

(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
2015年5月7日(07.05.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/064672 A1

- (51) 国際特許分類:
G06T 3/40 (2006.01) H04N 7/01 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/078845
- (22) 国際出願日: 2014年10月30日(30.10.2014)
- (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 2013-228770 2013年11月1日(01.11.2013) JP
- (71) 出願人: E I Z O株式会社(EIZO CORPORATION)
[JP/JP]; 〒9248566 石川県白山市下柏野町153番地 Ishikawa (JP).
- (72) 発明者: 東 正史(HIGASHI, Masafumi); 〒9248566 石川県白山市下柏野町153番地 E I Z O株式会社内 Ishikawa (JP). 陳 海峰(CHEN, Haifeng); 〒9248566 石川県白山市下柏野町153番地 E I Z O株式会社内 Ishikawa (JP). 青木 玲央(AOKI, Reo); 〒9248566 石川県白山市下柏野町153番地 E I Z O株式会社内 Ishikawa (JP). 松崎 裕樹(MATSUZAKI, Hiroki); 〒9248566 石川県白山市下柏野町153番地 E I Z O株式会社

内 Ishikawa (JP). 片桐 忠義(KATAGIRI, Tadayoshi); 〒9248566 石川県白山市下柏野町153番地 E I Z O株式会社内 Ishikawa (JP).

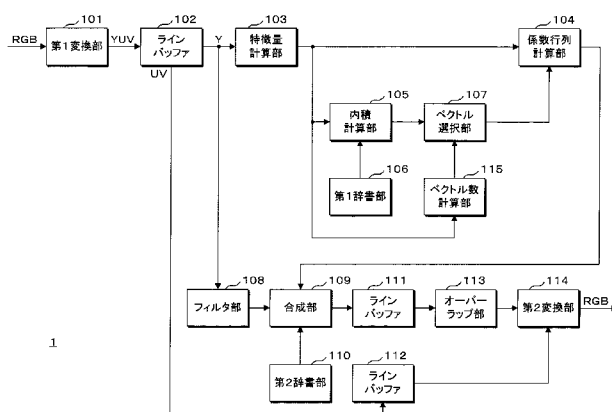
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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, ST, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: IMAGE QUALITY IMPROVEMENT DEVICE, IMAGE DISPLAY DEVICE, IMAGE QUALITY IMPROVEMENT METHOD, AND COMPUTER PROGRAM

(54) 発明の名称: 画像高画質化装置、画像表示装置、画像高画質化方法及びコンピュータプログラム

[図9]



101... FIRST CONVERSION UNIT
102, 111, 112... LINE BUFFER
103... FEATURE AMOUNT CALCULATION UNIT
104... COEFFICIENT MATRIX CALCULATION UNIT
105... INNER PRODUCT CALCULATION UNIT
106... FIRST DICTIONARY UNIT
107... VECTOR SELECTION UNIT
108... FILTER UNIT
109... SYNTHESIS UNIT
110... SECOND DICTIONARY UNIT
111... OVERLAP UNIT
112... SECOND CONVERSION UNIT
113... OVERLAPPING UNIT
114... SECOND CONVERSION UNIT
115... VECTOR NUMBER CALCULATION UNIT

(57) Abstract: [Problem] To provide an image quality improvement device, an image display device, an image quality improvement method, and a computer program that make a learning-based image quality improvement method that uses sparse representation practical. [Solution] On the basis of a feature amount of an image, an image quality improvement device (1) calculates a coefficient of a low image quality basis vector (a first feature amount) that represents the feature amount as a linear sum, uses the calculated coefficient to calculate the linear sum of a high image quality basis vector (a second feature amount), and generates an image having improved image quality. When calculating the coefficient, the number of basis vectors that do not have a coefficient of zero is determined, the determined number of basis vectors is selected, the coefficients of basis vectors other than the selected basis vectors are set to zero, and the solution of the coefficient matrix is calculated. By adjusting the number of basis vectors that do not have a coefficient of zero, it is possible to decrease the amount of processing required in order to obtain the sparse solution of the coefficient matrix. As a result, it is possible to achieve a practical image improvement device (1).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/064672 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

【課題】 スパース表現を利用した学習型の画像高画質化方法を実用的にした画像高画質化装置、画像表示装置、画像高画質化方法及びコンピュータプログラムを提供する。 【解決手段】 画像高画質化装置 1 は、画像の特徴量から、特徴量を線形和で表す低画質の基底ベクトル (第 1 特徴量) の係数を計算し、計算した係数を用いて高画質の基底ベクトル (第 2 特徴量) の線形和を計算して高画質化した画像を生成する。係数の計算の際には、係数がゼロで無い基底ベクトルの数を決定し、決定した数の基底ベクトルを選択し、選択した基底ベクトル以外の基底ベクトルの係数をゼロとして、係数行列の解を計算する。係数がゼロで無い基底ベクトルの数を調整することで、係数行列のスパースな解を得るために必要な処理の量を減らすことができ、実用的な画像高画質化装置 1 が実現可能となる。

明 細 書

発明の名称：

画像高画質化装置、画像表示装置、画像高画質化方法及びコンピュータプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、画像を高画質化する方法に関し、より詳しくは、スパース表現を利用した学習型の画像高画質化方法を実行する画像高画質化装置、画像表示装置、画像高画質化方法及びコンピュータプログラムに関する。

背景技術

[0002] 画像を表示する際等、画像を扱う際には、画像を拡大することがある。単純に画素数を増やして画像を拡大した場合は、解像度が低下し、画質が劣化するという問題が発生する。この問題を解決するために、画像を高画質化する技術が開発されている。例えば、学習型超解像の技術が開発されている。学習型超解像の技術では、低画質の画像と高画質の画像との対応関係を予め学習させた辞書を作成しておき、実際の低画質の画像に対応する高画質の画像を辞書から抽出することで画像を高画質化する。

[0003] 学習型超解像の一手法として、非特許文献 1 には、スパース表現を利用した学習型の画像高画質化方法が開示されている。非特許文献 1 では、以下のような手順によって画像高画質化を行っている。画像中の各画素を中心とした小領域（以下、パッチと言う）から輝度の高周波成分を抽出する。ここで、高周波成分とは、パッチ内の輝度分布の中で、所定の空間周波数以上の高周波で変化している成分である。抽出した輝度の高周波成分はパッチ内での輝度分布を示している。画質の劣化はダウンサンプリング又は拡大によって発生し、この画質の劣化は輝度の高周波成分に生じる。輝度の高周波成分は画像の特徴を表しているので、抽出した輝度の高周波成分を画像の特徴量とする。任意の画像の特徴量は、予め定められている複数の基礎的な特徴量の組み合わせで表すことができる。特徴量はベクトルで表現され、予め定めら

れている複数の基礎的な特徴量を基底ベクトルという。任意の画像の特徴量は、複数の基底ベクトルの線形和で表される。低画質の基底ベクトルと高画質の基底ベクトルとの一対一の対応関係を予め学習しておき、学習した内容を記録した辞書データを作成しておく。画像の特徴量に基づき、特徴量を複数の低画質の基底ベクトルの線形和で表すための各基底ベクトルの係数を決定する。このとき、係数がゼロでない基底ベクトルの数を可及的に小さくするように係数を決定する。係数がゼロでない基底ベクトルの数を可及的に小さくすることをスパース表現という。高画質の基底ベクトルの夫々に、対応する低画質の基底ベクトルの係数を乗じ、係数を乗じた高画質の基底ベクトルの和を計算することにより、輝度の高周波成分を再構築する。再構築された高周波成分は、高画質の画像の輝度の高周波成分である。輝度の低周波成分と再構築された輝度の高周波成分とを組み合わせることにより、高画質の画像が生成される。

[0004] 画像の特徴量は係数がゼロでない基底ベクトルの線形和で表されることになる。スパース表現を用いることにより、ほとんどの基底ベクトルの係数がゼロになるので、演算量が減少する。また、スパース表現によって、画像の特徴量は最も影響度の高い基底ベクトルによって表されるので、ノイズによって画像の特徴量が多少変動したとしても、選ばれる基底ベクトルは変わらない。従って、ノイズに対してロバストな結果が得られる。そこで、いかにしてスパース表現を実現するかが重要となる。

[0005] 複数の基底ベクトルの集合を D 、基底ベクトルの係数からなる係数行列を α 、画像の特徴量を y とする。 m 及び n を自然数として、 D は m 行 n 列の行列であり、 α は n 行 1 列の行列であり、 y は m 行 1 列の行列である。画像の特徴量を複数の基底ベクトルの線形和で表すので、 $D\alpha = y$ が成り立つ。 $m = n$ である場合は、 α の解が一意的に得られる。しかしながら、ここで得られた α の解は、スパースな解である保証は無い。また、 $m < n$ である場合は、 α の L_2 ノルムが最小になる解を一般逆行列を用いた解法で得ることができる。しかしながら、この場合でも、スパースな α の解が得られる保証は無

い。

[0006] 非特許文献1では、 $D\alpha = y$ を厳密な条件とするのではなく、 $D\alpha \doteq y$ である α の中からよりスパースな α を選ぶことを行っている。具体的には、下記の(1)式で表される条件式を解く演算を行っている。

$$\min_{\alpha} (\|D\alpha - y\|_2^2 + \lambda \|\alpha\|_1) \quad \dots (1)$$

[0007] (1)式中の $\|\cdot\|_1$ はL1ノルム、 $\|\cdot\|_2$ はL2ノルムであり、 λ はスパース制約項と呼ばれるパラメータである。(1)式の意味は、なるべく $\|\alpha\|_1$ が小さく、かつ基底ベクトルの線形和と特徴量との差分が小さくなるように、 α を求めよという意味である。 $\|\alpha\|_1$ が可及的に小さくなる α は、スパースな解である。一般にL1ノルムの微分は困難であり、(1)式を解析的に解くことは困難である。非特許文献1では、反復法によって解を収束させることで(1)式の解を得ている。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1: Jianchao Yang, et al., "Image Super-Resolution Via Sparse Representation", IEEE Transactions on Image Processing, IEEE, 2010-11, vol.19, no.11, p.2861-2873

