

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4872862号
(P4872862)

(45) 発行日 平成24年2月8日 (2012.2.8)

(24) 登録日 平成23年12月2日 (2011.12.2)

(51) Int.Cl.

F I

HO4N 1/387 (2006.01)

GO6T 5/20 (2006.01)

HO4N 1/409 (2006.01)

HO4N 1/387

GO6T 5/20 B

HO4N 1/40 1 O 1 D

請求項の数 7 (全 53 頁)

(21) 出願番号	特願2007-242558 (P2007-242558)	(73) 特許権者	000002185
(22) 出願日	平成19年9月19日 (2007.9.19)		ソニー株式会社
(65) 公開番号	特開2008-109640 (P2008-109640A)		東京都港区港南1丁目7番1号
(43) 公開日	平成20年5月8日 (2008.5.8)	(74) 代理人	100082131
審査請求日	平成22年3月19日 (2010.3.19)		弁理士 稲本 義雄
(31) 優先権主張番号	特願2006-264020 (P2006-264020)	(74) 代理人	100121131
(32) 優先日	平成18年9月28日 (2006.9.28)		弁理士 西川 孝
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	近藤 哲二郎
			東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株 式会社内
		(72) 発明者	渡辺 勉
			東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株 式会社内
		審査官	▲広▼島 明芳
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像データ演算装置および方法、プログラム、並びに記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ぼけ修正画像を構成する画素を、順次、注目画素とし、ぼけ画像を構成する各画素の画素値であるぼけ画像データから、前記注目画素をクラスに分類するために用いる画像クラスタップを構築する画像クラスタップ構築手段と、

前記ぼけ画像を構成する各画素に対応する奥行きデータから、前記注目画素をクラスに分類するために用いる奥行きクラスタップを構築する奥行きクラスタップ構築手段と、

前記画像クラスタップおよび前記奥行きクラスタップに基づいて、前記注目画素のクラスを分類するクラス分類手段と、

ユーザにより指定されたパラメータであって、画像データのぼけに関するパラメータに対応し、分類された前記クラスに対応する予測係数を提供する予測係数提供手段と、

前記ぼけ画像データから、注目画素の画素値を予測するための画像予測タップを構築する画像予測タップ構築手段と、

前記画像予測タップと、提供された前記予測係数とを予測演算式に適用して、前記ぼけ画像のぼけを修正したぼけ修正画像を構成する画素である画像データを前記注目画素ごとに演算する画像データ演算手段と

を備える画像データ演算装置。

【請求項2】

前記予測係数提供手段は、ぼけの特性を規定するぼけパラメータ、前記画像データに含まれるノイズに基づくクラスを規定するパラメータ、前記奥行きデータに含まれるノイズ

10

20

に基づくクラスを規定するパラメータ、または動き情報に基づいて、前記予測係数を提供する

請求項 1 に記載の画像データ演算装置。

【請求項 3】

前記予測係数提供手段は、さらにユーザにより指定されたパラメータであって、前記画像データまたは前記奥行きデータのスケールに基づくクラスを規定するパラメータに基づいて、前記予測係数を提供する

請求項 1 に記載の画像データ演算装置。

【請求項 4】

前記奥行きデータから前記奥行き予測タップを構築する前記奥行きデータ予測タップ構築手段をさらに備え、

前記画像データ演算手段は、前記画像予測タップ、前記奥行きデータ予測タップ、並びに提供された前記予測係数を前記予測演算式に適用してぼけを修正した画像データを演算する

請求項 1 に記載の画像データ演算装置。

【請求項 5】

画像データを演算する画像データ演算装置の画像データ演算方法において、

画像クラスタップ構築手段が、ぼけ修正画像を構成する画素を、順次、注目画素とし、ぼけ画像を構成する各画素の画素値であるぼけ画像データから、前記注目画素をクラスに分類するために用いる画像クラスタップを構築し、

クラスタップ構築手段が、前記ぼけ画像を構成する各画素に対応する奥行きデータから、前記注目画素をクラスに分類するために用いる奥行きクラスタップを構築し、

クラス分類手段が、前記画像クラスタップおよび前記奥行きクラスタップに基づいて、前記注目画素のクラスを分類し、

予測係数提供手段が、ユーザにより指定されたパラメータであって、前記画像データのぼけに関するパラメータに対応し、分類された前記クラスに対応する予測係数を提供し、

画像予測タップ構築手段が、前記ぼけ画像データから、注目画素の画素値を予測するための画像予測タップを構築し、

画像データ演算手段が、前記画像予測タップと、提供された前記予測係数とを予測演算式に適用して、前記ぼけ画像のぼけを修正したぼけ修正画像を構成する画素である画像データを前記注目画素ごとに演算する

画像データ演算方法。

【請求項 6】

ぼけ修正画像を構成する画素を、順次、注目画素とし、ぼけ画像を構成する各画素の画素値であるぼけ画像データから、前記注目画素をクラスに分類するために用いる画像クラスタップを構築する画像クラスタップ構築ステップと、

前記ぼけ画像を構成する各画素に対応する奥行きデータから、前記注目画素をクラスに分類するために用いる奥行きクラスタップを構築する奥行きクラスタップ構築ステップと、

前記画像クラスタップおよび前記奥行きクラスタップに基づいて、前記注目画素のクラスを分類するクラス分類ステップと、

ユーザにより指定されたパラメータであって、画像データのぼけに関するパラメータに対応し、分類された前記クラスに対応する予測係数を提供する予測係数提供ステップと、

前記ぼけ画像データから、注目画素の画素値を予測するための画像予測タップを構築する画像予測タップ構築ステップと、

前記画像予測タップと、提供された前記予測係数とを予測演算式に適用して、前記ぼけ画像のぼけを修正したぼけ修正画像を構成する画素である画像データを前記注目画素ごとに演算する画像データ演算ステップと

を含む処理をコンピュータに実行させるプログラム。

【請求項 7】

請求項 6 に記載のプログラムが記録されている記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は画像データ演算装置および方法、プログラム、並びに記録媒体に関し、特に、より正確に画像のぼけを修正することができるようにした画像データ演算装置および方法、プログラム、並びに記録媒体に関する。

【0002】

また、本発明は、自然に揺らぐ画像を生成し、またはその予測係数を演算することができるようにした画像データ演算装置および方法、プログラム、並びに記録媒体に関する。

10

【背景技術】

【0003】

デジタルスチルカメラにおいてオートフォーカス機能により撮像すると、本来撮像したい前景としての被写体ではなく、背景にフォーカスされてしまい、結果的に、本来の被写体の画像がぼけてしまうことがある。例えば、図 1 は、このような画像の例を表しており、背景にピントが合っているため、本来の被写体である前景の花の画像はピントぼけの状態になっている。

【0004】

本出願人は、このようなぼけを補正することを先に提案した（例えば、特許文献 1）。先の提案においては、画像の特徴が検出され、その画像の特徴に応じて、ぼけを補正した画像を演算するためのモデル式が変更される。これにより、エッジ部やディテール部において忠実な補正が可能となる。

20

【0005】

また、多くの画像を学習し、クラス分類適応処理により予測係数を演算し、その予測係数を用いてぼけを補正することも考えられる。

【0006】

さらに、ぼけではないが、特許文献 2 には、水面に移るオブジェクトの像を水面の揺れにあわせて揺らせるようにした画像を生成することが開示されている。

【0007】

【特許文献 1】特開 2005 - 63097 号公報

30

【特許文献 2】特開 2006 - 318388 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、特許文献 1 の提案においては、画素毎に正確に画像のぼけを修正することは困難であった。

【0009】

また、クラス分類適応処理により正確に画像のぼけを修正するには、ピントが合っている画素と、ピントが合っていない画素とを異なるクラスに分類する等して、画像を正確にクラス分離することが必要となる。しかしながら、通常の画像だけから、ピントが合っている画素と、ピントが合っていない画素とを異なるクラスに分類するクラス分類を実現することは困難である。すなわち、図 2 は、ピントが合っている背景（花と葉以外の景色）を構成する画素の多くが分類されている 1 つのクラスの画素を 1 とし、その他のクラスに分類されている画素を 0 として表した図であるが、同図に示されるように、ピントが合っていない前景（花と葉）を構成する多数の画素が、ピントが合っている背景を構成する画素の多くが分類されているクラスに分類されている。このことは、通常の画像だけからクラス分類により求めた予測係数を用いてピントを補正しても、正確なぼけの補正は困難であることを意味する。

40

【0010】

また、特許文献 2 の技術は、水面に映る画像を生成するものであるため、それにより生

50

成される画像は歪んだ画像であった。従って、例えば、人が空気中の物を遠くから見たような場合に観察されるような、比較的詳細な元の状態をそのまま確認することができる画像であって、周囲の空気の温度、湿度の変化などに起因して自然に揺らぐ画像を生成することは困難であった。

【0011】

本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、正確に画像のぼけを修正することができるようにするものである。

【0012】

また、本発明は、自然に揺らぐ画像を生成することができるようにするものである。

【課題を解決するための手段】

【0025】

本発明の一側面は、ぼけ修正画像を構成する画素を、順次、注目画素とし、ぼけ画像を構成する各画素の画素値であるぼけ画像データから、前記注目画素をクラスに分類するために用いる画像クラスタップを構築する画像クラスタップ構築手段と、前記ぼけ画像を構成する各画素に対応する奥行きデータから、前記注目画素をクラスに分類するために用いる奥行きクラスタップを構築する奥行きクラスタップ構築手段と、前記画像クラスタップおよび前記奥行きクラスタップに基づいて、前記注目画素のクラスを分類するクラス分類手段と、ユーザにより指定されたパラメータであって、画像データのぼけに関するパラメータに対応し、分類された前記クラスに対応する予測係数を提供する予測係数提供手段と、前記ぼけ画像データから、注目画素の画素値を予測するための画像予測タップを構築する画像予測タップ構築手段と、前記画像予測タップと、提供された前記予測係数とを予測演算式に適用して、前記ぼけ画像のぼけを修正したぼけ修正画像を構成する画素である画像データを前記注目画素ごとに演算する画像データ演算手段とを備える画像データ演算装置である。

【0027】

前記予測係数提供手段は、ぼけの特性を規定するぼけパラメータ、前記画像データに含まれるノイズに基づくクラスを規定するパラメータ、前記奥行きデータに含まれるノイズに基づくクラスを規定するパラメータ、または動き情報に基づいて、前記予測係数を提供することができる。

【0028】

前記予測係数提供手段は、さらにユーザにより指定されたパラメータであって、前記画像データまたは前記奥行きデータのスケールリングに基づくクラスを規定するパラメータに基づいて、前記予測係数を提供することができる。

【0029】

前記奥行きデータは、前記奥行きデータから前記奥行きデータ予測タップを構築する前記奥行きデータ予測タップ構築手段をさらに備え、前記画像データ演算手段は、前記画像予測タップ、前記奥行きデータ予測タップ、並びに提供された前記予測係数を前記予測演算式に適用してぼけを修正した画像データを演算することができる。

【0030】

本発明の一側面はまた、画像データを演算する画像データ演算装置の画像データ演算方法において、画像クラスタップ構築手段が、ぼけ修正画像を構成する画素を、順次、注目画素とし、ぼけ画像を構成する各画素の画素値であるぼけ画像データから、前記注目画素をクラスに分類するために用いる画像クラスタップを構築し、クラスタップ構築手段が、前記ぼけ画像を構成する各画素に対応する奥行きデータから、前記注目画素をクラスに分類するために用いる奥行きクラスタップを構築し、クラス分類手段が、前記画像クラスタップおよび前記奥行きクラスタップに基づいて、前記注目画素のクラスを分類し、予測係数提供手段が、ユーザにより指定されたパラメータであって、前記画像データのぼけに関するパラメータに対応し、分類された前記クラスに対応する予測係数を提供し、画像予測タップ構築手段が、前記ぼけ画像データから、注目画素の画素値を予測するための画像予測タップを構築し、画像データ演算手段が、前記画像予測タップと、提供された前記予測

10

20

30

40

50

係数とを予測演算式に適用して、前記ぼけ画像のぼけを修正したぼけ修正画像を構成する画素である画像データを前記注目画素ごとに演算する画像データ演算方法である。

【0031】

さらに本発明の一側面は、ぼけ修正画像を構成する画素を、順次、注目画素とし、ぼけ画像を構成する各画素の画素値であるぼけ画像データから、前記注目画素をクラスに分類するために用いる画像クラスタップを構築する画像クラスタップ構築ステップと、前記ぼけ画像を構成する各画素に対応する奥行きデータから、前記注目画素をクラスに分類するために用いる奥行きクラスタップを構築する奥行きクラスタップ構築ステップと、前記画像クラスタップおよび前記奥行きクラスタップに基づいて、前記注目画素のクラスを分類するクラス分類ステップと、ユーザにより指定されたパラメータであって、画像データのぼけに関するパラメータに対応し、分類された前記クラスに対応する予測係数を提供する予測係数提供ステップと、前記ぼけ画像データから、注目画素の画素値を予測するための画像予測タップを構築する画像予測タップ構築ステップと、前記画像予測タップと、提供された前記予測係数とを予測演算式に適用して、前記ぼけ画像のぼけを修正したぼけ修正画像を構成する画素である画像データを前記注目画素ごとに演算する画像データ演算ステップとを含む処理をコンピュータに実行させるプログラムである。

10

【0032】

このプログラムは記録媒体に記録することができる。

【0034】

前記画像データ演算手段は、ぼけの点広がり関数にノイズを付加して画像データを演算することができる。

20

【0035】

前記ノイズ演算手段は、奥行きデータにノイズを付加した奥行きデータを演算し、前記画像データ演算手段は、ノイズを付加した奥行きデータに基づいてぼけの点広がり関数にノイズを付加することができる。

【0036】

前記ノイズ演算手段は、前記ぼけの点広がり関数の偏差、位相、先鋭度、またはそれらを複合したノイズを演算することができる。

【0037】

前記ノイズ演算手段は、動き量、動きの方向、またはそれらを複合したノイズを演算することができる。

30

【0038】

前記ノイズ演算手段は、前記動きの方向にノイズを付加する場合、前記動きの方向の補間画素の画素値を演算するときの前記補間画素の位置にノイズを付加することができる。

【0039】

処理領域を設定する設定手段をさらに備え、前記画像データ演算手段は、設定された前記処理領域の画像データについてノイズを付加することができる。

【0041】

さらに本発明の他の側面は、パラメータを取得するパラメータ取得ステップと、取得された前記パラメータに基づいて、ぼけモデルのぼけのノイズを演算するノイズ演算ステップと、前記ぼけモデルのノイズを付加した画像データを演算する画像データ演算ステップとを含む処理をコンピュータに実行させるプログラムである。

40

【0042】

このプログラムは記録媒体に記録することができる。

【0044】

本発明の一側面においては、ぼけ修正画像を構成する画素を、順次、注目画素とし、ぼけ画像を構成する各画素の画素値であるぼけ画像データから、注目画素をクラスに分類するために用いる画像クラスタップが構築され、ぼけ画像を構成する各画素に対応する奥行きデータから、注目画素をクラスに分類するために用いる奥行きクラスタップが構築され、画像クラスタップおよび奥行きクラスタップに基づいて、注目画素のクラスが分類され

50

る。そして、予測係数提供手段が、ユーザにより指定されたパラメータであって、画像データのぼけに関するパラメータに対応し、分類された前記クラスに対応する予測係数を提供し、画像予測タップ構築手段が、ぼけ画像データから、注目画素の画素値を予測するための画像予測タップを構築し、画像データ演算手段が、前記画像予測タップと、提供された前記予測係数とを予測演算式に適用して、ぼけ画像のぼけを修正したぼけ修正画像を構成する画素である画像データを注目画素ごとに演算する。

【発明の効果】

【0046】

以上のように、本発明の一側面によれば、正確に画像のぼけを修正することができる。特に、クラス分類処理において、ぼけている画像とぼけていない画像が同じクラスに分類され、画像のぼけを正確に修正することが困難になることが抑制される。

10

【0047】

また、本発明の他の側面によれば、自然に揺らぐ画像を生成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0067】

以下、図を参照して本発明の実施の形態について説明する。

【0068】

図3は、本発明を適用した学習装置1の一実施の形態の構成を示すブロック図である。

【0069】

図3の予測係数演算装置としての学習装置1は、ぼけ付加部11、ノイズ付加部12、ノイズ付加部13、タップ構築部14、タップ構築部15、クラス分類部16、タップ構築部17、予測係数演算部18、および係数メモリ19により構成され、ぼけのある画像であるぼけ画像から、それと同一のサイズの、ぼけを修正した画像であるぼけ修正画像をクラス分類適応処理により予測する予測処理を行うときに用いられる予測係数を学習する。

20

【0070】

ぼけ付加部11には、図示せぬ装置から、予測処理後のぼけ修正画像に相当する親画像の各画素の画素値である親画像データが入力される。ぼけ付加部11は、ユーザにより指定されたぼけパラメータPを取得し、ノイズ付加部12から供給されるノイズ付加後の奥行きデータzに基づいて、ぼけパラメータPに従った特性で、親画像データにぼけを付加する。

30

【0071】

奥行きデータzは、画像に対応する実世界オブジェクトの3次元位置データであり、複数カメラにより撮像された複数の画像によるステレオ視やレーザ計測等により算出される。例えば、親画像データが図示せぬカメラにより取得されたときの、そのカメラから被写体までの画素毎の距離のデータである。各画素に対応する画素毎の距離のデータは、例えば、特開2005-70014号公報に開示された方法で得ることができる。ぼけ付加部11は、ぼけ付加後の親画像データを、予測処理前のぼけ画像に相当する生徒画像の各画素の画素値である生徒画像データとして、ノイズ付加部13に供給する。

【0072】

ノイズ付加部12には、図示せぬ装置から奥行きデータzが入力される。また、ノイズ付加部12は、ユーザにより指定された奥行きデータzに付加するノイズのパラメータであるノイズパラメータNzを取得し、ノイズパラメータNzに従った特性で、奥行きデータzにノイズを付加する。そして、ノイズ付加部12は、ノイズ付加後の奥行きデータzをぼけ付加部11とタップ構築部15に供給する。

40

【0073】

ノイズ付加部13は、ユーザにより指定された、生徒画像データに付加するノイズのパラメータであるノイズパラメータNiを取得する。ノイズ付加部13は、ノイズパラメータNiに従った特性で、ぼけ付加部11から供給される生徒画像データにノイズを付加する。そして、ノイズ付加部13は、ノイズ付加後の生徒画像データをタップ構築部14と

50

タップ構築部 17 に供給する。

【0074】

なお、ノイズ付加部 12 とノイズ付加部 13 は、それらを設けることで、ぼけ画像のノイズの除去を考慮した予測係数を求めることができるが、その考慮をしない場合には省略することができる。

【0075】

タップ構築部 14 は、親画像を構成する画素を、順次、注目画素とし、その注目画素をクラスに分類するために用いる、生徒画像を構成する画素値の幾つかを抽出することで、画像クラスタップを生徒画像データから構築する。タップ構築部 14 は、画像クラスタップをクラス分類部 16 に供給する。

10

【0076】

タップ構築部 15 は、注目画素をクラスに分類するために用いる、幾つかの画素の奥行きデータ z を抽出することで、奥行きクラスタップを奥行きデータ z から構築する。タップ構築部 15 は、奥行きクラスタップをクラス分類部 16 に供給する。

【0077】

クラス分類部 16 は、タップ構築部 14 から供給される画像クラスタップと、タップ構築部 15 から供給される奥行きクラスタップとに基づいて、注目画素をクラスに分類する。

【0078】

クラス分類は、クラスタップを構成する複数のデータから算出される特徴量を分類コードとすることにより実現される。

20

【0079】

ここで、クラスに分類する方法としては、例えば、ADRC(Adaptive Dynamic Range Coding)等を採用することができる。ADRC以外にも様々なデータ圧縮処理などを用いることができる。

【0080】

ADRCを用いる方法では、画像クラスタップを構成する画素値と、奥行きクラスタップを構成する奥行きデータ z それぞれが、ADRC処理され、その結果得られる 2 つの ADRC コードに従って、注目画素のクラスが決定される。

【0081】

30

なお、KビットADRCにおいては、例えば、画像クラスタップを構成する画素値の最大値MAXと最小値MINが検出され、 $DR=MAX-MIN$ を、画像クラスタップとしての複数の画素値の集合の局所的なダイナミックレンジとし、このダイナミックレンジDRに基づいて、画像クラスタップとしての複数の画素値それぞれがKビットに再量子化される。すなわち、画像クラスタップとしての各画素値から、最小値MINが減算され、その減算値が $DR/2^K$ で除算(量子化)される。そして、以上のようにして得られる、画像クラスタップとしてのKビットの各画素値を、所定の順番で並べたビット列が、ADRCコードとされる。

【0082】

従って、画像クラスタップが、例えば、1ビットADRC処理される場合には、その画像クラスタップとしての各画素値は、最小値MINが減算された後に、最大値MAXと最小値MINとの差の $1/2$ で除算され(小数点以下切り捨て)、これにより、各画素値が1ビットとされる(2値化される)。そして、その1ビットの画素値を所定の順番で並べたビット列が、ADRCコードとされる。また、奥行きクラスタップについても同様に、奥行きクラスタップとしてのKビットの各画素の奥行きデータ z を、所定の順番で並べたビット列が、ADRCコードとされる。

40

【0083】

なお、画像クラスタップに基づいて分類する方法と、奥行きクラスタップに基づいて分類する方法は、異なってもよい。例えば、画像クラスタップに基づいて分類する方法としては、上述したADRCを採用し、奥行きクラスタップに基づいて分類する方法としては、ADRCではなく、奥行きクラスタップを構成する奥行きデータ z を平滑化してクラスに分

50

類する方法、奥行きクラスタップを構成する奥行きデータ z に対応する画素におけるエッジによりクラスに分類する方法等を採用してもよい。

【0084】

奥行きデータ z を平滑化してクラスに分類する方法では、奥行きクラスタップを構成するすべての奥行きデータ z を積算したものを、奥行きクラスタップを構成する奥行きデータ z に対応する画素の数で除算し、所定の定数を乗算した値がクラスコードとされ、そのクラスコードに従って、クラスが決定される。

