

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2013 年 12 月 12 日(12.12.2013)



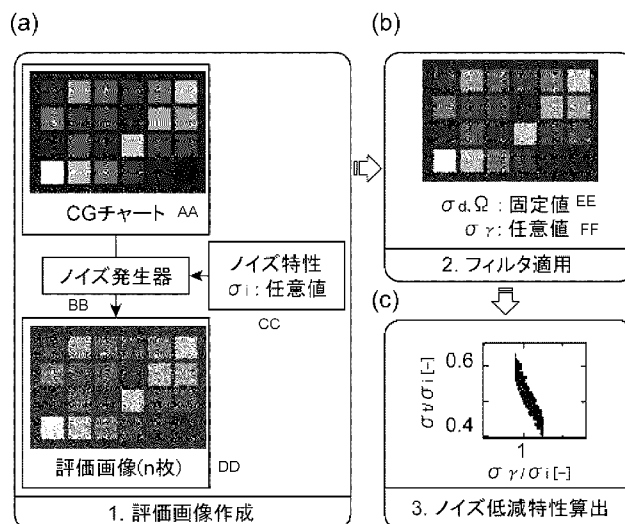
(10) 国際公開番号
WO 2013/183391 A1

- (51) 国際特許分類:
G06T 5/20 (2006.01) *H04N 1/409* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/062769
- (22) 国際出願日: 2013 年 5 月 2 日(02.05.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-128012 2012 年 6 月 5 日(05.06.2012) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人静岡大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION SHIZUOKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒4228529 静岡県静岡市駿河区大谷 8 3 6 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 下平 美文(SHIMODAIRA Yoshifumi); 〒4328561 静岡県浜松市中区城北 3 丁目 5 - 1 国立大学法人静岡大学イノベーション社会連携推進機構内 Shizuoka (JP). 天野 雄介(AMANO Yusuke); 〒4328561 静岡県浜松市中区城北 3 丁目 5 - 1 国立大学法人静岡大学工学部内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

[続葉有]

(54) Title: IMAGE-FILTERING DEVICE, IMAGE-FILTERING METHOD, AND IMAGE-FILTERING PROGRAM

(54) 発明の名称: 画像フィルタリング装置、画像フィルタリング方法及び画像フィルタリングプログラム



(57) Abstract: This invention performs stable filtering without relying on an image signal to be input. An image-filtering device (10) is provided with: an input unit (11) for inputting an image signal; a filtering unit (13) for weighting the differences between the signal intensity of a target pixel and the signal intensities of pixels surrounding the target pixel from among the pixels making up the image signal inputted by the input unit (11), and adding together the signal intensity of the target pixel and a value obtained by using a set coefficient γ as a multiplier for a value obtained by summing the differences between the signal intensity of the weighted target pixel and the signal intensities of the pixels surrounding the target pixel, whereby the post-filtering signal intensity of the target pixel is calculated; and an output unit (12) for outputting an image signal made up of pixels of the post-filtering signal intensity calculated by the filtering unit (13).

(57) 要約:

[続葉有]

1. Create evaluation image
 2. Apply filter
 3. Calculate noise reduction characteristics
- AA CG chart
BB Noise generator
CC Noise characteristic σ_i : arbitrary value
DD Evaluation image (n images)
EE σ_d, Ω : fixed values
FF σ_γ : arbitrary value

WO 2013/183391 A1



SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,

FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

入力する画像信号に依存しない安定的なフィルタリングを行う。画像フィルタリング装置 10 は、画像信号を入力する入力部 11 と、入力部 11 により入力された画像信号を構成する画素のうち着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差に重みづけを行い、重みづけを行った着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差を足しあわせた値に設定された係数 γ を掛け合わせた値と該着目画素の信号強度とを足し合わせることで、該着目画素のフィルタリング後の信号強度を算出するフィルタリング部 13 と、フィルタリング部 13 によって算出されたフィルタリング後の信号強度の画素で構成される画像信号を出力する出力部 12 と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

画像フィルタリング装置、画像フィルタリング方法及び画像フィルタリングプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、画像フィルタリング装置、画像フィルタリング方法及び画像フィルタリングプログラムに関する。

背景技術

[0002] 高画質な画像の撮像（撮影）を実現する上で、エッジやテクスチャ等の本来の信号情報の保存性に優れたノイズ低減手法の重要性が高まっている。このような本来の信号情報の保存性に優れたノイズ低減手法として、バイラテラルフィルタ（Bilateral filter）を用いたノイズ低減手法が知られている。（例えば非特許文献1参照）。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：C.Tomasi and R.Manduchi, “Bilateral filtering for gray and color images,” in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Bombay, India, pp.839—846, 1998.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] バイラテラルフィルタは、平滑化を行う際に、フィルタリングを行う画素と座標位置が近く信号強度差が少ない画素ほど、フィルタリングにおける重みづけを重くし、フィルタリングの効果を大きくするものである。信号強度

差が大きい画素についてはフィルタリングの効果を小さくするため、画像のエッジを保持することができる。

[0005] しかしながら、従来のバイラテラルフィルタにおいては、入力する画像信号によっては十分にフィルタリングが行えず、ノイズ成分が残留してしまうという問題があった。信号に対するノイズの量を対数で表したものにS N R (S N比。数値が大きいほどノイズが少なく高品質の信号であることを示す)があるが、入力する画像信号によっては、出力のS N Rが小さくなり、ノイズの除去が十分に行えていなかった。また、十分にフィルタリングが行えないことを懸念して過剰にノイズ低減を行った場合には、元の画像信号情報が消失するという問題があった。すなわち、入力する画像信号に依存しない安定的なフィルタリングを行うことができていなかった。

[0006] 本発明は上記実情に鑑みてなされたものであり、入力する画像信号に依存しない安定的なフィルタリングを行うことができる画像フィルタリング装置、画像フィルタリング方法及び画像フィルタリングプログラムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一実施形態に係る画像フィルタリング装置は、画像信号に対してフィルタリングを行う画像フィルタリング装置であって、画像信号を入力する入力手段と、入力手段により入力された画像信号を構成する画素のうち着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差に重みづけを行い、重みづけを行った着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差を足しあわせた値に設定された係数 γ を掛け合わせた値と該着目画素の信号強度とを足し合わすことで、該着目画素のフィルタリング後の信号強度を算出するフィルタリング手段と、フィルタリング手段によって算出されたフィルタリング後の信号強度の画素で構成される画像信号を出力する出力手段と、を備える。

[0008] この画像フィルタリング装置では、着目画素のフィルタリング後の信号強度として、着目画素と該着目画素の周囲の画素との信号強度の差に重みづけ

を行ったものを足し合わせた値に係数 γ を掛け合わせた値に、着目画素のフィルタリング前の信号強度を足し合わせた値を算出している。係数 γ を掛け合わせるにより、画像信号にかかわらず、出力のSNRを安定した値とすることができることは、本発明者が鋭意研究を重ねる中で見出した知見である。以上より、本発明の一実施形態によれば、入力する画像信号に依存しない安定的なフィルタリングを行うことができる画像フィルタリング装置を提供することができる。

[0009] また、本発明の一実施形態に係る画像フィルタリング装置において、フィルタリング手段は、重みづけを行う際は、周囲の画素の画素位置と着目画素の画素位置との距離が近いほど重みづけを重くし、周囲の画素の信号強度と着目画素の信号強度との差が小さい程重みづけを重くしてもよい。周囲の画素について、着目画素からの距離の差及び着目画素の信号強度の差に基づいた重みづけを行うことで、ノイズを除去しながら、エッジやテクスチャ等の本来の信号情報を保持することができる。

[0010] また、本発明の一実施形態に係る画像フィルタリング装置において、フィルタリング手段は、

[数1]

$$S_o'(c) = S_i'(c) + \gamma \times \frac{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta S_i'(p)) \times \delta S_i'(p)}{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta S_i'(p))}$$

$$w_d(R^2) = \exp(-0.5R^2/\sigma_d^2)$$

$$R^2 = (p - c)^2$$

$$w_r(\delta S_i'(p)) = \exp(-0.5\delta S_i'^2(p)/\sigma_r^2)$$

$$\delta S_i'(p) = S_i'(p) - S_i'(c) \quad (1)$$

と定義される式によりフィルタリング後の信号強度を算出し、

$S_o'()$ はフィルタリング後の信号強度、

$S_i'()$ はフィルタリング前の信号強度、

c は着目画素の画素位置、

p は着目画素の前記周囲の画素の画素位置、

Ω は前記周囲の画素が位置する領域（着目画素を中心とした $H \times W$ 画素の局所領域）、

γ は前記係数、

σ_d^2 は着目画素からの距離に応じた重みづけを行う際のパラメータ、

σ_r^2 は着目画素の信号強度との差に応じた重みづけを行う際のパラメータ

、

であってもよい。当該定義式を用いることによって、バイラテラルフィルタをもとにして確実に本発明の一実施形態を実施することができる。

[0011] また、本発明の一実施形態に係る画像フィルタリング装置において、フィルタリング手段は、

[数2]

$$S_o'(c) = S_i'(c) + \gamma \times \frac{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta V(S_i'(p))) \times \delta S_i'(p)}{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta V(S_i'(p)))}$$

$$w_d(R^2) = \exp(-0.5R^2/\sigma_d^2)$$

$$R^2 = (p - c)^2$$

$$w_r(\delta V(S_i'(p))) = \exp(-0.5\delta V(S_i'^2(p))/\sigma_r^2)$$

$$\delta S_i'(p) = S_i'(p) - S_i'(c) \quad (2)$$

と定義される式によりフィルタリング後の信号強度を算出し、

$S_o'()$ はフィルタリング後の信号強度、

$S_i'()$ はフィルタリング前の信号強度、

c は着目画素の画素位置、

p は着目画素の前記周囲の画素の画素位置、

Ω は前記周囲の画素が位置する領域（着目画素を中心とした $H \times W$ 画素の局所領域）、

γ は前記係数、

σ_d^2 は着目画素からの距離に応じた重みづけを行う際のパラメータ（ドメインフィルタ分散値）、

σ_r^2 は着目画素の信号強度との差に応じた重みづけを行う際のパラメータ（レンジフィルタ分散値）、

$\delta V(S_i^*(p))$ は画像信号の領域を分割した複数領域のうち p を含む領域の信号強度と着目画素の信号強度との差、

であってもよい。当該定義式を用いることによって、ノンローカルミーンフィルタをもとにして確実に本発明の一実施形態を実施することができる。

[0012] また、本発明の一実施形態に係る画像フィルタリング装置において、同一の対象を撮像した複数の参照用画像信号を入力して、該参照用画像信号を構成する画素に含まれるノイズの、該画素の信号強度に応じた分散値を複数算出し、該ノイズの分散値から、画像信号の画素に含まれる信号強度に応じたノイズの上限値であるノイズ分散上限値を算出するノイズ分散上限値算出手段と、ノイズ分散上限値算出手段が算出したノイズ分散上限値を用いて、周囲の画素が着目画素のノイズの分散値を算出するために用いることができる画素か否かを判定する算出画素決定手段と、算出画素決定手段により着目画素のノイズの分散値を算出するために用いることができる画素であると判定された周囲の画素を用いて着目画素のノイズ分散値 $\sigma_{total}^2(c)$ を推定するノイズ分散推定手段と、をさらに備え、フィルタリング手段は、 σ_r^2 としてノイズ分散値 $\sigma_{total}^2(c)$ を用いてフィルタリング後の信号強度を算出してもよい。フィルタリング後の信号強度の算出において、画素毎のノイズ分散値 $\sigma_{total}^2(c)$ を用いることで、より出力の SNR の値が小さくなることを防止できる。また、一枚の画像から、着目画素のノイズの分散値を算出することができる。

[0013] また、本発明の一実施形態に係る画像フィルタリング装置において、算出画素決定手段は、

[数3]

$$\{S'_i(p) - S'_i(c)\}^2 \leq K^2 \times \sigma_{max}^2(S'_i(c)) \quad (3)$$

と定義される式を満たす場合に、周囲の画素が着目画素のノイズの分散値を算出するために用いることができる画素であると判定し、

$\sigma^2_{\max}(S_i(c))$ は着目画素のノイズ分散上限値、

Kは予め設定された判定係数、

であってもよい。条件式を満たす画素で構成される信号集合の分散値を着目画素のノイズの分散値と見なすことで、より確実にノイズの分散値を算出することができる。

[0014] また、本発明の一実施形態に係る画像フィルタリング装置において、係数 γ を算出する係数算出手段をさらに備え、係数算出手段は、フィルタリング前後の画像信号のノイズの分散値に基づく値を入力して、入力した値から係数 γ を算出してもよい。フィルタリング前後の画像信号のノイズの分散値を用いることによって、簡易に係数 γ の適切な値を求めることができる。

[0015] また、本発明の一実施形態に係る画像フィルタリング装置において、係数算出手段は、

[数4]

$$\gamma = (1 - \sigma_t / \sigma_i)^{-1} \quad (4)$$

と定義される式により係数 γ を算出し、

σ_i はフィルタリング前の画像信号のノイズの分散値に基づくノイズ標準偏差、

σ_t はフィルタリング後の画像信号のノイズの分散値に基づく残留ノイズ標準偏差、

であってもよい。当該定義式を用いることで、より確実に係数 γ を算出することができる。

[0016] また、本発明の一実施形態に係る画像フィルタリング方法は、画像信号に対してフィルタリングを行う画像フィルタリング方法であって、画像信号を入力する入力ステップと、入力ステップにおいて入力された画像信号を構成する画素のうち着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差に重みづけを行い、重みづけを行った着目画素の信号強度と該着目画素

の周囲の画素の信号強度との差を足しあわせた値に設定された係数 γ を掛け合わせた値と該着目画素の信号強度とを足し合わすことで、該着目画素のフィルタリング後の信号強度を算出するフィルタリングステップと、フィルタリングステップにおいて算出されたフィルタリング後の信号強度の画素で構成される画像信号を出力する出力ステップと、を含む。

[0017] また、本発明の一実施形態に係る画像フィルタリングプログラムは、画像信号に対してフィルタリングを行う画像フィルタリングプログラムであって、コンピュータを、画像信号を入力する入力手段と、入力手段により入力された画像信号を構成する画素のうち着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差に重みづけを行い、重みづけを行った着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差を足しあわせた値に設定された係数 γ を掛け合わせた値と該着目画素の信号強度とを足し合わすことで、該着目画素のフィルタリング後の信号強度を算出するフィルタリング手段と、フィルタリング手段によって算出されたフィルタリング後の信号強度の画素で構成される画像信号を出力する出力手段、として動作させる。

[0018] 当該画像フィルタリング方法及び画像フィルタリングプログラムは、上述の画像フィルタリング装置と同様な効果を奏することができる。

発明の効果

[0019] 本発明の一実施形態によれば、画像信号の信号強度の変化に対応した適切なフィルタリングを行うことができる画像フィルタリング装置、画像フィルタリング方法及び画像フィルタリングプログラムを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]撮像装置におけるノイズ重畳過程を示す図である。

[図2]固定パターンノイズ及び経時ノイズの重畳イメージを示す図である。

[図3]バイラテラルフィルタの特性を示す図である。

[図4]本発明の実施形態に係る画像フィルタリング装置の機能ブロックを示す図である。

[図5]本発明の実施形態に係る画像信号のノイズ測定方法を示す図である。

[図6]ノイズの分散値の測定結果イメージを示す図である。

[図7]本発明の実施形態に係るノイズ特性の上限近似関数 $\sigma^2_{\max}(S)$ 及び下限近似関数 $\sigma^2_{\min}(S)$ を示す図である。

[図8]本発明の実施形態に係るノイズの分散値を算出するために用いる画素の決定イメージを示す図である。

[図9]本発明の実施形態に係る係数 γ の導出に関する図である。

[図10]本発明の実施形態に係るノイズの分散上限値算出処理を示す図である。

[図11]本発明の実施形態に係るフィルタリング処理を示す図である。

[図12] σ_r 毎の入力SNRに対するノイズ低減特性を示す図である。

[図13]各ノイズ分散値推定方法を比較した図である。

[図14]実施例1の実験条件を示す図である。

[図15]実施例1のうち、カラーチャートを用いた場合の実験結果を示すグラフである。

[図16]実施例1のうち、カラーチャートを用いた場合の実験結果を示す図である。

[図17]実施例2における各フィルタリング装置のノイズ低減特性を示す図である。

[図18]実施例2における各フィルタリング装置のノイズ対信号比を示す図である。

[図19]本発明の実施形態に係る画像フィルタリングプログラムの構成を、記録媒体と共に示す図である。

[図20] σ_r 毎の入力SNRに対するノイズ低減特性の測定方法を示す図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、図面と共に本発明の一実施形態に係る画像フィルタリング装置、画像フィルタリング方法及び画像フィルタリングプログラムについて詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複す

る説明を省略する。

[0022] まず、図1を参照して、撮像装置におけるノイズ重畳過程について説明する。撮像装置1で被写体を撮像すると、入射光がレンズ2、カラーフィルタ3を通過し、イメージセンサーによって光電変換され、アナログ信号となり、A/D変換部4によって画像信号がデジタル化される。該デジタル化される画像信号は、デバイス非依存の色を表す色変換XYZ表色系の信号値としてもよい。XYZ表色系の信号値は、RGB表色系の階調値(R, G, B)に変換行列Mを掛け合わせるにより算出できる。被写体の撮像から画像信号をデジタル化する過程においては、図1に示したように、画像信号に固定パターンノイズ(Fixed Pattern Noise)と経時ノイズ(Temporal Noise)が重畳する。固定パターンノイズは光学系やセンサーを含めた、撮像装置1の分光感度のむらを原因とするノイズである。経時ノイズには暗電流ノイズ、ショットノイズ、量子化ノイズ等がある。暗電流ノイズは抵抗体内の電子の不規則な熱振動によって生じる熱雑音を原因とするノイズである。また、ショットノイズは、フォトンや電子の量子的な揺らぎを原因とするノイズである。また、量子化ノイズは、A/D変換部4による画像信号のデジタル化の際に発生するノイズである。固定パターンノイズと経時ノイズを足し合わせたノイズを総合ノイズ(Total Noise)とする。画像信号に対する総合ノイズの重畳は不可避であるため、これらのノイズを低減する手法が求められている。

