生成される。

10

【 0 0 8 6 】

また、この処理の際に、処理部 4 が、P S F の骨格部の強調をする処理（ステップ S 1 2 1）を行うことによって、ブレに相当する変化の推定に重きを置く P S F を生成できる。また、この処理の際に、処理部 4 が、P S F 初期値をガウシアンディスクに設定することで（ステップ S 1 0 1）、変化がどのようなブレまたはボケを含んでいても、良好な P S F の推定をすることができる。

【 0 0 8 7 】

20

本実施の形態に係る信号処理装置 1 は、P S F が未知であっても妥当な P S F を生成でき、実用的な信号復元が可能である。よって、ブレ等を機械的に測定する速度センサまたは加速度センサをカメラ等は、信号処理装置 1 の構成要素から省略することができる。また、変化要因情報の生成処理の際に、縮小処理（ステップ S 1 0 2）をすることによって、変化の大きさも縮小されることから、P S F を推定し易くなり、妥当な P S F に基づいた実用的な信号復元ができる。また、変化要因情報の生成処理の際に、処理部 4 が、拡大処理（ステップ S 1 2 5）を拡大率を徐々に大きくして繰り返し行うことによって、縮小処理を行って得た良質な P S F に基づいて大きな P S F の推定をすることができ、その P S F に基づいた実用的な信号復元ができる。

【 0 0 8 8 】

30

また、信号処理装置 1 は、図 8 に示すステップ S 3 0 2 ~ ステップ S 3 0 7 を繰り返すことで、差分のデータ Δ が徐々に小さくなっていき、所定値より小さくなると、ブレしていない元画像データ I_{img} が得られる。また、このとき、修正処理（図 4、図 5）を行っているため、得られる元画像データ I_{img} と推定される画像データは、リングングの発生が軽減され、画像の復元状態が良好なものとなる。また、修正処理（図 4、図 5）によって、復元データを構成する信号要素のデータのうち、不自然と思われるものを修正し、画素値の大きな変化を抑制しているため、仮に図 2 に示す処理によって推定される変化要因情報のデータ G が信頼性の低いものであったとしても、妥当な画像の復元が可能となる。

【 0 0 8 9 】

（他の形態）

40

以上、本実施の形態における変化要因情報の生成法および信号処理装置 1 について説明したが、本発明の要旨を逸脱しない限り種々変更実施可能である。たとえば、変化要因情報の生成法においては、処理部 4 が、図 2 に示すステップ S 1 0 3 から S 1 0 8 の処理を 2 回以上繰り返しているが、1 回のみとすることができる。さらに、処理部 4 が、配分値の妥当性を判断し修正する処理（ステップ S 1 0 7、S 1 0 8）、P' の原点を再設定する処理（ステップ S 1 2 2）、拡大処理（ステップ S 1 2 5）、最終的に初期の画像データ用の P S F のデータと同じ大きさのデータとする拡大処理（ステップ S 1 2 8）および P S F の骨格部の強調をする処理（ステップ S 1 2 1）の全部または一部は、省略できる。さらに、P S F の初期値は、ガウシアンディスクに設定（ステップ S 1 0 1）せず、任意の値を設定できる。

50

【0090】

また、たとえば信号処理装置1における信号復元処理には、図8に示す処理を採用しているが、他の処理、たとえばウィナーフィルタを用いる処理等を採用できる。また、図8に示す処理を採用する場合でも、原点位置を設定する処理（ステップS300）および更新量の妥当性を判断し修正する処理（ステップS306、S307）の双方または一方は、省略することができる。さらに更新量の妥当性を判断し修正する処理（ステップS306、S307）を採用する場合でも、復元データ I_{0+n} を修正する方法は、図4および図5に示す方法に限定されない。特に図4に示すステップS204、S206、S208、S210およびS212における場合分け、ステップS205、S207、S209、S211およびS213における差分のデータを修正する方法は、それぞれ適宜変更することができる。

10

【0091】

また、処理部4が、図2に示すステップS103からS108の処理を10回繰り返すこととしており、また、ステップS123において、ステップS103からS122までを繰り返すこととしているが、処理部4の処理速度の状況等によってそれらの回数を増減できる。また、信号処理装置1のユーザがそれらの回数を任意に設定できることとしても良い。さらに、縮小処理（ステップS102）および拡大処理（ステップS125）の画像の大きさの比率、拡大処理（ステップS125）の画像の大きさの比率の変更回数は、復元画像の画質等によってそれらの回数を増減できる。

20

【0092】

また、縮小処理（ステップS102）および拡大処理（ステップS125）における縮小・拡大の仕方は、画素の間引き・隣り合う画素の画素値を平均した値の新たな画素の挿入によって行っている。しかし、他の手段、たとえば隣接する複数の画素の平均画素値の画素をその複数の画素の代わりに用いる縮小処理、隣り合う画素の画素値をそのまま新たな画素の画素値としてその新たな画素を挿入することによって拡大処理を行っても良い。さらに、PSFの骨格部の強調をする処理（ステップS121）において、骨格部のデータの値を2倍にしているが、1.5倍、3倍、4倍、または5倍等としても良い。

【0093】

また、処理部4は、最終的に初期画像用のPSFのデータと同じ大きさのデータとする拡大処理（ステップS128）を行っている。しかしこの処理によって初期画像用のPSFのデータと同じ大きさのデータとする必要はなく、初期画像用のPSFのデータと異なる大きさのデータへと拡大処理することができる。