【0085】

また、奥行きデータ z に対応する画素におけるエッジによりクラスに分類する方法では、奥行きクラスタップを構成する奥行きデータ z から隣接画素同士の奥行きデータ z の差分が算出され、その差分に基づいてエッジの位置が認識される。そして、そのエッジの位置を示すテンプレートが、予め用意されたテンプレートから選択され、そのテンプレートの番号がクラスコードとされ、そのクラスコードに従って、クラスが決定される。

10

【0086】

クラス分類部16は、注目画素が分類されたクラスを予測係数演算部18に供給する。以上のように、クラス分類部16は、画像クラスタップだけでなく、奥行きクラスタップにも基づいて、注目画素のクラスを分類するので、ぼけている画像とぼけていない画像が同じクラスに分類されることを抑制することができる。

【0087】

タップ構築部17は、注目画素の画素値を予測するために用いる、生徒画像を構成する画素値の幾つかを抽出することで、画像予測タップを生徒画像データから構築する。タップ構築部17は、画像予測タップを予測係数演算部18に供給する。

20

【0088】

なお、画像予測タップ、画像クラスタップ、または奥行きクラスタップとしては、任意の画素値が選択可能であるが、注目画素および/または注目画素の周辺の所定の画素の画素値を選択することができる。

【0089】

予測係数演算部18は、ユーザにより指定された、ノイズ付加部12に供給されるノイズパラメータ N_z 、ノイズ付加部13に供給されるノイズパラメータ N_i 、およびぼけ付加部11に供給されるぼけパラメータ P を取得する。予測係数演算部18は、図示せぬ装置から供給される親画像データとタップ構築部17から供給される画像予測タップに基づいて、クラス分類部16から供給されるクラス、並びにノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎に、予測係数を演算し、係数メモリ19に供給して、記憶させる。

30

【0090】

ここで、予測係数演算部18による予測係数の演算について説明する。

【0091】

例えば、いま、予測処理として、ぼけ画像から画像予測タップを抽出し、その画像予測タップと予測係数を用いて、ぼけ修正画像の画素値を、所定の予測演算によって求める(予測する)ことを考える。

40

【0092】

所定の予測演算として、例えば、線形1次予測演算を採用することとすると、ぼけ修正画像の画素(以下、適宜、ぼけ修正画素という)の画素値 y は、次の線形1次式によって求められることになる。

【0093】

【数1】

$$y = \sum_{n=1}^N w_n x_n \quad \dots (1)$$

【0094】

50

但し、式(1)において、 x_n は、ぼけ修正画素 y についての画像予測タップを構成する、 n 番目のぼけ画像の画素(以下、適宜、ぼけ画素という)の画素値を表し、 w_n は、 n 番目のぼけ画素の画素値と乗算される n 番目の予測係数を表す。なお、式(1)では、画像予測タップが、複数である N 個のぼけ画素の画素値 x_1, x_2, \dots, x_N で構成されるものとしてある。この場合、予測係数は、1クラスにつき、 N 個存在する。

【0095】

ぼけ修正画素の画素値 y は、式(1)に示した線形1次式ではなく、2次以上の高次の式によって求めるようにすることも可能である。すなわち、推定式としては、線形関数、非線形関数に拘わらず、任意の関数を用いることができる。

【0096】

10

いま、第 k サンプルのぼけ修正画素の画素値の真値を y_k と表すとともに、式(1)によって得られるその真値 y_k の予測値を y_k' と表すと、その予測誤差 e_k は、次式で表される。

【0097】

【数2】

$$e_k = y_k - y_k' \quad \dots (2)$$

【0098】

いま、式(2)の予測値 y_k' は、式(1)に従って求められるため、式(2)の y_k' を、式(1)に従って置き換えると、次式が得られる。

20

【0099】

【数3】

$$e_k = y_k - \left(\sum_{n=1}^N w_n x_{n,k} \right) \quad \dots (3)$$

【0100】

但し、式(3)において、 $x_{n,k}$ は、第 k サンプルのぼけ修正画素についての画像予測タップを構成する n 番目のぼけ画素の画素値を表す。

【0101】

式(3)(または式(2))の予測誤差 e_k を0とするタップ係数 w_n が、ぼけ修正画素の画素値を予測するのに最適なものとなるが、すべてのぼけ修正画素について、そのような予測係数 w_n を求めることは、一般には困難である。

30

【0102】

そこで、予測係数 w_n が最適なものであることを表す規範として、例えば、最小自乗法を採用することとすると、最適な予測係数 w_n は、次式で表される自乗誤差の総和 E を最小にすることで求めることができる。

【0103】

【数4】

$$E = \sum_{k=1}^K e_k^2 \quad \dots (4)$$

40

【0104】

但し、式(4)において、 K は、ぼけ修正画素の画素値 y_k と、そのぼけ修正画素についての画像予測タップを構成するぼけ画素の画素値 $x_{1,k}, x_{2,k}, \dots, x_{N,k}$ とのセットのサンプル数(学習用のサンプルの数)を表す。すなわち、親画像の画素の画素値と、生徒画像の画素の画素値とのセットのサンプル数を表す。

【0105】

式(4)の自乗誤差の総和 E の最小値(極小値)は、式(5)に示すように、総和 E を予測係数 w_n で偏微分したものを0とする w_n によって与えられる。

【0106】

50

【数 5】

$$\frac{\partial E}{\partial w_n} = e_1 \frac{\partial e_1}{\partial w_n} + e_2 \frac{\partial e_2}{\partial w_n} + \dots + e_k \frac{\partial e_k}{\partial w_n} = 0 \quad (n=1, 2, \dots, N) \quad \dots (5)$$

【0107】

一方、上述の式(3)を予測係数 w_n で偏微分すると、次式が得られる。

【0108】

【数 6】

$$\frac{\partial e_k}{\partial w_1} = -x_{1,k}, \quad \frac{\partial e_k}{\partial w_2} = -x_{2,k}, \quad \dots, \quad \frac{\partial e_k}{\partial w_N} = -x_{N,k}, \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad \dots (6)$$

【0109】

式(5)と式(6)から、次式が得られる。

【0110】

【数 7】

$$\sum_{k=1}^K e_k x_{1,k} = 0, \quad \sum_{k=1}^K e_k x_{2,k} = 0, \quad \dots, \quad \sum_{k=1}^K e_k x_{N,k} = 0 \quad \dots (7)$$

【0111】

式(7)の e_k に、式(3)を代入することにより、式(7)は、式(8)に示す正規方程式で表すことができる。

【0112】

【数 8】

$$\begin{bmatrix} \left(\sum_{k=1}^K x_{1,k} x_{1,k} \right) & \left(\sum_{k=1}^K x_{1,k} x_{2,k} \right) & \dots & \left(\sum_{k=1}^K x_{1,k} x_{N,k} \right) \\ \left(\sum_{k=1}^K x_{2,k} x_{1,k} \right) & \left(\sum_{k=1}^K x_{2,k} x_{2,k} \right) & \dots & \left(\sum_{k=1}^K x_{2,k} x_{N,k} \right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\sum_{k=1}^K x_{N,k} x_{1,k} \right) & \left(\sum_{k=1}^K x_{N,k} x_{2,k} \right) & \dots & \left(\sum_{k=1}^K x_{N,k} x_{N,k} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\sum_{k=1}^K x_{1,k} y_k \right) \\ \left(\sum_{k=1}^K x_{2,k} y_k \right) \\ \vdots \\ \left(\sum_{k=1}^K x_{N,k} y_k \right) \end{bmatrix} \quad \dots (8)$$

【0113】

式(8)の正規方程式は、例えば、掃き出し法(Gauss-Jordanの消去法)などを用いることにより、予測係数 w_n について解くことができる。 40

【0114】

予測係数演算部18は、式(8)の正規方程式を、クラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎にたてて解くことにより、最適な予測係数(ここでは、自乗誤差の総和 E を最小にする予測係数) w_n を、クラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎に求めることができる。

【0115】

また、予測処理によれば、以上のようにして求められるクラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎の予測係数 w_n を用いて、式(1)の演算を行うことにより、ぼけ画像が、ぼけ修正画像に変換される。 50

【 0 1 1 6 】

係数メモリ 19 は、予測係数演算部 18 から供給される予測係数 w_n を記憶する。

【 0 1 1 7 】

以上のように、図 3 の学習装置 1 では、ぼけている画像とぼけていない画像が同じクラスに分類されることを抑制することができるので、図 9 を参照して後述する予測装置 8 1 において、分類されたクラス毎に学習された予測係数 w_n を用いて予測処理を行うことにより、ぼけ画像のぼけを正確に修正し、高品質なぼけ修正画像に変換することができる。

【 0 1 1 8 】

次に、図 4 乃至図 6 を参照して、図 3 のぼけ付加部 11 による、親画像データへのぼけの付加について説明する。

10

【 0 1 1 9 】

まず最初に、図 4 と図 5 を参照して、ぼけの付加の特性として、ぼけの拡がりの大きさを求める式について説明する。

【 0 1 2 0 】

図 4 に示すように、物体 51 からの光がレンズ 52 を介してセンサ 53 に入射される場合、レンズの結合公式は、以下の式 (9) で表される。

【 0 1 2 1 】

$$1/f = 1/v + 1/L$$

・・・ (9)

【 0 1 2 2 】

なお、式 (9) において、 f は、レンズ 52 の焦点距離を表し、 v はレンズ 52 とセンサ 53 の距離を表し、 L は、物体 51 とレンズ 52 の距離を表す。

20

【 0 1 2 3 】

また、オブジェクトを撮像する撮像系の構造や方式を考慮することにより定式化される、ぼけのないオブジェクト画像にぼけを付加するモデルである画像のぼけモデルとして、単位体積を持つ 2 次元のガウス関数を用いると、ぼけの拡がりの大きさは以下の式 (10) で表されることが知られている。

【 0 1 2 4 】

$$=rv(1/f - 1/v - 1/L)$$

・・・ (10)

30

【 0 1 2 5 】

図 5 に示すように、ぼけが生じないとき、すなわち合焦するときの距離 L を奥行きデータ z_0 とし、ぼけが生じるとき、すなわち合焦しないときの距離 L を奥行きデータ z_1 とすると、ぼけが生じるときの大きさ 1 と、ぼけが生じないときの大きさ 0 の差分は、以下の式 (11) で表される。

【 0 1 2 6 】

$$1 - 0 = (fv/F) \times (z_1 - z_0) / (z_1 \times z_0)$$

・・・ (11)

【 0 1 2 7 】

なお、式 (11) において、 F は、F ナンバー、すなわち f/r を表す。

40

【 0 1 2 8 】

式 (11) において、ぼけが生じないときの大きさ 0 を 0 とすると、物体 51 が合焦位置から、距離 d 離れた位置に物体 51 がある場合の大きさ d は、以下の式 (12) で表される。

【 0 1 2 9 】

$$d = (fv/F) \times (z_1 - z_0) / (z_1 \times z_0)$$

・・・ (12)

【 0 1 3 0 】

ここで、 fv/F を k とおくと、式 (12) は以下の式 (13) で表される。

【 0 1 3 1 】

50

$$d = k \times (z1 - z0) / (z1 \times z0)$$

・・・ (1 3)

【 0 1 3 2 】

さらに、 $d = z1 - z0$ とおくと、式 (1 3) は以下の式 (1 4) で表される。

【 0 1 3 3 】

$$d = (k / z0) \times d / (d + z0)$$

・・・ (1 4)

【 0 1 3 4 】

式 (1 4) によれば、大きさ d は、距離 d の関数となっており、その関数を $f(d)$ とおくと、関数 $f(d)$ は、ぼけの付加の特性を表す関数であり、以下の式 (1 5) で表される。

10

【 0 1 3 5 】

$$f(d) = (k / z0) \times d / (d + z0)$$

・・・ (1 5)

【 0 1 3 6 】

式 (1 5) によれば、関数 $f(d)$ は、距離 d が大きくなるにつれて定数 $k/z0$ に収束していく。

【 0 1 3 7 】

なお、ぼけの付加の特性を表す関数として、関数 $f(d)$ だけでなく、大きさ d を直線で近似した関数 $g(d)$ や、大きさ d を平方根で近似した関数 $h(d)$ を用いることもできる。関数 $g(d)$ と関数 $h(d)$ は以下の式 (1 6) と式 (1 7) で表される。

20

【 0 1 3 8 】

【数 9】

$$g(d) = ad \quad \dots (16)$$

$$h(d) = \sqrt{bd} \quad \dots (17)$$

【 0 1 3 9 】

なお、式 (1 6) における a と、式 (1 7) における b は、予め設定された定数を表す。

【 0 1 4 0 】

30

図 6 は、関数 $f(d)$ 、関数 $g(d)$ 、および関数 $h(d)$ を示すグラフである。図 6 に示すように、関数 $f(d)$ は、距離 d が大きくなるにつれて、ある値に収束していく。また、関数 $g(d)$ は、直線で表され、関数 $h(d)$ は、平方根を示す曲線で表される。

【 0 1 4 1 】

なお、図 6 では、関数 $f(d)$ において、 k が 1.0 となっており、関数 $g(d)$ において a が 0.05 となっている。また、関数 $h(d)$ において、 b が 0.05 となっている。

【 0 1 4 2 】

ぼけ付加部 11 は、ユーザにより指定された、ぼけの付加の特性を表す関数を選択するためのパラメータであるぼけパラメータ P に従って、関数 $f(d)$ 、関数 $g(d)$ 、および関数 $h(d)$ のうちのいずれか 1 つを選択し、その選択した関数が表す特性で、親画像データにぼけを付加し、生徒画像データを生成する。

40

【 0 1 4 3 】

具体的には、ぼけ付加部 11 は、以下の式 (1 8) に従って、生徒画像データを画素毎に生成する。

【 0 1 4 4 】

【数 10】

$$Y(x, y) = \sum \{ WT(k, l) \times X(x+k, y+l) \} \quad \dots (18)$$

【 0 1 4 5 】

なお、式 (1 8) において、 $Y(x, y)$ は、生徒画像を構成する画素のうち、 x 座標が x で

50

、 y 座標が y の位置の画素の画素値を表しており、 $X(x+k, y+l)$ は、親画像を構成する画素のうち、 x 座標が $x+k$ で、 y 座標が $y+l$ の位置（注目画素の位置 (x, y) から座標 (k, l) だけ離れた位置）の画素の画素値を表している。また、式（18）において、 $WT(k, l)$ は、ぼけの点広がり関数（ガウスPSF（Point Spread Function））であり、以下の式（19）で表される。

【0146】

【数11】

$$WT(k, l) = \frac{1}{2\pi S^2(x+k, y+l)} e^{-\frac{(k^2+l^2)}{2S^2(x+k, y+l)}} \quad \cdots(19)$$

10

【0147】

なお、式（19）において、 $S(x+k, y+l)$ は、距離 d が、 x 座標が $x+k$ で、 y 座標が $y+l$ の位置の画素の奥行きデータ z から、奥行きデータ z_0 を減算した値である場合の、関数 $f(d)$ 、関数 $g(d)$ 、および関数 $h(d)$ のうちの選択された関数を表している。

【0148】

式（18）と式（19）によれば、 x 座標が $x+k$ で、 y 座標が $y+l$ の位置にある画素から、 x 座標が x で、 y 座標が y の位置にある注目画素に拡散される画素値を積算することにより、ぼけ付加後の注目画素の画素値が求められる。

【0149】

20

次に、図7Aと図7Bを参照して、図3のノイズ付加部13によるノイズの付加の方法について説明する。

【0150】

ノイズを付加する方法としては、例えば、ノイズパラメータ N_i に従って振幅レベルを段階的に変化させたノイズを付加する第1の方法、ノイズパラメータ N_i に従った割合でノイズを付加したものと付加しないものを生成する第2の方法などがある。

【0151】

まず最初に、図7Aを参照して第1の方法について説明する。

【0152】

なお、図7Aでは、ノイズパラメータ N_i が0から j までの値であるものとする。このことは、後述する図7Bにおいても同様である。なお、ここにおけるノイズパラメータ N_i は、ノイズの振幅レベルを指定するパラメータである。

30

【0153】

図7Aに示すように、第1の方法では、ノイズパラメータ N_i の値が大きくなるにつれて、生徒画像に付加するノイズの振幅レベルが大きくなるように、段階的に変化された振幅レベルのノイズが付加される。すなわち、図7Aに示すように、第1の方法では、ノイズパラメータ N_i の値が0である場合、生徒画像にノイズが付加されず、ノイズパラメータ N_i の値が大きくなるにつれて生徒画像に付加されるノイズの振幅レベルが大きくなり、ノイズパラメータ N_i の値が j である場合、振幅レベルが最大のノイズが生徒画像に付加される。

40

【0154】

この場合、例えば後述する式（23）に示されるように、係数 R と、疑似乱数を発生する関数 $mseq[m]$ との積で表される $R \cdot mseq[m]$ の式でノイズを規定するようにし、係数 R をノイズパラメータ N_i の値に応じて制御することで、ノイズパラメータ N_i の値に応じてノイズの振幅レベルが大きくなるように制御することができる。

【0155】

次に、図7Bを参照して第2の方法について説明する。

【0156】

なお、図7Bの例では、1枚の生徒画像に対して100枚のノイズ付加後の生徒画像を生成するものとする。

50

【 0 1 5 7 】

図 7 B に示すように、第 2 の方法では、ノイズパラメータ N_i に従った割合で、ノイズが付加されない生徒画像と、所定の振幅レベルのノイズが付加された生徒画像とが、ノイズ付加後の生徒画像として合計 100 枚生成される。すなわち、図 7 B に示すように、ノイズパラメータ N_i の値が 0 である場合、ノイズが付加されない 100 枚の生徒画像が 100 枚のノイズ付加後の生徒画像として生成され、ノイズパラメータ N_i の値が 1 である場合、ノイズが付加されない 99 枚の生徒画像とノイズが付加された 1 枚の生徒画像とが 100 枚のノイズ付加後の生徒画像として生成される。なお、ここにおけるノイズパラメータ N_i は、ノイズの混入割合を指定するパラメータである。

【 0 1 5 8 】

10

以下も同様にして、ノイズパラメータ N_i の値が大きくなるにつれて、100 枚のノイズ付加後の生徒画像を構成する、ノイズが付加されない生徒画像の枚数が減少して、ノイズが付加された生徒画像の枚数が増加し、ノイズパラメータ N_i の値が j である場合、ノイズが付加されない 30 枚の生徒画像と、ノイズが付加された 70 枚の生徒画像とが、100 枚のノイズ付加後の生徒画像として生成される。

【 0 1 5 9 】

この場合、図 3 の予測係数演算部 18 は、1 枚の親画像と、100 枚の生徒画像を 1 サンプルとして用いて、式 (8) に従って予測係数の演算を行う。すなわち、予測係数演算部 18 は、以下の式 (20) の正規方程式を、クラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎にたてて解くことにより、最適な予測係数 w_n を、クラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎に求める。

20

【 0 1 6 0 】

【 数 1 2 】

$$\begin{bmatrix} \left(\sum_{k=1}^K \left(\sum_{q=1}^Q X_{1, qk} X_{1, qk} \right) \right) & \left(\sum_{k=1}^K \left(\sum_{q=1}^Q X_{1, qk} X_{2, qk} \right) \right) & \cdots & \left(\sum_{k=1}^K \left(\sum_{q=1}^Q X_{1, qk} X_{n, qk} \right) \right) \\ \left(\sum_{k=1}^K \left(\sum_{q=1}^Q X_{2, qk} X_{1, qk} \right) \right) & \left(\sum_{k=1}^K \left(\sum_{q=1}^Q X_{2, qk} X_{2, qk} \right) \right) & \cdots & \left(\sum_{k=1}^K \left(\sum_{q=1}^Q X_{2, qk} X_{n, qk} \right) \right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\sum_{k=1}^K \left(\sum_{q=1}^Q X_{n, qk} X_{1, qk} \right) \right) & \left(\sum_{k=1}^K \left(\sum_{q=1}^Q X_{n, qk} X_{2, qk} \right) \right) & \cdots & \left(\sum_{k=1}^K \left(\sum_{q=1}^Q X_{n, qk} X_{n, qk} \right) \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\sum_{k=1}^K \left(\sum_{q=1}^Q X_{1, qk} Y_{kq} \right) \right) \\ \left(\sum_{k=1}^K \left(\sum_{q=1}^Q X_{2, qk} Y_{kq} \right) \right) \\ \vdots \\ \left(\sum_{k=1}^K \left(\sum_{q=1}^Q X_{n, qk} Y_{kq} \right) \right) \end{bmatrix} \quad \dots (20)$$

30

【 0 1 6 1 】

なお、式 (20) において、 $x_{n, qk}$ は、第 k サンプルのぼけ修正画像の画素についての画像予測タップを構成する、 q 枚目の生徒画像の n 番目の画素の画素値を表す。また、 Q は、1 つのサンプルに対する生徒画像の枚数であり、図 7 B の例では 100 である。

40

【 0 1 6 2 】

ノイズ付加部 13 は、上述した第 1 の方法または第 2 の方法で、生徒画像にノイズを付加する。なお、説明は省略するが、ノイズ付加部 12 におけるノイズの付加も同様に行われる。この場合、例えば、撮像装置に起因するランダムノイズ、外来光の影響、物体表面の反射率の相違、測定誤差等によるランダムノイズが、奥行きデータ z に付加される。

【 0 1 6 3 】

なお、図 7 A と図 7 B で説明したノイズの付加の方法は一例であり、その他の方法であってもよい。例えば、ノイズ付加部 12 は、反射による錯乱の影響、測定精度による平滑化等によって生じる錯乱ノイズを、ぼけの付加の特性を表す関数と同様の関数を用いて、

50

奥行きデータ z に付加するようにしてもよい。

【0164】

次に、図8を参照して、図3の学習装置1が予測係数 w_n を学習する学習処理について説明する。この学習処理は、例えば、図3の学習装置1に親画像データと奥行きデータ z が入力されたとき、開始される。