[0023] 図2は、固定パターンノイズ及び経時ノイズの重畳イメージである。固定パターンノイズに関わる軸は、下軸(X軸)及び左軸(Y軸)である。下軸は画像信号の信号強度 S_i' (画素値、輝度値)を、左軸は画像信号の頻度を総画素数で割った値(PDF(S_i'))を、それぞれ示している。経時ノイズに関わる軸は、上軸(U軸)及び右軸(R軸)である。上軸は、本来の画像信号強度からの差 $\Delta S_i'$ (後述する平均値画像を用いた測定においては、平均値画像と平均値画像作成に使用したそれぞれの画像の信号強度の差分)を、右軸は画像信号の頻度を総画素数で割った値(PDF($\Delta S_i'$))を、それ

ぞれ示している。図面中に表したように、点線は固定パターンノイズの影響を受けた信号強度の実測値を、実線は経時パターンノイズの影響を受けた信号強度の実測値を表している。

[0024] 図2に示すように、固定パターンノイズの影響を受けた信号強度の実測値及び経時パターンノイズの影響を受けた信号強度の実測値の双方とも、本来の信号情報を境として、前後同じ程度にばらついた値が画像信号の信号強度として観測されている。これは、固定パターンノイズ及び、経時ノイズである暗電流ノイズ、ショットノイズ、量子化ノイズのいずれも、確率密度関数は正規分布又は正規分布に近似可能な関数で表され、その分散値が信号強度に依存するためである。このことから、画像信号に対する固定パターンノイズ及び経時ノイズの統計的性質はガウス分布（Gaussian）に従う（ガウス分布に近似可能である）。すなわち、重畳する各ノイズはガウス分布に従っていることが分かる。

[0025] 次に、本実施形態に係る画像フィルタリング装置に用いるバイラテラルフィルタについて説明する。図3はバイラテラルフィルタの特性を示す図である。

[0026] バイラテラルフィルタは、フィルタリング前の画像信号のエッジを保ちながら、平滑化処理を行うものであり、ドメインフィルタとレンジフィルタの2種類の加重平均フィルタで構成されている。バイラテラルフィルタは2種類の加重平均フィルタの加重関数 w_d （ドメインフィルタの加重関数）、 w_r （レンジフィルタの加重関数）で重みを設定する。ドメインフィルタの加重関数 w_d は、着目画素と周囲の画素との距離（座標軸上の類似度）に関する重みであり、距離が近いほど重みを大きく設定する。これは、近距離の画素は相関が高いとの仮定に基づくものである。すなわち、例え信号強度が類似している周囲の画素であっても、画素間の距離が離れている場合には異なる信号源から得られた信号と仮定する。また、レンジフィルタの加重関数 w_r は、着目画素と周囲の画素との信号強度の差（信号強度軸上の類似度）に関する重みであり、信号強度の差が小さいほど重みを大きく設定する。このことに

より、エッジ境界部分の画素のように、周囲の画素との間で信号強度の差の絶対値が大きい画素は、平滑化処理にほとんど利用されず、画像のエッジを鈍らせないという効果が得られる。

[0027] 上述したバイラテラルフィルタの特性は図3 (a) に示される。グラフの横軸は着目画素の周囲の画素の画素位置 p を、グラフの縦軸は信号強度 S_i' を示している。また、図3 (a) 中では、ドメインフィルタの加重関数 w_d のグラフは画素位置 p が「8」である場合に重みを最も重くしており、レンジフィルタの加重関数 w_r のグラフは信号強度が「150」である場合に重みを最も重くしている。これは、着目画素の画素位置が「8」であり、信号強度が「150」であることによるものである。

[0028] 図3 (a) に示したバイラテラルフィルタは、下記式に示される。

[数5]

$$S_o'(c) = \frac{\sum_{p \in \Omega} w_d(p, c) \times w_r(S_i'(p), S_i'(c)) \times S_i'(p)}{\sum_{p \in \Omega} w_d(p, c) \times w_r(S_i'(p), S_i'(c))}$$

$$w_d(p, c) = \exp(-0.5(p - c)^2 / \sigma_d^2)$$

$$w_r(S_i'(p), S_i'(c)) = \exp(-0.5(S_i'(p) - S_i'(c))^2 / \sigma_r^2) \quad (5)$$

$S_o'()$ はフィルタリング後の信号強度、 $S_i'()$ はフィルタリング前の信号強度、 c は着目画素の画素位置、 p は着目画素の前記周囲の画素の画素位置、 Ω は前記周囲の画素が位置する領域（着目画素を中心とした $H \times W$ 画素の局所領域（ H 、 W は予め設定された自然数））、 σ_d^2 は着目画素からの距離に応じた重みづけを行う際のパラメータ（ドメインフィルタ分散値）、 σ_r^2 は着目画素の信号強度との差に応じた重みづけを行う際のパラメータ（レンジフィルタ分散値）をそれぞれ表している。

[0029] バイラテラルフィルタは、周囲の画素が位置する領域（着目画素を中心とした $H \times W$ 画素の局所領域） Ω 、着目画素からの距離に応じた重みづけを行う際のパラメータ（ドメインフィルタ分散値） σ_d^2 、着目画素の信号強度の差に応じた重みづけを行う際のパラメータ σ_r^2 がノイズ低減を左右するパラ

メータである。過剰なノイズ低減や不十分なノイズ低減によるノイズ成分の残留は、画像信号へのノイズ重畳量に対してパラメータ設定が不適切な場合に起こる。

[0030] 図3(a)では、横軸として周囲の画素の画素位置 p を、縦軸として信号強度 S_i' を用いたが、横軸に着目画素と周囲の画素の画素位置の差 $p - c$ を、縦軸として着目画素と周囲の画素の信号強度の差 $\delta S_i'$ を用いた場合には、バイラテラルフィルタの特性は図3(b)に示されるようになる。着目画素と同一の画素位置 ($p - c = 0$) であり、着目画素と同一の信号強度 ($\delta S_i' = 0$) である場合に、ドメインフィルタの加重関数 w_d 及びレンジフィルタの加重関数 w_r の重みが最も重くなっている。

[0031] 図3(b)に示したバイラテラルフィルタは下記式に示される。

[数6]

$$S_o'(c) = S_i'(c) + \frac{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta S_i'(p)) \times \delta S_i'(p)}{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta S_i'(p))}$$

$$w_d(R^2) = \exp(-0.5R^2/\sigma_d^2)$$

$$R^2 = (p - c)^2$$

$$w_r(\delta S_i'(p)) = \exp(-0.5\delta S_i'^2(p)/\sigma_r^2)$$

$$\delta S_i'(p) = S_i'(p) - S_i'(c) \quad (6)$$

なお、バイラテラルフィルタの特性については、非特許文献1に記載がある。

[0032] 次に、本発明の実施形態に係る画像フィルタリング装置10の機能について説明する。図4は、本発明の実施形態に係る画像フィルタリング装置10の機能ブロックを示す図である。例えば、画像フィルタリング装置10は、図1に示したA/D変換部4によりデジタル化された画像信号に対して、フィルタリングを行うものである。図4に示すように、本実施形態に係る画像フィルタリング装置10は、入力部11と、出力部12と、フィルタリング部13と、ノイズ分散上限値算出部14と、算出画素決定部15と、ノイズ

分散推定部 16 と、係数算出部 17 とを備えて構成される。画像フィルタリング装置 10 のフィルタとしては、例えばバイラテラルフィルタやノンローカルミーンスフィルタ (Non-local Means Filter) をベースとしたフィルタを用いることができる。画像フィルタリング装置 10 は、例えば CPU、メモリ等のハードウェアを備えるコンピュータにより実現される。画像フィルタリング装置 10 は、撮像装置 1 に搭載されている。

[0033] また、入力画像信号の SNR は、 $20 \log_{10} (S_{i \cdot \text{bar}}' / \sigma_i)$ で、出力画像信号の SNR は、 $20 \log_{10} (S_{o \cdot \text{bar}}' / \sigma_t)$ で、それぞれ表すことができる。ここで、 $S_{i \cdot \text{bar}}'$ はフィルタリング前の信号強度の平均値、 $S_{o \cdot \text{bar}}'$ はフィルタリング後の信号強度の平均値、 σ_i はフィルタリング前の (入力信号の) 画像信号のノイズの分散値に基づくノイズ標準偏差、 σ_t はフィルタリング後の画像信号のノイズの分散値に基づく残留ノイズ標準偏差、をそれぞれ表している。入力画像信号の SNR 及び出力画像信号の SNR は、画像信号毎や画素毎等で求めることができる。 $S_{i \cdot \text{bar}}'$ 及び $S_{o \cdot \text{bar}}'$ は、画像信号毎に算出する場合には画像信号全体の画素の信号強度を平均したものとなり、画素毎に算出する場合には画素毎の信号強度となり、カラーチャートの各カラーカードナンバー (画像中の同一の色の範囲) 毎に算出する場合には各カラーカードナンバー毎の信号強度を平均したものとなる。 σ_i 及び σ_t は、画像信号毎や画素毎等で求めることができる。 σ_i 及び σ_t を画像信号毎で算出する場合には、例えば、後述する、フィルタリング前後における画像信号に含まれる各着目画素毎のノイズの分散値であるノイズ分散値 σ_{total}^2 の平方根であるノイズ標準偏差 σ_{total} を平均したものが σ_i 及び σ_t となる。 σ_i 及び σ_t を画素毎で算出する場合には、例えば、後述する、フィルタリング前後における画像信号に含まれる各着目画素毎のノイズ標準偏差 σ_{total} が、各画素の σ_i 及び σ_t となる。 σ_i 及び σ_t をカラーチャートの各カラーカードナンバー毎で算出する場合には、例えば、後述する、フィルタリング前後における各カラーカードナンバー毎で画像信号に含まれる各着目画素毎のノイズ標準偏差 σ_{total} を平均したものが σ_i 及び σ_t となる。なお

、ノイズ分散値 σ^2_{total} 及びノイズ標準偏差 σ_{total} は、後述するノイズ分散上限値算出部 14 によって複数毎の画像から算出でき、また、後述するノイズ分散推定部 16 によって一枚の画像から算出することができる。

[0034] 入力部 11 は、A/D 変換部 4 によりデジタル化された画像信号を入力する入力手段である。入力部 11 が入力する画像信号は、フィルタリング前の信号強度の画素で構成されている。入力部 11 が入力した画像信号は、フィルタリング部 13 に入力される。

[0035] 出力部 12 は、フィルタリング部 13 によって算出されたフィルタリング後の信号強度の画素で構成される画像信号を出力する出力手段である。

[0036] フィルタリング部 13 は、入力部 11 により入力された画像信号に対して、画像信号中のノイズ除去及びエッジの強調などを行うための演算を施し（フィルタリングを行い）、フィルタリング後の信号強度を算出するフィルタリング手段である。フィルタリング部 13 によりフィルタリングが行われた画像信号は出力部 12 に入力される。

[0037] フィルタリング部 13 は、入力部 11 により入力された画像信号を構成する画素のうち着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差に重みづけを行い、重みづけを行った着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差を足しあわせた値に設定された係数 γ を掛け合わせた値と該着目画素の信号強度とを足し合わせることで、該着目画素のフィルタリング後の信号強度を算出するフィルタリング手段である。着目画素とは入力された画像信号に含まれる画素であり、フィルタリング後の信号強度を算出する画素である。周囲の画素とは、着目画素の周囲に位置する画素であり、着目画素の信号強度を算出するために用いる画素である。フィルタリング部 13 は、入力された画像信号に含まれる全画素を順次着目画素とし、フィルタリング後の信号強度を算出することで、入力された画像信号のフィルタリング後の信号強度を算出する。

[0038] 係数 γ は重みづけを行った周囲の画素を足し合わせた値に掛け合わせる値であり、予め所定の値を設定してもよいし、後述する係数算出部 17 により

算出してもよい。係数 γ を掛け合わせるによりフィルタリング後の画像信号のS/N比を安定した値とすることができることは、本発明者が鋭意研究を重ねる中で見出した知見である。

[0039] フィルタリング部13は、上述した重みづけを行う際は、周囲の画素の画素位置と着目画素の画素位置との距離が近いほど重みづけを重くする。また、フィルタリング部13は、上述した重みづけを行う際は、周囲の画素の信号強度と着目画素の信号強度との差が小さい程重みづけを重くする。

[0040] フィルタリング部13は、バイラテラルフィルタを用いて上述したフィルタリングを行う場合には、下記で定義される式によりフィルタリング後の信号強度を算出することができる。

[数7]

$$S_o'(c) = S_i'(c) + \gamma \times \frac{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta S_i'(p)) \times \delta S_i'(p)}{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta S_i'(p))}$$

$$w_d(R^2) = \exp(-0.5R^2/\sigma_d^2)$$

$$R^2 = (p - c)^2$$

$$w_r(\delta S_i'(p)) = \exp(-0.5\delta S_i'^2(p)/\sigma_r^2)$$

$$\delta S_i'(p) = S_i'(p) - S_i'(c) \quad (7)$$

上記式(6)で示した一般的なバイラテラルフィルタの式との相違点は、右辺のフィルタリング前の信号強度 $S_i'(c)$ を除く部分に係数 γ を掛け合わせている点である。

[0041] フィルタリング部13は、ノンローカルミーンフィルタを用いて上述したフィルタリングを行う場合には、下記で定義される式によりフィルタリング後の信号強度を算出することができる。

[数8]

$$S_o'(c) = S_i'(c) + \gamma \times \frac{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta V(S_i'(p))) \times \delta S_i'(p)}{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta V(S_i'(p)))}$$

$$w_d(R^2) = \exp(-0.5R^2/\sigma_d^2)$$

$$R^2 = (p - c)^2$$

$$w_r(\delta V(S_i'(p))) = \exp(-0.5\delta V(S_i'(p))^2/\sigma_r^2)$$

$$\delta S_i'(p) = S_i'(p) - S_i'(c) \quad (8)$$

上記式（７）と同様に右辺のフィルタリング前の信号強度 $S_i'(c)$ を除く部分に係数 γ を掛け合わせている。上記式（７）と異なる点は、 $\delta V(S_i'(p))$ を用いている点である。 $\delta V(S_i'(p))$ は、例えば画像信号の領域を同一の大きさに格子状に分割した複数領域のうち p を含む領域の信号強度と着目画素の信号強度との差である。すなわち、バイラテラルフィルタの定義式である上記式（７）においては、レンジフィルタの加重関数 w_r は、着目画素と周囲の画素との信号強度の差を各周囲の画素毎に算出して求めているが、ノンローカルミンフィルタの定義式である上記式（８）においては、レンジフィルタの加重関数 w_r は、着目画素と周囲の画素との信号強度の差を、周囲の画素が位置する一定領域（画像信号の領域を分割した複数領域のうち p を含む領域）毎に算出して求めている。この場合に、一定領域の信号強度としては、例えば、一定領域に含まれる各画素の信号強度の平均を用いることができる。

[0042] また、発明者は鋭意研究を重ねる中で、上記式（７）及び上記式（８）において、着目画素の信号強度との差に応じた重みづけを行う際のパラメータ（レンジフィルタ分散値） σ_r^2 として、各着目画素毎のノイズの分散値であるノイズ分散値 σ_{total}^2 を用いてフィルタリング後の信号強度を算出すると、より安定したフィルタリングを行うことができることを見出した。後述するノイズ分散上限値算出部 14、算出画素決定部 15、ノイズ分散推定部 1

6によって、各着目画素毎のノイズの分散値であるノイズ分散値 σ^2_{total} が算出された場合には、フィルタリング部13は、上記式(7)及び上記式(8)において、着目画素の信号強度との差に応じた重みづけを行う際のパラメータ(レンジフィルタ分散値) σ_r^2 としてノイズ分散値 σ^2_{total} を用いてフィルタリング後の信号強度を算出する。

[0043] ノイズ分散上限値算出部14は、同一の対象を撮像した複数の参照用画像信号を入力して、該参照用画像信号を構成する画素に含まれるノイズの、該画素の信号強度に応じた分散値を複数算出し、該ノイズの分散値から、画像信号の画素に含まれる信号強度に応じたノイズの上限値であるノイズ分散上限値を算出するノイズ分散上限値算出手段である。

[0044] ノイズ分散上限値算出部14によって算出される、複数のノイズの分散値の算出方法の例について、図5により説明する。なお、ノイズの分散値の算出方法については、「“ISO15739 First edition : Photography—Electronic still-picture imaging—Noise measurements”, 2003.」(以下、非特許文献2という)に記載がある。図5(a)に示すように、最初に、撮像装置1で同一の対象であるカラーチャートをn枚撮像し、参照用画像とする。カラーチャートとは、色の表、すなわち、色見本を配列した板状の物体であり、色彩再現性をチェックするなど色の比較・測定に用いるものである。また、n枚とは8枚以上であればよく、本実施形態では10枚とする。撮像装置1とカラーチャートの位置関係は固定とする。

[0045] 次に、撮像装置1とカラーチャートの位置関係は同一位置に固定、露光時間も同一として、遮光空間で暗電流画像を10枚撮像し、それぞれの暗電流画像を構成する画素の信号強度の分散値を算出し、それらの平均値 σ^2_d を求める。そして、暗電流画像から、暗電流ノイズの平均値を取得し、最初に取得した10枚の参照用画像から暗電流ノイズによって加算されるバイアスを減算し、暗電流補正後の画像を作成する。

[0046] 次に、図5(b)に示すように、暗電流補正後の10枚の画像から、平均

値画像を1枚作成する。平均値画像とは、各画素毎の平均信号強度を取得した画像である。次に、図5(c)に示すように、平均値画像と暗電流補正後の10枚の画像とから、それらの差分である、差分画像を10枚作成する。

[0047] 次に、図5(d)に示すように、平均値画像について、 $M \times N$ 画素(M 、 N は予め設定された自然数)のエッジを含まない平坦な領域を持つ局所領域を選択し、該局所領域における平均値画像を構成する画素の信号強度の分散値 σ^2_{ave} を算出する。 $M \times N$ 画素としては、例えば $M = N = 21$ とすることが考えられる。

[0048] 次に、図5(e)に示すように、全ての差分画像について、 $M \times N$ 画素のエッジを含まない平坦な領域を持つ局所領域を選択し、該局所領域における差分画像の信号強度及び分散値を算出する。その後、各差分画像を構成する画素の信号強度の分散値の平均値 σ^2_{diff} を算出する。