30

【0094】

また、処理部4は、PSFを算出する処理を行い（ステップS120）、その処理は、得られた復元データ I_{0+n} と原画像のデータ $I_{mg'}$ をそれぞれフーリエ変換し、周波数空間での割り算によってPSFの周波数特性を算出し、その周波数特性をフーリエ逆変換することによってPSF(=P)を得るものである。しかし、他の手段によって、得られる復元データ I_{0+n} と原画像のデータ $I_{mg'}$ から新たなPSF(=P)を得る処理を採用できる。

【0095】

更新量の妥当性を判断し修正する処理（ステップS306、S307）においては、たとえば、参照する画素としては、影響を及ぼす範囲（影響範囲）のもの以外に、その影響範囲を囲む画素一つ分大きくした範囲としたり、修正しようとする画素を中心として所定の距離の範囲としても良い。また、所定の基準としては、参照する画素の最大値、最小値、平均値を利用したものではなく、最大値と最小値のみを利用し、修正値を最大・最小を超えた分の $1/4$ や $1/3$ の値を最大値や最小値に付加するようにしても良い。また、上限を最大値の1.2倍、下限を最小値の0.8倍とし、その範囲に入れば、修正しないようにしても良い。すなわち、最大値のX倍、最小値のY倍の範囲に更新後の画素値 I_a が入れば修正しないようにしても良い。

40

【0096】

50

本実施の形態に係る繰り返し処理では、処理部 4 は、図 2 におけるステップ S 1 0 5 や図 8 におけるステップ S 3 0 4 の一旦得た画像を再度処理するかの判断では、画像を構成する複数の各画素毎の差分のデータ、の絶対値が全て所定値未満または絶対値の平均値が所定値未満であるか否かを判断し、画像全体の処理を行うか判断している。しかし、所定値との比較の対象を、画像を構成する複数の各画素毎の差分のデータとし、各画素毎に繰り返し処理を停止するか否かを判断するようにしたりしても良い。また、所定値との比較対象を、各画素の差分のデータの総和、もしくは各画素の差分のデータ、の絶対値の総和、または以上の 4 つのうちの 2 つ以上とすることができる。たとえば、各画素毎の差分のデータ、の中で零から最も離れた値と、各画素毎の差分のデータの総和の値とが、別々の基準を共に満たすか否かを判断するようにしても良い。このように、所定値と比較する値を適宜選択することで、原画像の種類、変化の状態または復元処理の状況に応じて、適切な処理を行うことができる。

10

【 0 0 9 7 】

上述の実施の形態では、復元対象を画像データとしている。しかし、これらの復元処理の考え方および手法は、あらゆるデジタルデータの復元処理に適用できる。たとえば、デジタルの音声データの復元等への適用が可能である。その適用の結果、リンギングのように一部に不正確な音声データ等が発生することを効率よく抑制でき、また変化要因情報のデータが不正確であっても、妥当な結果が得られる復元処理が可能となる。

【 0 0 9 8 】

また、上述の実施の形態では、信号処理装置 1 を民生用のカメラとしているが、信号処理装置 1 は、デジタルカメラ等で撮影した画像のデータを図 2、図 4、図 8 および図 9 等に示す処理の一つまたは複数を実行した上で印刷するプリンタ機器としても良い。また、信号処理装置 1 は、プリンタ機器に対して図 2、図 4、図 8 および図 9 等に示す処理の一つまたは複数を実行させつつ操作するソフトウェアがインストールされたコンピュータ、さらには図 2、図 4、図 8 および図 9 等に示す処理の一つまたは複数を実行するソフトウェアがインストールされたコンピュータ等としても良い。

20

【 0 0 9 9 】

また、上述した各処理方法は、プログラム化されても良い。また、プログラム化されたものが記憶媒体、たとえば CD、DVD、USB メモリに入れられ、コンピュータによって読みとり可能とされても良い。この場合、信号処理装置 1 は、その記憶媒体内のプログラム化されたものが信号処理装置 1 の外部サーバに入れられ、必要によりダウンロードされ、使用されるようにしても良い。この場合、信号処理装置 1 は、その記憶媒体内のプログラムをダウンロードする通信手段を持つこととなる。

30

【 0 1 0 0 】

図 2、図 4、図 8 等に示す復元処理方法においては、処理部 4 で行った処理をソフトウェアで構成しているが、それぞれ、一部の処理を分担して行うようにした部品からなるハードウェアで構成しても良い。また、変化要因情報のデータ G としては、劣化要因情報のデータのみではなく、単に画像を変化させる情報や、劣化とは逆に、画像を良くする情報を含むものとする。

【 0 1 0 1 】

40

また、処理の反復回数（ステップ S 1 0 9，ステップ S 1 2 3，ステップ S 3 0 4）が信号処理装置 1 側で自動的にまたは固定的に設定されている場合、その設定された回数を P S F の値（P，P'）や変化要因情報のデータ G によって変更するようにしても良い。たとえば、ある画素のデータがブレにより多数の画素に分散している場合は、反復回数を多くし、分散が少ない場合は反復回数を少なくするようにしても良い。