【0165】

ステップS1において、ノイズ付加部12は、ユーザにより指定されたノイズパラメータ N_z を取得する。ステップS2において、ノイズ付加部12は、図7で説明した第1の方法、第2の方法などにより、ノイズパラメータ N_z に従った特性で、奥行きデータ z にノイズを付加する。

10

【0166】

ステップS3において、ぼけ付加部11は、ユーザにより指定されたぼけパラメータ P を取得する。ステップS4において、ぼけ付加部11は、ノイズ付加部12から供給されるノイズ付加後の奥行きデータ z に基づいて、ぼけパラメータ P に従った特性で、図示せぬ装置から入力される親画像データにぼけを付加する。

【0167】

具体的には、ぼけ付加部11は、ぼけパラメータ P に従って関数 $f(d)$ 、関数 $g(d)$ 、または関数 $h(d)$ を選択する。次に、ぼけ付加部11は、選択した関数を S に適用した式(18)と式(19)に従って、奥行きデータ z に基づいて注目画素の画素値 $Y(x, y)$ 、すなわち生徒画像を構成する画素の画素値を求める。そして、ぼけ付加部11は、生徒画像を構成する各画素の画素値を、生徒画像データとしてノイズ付加部13に供給する。

20

【0168】

ステップS5において、ノイズ付加部13は、ユーザにより指定されたノイズパラメータ N_i を取得する。ステップS6において、ノイズ付加部13は、図7で説明した第1の方法、第2の方法などにより、ノイズパラメータ N_i に従った特性で、ぼけ付加部11から供給される生徒画像データにノイズを付加し、ノイズ付加後の生徒画像データをタップ構築部14とタップ構築部17に供給する。

【0169】

ステップS7において、タップ構築部14は、生徒画像データから所定のことを抽出することで画像クラスタップを構築し、その画像クラスタップをクラス分類部16に供給する。ステップS8において、タップ構築部15は、奥行きデータ z から所定のことを抽出することで奥行きクラスタップを構築し、その奥行きクラスタップをクラス分類部16に供給する。

30

【0170】

ステップS9において、クラス分類部16は、タップ構築部14から供給される画像クラスタップと、タップ構築部15から供給される奥行きクラスタップとに基づいて、注目画素をクラスに分類する。ステップS10において、タップ構築部17は、生徒画像データから所定のことを抽出することで画像予測タップを構築し、その画像予測タップを予測係数演算部18に供給する。

40

【0171】

ステップS11において、予測係数演算部18は、図示せぬ装置から供給される親画像データと、タップ構築部17から供給される画像予測タップとに基づいて、クラス分類部16から供給されるクラス、並びにノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎に、上述した式(8)または式(20)に従って予測係数 w_n を演算し、係数メモリ19に供給する。

【0172】

ステップS12において、係数メモリ19は、予測係数演算部18から供給される予測係数 w_n を記憶し、処理は終了する。

【0173】

50

図 9 は、図 3 の学習装置 1 で学習された予測係数 w_n を用いて予測処理を行う予測係数演算装置としての予測装置 81 の構成を示すブロック図である。

【0174】

図 9 の予測装置 81 は、タップ構築部 91、タップ構築部 92、クラス分類部 93、係数メモリ 94、タップ構築部 95、および予測演算部 96 により構成される。

【0175】

図 9 の予測装置 81 には、図示せぬ装置から、ぼけ画像を構成する各画素の画素値であるぼけ画像データと、それに対応する奥行きデータ z が入力される。このぼけ画像データは、タップ構築部 91 とタップ構築部 95 に供給され、奥行きデータ z は、タップ構築部 92 に供給される。

【0176】

タップ構築部 91 は、図 3 のタップ構築部 14 と同様に、ぼけ修正画像を構成する画素を、順次、注目画素とし、その注目画素をクラスに分類するために用いる、ぼけ画像を構成する画素値の幾つかを抽出することで、画像クラスタップを、ぼけ画像データから構築する。タップ構築部 91 は、画像クラスタップをクラス分類部 93 に供給する。

【0177】

タップ構築部 92 は、タップ構築部 15 と同様に、注目画素をクラスに分類するために用いる、幾つかの奥行きデータ z を抽出することで、奥行きクラスタップを、奥行きデータ z から構築する。タップ構築部 92 は、奥行きクラスタップをクラス分類部 93 に供給する。

【0178】

クラス分類部 93 は、クラス分類部 16 と同様に、タップ構築部 91 から供給される画像クラスタップと、タップ構築部 92 から供給される奥行きクラスタップとに基づいて、注目画素をクラスに分類し、そのクラスを係数メモリ 94 に供給する。

【0179】

係数メモリ 94 には、図 3 の係数メモリ 19 に記憶された、クラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎の予測係数 w_n が記憶されている。係数メモリ 94 は、ユーザにより指定されたノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P を取得する。

【0180】

係数メモリ 94 は、クラス分類部 93 から供給されるクラス、並びに、ユーザにより指定されたノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P に基づいて、そのクラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P に対応する予測係数 w_n を、既に記憶している予測係数 w_n の中から読み出し、その予測係数 w_n を予測演算部 96 に提供する。

【0181】

タップ構築部 95 は、タップ構築部 17 と同様に、注目画素の画素値を予測するために用いる、ぼけ画像を構成する画素値の幾つかを抽出することで、画像予測タップをぼけ画像データから構築する。タップ構築部 95 は、画像予測タップを予測演算部 96 に供給する。

【0182】

予測演算部 96 は、タップ構築部 95 から供給される画像予測タップと、係数メモリ 94 から提供される予測係数 w_n とを用いて、注目画素の画素値の予測値を求める予測演算を行う。具体的には、予測演算部 96 は、上述した式 (1) の線形一次式の演算である予測演算を行う。これにより、予測演算部 96 は、注目画素の画素値の予測値、すなわち、ぼけ修正画像を構成する画素の画素値を求める。そして、予測演算部 96 は、ぼけ修正画像を構成する各画素の画素値を、ぼけ修正画像データとして出力する。

【0183】

次に、図 10 を参照して、図 9 の予測装置 81 がぼけ修正画像データを予測する予測処理について説明する。この予測処理は、例えば、予測装置 81 にぼけ画像データと奥行き

10

20

30

40

50

データ z が入力されたとき、開始される。

【0184】

ステップS31において、タップ構築部91は、ぼけ画像データから画像クラスタップを構築し、その画像クラスタップをクラス分類部93に供給する。ステップS32において、タップ構築部92は、奥行きデータ z から奥行きクラスタップを構築し、その奥行きクラスタップをクラス分類部93に供給する。

【0185】

ステップS33において、クラス分類部93は、タップ構築部91から供給される画像クラスタップと、タップ構築部92から供給される奥行きクラスタップとに基づいて、注目画素をクラスに分類し、そのクラスを係数メモリ94に供給する。ステップS34において、係数メモリ94は、ユーザにより指定されたノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P を取得する。

10

【0186】

ステップS35において、係数メモリ94は、クラス分類部93から供給されるクラス、並びに、ユーザにより指定されたノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P に基づいて、そのクラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P に対応する予測係数 w_n を、既に記憶している予測係数 w_n の中から読み出し、その予測係数 w_n を予測演算部96に提供する。

【0187】

ステップS36において、タップ構築部95は、ぼけ画像データから画像予測タップを構築し、その画像予測タップを予測演算部96に供給する。

20

【0188】

ステップS37において、予測演算部96は、タップ構築部95から供給される画像予測タップと、係数メモリ94から供給される予測係数 w_n とを用いて、上述した式(1)の線形一次式の演算である予測演算を行い、ぼけ修正画像を構成する各画素の画素値を求め、ぼけ修正画像データとして出力する。そして、処理は終了する。

【0189】

図11は、学習装置1の他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【0190】

図11の学習装置1は、ぼけ付加部11、ノイズ付加部12、ノイズ付加部13、タップ構築部14、タップ構築部15、クラス分類部16、タップ構築部17、係数メモリ19、ダウンスケーリング部101、および予測係数演算部102により構成され、図示せぬ装置から入力される奥行きデータ z に対応する親画像のサイズが、それとともに入力される親画像データに対応する親画像のサイズに比べて大きい場合においても、入力される親画像データに対応する親画像と同一のサイズのぼけ画像と、対応する奥行きデータ z とを用いて、ぼけ画像から、それと同一のサイズのぼけ修正画像を予測する予測処理を行うときに用いられる予測係数 w_n を学習する。

30

【0191】

なお、図11において、図3の学習装置1と同一のものには同一の符号を付してある。すなわち、図11の学習装置1は、図3の学習装置1にダウンスケーリング部101がさらに設けられ、予測係数演算部18の代わりに予測係数演算部102が設けられたものである。

40

【0192】

ダウンスケーリング部101には、図示せぬ装置から奥行きデータ z が入力される。ダウンスケーリング部101は、ユーザにより指定された、ダウンスケーリング後の奥行きデータ z に対応する親画像の水平方向のサイズを表す水平スケーリングパラメータ H と、垂直方向のサイズを表す垂直スケーリングパラメータ V とから構成されるスケーリングパラメータ (H,V) を取得する。

【0193】

ダウンスケーリング部101は、スケーリングパラメータ (H,V) に基づいて、例えば、

50

奥行きデータ z に対応する親画像のサイズが、ぼけ付加部 11 に入力される親画像データに対応する親画像のサイズと同一となるように、奥行きデータ z をダウンスケーリングし、ダウンスケーリングした奥行きデータ z をノイズ付加部 12 に供給する。

【0194】

予測係数演算部 102 は、ユーザにより指定されたノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、ぼけパラメータ P 、およびスケーリングパラメータ (H, V) を取得する。予測係数演算部 102 は、図示せぬ装置から供給される親画像データと、タップ構築部 17 から供給される画像予測タップとに基づいて、画像クラスタップと、ダウンスケーリング後の奥行きデータ z から構築された奥行きクラスタップとに基づいて分類されたクラス、並びにノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、ぼけパラメータ P 、およびスケーリングパラメータ (H, V) 毎に、予測係数 w_n を演算し、係数メモリ 19 に供給する。

10

【0195】

以上のように、図 11 の学習装置 1 は、入力される奥行きデータ z をダウンスケーリングするので、ダウンスケーリング部 101 に入力される奥行きデータ z に対応する親画像のサイズが、それとともにぼけ付加部 11 に入力される親画像データに対応する親画像のサイズに比べて大きい場合においても、ダウンスケーリング後の奥行きデータ z を用いて、ぼけ付加部 11 に入力される親画像データに対応する親画像と同一のサイズのぼけ画像と、対応する奥行きデータ z とを用いた予測処理を行うときに用いられる予測係数 w_n を学習することができる。

【0196】

20

即ち、例えば、図 11 の学習装置 1 は、標準より大きいサイズの撮像画像を縮小した画像を親画像として用いて、標準のサイズのぼけ画像からぼけ修正画像を予測する予測処理に用いられる予測係数 w_n を学習することができる。

【0197】

次に、図 12 を参照して、図 11 の学習装置 1 が予測係数 w_n を学習する学習処理について説明する。この学習処理は、例えば、図 11 の学習装置に親画像データと奥行きデータ z が入力されたとき、開始される。

【0198】

ステップ S61 において、ダウンスケーリング部 101 は、スケーリングパラメータ (H, V) を取得する。ステップ S62 において、ダウンスケーリング部 101 は、ぼけ付加部 11 に入力される親画像データに対応する親画像のサイズと一致するように、スケーリングパラメータ (H, V) に基づいて、奥行きデータ z をダウンスケーリングし、ダウンスケーリングした奥行きデータ z をノイズ付加部 12 に供給する。

30

【0199】

ステップ S63 乃至ステップ S72 の処理は、図 8 のステップ S1 乃至ステップ S10 の処理と同様であるので、その説明は省略する。

【0200】

ステップ S73 において、予測係数演算部 102 は、図示せぬ装置から供給される親画像データ、タップ構築部 17 から供給される画像予測タップに基づいて、クラス分類部 16 から供給されるクラス、並びにノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、ぼけパラメータ P 、およびスケーリングパラメータ (H, V) 毎に、予測係数 w_n を演算し、係数メモリ 19 に供給する。

40

【0201】

ステップ S74 において、係数メモリ 19 は、ステップ S12 と同様に、予測係数演算部 102 から供給される予測係数 w_n を記憶し、処理は終了する。

【0202】

図 13 は、図 11 の学習装置 1 で学習された予測係数 w_n を用いて予測処理を行う予測装置 81 の構成を示すブロック図である。

【0203】

図 13 の予測装置 81 は、タップ構築部 91、タップ構築部 92、クラス分類部 93、

50

タップ構築部 95、予測演算部 96、および係数メモリ 111 により構成される。

【0204】

なお、図 13 において、図 9 の予測装置 81 と同一のものには、同一の符号を付してある。すなわち、図 13 の予測装置 81 には、図 9 の予測装置 81 の係数メモリ 94 の代わりに、係数メモリ 111 が設けられている。

【0205】

係数メモリ 111 には、図 11 の係数メモリ 19 に記憶された、クラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、ぼけパラメータ P 、およびスケーリングパラメータ (H, V) 毎の予測係数 w_n が記憶されている。係数メモリ 111 は、ユーザにより指定されたノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、ぼけパラメータ P 、およびスケーリングパラメータ (H, V) を取得する。

10

【0206】

係数メモリ 111 は、クラス分類部 93 から供給されるクラス、並びに、ユーザにより指定されたノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、ぼけパラメータ P 、およびスケーリングパラメータ (H, V) に基づいて、そのクラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、ぼけパラメータ P 、およびスケーリングパラメータ (H, V) に対応する予測係数 w_n を、既に記憶している予測係数 w_n の中から読み出し、その予測係数 w_n を予測演算部 96 に提供する。

【0207】

なお、図 13 の予測装置 81 は、図 10 の予測処理と同様の予測処理を行うので、その説明は省略する。但し、この場合、図 10 のステップ S35 では、係数メモリ 111 は、クラス分類部 93 から供給されるクラス、並びに、ユーザにより指定されたノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、ぼけパラメータ P 、およびスケーリングパラメータ (H, V) に基づいて、そのクラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、ぼけパラメータ P 、およびスケーリングパラメータ (H, V) に対応する予測係数 w_n を、既に記憶している予測係数 w_n の中から読み出し、その予測係数 w_n を予測演算部 96 に提供する。

20

【0208】

図 14 は、学習装置 1 のさらに他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【0209】

図 14 の学習装置 1 は、ぼけ付加部 11、ノイズ付加部 12、ノイズ付加部 13、タップ構築部 14、タップ構築部 15、クラス分類部 16、タップ構築部 17、係数メモリ 19、ダウンスケーリング部 101、予測係数演算部 102、およびダウンスケーリング部 121 により構成され、ぼけ画像から、ぼけ画像に比べて高解像度のぼけ修正画像をクラス分類適応処理により予測する予測処理を行うときに用いられる予測係数 w_n を学習する。

30

【0210】

なお、図 14 において、図 11 の学習装置 1 と同一のものには同一の符号を付してある。すなわち、図 14 の学習装置 1 は、図 11 の学習装置 1 にダウンスケーリング部 121 がさらに設けられたものである。

【0211】

ダウンスケーリング部 121 は、ユーザにより指定されたスケーリングパラメータ (H, V) に基づいて、例えば、生徒画像のサイズが、予測処理対象のぼけ画像のサイズと同一となるように、ぼけ付加部 11 から供給される生徒画像データをダウンスケーリングし、ダウンスケーリングした生徒画像データをノイズ付加部 13 に供給する。

40

【0212】

図 14 のダウンスケーリング部 101 では、ダウンスケーリング部 101 は、スケーリングパラメータ (H, V) に基づいて、例えば、奥行きデータ z に対応する、ぼけ画像に比べて高解像度のぼけ修正画像に相当する親画像のサイズが、ぼけ画像のサイズと同一となるように、奥行きデータ z をダウンスケーリングする。

【0213】

50

また、予測係数演算部 102 は、図示せぬ装置から供給される親画像データと、タップ構築部 17 から供給されるダウンスケーリング後の生徒画像データから構築された画像予測タップとに基づいて、ダウンスケーリング後の生徒画像データから構築されたクラスタップと、ダウンスケーリング後の奥行きデータ z から構築された奥行きクラスタップとに基づいて分類されたクラス、並びにノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、ぼけパラメータ P 、およびスケーリングパラメータ (H, V) 毎に、予測係数 w_n を演算し、係数メモリ 19 に供給する。

【0214】

以上のように、図 14 の学習装置 1 は、生徒画像データと奥行きデータ z に対してダウンスケーリングを行うので、生徒画像と、奥行きデータ z に対応する親画像の解像度を、図 14 の学習装置 1 に入力される親画像データに対応する親画像に対して低解像度に変換することができる。その結果、図 14 の学習装置 1 は、変換後の生徒画像と奥行きデータ z 、並びに親画像データを用いることにより、ぼけ画像から、ぼけ画像に比べて高解像度のぼけ修正画像を予測する予測処理に用いられる予測係数 w_n を学習することができる。

【0215】

即ち、例えば、図 14 の学習装置 1 は、SD (Standard Definition) 画像であるぼけ画像から、HD (High Definition) 画像であるぼけ修正画像を予測する予測処理に用いられる予測係数 w_n を学習することができる。

【0216】

次に、図 15 を参照して、図 14 の学習装置 1 が予測係数 w_n を学習する学習処理について説明する。この学習処理は、例えば、図 14 の学習装置 1 に親画像データと奥行きデータ z が入力されたとき、開始される。

【0217】

ステップ S101 乃至ステップ S106 の処理は、図 12 のステップ S61 乃至ステップ S66 の処理と同様であるので、その説明は省略する。

【0218】

ステップ S107 において、ダウンスケーリング部 121 は、スケーリングパラメータ (H, V) を取得する。ステップ S108 において、ダウンスケーリング部 121 は、スケーリングパラメータ (H, V) に基づいて、ぼけ付加部 11 から供給される生徒画像データをダウンスケーリングし、ダウンスケーリングされた生徒画像データをノイズ付加部 13 に供給する。

【0219】

ステップ S109 乃至ステップ S116 の処理は、ステップ S67 乃至ステップ S74 の処理と同様であるので、その説明は省略する。

【0220】

なお、図 14 の学習装置 1 で学習された予測係数 w_n を用いて予測処理を行う予測装置 81 は、図 13 の予測装置 81 と同一であるので、その説明は省略する。

【0221】

また、予測係数 w_n の演算には、画素だけでなく、画素以外のデータも用いることができる。予測係数 w_n の演算に、ぼけ画素だけでなく、奥行きデータ z も用いる場合の学習装置 1 の構成を、図 16 に示す。

【0222】

図 16 の学習装置 1 は、ぼけ付加部 11、ノイズ付加部 12、ノイズ付加部 13、タップ構築部 14、タップ構築部 15、クラス分類部 16、タップ構築部 17、係数メモリ 19、タップ構築部 131、および予測係数演算部 132 により構成され、親画像データと生徒画像データのほかに、奥行きデータ z も用いて、ぼけ画像と、対応する奥行きデータ z とから、同一のサイズのぼけ修正画像をクラス分類適応処理により予測する予測処理を行うときに用いられる予測係数 w_n を学習する。

【0223】

なお、図 16 において、図 3 の学習装置 1 と同一のものには同一の符号を付してある。

すなわち、図 16 の学習装置 1 は、図 3 の学習装置 1 に、さらに、タップ構築部 131 が設けられ、予測係数演算部 18 の代わりに、予測係数演算部 132 が設けられたものである。

【0224】

タップ構築部 131 には、ノイズ付加部 12 からノイズ付加後の奥行きデータ z が供給される。タップ構築部 131 は、その奥行きデータ z から、注目画素の画素値を予測するために用いる奥行きデータ z の幾つかを抽出することで、奥行き予測タップを構築する。タップ構築部 131 は、奥行き予測タップを予測係数演算部 132 に供給する。

【0225】

予測係数演算部 132 は、予測係数演算部 18 と同様に、ユーザにより指定されたノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P を取得する。また、予測係数演算部 132 は、図示せぬ装置から供給される親画像データ、タップ構築部 17 から供給される画像予測タップ、および、タップ構築部 131 から供給される奥行き予測タップに基づいて、クラス分類部 16 から供給されるクラス、並びにノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎に、予測係数 w_n を演算する。

【0226】

具体的には、予測係数演算部 132 は、クラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎にたてられる上述した式 (8) の正規方程式の x_n 、 k として、第 k サンプルのぼけ画素だけでなく、奥行き予測タップを構成する奥行きデータ z も用いることにより、クラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎に、画像予測タップと奥行き予測タップに対応する画素の数分の予測係数 w_n を演算する。予測係数演算部 132 は、演算の結果得られる、クラス、ノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎の予測係数 w_n を、係数メモリ 19 に供給して記憶させる。

【0227】

以上のように、図 16 の学習装置 1 は、奥行きデータ z から構築された奥行き予測タップも用いて、奥行きデータ z を考慮した、画像予測タップと奥行き予測タップに対応する画素の数分の予測係数 w_n を演算するので、この予測係数 w_n を用いることにより、後述する図 18 の予測装置 81 は、より正確にぼけ修正画像を予測することができる。

【0228】

次に、図 17 を参照して、図 16 の学習装置 1 が予測係数 w_n を学習する学習処理について説明する。この学習処理は、例えば、図 16 の学習装置 1 に親画像データと奥行きデータ z が入力されたとき、開始される。

【0229】

ステップ S121 乃至ステップ S130 の処理は、図 8 のステップ S1 乃至ステップ S10 の処理と同様であるので、その説明は省略する。

【0230】

ステップ S131 において、タップ構築部 131 は、ノイズ付加部 12 から供給されるノイズ付加後の奥行きデータ z から所定のものを抽出することで奥行き予測タップを構築し、その奥行き予測タップを予測係数演算部 132 に供給する。