[0049] そして、 σ^2_{ave} 及び σ^2_{diff} の算出後、下記で定義される式により、図5(f)に示すように、経時ノイズの分散値 σ^2_{temp} 、固定パターンノイズの分散値 σ^2_{fp} 、総合ノイズの分散値 σ^2_{total} をそれぞれ算出する。

[数9]

$$\begin{aligned}\sigma^2_{temp} &= \frac{n}{n-1} \sigma^2_{diff} \\ \sigma^2_{fp} &= \sigma^2_{ave} - \frac{1}{n-1} \sigma^2_{diff} \\ \sigma^2_{total} &= \sigma^2_{temp} + \sigma^2_{fp}\end{aligned}\tag{9}$$

[0050] 図6は、ノイズの分散値の測定結果イメージを示している。図6のグラフの横軸は信号強度 S_i を、縦軸は各ノイズの分散値を表している。上記式により算出した経時ノイズの分散値 σ^2_{temp} 、固定パターンノイズの分散値 σ^2_{fp} 、総合ノイズの分散値 σ^2_{total} は、画素位置を特定位置に固定した場合には、図6(a)に示したように、信号強度を変数とした近似式で推定することができる。

[0051] 当該近似式で推定した経時ノイズの分散値 σ^2_{temp} 、固定パターンノイズの

分散値 σ^2_{fp} 、総合ノイズの分散値 σ^2_{total} と、各ノイズの分散値の測定値との一致度合を示す係数として重相関係数 R を用いると、重相関係数 R の決定係数 R^2 （決定係数 R^2 は 0 以上かつ 1 以下であって、1 に近い値であるほど比較対象の一致度が高いことを示す）の値は、図 6（a）に示した表のようになる。画像信号を、無彩色であって学習内（近似式を算出するのに用いた画素）のものにした場合及び有彩色で学習外（近似式を算出するのに用いていない画素）のものにした場合のいずれの場合においても、経時ノイズの分散値 σ^2_{temp} 、固定パターンノイズの分散値 σ^2_{fp} 、総合ノイズの分散値 σ^2_{total} の決定係数 R^2 は 1 に極めて近い値となる。すなわち、各ノイズの分散値は、近似式による値と実測値とで、高い一致度となる。

[0052] 一方で、画素位置を不特定位置とした場合には、重相関係数 R の決定係数 R^2 の値は、図 6（b）に示した表のようになる。画像信号を、カラーチャート 24 色の不特定位置であって学習外のものにした場合には、画素位置の依存性がない経時ノイズの分散値 σ^2_{temp} についての決定係数 R^2 は 1 に極めて近い値となるものの、画素位置の依存性がある固定パターンノイズの分散値 σ^2_{fp} についての決定係数 R^2 は 0.7768 となり、近似式による値と実測値とで一致度は低いものとなる。総合ノイズの分散値 σ^2_{total} についても決定係数 R^2 は 0.8782 となり、近似式による値と実測値とで一致度は低いものとなる。固定パターンノイズの分散値 σ^2_{fp} 及び総合ノイズの分散値 σ^2_{total} についての、近似式による値と実測値との乖離が大きいことから、画素位置を不特定位置とした場合には、1 つの近似式で経時ノイズの分散値 σ^2_{temp} 、固定パターンノイズの分散値 σ^2_{fp} 、総合ノイズの分散値 σ^2_{total} を推定することはできないことがわかる。そこで、ノイズの分散値の上下限值を特定（ノイズ特性の上下限近似関数を特定）することで、ノイズの分散値を算出する方法を採用する。

[0053] 上記式（9）にて算出された、経時ノイズの分散値 σ^2_{temp} 、固定パターンノイズの分散値 σ^2_{fp} はそれぞれパラメータ α 及び β を用いて下記で定義する式に表すことができる。 $S_{i \cdot ave}$ は平均値画像の信号強度である。

[数10]

$$\begin{aligned}\sigma_{fp}^2 &= \sigma_{ave}^2 - \frac{1}{n-1} \sigma_{diff}^2 = \alpha S'_{i \cdot ave}{}^2 \\ \sigma_{temp}^2 &= \frac{n}{n-1} \sigma_{diff}^2 = \beta S'_{i \cdot ave} + \sigma_{dc}^2\end{aligned}\quad (10)$$

[0054] そして、ノイズ分散上限値算出部14は、算出した $S_{i \cdot ave}'$ 、 σ_{dc}^2 、及び上記式(9)から算出した σ_{fp}^2 、 σ_{temp}^2 と、上記式(10)より、パラメータ α 及びパラメータ β を得る。パラメータ α 及びパラメータ β は、画素毎やカラーチャートの同一色毎に得ることができる。ノイズ分散上限値算出部14は得られた複数のパラメータ α 及び複数のパラメータ β から、複数の α のうち最大値である α_{max} 、複数の β のうち最大値である β_{max} 、複数の β のうち最小値である β_{min} を選定する。具体的には、ランダムサンプリングした画素に対して、 α_{max} は $\max \{ \alpha (S_i' (p)) \}$ 、 β_{max} は $\max \{ \beta (S_i' (p)) \}$ 、 β_{min} は $\min \{ \beta (S_i' (p)) \}$ でそれぞれ求められる。 α_{max} 及び β_{max} からはノイズ特性の上限近似関数 $\sigma_{max}^2 (S_i')$ が、 β_{min} からはノイズ特性の下限近似関数 $\sigma_{min}^2 (S_i')$ が、それぞれ下記で定義する式により算出される。なお、ノイズ特性の下限近似関数 $\sigma_{min}^2 (S_i')$ については、後述する算出画素決定部15による着目画素のノイズの分散値を算出するための画素の決定においては、必ずしも必要ではない。

[数11]

$$\begin{aligned}\sigma_{max}^2(S'_i) &= \alpha_{max} S'^2_i + \beta_{max} S'_i + \sigma_{dc}^2 \\ \sigma_{min}^2(S'_i) &= \beta_{min} S'_i + \sigma_{dc}^2\end{aligned}\quad (11)$$

[0055] 図7は、ノイズ特性の上限近似関数 $\sigma_{max}^2 (S_i')$ 及び下限近似関数 $\sigma_{min}^2 (S_i')$ を示している。図7のグラフの横軸は信号強度 S_i' を、縦軸は各ノイズの分散値を表している。ノイズの分散値の上下限が決定するため、各信号強度におけるノイズの分散値 σ_{total}^2 は、当該上下限値の間の値であると推定できる。なお、ノイズ特性の上下限近似関数に関しては、「Y. M. Baek, J. C. Kim, D. C. Cho, J. A. Lee, and W

. Y. Kin, "Integrated Noise Modeling For Image Sensor Using Bayer Domain Images", Computer Vision/Computer Graphics Collaboration Techniques, pp. 413-424, 2009.」(以下、非特許文献3という)に記載がある。ただし、当該文献には、ノイズ分散の上下限を定義するモデル化の提案はされているものの、各パラメータ ($\alpha_{\max}$ 、 $\beta_{\max}$ 、 $\beta_{\min}$) の決定方法は明確に示されていない。また、モデル作成に使用するチャートは、マクベスカラーチャートとすることで、グレイスケールチャートや均一光源面等を用いた場合と比較して、撮影回数の低減を実現した。

[0056] ここで、当該ノイズの分散値推定方法は、一枚の画像のみを使用して着目画素のノイズ分散値を推定するものである。そのために、局所領域内画素の信号は同一の信号強度(極めて近似する信号強度を含む)である同一信号源を撮像し、事前を取得したノイズ特性の上限内に収まる特性のノイズが重畳していると仮定する。すなわち、ノイズ特性の上限値を用いて同一の信号強度の画素を推定し、ノイズの分散値を推定するものである。

[0057] 算出画素決定部15は、ノイズ分散上限値算出部14が算出したノイズ分散上限値を用いて、入力部11によって入力されたフィルタリング対象の画像信号における周囲の画素が、着目画素のノイズの分散値を算出するために用いることができる画素か否かを判定する算出画素決定手段である。

[0058] 算出画素決定部15は、着目画素のノイズ分散上限値を示す上限近似関数 $\sigma^2_{\max}(S'_i)$ を用いて、周囲の画素の信号強度が、下記で定義される式を満たすか判定し、該周囲の画素が、着目画素のノイズの分散値を算出するために用いることができる画素か否かを判定する。

[数12]

$$\{S'_i(p) - S'_i(c)\}^2 \leq K^2 \times \sigma^2_{\max}(S'_i(c)) \quad (12)$$

[0059] 上記式(12)において、Kは予め設定された判定係数(0.5 k s i g m a p o i n t)であり、判定係数Kとしては、例えば、5を用いる。上記

式（１２）を満たす周囲の画素は、着目画素と同一の信号強度（極めて近似する信号強度を含む）である同一信号源であると判断され、後述する着目画素のノイズの分散値の算出に用いられる。

[0060] 算出画素決定部１５による、ノイズの分散値を算出するために用いる画素の決定イメージを図８に示す。ノイズの分散値を算出するために用いる画素の決定はフィルタリング対象の一枚の画像のみを使用して行われる。図中の c は着目画素を、 p は周囲の画素を示す。図８（ａ）に示すように、中央のマスを着目画素とし、その他のマスを周囲の画素としている。いま、各マスのうち、斜線が描かれているマスは上記式（１２）を満たす周囲の画素の位置、白抜きのマスは上記式（１２）を満たさない周囲の画素の位置とする。例えば、図８（ｂ）のように、上記式１２を満たさない周囲の画素については、着目画素のノイズの分散値を算出するために用いない画素であると判定される。一方で、図８（ｃ）のように、上記式１２を満たす周囲の画素については、着目画素のノイズの分散値を算出するために用いることができる画素であると判定される。このように、周囲の画素について、それぞれ判定していき、図８（ｄ）のように、上記式１２を満たす周囲の画素で構成された信号集合 S_ψ を導出する。

[0061] ノイズ分散推定部１６は、算出画素決定部１５により着目画素のノイズの分散値を算出するために用いることができる画素であると判定された周囲の画素から、着目画素のノイズの分散値 $\sigma^2_{total}(c)$ を推定するノイズ分散推定手段である。ノイズ分散推定部１６は、図８（ｄ）に示した信号集合 S_ψ に含まれる画素の信号強度の分散値を、着目画素の総合ノイズ分散値 $\sigma^2_{total}(c)$ であるとみなす（ $VAR(S_\psi) = \sigma^2_{total}(c)$ ）。ノイズ分散推定部１６によって算出された着目画素毎のノイズの分散値 $\sigma^2_{total}(c)$ は、フィルタリング部１３によって、フィルタリング後の信号強度を算出するためのパラメータとして用いられる。具体的には、フィルタリング部１３は、上記式（１）又は（２）における σ_r^2 として、ノイズの分散値 $\sigma^2_{total}(c)$ を用いてフィルタリング後の信号強度を算出する。なお、画素毎におけ

るノイズ分散値 $\sigma^2_{total}(c)$ を求める方法は、上記方法に限定されず、その他の方法により求めてもよい。

[0062] 係数算出部 17 は、係数 γ を算出する係数算出手段である。係数算出部 17 は、フィルタリング前後の画像信号のノイズの分散値に基づく値を入力して入力した値から、係数 γ を算出する。係数 γ は、フィルタリング前後の画像信号のノイズの分散値に基づく値である、フィルタリング前後のノイズの標準偏差から求めることができる。ここで、フィルタリングは、例えばフィルタリング装置 10 によって実施され、上記式 (1) 又は (2) で定義される式によりフィルタリング後の信号強度が算出される。この場合には、例えば、上記式 (1) 又は (2) の $\gamma = 1$ として、フィルタリング部 13 によるフィルタリングが行われる。また、フィルタリング前後のノイズの標準偏差 σ_i 及び σ_t としては、例えば、総合ノイズ標準偏差 σ_{total} を用いることができ、係数 γ を画像信号毎に算出する場合には、画像信号に含まれる各着目画素のノイズ標準偏差 σ_{total} を平均したものが、 σ_i 及び σ_t となり画像信号毎の係数 γ が算出される。また、係数 γ を画素毎に算出する場合には、画像信号に含まれる各着目画素毎のノイズ標準偏差 σ_i 及び σ_t が各画素の σ_i 及び σ_t となり各着目画素毎の係数 γ が算出される。なお、ノイズ分散値 σ^2_{total} 及びノイズ標準偏差 σ_{total} は、後述するノイズ分散上限値算出部 14 によって複数毎の画像から算出でき、また、後述するノイズ分散推定部 16 によって一枚の画像から算出することができる。また、フィルタリング装置 10 以外のフィルタリング装置でフィルタリングを行い、フィルタリング前後のノイズの標準偏差を求めるものであってもよい。フィルタリング前後のノイズの標準偏差からの係数 γ の算出は、具体的には、下記で定義する式によって行われる。

[数13]

$$\gamma = (1 - \sigma_t / \sigma_i)^{-1} \quad (13)$$

[0063] 上記式 (13) において、 σ_i はフィルタリング前の（入力信号の）画像信号のノイズの分散値に基づくノイズ標準偏差、（フィルタリング前の画像信

号の総合ノイズ標準偏差 σ_{total}) を、 σ_t はフィルタリング後の画像信号のノイズの分散値に基づく残留ノイズ標準偏差 (フィルタリング後の画像信号の総合ノイズ標準偏差 σ_{total}) をそれぞれ表している。

[0064] 上記式 (13) は以下のように導かれる。分散値の算出式より、以下の式が成り立つ。

[数14]

$$\frac{\sigma_t^2}{\sigma_i^2} = \sum \frac{(S_{true} - S_{out})^2}{(S_{true} - S_{in})^2} \quad (14)$$

S_{true} は信号強度の真値、 S_{in} はフィルタリング前の着目画素の信号強度、 S_{out} はフィルタリング後の着目画素の信号強度である。

[0065] 上記式 (14) に誤差係数 (error factor) ε を導入すると、以下の式が成り立つ。

[数15]

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_t}{\sigma_i} &= \frac{(S_{true} - S_{out} + \varepsilon)}{(S_{true} - S_{in})} \\ \sum \gamma \varepsilon &= \sum [S_{true} - \{S_{in} - \gamma(S_{in} - S_{out})\}] \\ \gamma &= \left(1 - \frac{\sigma_t}{\sigma_i}\right)^{-1} \end{aligned} \quad (15)$$

[0066] さらに、上記式 (15) より、以下の式が成り立つ。

[数16]

$$S_{true} = S_{in} - \gamma(S_{in} - S_{out} - \varepsilon) \quad (16)$$

[0067] さらに上記式 (16) 及び上記式 (6) と、

[数17]

$$\sum \gamma \varepsilon \approx 0$$

の関係をもとに、以下の式が成り立つ。

[数18]

$$S_{out} = S_{in} - \gamma(S_{in} - S_{out})$$

$$S_o'(c) = S_i'(c) + \gamma \times \frac{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta S_i'(p), \sigma_{total}^2(c)) \times \delta S_i'(p)}{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta S_i'(p), \sigma_{total}^2(c))} \quad (17)$$

[0068] また、グラフの横軸に σ_r / σ_i 、縦軸に σ_t / σ_i をとった場合の係数 γ は図 9 に示すようになる。ノイズ分散推定部 16 により推定されたノイズの分散値は、実際に測定される値 σ_i を精度よく推定することができるため、 σ_r の値をノイズ分散推定部 16 により推定されたノイズの分散値とすることで、 $\sigma_r \doteq \sigma_i$ となり、係数 γ の値を固定値とすることができる。なお、すべての画素について動的に係数 γ を求め使用することも可能である。

[0069] 引き続き、図 10 及び図 11 のフローチャートを用いて、本発明の実施形態に係る画像フィルタリング装置 10 の、ノイズの分散上限値算出処理及びフィルタリング処理を説明する。図 10 は、本発明の実施形態に係る画像フィルタリング装置 10 によるノイズの分散上限値算出処理を示すフローチャートである。本処理の S101～S103 は、撮像素子温度やシャッタースピード等の撮影条件が同じ場合であれば、一度行われればよく、一度行った後に撮像装置 1 で被写体を撮像する際には行われない処理である。撮像装置素子温度やシャッタースピード等の撮影条件が変わった場合には、再度、S101～S103 の処理が行われる。

[0070] まず、同一の対象を撮像した複数の参照用画像が、入力部 11 より入力される (S101)。当該参照用画像から、平均値画像及び差分画像を作成し、それぞれの信号強度及び分散値を算出することで、ノイズ分散上限値算出部 14 によって、信号強度に応じたノイズの分散値が複数算出される (S102)。

[0071] そして、算出された信号強度に応じたノイズの分散値から、ノイズ分散上限値算出部 14 によって、ノイズ特性の上限近似関数 $\sigma_{max}^2(S_i')$ 、及び下限近似関数 $\sigma_{min}^2(S_i')$ が算出され、信号強度に応じたノイズ分散上限

値（及び下限値）が算出される（S103）。

[0072] 図11は、本発明の実施形態に係るフィルタリング処理を示すフローチャートである。撮像装置1によって被写体が撮像されると、入力部11により画像信号が入力される（S104、入力ステップ）。そして、着目画素のノイズ分散上限値を示す上限近似関数 σ^2_{max} に基づき、算出画素決定部15によって各着目画素のノイズの分散値を算出するための周囲の画素が決定される（S105）。

[0073] 次に、算出画素決定部15が決定したノイズの分散値を算出するための周囲の画素を用いて、ノイズ分散推定部16によって、各着目画素のノイズの分散値 $\sigma^2_{total}(c)$ が算出される（S106）。

[0074] 次に、算出された各着目画素のノイズの分散値 $\sigma^2_{total}(c)$ を用いて、フィルタリングが実施される（S107）。この場合には、暫定的に、上記式（1）又は（2）の $\gamma=1$ としてフィルタリングが実施される。正係数算出部17によってフィルタリング前後のノイズの分散値が算出され、上記式（13）より、係数 γ が算出される（S108）。

[0075] そして、S106においてノイズ分散推定部16に算出された各着目画素のノイズの分散値 $\sigma^2_{total}(c)$ 及び、S108において係数算出部17に算出された係数 γ を用いて、フィルタリング部13によって、再度画像信号のフィルタリングが実施される（S109、フィルタリングステップ）。

[0076] S109における画像信号のフィルタリング処理が完了すると、出力部12により、フィルタリング部13によって算出されたフィルタリング後の信号強度の画素で構成される画像信号が出力される（S110、出力ステップ）。