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 非特許文献1での反復法によって係数行列のスパースな解を得る方法は、リアルタイム性が要求されない状況では利用が可能である。しかしながら、画像を画像表示装置で表示する際に画像を拡大し、拡大した画像を高画質化する場合等、リアルタイム性が要求される場合には、処理の遅延が発生する。また処理の遅延を小さくするためには、処理を実行する回路のコストが増大する。従って、現状では、スパース表現を利用した学習型の画像高画質化方法は実用的でないという問題がある。

[0010] 本発明は、斯かる事情に鑑みてなされたものであって、その目的とする

ころは、スパースな解を求めるための処理量を削減することにより、スパース表現を利用した学習型の画像高画質化方法を実用的にした画像高画質化装置、画像表示装置、画像高画質化方法及びコンピュータプログラムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明に係る画像高画質化装置は、任意の画像内の高周波成分である特徴量をその線形和で表すことができる複数の第1特徴量を記憶している手段と、前記第1特徴量に対応する高画質の高周波成分を示す複数の第2特徴量を記憶している手段と、高画質化対象の画像の特徴量から、該特徴量を前記複数の第1特徴量の線形和で表すための係数を計算する係数計算手段と、該係数計算手段が計算した係数を用いた前記線形和に含まれる第1特徴量の夫々に対応する第2特徴量に置き換えることにより、前記画像を高画質化した高画質化画像の高周波成分を生成する手段とを備える画像高画質化装置において、前記係数計算手段は、前記複数の第1特徴量の内、前記画像の特徴量を線形和で表すための係数の値をゼロ以外の値にすべき第1特徴量の数を決定する決定手段と、前記複数の第1特徴量の中から、前記決定手段が決定した数の第1特徴量を選択する選択手段と、前記特徴量を前記線形和で表すための係数の内、前記選択手段が選択した第1特徴量以外の第1特徴量に乘じられる係数をゼロとし、前記選択手段が選択した第1特徴量に乘じられる係数を計算する手段とを有することを特徴とする。

[0012] 本発明に係る画像高画質化装置は、任意の画像の特徴量と、該特徴量を前記複数の第1特徴量の総数よりも少数の第1特徴量の線形和で表すために必要な第1特徴量の数との対応関係を記憶している対応関係記憶手段を更に備え、前記決定手段は、前記対応関係に基づいて、前記高画質化対象の画像の特徴量に対応する第1特徴量の数を決定するように構成してあることを特徴とする。

[0013] 本発明に係る画像高画質化装置は、前記対応関係記憶手段は、任意の画像に含まれるノイズの大きさ別に、前記対応関係を記憶してあり、前記決定手

段は、前記高画質化対象の画像に含まれるノイズの大きさを計算する手段と、該手段が計算したノイズの大きさに応じた前記対応関係を特定する手段と、該手段が特定した前記対応関係に基づいて、前記画像の特徴量に対応する第1特徴量の数を決定する手段とを特徴とする。

[0014] 本発明に係る画像高画質化装置は、前記対応関係記憶手段は、ノイズの大きさが大きいほど、任意の画像の特徴量に対応する第1特徴量の数が少数になるような対応関係を記憶していることを特徴とする。

[0015] 本発明に係る画像高画質化装置は、低画質の基底ベクトルを複数記憶している手段と、前記低画質の基底ベクトルに対応している高画質の基底ベクトルを複数記憶している手段と、画像の特徴量を複数の前記低画質の基底ベクトルの線形和で表すための係数のスパースな解を計算する係数計算手段と、該係数計算手段が計算した係数を用いた前記線形和に含まれる前記低画質の基底ベクトルの夫々を対応する前記高画質の基底ベクトルに置き換えることにより、前記画像の高画質化画像を生成する手段とを備える画像高画質化装置において、前記係数計算手段は、複数の前記低画質の基底ベクトルの内で計算に用いる前記低画質の基底ベクトルの数を決定する決定手段と、複数の前記低画質の基底ベクトルの中から、前記決定手段が決定した数の低画質の基底ベクトルを選択する選択手段と、該選択手段が選択した低画質の基底ベクトル及び前記特徴量に基づいて係数を計算する手段とを有することを特徴とする。

[0016] 本発明に係る画像高画質化装置は、前記高画質化対象の画像内の輝度分布の空間周波数成分の中で所定の空間周波数以上の高周波成分を抽出することにより、前記画像の特徴量を生成する手段と、前記決定手段が決定した数がゼロを超過する場合に、前記空間周波数成分の中で前記高周波成分よりも低周波の低周波成分を抽出する手段と、該手段が抽出した低周波成分と高画質化画像の特徴量とを足し合わせることにより、高画質化画像を生成する手段と、前記決定手段が決定した数がゼロである場合に、エッジ保存型フィルタにより前記高画質化対象の画像に含まれるノイズを除去する手段と、該手段

によりノイズを除去した後の画像を、高画質化画像とする手段とを更に備えることを特徴とする。

[0017] 本発明に係る画像高画質化装置は、任意の画像に含まれる所定のノイズの各画素での値と該値を有する画素数との関係を示すヒストグラムに基づいて、前記高画質化対象の画像の特徴量の各画素での値に相当する前記所定のノイズの値に応じた前記ヒストグラムでの画素数が大きいほどゼロに近づき、前記画素数が小さいほど1に近づくゼロ以上1以下の増幅率を計算する手段と、該手段が計算した増幅率を、前記高画質化対象の画像の特徴量の各画素での値に乘じる手段とを更に備えることを特徴とする。

[0018] 本発明に係る画像高画質化装置は、前記所定のノイズはガウシアンノイズであることを特徴とする。

[0019] 本発明に係る画像表示装置は、本発明に係る画像高画質化装置と、該画像高画質化装置が高画質化した画像を表示する手段とを備えることを特徴とする。

[0020] 本発明に係る画像高画質化方法は、任意の画像内の高周波成分である特徴量をその線形和で表すことができる複数の第1特徴量を記憶し、前記第1特徴量に対応する高画質の高周波成分を示す複数の第2特徴量を記憶しておき、高画質化対象の画像の特徴量から、該特徴量を前記複数の第1特徴量の線形和で表すための係数を計算し、計算した係数を用いた前記線形和に含まれる第1特徴量の夫々に対応する第2特徴量に置き換えることにより、前記画像を高画質化した画像の高周波成分を生成する画像高画質化方法において、前記複数の第1特徴量の内、前記画像の特徴量を線形和で表すための係数の値をゼロ以外の値にすべき第1特徴量の数を決定し、前記複数の第1特徴量の中から、決定した数の第1特徴量を選択し、前記特徴量を前記線形和で表すための係数の内、選択した第1特徴量以外の第1特徴量に乘じられる係数をゼロとし、選択した第1特徴量に乘じられる係数を計算することを特徴とする。

[0021] 本発明に係るコンピュータプログラムは、任意の画像内の高周波成分であ

る特徴量をその線形和で表すことができる複数の第1特徴量を記憶し、前記第1特徴量に対応する高画質の高周波成分を示す複数の第2特徴量を記憶してあるコンピュータに、高画質化対象の画像の特徴量から、該特徴量を前記複数の第1特徴量の線形和で表すための係数を計算する係数計算ステップと、計算した係数を用いた前記線形和に含まれる第1特徴量の夫々に対応する第2特徴量に置き換えることにより、前記画像を高画質化した画像の高周波成分を生成するステップとを実行させるコンピュータプログラムにおいて、前記係数計算ステップは、前記複数の第1特徴量の内、前記画像の特徴量を線形和で表すための係数の値をゼロ以外の値にすべき第1特徴量の数を決定するステップと、前記複数の第1特徴量の中から、決定した数の第1特徴量を選択するステップと、前記特徴量を前記線形和で表すための係数の内、選択した第1特徴量以外の第1特徴量に乘じられる係数をゼロとし、選択した第1特徴量に乘じられる係数を計算するステップとを含むことを特徴とする。

[0022] 本発明においては、画像高画質化装置は、画像の特徴量から、特徴量を低画質の第1特徴量の線形和で表すための係数を計算し、計算した係数を用いて高画質の第2特徴量の線形和を計算して高画質化した画像を生成する。画像表示装置は高画質化した画像を表示する。このとき、画像高画質化装置は、複数の第1特徴量の中から係数をゼロでない値にする第1特徴量の数を決定し、決定した数の第1特徴量を選択し、選択した第1特徴量以外の第1特徴量の係数をゼロとして、係数を計算する。係数がゼロでない第1特徴量の数を少数に限定した上で係数を計算するので、少数の係数以外の係数をゼロにしたスパースな解を得ることができる。

[0023] また、本発明においては、画像高画質化装置は、任意の画像の特徴量とその特徴量を線形和で表すために必要な第1特徴量の数との対応関係を予め記憶しておき、処理対象の画像の特徴量に対応する第1特徴量の数を、係数がゼロでない第1特徴量の数とする。エッジを含まない場合等、画像の特徴量を線形和で表すために必要な第1特徴量の数が少ない場合に、係数がゼロで

ない第1特徴量の数をより少数に決定することで、よりスパースな係数行列の解を得ることができる。

[0024] また、本発明においては、画像高画質化装置は、特徴量と第1特徴量の数との対応関係をノイズの大きさ別に記憶しておき、処理対象の画像に含まれるノイズの大きさに応じた対応関係に基づいて、係数がゼロでない第1特徴量の数を決定する。ノイズの状況に応じて、係数がゼロでない第1特徴量の数を調整することができる。