【0231】

ステップ S132 において、予測係数演算部 132 は、図示せぬ装置から供給される親画像データ、タップ構築部 17 から供給される画像予測タップ、および、タップ構築部 131 から供給される奥行き予測タップに基づいて、クラス分類部 16 から供給されるクラス、並びにノイズパラメータ N_z 、ノイズパラメータ N_i 、およびぼけパラメータ P 毎に、予測係数 w_n を演算し、係数メモリ 19 に供給する。

【0232】

ステップ S133 において、係数メモリ 19 は、図 8 のステップ S12 と同様に、予測係数演算部 132 から供給される予測係数 w_n を記憶し、処理は終了する。

【0233】

10

20

30

40

50

図 18 は、図 16 の学習装置 1 で学習された予測係数 w_n を用いて予測処理を行う予測装置 81 の構成を示すブロック図である。

【0234】

図 18 の予測装置 81 は、タップ構築部 91、タップ構築部 92、クラス分類部 93、係数メモリ 94、タップ構築部 95、タップ構築部 141、および予測演算部 142 により構成される。

【0235】

なお、図 18 において、図 9 の予測装置 81 と同一のものには、同一の符号を付してある。すなわち、図 18 の予測装置 81 には、タップ構築部 141 が新たに設けられ、図 9 の予測装置 81 の予測演算部 96 の代わりに、予測演算部 142 が設けられている。

10

【0236】

タップ構築部 141 は、図 16 のタップ構築部 131 と同様に、注目画素の画素値を予測するために用いる、奥行きデータ z の幾つかを抽出することで、奥行き予測タップを奥行きデータ z から構築する。タップ構築部 141 は、奥行き予測タップを予測演算部 142 に供給する。

【0237】

予測演算部 142 は、タップ構築部 95 から供給される画像予測タップ、タップ構築部 141 から供給される奥行き予測タップ、および係数メモリ 94 から提供される予測係数 w_n を用いて、注目画素の画素値の予測値を求める予測演算を行う。

【0238】

20

具体的には、予測演算部 142 は、上述した式 (1) の線形一次式の x_n として、画像予測タップを構成するぼけ画素だけでなく、奥行き予測タップを構成する奥行きデータ z も適用し、 w_n として、図 16 の学習装置 1 により学習された画像予測タップと奥行き予測タップに対応する画素の数分の予測係数を適用することにより、ぼけ修正画像を構成する画素の画素値を求める。

【0239】

予測演算部 142 は、ぼけ修正画像を構成する各画素の画素値を、ぼけ修正画像データとして出力する。

【0240】

次に、図 19 を参照して、図 18 の予測装置 81 がぼけ修正画像データを予測する予測処理について説明する。この予測処理は、例えば、予測装置 81 にぼけ画像データと奥行きデータ z が入力されたとき、開始される。

30

【0241】

ステップ S141 乃至ステップ S146 の処理は、図 10 のステップ S31 乃至ステップ S36 の処理と同様であるので、その説明は省略する。

【0242】

ステップ S147 において、タップ構築部 141 は、奥行きデータ z から奥行き予測タップを構築し、その奥行き予測タップを予測演算部 142 に供給する。ステップ S148 において、予測演算部 142 は、タップ構築部 95 から供給される画像予測タップ、タップ構築部 141 から供給される奥行き予測タップ、および係数メモリ 94 から提供される予測係数 w_n を用いて、注目画素の画素値の予測値を求める予測演算を行い、ぼけ修正画像を構成する各画素の画素値を求め、ぼけ修正画像データとして出力する。そして、処理は終了する。

40

【0243】

以上に説明したノイズは、パラメータに付加される揺らぎを含めて考えることができる。ここで揺らぎとは、エネルギー、密度、電圧などの、広がりまたは強度を持つ量の空間的または時間的な平均値からの変動を含む。揺らぎを与える関数は任意であるが、パワーが周波数 f に反比例する $1/f$ 揺らぎとすることで、より自然に変化するエフェクトを付加した画像を生成することができる。

【0244】

50

1/f 揺らぎは、ノイズSWNをフーリエ変換し、周波数領域でパワースペクトラムを 1/f に加工し、逆フーリエ変換することで生成することができる。パラメータに付加するノイズ振幅の時間方向の変動に関するパワースペクトラムを 1/f にし、各画素のパラメータごとに個別の 1/f 揺らぎを付加する。フレームに関しても、時間方向の変動に関するパワースペクトラムを 1/f にする。

【0245】

次に、このような意味での揺らぎとしてのノイズを付加した画像を生成する処理について説明する。本発明の実施の形態においては、予め設定されたぼけモデルのぼけデータにノイズを与えることで、ノイズを付加した画像が生成される。

【0246】

図20はノイズを付加した画像の画像データを生成する画像生成装置の一実施の形態の構成を示すブロック図である。この画像生成装置301の基本的な構成は図3の学習装置1と同様であり、ぼけ付加部311、ノイズ付加部312、ノイズ付加部313、タップ構築部314、タップ構築部315、クラス分類部316、タップ構築部317、予測係数演算部318、および係数メモリ319は、図3のぼけ付加部11、ノイズ付加部12、ノイズ付加部13、タップ構築部14、タップ構築部15、クラス分類部16、タップ構築部17、予測係数演算部18、および係数メモリ19と同様の機能を有している。従って、その説明は省略する。

【0247】

ただし、この実施の形態においては、ノイズ付加部312に奥行きデータ z だけでなく、動き情報と親画像データが供給されている他、ノイズパラメータ N_z に代えて、ノイズパラメータ N が供給されている。また予測係数演算部318にはノイズパラメータ N_i とぼけパラメータ P の他、ノイズパラメータ N と動き情報が供給されている。

【0248】

この画像生成装置301は、ノイズを付加した画像の画像データを生成する機能を有する他、ノイズが付加された画像からノイズを修正する処理を行う場合の予測係数を学習する機能を有する。すなわち画像生成装置301は、画像データ生成装置としての機能と、予測係数演算装置としての機能を有する。このため、ノイズ付加部313で生成された画像データは、ノイズが付加された画像の画像データとして他の装置に出力される他、生徒画像データとしてタップ構築部314とタップ構築部317に供給される。

【0249】

ノイズを付加した画像は、画像の合焦状態または動きにノイズ成分を付加することで、ぼけ画像として生成される。

【0250】

なお、ノイズを付加した画像の画像データを生成する画像生成装置は、図14に示した学習装置に対応した構成も考えられる。この場合の実施の形態が図21に示されている。この画像生成装置400の基本的な構成は図14の学習装置1と同様である。すなわち、図21のぼけ付加部311、ノイズ付加部312、ノイズ付加部313、タップ構築部314、タップ構築部315、クラス分類部316、タップ構築部317、予測係数演算部402、係数メモリ319、ダウンスケーリング部401、予測係数演算部402、およびダウンスケーリング部421は、図14のぼけ付加部11、ノイズ付加部12、ノイズ付加部13、タップ構築部14、タップ構築部15、クラス分類部16、タップ構築部17、係数メモリ19、ダウンスケーリング部101、予測係数演算部102、およびダウンスケーリング部121と同様の機能を有している。従って、その説明は省略する。

【0251】

ただし、ダウンスケーリング部401には奥行きデータ z とスケーリングパラメータ(H, V)の他、動き情報と親画像データが供給されている。ノイズ付加部312にはノイズパラメータ N_z に代えて、ノイズパラメータ N が供給されている。また予測係数演算部402にはノイズパラメータ N_i 、ぼけパラメータ P 、スケーリングパラメータ(H, V)に加えて、動き情報が供給されているとともに、ノイズパラメータ N_z に代えてノイズ

10

20

30

40

50

パラメータNが供給されている。

【0252】

合焦状態のノイズ（ピントぼけノイズ）の付加は、距離情報、ぼけのガウス関数の偏差、ぼけのガウス関数の位相、もしくはぼけのガウス関数の先鋭度にノイズを付加するか、またはそれらのうちの所定のものの複合により行われる。

【0253】

距離情報に基づいて合焦状態にノイズを与える場合、ぼけデータとしての奥行きデータzにノイズが付加される。すなわち、ノイズ付加後の奥行きデータをZ_{swn}とし、付加するノイズをSWNdとした場合、次式に示すように、ノイズ付加前の奥行きデータzに対してノイズSWNdを加算することでノイズ付加後の奥行きデータZ_{swn}が演算される。

$$Z_{swn} = z + SWNd \quad (21)$$

【0254】

ノイズSWNdは、次式に示されるように、フレーム単位で変化される成分SWNd(frame)と、画素単位で変化される成分SWNd(pixel)の和で表される。

$$SWNd = SWNd(frame) + SWNd(pixel) \quad (22)$$

【0255】

そして、ノイズSWNdは、例えば次式で表すことができる。この関数mseqは、疑似乱数を発生する。

$$R_{mseq[m]} \quad (23)$$

$$m = 0, 1, 2, \dots, n$$

【0256】

それぞれのフレーム単位で変化する成分をR_{mseq[m](frame)}、画素単位で変化する成分をR_{mseq[m](pixel)}とすると、ノイズSWNdは次式で表される。なお、次式の右辺の添字のdは、係数Rや関数mseqが、距離に関するものであることを表わす。

$$SWNd = R_d mseq_d[m](frame) + R_d mseq_d[m](pixel) \quad (24)$$

【0257】

そしてノイズSWNdを決定するパラメータとしての係数R_dがノイズパラメータNに対応して設定される。

【0258】

ノイズ付加部312は、以上の処理を実行するために図22に示されるように、設定部331、取得部332、決定部333、および演算部334の機能的構成を有している。

【0259】

設定部331はユーザの指示に基づいて処理領域を設定する。取得部332はノイズパラメータNと動き情報を取得する。決定部333はノイズの式の係数を決定する。演算部334はノイズを含む各種の演算を行う。

【0260】

また、ぼけ付加部311は、図23に示されるように、取得部351、選択部352、および演算部353の機能的構成を有している。

【0261】

取得部351はぼけパラメータPを取得する。選択部352は重みw_iを選択する。演算部353は各種の演算を行う。

【0262】

距離情報に基づいてピントぼけノイズの画像を生成する処理について、図24のフローチャートを参照して説明する。

【0263】

ステップS201において、設定部331はユーザの指示に基づいて、処理領域を設定する。この場合、ユーザは、画像の一部、若しくは全部を処理領域として設定することができる。常に画像の全体を処理する場合には、この処理を省略することもできる。ステップS202において、取得部332はユーザにより指定されたノイズパラメータNを取得する。ステップS203において、決定部333は、ノイズパラメータNに対応して、式

(2 4) のノイズSWNdの係数 R dを決定する。

【 0 2 6 4 】

ステップ S 2 0 4 において、演算部 3 3 4 はノイズSWNdを演算する。すなわち、式 (2 4) に従って、ノイズSWNdが演算される。

【 0 2 6 5 】

ステップ S 2 0 5 において、演算部 3 3 4 は設定された処理領域に関し、ノイズSWNdを付加した奥行きデータを演算する。具体的には、式 (2 1) に従って、取得された奥行きデータ z に対して、ステップ S 2 0 4 で演算されたノイズSWNdが加算されて、ノイズSWNd付加後の奥行きデータ Z swnが演算される。このノイズSWNdが付加された奥行きデータ Z swnはぼけモデルにノイズを与えるパラメータとしてボケ付加部 3 1 1 に出力される。

10

【 0 2 6 6 】

ステップ S 2 0 6 において、ボケ付加部 3 1 1 の演算部 3 5 3 はノイズを付加した画素データを演算する。すなわち、ぼけ付加部 3 1 1 では上述したように、ぼけモデルとしての式 (1 9) のぼけの点広がり関数 WT(k, l) が、ノイズが付加された奥行きデータ Z swnに基づいて演算され、式 (1 8) に基づいて親画像データにぼけが付加され、合焦状態が揺らいだ静止画が生成される。このノイズはフレーム毎に異なり、また画素毎に異なっている。

【 0 2 6 7 】

従って、1枚の静止画に対して、フレーム単位かつ画素単位のノイズ成分を変化させて複数枚のフレームの画像を生成すると、1枚の画像が揺れて見える一種の動画を生成することができる。これにより、例えば、人が空気中の物を遠くから見たような場合に観察されるような、比較的詳細な元の状態をそのまま確認することができる画像であって、周囲の空気の温度、湿度の変化などに起因して自然に揺らぐエフェクトを有する画像を生成することができる。

20

【 0 2 6 8 】

すなわち、以上の処理を行うことで、例えば図 2 5 に示されるように、1枚の静止画を、それぞれ異なるノイズSWNd_i (i = 1 , 2 , 3) を付加した奥行きデータ Z swn 1、Z swn 2、Z swn 3 に基づいて処理することで、元の静止画と若干異なるフレーム 1 乃至フレーム 3 の画像を生成することができる。

【 0 2 6 9 】

30

ぼけ関数としてのガウス関数の偏差 に基づいて合焦状態のノイズを与えることもできる。この場合、ぼけモデルとしての式 (1 9) のうちのぼけデータとしての偏差 に対応する関数 S(x+k, y+l) の、x 方向の成分 S_x(x+k, y+l) と y 方向の成分 S_y(x+k, y+l) を独立とすることで、式 (1 9) は次式のように書き換えられる。

【 0 2 7 0 】

【 数 1 3 】

$$WT(k, l) = \frac{1}{2\pi S_x(x+k, y+l)S_y(x+k, y+l)} e^{-\frac{(k^2+l^2)}{2S_x(x+k, y+l)S_y(x+k, y+l)}}$$

40

…(25)

【 0 2 7 1 】

このぼけデータとしての関数 S_x(x+k, y+l)、S_y(x+k, y+l) に独立にノイズが与えられる。すなわち、ノイズSWNsの x 成分と y 成分をそれぞれ SWNs_x、SWNs_y として、ノイズ付加後の関数 S_{x swn}(x+k, y+l)、S_{y swn}(x+k, y+l) は、次式で演算される。

$$S_{x swn}(x+k, y+l) = S_x(x+k, y+l) + SWNs_x$$

$$S_{y swn}(x+k, y+l) = S_y(x+k, y+l) + SWNs_y \quad (26)$$

【 0 2 7 2 】

関数 S_x(x+k, y+l)、S_y(x+k, y+l) が独立しているということは、図 2 6 に示されるように

50

両関数を図示した場合、関数の一方を他方の関数の軸に沿うように回転した場合、両関数の形状が一致しないことを意味する。

【 0 2 7 3 】

この場合においても、フレーム単位で変化される x 成分と y 成分を $SWNs_x$ (frame)、 $SWNs_y$ (frame)、画素単位で変化される x 成分と y 成分を $SWNs_x$ (pixel)、 $SWNs_y$ (pixel) とすると、ノイズ $SWNs$ の x 成分 $SWNs_x$ と y 成分 $SWNs_y$ は次式で表される。

$$SWNs_x = SWNs_x \text{ (frame)} + SWNs_x \text{ (pixel)}$$

$$SWNs_y = SWNs_y \text{ (frame)} + SWNs_y \text{ (pixel)}$$

(2 7)

【 0 2 7 4 】

そして、式 (2 5) の関数 $S_x(x+k, y+l)$ 、 $S_y(x+k, y+l)$ を、それにノイズ $SWNs$ の x 成分 $SWNs_x$ と y 成分 $SWNs_y$ を付加した関数 $S_{x_swn}(x+k, y+l)$ 、 $S_{y_swn}(x+k, y+l)$ で置き換えた次の式によってぼけの点広がり関数 $WT(k, l)_{swn}$ が演算され、このぼけの点広がり関数 $WT(k, l)_{swn}$ を用いて、式 (1 8) に従って画像データ $Y(x, y)$ が演算される。

【 0 2 7 5 】

【 数 1 4 】

$$WT(k, l)_{swn} = \frac{1}{2\pi S_{x_swn}(x+k, y+l) S_{y_swn}(x+k, y+l)} e^{-\frac{(k^2 + l^2)}{2S_{x_swn}(x+k, y+l) S_{y_swn}(x+k, y+l)}}$$

... (28)

【 0 2 7 6 】

例えば、ノイズ $SWNs$ を上述した式 (2 3) で表すとする。そして、それぞれのフレーム単位で変化する成分を $R_{mseq}[m]$ (frame)、画素単位で変化する成分を $R_{mseq}[m]$ (pixel) とすると、ノイズ $SWNs$ の x 成分 $SWNs_x$ と y 成分 $SWNs_y$ は次式で表される。

$$SWNs_x = R_{S_x} \text{ mseq}_{S_x}[m] \text{ (frame)} + R_{S_x} \text{ mseq}_{S_x}[m] \text{ (pixel)}$$

$$SWNs_y = R_{S_y} \text{ mseq}_{S_y}[m] \text{ (frame)} + R_{S_y} \text{ mseq}_{S_y}[m] \text{ (pixel)}$$

(2 9)

【 0 2 7 7 】

そして係数 R_{S_x} 、 R_{S_y} をノイズパラメータ N に応じて決定することで、ノイズ $SWNs_x$ 、 $SWNs_y$ の値が決定される。ノイズ $SWNs_x$ 、 $SWNs_y$ が付加された関数 $S_{x_swn}(x+k, y+l)$ 、 $S_{y_swn}(x+k, y+l)$ が、ぼけモデルでノイズを与えるパラメータとしてぼけ付加部 3 1 1 に供給される。

【 0 2 7 8 】

偏差によるピントぼけノイズの画像生成処理の手順を、図 2 7 のフローチャートを参照して説明する。

【 0 2 7 9 】

ステップ S 2 3 1 において、設定部 3 3 1 はユーザの指示に基づいて処理領域を設定する。この場合、ユーザは画像の一部、若しくは全部を処理領域として設定することができる。常に画像の全体を処理する場合には、この処理を省略することもできる。ステップ S 2 3 2 において、取得部 3 3 2 はユーザにより指定されたノイズパラメータ N を取得する。ステップ S 2 3 3 において、決定部 3 3 3 はノイズパラメータ N に基づいて式 (2 9) の係数 R_{S_x} 、 R_{S_y} を決定する。

【 0 2 8 0 】

ステップ S 2 3 4 において、演算部 3 3 4 はノイズ $SWNs_x$ 、 $SWNs_y$ を演算する。すなわち、ステップ S 2 3 2 において取得されたノイズパラメータ N に対応する係数 R_{S_x} 、 R_{S_y} に基づいて、式 (2 9) からノイズ $SWNs_x$ 、 $SWNs_y$ が演算される。

【 0 2 8 1 】

ステップ S 2 3 5 において、演算部 3 3 4 はノイズ $SWNs_x$ 、 $SWNs_y$ を付加したぼけの点広がり関数 $WT(k, l)_{swn}$ を演算する。すなわち、ステップ S 2 3 4 で演算されたノイズ $SWNs_x$

10

20

30

40

50

、SWNsyが付加されたぼけの点広がり関数 $WT(k,l)_{swn}$ が、式(28)に従って演算される。このノイズSWNsx、SWNsyが付加されたぼけの点広がり関数 $WT(k,l)_{swn}$ は、ぼけモデルにノイズを与えるパラメータとしてぼけ付加部311に出力される。

【0282】

ステップS236において、ぼけ付加部311の演算部353は設定された処理領域に関し、ノイズSWNsx、SWNsyを付加した画素データを演算する。具体的には、親画像データ $X(x+k,y+l)$ が取得され、取得された親画像データ $X(x+k,y+l)$ に対して、ステップS235で演算されたノイズSWNsx、SWNsyが付加されたぼけの点広がり関数 $WT(k,l)_{swn}$ を用いて画素データ $Y(x,y)$ が、式(18)に従って演算される。

【0283】

このようにして生成された画像データの画像の各画素には、フレーム毎に異なり、また画素毎に異なるノイズ成分が付加されている。従って、1枚の静止画に対して、フレーム単位かつ画素単位のノイズ成分を変化させて複数枚のフレームの画像を生成すると、1枚の画像が揺れて見える一種の動画を生成することができる。

【0284】

すなわち、この場合においても、上述した場合と同様に、人が空気中の物を遠くから見たような場合に観察されるような、比較的詳細な元の状態をそのまま確認することができる画像であって、周囲の空気の温度、湿度の変化などに起因して自然に揺らぐエフェクトを有する画像を生成することができる。

【0285】

ぼけモデルを規定するぼけの点広がり関数 $WT(k,l)$ の位相にノイズを付加することで、画像に合焦状態のノイズを付加することができる。この場合、ぼけの点広がり関数 $WT(k,l)$ のぼけデータとしての x 成分 k と y 成分 l にノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNl(x,y)$ が付加され、ノイズ付加後の x 成分 k_{swn} と y 成分 l_{swn} は、次式で示すようになる。

$$\begin{aligned} k_{swn} &= k + SWNk(x,y) \\ l_{swn} &= l + SWNl(x,y) \end{aligned}$$

(30)

【0286】

式(30)を代入することで式(19)が次式のように書き換えられる。

【0287】

【数15】

$$WT(k,l)_{swn} = \frac{1}{2\pi S^2(x+k,y+l)} e^{-\frac{k_{swn}^2 + l_{swn}^2}{2S^2(x+k,y+l)}} \quad \cdots(31)$$

【0288】

ノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNl(x,y)$ も、次式で表されるように、フレーム単位でのノイズ成分 $SWNk(x,y)$ (frame)、 $SWNl$ (frame)と、画素単位でのノイズ成分 $SWNk(x,y)$ (pixel)、 $SWNl$ (pixel)の和で構成される。

【0289】

$$\begin{aligned} SWNk(x,y) &= SWNk(x,y) \text{ (frame)} + SWNk(x,y) \text{ (pixel)} \\ SWNl(x,y) &= SWNl(x,y) \text{ (frame)} + SWNl(x,y) \text{ (pixel)} \end{aligned}$$

(32)

【0290】

ノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNl(x,y)$ を上記した式(23)で表すものとする。そして、それぞれのフレーム単位で変化される成分を $R_k \text{ mseq}_k[m](\text{frame})$ 、 $R_l \text{ mseq}_l[m](\text{frame})$ 、画素単位で変化される成分を $R_k \text{ mseq}_k[m](\text{pixel})$ 、 $R_l \text{ mseq}_l[m](\text{pixel})$ とすると、ノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNl(x,y)$ は次式で表される。

$$\begin{aligned} SWNk(x,y) &= R_k \text{ mseq}_k[m](\text{frame}) + R_k \text{ mseq}_k[m](\text{pixel}) \\ SWNl(x,y) &= R_l \text{ mseq}_l[m](\text{frame}) + R_l \text{ mseq}_l[m](\text{pixel}) \end{aligned}$$