[0077] 次に、本実施形態に係る画像フィルタリング装置10の作用・効果について説明する。

[0078] この画像フィルタリング装置10では、着目画素のフィルタリング後の信号強度として、着目画素と該着目画素の周囲の画素との信号強度の差に重みづけを行ったものを足し合わせた値に係数 γ を掛け合わせた値に、着目画素

のフィルタリング前の信号強度を足し合わせた値を算出している。係数 γ を掛け合わせることで、画像信号にかかわらず、出力のS/NRを安定した値とすることができることは、本発明者が鋭意研究を重ねる中で見出した知見である。

[0079] 以上より、本発明の一実施形態によれば、入力する画像信号に依存しない安定的なフィルタリングを行うことができる画像フィルタリング装置10を提供することができる。また、本画像フィルタリング装置10によれば、デバイスの種類に関係なく、ノイズ低減に優れた平滑化手法を提供することができる。

[0080] また、本実施形態に係る画像フィルタリング装置10において、フィルタリング部13は、重みづけを行う際は、周囲の画素の画素位置と着目画素の画素位置との距離が近いほど重みづけを重くし、周囲の画素の信号強度と着目画素の信号強度との差が小さい程重みづけを重くすることで、ノイズを除去しながら、エッジやテクスチャ等の本来の信号情報を保持することができる。

[0081] また、本実施形態に係る画像フィルタリング装置10において、フィルタリング部13は、上記式(1)で定義される式によりフィルタリング後の信号強度を算出することで、バイラテラルフィルタをもとにして確実に本発明の一実施形態を実施することができる。

[0082] また、本実施形態に係る画像フィルタリング装置10において、フィルタリング部13は、上記式(2)で定義される式によりフィルタリング後の信号強度を算出することで、ノンローカルミーニフィルタをもとにして確実に本発明の一実施形態を実施することができる。

[0083] また、本実施形態に係る画像フィルタリング装置10において、ノイズ分散上限値算出部14と、算出画素決定部15と、ノイズ分散推定部16と、をさらに備え、フィルタリング部13は、 σ_r^2 としてノイズ分散値 σ^2_{total} (c)を用いてフィルタリング後の信号強度を算出することで、フィルタリングによる信号強度の算出において、画素毎のノイズ分散値 σ^2_{total} (c)

をレンジフィルタの加重関数に反映させることができ、より出力のS N Rの値が小さくなることを防止できる。

[0084] σ_r 毎の入力S N Rに対するノイズ低減特性を調べるために、図20 (a) に示すように、入力画像であるCGチャートにノイズ発生器により、任意のノイズ特性（ノイズ標準偏差が σ_i 。ノイズのパラメータは標準偏差 σ_i を変えて重畳可能）のノイズを重畳したものを、 n 枚評価画像として作成した。そして、図20 (b) に示すように、ドメインフィルタ分散値 σ_d 及び局所領域 Ω は固定値とし、レンジフィルタ分散値 σ_r は可変（任意値）とし、フィルタリングを行い、図20 (c) に示すように、それぞれの画素について、ノイズ低減特性を算出する。図20 (a) ~ 図20 (c) に示す処理は、ノイズ低減特性の解析が十分に行われるまで繰り返され、 σ_i の値を変更して処理を行う場合には図20 (a) ~ 図20 (c) の処理が繰り返され、 σ_r の値を変更して処理を行う場合には図20 (b) ~ 図20 (c) の処理が繰り返される。また、ドメインフィルタ分散値 σ_d 及び局所領域 Ω を変えて同様の処理を行えば、 σ_t/σ_i 、 σ_r/σ_i 、 σ_d 、 Ω の4パラメータで構成される4次元空間上でノイズ低減特性が表される。なお、 σ_i 及び σ_t の測定方法は、非特許文献2に記載がある。

[0085] 画素毎のノイズ分散値 σ_{total}^2 (c) を用いてフィルタリングを行った場合の効果については、図12 (σ_r 毎の入力S N Rに対するノイズ低減特性を示す図) により確認することができる。なお、この際の当該フィルタリング処理は、画像フィルタリング装置10に用いるフィルタのパラメータとして、着目画素を中心とした局所領域 Ω は 21×21 画素のサイズに固定し、ドメインフィルタ分散値 σ_d^2 は固定値9とし、レンジフィルタ分散値 σ_r^2 は可変とした。また、使用するフィルタはバイラテラルフィルタ等をベースとするものである。また、対象ノイズ（フィルタリング装置10によるフィルタリング対象となる画像信号に含まれるノイズであって、測定又は算出するもの）はガウス分布に従うノイズとした。また、CGチャートを入力画像信号とした。なお、フィルタのパラメータは上述したものに限定されるものでは

なく、必要に応じて変更することが可能である。

[0086] 図12は σ_r 毎の入力SNRに対するノイズ低減特性を示す図である。グラフの横軸が入力画像信号のSNRであり、縦軸が出力画像信号のSNRである。グラフ中で実線で示された線は、フィルタリング処理を行わなかった場合の出力のSNRを表している。着目画素の信号強度との差に応じた重みづけを行う際のパラメータ（レンジフィルタ分散値）として σ_r^2 を用いた場合には、 σ_r の値を比較的小さく（13.4）した場合には、入力のSNRを大きくした場合に、出力のSNRが未処理の場合と同等となっており、適切にフィルタリングが行えていないことがわかる。また、 σ_r の値を比較的大きく（158.7）した場合にも、入力のSNRを大きくした場合に出力のSNRが低減（ノイズ低減量が減衰）しており、適切なフィルタリングが行えていないことがわかる。一方で、 σ_r^2 としてノイズ分散値 σ_{total}^2 を用いた場合には、入力のSNRに対してSNR利得が一定であり、安定的に出力のSNRを得ることができていることがわかる。すなわち、レンジフィルタ分散値 σ_r^2 に入力画像信号のノイズ分散値 σ_{total}^2 を用いることで、入力画像信号のSNR（信号強度やノイズ特性）に依存しないロバストなノイズ低減が可能となる。

[0087] また、本実施形態に係る画像フィルタリング装置10において、算出画素決定部は、上記式（3）で定義される式を満たす場合に、周囲の画素が着目画素のノイズの分散値を算出するために用いることができる画素であると判定することで、一枚の画像から着目画素のノイズの分散値を算出することを可能とする。

[0088] なお、本実施形態に係る方法以外の方法でノイズの分散値を算出することもでき、他の方法としてはSNE（ショットノイズ分散値推定）やAFE（関数近似）などがあるが、図13に示すように、本実施形態に係る方法を採用することによって、総合ノイズの分散値を高い精度で推定することができる。図13のグラフにおいて、横軸はノイズの分散値 σ_{total}^2 の測定値、縦軸はノイズの分散値 σ_{total}^2 の推定値である。なお、ノイズの分散値推定手

法については、「H. Talbot, H. Phelippeau, M. Akil, and S. Bara, “Efficient Poisson denoising for photography,” Image Processing (ICIP), 2009 16th IEEE International Conference on, pp. 3881–3884, 2009.」（以下、非特許文献4という）に記載がある。

[0089] また、本実施形態に係る画像フィルタリング装置10において、係数 γ を算出する係数算出部17をさらに備え、係数算出部17は、フィルタリング前後の画像信号のノイズの分散値に基づく値を入力して入力した値から係数 γ を算出することで、簡易に係数 γ の適切な値を求めることができる。

[0090] また、本実施形態に係る画像フィルタリング装置10において、係数算出部17は、上記式(4)で定義される式により係数 γ を算出することで、より確実に係数 γ を算出することができる。あるいは係数 γ は、画像フィルタリング装置10のユーザにより予め設定された値でもよい。この場合、係数 γ は、例えば、経験的に得られた望ましい値とすることができる。

[0091] 以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限られるものではなく、各請求項に記載した要旨を変更しない範囲で変形し、又は他のものに適用したものであってもよい。

[0092] 例えば、画像フィルタリング装置10は撮像装置1に搭載されているものとしたが、必ずしもこれに限定されるものではなく、画像フィルタリング装置10は撮像装置1に搭載されているものでなくてもよい。例えば、画像フィルタリング装置10が別体として構成され、撮像装置1と接続されるように構成されていてもよい。

[0093] また、画像フィルタリング装置10のレンジフィルタ分散値 σ_r^2 は可変としたが、これに限定さえず、予め設定された固定値としてもよい。

[0094] また、係数 γ は、レンジフィルタ分散値 σ_r^2 としてノイズの分散値 $\sigma_{t_o, t_{a_1}}^2$ を用いたフィルタリング前後のノイズの分散値を測定して算出することと

したが、これに限定されるものではなく、例えば、ノイズの分散値 σ^2_{total} を用いないフィルタでフィルタリングを行ってもよい。また、カラーチャートに基づく評価画像にノイズを重畳させた画像を複数毎作成し、フィルタリング前後の画素ノイズ分散値を測定した上で係数 γ を求めてもよい。

[0095] また、画像フィルタリング装置 10 は、ガウス分布以外のノイズ特性に従うノイズにも w_r の重み付け関数を対象となるノイズ特性の確率密度関数に変更することで応用でき、例えば医療画像（磁気共鳴画像、超音波画像）や T O F 画像等のノイズ低減にも応用可能である。

[0096] また、画像フィルタリング装置 10 は、カメラ、ディスプレイ、C P U 等を備えるタブレット P C 等の表示画像のノイズ低減に用いることもでき、画像の質感を向上させることができる。

[0097] また、画像フィルタリング装置 10 における信号強度に対する重みづけの考え方を、他のフィルタに展開することが可能である。

[0098] また、画像フィルタリング装置 10 を備えた X Y Z カメラでは、色変換に由来するランダムノイズの顕著化にも対応することができる。

[0099] また、画像信号以外の信号処理に対しても、画像フィルタリング装置 10 で用いたフィルタを適用することが可能である。

[0100] 以下、本発明の実施例について説明する。なお、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

[0101] [実施例 1]

実施例 1 は、種々のフィルタリング装置毎のフィルタリング効果を比較するものである。比較対象となるフィルタリング装置は、上記式 (1) によりフィルタリングを行うフィルタリング装置であって係数 $\gamma = 1.0$ とする N A B F、上記式 (1) によりフィルタリングを行うフィルタリング装置であって係数 $\gamma = 2.2$ とする C N A B F、非特許文献 1 に記載されたフィルタリング装置である D B F、非特許文献 4 に記載されたフィルタリング装置である S N A B F、の四種類である。N A B F 及び C N A B F は、 σ_r^2 としてノイズ分散値 $\sigma^2_{total}(c)$ を用いてフィルタリングを行っているが、D B

F 及び S N A B F ではノイズ分散値 $\sigma_{total}^2(c)$ を用いていない。また、画像信号をフィルタリングする範囲は 21×21 画素の範囲であり、着目画素からの距離に応じた重みづけを行う際のパラメータ（ドメインフィルタ分散値） $\sigma_d^2 = 9$ とする。

[0102] 図 14 に示すように、カラーチャート、花の写真、ピーマンの写真の画像信号について、各フィルタリング装置でフィルタリング処理を行う。なお、このようなフィルタリング処理に関しての実験については、非特許文献 1 及び非特許文献 4 に記載がある。なお、撮像装置 1 として、XYZ 表色系で画像信号の取出しが可能な、XYZ 静止画カメラ（「Y. Shimodaira, H. Suzuki, M. Kretkowski, “New Imaging and Display System for Wide Gamut Color Reproduction,” IEEE-IAS 2007 Annual Meeting, 33P5, New Orleans, Louisiana, USA (2007. 9.23-27)」(以下、非特許文献 5 という) に記載あり) を用いる。

[0103] 図 15 に、カラーチャートの各カラーカードナンバー（1～23）の画像信号についてフィルタリング処理を行った結果を示している。なお、カラーカードナンバーは数が多いほど信号強度が強い画像信号である。各カラーカードナンバーの固定パターンノイズ、経時ノイズ、総合ノイズの分散値の算出結果は図 15（a）に示すようになった。また、各カラーカードナンバー毎の出力画像信号の SNR は、図 15（b）に示すようになった。図 15（b）から明らかなように、係数 $\gamma = 2.2$ とした C N A B F は、いずれのカラーカードナンバーにおいても、出力画像信号の SNR を高い値で維持することができた。各カラーカードナンバーにおける出力画像信号の SNR の平均 (ΔSNR) は、それぞれ、N A B F が 5.03、C N A B F が 12.68、D B F が 6.17、S N A B F が 3.62 となった。

[0104] また、図 15（c）に示すように、色差についても、各カラーカードナンバーについて、係数 $\gamma = 2.2$ とした C N A B F が最も低い値となった。各

カラーカードナンバーにおける色差の平均 ($dE_{76}(1.30)$) は、それぞれ、NABFが0.70、CNABFが0.26、DBFが0.58、SNABFが0.82となった。色差は、計測器が持つ誤差として0.30程度が見込まれるところ、CNABFでは当該計測器が持つ誤差と同程度の色差となった。

[0105] また、図16(a)に示すカラーチャートの2か所(範囲X及び範囲Y)についてフィルタリング処理を行った画像を図16(b)(範囲Xの画像)、図16(c)(範囲Yの画像)に示す。図16(b)、図16(c)ともに、最上部の画像はフィルタリング前の画像である。図16(b)からは、CNABFによりフィルタリングを行った画像が、各フィルタリング装置の画像のうちで最もなめらかであることがわかる。また、図16(c)からは、画像の明るさが鋭敏に変化しているエッジ部分について、CNABFが最も強調できていることがわかる。

[0106] また、花の写真について各フィルタリング装置でフィルタリング処理を行った出力画像信号のSNRの平均(ΔSNR)は、それぞれ、NABFが0.99、CNABFが1.70、DBFが1.09、SNABFが0.74となった。花の写真について各フィルタリング装置でフィルタリング処理を行った出力画像信号の色差の平均($dE_{76}(1.61)$)は、それぞれ、NABFが1.43、CNABFが1.30、DBFが1.31、SNABFが1.46となった。

[0107] また、ピーマンの写真について各フィルタリング装置でフィルタリング処理を行った出力画像信号のSNRの平均(ΔSNR)は、それぞれ、NABFが1.84、CNABFが3.60、DBFが2.13、SNABFが1.07となった。ピーマンの写真について各フィルタリング装置でフィルタリング処理を行った出力画像信号の色差の平均($dE_{76}(1.33)$)は、それぞれ、NABFが1.03、CNABFが0.78、DBFが0.85、SNABFが1.10となった。

[0108] 以上より、カラーチャート及び花、ピーマンの写真について、出力画像信

号のSNR及び色差の値を調べると、係数 $\gamma = 2.2$ としたCNABFが最も良い値となることがわかった。

[0109] [実施例2]

実施例2は、カラーチャートに基づく評価画像を10枚作成し、 σ^2_{total} を用いてかつ係数 $\gamma = 1.0$ とするNABF、 σ^2_{total} を用いてかつ係数 $\gamma = 2.2$ とするCNABF、 σ^2_{total} ではなく固定値 σ_r^2 ($\sigma_{r1} = 0.5 S_{max}$ 、 $\sigma_{r2} = 0.125 S_{max}$)を用いた2つのフィルタリング装置、の計4種類のフィルタリング装置で、画像信号に対してノイズ低減を実施し、処理後の画像信号に対し、処理前の画像信号に対するSNR利得を求めた。なお、各フィルタリング装置の共通条件として、着目画素を中心とした局所領域は 21×21 画素のサイズに固定し、ドメインフィルタ分散値 σ_d^2 は固定値9とした。また、 S_{max} とは画像が取りうる最大階調値であり、例えば、本実施例では14bitの出力の撮像装置1を用いているため、 $S_{max} = (2^4 - 1) = 16383$ となる。

[0110] 図17は、実施例2における各フィルタリング装置（係数 $\gamma = 1.0$ とするNABFを除く）のノイズ低減特性を示す図である。評価画像の結果について、横軸に入力画像信号のSNR、縦軸にSNR利得としてプロットしたものである。図17より、係数 $\gamma = 2.2$ とするCNABFは利得が12db以上であるのに対して、固定値 σ_r^2 ($\sigma_{r1} = 0.5 S_{max}$ 、 $\sigma_{r2} = 0.125 S_{max}$)を用いた場合は利得が減衰している。また、図18に実施例2における各フィルタリング装置のノイズ対信号比を示す。図18(a)は信号真値、図18(b)～(e)は未処理のノイズ画像信号と各フィルタリング適用後のノイズ対信号比である。図18(b)、(c)に示されるNABF、CNABFの結果より、NABF及びCNABFは、エッジを保存したままノイズの低減を実現していることがわかった。また、係数 γ の使用によりノイズの低減効果が上昇していることが図18(b)、(c)の比較から確認された。一方、図18(d)、(e)は、信号強度が弱い部分では過剰にノイズの低減が行われ、平坦化されている。また、信号強度が強くなるに従

って残留ノイズ成分が増えていくことが確認された。

[0111] 以上より、係数 γ 及び σ^2_{total} を用いることによって、適切にノイズ低減が行われることがわかった。なお、ノイズの確立密度関数が正規分布で表されるためレンジフィルタの加重関数はノイズの確立密度関数と等しいところ、着目画素と局所領域内画素の信号強度差は画素ごとのノイズ分散値に適応的な重みづけが行われるため、NABF、CNABFでは入力画像信号のSNR変動にロバストなノイズ低減を行うことができた。

[0112] 引き続き、上述した画像フィルタリング装置10の機能を用いた処理を、コンピュータに実行させるための文字入力プログラムを説明する。図19に示すように、画像フィルタリングプログラム100は、コンピュータに挿入されてアクセスされる、あるいはコンピュータが備える記録媒体50に形成されたプログラム格納領域51内に格納される。

[0113] 画像フィルタリングプログラム100は、画像フィルタリング処理を統括的に制御するメインモジュール101と、入力モジュール102と、出力モジュール103と、フィルタリングモジュール104と、ノイズ分散上限値算出モジュール105と、算出画素決定モジュール106と、ノイズ分散推定モジュール107と、係数算出モジュール108とを実行させることにより実現される機能は、上述した画像フィルタリング装置10の入力部11と、出力部12と、フィルタリング部13と、ノイズ分散上限値算出部14と、算出画素決定部15と、ノイズ分散推定部16と、係数算出部17と、の機能とそれぞれ同様である。