【 0 1 0 2 】

さらに、反復処理中に、差分のデータ、が発散してきたり、エネルギーが移動した後の画像データのエネルギーが小さくならず大きくなってきたら、処理を中止させるようにしても良い。発散しているか否かは、たとえば差分のデータ、の平均値を見てその平均値が前回より大きくなったら発散していると判断する方法を採用できる。また、反復

50

処理中に、入力を異常な値に変更しようとしたときには、処理を中止させるようにしても良い。たとえば8ビットの場合、変更されようとする値が255を超える値であるときには、処理を中止させる。また、反復処理中、新たなデータである入力を異常な値に変更しようとしたとき、その値を使用せず、正常な値とするようにしても良い。たとえば、8ビットの0～255の中で、255を超える値を入力データしようとした際は、マックスの値である255として処理するようにする。

【0103】

また、出力画像となる復元データを生成する際、PSFの値(P , P')や変化要因情報のデータGによっては、復元させようとする画像の領域外へ出てしまうようなデータが発生する場合がある。このような場合、領域外へはみ出るデータは反対側へ入れる。また、領域外から入ってくるべきデータがある場合は、そのデータは反対側から持ってくるようにするのが好ましい。

10

【実施例】

【0104】

表1に、上述の各処理を実行した復元画像の評価を示す。撮影されブレなどにより劣化したままの画像(Img')を従来例とする。図2に示した処理によって得られたPSFのデータを用い、図8に示した処理によって信号を復元して得た画像を実施例1とする。図2に示した処理から、表1に示す所定のステップを省略して得られたPSFのデータを用い、図8に示した処理から、表1に示す所定のステップを省略して信号を復元して得た画像を実施例2から12とする。なお、実施例12は、図8の処理に代えて、画像復元処理にウィナーフィルタを用いた画像である。また、比較例1として、図2の処理を行わず、代わりに速度センサによってブレを測定してPSFとしたものの画像についても検討した。さらに、比較例2として、縮小処理(ステップS102)および拡大処理(ステップS125、S126)を省略した画像についても検討した。

20

【0105】

【表 1】

	図2から 省略した ステップ	図8から 省略した ステップ	ブレの有無	リングング の有無	ボケの有無
従来例	全て	全て	有り	無し	有り
実施例 1	無し	無し	無し	無し	無し
実施例 2	S 1 0 9	無し	若干有り	無し	若干有り
実施例 3	S 1 0 7 S 1 0 8 S 1 2 2	無し	若干有り	無し	若干有り
実施例 4	S 1 0 7 S 1 0 8	無し	無し	無し	無し
実施例 5	S 1 2 2	無し	無し	無し	無し
実施例 6	S 1 0 2 S 1 2 5 S 1 2 6	無し	若干有り	無し	若干有り
実施例 7	S 1 2 3	無し	若干有り	無し	若干有り
実施例 8	S 1 2 1	無し	若干有り	無し	無し
実施例 9	無し	S 3 0 0 S 3 0 6 S 3 0 7	無し	有り	無し
実施例 1 0	無し	S 3 0 0	無し	無し	無し
実施例 1 1	無し	S 3 0 6 S 3 0 7	無し	若干有り	無し
実施例 1 2	無し	全て (代替処理 有り)	若干有り	有り	若干有り
比較例	全て (速度 センサによ ってブレを 測定)	無し	若干有り	無し	有り

【 0 1 0 6 】

従来例および実施例 1 から 1 2 ならびに比較例の画像について、「ブレの有無」「リングングの有無」「ボケ（いわゆるピンボケ）の有無」について目視による検査を行った。その検査結果を表 1 に併せて示す。検査を行った者は、色弱、色盲ではなく視力が両目とも 1 . 0 の者である。「有り」と判断する場合は、一見してブレ等があると判断できたものである。「若干有り」と判断する場合は、5 秒以下目視して、他の画像と比較しながらブレ等が有ることが判断できるものである。「無い」と判断する場合は、5 秒を超えて目視して、他の画像と比較しながらブレ等が無いことが判断できるものである。画像の種類は、風景および人物の 2 種類である。画像は、市販のカラープリンターで印刷したもので、印刷条件による画像への影響を排除して印刷したものである。

【 0 1 0 7 】

従来例は、劣化している画像であるため、ブレおよびボケが明確に確認できた。実施例 1 は、ブレ、リングング、ボケが共に確認されなかった。ブレが消えていたのは、P S F の中枢をなすブレ情報に相当する情報（図 3 の A の部分）が妥当なものだったためと考えられる。ボケが消えていたのは、P S F の中枢をなすブレ情報に相当する情報以外の情報（図 3 の B の部分）による作用と考えられる。比較例では、図 3 の B の部分の P S F を得ることができないため、この作用が得られておらず、ボケを消すことはできていない。

【 0 1 0 8 】

実施例 2 は、図 2 におけるステップ S 1 0 3 から S 1 0 8 の過程を 1 回のみとした画像である。この画像は、従来例の画像よりもブレおよびボケが改善されていた。なお、図 2 におけるステップ S 1 0 3 から S 1 0 8 の過程の繰り返し数は、多い程ブレおよびボケがより改善される傾向がみられた。

【 0 1 0 9 】

実施例 3 は、図 2 におけるステップ S 1 0 7、S 1 0 8、S 1 2 2 を省略して処理した画像である。この画像は、従来例の画像よりもブレおよびボケが改善されていた。