10

20

30

40

50

(3 3)

【 0 2 9 1 】

そしてノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNI(x,y)$ の係数 R_k 、 R_l がノイズパラメータ N に対応して決定される。

【 0 2 9 2 】

位相によるピントぼけノイズの画像生成処理の手順を、図 2 8 のフローチャートを参照して説明する。

【 0 2 9 3 】

ステップ S 2 6 1 において、設定部 3 3 1 はユーザの指示に基づいて処理領域を設定する。この場合、ユーザは画像の一部、若しくは全部を処理領域として設定することができる。常に画像の全体を処理する場合には、この処理を省略することもできる。ステップ S 2 6 2 において、取得部 3 3 2 はユーザにより指定されたノイズパラメータ N を取得する。ステップ S 2 6 3 において、決定部 3 3 3 はノイズパラメータ N に基づいて、式 (3 3) のノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNI(x,y)$ の係数 R_k 、 R_l を決定する。

10

【 0 2 9 4 】

ステップ S 2 6 4 において、演算部 3 3 4 はノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNI(x,y)$ を演算する。すなわち、ステップ S 2 6 2 において取得されたノイズパラメータ N に対応する係数 R_k 、 R_l に基づいて、式 (3 3) からノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNI(x,y)$ が演算される。

【 0 2 9 5 】

ステップ S 2 6 5 において、演算部 3 3 4 はノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNI(x,y)$ を付加したぼけの点広がり関数 $WT(k,l)_{swn}$ を演算する。すなわち、ステップ S 2 6 4 で演算されたノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNI(x,y)$ が付加されたぼけの点広がり関数 $WT(k,l)_{swn}$ が、式 (3 1) に従って演算される。このノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNI(x,y)$ が付加されたぼけの点広がり関数 $WT(k,l)_{swn}$ は、ぼけモデルでノイズを与えるパラメータとして、ぼけ付加部 3 1 1 に出力される。

20

【 0 2 9 6 】

ステップ S 2 6 6 において、ぼけ付加部 3 1 1 の演算部 3 5 3 は設定された処理領域に関し、ノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNI(x,y)$ を付加した画素データを演算する。具体的には、入力された親画像データ $X(x+k,y+l)$ から、ステップ S 2 6 5 で演算されたノイズ $SWNk(x,y)$ 、 $SWNI(x,y)$ が付加されたぼけの点広がり関数 $WT(k,l)_{swn}$ を用いて式 (1 8) に従って、画素データ $Y(x,y)$ が演算される。

30

【 0 2 9 7 】

以上のように位相にノイズを与えることは、図 2 9 に示されるように、例えば x 座標で表されるぼけの点広がり関数 WT_1 のピーク値を与える x 座標の値が μ_1 である場合、そのピーク値を与える x 座標が μ_2 または μ_3 である位相の関数 WT_2 、 WT_3 にシフトすることを意味する。

【 0 2 9 8 】

このようにした場合においても、上述した場合と同様に、自然に揺らぐエフェクトを有する画像を生成することができる。

【 0 2 9 9 】

40

ぼけモデルとしてのぼけの点広がり関数 $WT(k,l)$ の先鋭度にノイズを付加することで、画像に合焦状態のノイズを付加することができる。図 3 0 には最も先鋭度が高い関数 WT_{11} 、中程度の関数 WT_{12} 、最も低い関数 WT_{13} が示されている。式 (1 9) のサンプリングポイントの間隔を密にすることで先鋭度を低くし、粗にすることで高くすることができる。

【 0 3 0 0 】

係数値の合計が 1 . 0 にならない場合、各係数値を係数の総和で除算することで、正規化が行われる。

【 0 3 0 1 】

すなわち、異なる偏差 で算出した複数の正規分布を結合して、レベルを正規化することで、先鋭度を変えた特性 (すなわち式) を得ることができる。注目画素に対して異なる

50

偏差 の足し込み特性を算出し、それらを積分後、レベル正規化が行われる。先鋭度が変化する状態は、1画素内で、奥行き方向（すなわち距離方向）にノイズが生じている状態（すなわち、1画素の積分時間内に前後に動きが生じた状態）と等価と考えることができる。この場合、ぼけの点広がり関数は、次の混合正規分布の式で表される。

【 0 3 0 2 】

【 数 1 6 】

$$WT(k, l) = \sum_{p=1}^m K_p \cdot \frac{1}{2\pi S^2(x+k, y+l)} e^{-\frac{(k^2+l^2)}{2S^2(x+k, y+l)}} \quad \cdots(34)$$

10

【 0 3 0 3 】

上記式のぼけデータとしての係数 K_p を、ノイズを与えた係数 K_{pswn} に変更すると、上記式は次のように書き換えられる。

【 0 3 0 4 】

【 数 1 7 】

$$WT(k, l)_{swn} = \sum_{p=1}^m K_{pswn} \cdot \frac{1}{2\pi S^2(x+k, y+l)} e^{-\frac{(k^2+l^2)}{2S^2(x+k, y+l)}} \quad \cdots(35)$$

【 0 3 0 5 】

20

ノイズを SWN_p とすると、ノイズを与えた係数 K_{pswn} は次式で表される。

【 0 3 0 6 】

【 数 1 8 】

$$K_{pswn} = \frac{K'_p}{\sum_{p=1}^m K'_p} \quad \cdots(36)$$

$$K'_p = SWN_p \quad \cdots(37)$$

30

【 0 3 0 7 】

ノイズ SWN_p を式 (2 3) で表すとし、それぞれのフレーム単位で変化される成分を R_p $mseq_p[m](frame)$ 、画素単位で変化される成分を R_p $mseq_p[m](pixel)$ とすると、ノイズ $SWN_p(x, y)$ は次式で表される。

$$SWN_p(x, y) = R_p \ mseq_p[m](frame) + R_p \ mseq_p[m](pixel) \quad (3 8)$$

【 0 3 0 8 】

そしてノイズ $SWN_p(x, y)$ の係数 R_p がノイズパラメータ N に対応して設定される。

【 0 3 0 9 】

40

尖鋭度によるピントぼけノイズの画像生成処理の手順を、図 3 1 のフローチャートを参照して説明する。

【 0 3 1 0 】

ステップ S 2 7 1 において、設定部 3 3 1 はユーザの指示に基づいて処理領域を設定する。この場合、ユーザは画像の一部、若しくは全部を処理領域として設定することができる。常に画像の全体を処理する場合には、この処理を省略することもできる。ステップ S 2 7 2 において、取得部 3 3 2 はユーザにより指定されたノイズパラメータ N を取得する。ステップ S 2 7 3 において、決定部 3 3 3 はノイズパラメータ N に基づいて、式 (3 8) のノイズ $SWN_p(x, y)$ の係数 R_p を決定する。

【 0 3 1 1 】

50

ステップS 2 7 4において、演算部3 3 4はノイズ $SWNp(x,y)$ を演算する。すなわち、ステップS 2 7 2において取得されたノイズパラメータNに対応する係数 R_p に基づいて、式(3 8)からノイズ $SWNp(x,y)$ が演算される。

【0 3 1 2】

ステップS 2 7 5において、演算部3 3 4はノイズ $SWNp(x,y)$ を付加したぼけの点広がり関数 $WT(k,l)swn$ を演算する。すなわち、ステップS 2 7 4で演算されたノイズ $SWNp(x,y)$ が付加されたぼけの点広がり関数 $WT(k,l)swn$ が、式(3 5)に従って演算される。このノイズ $SWNp(x,y)$ が付加されたぼけの点広がり関数 $WT(k,l)swn$ は、ぼけモデルでノイズを与えるパラメータとして、ぼけ付加部3 1 1に出力される。

【0 3 1 3】

ステップS 2 7 6において、ぼけ付加部3 1 1の演算部3 5 3は設定された処理領域に関し、ノイズ $SWNp(x,y)$ を付加した画素データを演算する。具体的には、入力された親画像データ $X(x+k,y+l)$ から、ステップS 2 7 5で演算されたノイズ $SWNp(x,y)$ が付加されたぼけの点広がり関数 $WT(k,l)swn$ を用いて式(1 8)に従って、画素データ $Y(x,y)$ が演算される。

【0 3 1 4】

以上のように尖鋭度にノイズを与えた場合においても、上述した場合と同様に、自然に揺らぐエフェクトを有する画像を生成することができる。

【0 3 1 5】

さらに図3 2に示されるように、ぼけモデルとしての式(1 9)のぼけの点広がり関数 $WT(k,l)$ を、ガウス関数 WT_{21} から歪ませた関数 WT_{22} 、 WT_{23} と変化させることでも画像に合焦状態のノイズを付加することができる。

【0 3 1 6】

次に動きぼけのノイズを付加した画像を生成する場合について説明する。

【0 3 1 7】

静止した状態の背景の前を所定の物体の前景が移動する場合、これをセンサにより撮像すると、背景のみを撮像する画素、前景のみを撮像する画素、そして前景と背景を混合して撮像する画素が出現する。以下このことを詳述する。

【0 3 1 8】

図3 3は、センサによる撮像を説明する図である。センサ3 9 1は、例えば、固体撮像素子であるCCD(Charge-Coupled Device)エリアセンサを備えたCCDビデオカメラなどで構成される。現実世界における、前景に対応するオブジェクトは、現実世界における、背景に対応するオブジェクトと、センサ3 9 1との間を、例えば、図中の左側から右側に水平に移動する。

【0 3 1 9】

例えばビデオカメラなどにより構成されるセンサ3 9 1は、前景に対応するオブジェクトを、背景に対応するオブジェクトと共に撮像する。センサ3 9 1は、撮像した画像を1フレーム単位で出力する。例えば、センサ3 9 1は、1秒間に3 0フレームから成る画像を出力する。センサ3 9 1の露光時間は、1 / 3 0秒とすることができる。露光時間は、センサ3 9 1が入力された光の電荷への変換を開始してから、入力された光の電荷への変換を終了するまでの期間である。以下、露光時間をシャッタ時間とも称する。

【0 3 2 0】

図3 4は、画素の配置を説明する図である。図3 4において、A乃至Iは、個々の画素を示す。画素は、画像に対応する平面上に配置されている。1つの画素に対応する1つの検出素子は、センサ3 9 1上に配置されている。センサ3 9 1が画像を撮像するとき、1つの検出素子は、画像を構成する1つの画素に対応する画素値を出力する。例えば、検出素子のX方向の位置は、画像上の横方向の位置に対応し、検出素子のY方向の位置は、画像上の縦方向の位置に対応する。

【0 3 2 1】

図3 5に示すように、例えば、CCDである検出素子は、シャッタ時間に対応する期間、

10

20

30

40

50

入力された光を電荷に変換して、変換された電荷を蓄積する。電荷の量は、入力された光の強さと、光が入力されている時間にほぼ比例する。検出素子は、シャッタ時間に対応する期間において、入力された光から変換された電荷を、既に蓄積されている電荷に加えていく。すなわち、検出素子は、シャッタ時間に対応する期間、入力される光を積分して、積分された光に対応する量の電荷を蓄積する。検出素子は、時間に対して、積分効果があるとも言える。

【0322】

検出素子に蓄積された電荷は、図示せぬ回路により、電圧値に変換され、電圧値は更にデジタルデータなどの画素値に変換されて出力される。従って、センサ391から出力される個々の画素値は、前景または背景に対応するオブジェクトの空間的に広がりを持つある部分を、シャッタ時間について積分した結果である、1次元の空間に射影された値を有する。

10

【0323】

図36は、静止している前景に対応するオブジェクトおよび静止している背景に対応するオブジェクトを撮像した画像における、隣接して1列に並んでいる画素の画素値を時間方向に展開したモデル図である。例えば、隣接して1列に並んでいる画素として、画面の1つのライン上に並んでいる画素を選択することができる。

【0324】

図36に示すF01乃至F04の画素値は、静止している前景のオブジェクトに対応する画素の画素値である。図36に示すB01乃至B04の画素値は、静止している背景のオブジェクトに対応する画素の画素値である。

20

【0325】

図36における縦方向は、図中の上から下に向かって時間が経過する。図36中の矩形の上辺の位置は、センサ391が入力された光の電荷への変換を開始する時刻に対応し、図36中の矩形の下辺の位置は、センサ391が入力された光の電荷への変換を終了する時刻に対応する。すなわち、図36中の矩形の上辺から下辺までの距離は、シャッタ時間に対応する。

【0326】

以下において、シャッタ時間とフレーム間隔とが同一である場合を例に説明する。

【0327】

30

図36における横方向は、空間方向Xに対応する。より具体的には、図36に示す例において、図36中の“F01”と記載された矩形の左辺から“B04”と記載された矩形の右辺までの距離は、画素のピッチの8倍、すなわち、連続している8つの画素の間隔に対応する。

【0328】

前景のオブジェクトおよび背景のオブジェクトが静止している場合、シャッタ時間に対応する期間において、センサ391に入力される光は変化しない。

【0329】

ここで、シャッタ時間に対応する期間を2つ以上の同じ長さの期間に分割する。例えば、仮想分割数を4とすると、図36に示すモデル図は、図37に示すモデルとして表すことができる。仮想分割数は、前景に対応するオブジェクトのシャッタ時間内の動き量 v などに対応して設定される。例えば、4である動き量 v に対応して、仮想分割数は、4とされ、シャッタ時間に対応する期間は4つに分割される。

40

【0330】

図中の最も上の行は、シャッタが開いて最初の、分割された期間に対応する。図中の上から2番目の行は、シャッタが開いて2番目の、分割された期間に対応する。図中の上から3番目の行は、シャッタが開いて3番目の、分割された期間に対応する。図中の上から4番目の行は、シャッタが開いて4番目の、分割された期間に対応する。

【0331】

以下、動き量 v に対応して分割されたシャッタ時間をシャッタ時間/ v とも称する。

50

【0332】

前景に対応するオブジェクトが静止しているとき、センサ391に入力される光は変化しないので、前景の成分 $F01/v$ は、画素値 $F01$ を仮想分割数で除した値に等しい。同様に、前景に対応するオブジェクトが静止しているとき、前景の成分 $F02/v$ は、画素値 $F02$ を仮想分割数で除した値に等しく、前景の成分 $F03/v$ は、画素値 $F03$ を仮想分割数で除した値に等しく、前景の成分 $F04/v$ は、画素値 $F04$ を仮想分割数で除した値に等しい。

【0333】

背景に対応するオブジェクトが静止しているとき、センサ391に入力される光は変化しないので、背景の成分 $B01/v$ は、画素値 $B01$ を仮想分割数で除した値に等しい。同様に、背景に対応するオブジェクトが静止しているとき、背景の成分 $B02/v$ は、画素値 $B02$ を仮想分割数で除した値に等しく、 $B03/v$ は、画素値 $B03$ を仮想分割数で除した値に等しく、 $B04/v$ は、画素値 $B04$ を仮想分割数で除した値に等しい。

10

【0334】

すなわち、前景に対応するオブジェクトが静止している場合、シャッタ時間に対応する期間において、センサ391に入力される前景のオブジェクトに対応する光が変化しないので、シャッタが開いて最初の、シャッタ時間 $/v$ に対応する前景の成分 $F01/v$ と、シャッタが開いて2番目の、シャッタ時間 $/v$ に対応する前景の成分 $F01/v$ と、シャッタが開いて3番目の、シャッタ時間 $/v$ に対応する前景の成分 $F01/v$ と、シャッタが開いて4番目の、シャッタ時間 $/v$ に対応する前景の成分 $F01/v$ とは、同じ値となる。 $F02/v$ 乃至 $F04/v$ も、 $F01/v$ と同様の関係を有する。

20

【0335】

背景に対応するオブジェクトが静止している場合、シャッタ時間に対応する期間において、センサ391に入力される背景のオブジェクトに対応する光は変化しないので、シャッタが開いて最初の、シャッタ時間 $/v$ に対応する背景の成分 $B01/v$ と、シャッタが開いて2番目の、シャッタ時間 $/v$ に対応する背景の成分 $B01/v$ と、シャッタが開いて3番目の、シャッタ時間 $/v$ に対応する背景の成分 $B01/v$ と、シャッタが開いて4番目の、シャッタ時間 $/v$ に対応する背景の成分 $B01/v$ とは、同じ値となる。 $B02/v$ 乃至 $B04/v$ も、同様の関係を有する。

【0336】

次に、前景に対応するオブジェクトが移動し、背景に対応するオブジェクトが静止している場合について説明する。

30

【0337】

図38は、前景に対応するオブジェクトが図中の右側に向かって移動する場合の、カバードバックグラウンド領域（前景領域に対して、前景のオブジェクトの進行方向の前端部に対応する位置の、前景成分と背景成分の混合領域であり、時間の経過に対応して背景成分が前景に覆い隠される領域）を含む、1つのライン上の画素の画素値を時間方向に展開したモデル図である。図38において、前景の動き量 v は、4である。1フレームは短い時間なので、前景に対応するオブジェクトが剛体であり、等速で移動していると仮定することができる。図38において、前景に対応するオブジェクトの画像は、あるフレームを基準として次のフレームにおいて4画素分右側に表示されるように移動する。

40

【0338】

図38において、最も左側の画素乃至左から4番目の画素は、前景領域に属する。図38において、左から5番目乃至左から7番目の画素は、カバードバックグラウンド領域である混合領域に属する。図38において、最も右側の画素は、背景領域に属する。

【0339】

前景に対応するオブジェクトが時間の経過と共に背景に対応するオブジェクトを覆い隠すように移動しているので、カバードバックグラウンド領域に属する画素の画素値に含まれる成分は、シャッタ時間に対応する期間のある時点で、背景の成分から、前景の成分に替わる。

【0340】

50

例えば、図 3 8 中に太線枠を付した画素値Mは、式 (3 9) で表される。

【 0 3 4 1 】

$$M=B02/v+B02/v+F07/v+F06/v \quad (3 9)$$

【 0 3 4 2 】

例えば、左から 5 番目の画素は、1つのシャッタ時間 / v に対応する背景の成分を含み、3つのシャッタ時間 / v に対応する前景の成分を含むので、左から 5 番目の画素の混合比 (前景成分と背景成分の和である 1 画素の値において前景成分が占める割合) は、1/4である。左から 6 番目の画素は、2つのシャッタ時間 / v に対応する背景の成分を含み、2つのシャッタ時間 / v に対応する前景の成分を含むので、左から 6 番目の画素の混合比 は、1/2である。左から 7 番目の画素は、3つのシャッタ時間 / v に対応する背景の成分を含み、1つのシャッタ時間 / v に対応する前景の成分を含むので、左から 7 番目の画素の混合比 は、3/4である。

10

【 0 3 4 3 】

前景に対応するオブジェクトが、剛体であり、前景の画像が次のフレームにおいて 4 画素右側に表示されるように等速で移動すると仮定できるので、例えば、図 3 8 中の左から 4 番目の画素の、シャッタが開いて最初の、シャッタ時間 / v の前景の成分F07/vは、図 3 8 中の左から 5 番目の画素の、シャッタが開いて 2 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分に等しい。同様に、前景の成分F07/vは、図 3 8 中の左から 6 番目の画素の、シャッタが開いて 3 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分と、図 3 8 中の左から 7 番目の画素の、シャッタが開いて 4 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分とに、それぞれ等しい。

20

【 0 3 4 4 】

前景に対応するオブジェクトが、剛体であり、前景の画像が次のフレームにおいて 4 画素右側に表示されるように等速で移動すると仮定できるので、例えば、図 3 8 中の左から 3 番目の画素の、シャッタが開いて最初のシャッタ時間 / v の前景の成分F06/vは、図 3 8 中の左から 4 番目の画素の、シャッタが開いて 2 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分に等しい。同様に、前景の成分F06/vは図 3 8 中の左から 5 番目の画素の、シャッタが開いて 3 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分と、図 3 8 中の左から 6 番目の画素の、シャッタが開いて 4 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分とに、それぞれ等しい。

30

【 0 3 4 5 】

前景に対応するオブジェクトが、剛体であり、前景の画像が次のフレームにおいて 4 画素右側に表示されるように等速で移動すると仮定できるので、例えば、図 3 8 中の左から 2 番目の画素の、シャッタが開いて最初のシャッタ時間 / v の前景の成分F05/vは、図 3 8 中の左から 3 番目の画素の、シャッタが開いて 2 番目のシャッタ時間 / v のに対応する前景の成分に等しい。同様に、前景の成分F05/vは、図 3 8 中の左から 4 番目の画素の、シャッタが開いて 3 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分と、図 3 8 中の左から 5 番目の画素の、シャッタが開いて 4 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分とに、それぞれ等しい。

40

【 0 3 4 6 】

前景に対応するオブジェクトが、剛体であり、前景の画像が次のフレームにおいて 4 画素右側に表示されるように等速で移動すると仮定できるので、例えば、図 3 8 中の最も左側の画素の、シャッタが開いて最初のシャッタ時間 / v の前景の成分F04/vは、図 3 8 中の左から 2 番目の画素の、シャッタが開いて 2 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分に等しい。同様に、前景の成分F04/vは、図 3 8 中の左から 3 番目の画素の、シャッタが開いて 3 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分と、図 3 8 中の左から 4 番目の画素の、シャッタが開いて 4 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分とに、それぞれ等しい。

【 0 3 4 7 】

動いているオブジェクトに対応する前景の領域は、このように動きぼけを含むので、歪

50

み領域とも言える。

【 0 3 4 8 】

図 3 9 は、前景が図中の右側に向かって移動する場合の、アンカバードバックグラウンド領域（前景に対して、前景のオブジェクトの進行方向の後端部に対応する位置の、前景成分と背景成分の混合領域であり、時間の経過に対応して背景成分が現れる領域）を含む、1つのライン上の画素の画素値を時間方向に展開したモデル図である。図 3 9 において、前景の動き量 v は、4 である。1 フレームは短い時間なので、前景に対応するオブジェクトが剛体であり、等速で移動していると仮定することができる。図 3 9 において、前景に対応するオブジェクトの画像は、あるフレームを基準として次のフレームにおいて 4 画素分右側に移動する。