[0114] なお、画像フィルタリングプログラム100は、その一部もしくは全部が、通信回線等の伝送媒体を介して伝送され、他の機器により受信されて記録（インストールを含む）される構成としてもよい。また、画像フィルタリングプログラム100の各モジュールは、1つのコンピュータでなく、複数のコンピュータのいずれかにインストールされてもよい。その場合、当該複数のコンピュータによるコンピュータシステムによって上述した一連の画像フィルタリングプログラム100の各種パラメータを決定する処理が行われる

。

符号の説明

[0115] 1…撮像装置、2…レンズ、3…カラーフィルタ、4…A/D変換部、10…画像フィルタリング装置、11…入力部、12…出力部、13…フィルタリング部、14…ノイズ分散上限値算出部、15…算出画素決定部、16…ノイズ分散推定部、17…係数算出部、50…記録媒体、51…プログラム格納部、100…画像フィルタリングプログラム、101…メインモジュール、102…入力モジュール、103…出力モジュール、104…フィルタリングモジュール、105…ノイズ分散上限値算出モジュール、106…算出画素決定モジュール、107…ノイズ分散推定モジュール、108…係数算出モジュール。

請求の範囲

[請求項1] 画像信号に対してフィルタリングを行う画像フィルタリング装置であって、

画像信号を入力する入力手段と、

前記入力手段により入力された前記画像信号を構成する画素のうち着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差に重みづけを行い、重みづけを行った着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差を足しあわせた値に設定された係数 γ を掛け合わせた値と該着目画素の信号強度とを足し合わせることで、該着目画素のフィルタリング後の信号強度を算出するフィルタリング手段と、

前記フィルタリング手段によって算出された前記フィルタリング後の信号強度の画素で構成される画像信号を出力する出力手段と、
を備える画像フィルタリング装置。

[請求項2] 前記フィルタリング手段は、前記重みづけを行う際は、前記周囲の画素の画素位置と前記着目画素の画素位置との距離が近いほど重みづけを重くし、前記周囲の画素の信号強度と前記着目画素の信号強度との差が小さいほど重みづけを重くする、請求項1に記載の画像フィルタリング装置。

[請求項3] 前記フィルタリング手段は、

[数1]

$$S'_o(c) = S'_i(c) + \gamma \times \frac{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta S'_i(p)) \times \delta S'_i(p)}{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta S'_i(p))}$$

$$w_d(R^2) = \exp(-0.5R^2/\sigma_d^2)$$

$$R^2 = (p - c)^2$$

$$w_r(\delta S'_i(p)) = \exp(-0.5\delta S'^2_i(p)/\sigma_r^2)$$

$$\delta S'_i(p) = S'_i(p) - S'_i(c)$$

と定義される式によりフィルタリング後の信号強度を算出し、

$S_o'(c)$ はフィルタリング後の信号強度、

$S_i'(c)$ はフィルタリング前の信号強度、

c は着目画素の画素位置、

p は着目画素の前記周囲の画素の画素位置、

Ω は前記周囲の画素が位置する領域、

γ は前記係数、

σ_d^2 は着目画素からの距離に応じた重みづけを行う際のパラメータ、

σ_r^2 は着目画素の信号強度との差に応じた重みづけを行う際のパラメータ、

である、請求項2に記載の画像フィルタリング装置。

[請求項4] 前記フィルタリング手段は、

[数2]

$$S_o'(c) = S_i'(c) + \gamma \times \frac{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta V(S_i'(p))) \times \delta S_i'(p)}{\sum_{p \in \Omega} w_d(R^2) \times w_r(\delta V(S_i'(p)))}$$

$$w_d(R^2) = \exp(-0.5R^2/\sigma_d^2)$$

$$R^2 = (p - c)^2$$

$$w_r(\delta V(S_i'(p))) = \exp(-0.5\delta V(S_i'^2(p))/\sigma_r^2)$$

$$\delta S_i'(p) = S_i'(p) - S_i'(c)$$

と定義される式によりフィルタリング後の信号強度を算出し、

$S_o'(c)$ はフィルタリング後の信号強度、

$S_i'(c)$ はフィルタリング前の信号強度、

c は着目画素の画素位置、

p は着目画素の前記周囲の画素の画素位置、

Ω は前記周囲の画素が位置する領域、

γ は前記係数、

σ_d^2 は着目画素からの距離に応じた重みづけを行う際のパラメータ、

σ_r^2 は着目画素の信号強度との差に応じた重みづけを行う際のパラメータ、

$\delta V(S'_i(p))$ は画像信号の領域を分割した複数領域のうち p を含む領域の信号強度と着目画素の信号強度との差、
である、請求項2に記載の画像フィルタリング装置。

[請求項5]

同一の対象を撮像した複数の参照用画像信号を入力して、該参照用画像信号を構成する画素に含まれるノイズの、該画素の信号強度に応じた分散値を複数算出し、該ノイズの分散値から、画像信号の画素に含まれる信号強度に応じたノイズの上限値であるノイズ分散上限値を算出するノイズ分散上限値算出手段と、

前記ノイズ分散上限値算出手段が算出した前記ノイズ分散上限値を用いて、前記周囲の画素が、前記着目画素のノイズの分散値を算出するために用いることができる画素か否かを判定する算出画素決定手段と、

前記算出画素決定手段により、前記着目画素のノイズの分散値を算出するために用いることができる画素であると判定された前記周囲の画素を用いて、前記着目画素のノイズ分散値 $\sigma_{total}^2(c)$ を推定するノイズ分散推定手段と、をさらに備え、

前記フィルタリング手段は、前記 σ_r^2 として前記ノイズ分散値 $\sigma_{total}^2(c)$ を用いてフィルタリング後の信号強度を算出する、請求項3又は4に記載の画像フィルタリング装置。

[請求項6]

前記算出画素決定手段は、

[数3]

$$\{S'_i(p) - S'_i(c)\}^2 \leq K^2 \times \sigma_{max}^2(S'_i(c))$$

と定義される式を満たす場合に、前記周囲の画素が、前記着目画素のノイズの分散値を算出するために用いることができる画素であると判定し、

$\sigma^2_{\max}(S_i(c))$ は前記着目画素のノイズ分散上限値、

K は予め設定された判定係数、

である、請求項 5 に記載の画像フィルタリング装置。

[請求項 7]

前記係数 γ を算出する係数算出手段をさらに備え、

前記係数算出手段は、フィルタリング前後の画像信号のノイズの分散値に基づく値を入力して入力した値から、前記係数 γ を算出する、請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の画像フィルタリング装置。

[請求項 8]

前記係数算出手段は、

[数 4]

$$\gamma = (1 - \sigma_t / \sigma_i)^{-1}$$

と定義される式により前記係数 γ を算出し、

σ_i はフィルタリング前の画像信号のノイズの分散値に基づくノイズ標準偏差、

σ_t はフィルタリング後の画像信号のノイズの分散値に基づく残留ノイズ標準偏差、

である、請求項 7 に記載の画像フィルタリング装置。

[請求項 9]

画像信号に対してフィルタリングを行う画像フィルタリング方法であって、

画像信号を入力する入力ステップと、

前記入力ステップにおいて入力された前記画像信号を構成する画素のうち着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差に重みづけを行い、重みづけを行った着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差を足しあわせた値に設定された係数 γ を掛け合わせた値と該着目画素の信号強度とを足し合わせることで、該着目画素のフィルタリング後の信号強度を算出するフィルタリン

グステップと、

前記フィルタリングステップにおいて算出された前記フィルタリング後の信号強度の画素で構成される画像信号を出力する出力ステップと、

を含む画像フィルタリング方法。

[請求項10]

画像信号に対してフィルタリングを行う画像フィルタリングプログラムであって、

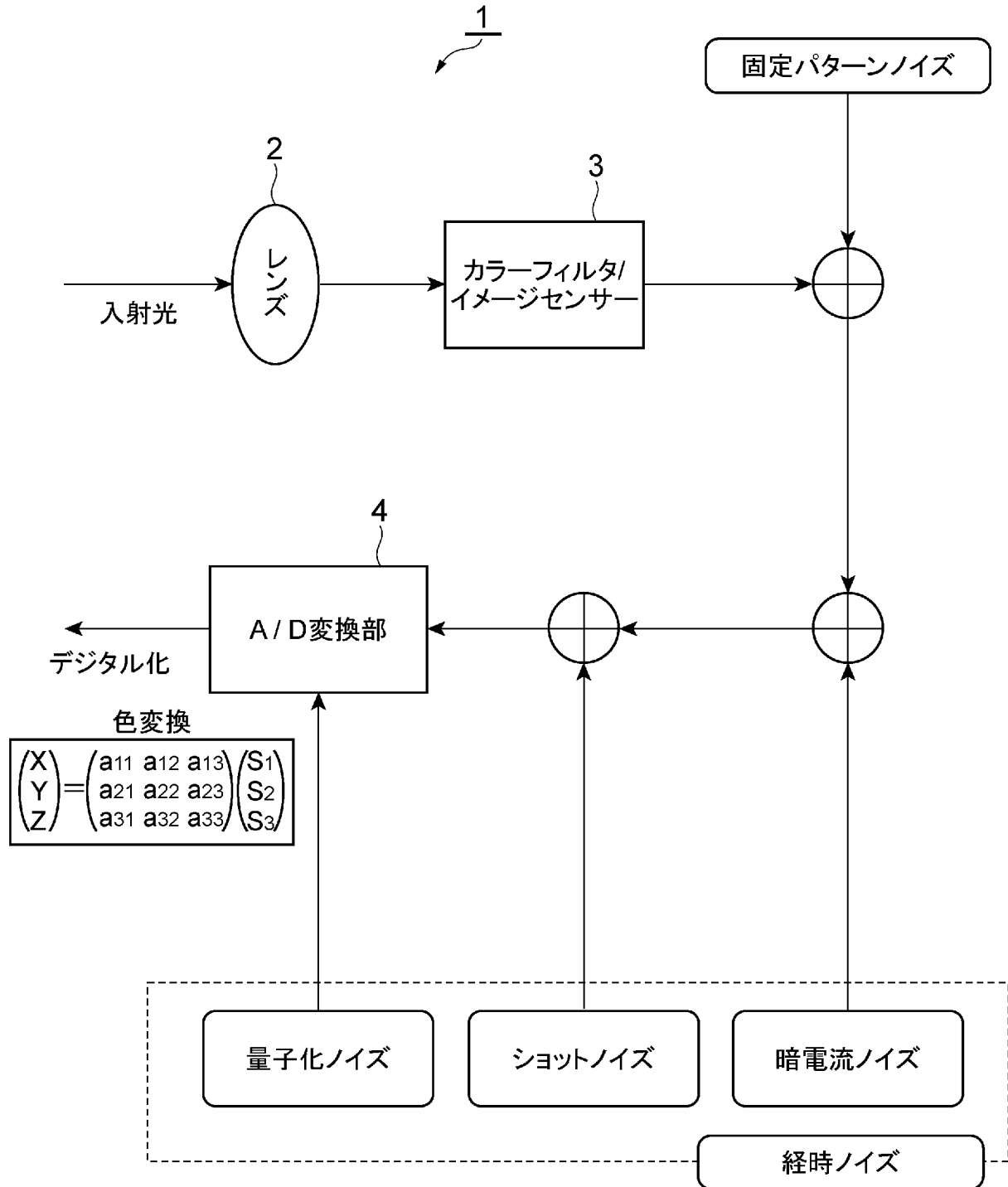
コンピュータを、

画像信号を入力する入力手段と、

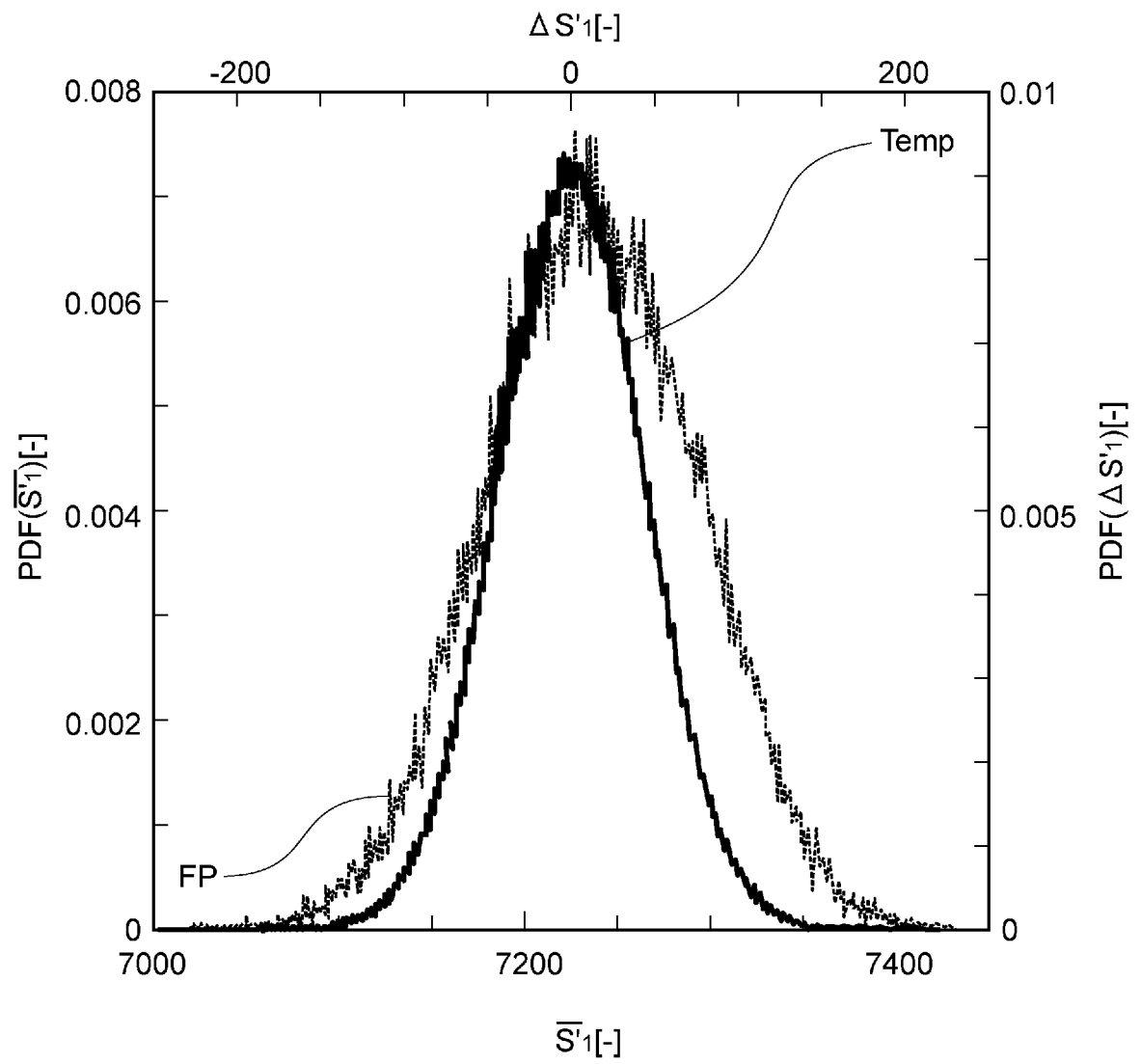
前記入力手段により入力された前記画像信号を構成する画素のうち着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差に重みづけを行い、重みづけを行った着目画素の信号強度と該着目画素の周囲の画素の信号強度との差を足しあわせた値に設定された係数 γ を掛け合わせた値と該着目画素の信号強度とを足し合わせることで、該着目画素のフィルタリング後の信号強度を算出するフィルタリング手段と、

前記フィルタリング手段によって算出された前記フィルタリング後の信号強度の画素で構成される画像信号を出力する出力手段、
として動作させる画像フィルタリングプログラム。

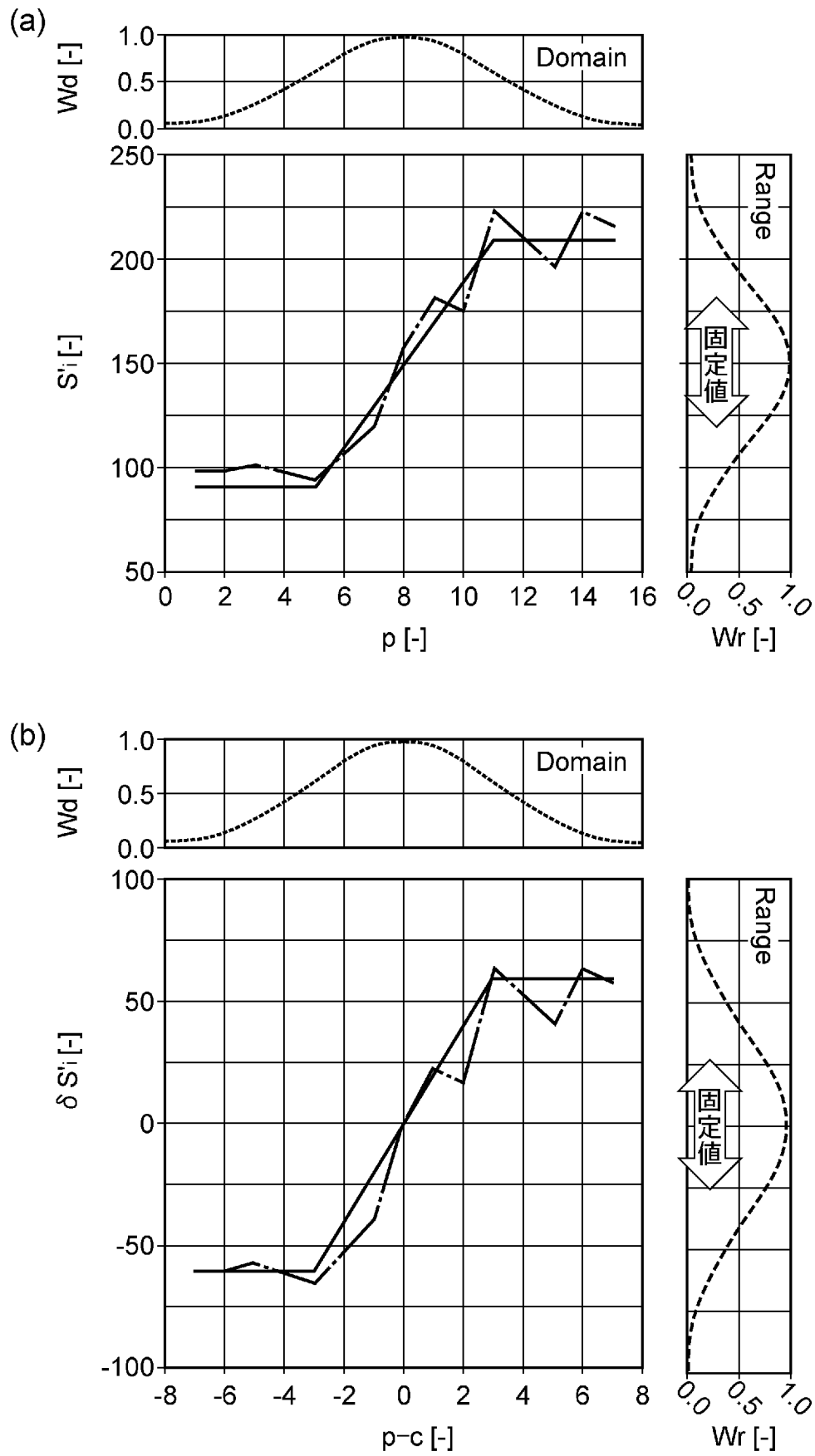
[図1]