【 0 1 1 0 】

実施例 4 は、図 2 におけるステップ S 1 0 7、S 1 0 8 を省略して処理した画像である。実施例 5 は、図 2 におけるステップ S 1 2 2 を省略して処理した画像である。これらの画像は、ブレおよびボケが観測されなかった。

【 0 1 1 1 】

実施例 6 は、図 2 におけるステップ S 1 2 5、S 1 2 6 を省略して、徐々に画像を拡大処理せずに処理した画像である。実施例 7 は、図 2 におけるステップ S 1 2 3 を省略し、繰り返しの回数を 1 回として処理した画像である。これらの画像は、従来例の画像よりもブレおよびボケが改善されていた。

【 0 1 1 2 】

実施例 8 は、図 2 におけるステップ S 1 2 1 を省略して処理した画像である。この画像は、ブレが若干観測されたが、ボケは、ブレに起因するものを除き観測されなかった。なお、このボケを消す効果をより得るためには、図 2 におけるステップ S 1 2 1 の処理を省略または軽減する（たとえば骨格部のデータを 1 . 5 倍にする等）。そして、ブレを消す効果をより得るためには、図 2 におけるステップ S 1 2 1 の処理をより強調する（たとえば骨格部のデータを 3 倍にする等）。

【 0 1 1 3 】

実施例 9 は、図 8 におけるステップ S 3 0 0、S 3 0 6、S 3 0 7 を省略して処理した画像である。この画像は、ブレおよびボケは観測されなかったが、リングングが観測された。しかし、図 8 におけるステップ S 3 0 0、S 3 0 6、S 3 0 7 を省略した繰り返し処理を極めて多数回（たとえば 1 0 0 回以上）行うことによって、そのリングングの発生が軽減されまたは観測されないことが確認された。

【 0 1 1 4 】

実施例 1 0 は、図 8 におけるステップ S 3 0 0 を省略して処理した画像であり、実施例 1 1 は、図 8 におけるステップ S 3 0 6、S 3 0 7 を省略して処理した画像である。これらの画像は、ブレおよびボケは観測されず、リングングも観測されなかった。すなわち、原点位置を決定する処理（ステップ S 3 0 0）、更新量の妥当性を判断し I_{0+n} を修正する処理（ステップ S 3 0 6、S 3 0 7）のいずれかを実行することによって、リングングの発生を抑制できることがわかった。また、ステップ S 3 0 6、S 3 0 7 によるリングング抑制効果は、ステップ S 3 0 0 の処理によるリングング抑制効果よりも若干優れていることがわかった。

【 0 1 1 5 】

実施例 1 2 は、図 8 における全ての処理を省略し、代わりにウィナーフィルタにて画像の復元処理した画像である。この画像は、従来例にくらべブレおよびボケが改善されていたが、リングングが観測された。

【 0 1 1 6 】

比較例 2 は、図 2 におけるステップ S 1 0 2 および拡大処理（ステップ S 1 2 5、S 1 2 6）を省略して処理した画像である。この画像は、ブレおよびボケが若干観測された。

【 0 1 1 7 】

次に、図 8 におけるステップ S 3 0 6、S 3 0 7 を省略し、なおかつステップ S 3 0 0 の条件を変更した処理について検討した。図 1 2 の変形例となる画素「S」が 0 . 8 5、画素「S + 1」が 0 . 3、画素「S + 2」が 0 . 2 5 の場合、画素「S」、「S + 1」、

10

20

30

40

50

「 $S + 2$ 」に分散した光エネルギーを各々集中させ原点位置とし、図 8 に示す繰り返し処理を行った。それらの各場合の復元画像を目視で観察し、リングングの有無を判定した。また、式 (5) の計算範囲である「 $N = 3$ 」を若干拡大し、分散した光エネルギーを図 9 における画素「 $S - 1$ 」、「 $S + 3$ 」に各々集中させ原点位置とし、図 8 に示す繰り返し処理を行った場合の、復元画像のリングングの有無を同様に判定した。表 2 に判定結果を示した。

【0118】

なお、分散した光エネルギーを画素「 $S - 1$ 」に集中させる場合の移動エネルギーは、画素「 S 」、「 $S + 1$ 」、「 $S + 2$ 」の場合と略同様に以下のように計算され、求められる。

$$(0 \times 0) + (1 \times 0.45) + (2 \times 0.3) + (3 \times 0.25) + (4 \times 0) = 1.80$$

また、同様に、分散した光エネルギーを画素「 $S + 3$ 」に集中させる場合の移動エネルギーは、以下のように計算され、求められる。

$$(4 \times 0) + (3 \times 0.45) + (2 \times 0.3) + (1 \times 0.25) + (0 \times 0) = 2.20$$

【0119】

【表 2】

光エネルギー集中画素	$S - 1$	S	$S + 1$	$S + 2$	$S + 3$
移動エネルギー値	1.80	0.80	0.70	1.20	2.20
リングングの有無	有り	無し	無し	有り	有り

【0120】

表 2 の結果および多数の他の例から、移動エネルギー値が所定値を超えるとリングングが観測され、移動エネルギー値を所定値以内に抑えるとリングングの発生を抑えることができることがわかった。すなわち、式 (5) から導かれる移動エネルギーの総和の最小値を Min としたとき、その移動エネルギーが Min を超えた場合であっても $Min \times 1.2$ 以下となる値であればリングングの発生を従来に比べかなり抑えることができた。