[0025] また、本発明においては、画像高画質化装置は、ノイズの大きさが大きいほど第1特徴量の数が少数になるように、特徴量と第1特徴量の数との対応関係をノイズの大きさ別に記憶している。これにより、ノイズが大きいほど、係数がゼロでない第1特徴量の数が少数になる。ノイズが大きい場合には、ノイズの影響を受け難いよりスパースな係数行列の解を得ることができる。

[0026] 本発明においては、画像高画質化装置は、画像の特徴量を低画質の基底ベクトルの線形和で表すための係数のスパースな解を計算し、計算した係数を用いて高画質の基底ベクトルの線形和を計算して高画質化した画像を生成する。このとき、画像高画質化装置は、計算に用いる基底ベクトルの数を決定し、決定した数の低画質の基底ベクトルを選択し、選択した低画質の基底ベクトル及び画像の特徴量に基づいて係数を計算する。

[0027] また、本発明においては、画像高画質化装置は、係数がゼロでない第1特徴量の数がゼロでない場合に、第2特徴量の線形和で表した高画質の特徴量と画像の低周波成分とを足し合わせることで、高画質化画像を生成する。また、画像高画質化装置は、係数がゼロでない第1特徴量の数がゼロである場合に、エッジ保存型フィルタによるノイズ除去を行った画像を高画質化画像とする。係数がゼロでない第1特徴量の数がゼロとなっても、画像の特徴量を第2特徴量の線形和で表すことができない場合でも、画像中のエッジ又はテクスチャが消失しない。

[0028] また、本発明においては、画像高画質化装置は、画素単位で特徴量をノイ

ズに応じて減衰させる。画素での特徴量がノイズである確率が高いほど、特徴量を大きく減衰させて、係数行列の解に対するノイズの影響を小さくする。また画素での特徴量がエッジ等のノイズ以外のものである確率が高いほど、特徴量の減衰を小さくする。このようにして、画像高画質化装置は、画素単位でノイズを除去する。

[0029] また、本発明においては、画像高画質化装置は、一般的なガウシアンノイズを画素単位で画像から除去する。

発明の効果

[0030] 本発明にあつては、画像高画質化装置は、画像の特徴量を第1特徴量の線形和で表すための係数のスパースな解を計算する処理の量を減らすことができる。このため、係数の計算に必要な処理時間が短くなり、リアルタイム性が要求される場合であっても、画像の高画質化による処理の遅延が小さくなる。従って、スパース表現を利用した学習型の画像高画質化方法は十分に実用的となる等、本発明は優れた効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0031] [図1]実施の形態1において係数行列 α のスパースな解を計算する方法の概略を示す概念図である。

[図2]画像の特徴量と複数の基底ベクトルの関係とを概念的に表す模式図である。

[図3]係数行列の厳密解とスパースな解とを比較するための模式図である。

[図4]本発明に係る画像表示装置の内部の機能構成を示すブロック図である。

[図5]実施の形態1に係る画像高画質化装置の内部の機能構成を示すブロック図である。

[図6]実施の形態1に係る画像高画質化装置が実行する画像高画質化の処理の手順を示すフローチャートである。

[図7]画像の特徴量と特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数との関係を示す特性図である。

[図8]特徴量の L_1 ノルムと基底ベクトルの最大数との関係を示す特性図であ

る。

[図9]実施の形態2に係る画像高画質化装置の内部の機能構成を示すブロック図である。

[図10]実施の形態2に係る画像高画質化装置が実行する画像高画質化の処理の手順を示すフローチャートである。

[図11]実施の形態3に係る画像高画質化装置の内部の機能構成を示すブロック図である。

[図12]実施の形態4に係る画像高画質化装置の内部の機能構成を示すブロック図である。

[図13]実施の形態4に係る画像高画質化装置が実行する画像高画質化の処理の手順を示すフローチャートである。

[図14]実施の形態5に係る画像高画質化装置の内部の機能構成を示すブロック図である。

[図15]ヒストグラム $h(f)$ 及び増幅率 $\xi(f)$ の例を示す特性図である。

[図16]実施の形態2に係る画像高画質化装置の内部の機能構成を示すブロック図である。

[図17]実施の形態6に係る画像高画質化装置が実行する画像高画質化の処理の手順を示すフローチャートである。

[図18]実施の形態7に係る画像高画質化装置の内部の機能構成を示すブロック図である。

[図19]実施の形態6に係る画像高画質化装置が実行する画像高画質化の処理の手順を示すフローチャートである。

[図20]実施の形態8に係る画像高画質化装置の内部の機能構成を示すブロック図である。

[図21]実施の形態9に係る画像高画質化装置の内部の機能構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0032] 以下本発明をその実施の形態を示す図面に基づき具体的に説明する。

(実施の形態 1)

本実施の形態では、反復法を用いずに係数行列 α のスパースな解を計算する。図 1 は、実施の形態 1 において係数行列 α のスパースな解を計算する方法の概略を示す概念図である。本実施の形態では、辞書データに記録されている n 個の基底ベクトルの中から、画像の特徴量に影響度の高い T 個の基底ベクトルを選択する。ここで、 $T < n$ である。次に、選択した T 個の基底ベクトルを用いて、係数行列 α の評価関数を最小にする解析解を計算することにより、係数行列 α のスパースな解を計算する。

[0033] 図 2 は、画像の特徴量 y と複数の基底ベクトルの関係とを概念的に表す模式図である。 m 行 n 列の行列 D は、 m 個の要素からなる基底ベクトル D_i が n 個集まったものであり ($i = 1 \sim n$)、特徴量 y は m 個の要素からなるベクトルである。図 2 には、簡易的に特徴量 y と複数の基底ベクトル D_i とを 2 次元平面上に示した。特徴量 y と複数の基底ベクトル D_i とは正規化されているとして、図 2 中には単位円を破線で示している。係数行列 α の解を求めることは、 n 個の基底ベクトル D_i の中からいくつかの基底ベクトル D_i を選択し、選択した基底ベクトル D_i の線形和で特徴量 y を表すことと同じである。このとき、特徴量 y を表すために用いられる基底ベクトル D_i の数が少ないほど、よりスパースな解となる。

[0034] 図 3 は、係数行列 α の厳密解とスパースな解とを比較するための模式図である。図中には、特徴量 y を太い矢印で示し、基底ベクトル D_i を細い矢印で示している。図 3 A は、係数行列 α の厳密解を示している。特徴量 y は複数の基底ベクトル D_i の線形和で厳密に表されている。図 3 B は、係数行列 α のスパースな解を示している。スパースな解では、複数の基底ベクトル D_i の線形和は厳密には特徴量 y には一致しないものの、特徴量 y を近似している。また、厳密解に比べて少数の基底ベクトル D_i の線形和で特徴量 y が表されている。スパースな解を得るためには、特徴量 y のベクトルに近い基底ベクトルを選択すれば良いことが明らかである。本実施の形態では、画像の特徴量に影響度の高い基底ベクトルとして、特徴量 y のベクトル

に最も近いT個の基底ベクトルを選択する。具体的には、全ての基底ベクトルと特徴量 y との内積を計算し、内積の値が大きい方からT個の基底ベクトルを選択する。そして、選択した基底ベクトルの集合 A を生成する。 A は m 行 T 列の行列である。

[0035] 係数行列 α の解析解を計算する段階では、 $\|D\alpha - y\|_2$ と $\|\alpha\|_2$ とをコスト関数とみなした評価関数 $J(\alpha)$ を定義し、 $J(\alpha)$ を最小にする解を計算する。評価関数 $J(\alpha)$ は下記の (2) 式で定義される。

$$J(\alpha) = \|D\alpha - y\|_2^2 + \lambda \|\alpha\|_2^2 \quad \dots (2)$$

[0036] (2) 式中のパラメータ λ は定数である。(1) 式と (2) 式とを比較すると、(1) 式での α の $L1$ ノルムが、(2) 式では α の $L2$ ノルムの二乗に置き換わっている。 $J(\alpha)$ を最小にする α を求めれば、なるべく $\|\alpha\|_2$ が小さく、かつ基底ベクトルの線形和と特徴量 y との差分が小さくなるような α が得られる。また、パラメータ λ の値を調整することによって、 α の $L2$ ノルムと $D\alpha = y$ からの誤差とのバランスを調整することができる。 λ が大きいほど、 α の $L2$ ノルムの影響が大きくなり、 α の $L2$ ノルムをより小さくするべくゼロでない係数の数が小さくなる。 λ は1未満の値であり、例えば0.1である。(2) 式の極値条件は、下記の (3) 式で表される。

$$\delta J / \delta \alpha = 2D^T D\alpha - 2D^T y + 2\lambda \alpha = 0 \quad \dots (3)$$

[0037] (3) 式を α について整理すれば α を下記の (4) 式で得ることができる。

$$\alpha = (DD^T + \lambda)^{-1} D^T y \quad \dots (4)$$

[0038] このように解析解が (4) 式で得られるものの、(1) 式では α の $L1$ ノルムに対して制約をかけていたものを (2) 式では $L2$ ノルムに対して制約をかけているので、(4) 式で得られる解がスパースな解である保証は無い。そこで、前述したように、特徴量 y に影響度の高いT個の基底ベクトルを選択し、選択した基底ベクトルの集合 A を用いて解を計算する。具体的には、(4) 式の D を A に置き換えた下記の (5) 式を用いて、解を計算する。

$$x = (A A^T + \lambda)^{-1} A^T y \quad \cdots (5)$$

[0039] (5) 式で得られる解 x は、 T 行 1 列の行列であり、係数行列 α に含まれる係数の内で特徴量 y に影響度の高い T 個の基底ベクトルの係数からなる。係数行列 α に含まれる係数の内、 x に含まれる係数以外の係数はゼロである。解 x は、特徴量 y に影響度の高い T 個の基底ベクトルの集合 A から計算された解であるので、スパースな解である。以上のように、本実施の形態では、 n 個の基底ベクトルの中から、画像の特徴量 y に影響度の高い T 個の基底ベクトルを選択し、選択した基底ベクトルの集合 A を用いた (5) 式により解 x を計算することにより、係数行列のスパースな解を計算する。このため、反復法を用いずに係数行列 α のスパースな解を計算することが可能となる。行列 D よりも基底ベクトルの数を減らした行列 A を用いた行列計算を行い、また計算の反復を行わないので、必要な計算量が減少する。