10

【 0 3 4 9 】

図 3 9 において、最も左側の画素乃至左から 4 番目の画素は、背景領域に属する。図 3 9 において、左から 5 番目乃至左から 7 番目の画素は、アンカバードバックグラウンドである混合領域に属する。図 3 9 において、最も右側の画素は、前景領域に属する。

【 0 3 5 0 】

背景に対応するオブジェクトを覆っていた前景に対応するオブジェクトが時間の経過と共に背景に対応するオブジェクトの前から取り除かれるように移動しているので、アンカバードバックグラウンド領域に属する画素の画素値に含まれる成分は、シャッタ時間に対応する期間のある時点で、前景の成分から、背景の成分に替わる。

【 0 3 5 1 】

20

例えば、図 3 9 中に太線枠を付した画素値 M' は、式 (4 0) で表される。

【 0 3 5 2 】

$$M' = F02/v + F01/v + B26/v + B26/v \quad (40)$$

【 0 3 5 3 】

例えば、左から 5 番目の画素は、3つのシャッタ時間 / v に対応する背景の成分を含み、1つのシャッタ時間 / v に対応する前景の成分を含むので、左から 5 番目の画素の混合比は、3/4 である。左から 6 番目の画素は、2つのシャッタ時間 / v に対応する背景の成分を含み、2つのシャッタ時間 / v に対応する前景の成分を含むので、左から 6 番目の画素の混合比は、1/2 である。左から 7 番目の画素は、1つのシャッタ時間 / v に対応する背景の成分を含み、3つのシャッタ時間 / v に対応する前景の成分を含むので、左から 7 番目の画素の混合比は、1/4 である。

30

【 0 3 5 4 】

式 (3 9) および式 (4 0) をより一般化すると、画素値 M は、式 (4 1) で表される。

【 0 3 5 5 】

【 数 1 9 】

$$M = \alpha \cdot B + \sum_i F_i/v \quad \cdots (41)$$

【 0 3 5 6 】

40

ここで、 α は、混合比である。 B は、背景の画素値であり、 F_i/v は、前景の成分である。

【 0 3 5 7 】

前景に対応するオブジェクトが剛体であり、等速で動くとは仮定でき、かつ、動き量 v が 4 であるので、例えば、図 3 9 中の左から 5 番目の画素の、シャッタが開いて最初の、シャッタ時間 / v の前景の成分 $F01/v$ は、図 3 9 中の左から 6 番目の画素の、シャッタが開いて 2 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分に等しい。同様に、 $F01/v$ は、図 3 9 中の左から 7 番目の画素の、シャッタが開いて 3 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分と、図 3 9 中の左から 8 番目の画素の、シャッタが開いて 4 番目のシャッタ時間 / v に対応する前景の成分とに、それぞれ等しい。

50

【 0 3 5 8 】

前景に対応するオブジェクトが剛体であり、等速で動くと仮定でき、かつ、仮想分割数が4であるので、例えば、図39中の左から6番目の画素の、シャッタが開いて最初の、シャッタ時間/vの前景の成分 F_{02}/v は、図39中の左から7番目の画素の、シャッタが開いて2番目のシャッタ時間/vに対応する前景の成分に等しい。同様に、前景の成分 F_{02}/v は、図39中の左から8番目の画素の、シャッタが開いて3番目のシャッタ時間/vに対応する前景の成分に等しい。

【 0 3 5 9 】

前景に対応するオブジェクトが剛体であり、等速で動くと仮定でき、かつ、動き量vが4であるので、例えば、図39中の左から7番目の画素の、シャッタが開いて最初の、シャッタ時間/vの前景の成分 F_{03}/v は、図39中の左から8番目の画素の、シャッタが開いて2番目のシャッタ時間/vに対応する前景の成分に等しい。

10

【 0 3 6 0 】

図37乃至図39の説明において、仮想分割数は、4であるとして説明したが、仮想分割数は、動き量vに対応する。動き量vは、一般に、前景に対応するオブジェクトの移動速度に対応する。例えば、前景に対応するオブジェクトが、あるフレームを基準として次のフレームにおいて4画素分右側に表示されるように移動しているとき、動き量vは、4とされる。動き量vに対応し、仮想分割数は、4とされる。同様に、例えば、前景に対応するオブジェクトが、あるフレームを基準として次のフレームにおいて6画素分左側に表示されるように移動しているとき、動き量vは、6とされ、仮想分割数は、6とされる。

20

【 0 3 6 1 】

動きぼけのノイズを付加した画像を生成する場合、以上に説明した式(41)の動き量vにノイズを付加することができる。すなわちノイズ SWN_v を付加した動き量 v_{swn} は、次の式で表される。

$$v_{swn} = v + SWN_v \quad (42)$$

【 0 3 6 2 】

そして、式(41)は次のように書き換えられ、各画素値Mは、次式に基づいて演算される。

【 0 3 6 3 】

【 数 2 0 】

30

$$M_{swn} = \alpha \cdot B + \sum_i F_i / v_{swn} \quad \cdots (43)$$

【 0 3 6 4 】

ここでもノイズ SWN_v は、次式で表されるように、フレーム単位で変化する成分 $SWN_v(\text{frame})$ と、画素単位で変化する成分 $SWN_v(\text{pixel})$ との和とされる。

$$SWN_v = SWN_v(\text{frame}) + SWN_v(\text{pixel}) \quad (44)$$

【 0 3 6 5 】

ノイズ SWN_v を上述した式(23)で表すものとする。そして、それぞれのフレーム単位で変化する成分を $R_v \text{ mseq}_v[m](\text{frame})$ 、画素単位で変化する成分を $R_v \text{ mseq}_v[m](\text{pixel})$ とすると、ノイズ SWN_v は次式で表される。

40

$$SWN_v = R_v \text{ mseq}_v[m](\text{frame}) + R_v \text{ mseq}_v[m](\text{pixel}) \quad (45)$$

【 0 3 6 6 】

そして式(45)の係数 R_v がノイズパラメータNに応じて決定される。

【 0 3 6 7 】

動き量の動きぼけノイズの画像生成処理の手順は、図40のフローチャートに示されるようになる。

【 0 3 6 8 】

ステップS291において、設定部331はユーザにより指定された領域を処理領域として設定する。この場合、画像の一部、若しくは全部を処理領域として設定することがで

50

きる。常に画像の全体を処理する場合には、この処理を省略することもできる。ステップ S 2 9 2 において、取得部 3 3 2 はステップ S 2 9 1 で設定された処理領域の各画素の動き情報を取得する。この動き情報には動き量 v が含まれている。

【0369】

ステップ S 2 9 3 において、取得部 3 3 2 はユーザにより指定されたノイズパラメータ N を取得する。ステップ S 2 9 4 において、決定部 3 3 3 は取得されたノイズパラメータ N に基づいて、式 (45) の係数 R_v を決定する。ステップ S 2 9 5 において、演算部 3 3 4 はノイズ SWN_v を演算する。すなわち、ステップ S 2 9 4 において決定された係数 R_v に基づいて、式 (45) に従って、ノイズ SWN_v が演算される。

【0370】

ステップ S 2 9 6 において、演算部 3 3 4 はノイズ SWN_v を付加した動き量 v_{swn} を演算する。すなわち、ステップ S 2 9 5 で演算されたノイズ SWN_v が付加された動き量 v_{swn} が、式 (42) に従って演算される。このノイズ SWN_v が付加された動き量 v_{swn} は、ぼけモデルでノイズを与えるパラメータとして、ぼけ付加部 3 1 1 に出力される。

【0371】

ステップ S 2 9 7 において、ぼけ付加部 3 1 1 の演算部 3 5 3 は設定された処理領域において、ノイズ SWN_v を付加した画素データを演算する。具体的には、親画像データとともに供給された混合比、背景の画素値 B 、および前景の画素値 F_i 、並びに演算されたノイズ SWN_v が付加された動き量 v_{swn} を用いて、式 (43) に基づき画素値 M_{swn} が演算される。

【0372】

このようにした場合においても、上述した場合と同様に、自然に揺らぐエフェクトを有する画像を生成することができる。

【0373】

次に、動きの方向（すなわち角度）にノイズを付加して、画像を生成する場合について説明する。

【0374】

図 4 1 A に示されるように、動きの方向が水平方向である場合、対象とされる注目画素が位置するライン上の処理領域 WA 内の他の画素の画素値に所定の係数で重み付けして積和された値がぼけ成分として注目画素の画素値に加算される。動きの方向が垂直方向である場合、対象とされる注目画素が位置する垂直方向のライン上の処理領域 WA 内の他の画素の画素値に所定の係数で重み付けして積和された値がぼけ成分として注目画素の画素値に加算される。

【0375】

図 4 1 B に示されるように、動きの方向が斜め方向である場合、対象とされる注目画素が位置するその動きの方向のライン L を中心として所定の幅の範囲が処理領域 WA とされる。そして、斜めのライン L 上に、画素の水平および垂直方向のピッチと同じ距離だけ離れた位置の補間画素が演算される。

【0376】

図 4 2 は補間画素の演算の原理を表している。同図に示されるように、補間位置 P_{wa} の画素値 $D_{P_{wa}}$ は、位置 P_{wa} に最も近い周囲の 4 個の位置 P_{w1} 乃至 P_{w4} の画素値 $D_{P_{w1}}$ 乃至 $D_{P_{w4}}$ から、次式に基づいて演算される。

$$\begin{aligned} D_{P_{wa}} = & \{ (1 - h) (1 - v) / v \} D_{P_{w1}} \\ & + \{ (h) (1 - v) / v \} D_{P_{w2}} \\ & + \{ (1 - h) (v) / v \} D_{P_{w3}} \\ & + \{ (h) (v) / v \} D_{P_{w4}} \end{aligned}$$

(46)

【0377】

式 (46) において、 h を動きの方向のライン L の x 軸に対する角度とすると、 h は \cos 、 v は \sin を、それぞれ表している。

10

20

30

40

50

【 0 3 7 8 】

ぼけデータとしての角度（動きの方向）に対するノイズは、 h 、 v に対して分解して付加される。すなわち、ぼけデータとしての h 、 v に対するノイズをそれぞれ SWN_h 、 SWN_v とすると、ノイズ付加後の h 、 v である h_{swn} 、 v_{swn} は、それぞれ次式で表される。

$$\begin{aligned} h_{swn} &= h + SWN_h \\ v_{swn} &= v + SWN_v \end{aligned} \quad (47)$$

【 0 3 7 9 】

ノイズ SWN_h 、 SWN_v を上述した式(23)で表すものとする。そして、それぞれのフレーム単位で変化される成分を $R_h \text{ mseq}_h[m](\text{frame})$ 、 $R_v \text{ mseq}_v[m](\text{frame})$ 、画素単位で変化される成分を $R_h \text{ mseq}_h[m](\text{pixel})$ 、 $R_v \text{ mseq}_v[m](\text{pixel})$ とすると、ノイズ SWN_h 、 SWN_v は次式で表される。

$$\begin{aligned} SWN_h &= R_h \text{ mseq}_h[m](\text{frame}) + R_h \text{ mseq}_h[m](\text{pixel}) \\ SWN_v &= R_v \text{ mseq}_v[m](\text{frame}) + R_v \text{ mseq}_v[m](\text{pixel}) \end{aligned} \quad (48)$$

【 0 3 8 0 】

従って、ノイズ SWN_h 、 SWN_v を付加した補間位置 P_{wa} の画素値 D_{Pwaswn} は、次式で表される。この式は、補間位置 P_{wa} の画素値 D_{Pwa} を演算する場合の補間画素の位置にノイズを付加することを意味する。

$$\begin{aligned} D_{Pwaswn} &= \{ (1 - h_{swn}) (1 - v_{swn}) / v \} D_{Pw1} \\ &+ \{ (h_{swn}) (1 - v_{swn}) / v \} D_{Pw2} \\ &+ \{ (1 - h_{swn}) (v_{swn}) / v \} D_{Pw3} \\ &+ \{ (h_{swn}) (v_{swn}) / v \} D_{Pw4} \end{aligned} \quad (49)$$

【 0 3 8 1 】

注目画素の画素値 D_{Pw1} にノイズを付加した注目画素の画素値 D_{Pwswn} は、次式で演算される。 w_i は各補間画素の重み付け係数であり、ぼけパラメータ P に基づいて選択、決定される。

【 0 3 8 2 】

【 数 2 1 】

$$DP_{wswn} = DP_{w1} + \sum_i w_i \cdot DP_{waswn} \quad \cdots(50)$$

【 0 3 8 3 】

次に、図43のフローチャートを参照して、動きの方向、すなわち角度による動きぼけノイズの画像生成処理について説明する。

【 0 3 8 4 】

ステップS361において、設定部331はユーザからの指示に基づいて処理領域を設定する。この場合、画像の一部、若しくは全部を処理領域として設定することができる。常に画像の全体を処理する場合には、この処理を省略することもできる。ステップS362において、取得部332は処理領域の各画素の動き情報を取得する。この動き情報には、動き量 v の他、動きの方向を表す情報が含まれている。

【 0 3 8 5 】

ステップS363において、演算部334は動きの方向に沿った補間画素を演算する。すなわち、式(46)に基づいて、画素値 D_{Pwa} が演算される。ステップS364において、取得部332はユーザからの入力に基づいてノイズパラメータ N を取得する。ステップS365において、決定部333は式(48)のノイズ SWN_h 、 SWN_v の係数 R_h 、 R_v を決定する。

【 0 3 8 6 】

10

20

30

40

50

ステップS366において、演算部334はノイズSWN_h、SWN_vを式(48)に基づいて演算する。ステップS367において、演算部334はノイズSWN_h、SWN_vを付加した角度成分 hsw_n、 vsw_nを式(47)に基づいて演算する。このノイズSWN_h、SWN_vを付加した角度成分 hsw_n、 vsw_nは、ぼけモデルでノイズを与えるパラメータとして、ぼけ付加部311に出力される。

【0387】

ステップS368において、ぼけ付加部311の取得部351はユーザからの入力に基づいてぼけパラメータPを取得する。ステップS369において、選択部352は取得されたぼけパラメータPに基づいて、予め記憶されている重み w_i の中から対応する重み w_i を選択する。ステップS370において、演算部353はノイズSWN_h、SWN_vを付加した角度成分 hsw_n、 vsw_nに基づいて画素データを演算する。すなわち、式(50)に基づいて、画素値D_{Psw_n}が演算される。

10

【0388】

このようにした場合においても、上述した場合と同様に、自然に揺らぐエフェクトを有する画像を生成することができる。

【0389】

なお、ぼけの画像を生成する場合、上記した複数の方法のうちの2個以上を適宜組み合わせることもできる。

【0390】

また、上記した各ノイズSWN(ノイズSWNd、SWNs_x、SWNs_y、SWNk(x,y)、SWNI(x,y)、SWN_p、SWN_v、SWN_h、SWN_v)は、式(23)の他、次の式で表すこともできる。

20

$$SWN = a + b \cdot \text{rand} \quad (51)$$

$$-1 \leq \text{rand} \leq 1$$

aはオフセット、bはゲインである。randは疑似乱数を発生する関数である。

【0391】

またはノイズSWNは、次の式で表すこともできる。

$$SWN = a(d) + b(d) \cdot \text{rand} \quad (52)$$

この式は、式(51)のオフセットaとゲインbを、dの関数としたものである。

【0392】

ぼけ付加部311でノイズが付加された画像データは、ノイズ付加部313で必要に応じてさらにノイズが付加された後、エフェクトを付加した画像データとして図示せぬ装置に供給される。

30

【0393】

この画像データはタップ構築部314に供給され、学習処理に用いられる。また、ノイズ付加部312からタップ構築部315にも学習に必要な情報(ぼけ付加部311に供給される情報と同じ情報)が供給される。

【0394】

ぼけ付加部311とノイズ付加部312、313に供給された情報のうち必要な情報は、予測係数演算部318にも供給される。すなわち、予測係数演算部318には、ノイズパラメータN、ノイズパラメータN_i、ぼけパラメータP、および動き情報(動き量と方向)が供給される。

40

【0395】

図20の画像生成装置301や図21の画像生成措置400で行われる学習処理は、図3の学習装置1や図14の学習装置1における場合と同様であり、その説明は繰り返になるので省略するが、これにより、揺れが付加された画像から、揺れを修正した画像を生成するための予測係数が求められる。

【0396】

予測係数を演算するに当たり、使用するクラスは任意であるが、例えば、ぼけパラメータPに対応するクラスDを次式に基づいて決定することができる。

$$D = (a + A) \times N_{\max} + (n + N) \cdots (53)$$

50

【 0 3 9 7 】

上記式 (5 3) における a は、指定された領域における動きベクトルの x 座標成分を表し、 n は、 y 座標成分を表す。また、 A は、ユーザより入力されたオフセット値の x 座標成分を表し、 N は、 y 座標成分を表す。 N_{\max} は、 y 座標成分のクラス総数を意味する。画像データに対応して保存されているぼけパラメータは、式 (5 3) における $((a + A), (n + N))$ の値である。従って、このぼけパラメータ $((a + A), (n + N))$ の値を上記式 (5 3) に適用して、クラス D を演算することができる。

【 0 3 9 8 】

そこで、最終的なクラス $total_class$ を、例えば波形パターンのクラス W とぼけパラメータのクラス D とを総合して、クラス分類部 3 1 6 により、次式で表されるように決定することができる。なお、 $size_w$ は $classW$ のクラス数を表す。

$$total_class = classW + classD \times size_w \quad \cdots \quad (54)$$

【 0 3 9 9 】

動き量 v や動きの方向 (角度) に基づいてクラス分類することもできる。その場合、動き量と角度の大きさに応じて画像からクラスタップを抽出し、それを 1 ビット ADRC することでクラス分類したり、動き量と角度そのものに基づいて、クラス分類することもできる。

【 0 4 0 0 】

また、例えば、動き量 v の整数をそのまま用いたクラス $classVc$ と、注目画素とその周囲の隣接する 8 個の画素との差分値を、正、負、同値の 3 クラスに分類したクラス $classVdiff$ とを、次式で示されるように統合することができる。なお、 i は各隣接画素に対応する。

$$total_class = classVc + classVdiff \times size_Vc$$

$$classVdiff = \{ classVdiff_i \times 3^i \}$$

(5 5)

【 0 4 0 1 】

1 動きから 3 0 動きを対象とする場合、式 (5 5) の $size_Vc$ は 3 0 となる。

【 0 4 0 2 】

図 4 4 は、図 2 0 の画像生成装置 3 0 1 の学習により生成された予測係数を用いて、ぼけが含まれる画像を修正する予測装置の一実施の形態の構成を示すブロック図である。この予測装置 6 8 1 は図 9 の予測装置 8 1 と基本的に同様の構成とされている。

【 0 4 0 3 】

すなわち、図 4 4 の予測装置 6 8 1 が有するタップ構築部 6 9 1、タップ構築部 6 9 2、クラス分類部 6 9 3、係数メモリ 6 9 4、タップ構築部 6 9 5、および予測演算部 6 9 6 は、図 9 の予測装置 8 1 が有するタップ構築部 9 1、タップ構築部 9 2、クラス分類部 9 3、係数メモリ 9 4、タップ構築部 9 5、および予測演算部 9 6 と基本的に同様の機能を有している。

【 0 4 0 4 】

ただし、タップ構築部 6 9 2 には奥行きデータ z だけでなく、動き情報が入力されている。係数メモリ 6 9 4 にも、ノイズパラメータ N_i 、ぼけパラメータ P 以外に、動き情報が入力されている。またノイズパラメータ N_z に代えて、ノイズパラメータ N が入力されている。

【 0 4 0 5 】

この予測装置 6 8 1 の予測処理は、処理に使用される情報が異なるだけで、図 1 0 に示した場合と同様であり、その説明は省略する。但し、この場合、図 1 0 のステップ S 3 2 では、タップ構築部 6 9 2 において奥行きデータ z または動き情報からクラスタップが構築される。

【 0 4 0 6 】

ステップ S 3 5 では、係数メモリ 7 0 1 は、クラス分類部 6 9 3 から供給されるクラス、並びに、動き情報、ユーザにより指定されたノイズパラメータ N 、ノイズパラメータ N

10

20

30

40

50

i、およびぼけパラメータPに基づいて、そのクラス、動き情報、ノイズパラメータN、ノイズパラメータN_i、およびぼけパラメータPに対応する予測係数 w_n を、既に記憶している予測係数 w_n の中から読み出し、その予測係数 w_n を予測演算部696に提供する。

【0407】

図45は、図21の画像生成装置400の学習により生成された予測係数を用いて、ぼけが含まれる画像を修正する予測装置の一実施の形態の構成を示すブロック図である。この予測装置681は図13の予測装置81と基本的に同様の構成とされている。

【0408】

すなわち、図45の予測装置681が有するタップ構築部691、タップ構築部692、クラス分類部693、係数メモリ701、タップ構築部695、および予測演算部696は、図13の予測装置81が有するタップ構築部91、タップ構築部92、クラス分類部93、係数メモリ111、タップ構築部95、および予測演算部96と基本的に同様の機能を有している。

10

【0409】

ただし、タップ構築部692には奥行きデータzだけでなく、動き情報が入力されている。係数メモリ701にも、ノイズパラメータN_i、ぼけパラメータP、およびスケールパラメータ(H,V)以外に、動き情報が入力されている。またノイズパラメータN_zに代えて、ノイズパラメータNが入力されている。

【0410】

この予測装置681の予測処理は、処理に使用される情報が異なるだけで、図10に示した場合と同様であり、その説明は省略する。但し、この場合、図10のステップS32では、タップ構築部692において奥行きデータzまたは動き情報からクラスタップが構築される。