【0121】

表 2 に示すような、図 8 における $S300$ の条件を変更した処理は、種々変更実施可能である。たとえば、移動エネルギー $E(0x, 0y)$ の総和を最小とする原点位置 $(0x, 0y)$ を設定しているが、移動エネルギー $E(0x, 0y)$ の最小値を超え、所定値以下となる原点位置 $(0x, 0y)$ を設定しても良い。図 12 の変形例である「 $S = 0.45$ 」「 $S + 1 = 0.3$ 」「 $S + 2 = 0.25$ 」の場合、移動エネルギーが最も小さい画素「 $S + 1$ 」ではなく、画素「 S 」を原点位置 $(0x, 0y)$ としても良い。このときの各移動エネルギーは、画素「 S 」が 0.8、画素「 $S + 1$ 」が 0.7、画素「 $S + 2$ 」が 1.2 となる。画素「 S 」は最小値である 0.7 に 1.2 を乗じた値である 0.84 より小さい値となっている。

【0122】

また、本実施例では原点位置を図 7 における $X - Y$ 平面的いづれかの位置としている。よって、原点位置は、図 7 の $A - B$ の軌跡上の範囲内で決定するものとしても良い。すなわち、たとえば図 7 における $A - B$ の軌跡上の範囲内である図 12 における画素「 S 」「 $S + 1$ 」「 $S + 2$ 」のいずれかとする、または画素「 $S - 1$ 」もしくは「 $S + 3$ 」を原点位置とすることが、移動エネルギーの総和を小さくするのであれば、そのようにすることが好ましい。また、図 7 の $X - Y$ 平面で表されるブレの軌跡を X 軸または Y 軸に投影したものをブレの軌跡とし、その軌跡上で移動エネルギーの最小値や上述の実施例のよう

10

20

30

40

50

な値となる位置を求めるようにしても良い。また、各実施の形態で得られた変化要因情報のデータは、本実施の形態で示した繰り返し処理での信号復元以外に、既知のブレ画像とこの変化要因情報とを使った逆畳み込み計算による信号復元等、他の信号復元方法にも利用できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 2 3 】

【図 1】本発明の実施の形態に係る信号処理装置の主要構成を示すブロック図である。

【図 2】図 1 に示す信号処理装置の処理部で行う変化要因情報のデータの生成法に係る処理ルーチンを説明するための処理フロー図である。

【図 3】図 2 に示す P S F の骨格部を強調する処理を説明する図で、(A) は、その処理の前に推定される P S F、(B) は、その処理の後に推定される P S F の一例を示している。

10

【図 4】図 2 に示す更新量の妥当性判断および復元データを修正する処理ルーチンを説明するためのフロー図である。

【図 5】図 4 に示す処理フローに係る修正を行う前後の更新量の一例を概略化して示す図である。

【図 6】図 1 に示す信号処理装置の概要を示す外観斜視図で、図 7 における X - Y 平面が信号処理装置 1 のどの平面を示しているかを説明するための図である。

【図 7】図 2 に示す変化要因情報のデータの生成法に係る処理ルーチンのステップ S 1 1 2 の処理を説明する図で、X - Y 平面で表されるブレの軌跡を示す図である。

20

【図 8】図 1 に示す信号処理装置の処理部で行う画像復元処理方法（反復処理）に係る処理ルーチンを説明するための処理フロー図である。

【図 9】図 8 に示す処理方法の概念を説明するための図である。

【図 1 0】図 8 に示す処理方法を、手ブレを例にして具体的に説明するための図で、手ブレのないときのエネルギーの集中を示す表である。

【図 1 1】図 8 に示す処理方法を、手ブレを例にして具体的に説明するための図で、手ブレのないときの画像データを示す図である。

【図 1 2】図 8 に示す処理方法を、手ブレを例にして具体的に説明するための図で、手ブレが生じたときのエネルギーの分散を示す図である。

【図 1 3】図 8 に示す処理方法を、手ブレを例にして具体的に説明するための図で、任意の画像から比較用データを生成する状況を説明するための図である。

30

【図 1 4】図 8 に示す処理方法を、手ブレを例にして具体的に説明するための図で、比較用データと、処理対象となるブレた原画像とを比較して、差分のデータを生成する状況を説明するための図である。

【図 1 5】図 8 に示す処理方法を、手ブレを例にして具体的に説明するための図で、差分のデータを配分し任意の画像に加えることで復元データを生成する状況を説明するための図である。

【図 1 6】図 8 に示す処理方法を、手ブレを例にして具体的に説明するための図で、生成された復元データから新たな比較用データを生成し、そのデータと処理対象となるブレた原画像とを比較して差分のデータを生成する状況を説明するための図である。

40

【図 1 7】図 8 に示す処理方法を、手ブレを例にして具体的に説明するための図で、新たに生成された差分のデータを配分し、新たな復元データを生成する状況を説明するための図である。