[0040] 図 4 は、本発明に係る画像表示装置の内部の機能構成を示すブロック図である。画像表示装置は、画像を表示する表示部 4 と、画像を表す画像信号を入力される入力部 3 と、画像高画質化装置 1 と、各部を制御する制御部 2 とを備えている。表示部 4 は、液晶パネル又は EL (Electro Luminescence) パネル等の画像表示デバイスを用いて画像を表示する構成となっている。入力部 3 は、画像に含まれる夫々の画素の色を表現する R (赤)、G (緑) 及び B (青) の色信号を含む画像信号を外部から入力されるインタフェースである。例えば、画像表示装置はコンピュータのモニタであり、入力部 3 にはコンピュータの本体から画像信号が入力される。入力部 3 は、画像信号を画像高画質化装置 1 へ入力する。また、入力部 3 は、各種の制御信号を入力され、制御信号を制御部 2 へ入力する。画像高画質化装置 1 は、入力部 3 から画像信号を入力され、画像信号が表す画像を高画質化する処理を実行し、高画質化した画像を表す画像信号を表示部 4 へ入力する。表示部 4 は、画像高画質化装置 1 から入力された画像信号に基づいた画像を表示する。制御部 2 は、演算部と、制御プログラム及び各種の情報を記憶する記憶部とを含んで構成されている。制御部 2 は、高画質化していない画像を表示部 4 に表示さ

せる制御を行ってもよい。画像表示装置は、静止画又は動画の何れか一方を表示する装置であってもよく、両方を表示する装置であってもよい。また、画像表示装置は、アンテナで受信した放送信号に基づいた画像を表示するテレビジョン受像機等のように、画像信号を生成する機能を備え、生成した画像を入力部3へ入力する形態であってもよい。

[0041] 図5は、実施の形態1に係る画像高画質化装置1の内部の機能構成を示すブロック図である。画像高画質化装置1は、画像信号を変換する第1変換部101を備えている。第1変換部101は、入力部3から画像信号を入力され、画像信号に含まれるRGBの色信号を、輝度信号Y並びに色差信号U及びVへ変換する。第1変換部101には、メモリで構成されたラインバッファ102が接続されている。第1変換部101は、ラインバッファ102へ変換後の画像信号を入力する。ラインバッファ102は、画像に含まれる各画素の画像信号を所定数のライン分記憶する。ラインバッファ102には、画像の輝度分布を示す特徴量を計算する特徴量計算部103と、フィルタ部108と、ラインバッファ112とが接続されている。ラインバッファ102は、画像中の一つのパッチに含まれる複数の画素の輝度信号Yを特徴量計算部103及びフィルタ部108へ入力する。一つのパッチは、画像中の一つの画素を中心とした複数画素からなる小画像である。ラインバッファ102は、画像中の各画素を中心としたパッチの輝度信号を特徴量計算部103へ順次入力する。また、ラインバッファ102は、画像中の各画素の色差信号U及びVを順次ラインバッファ112へ入力する。

[0042] 特徴量計算部103は、入力されたパッチの輝度信号から、パッチの特徴量を計算する。具体的には、特徴量計算部103は、パッチの輝度信号の水平方向及び垂直方向の一次微分成分及び二次微分成分をSobelフィルタを用いて計算する。計算によって得られた成分は、パッチ内の輝度分布の高周波成分であり、本発明における特徴量である。ここで、特徴量計算部103は、特徴量として、パッチ内の輝度分布の空間周波数成分の内、所定の空間周波数以上の高周波成分を抽出する。例えば、特徴量計算部103は、直

流成分以外の成分を抽出する。特徴量計算部 103 は、計算した高周波成分を成分とした特徴量 y のベクトルを生成する。特徴量 y のベクトルは m 次元のベクトルである。なお、特徴量計算部 103 は、ラプラシアンフィルタ等の Sobel フィルタ以外のフィルタを用いて高周波成分を計算してよく、複数のフィルタを用いて高周波成分を計算してよい。

[0043] フィルタ部 108 は、入力されたパッチの輝度信号から、パッチ内の輝度分布の低周波成分を計算する。ここで、フィルタ部 108 は、パッチ内の輝度分布の空間周波数成分の内、所定の空間周波数以下の低周波成分を抽出する。例えば、フィルタ部 108 は、直流成分を抽出する。具体的には、フィルタ部 108 は、パッチの輝度信号の水平方向及び垂直方向の平均を計算するフィルタを用いて、パッチ内の輝度分布の直流成分を計算する。このようにして、画像高画質化装置 1 は、パッチの輝度信号を高周波成分と低周波成分とに分離する。

[0044] 特徴量計算部 103 には、ベクトルの内積を計算する内積計算部 105 が接続されている。内積計算部 105 には、予め学習された低画質の基底ベクトル（第 1 特徴量に対応）を記録した辞書データを記憶している第 1 辞書部 106 が接続されている。第 1 辞書部 106 が記憶している辞書データには、低画質の m 次元の基底ベクトルが n 個記録されている。各基底ベクトルは、所定の基礎的な画像の特徴量である。一般的に、 $m < n$ である。特徴量計算部 103 は、特徴量 y を内積計算部 105 へ入力する。内積計算部 105 は、第 1 辞書部 106 が記憶している辞書データに記録された n 個の基底ベクトルの夫々と特徴量 y のベクトルとの内積を計算する。

[0045] 内積計算部 105 には、特徴量に影響度の高い基底ベクトルを選択するベクトル選択部 107 が接続されている。内積計算部 105 は、計算した内積をベクトル選択部 107 へ入力する。ベクトル選択部 107 は、 n 個の基底ベクトルと特徴量 y のベクトルとの内積を比較し、 n 個の基底ベクトルの内、特徴量 y のベクトルとの内積の値が大きい方から T 個の基底ベクトルを選択する。ここで、 $T < n$ であり、 T の値は予めベクトル選択部 107 に記憶

されている。特徴量 y は、選択された T 個の基底ベクトルの線形和で表される。

[0046] 特徴量計算部 103 及びベクトル選択部 107 には、係数行列 α を計算する係数行列計算部 104 が接続されている。特徴量計算部 103 は、特徴量 y のベクトルを係数行列計算部 104 へ入力し、ベクトル選択部 107 は、選択した T 個の基底ベクトルを係数行列計算部 104 へ入力する。係数行列計算部 104 は、 T 個の基底ベクトルが集合した m 行 T 列の行列 A を生成し、特徴量 y のベクトル及び行列 A から、係数行列 α の L_2 ノルムが最小になる解析解を計算することにより、係数行列 α のスパースな解 x を計算する。具体的には、係数行列計算部 104 は、(5) 式を用いて解 x を計算する。解 x には、 T 個の係数が含まれる。計算に必要な λ の値は、予め係数行列計算部 104 に記憶されている。高画質なパッチの高周波成分は、解 x に含まれる係数に対応する高画質の T 個の基底ベクトルの線形和で表される。

[0047] フィルタ部 108 及び係数行列計算部 104 には、パッチの輝度の高周波成分と低周波成分とを合成する合成部 109 が接続されている。フィルタ部 108 は、パッチの輝度の低周波成分を合成部 109 へ入力し、係数行列計算部 104 は、係数行列 α のスパースな解 x を合成部 109 へ入力する。また、合成部 109 には、予め学習された高画質の基底ベクトル（第 2 特徴量に対応）を記録した辞書データを記憶している第 2 辞書部 110 が接続されている。第 2 辞書部 110 が記憶している辞書データには、第 1 辞書部 106 が記憶している辞書データに記録された n 個の基底ベクトルに対応する高画質の m 次元の基底ベクトルが n 個記録されている。高画質の基底ベクトルは、対応する低画質の基底ベクトルが輝度分布を示す所定の基礎的な画像を高画質化した画像の高周波成分である。合成部 109 は、第 2 辞書部 110 が記憶している辞書データに記録された n 個の基底ベクトルの中から、係数行列 α のスパースな解 x に含まれる T 個の係数に対応する T 個の基底ベクトルを選択する。より詳しくは、基底ベクトルの線形和において解 x に含まれる T 個の係数の夫々が乗じられる低画質の基底ベクトルと対応する高画質の

基底ベクトルを選択する。合成部109は、次に、選択した基底ベクトルの夫々に対応する係数を乗じ、係数を乗じた基底ベクトルの和を計算することにより、高画質の高周波成分を計算する。合成部109は、次に、計算した高画質の高周波成分と、フィルタ部108から入力された低周波成分とを足し合わせることで、高画質なパッチの輝度信号を計算する。以上のように、特徴量計算部103、係数行列計算部104、内積計算部105、第1辞書部106、ベクトル選択部107及び合成部109により、スパース表現を利用した学習型画像高画質化の処理が実行される。画像高画質化の処理は、画像に含まれるパッチの夫々について順次実行される。

[0048] 合成部109には、ラインバッファ111が接続されている。合成部109は、計算したパッチの輝度信号をラインバッファ111へ入力し、ラインバッファ111は、入力されたパッチの輝度信号を記憶する。合成部109は、画像に含まれるパッチの夫々について輝度信号を順次ラインバッファ111へ入力し、ラインバッファ111は、順次入力された輝度信号を記憶する。ラインバッファ111には、オーバーラップ部113が接続されている。ラインバッファ111は、複数のパッチの輝度信号をオーバーラップ部113へ入力する。オーバーラップ部113は、画像中の一つの画素に対応する画素が含まれる複数のパッチから、画像中の一つの画素に対応する画素の輝度信号を抽出し、抽出した複数の輝度信号を重ね合わせることで、画像中の一つの画素の輝度信号を計算する。例えば、オーバーラップ部113は、複数の輝度信号の平均又は加重平均を計算することにより、一つの画素の輝度信号を計算する。オーバーラップ部113は、画像中の各画素の輝度信号を順次計算する。