20

【0411】

ステップS35では、係数メモリ701は、クラス分類部693から供給されるクラス、並びに、動き情報、ユーザにより指定されたノイズパラメータN、ノイズパラメータN_i、ぼけパラメータP、およびスケールパラメータ(H,V)に基づいて、そのクラス、動き情報、ノイズパラメータN、ノイズパラメータN_i、ぼけパラメータP、およびスケールパラメータ(H,V)に対応する予測係数 w_n を、既に記憶している予測係数 w_n の中から読み出し、その予測係数 w_n を予測演算部696に提供する。

30

【0412】

図46は、上述した一連の処理をプログラムにより実行するパーソナルコンピュータの構成の例を示すブロック図である。CPU(Central Processing Unit)521は、ROM(Read Only Memory)522、または記憶部528に記憶されているプログラムに従って各種の処理を実行する。RAM(Random Access Memory)523には、CPU521が実行するプログラムやデータなどが適宜記憶される。これらのCPU521、ROM522、およびRAM523は、バス524により相互に接続されている。

【0413】

CPU521にはまた、バス524を介して入出力インターフェース525が接続されている。入出力インターフェース525には、キーボード、マウス、マイクロホンなどよりなる入力部526、ディスプレイ、スピーカなどよりなる出力部527が接続されている。CPU521は、入力部526から入力される指令に対応して各種の処理を実行する。そして、CPU521は、処理の結果を出力部527に出力する。

40

【0414】

入出力インターフェース525に接続されている記憶部528は、例えばハードディスクからなり、CPU521が実行するプログラムや各種のデータを記憶する。通信部529は、インターネットやローカルエリアネットワークなどのネットワークを介して外部の装置と通信する。また、通信部529は、プログラムを取得し、記憶部528に記憶させるようにしてもよい。

【0415】

50

入出力インターフェース 525 に接続されているドライブ 530 は、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、或いは半導体メモリなどのリムーバブルメディア 531 が装着されたとき、それらを駆動し、そこに記録されているプログラムやデータなどを取得する。取得されたプログラムやデータは、必要に応じて記憶部 528 に転送され、記憶される。

【0416】

なお、本明細書において、記録媒体に格納されるプログラムを記述するステップは、記載された順序に沿って時系列的に行われる処理はもちろん、必ずしも時系列的に処理されなくとも、並列的あるいは個別に実行される処理をも含むものである。

【0417】

また、本発明の実施の形態は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0418】

【図1】 撮像された画像の例を示す図である。

【図2】 図1の画像のクラス分類結果を表す図である。

【図3】 本発明を適用した学習装置の一実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図4】 ぼけの付加について説明する図である。

【図5】 ぼけの付加について説明する他の図である。

【図6】 ぼけの特性の関数を表すグラフである。

【図7】 ノイズの付加方法について説明する図である。

【図8】 図3の学習装置の学習処理を説明するフローチャートである。

【図9】 本発明を適用した予測装置の一実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図10】 図9の予測装置の予測処理を説明するフローチャートである。

【図11】 学習装置の他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図12】 図11の学習装置の学習処理を説明するフローチャートである。

【図13】 予測装置の他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図14】 学習装置のさらに他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図15】 図14の学習装置の学習処理を説明するフローチャートである。

【図16】 学習装置のさらに他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図17】 図16の学習装置の学習処理を説明するフローチャートである。

【図18】 予測装置のさらに他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図19】 図18の予測処理について説明するフローチャートである。

【図20】 画像生成装置の一実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図21】 画像生成装置の他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図22】 図20のノイズ付加部の一実施の形態の機能的構成を示すブロック図である。

【図23】 図20のぼけ付加部の一実施の形態の機能的構成を示すブロック図である。

【図24】 距離によるピントぼけノイズの画像生成処理を説明するフローチャートである。

。

【図25】 画像の生成処理を説明する図である。

【図26】 関数を示す図である。

【図27】 偏差によるピントぼけノイズの画像生成処理を説明するフローチャートである。

。

【図28】 位相によるピントぼけノイズの画像生成処理を説明するフローチャートである。

。

【図29】 関数の位相シフトを説明する図である。

【図30】 関数を示す図である。

【図31】 先鋭度によるピントぼけノイズの画像生成処理を説明するフローチャートである。

【図32】 関数を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 3 3】センサによる撮像を説明する図である。

【図 3 4】画素の配置を説明する図である。

【図 3 5】検出素子の動作を説明する図である。

【図 3 6】隣接して 1 列に並んでいる画素の画素値を時間方向に展開したモデルの図である。

【図 3 7】画素値を時間方向に展開し、シャッタ時間に対応する期間を分割したモデルの図である。

【図 3 8】画素値を時間方向に展開し、シャッタ時間に対応する期間を分割したモデルの図である。

【図 3 9】画素値を時間方向に展開し、シャッタ時間に対応する期間を分割したモデルの図である。

10

【図 4 0】動き量による動きぼけノイズの画像生成処理を説明するフローチャートである。

【図 4 1】補間画素について説明する図である。

【図 4 2】補間画素の演算方法について説明する図である。

【図 4 3】角度による動きぼけノイズの画像生成処理を説明するフローチャートである。

【図 4 4】予測装置の他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図 4 5】予測装置のさらに他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図 4 6】本発明を適用したコンピュータの一実施の形態の構成を示すブロック図である。

20

【符号の説明】

【0 4 1 9】

1 学習装置, 11 ぼけ付加部, 12, 13 ノイズ付加部, 14, 15 タップ構築部, 16 クラス分類部, 17 タップ構築部, 18 予測係数演算部, 19 係数メモリ, 81 予測装置, 91, 92 タップ構築部, 93 クラス分類部, 94 係数メモリ, 95 タップ構築部, 96 予測演算部, 101 ダウンスケーリング部, 102 予測係数演算部, 111 係数メモリ, 121 ダウンスケーリング部, 131 タップ構築部, 132 予測係数演算部, 141 タップ構築部, 142 予測演算部, 301 画像生成装置, 311 ぼけ付加部, 312, 313 ノイズ付加部, 314, 315 タップ構築部, 316 クラス分類部, 317 タップ構築部, 318 予測係数演算部, 319 係数メモリ