【符号の説明】

【 0 1 2 4 】

1 信号処理装置

4 処理部

S 1 0 1 最初の変化要因情報のデータ（を設定する処理）

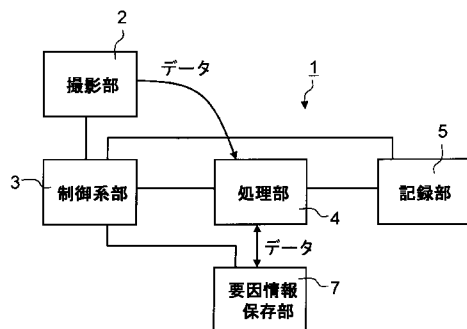
I o 初期画像のデータ（任意の信号データ）

I o ' 比較用データ

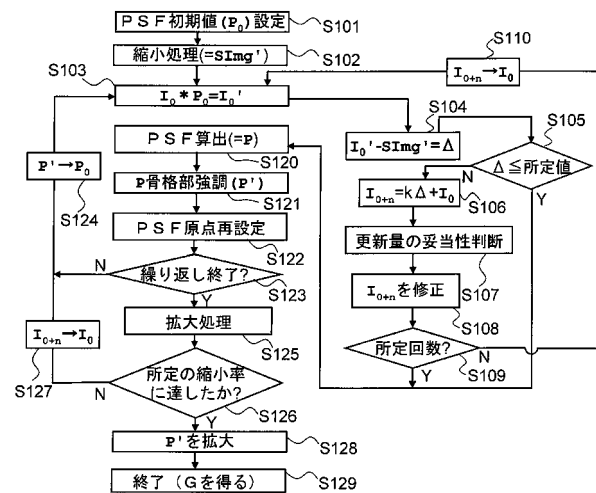
50

G 変化要因情報のデータ
 I_{img}' 原画像のデータ（原信号のデータ）
 $S I_{img}'$ 縮小された原画像のデータ
 I_{0+n} 復元データ
 I_{img} 元画像（元信号）
 Δ 差分のデータ
 P_0 縮小データ