[0049] オーバーラップ部113及びラインバッファ112には、画像信号を変換する第2変換部114が接続されている。オーバーラップ部113は、画像中の各画素の輝度信号を順次第2変換部114へ入力する。ラインバッファ112は、ラインバッファ102から入力された色差信号を記憶し、画像中の各画素の色差信号を順次第2変換部114へ入力する。第2変換部114

は、オーバーラップ部 113 から入力された輝度信号 Y とラインバッファ 112 から入力された色差信号 U 及び V とを、RGB の色信号へ変換する。第 2 変換部 114 は、表示部 4 に接続されており、RGB の色信号を含む画像信号を表示部 4 へ入力する。表示部 4 は、画像高画質化装置 1 から入力された画像信号に基づいた画像を表示する。このようにして、高画質化された画像が表示される。例えば、画像表示装置は、画素数を増やして拡大した画像の画像信号が入力された場合に、拡大によって画質が劣化した画質を高画質化した上で画像を表示する。

[0050] 図 6 は、実施の形態 1 に係る画像高画質化装置 1 が実行する画像高画質化の処理の手順を示すフローチャートである。特徴量計算部 103 はパッチの輝度の高周波成分である特徴量を計算し、フィルタ部 108 はパッチの輝度の低周波成分を計算する (S11)。内積計算部 105 及びベクトル選択部 107 は、低画質の n 個の基底ベクトルの中から、特徴量に影響度の高い T 個の基底ベクトルを選択する (S12)。係数行列計算部 104 は、選択された T 個の基底ベクトル及び特徴量 y から、(5) 式を用いて、係数行列 α のスパースな解 x を計算する (S13)。合成部 109 は、係数行列のスパースな解に含まれる係数を乗じた高画質の T 個の基底ベクトルの線形和を計算することにより、パッチの高周波成分を計算し、計算した高周波成分と S11 で計算した低周波成分とを合成する (S14)。S11～S14 の処理により、画像高画質化装置 1 は高画質化した画像を生成する。

[0051] 以上詳述した如く、本実施の形態においては、画像高画質化装置 1 は、画像の特徴量から、特徴量を線形和で表す低画質の基底ベクトルの係数を計算し、計算した係数を用いて高画質の基底ベクトルの線形和を計算して高画質化した画像を生成する。画像高画質化装置 1 は、係数を計算する際に、複数の基底ベクトルの中から、特徴量に影響度の高い所定数の基底ベクトルを選択し、選択した基底ベクトル以外の基底ベクトルの係数をゼロとして、係数行列の解を計算する。なるべく係数の二乗和が小さく、かつ基底ベクトルの線形和と特徴量との差分が小さくなるように係数行列の解を計算することに

より、スパースな解に近い解が得られる。選択した基底ベクトルは特徴量に影響度の高い基底ベクトルであるので、選択した基底ベクトルの線形和で特徴量をほぼ表すことが可能である。このため、係数がゼロでない基底ベクトルを、特徴量に影響度の高い少数の基底ベクトルに限定した上で、係数行列の解を計算することにより、少数の基底ベクトルの係数以外の係数をゼロにしたスパースな解を得ることができる。このように、本実施の形態では、反復法を用いることなく、画像の特徴量を複数の基底ベクトルの線形和であらわすための係数行列のスパースな解を得ることができる。画像にノイズが含まれている場合でも、係数行列のスパースな解は変化し難く、画像高画質化装置 1 は、安定して画像を高画質化することができる。

[0052] 本実施の形態においては、係数がゼロでない基底ベクトルを少数の基底ベクトルに限定した上で係数行列を計算するので、計算に用いる基底ベクトルの数が減少し、係数行列の計算に必要な処理量が減少する。また、反復法を用いることなく係数行列のスパースな解を計算することができるので、係数行列の計算に必要な処理時間が反復法を用いる場合に比べて短くなる。このため、画像を画像表示装置で表示する場合等のリアルタイム性が要求される場合であっても、画像の高画質化による処理の遅延は小さくなる。また、必要な処理量の減少及び処理時間に短縮により、画像高画質化装置 1 の回路のコストが抑制される。従って、スパース表現を利用した学習型の画像高画質化方法は十分に実用的となり、実用的な画像高画質化装置 1 が実現可能となる。

[0053] (実施の形態 2)

実施の形態 2 においては、画像の特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数を調整する形態を示す。実施の形態 1 では、係数がゼロでない基底ベクトルの数 T を一定の値としている。非特許文献 1 に記載の反復法によって (1) 式の条件式を解く方法では、係数がゼロでない基底ベクトルの数は、画像中のパッチの位置によって異なる。具体的には、画像中のエッジの部分で基底ベクトルの数が大きくなっている。従って、エッジ以外の部分では、基底

ベクトルの数を減らすことが可能である。また、画像にノイズが多い場合、基底ベクトルの数が多いほど、基底ベクトルの線形和がノイズをより表現し易くなり、高画質化した画像にもノイズが再現されやすくなる。従って、ノイズが多い画像については、係数がゼロでない基底ベクトルの数を減らすことが望ましい。

[0054] 図7は、画像の特徴量と特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数との関係を示す特性図である。非特許文献1に記載の反復法によって(1)式の条件式を解く方法で実際に得られた基底ベクトルの数と、画像中の各パッチでの特徴量の L_1 ノルムとの関係を示している。特徴量の L_1 ノルムは、特徴量 y のベクトルの成分の絶対値の和である。図中の横軸は特徴量の L_1 ノルムを示し、縦軸は基底ベクトルの数を示している。また、図7Aには、パラメータ $\lambda = 0.1$ の場合について、特徴量の L_1 ノルムと基底ベクトルの数との関係を示しており、図7Bには $\lambda = 0.3$ の場合について示し、図7Cには $\lambda = 0.5$ の場合について示している。 λ が何れの値でも、特徴量の L_1 ノルムが小さいほど基底ベクトルの最大数は小さくなる傾向がある。図7中には、特徴量の L_1 ノルムと基底ベクトルの最大数との関係を示す直線を破線で示している。特徴量の L_1 ノルムに対応する基底ベクトルの最大数を、特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数 T とすれば、基底ベクトルの線形和で特徴量を十分に表すことができる。

[0055] 図8は、特徴量の L_1 ノルムと基底ベクトルの最大数との関係を示す特性図である。図中には、 $\lambda = 0.1$ 、 $\lambda = 0.3$ 及び $\lambda = 0.5$ の場合について、特徴量の L_1 ノルムと基底ベクトルの最大数との関係を示す直線を示している。 λ が大であるほど、特徴量の L_1 ノルムに対応する基底ベクトルの最大数は小さくなる。特徴量の L_1 ノルムに対応する基底ベクトルの最大数を、特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数 T とする。図8に示すように、基底ベクトルの数 T と特徴量 y の L_1 ノルム $|y|_1$ との関係は、直線状であり、
、下記の(6)式で表される。

$$T = a \|y\|_1 + b \quad \dots (6)$$

[0056] (6) 式中の a 及び b は定数であり、 λ の値に応じて異なる。非特許文献 1 に記載の反復法によって (1) 式の条件式を解く方法で実際の画像について特徴量の L_1 ノルムと基底ベクトルの最大数との関係を調べることで、 λ の値に応じた a 及び b の値を予め定めておくことができる。予め定めた a 及び b の値を用いることにより、画像の特徴量 y に対応する基底ベクトルの数 T を (6) 式から計算することができる。実際には、 $T_{\max}$ を予め定めた値として、下記の (7) 式で計算を行う。

$$T = \min(T_{\max}, \max(a \|y\|_1 + b, 0)) \quad \dots (7)$$

[0057] (7) 式は、 T の値が大きくなりすぎるオーバーフローとゼロ未満の値になるアンダーフローとを防止するための式である。画像中のエッジの部分では、特徴量の L_1 ノルムの値が大きくなり、基底ベクトルの数 T は増大する。エッジ以外の部分では、特徴量の L_1 ノルムの値は小さくなり、基底ベクトルの数 T を小さくすることができる。また、画像にノイズが多く、基底ベクトルの数 T を減らすことが望ましい場合には、より大きい値の λ に応じた a 及び b の値を用いればよい。

[0058] 実施の形態 2 に係る画像表示装置の構成は、実施の形態 1 と同様である。図 9 は、実施の形態 2 に係る画像高画質化装置 1 の内部の機能構成を示すブロック図である。特徴量計算部 103 には、ベクトル数計算部 115 が接続されており、ベクトル数計算部 115 には、ベクトル選択部 107 が接続されている。ベクトル数計算部 115 は、ベクトル選択部 107 が選択する基底ベクトルの数 T を計算する。ベクトル数計算部 115 は、 λ の値に応じて予め定められている a 及び b の値を記憶している。

[0059] 画像表示装置の制御部 2 は、 λ の値を画像高画質化装置 1 へ入力する。例えば、画像表示装置が表示すべき画像に含まれるノイズの大きさを示す制御信号が入力部 3 へ入力され、制御部 2 は、制御信号が示すノイズの大きさに応じた λ の値を画像高画質化装置 1 へ入力する。制御部 2 は、ノイズの大き

さが大きいほど増大するように λ の値を決定し、決定した λ の値を画像高画質化装置1へ入力する処理を行う。また例えば、制御部2は、入力部3へ入力された画像信号に基づいてノイズの大きさを計算し、計算したノイズの大きさに応じた λ の値を画像高画質化装置1へ入力する処理を行う。また例えば、使用者の操作等によって λ の値を指定した制御信号が入力部3へ入力され、制御部2は、制御信号が示す λ の値を画像高画質化装置1へ入力する。