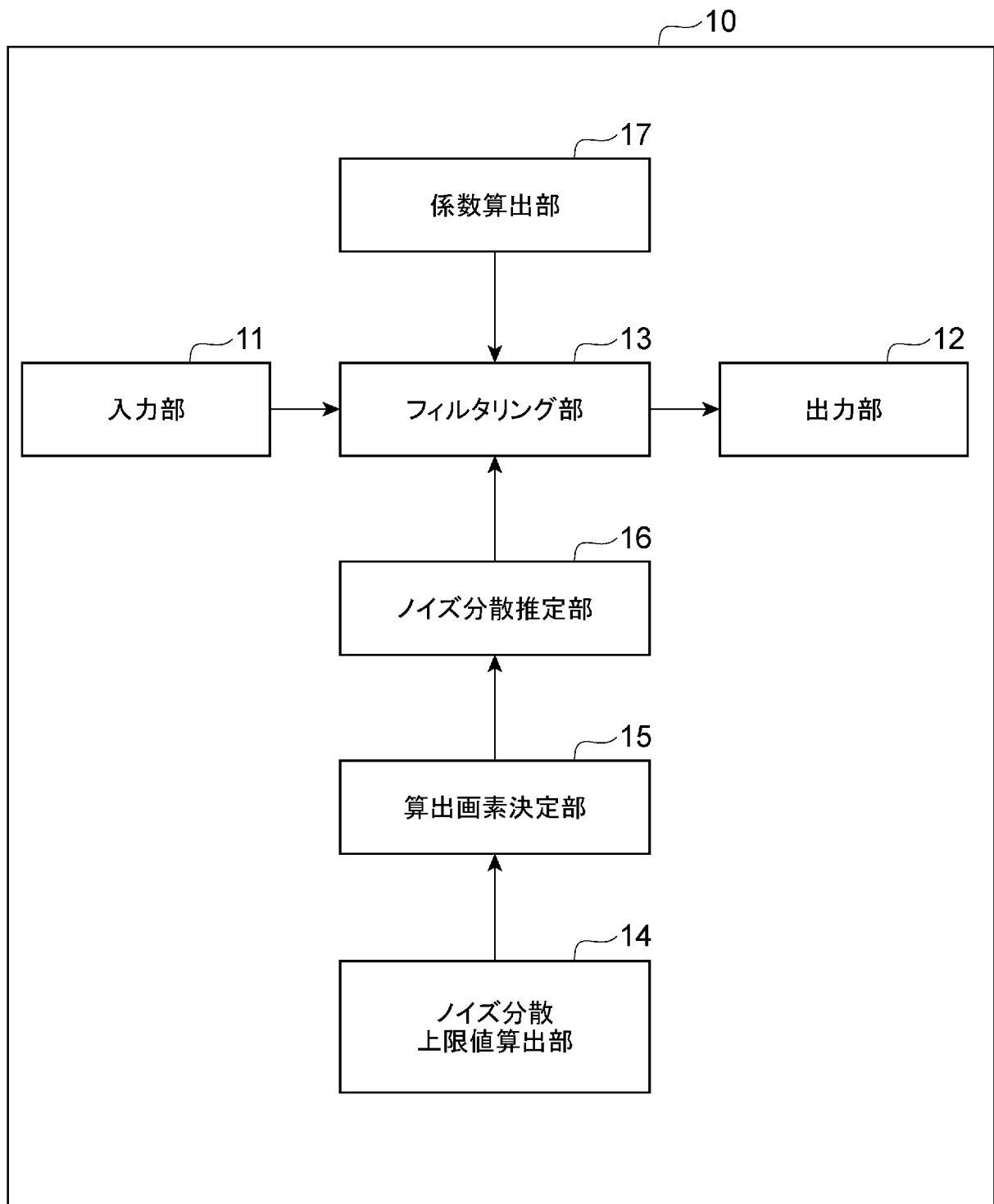
[図2]



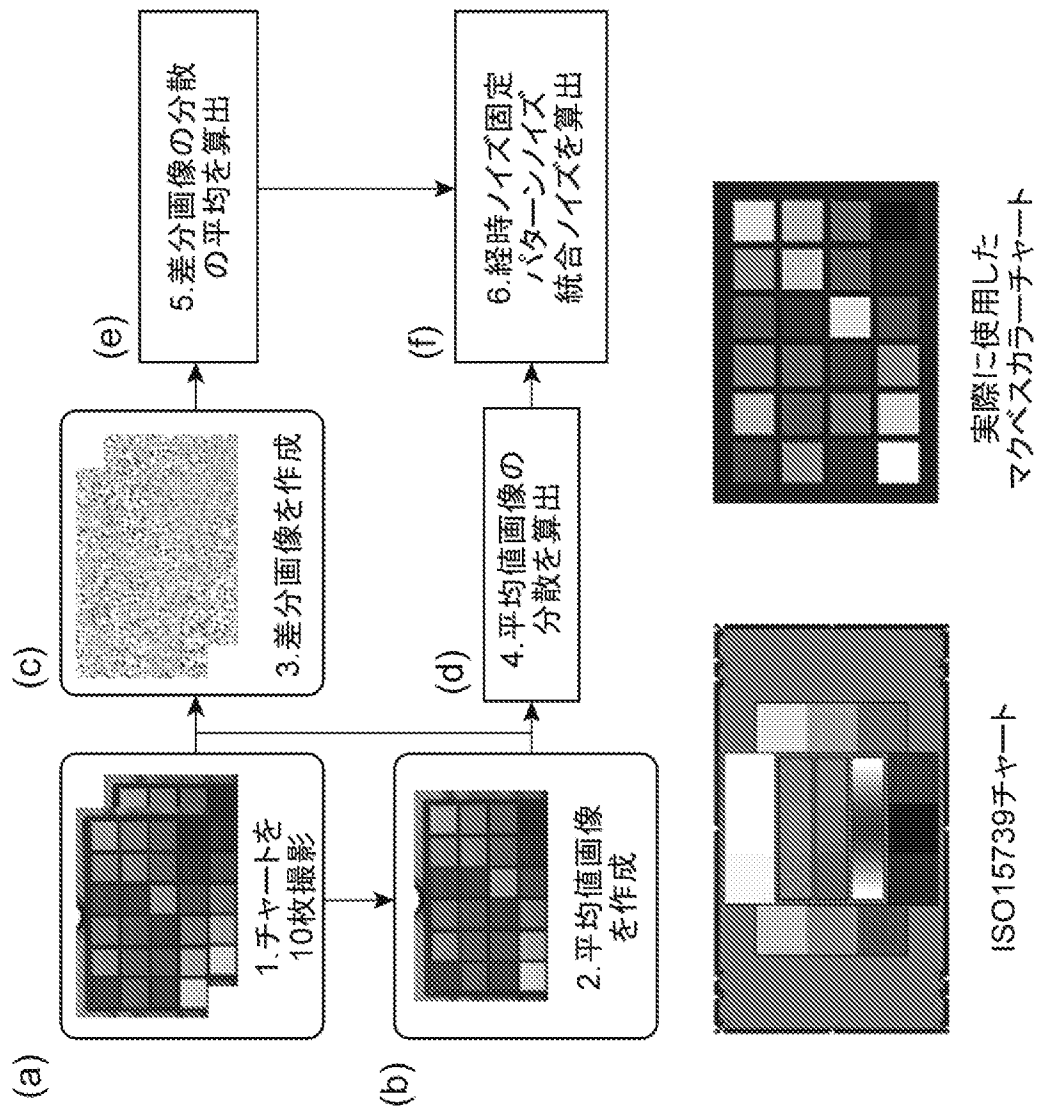
[図3]



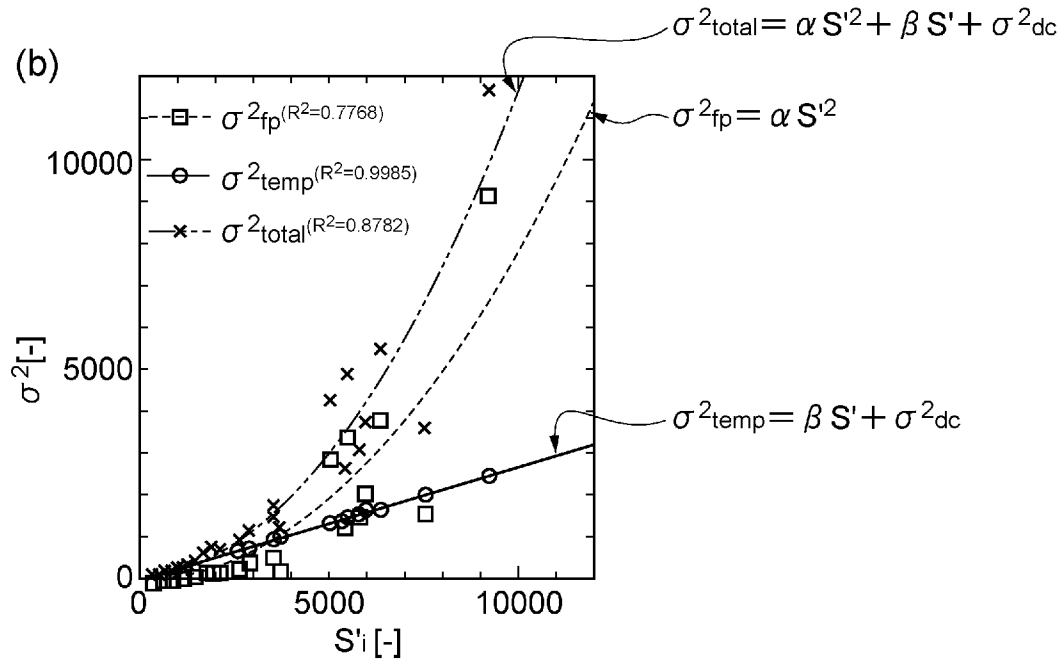
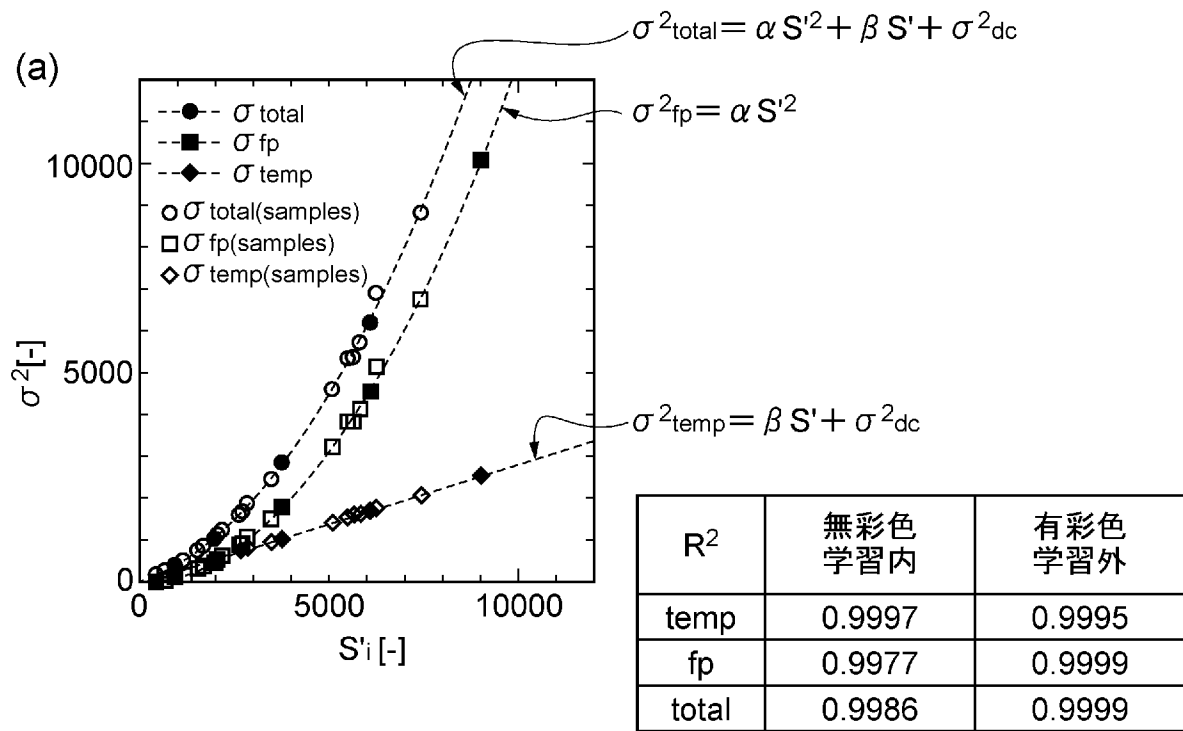
[図4]



[図5]

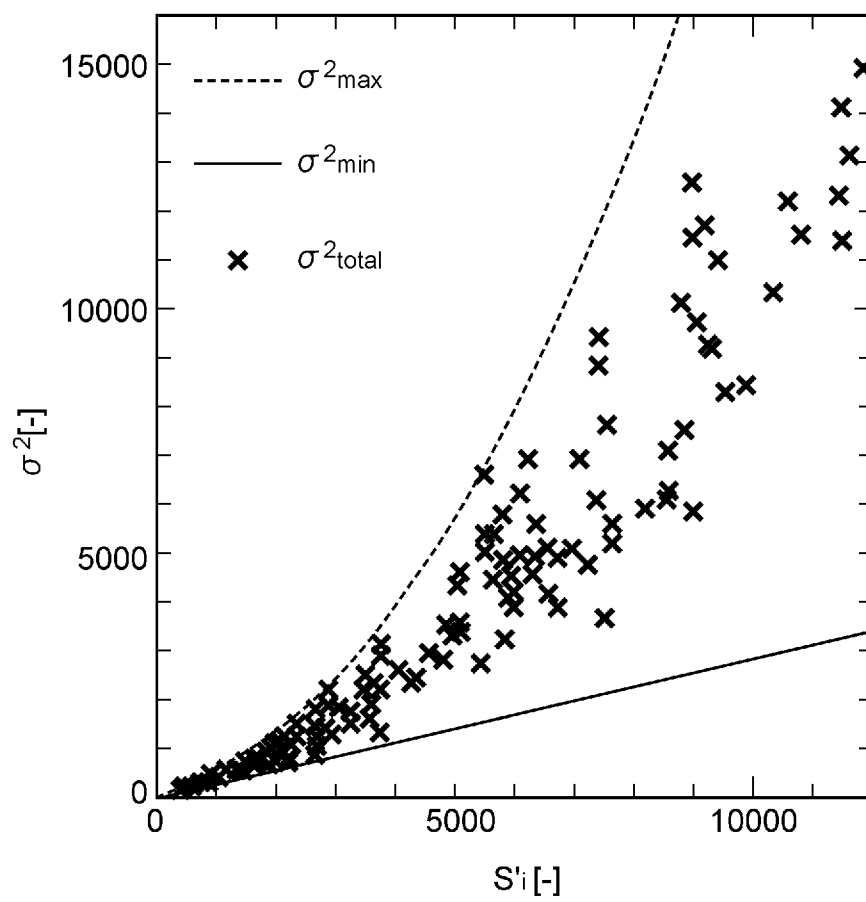


[図6]

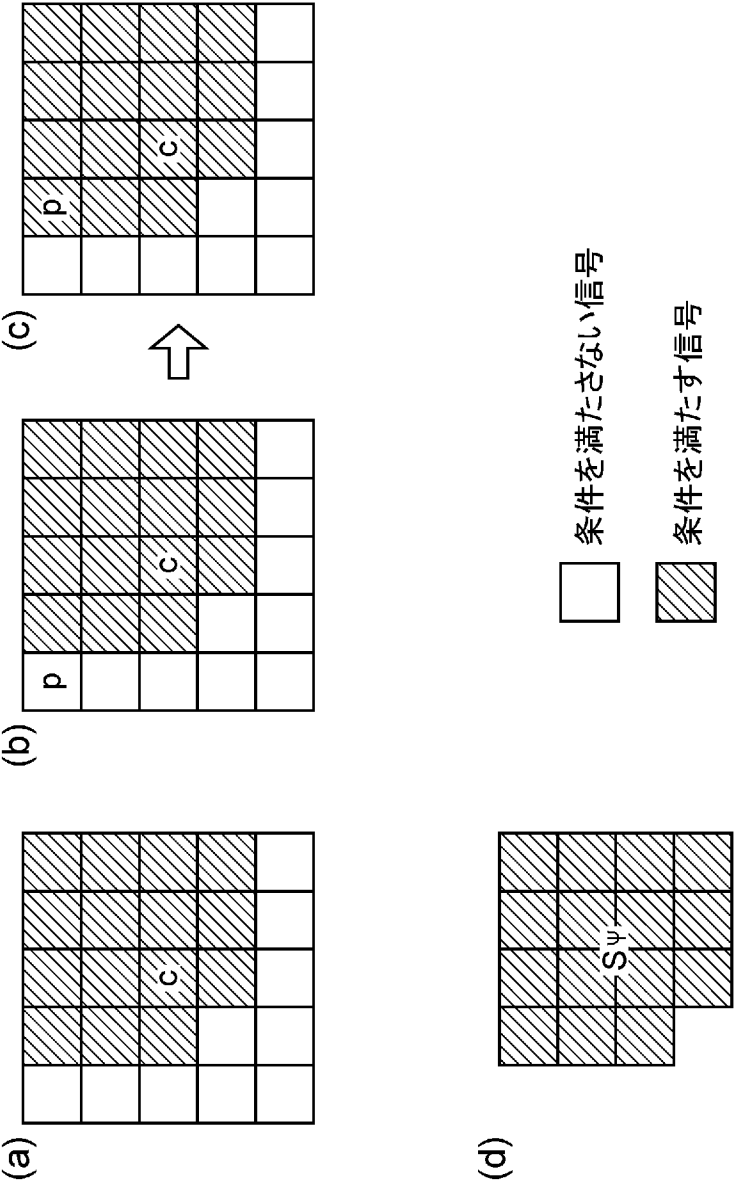


R^2	チャート24色 不特定位置 学習外	無彩色 特定位置 学習内	有彩色 特定位置 学習外	画素位置 依存性
temp	0.9985	0.9997	0.9995	×
fp	0.7768	0.9977	0.9999	○
total	0.8782	0.9986	0.9999	○