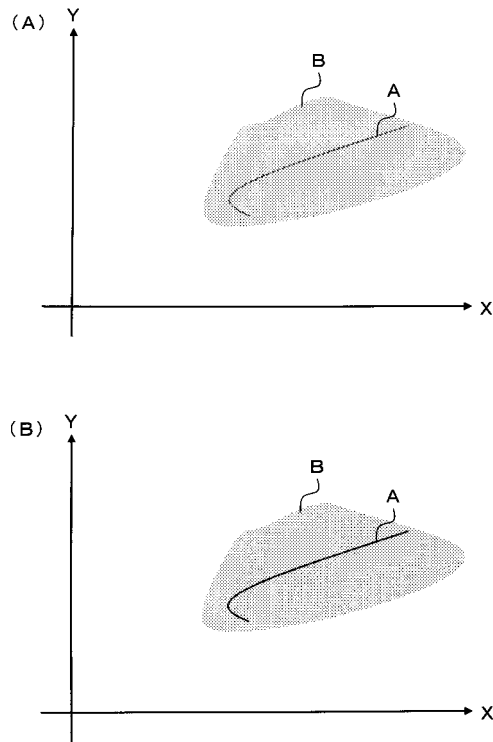
【図 1】



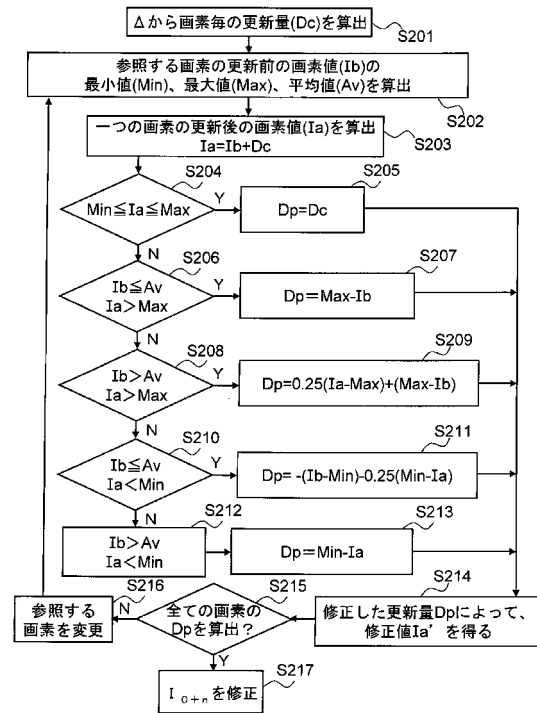
【図 2】



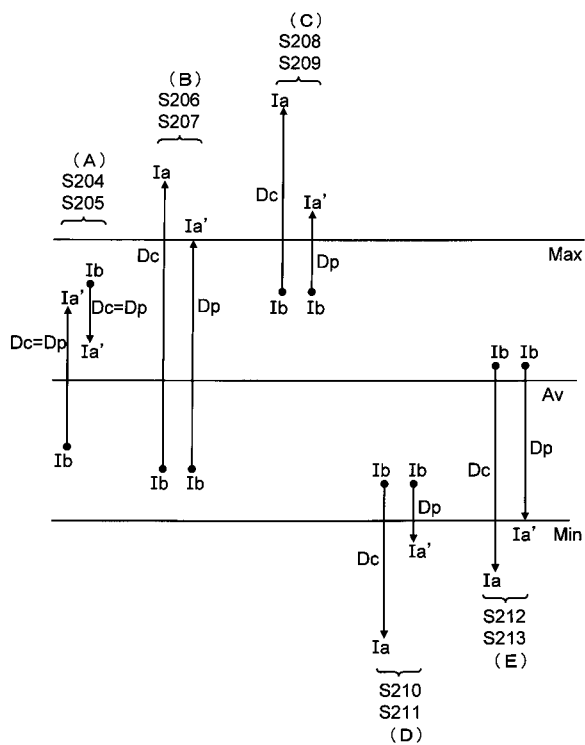
【図 3】



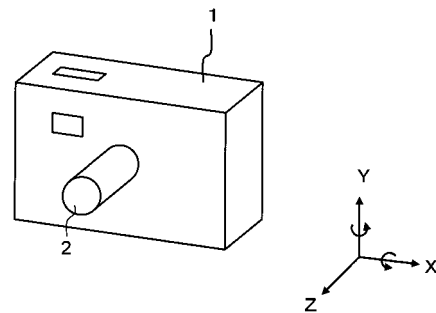
【図 4】



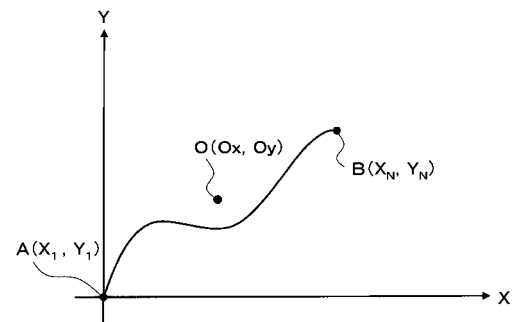
【図 5】



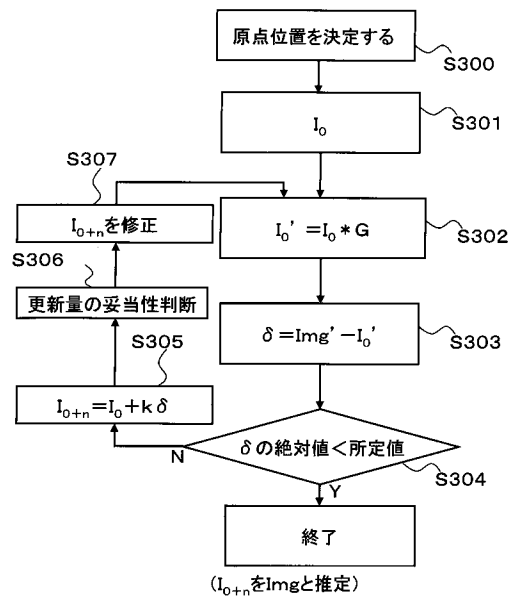
【図 6】



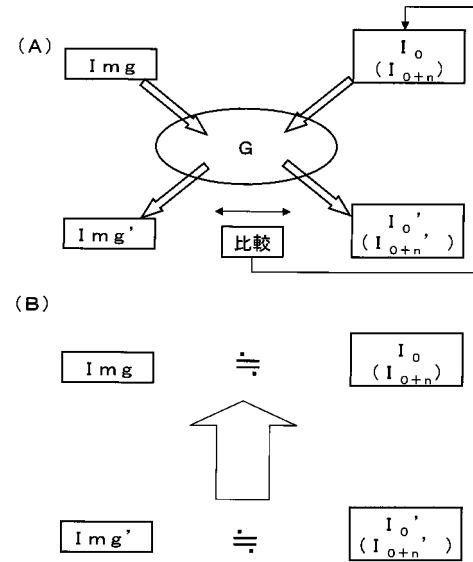
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【図 10】

画素	S-1	S	S+1	S+2	S+3
強度分布	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0

【図 11】

画素	S-3	S-2	S-1	S	S+1	S+2	S+3	S+4
撮影結果	120	60	80	100	150	80	120	180

【図 12】

画素	S-1	S	S+1	S+2	S+3
強度分布	0	0.5	0.3	0.2	0

【図 13】

画素	S-3	S-2	S-1	S	S+1	S+2	S+3	S+4
元画像	120	60	80	100	150	80	120	180
S-3ぶれ	60	36	24	0	0	0	0	0
S-2ぶれ	0	30	18	12	0	0	0	0
S-1ぶれ	0	0	40	24	16	0	0	0
Sぶれ	0	0	0	50	30	20	0	0
S+1ぶれ	0	0	0	0	75	45	30	0
S+2ぶれ	0	0	0	0	0	40	24	16
S+3ぶれ	0	0	0	0	0	0	60	36
S+4ぶれ	0	0	0	0	0	0	0	90
ぶれ画像	60	66	82	86	121	105	114	142

【図 14】

画素	S-3	S-2	S-1	S	S+1	S+2	S+3	S+4
入力I ₀	60.00	66.00	82.00	86.00	121.00	105.00	114.00	142.00
S-3ぶれ	30.00	18.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S-2ぶれ	0.00	33.00	19.80	13.20	0.00	0.00	0.00	0.00
S-1ぶれ	0.00	0.00	41.00	24.60	16.40	0.00	0.00	0.00
Sぶれ	0.00	0.00	0.00	43.00	25.80	17.20	0.00	0.00
S+1ぶれ	0.00	0.00	0.00	0.00	60.50	36.30	24.20	0.00
S+2ぶれ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.50	31.50	21.00
S+3ぶれ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.00	34.20
S+4ぶれ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.00
出力I ₀ '	30.00	51.00	72.80	80.80	102.70	106.00	112.70	126.20
ぶれ画像	60.00	66.00	82.00	86.00	121.00	105.00	114.00	142.00
差分δ	30.00	15.00	9.20	5.20	18.30	-1.00	1.30	15.80