[0060] 微量計算部103は、計算した特徴量 y のベクトルをベクトル数計算部115へ入力

する。また、ベクトル数計算部115は、制御部2からの λ の値が入力される。ベクトル数計算部115は、入力された λ の値に対応して記憶している a 及び b の値を読み出し、入力された特徴量 y から特徴量 y の $L1$ ノルム $|y|_1$ を計算し、(7)式を用いて基底ベクトルの数 T を計算する。ベクトル数計算部115は、計算した基底ベクトルの数 T をベクトル選択部107へ入力する。ベクトル選択部107は、 n 個の基底ベクトルの内、入力された数 T 個の基底ベクトルを特徴量 y のベクトルとの内積の値が大きい方から選択する処理を行う。画像高画質化装置1のその他の構成及び処理は実施の形態1と同様である。

[0061] なお、ベクトル数計算部115は、 a 及び b の値を1種類に固定した形態であってもよい。この形態では、画像高画質化装置1は、 λ の値を固定した処理を行う。また、画像高画質化装置1は、制御部2から λ の値を入力されることなく、画像のパッチに含まれるノイズの大きさに応じた処理を行う形態であってもよい。この形態では、ベクトル数計算部115は、特徴量計算部103から入力されたパッチの特徴量 y から、所定のノイズ推定方法により、パッチのノイズ標準偏差を計算する。ベクトル数計算部115は、ノイズ標準偏差の値と予め定められた a 及び b の値とを対応づけて記憶している。 a 及び b の値は、ノイズ標準偏差の値が大きいほど基底ベクトルの数 T が小さくなるように定められている。ベクトル数計算部115は、計算したノイズ標準偏差に対応づけた a 及び b の値を読み出し、(7)式を用いて基底

ベクトルの数 T を計算する。この形態では、画像高画質化装置1は、画像に含まれる各パッチのノイズに応じて基底ベクトルの数 T を調整することができる。

[0062] 図10は、実施の形態2に係る画像高画質化装置1が実行する画像高画質化の処理の手順を示すフローチャートである。特徴量計算部103はパッチの輝度の高周波成分である特徴量を計算し、フィルタ部108はパッチの輝度の低周波成分を計算する(S21)。ベクトル数計算部115は、パッチの特徴量 y を線形和で表す基底ベクトルの数 T を、(7)式を用いて計算する(S22)。内積計算部105及びベクトル選択部107は、低画質の n 個の基底ベクトルの中から、特徴量に影響度の高い T 個の基底ベクトルを選択する(S23)。係数行列計算部104は、選択された T 個の基底ベクトル及び特徴量 y から、(5)式を用いて、係数行列 α のスパースな解 x を計算する(S24)。合成部109は、解 x に含まれる係数を用いて高画質の T 個の基底ベクトルの線形和を計算することにより、パッチの高周波成分を計算し、計算した高周波成分と低周波成分とを合成する(S25)。S21～S25の処理により、画像高画質化装置1は高画質化した画像を生成する。

[0063] 以上詳述した如く、本実施の形態においては、画像高画質化装置は、係数行列のスパースな解を計算するために選択する基底ベクトルの数を状況に応じて調整する。パッチの特徴量の絶対値が小さくエッジを含まないパッチでは選択する基底ベクトルの数を少なくすることによって、よりスパースな係数行列の解を得ることができる。また、パッチの特徴量の絶対値が大きくエッジを含むパッチでは選択する基底ベクトルの数を多めにするによって、エッジを減衰させることなく画像の高画質化を行うことができる。また、本実施の形態においては、画像高画質化装置1は、ノイズの量に応じて、係数行列のスパースな解を計算するために選択する基底ベクトルの数を状況に応じて調整することができる。ノイズが大きい場合に選択する基底ベクトルの数を少なくすることによって、ノイズの影響を受けにくいよりスパースな

係数行列の解を得ることができ、ノイズの影響を排除して画像の高画質化を行うことが可能となる。

[0064] (実施の形態3)

実施の形態3に係る画像表示装置の構成は、実施の形態2と同様である。図11は、実施の形態3に係る画像高画質化装置1の内部の機能構成を示すブロック図である。画像高画質化装置1は、内積計算部105とベクトル選択部107とを備えておらず、ベクトル数計算部115は係数行列計算部104に接続されており、第1辞書部106は係数行列計算部104に接続されている。

[0065] ベクトル数計算部115は、実施の形態2と同様の方法で、係数がゼロでない基底ベクトルの数 T を計算する。即ち、ベクトル数計算部115は、制御部2から入力された λ の値、又はパッチのノイズ標準偏差に基づいて、基底ベクトルの数 T を計算する。ベクトル数計算部115は、計算した基底ベクトルの数 T を係数行列計算部104へ入力する。係数行列計算部104は、反復法によって係数行列のスパースな解を計算する。具体的には、係数行列計算部104は、ベクトル数計算部115から入力された基底ベクトルの数 T を、係数行列に含まれるゼロでない係数の数の初期値に定め、非特許文献1に記載の反復法によって(1)式の条件式を解く処理を行う。画像高画質化装置1のその他の構成及び処理は実施の形態1と同様である。

[0066] 以上のように、本実施の形態においては、 λ の値又はパッチのノイズ標準偏差に基づいて、係数行列に含まれるゼロでない係数の数の初期値を定め、反復法によって係数行列のスパースな解を計算する。ノイズの大きさに応じて、画像の特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数を調整することができる。また、係数行列に含まれるゼロでない係数の数の初期値を制限することで、反復法によって係数行列を計算する処理の回数を減らすことができる。処理時間が減少し、リアルタイム性が要求される場合でも処理の遅延が小さくなるので、反復法を用いた場合でも画像高画質化の実用性が向上する。

[0067] (実施の形態4)

実施の形態4においては、画像の特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数がゼロである場合の画像を調整する形態を示す。実施の形態2では、係数がゼロでない基底ベクトルの数 T を調整しており、基底ベクトルの数 T がゼロになることがある。この場合は、高画質の基底ベクトルの線形和はゼロになるので、高画質の輝度の高周波成分はゼロとなり、高画質のパッチは、輝度の高周波成分を含まない低周波成分から構成される。輝度の低周波成分は直流成分であり、パッチ内の全ての輝度値がパッチの平均輝度値で表されることになる。パッチ内にエッジ又はテクスチャが含まれていた場合には、パッチが輝度の直流成分から構成されることにより、エッジ又はテクスチャが消失し、画質が劣化する。本実施の形態では、この問題を解決するために、係数がゼロでない基底ベクトルの数がゼロである場合に、エッジを保存するように画像を調整する。

[0068] 実施の形態4に係る画像表示装置の構成は、実施の形態2と同様である。図12は、実施の形態4に係る画像高画質化装置1の内部の機能構成を示すブロック図である。フィルタ部108は、ベクトル数計算部115に接続されている。ベクトル数計算部115は、計算した基底ベクトルの数 T をフィルタ部108へ入力する。フィルタ部108は、入力された基底ベクトルの数 T の値がゼロであるか否かを判定する。基底ベクトルの数 T の値がゼロではない場合は、フィルタ部108は、実施の形態1と同様に、ラインバッファ102から入力されたパッチの輝度信号から、パッチ内の輝度分布の低周波成分を計算し、計算した低周波成分を合成部109へ入力する。合成部109は、実施の形態1と同様に、パッチの輝度の高周波成分を計算し、計算した輝度の高周波成分と低周波成分とを合成する。基底ベクトルの数 T の値がゼロである場合は、フィルタ部108は、入力されたパッチの輝度信号に対して、エッジ保存型フィルタによるノイズ除去処理を行い、ノイズ除去処理後の輝度信号を合成部109へ入力する。合成部109は、フィルタ部108から入力されたパッチの輝度信号をラインバッファ111へ入力する。エッジ保存型フィルタは、エッジを保存しながらパッチ内の輝度分布の平滑

化を行うフィルタである。計算に用いるエッジ保存型フィルタは、エッジを保存する性質を有する一般的なフィルタでよく、例えば、バイラテラルフィルタ又はトータルバリエーションフィルタであってもよい。画像高画質化装置 1 のその他の構成及び処理は実施の形態 2 と同様である。

[0069] なお、フィルタ部 108 は、ノイズに応じてエッジ保存型フィルタのパラメータを調整する形態であってもよい。ベクトル数計算部 115 は、ノイズ標準偏差をフィルタ部 108 へ入力する。フィルタ部 108 は、入力されたノイズ標準偏差に応じてエッジ保存型フィルタのパラメータを調整する。例えば、フィルタ部 108 は、ノイズが多いほど平滑化の強度を大きくするようにエッジ保存型フィルタのパラメータを調整する。これにより、パッチ内のエッジを保存しながらも効果的にノイズを除去することができる。

[0070] 図 13 は、実施の形態 4 に係る画像高画質化装置 1 が実行する画像高画質化の処理の手順を示すフローチャートである。特徴量計算部 103 はパッチの輝度の高周波成分である特徴量を計算する (S31)。ベクトル数計算部 115 は、パッチの特徴量 y を線形和で表す基底ベクトルの数 T を計算する (S32)。基底ベクトルの数 T がゼロである場合は (S33: YES)、フィルタ部 108 は、パッチの輝度信号に対して、エッジ保存型フィルタによるノイズ除去を行う (S34)。このようにして、画像高画質化装置 1 は、高画質化した画像を生成する。基底ベクトルの数 T がゼロでない場合は (S33: NO)、フィルタ部 108 はパッチの輝度の低周波成分を計算する (S35)。低周波成分は例えば直流成分である。内積計算部 105 及びベクトル選択部 107 は、低画質の n 個の基底ベクトルの中から、特徴量に影響度の高い T 個の基底ベクトルを選択する (S36)。係数行列計算部 104 は、選択された T 個の基底ベクトル及び特徴量 y から、係数行列 α のスパースな解 x を計算する (S37)。画像高画質化装置 1 は、S35 の処理と S36 及び S37 の処理とを並列に実行する。なお、画像高画質化装置 1 は、S35 ~ S37 の処理を順次的に実行する形態であってもよい。合成部 109 は、解 x に含まれる係数を用いてパッチの輝度の高周波成分を計算し、