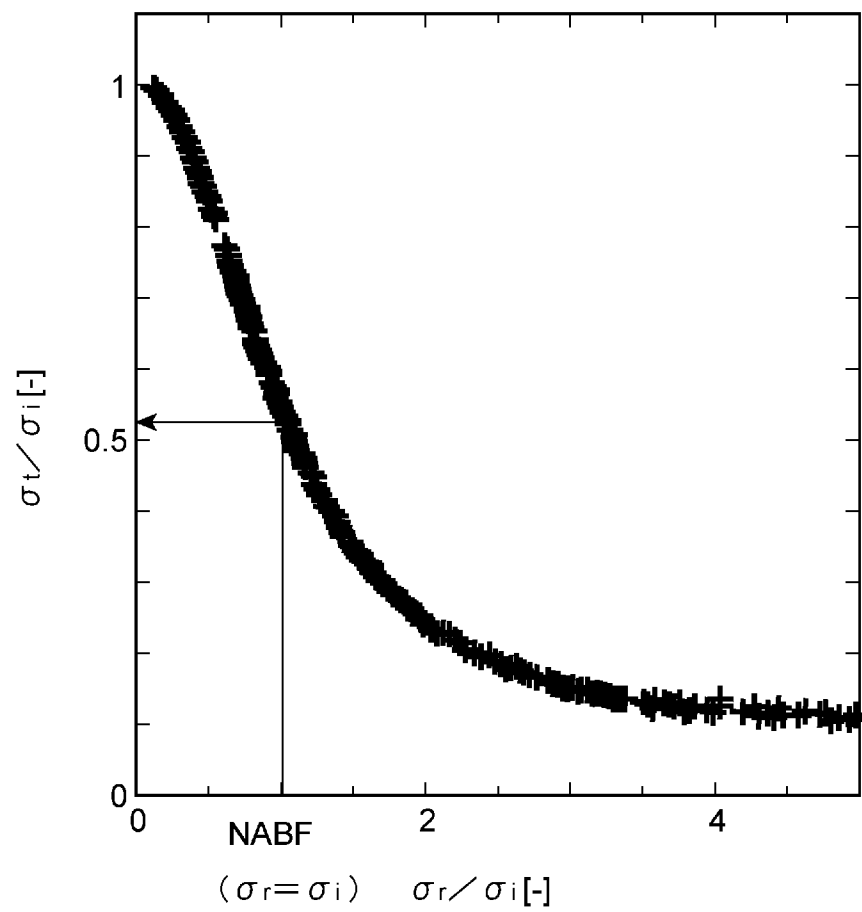
[図7]



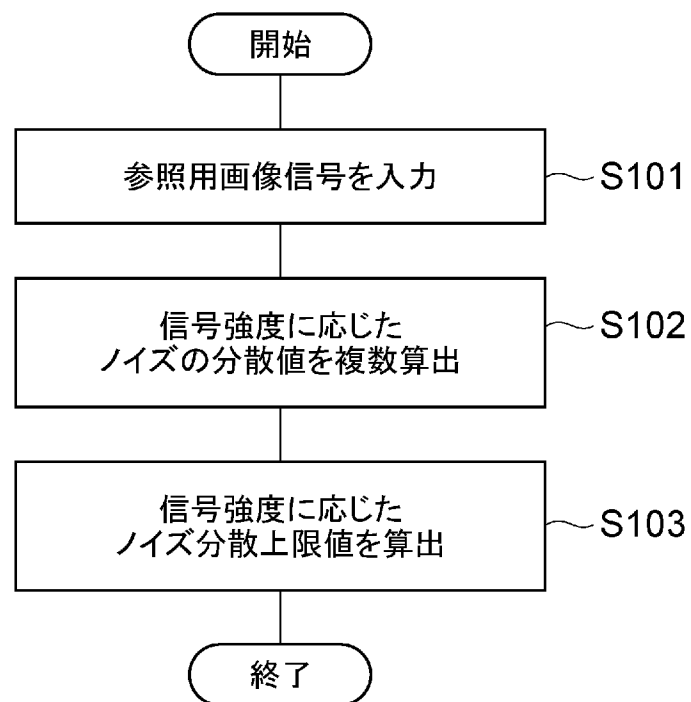
[図8]



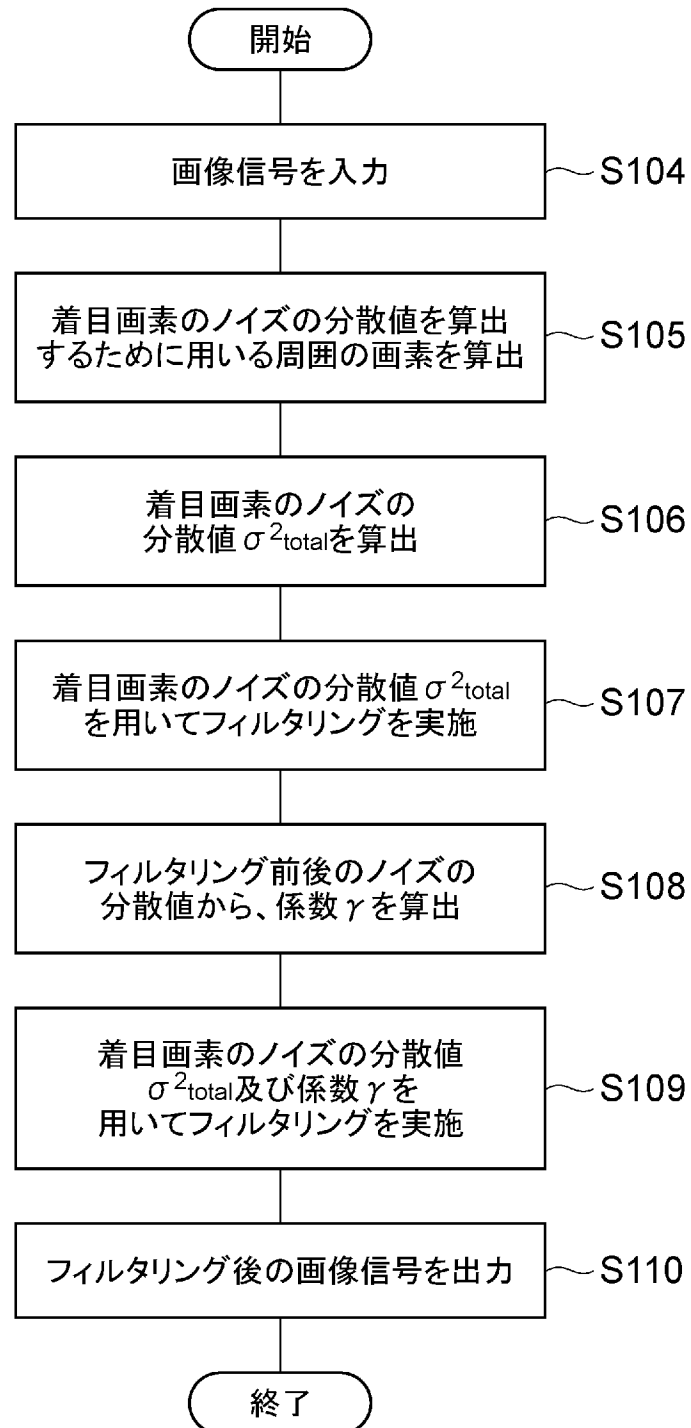
[図9]



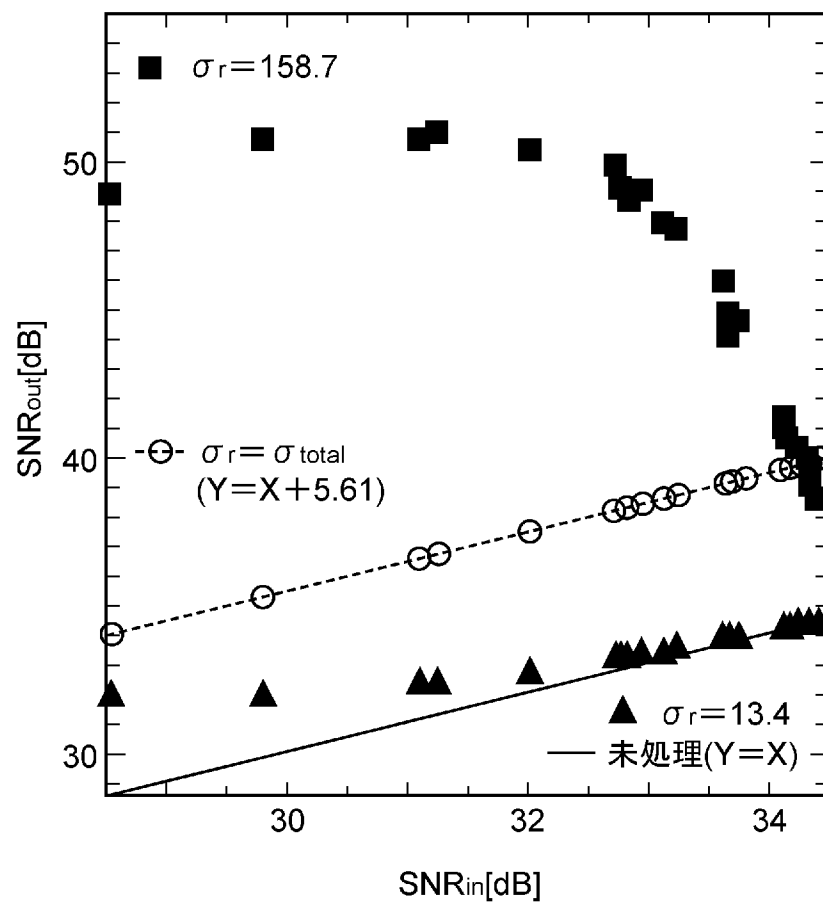
[図10]



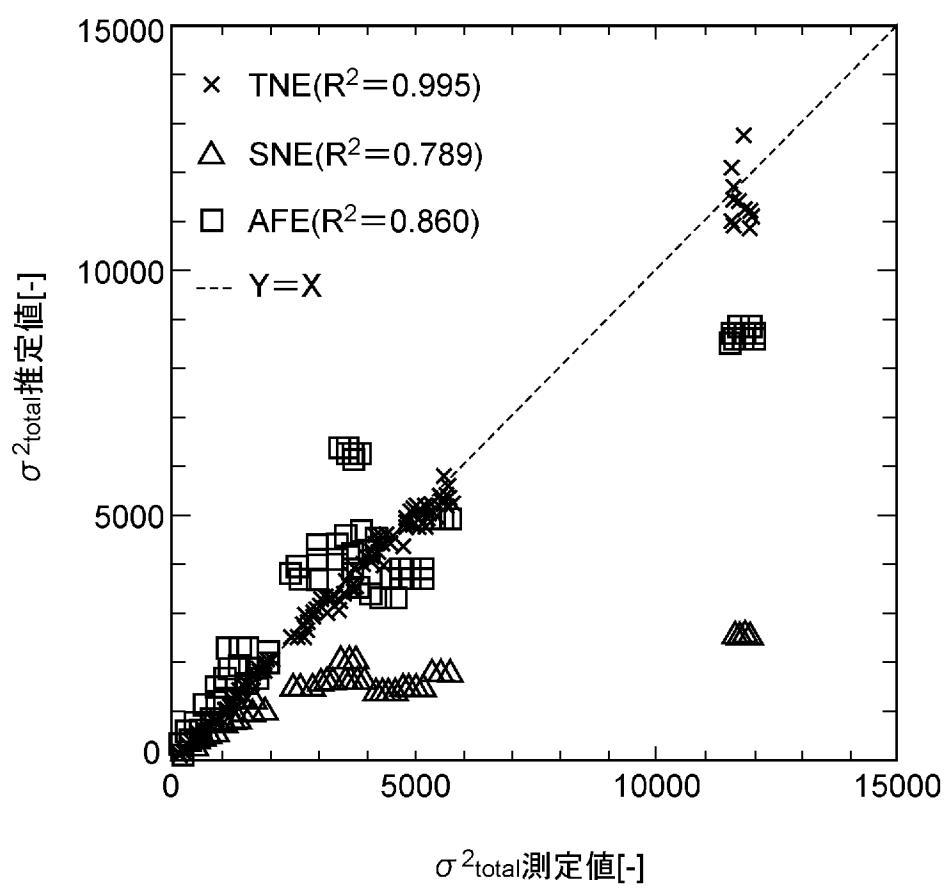
[図11]



[図12]

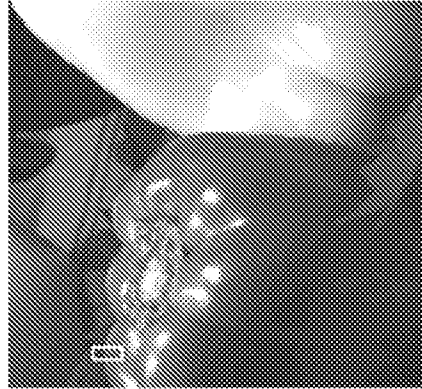


[図13]

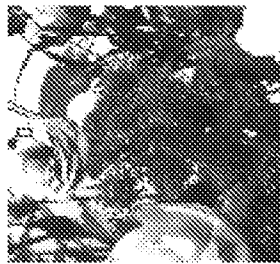


[図14]