【図 15】

画素	S-3	S-2	S-1	S	S+1	S+2	S+3	S+4
出力I ₀ '	30.00	51.00	72.80	80.80	102.70	106.00	112.70	126.20
差分δ	30.00	15.00	9.20	5.20	18.30	-1.00	1.30	15.80
S-3配分	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S-2配分	4.50	2.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S-1配分	1.84	2.76	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S配分	0.00	1.04	1.58	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00
S+1配分	0.00	0.00	3.88	5.49	9.15	0.00	0.00	0.00
S+2配分	0.00	0.00	0.00	-0.20	-0.30	-0.50	0.00	0.00
S+3配分	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.39	0.65	0.00
S+4配分	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.18	4.74	7.90
更新量(Dc)	21.34	11.30	9.82	7.89	9.11	3.05	5.39	7.90
今回入力I ₀ (Ib)	60.00	66.00	82.00	86.00	121.00	105.00	114.00	142.00
次回入力I ₀₊₁ (Ia)	81.34	77.30	91.82	93.89	130.11	108.05	119.39	149.90
Max	82.00	86.00	121.00	121.00	121.00	142.00	142.00	142.00
Av	69.33	78.00	96.33	104.00	113.33	120.33	128.00	142.00
Min	60.00	66.00	82.00	86.00	105.00	105.00	114.00	142.00
修正後の更新量(Dp)	21.34	11.30	9.82	7.89	0.00	3.05	5.39	0.00
修正後の画素データ(Ia')	81.34	77.30	91.82	93.89	121.00	108.05	119.39	142.00
処理	S205	S205	S205	S205	S207	S205	S205	S207

【図 16】

画素	S-3	S-2	S-1	S	S+1	S+2	S+3	S+4
入力 l_{0+1}	81.34	77.30	91.82	93.89	121.00	108.05	119.39	142.00
S-3ぶれ	40.67	24.40	16.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S-2ぶれ	0.00	38.65	23.19	15.46	0.00	0.00	0.00	0.00
S-1ぶれ	0.00	0.00	45.91	27.55	18.36	0.00	0.00	0.00
Sぶれ	0.00	0.00	0.00	46.95	28.17	18.78	0.00	0.00
S+1ぶれ	0.00	0.00	0.00	0.00	60.50	36.30	24.20	0.00
S+2ぶれ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.03	32.42	21.61
S+3ぶれ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.70	35.82
S+4ぶれ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.00
出力 l_0'	40.67	63.05	85.37	89.95	107.03	109.10	116.31	128.43
ぶれ画像 img'	60.00	66.00	82.00	86.00	121.00	105.00	114.00	142.00
差分 δ	19.33	2.95	-3.37	-3.95	13.97	-4.10	-2.31	13.57

【図 17】

画素	S-3	S-2	S-1	S	S+1	S+2	S+3	S+4
出力 l_0'	40.67	63.05	85.37	89.95	107.03	109.10	116.31	128.43
差分 δ	19.33	2.95	-3.37	-3.95	13.97	-4.10	-2.31	13.57
S-3配分	9.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S-2配分	0.88	1.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S-1配分	-0.67	-1.01	-1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S配分	0.00	-0.79	-1.19	-1.98	0.00	0.00	0.00	0.00
S+1配分	0.00	0.00	2.79	4.19	6.98	0.00	0.00	0.00
S+2配分	0.00	0.00	0.00	-0.82	-1.23	-2.05	0.00	0.00
S+3配分	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.46	-0.69	-1.16	0.00
S+4配分	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.71	4.07	6.79
更新量(Dc)	9.88	-0.33	-0.08	1.39	5.29	-0.03	2.92	6.79
今回入力 $l_{0+1}(lb)$	81.34	77.30	91.82	93.89	121.00	108.05	119.39	142.00
次回入力 $l_{0+1}(la)$	91.22	76.97	91.74	95.28	126.29	108.02	122.31	148.79
Max	91.82	93.89	121.00	121.00	121.00	142.00	142.00	142.00
Av	83.49	87.67	102.24	107.65	116.15	123.15	130.70	142.00
Min	77.30	77.30	91.82	93.89	108.05	108.05	119.39	142.00
修正後の更新量(Dp)	9.876	-0.082	-0.019	1.395	1.323	-0.007	2.917	1.697
修正後の復元データ(la)	91.22	77.22	91.80	95.28	122.32	108.04	122.31	143.70
処理	S205	S211	S211	S205	S209	S211	S205	S209

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 2 7 2 8 6 6 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 1 2 4 1 9 9 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 0 4 2 8 7 4 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 1 8 3 8 4 2 (J P , A)
特開平 0 6 - 0 2 8 4 6 9 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 2 4 2 4 1 4 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 0 1 7 1 3 6 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 0 0 4 3 6 3 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 1 2 9 3 5 4 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 0 7 4 3 4 8 (J P , A)
国際公開第 2 0 0 6 / 0 8 2 9 7 9 (WO , A 1)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 4 N 1 / 3 9 3