計算した高周波成分と低周波成分とを合成する（S38）。このようにして、画像高画質化装置1は、高画質化した画像を生成する。

[0071] 以上のように、本実施の形態においては、画像高画質化装置1は、画像の特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数がゼロである場合に、エッジ保存型フィルタによるノイズ除去を行うことで、画像を調整する。基底ベクトルの数がゼロであったとしても、画像中のエッジ又はテクスチャが消失するという画質の劣化が発生することは無い。

[0072] （実施の形態5）

実施の形態5に係る画像表示装置の構成は、実施の形態3と同様である。図14は、実施の形態5に係る画像高画質化装置1の内部の機能構成を示すブロック図である。画像高画質化装置1は、内積計算部105とベクトル選択部107とを備えておらず、ベクトル数計算部115は係数行列計算部104に接続されており、第1辞書部106は係数行列計算部104に接続されている。フィルタ部108は、ベクトル数計算部115に接続されている。

[0073] ベクトル数計算部115は、計算した基底ベクトルの数 T を、係数行列計算部104及びフィルタ部108へ入力する。フィルタ部108は、実施の形態4と同様に、入力された基底ベクトルの数 T の値がゼロであるか否かを判定し、基底ベクトルの数 T の値がゼロではない場合は、パッチ内の輝度分布の低周波成分を計算し、計算した低周波成分を合成部109へ入力する。係数行列計算部104は、実施の形態3と同様に、ベクトル数計算部115から入力された基底ベクトルの数 T を、係数行列に含まれるゼロでない係数の数の初期値に定め、反復法によって係数行列のスパースな解を計算する。合成部109は、係数行列の解からパッチの輝度の高周波成分を計算し、輝度の高周波成分と低周波成分とを合成する。基底ベクトルの数 T の値がゼロである場合は、実施の形態4と同様に、フィルタ部108は、入力されたパッチの輝度信号に対して、エッジ保存型フィルタによるノイズ除去処理を行い、ノイズ除去処理後の輝度信号を合成部109へ入力する。合成部109

は、入力されたパッチの輝度信号をラインバッファ 1 1 1 へ入力する。画像高画質化装置 1 のその他の構成及び処理は実施の形態 3 と同様である。

[0074] 以上のように、本実施の形態においては、画像高画質化装置 1 は、係数行列に含まれるゼロでない係数の数の初期値を定め、初期値がゼロでない場合は反復法によって係数行列のスパースな解を計算し、初期値がゼロである場合は、エッジ保存型フィルタによるノイズ除去を行うことで画像を調整する。反復法によって係数行列を計算する形態において、画像の特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数がゼロであった場合でも、画像中のエッジ又はテクスチャが消失するという画質の劣化が発生することは無い。

[0075] (実施の形態 6)

実施の形態 6 においては、ノイズに応じて画素単位でパッチの特徴量を調整する形態を示す。実施の形態 2 では、パッチの特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数をノイズに応じて調整することにより、ノイズ除去の強度を調整している。一つのパッチ内にエッジとノイズとが混在している場合は、パッチ単位でノイズ除去の強度を調整すると、エッジと共にノイズが残留するか、或いはノイズが除去されると共にエッジが減衰することがある。本実施の形態においては、輝度の高周波成分であるパッチの特徴量を画素単位で調整することにより、画素単位でノイズの除去を行う。

[0076] 本実施の形態では、各画素での特徴量の値を減衰させ、ノイズが含まれている画素については減衰を大きくし、ノイズが含まれていない画素については減衰を小さくすることによって、ノイズの除去を行う。画素にノイズが含まれているか否かは、輝度の高周波成分の大きさから推定することができる。各画素での輝度の高周波成分である特徴量 y に増幅率 ζ ($0 \leq \zeta \leq 1$) を乗じることによって特徴量を減衰させることを考える。ノイズの強度がガウシアン分布に従うとすると、強度が小さいノイズほど発生する数が多くなる。このため、輝度の高周波成分の絶対値が小さいほど、その高周波成分がノイズによるものである確率が高くなり、輝度の高周波成分の絶対値が大きいほど、その高周波成分がエッジ等のノイズ以外によるものである確率が高く

なる。画像のノイズ標準偏差が所定の s である場合のノイズによる輝度の高周波成分の絶対値 f のヒストグラムを $h(f)$ とする。実際の画像について、ヒストグラム $h(f)$ は求めることができる。ヒストグラム $h(f)$ の最大値を $\max(h(f))$ として、ノイズ標準偏差が s であり輝度の高周波成分の絶対値が f である場合の増幅率 $\xi(f)$ を以下の (8) 式で定義する。

$$\xi(f) = 1 - h(f) / \max(h(f)) \quad \dots (8)$$

[0077] 図 15 は、ヒストグラム $h(f)$ 及び増幅率 $\xi(f)$ の例を示す特性図である。図中の横軸は、輝度の高周波成分の絶対値 f であり、縦軸は画素数又は増幅率である。図 15 には、ノイズの強度がガウシアン分布に従った例を示している。 f の値が小さいほど、成分がノイズである確率が高くなる。増幅率 $\xi(f)$ を小さくすることで、特徴量 y の減衰を大きくし、ノイズの影響を小さくすることができる。逆に、 f の値が大きいほど、成分がエッジ等のノイズ以外のものである確率が高くなる。増幅率 $\xi(f)$ を大きくすることで、特徴量 y の減衰を小さくし、エッジの減衰を防止することができる。ヒストグラム $h(f)$ 及び増幅率 $\xi(f)$ は予め定めておくことができる。一般に、画像高画質化対象となる画像のノイズ標準偏差は、所定の s とは異なる値となる。画像高画質化対象となる画像のノイズ標準偏差を σ とし、各画素における特徴量の絶対値を g として、増幅率 ζ を下記の (9) 式で定義する。

$$\zeta = \xi(sg / \sigma) \quad \dots (9)$$

[0078] 一般に、(8) 式中の f の値は整数値である。従って、(9) 式中の sg / σ が小数である場合は、 sg / σ を整数値に丸める処理を行う必要がある。この処理では、小数第 1 位以下切り捨て、小数第 1 位以下切り捨て、又は小数第 1 位四捨五入の何れの処理を行ってもよい。また、 sg / σ の直近の整数値 2 つの夫々を (9) 式に代入して得られた値を線形補間することによって ζ を計算する処理を行ってもよい。

[0079] 実施の形態 6 に係る画像表示装置の構成は、実施の形態 1 と同様である。

図16は、実施の形態2に係る画像高画質化装置1の内部の機能構成を示すブロック図である。特徴量計算部103、係数行列計算部104及び内積計算部105には、パッチの特徴量を減衰させる減衰部116が接続されている。減衰部116は、所定のノイズ標準偏差 s を予め記憶しており、更に、予め定められたヒストグラム $h(f)$ 及び(8)式、又は予め定められた増幅率 $\xi(f)$ の値を記憶している。ヒストグラム $h(f)$ を記憶している形態では、減衰部116は、 f の値と画素数の値とを対応づけたテーブルを記憶している。増幅率 $\xi(f)$ の値を記憶している形態では、減衰部116は、 f の値と $\xi(f)$ の値とを対応づけたテーブルを記憶している。

[0080] 特徴量計算部103は、パッチの特徴量 y を減衰部116へ入力する。減衰部116は、入力されたパッチの特徴量 y から、所定のノイズ推定方法により、パッチのノイズ標準偏差 σ を計算する。なお、減衰部116は、制御部2から、画像全体のノイズ標準偏差 σ を入力される形態であってもよい。減衰部116は、次に、パッチの特徴量 y から各画素での特徴量の値を抽出し、パッチに含まれる各画素について、特徴量の絶対値 g を計算し、(9)式を用いて増幅率 ξ を計算する。減衰部116は、次に、パッチに含まれる各画素について、特徴量に増幅率 ξ を乗じることにより、特徴量を減衰させる。減衰部116は、各画素について減衰させた特徴量 y を、内積計算部105及び係数行列計算部104へ入力する。内積計算部105は、第1辞書部106が記憶している辞書データに記録された n 個の基底ベクトルの夫々と減衰部116から入力された特徴量 y のベクトルとの内積を計算する。係数行列計算部104は、減衰部116から入力された特徴量 y を用いて係数行列のスパースな解を計算する。画像高画質化装置1のその他の構成及び処理は実施の形態1と同様である。

[0081] なお、減衰部116は、ノイズの強度がガウシアン分布に従うガウシアンノイズ以外のノイズに応じて特徴量を減衰させる形態であってもよい。例えば、減衰部116は、ごま塩ノイズに応じて特徴量を減衰させる形態であってもよい。この形態では、減衰部116は、ノイズ標準偏差ではなくノイズ

密度を利用する。減衰部 116 は、所定のノイズ密度を予め記憶しており、更に、予め定められたヒストグラム $h(f)$ 及び (8) 式、又は予め定められた増幅率 $\xi(f)$ の値を記憶している。減衰部 116 は、各画素について、パッチのノイズ密度を計算し、計算したノイズ密度から所定の方法で増幅率を計算し、特徴量に増幅率を乗じることにより、特徴量を減衰させる。

[0082] 図 17 は、実施の形態 6 に係る画像高画質化装置 1 が実行する画像高画質化の処理の手順を示すフローチャートである。特徴量計算部 103 はパッチの輝度の高周波成分で特徴量を計算し、フィルタ部 108 はパッチの輝度の低周波成分を計算する (S41)。