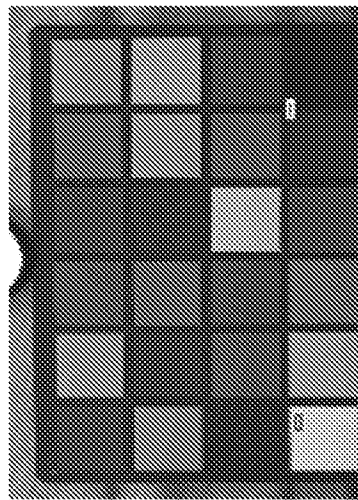
対象画像



Peppers

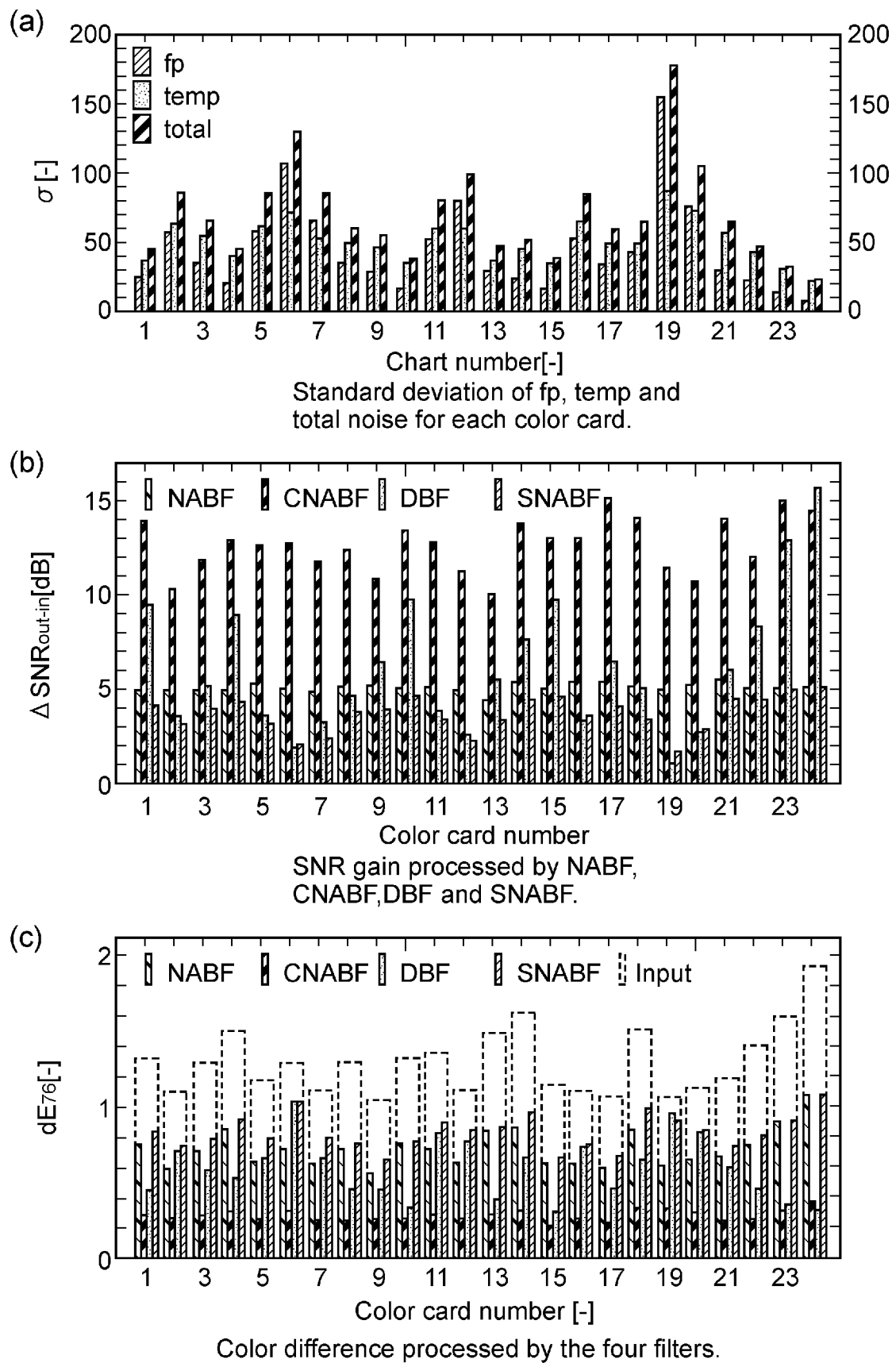


Flowers

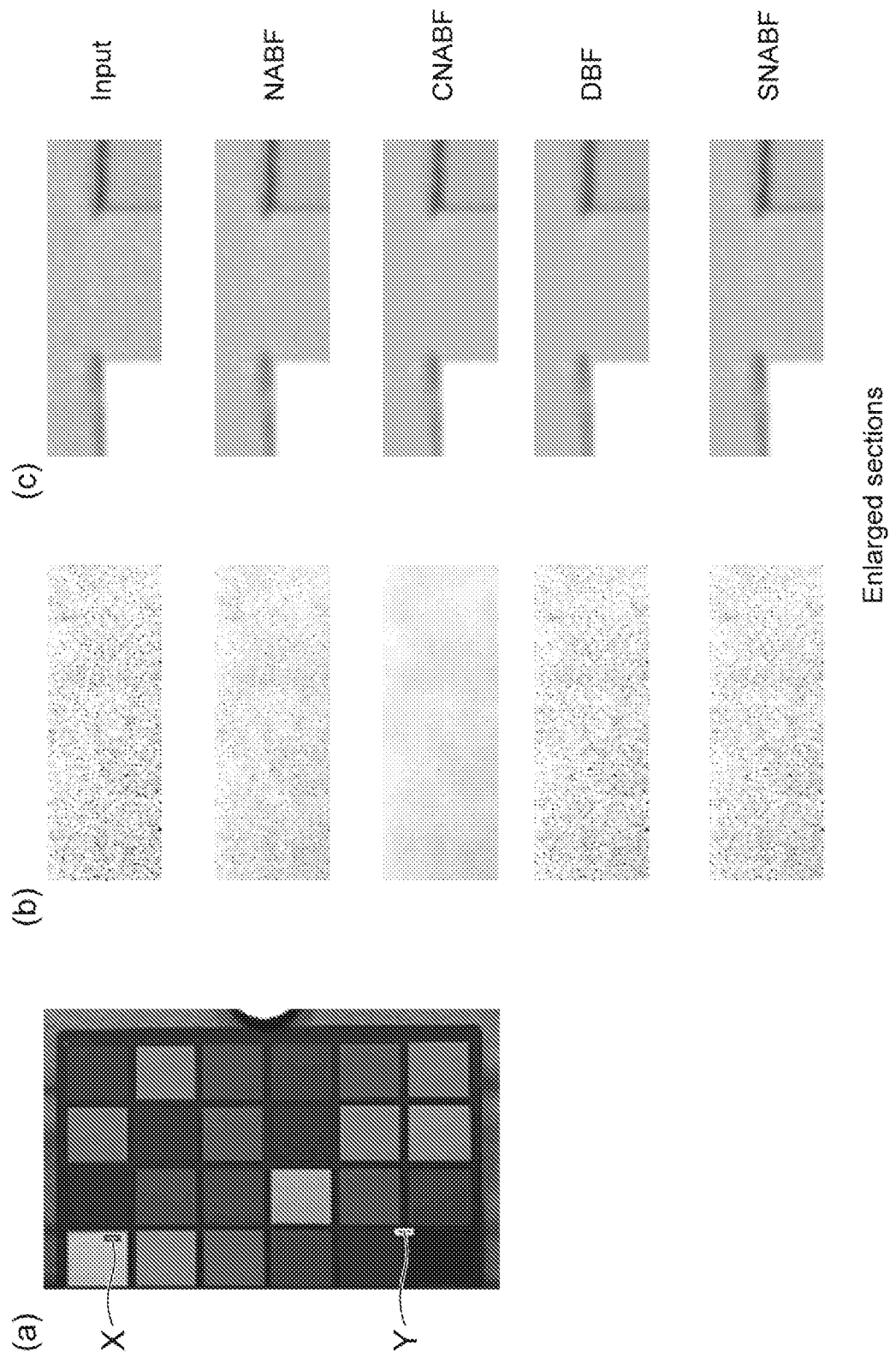


Chart

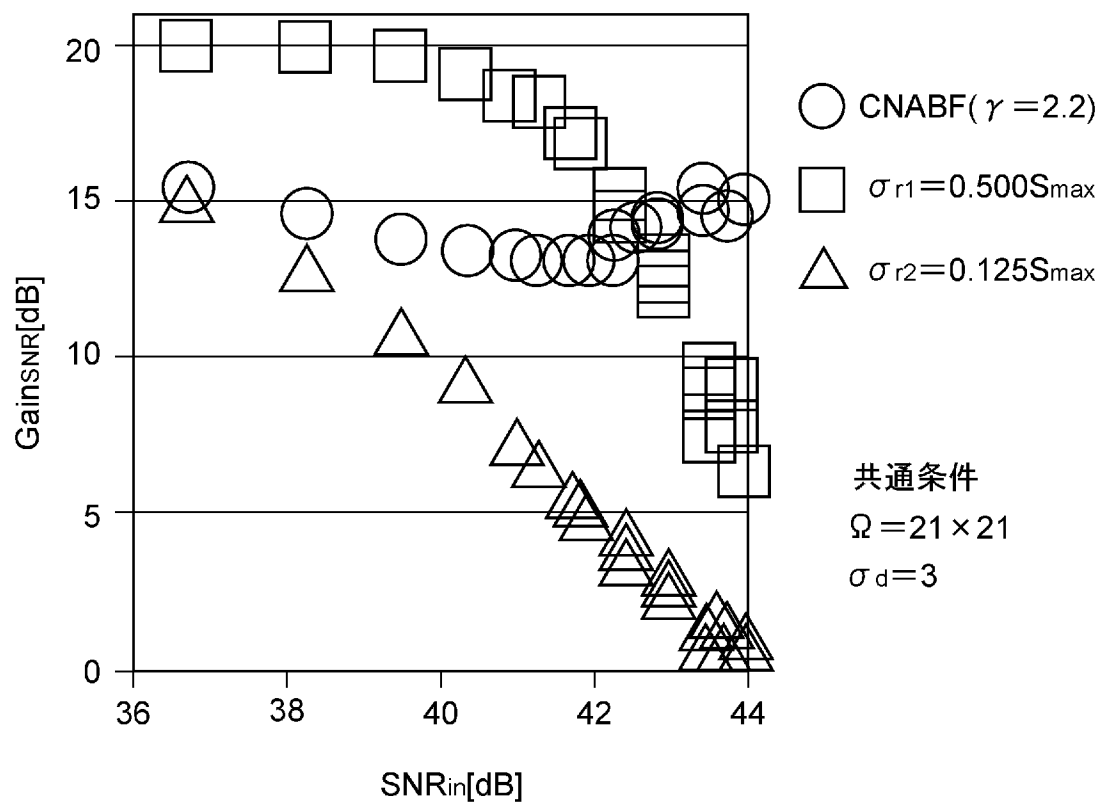
[図15]



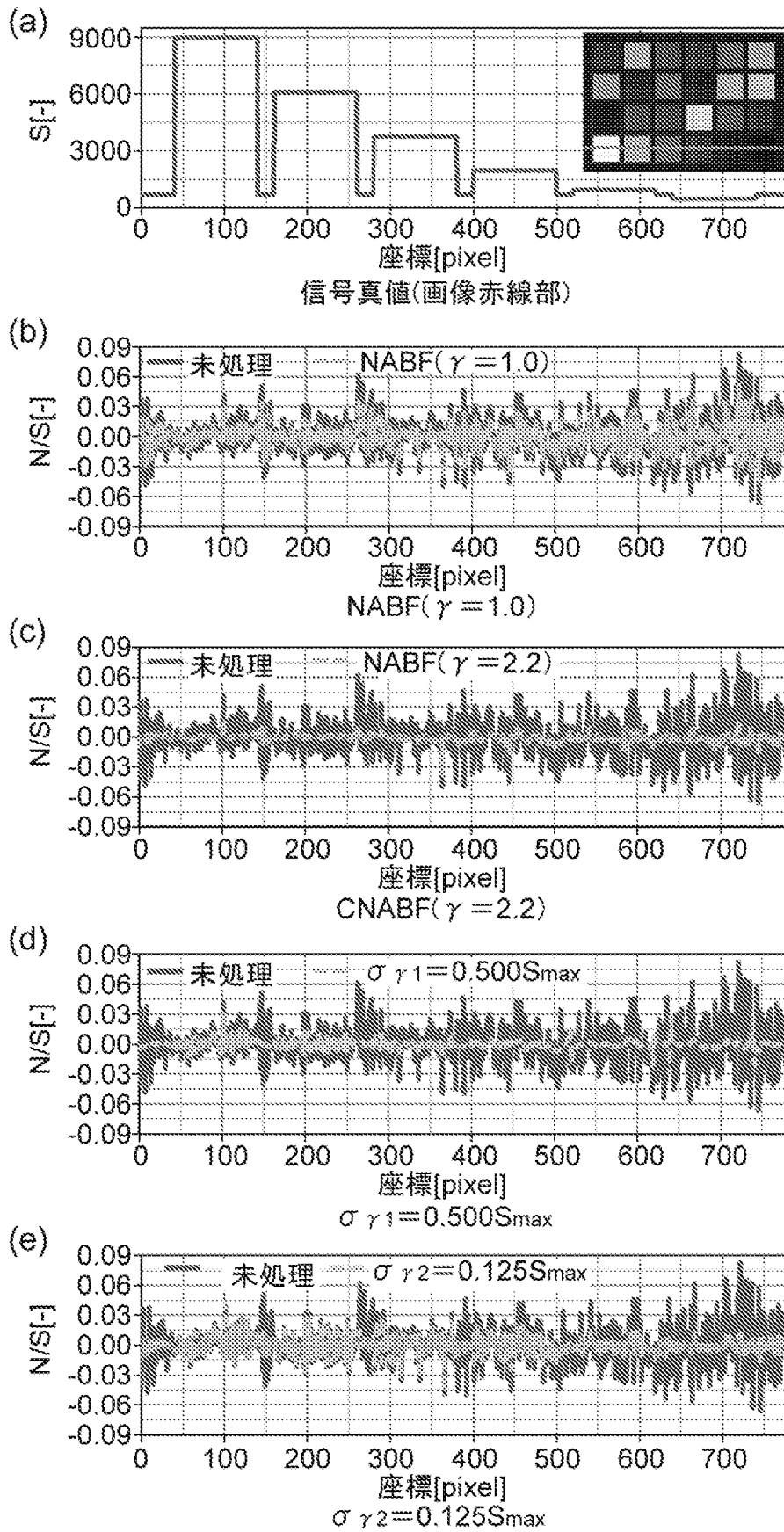
[図16]



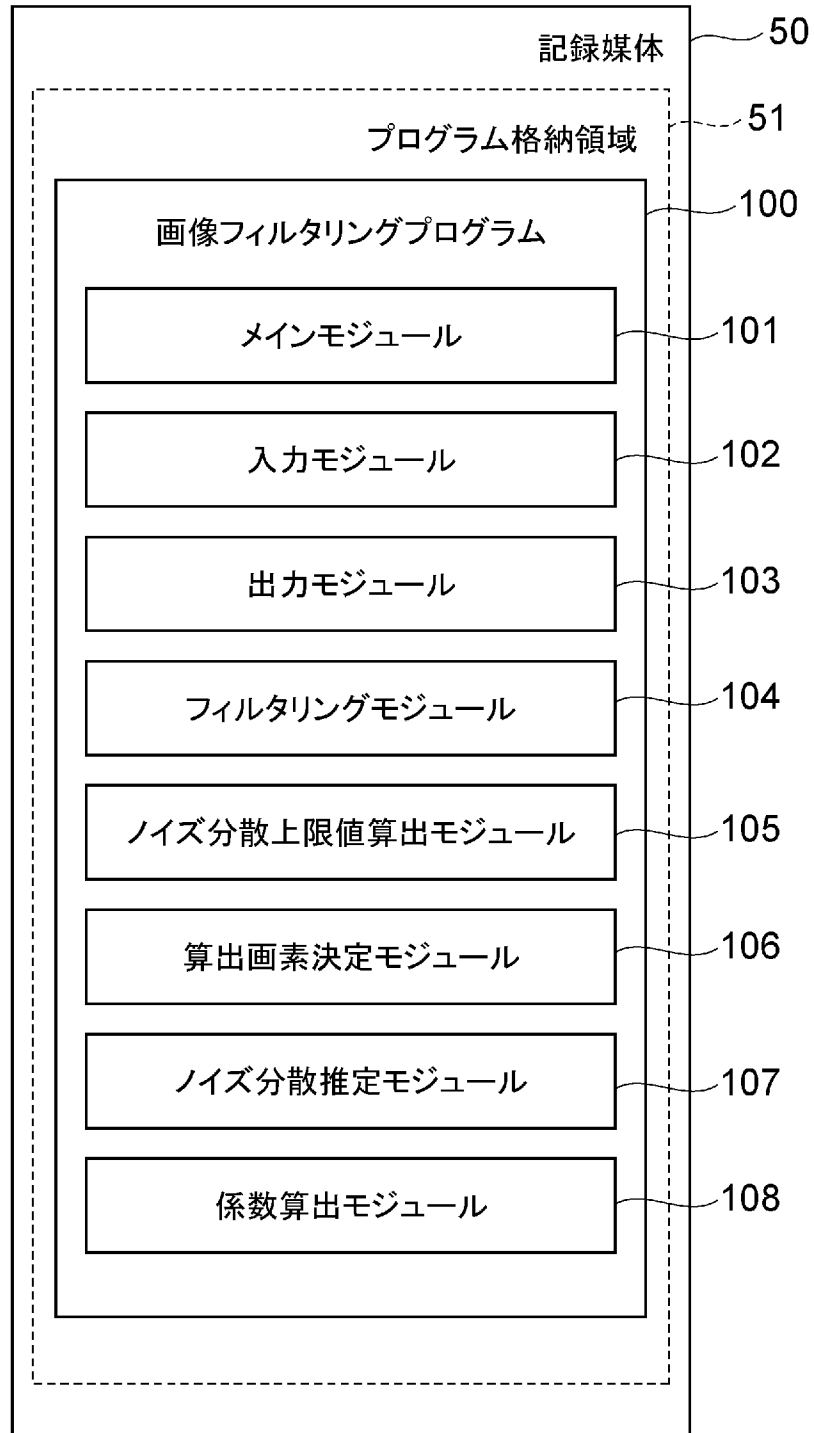
[図17]



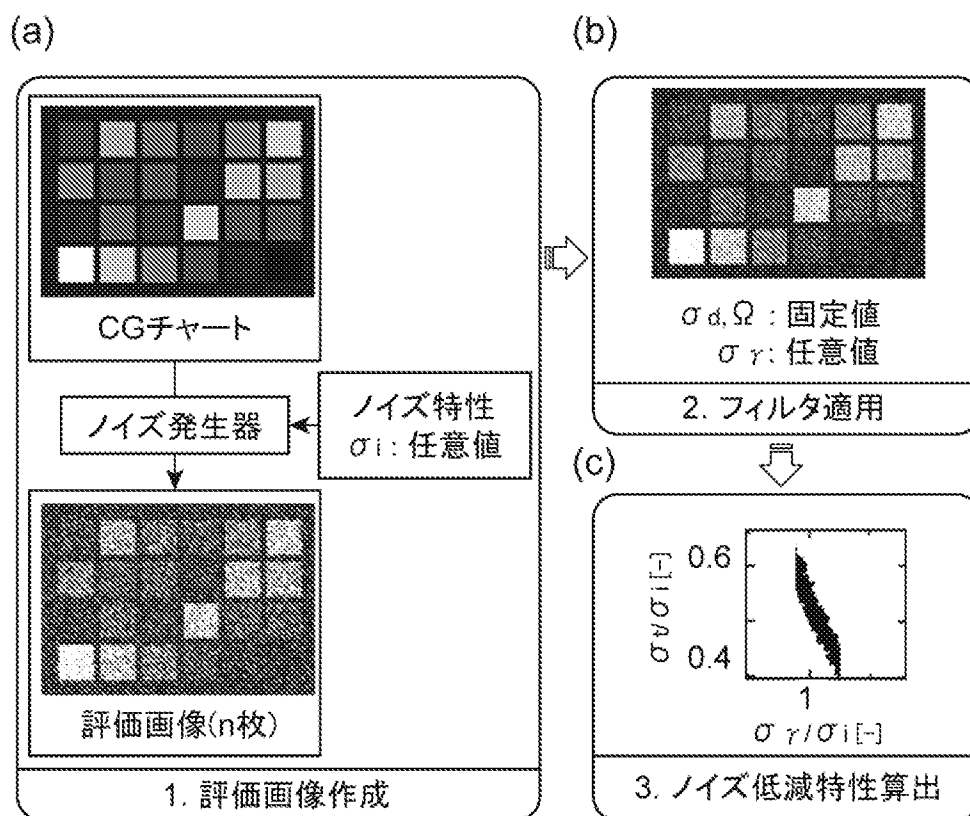
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/062769

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T5/20(2006.01) i, H04N1/409(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T5/20, H04N1/409

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2006-33473 A (Nikon Corp.), 02 February 2006 (02.02.2006), paragraph [0010] (Family: none)	1, 9, 10 2-4 5-8
Y A	JP 2010-178302 A (Olympus Corp.), 12 August 2010 (12.08.2010), paragraphs [0006], [0007], [0074] to [0078] & US 2010/0194933 A1	2-4 5-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
05 June, 2013 (05.06.13)

Date of mailing of the international search report
18 June, 2013 (18.06.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G06T5/20(2006.01)i, H04N1/409(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G06T5/20, H04N1/409

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2006-33473 A (株式会社ニコン) 2006.02.02, 【0010】 (ファミリーなし)	1, 9, 10 2-4 5-8
Y A	JP 2010-178302 A (オリンパス株式会社) 2010.08.12, 【0006】, 【0007】, 【0074】 - 【0078】 & US 2010/0194933 A1	2-4 5-8

C 欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 5 . 0 6 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 8 . 0 6 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

▲広▼島 明芳

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 3 1

5 H

9 8 5 3