30

【図 1】

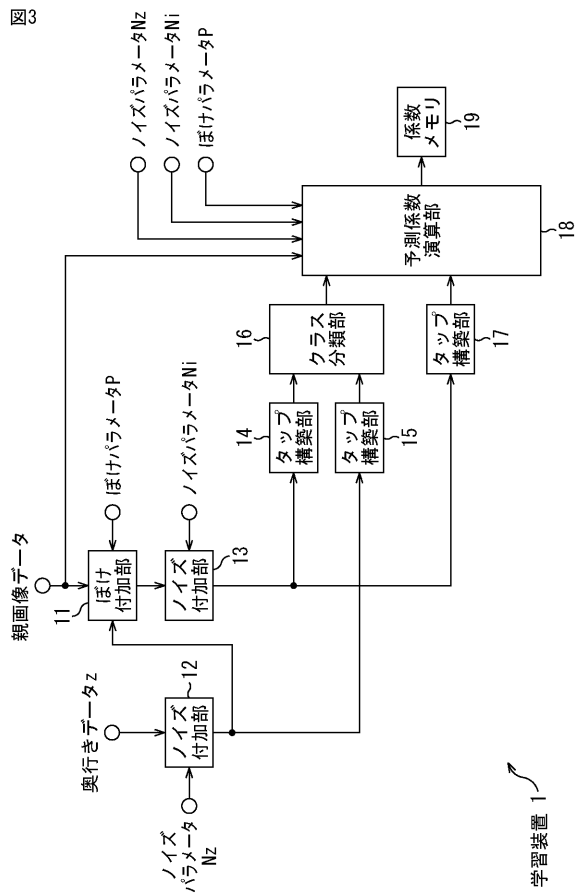


【図 2】



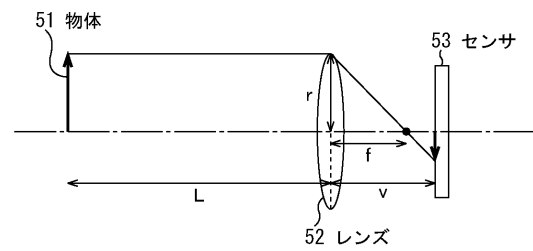
【図 3】

図3



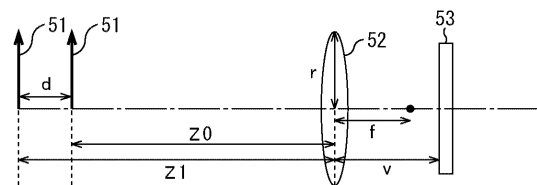
【図 4】

図4



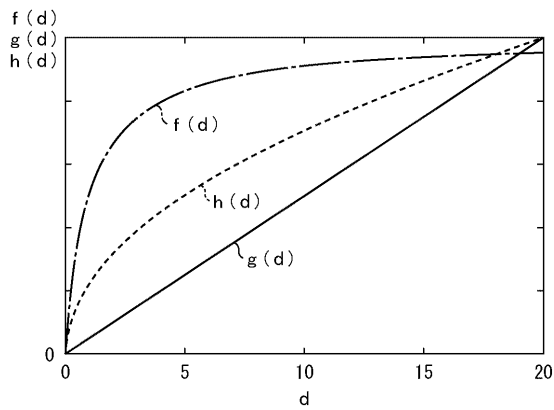
【図 5】

図5



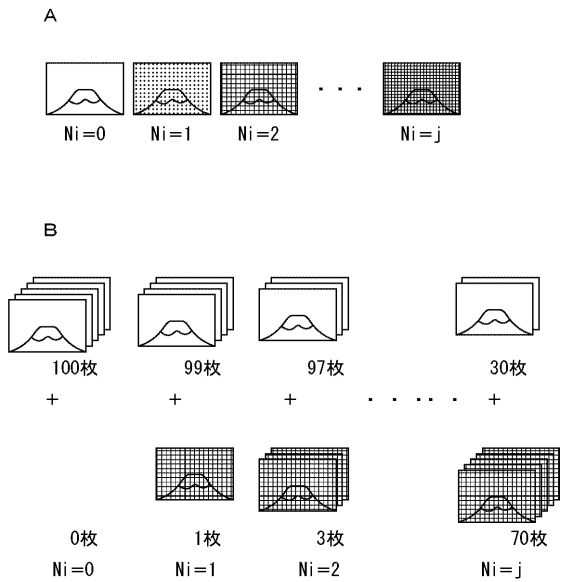
【図 6】

図6



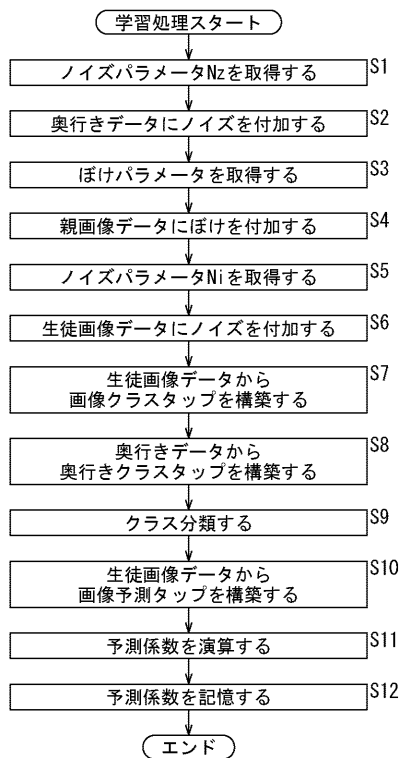
【図 7】

図7



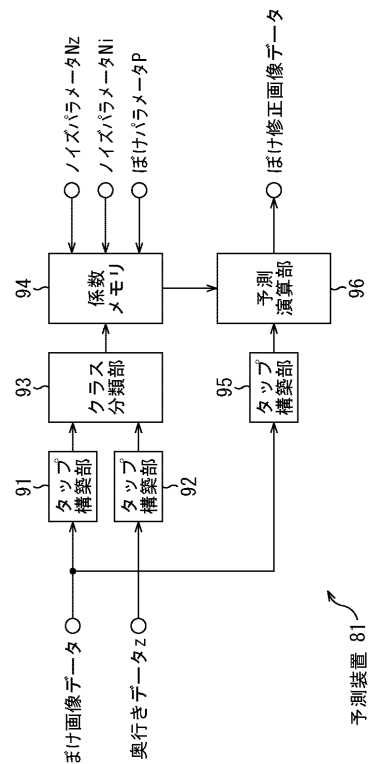
【図 8】

図8



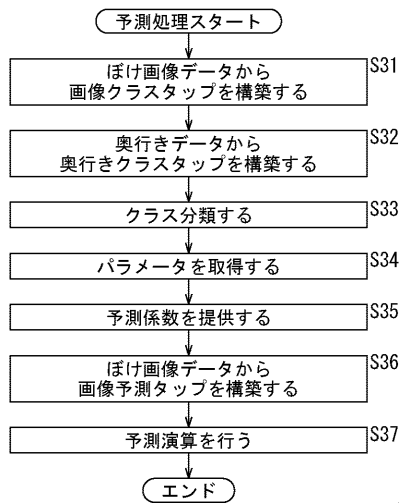
【図 9】

図9



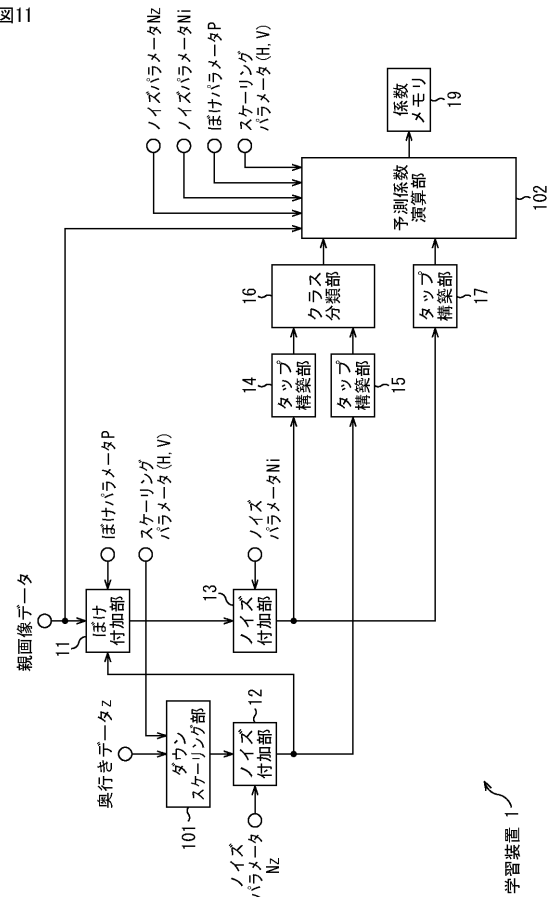
【図 10】

図10



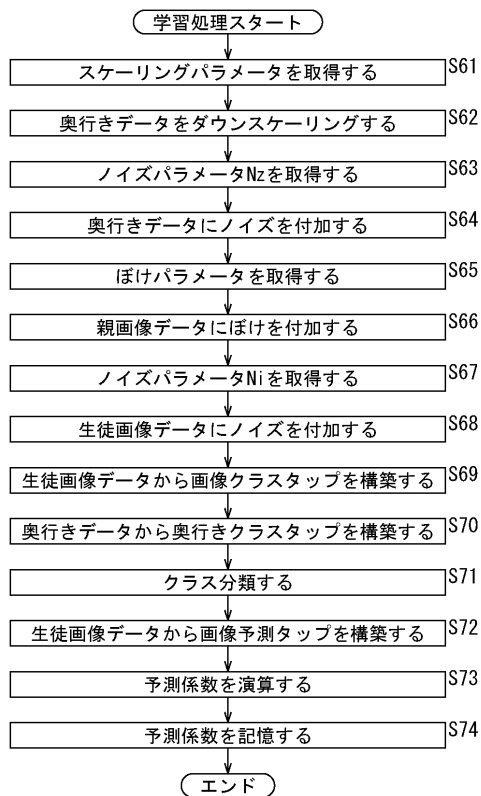
【図 11】

図11



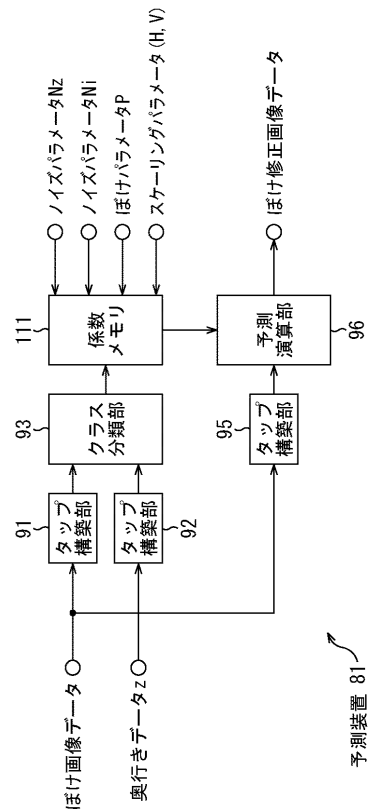
【図 12】

図12



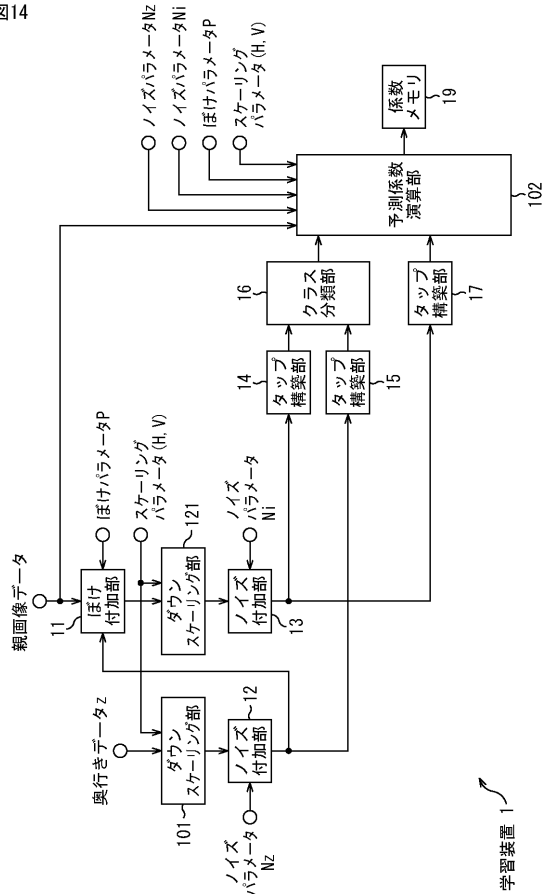
【図 13】

図13



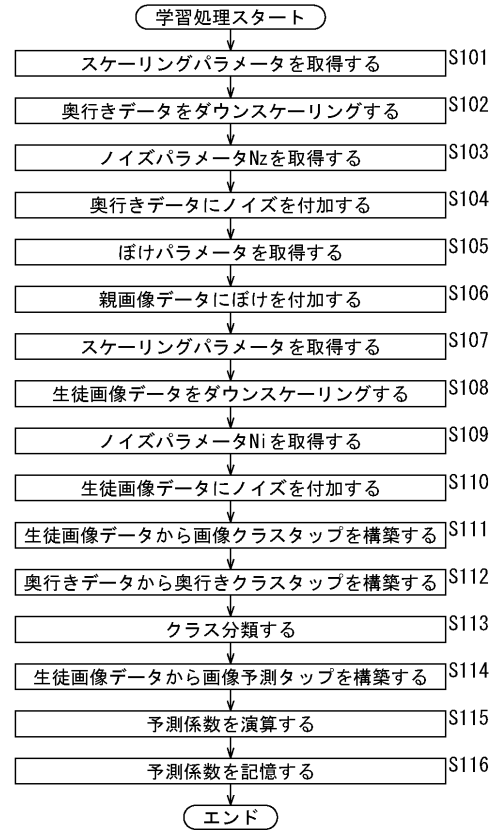
【図 14】

図14



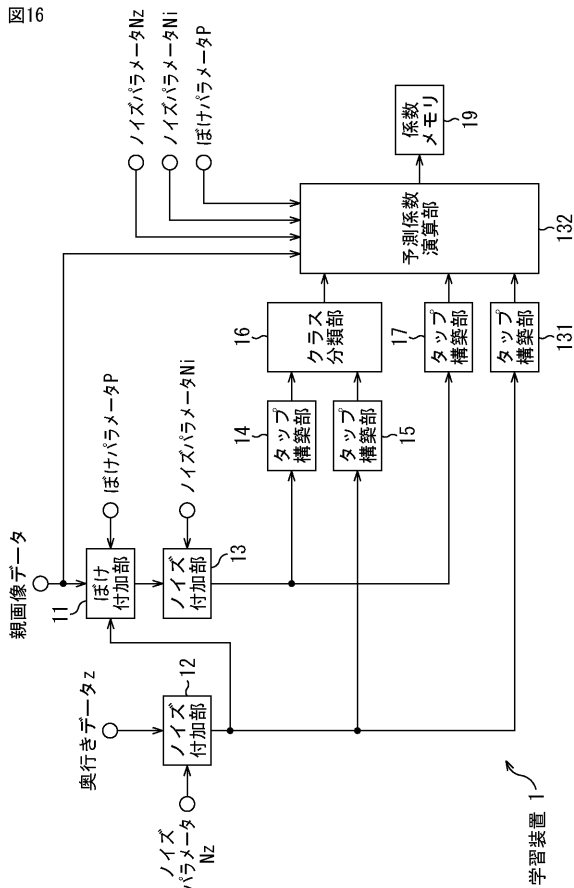
【図 15】

図15



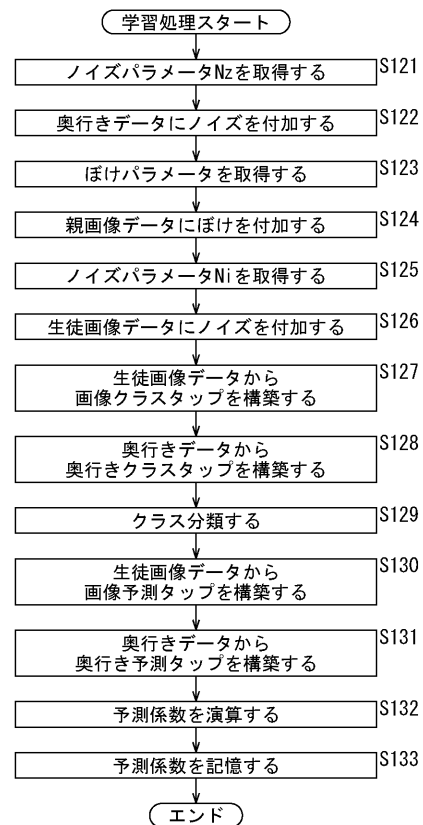
【図 16】

図16



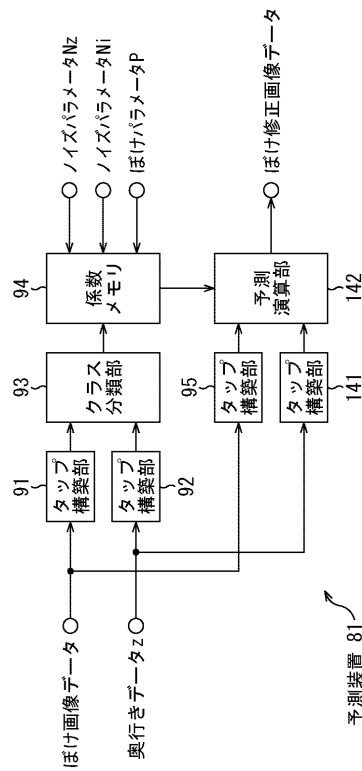
【図 17】

図17



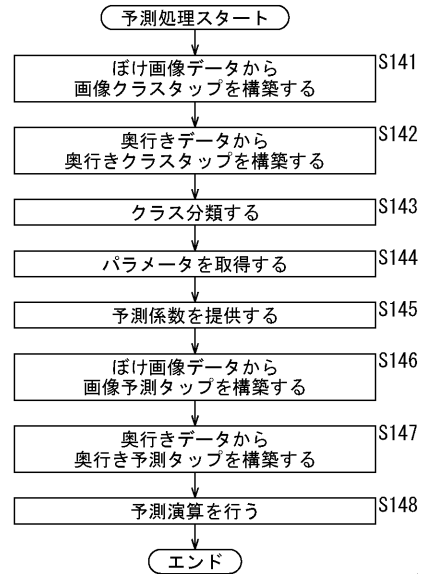
【図 18】

図18



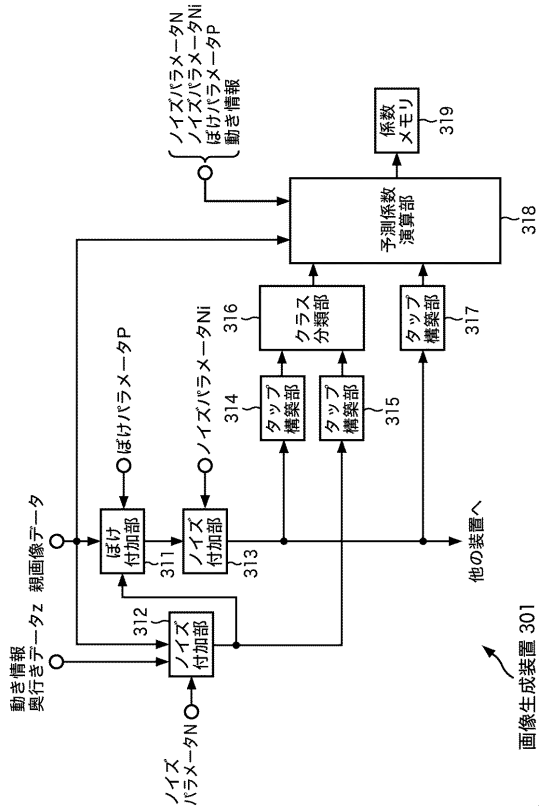
【図 19】

図19



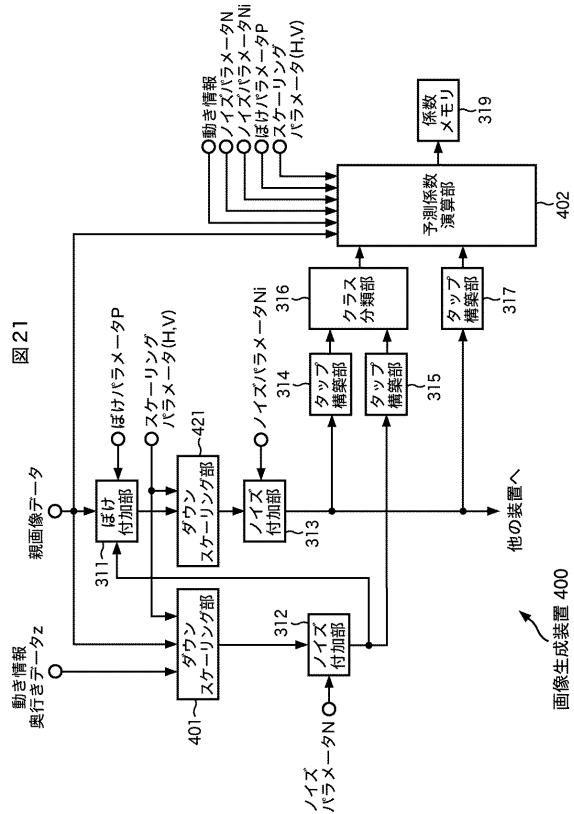
【図 20】

図 20

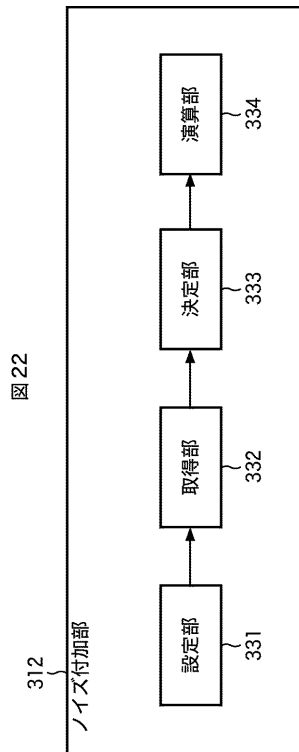


【図 21】

図 21

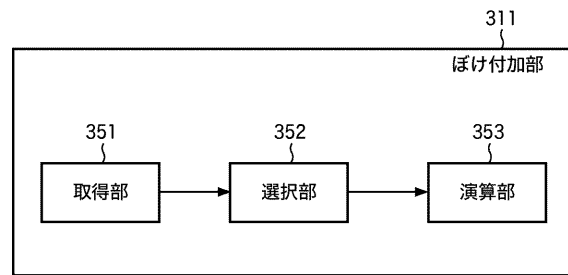


【図 2 2】



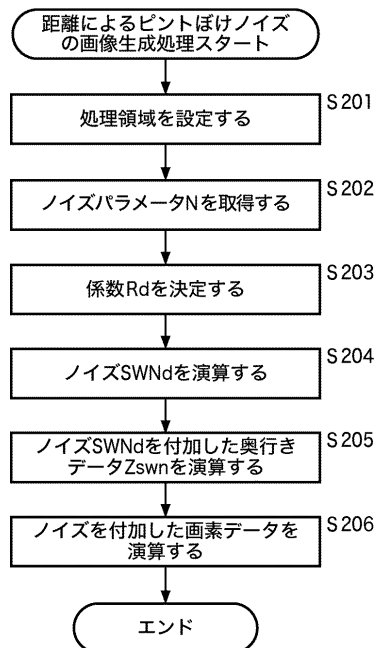
【図 2 3】

図 23



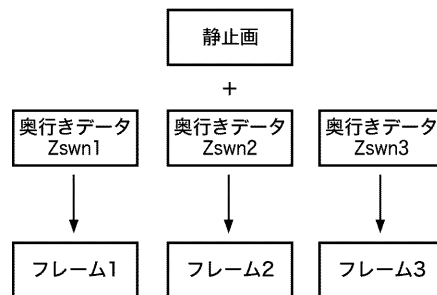
【図 2 4】

図 24



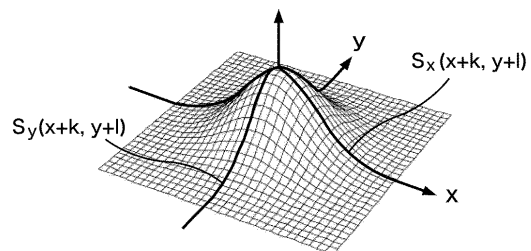
【図 2 5】

図 25



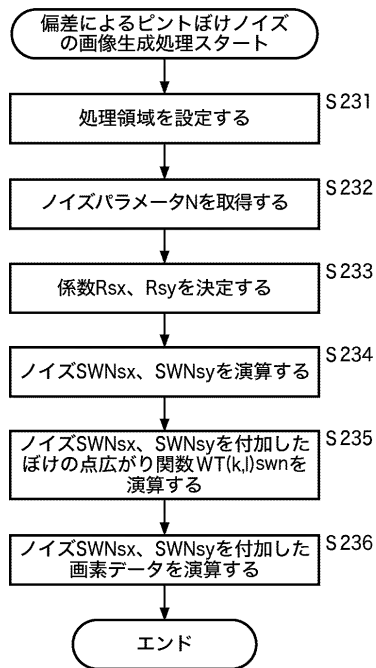
【図 2 6】

図 26



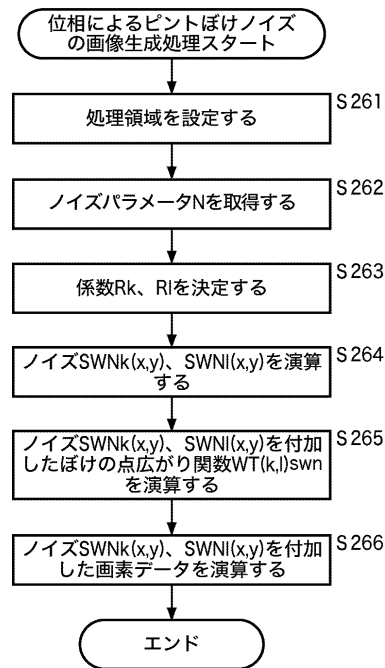
【図 27】

図 27



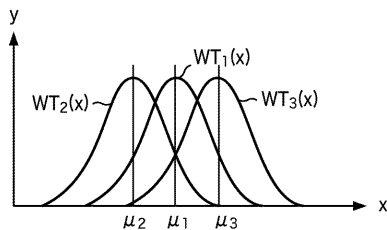
【図 28】

図 28



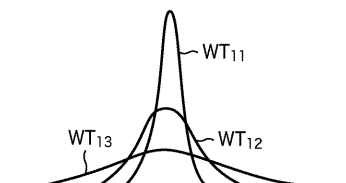
【図 29】

図 29



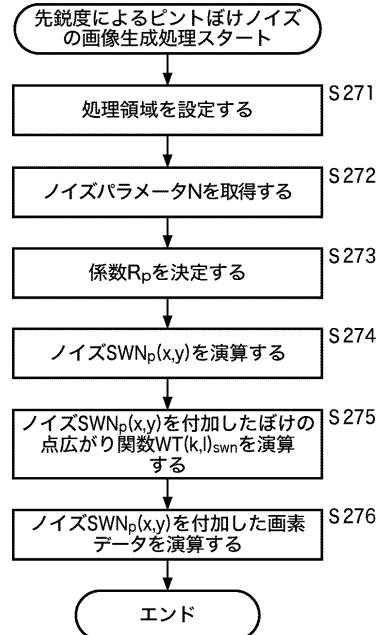
【図 30】

図 30



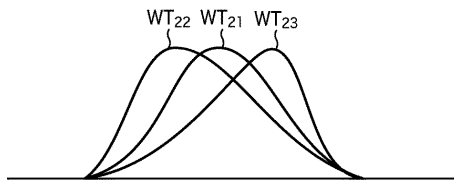
【図 31】

図 31



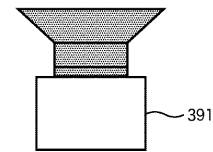
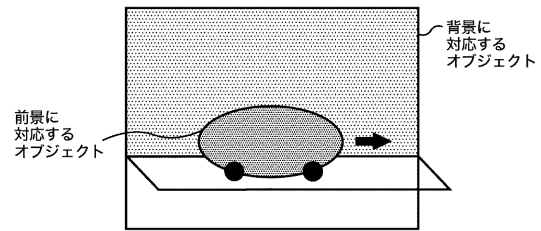
【図 3 2】

図 32



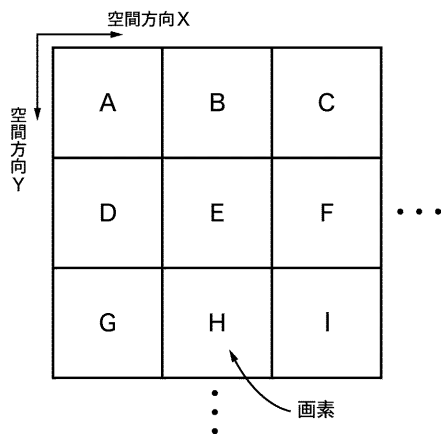
【図 3 3】

図 33



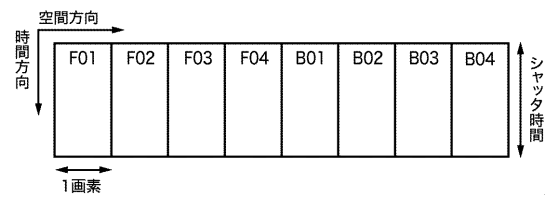
【図 3 4】

図 34



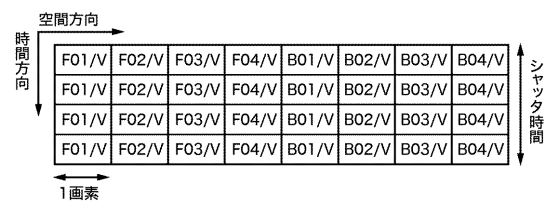
【図 3 6】

図 36



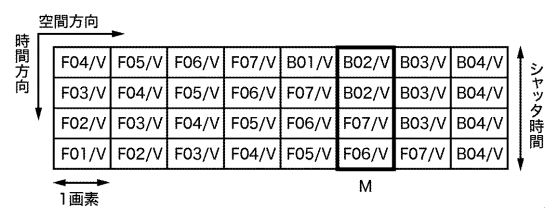
【図 3 7】

図 37



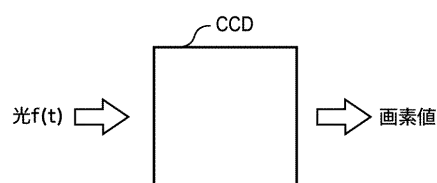
【図 3 8】

図 38



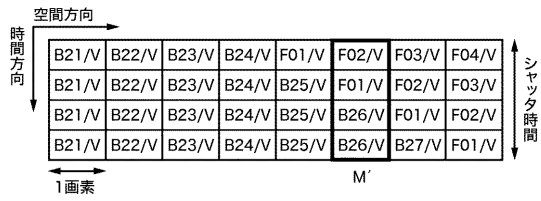
【図 3 5】

図 35



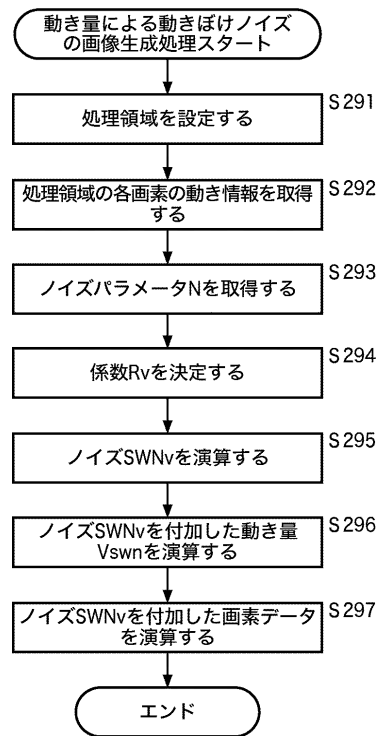
【図 39】

図 39



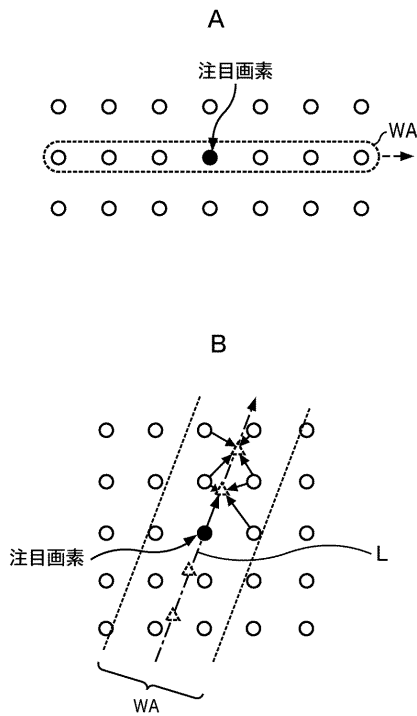
【図 40】

図 40



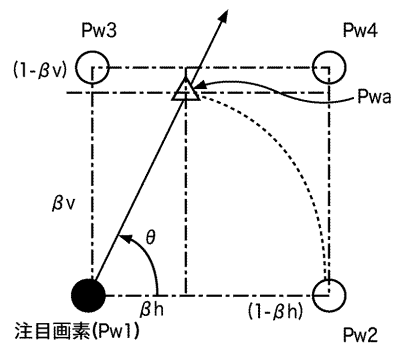
【図 41】

図 41



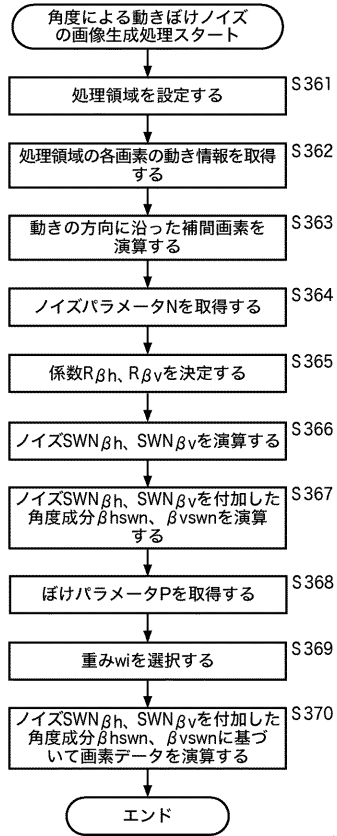
【図 42】

図 42



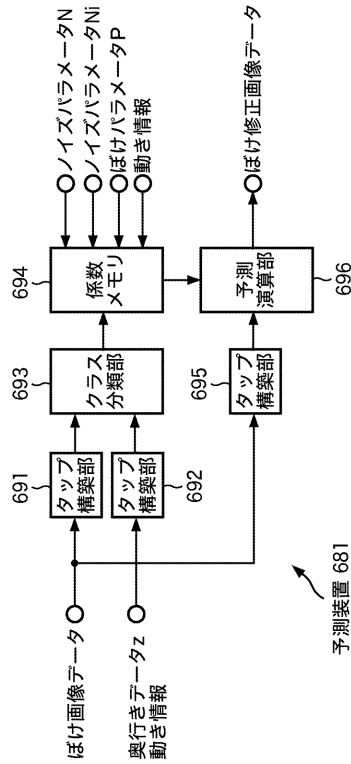
【図 4 3】

図 43



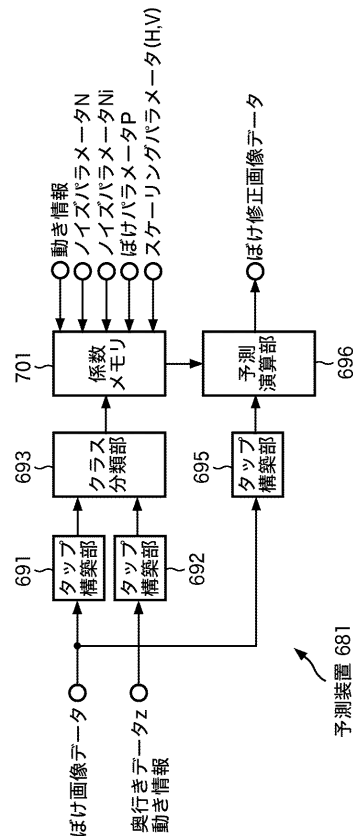
【図 4 4】

図 44



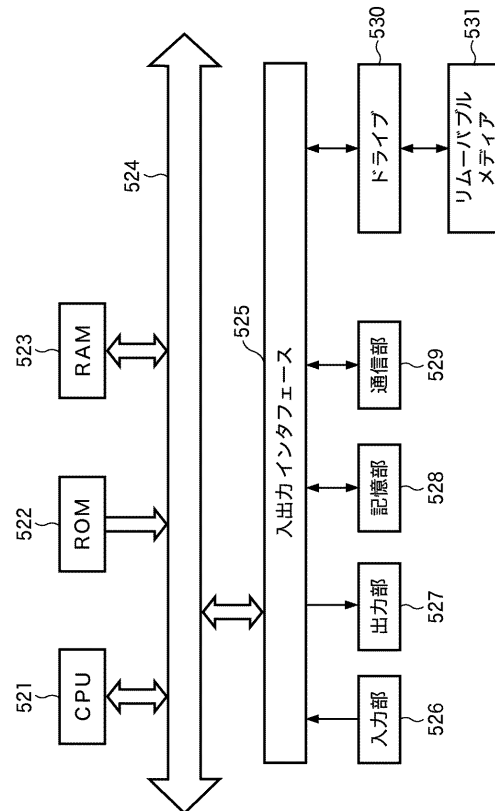
【図 4 5】

図 45



【図 4 6】

図 46



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 3 0 3 3 3 0 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 2 2 2 7 0 2 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 3 4 8 0 1 9 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 0 9 2 4 5 6 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 6 T	5 / 0 0	-	5 / 5 0
H 0 4 N	1 / 3 8 7		
H 0 4 N	1 / 4 0 9		