減衰部 116 は、特徴量を各画素についてノイズに応じて減衰させる (S42)。内積計算部 105 及びベクトル選択部 107 は、低画質の n 個の基底ベクトルの中から、ノイズに応じて減衰された特徴量に影響度の高い T 個の基底ベクトルを選択する (S43)。係数行列計算部 104 は、選択された T 個の基底ベクトル及びノイズに応じて減衰された特徴量から、係数行列 α のスパースな解 x を計算する (S44)。合成部 109 は、解 x に含まれる係数を用いてパッチの輝度の高周波成分を計算し、計算した高周波成分と低周波成分とを合成する (S45)。S41～S45 の処理により、画像高画質化装置 1 は高画質化した画像を生成する。

[0083] 以上のように、本実施の形態においては、画像高画質化装置 1 は、画素単位で特徴量をノイズに応じて減衰させ、減衰させた特徴量に基づいて、スパース表現を利用した学習型画像高画質化の処理を行う。画素での特徴量がノイズである確率が高いほど、特徴量を大きく減衰させて、係数行列の解に対するノイズの影響を小さくする。また画素での特徴量がエッジ等のノイズ以外のものである確率が高いほど、特徴量の減衰を小さくして、係数行列の解に対してエッジの影響が小さくなることを防止する。画素単位でノイズ除去の強度を調整しているので、画像高画質化装置 1 は、画像に含まれるエッジを保存しながらノイズを除去することが可能となり、画像を著しく高画質化することが可能となる。

[0084] (実施の形態 7)

実施の形態 7 に係る画像表示装置の構成は、実施の形態 3 と同様である。図 18 は、実施の形態 7 に係る画像高画質化装置 1 の内部の機能構成を示すブロック図である。特徴量計算部 103、係数行列計算部 104、内積計算部 105 及びベクトル数計算部 115 には、減衰部 116 が接続されている。特徴量計算部 103 は、パッチの特徴量 y を減衰部 116 へ入力する。減衰部 116 は、実施の形態 6 と同様に、パッチに含まれる各画素について、(9) 式を用いて増幅率 γ を計算し、特徴量に増幅率 γ を乗じることにより特徴量を減衰させる。減衰部 116 は、各画素について減衰させたパッチの特徴量を、内積計算部 105、ベクトル数計算部 115 及び係数行列計算部 104 へ入力する。内積計算部 105 は、第 1 辞書部 106 が記憶している辞書データに記録された n 個の基底ベクトルの夫々と減衰部 116 から入力された特徴量 y のベクトルとの内積を計算する。ベクトル数計算部 115 は、減衰部 116 から入力された特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数 T を計算する。係数行列計算部 104 は、減衰部 116 から入力された特徴量 y を用いて係数行列のスパースな解を計算する。画像高画質化装置 1 のその他の構成及び処理は実施の形態 2 と同様である。

[0085] 図 19 は、実施の形態 6 に係る画像高画質化装置 1 が実行する画像高画質化の処理の手順を示すフローチャートである。特徴量計算部 103 はパッチの輝度の高周波成分である特徴量を計算し、フィルタ部 108 はパッチの輝度の低周波成分を計算する (S51)。減衰部 116 は、特徴量を各画素についてノイズに応じて減衰させる (S52)。ベクトル数計算部 115 は、ノイズに応じて減衰された特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数 T を計算する (S53)。内積計算部 105 及びベクトル選択部 107 は、低画質の n 個の基底ベクトルの中から、ノイズに応じて減衰された特徴量に影響度の高い T 個の基底ベクトルを選択する (S54)。係数行列計算部 104 は、選択された T 個の基底ベクトル及びノイズに応じて減衰された特徴量から、係数行列 α のスパースな解 x を計算する (S55)。合成部 109 は、解 x

に含まれる係数を用いてパッチの輝度の高周波成分を計算し、計算した高周波成分と低周波成分とを合成する（S56）。S51～S56の処理により、画像高画質化装置1は高画質化した画像を生成する。

[0086] 以上のように、本実施の形態においても、画像高画質化装置1は、実施の形態6と同様に、画素単位で特徴量をノイズに応じて減衰させ、スパース表現を利用した学習型画像高画質化の処理を行う。画素単位で特徴量をノイズに応じて調整すると共に、画像の特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数をノイズに応じて調整するので、ノイズに応じた画像高画質化をより効果的に行うことが可能となる。なお、画像高画質化装置1は、実施の形態4と同様に、係数がゼロでない基底ベクトルの数がゼロである場合にエッジ保存型フィルタによるノイズ除去を行う機能を更に備えた形態であってもよい。

[0087] （実施の形態8）

実施の形態8に係る画像表示装置の構成は、実施の形態3と同様である。図20は、実施の形態8に係る画像高画質化装置1の内部の機能構成を示すブロック図である。画像高画質化装置1は、内積計算部105とベクトル選択部107とを備えておらず、特徴量計算部103、及び係数行列計算部104には、減衰部116が接続されている。また、ベクトル数計算部115は減衰部116及び係数行列計算部104に接続されており、第1辞書部106は係数行列計算部104に接続されている。

[0088] 特徴量計算部103は、パッチの特徴量 y を減衰部116へ入力する。減衰部116は、実施の形態6と同様に、パッチに含まれる各画素について、 (9) 式を用いて増幅率 ξ を計算し、特徴量に増幅率 ξ を乗じることにより特徴量を減衰させる。減衰部116は、各画素について減衰させたパッチの特徴量をベクトル数計算部115及び係数行列計算部104へ入力する。ベクトル数計算部115は、減衰部116から入力された特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数 T を計算する。係数行列計算部104は、減衰部116から入力された特徴量を用いて係数行列のスパースな解を計算する。計算の際、係数行列計算部104は、実施の形態3と同様に、ベクトル数計算部1

15から入力された基底ベクトルの数 T を、係数行列に含まれるゼロでない係数の数の初期値に定め、反復法によって係数行列のスパースな解を計算する。画像高画質化装置1のその他の構成及び処理は実施の形態3と同様である。

[0089] 以上のように、本実施の形態においては、画像高画質化装置1は、画素単位で画像の特徴量をノイズに応じて減衰させ、減衰させた特徴量に基づいて、反復法によって係数行列のスパースな解を計算する。画素単位でノイズ除去の強度を調整することにより、画像高画質化装置1は、反復法によって係数行列を計算する形態においても、画像に含まれるエッジを保存しながらノイズを除去することが可能となり、画像を著しく高画質化することが可能となる。なお、画像高画質化装置1は、実施の形態5と同様に、画像の特徴量を線形和で表す基底ベクトルの数がゼロである場合にエッジ保存型フィルタによるノイズ除去を行う機能を更に備えた形態であってもよい。

[0090] 以上の実施の形態1～8においては、画像高画質化装置1に必要な処理をハードウェアで実行する形態を示したが、これに限るものではなく、画像高画質化装置1は、処理の一部又は全部をソフトウェアを用いて実行する形態であってもよい。また実施の形態1～8においては、画像高画質化装置1が画像表示装置に内蔵されている形態を示したが、画像高画質化装置1は、画像表示装置に内蔵されていない形態であってもよい。例えば、画像高画質化装置1は、画像表示装置へ画像信号を入力する入力装置に備えられている形態であってもよい。また例えば、画像高画質化装置1は、プリンタ又はファクシミリ装置等の画像形成装置に備えられている形態であってもよい。

[0091] (実施の形態9)

実施の形態9においては、コンピュータを用いて画像高画質化装置を構成した形態を示す。図21は、実施の形態9に係る画像高画質化装置5の内部の機能構成を示すブロック図である。画像高画質化装置5は、パーソナルコンピュータ等の汎用のコンピュータで構成されており、演算を行うCPU (Central Processing Unit) 51と、演算に伴って発

生する一時的な情報を記憶するＲＡＭ（Random Access Memory）５２と、光ディスク等の記録媒体６１から情報を読み取るＣＤ－ＲＯＭドライブ等のドライブ部５３と、画像表示部５４と、ハードディスク等の記憶部５５とを備えている。ＣＰＵ５１は、記録媒体６１からコンピュータプログラム６をドライブ部５３に読み取らせ、読み取ったコンピュータプログラム６を記憶部５５に記憶させる。コンピュータプログラム６は必要に応じて記憶５５からＲＡＭ５２へロードされ、ロードされたコンピュータプログラム６に基づいてＣＰＵ５１は画像高画質化装置５に必要な処理を実行する。記憶部５５は、第１辞書データ及び第２辞書データを記憶しており、更に、ＣＰＵ５１が実行すべき処理に必要なデータを記憶している。

[0092] コンピュータプログラム６は、実施の形態１～８の何れかの画像高画質化装置１と同様の処理をＣＰＵ５１に実行させるためのコードを含んでいる。ＣＰＵ５１は、コンピュータプログラム６に従って、画像高画質化の処理を実行する。例えば、ＣＰＵ５１は、コンピュータプログラム６に従って、図６のフローチャートで示した処理を実行する。ＣＰＵ５１は、高画質化した画像を画像表示部５４に表示させる。

[0093] なお、画像高画質化装置５は、ドライブ部５３で記録媒体６１からコンピュータプログラム６を読み取る以外の方法でコンピュータプログラム６を取り込む形態であってもよい。例えば、画像高画質化装置５は、外部から送信されたコンピュータプログラム６を受信して記憶する形態であってもよい。また、画像高画質化装置５は、予めコンピュータプログラム６が記憶された記憶部５５を備えた形態であってもよい。また、画像高画質化装置５は、スマートフォン又はゲーム機であってもよい。また、画像高画質化装置５は、画像表示部５４を備えた形態に限るものではなく、高画質化した画像を外部の画像表示装置に表示させる形態であってもよい。

符号の説明

[0094] １ 画像高画質化装置
 １０３ 特徴量計算部

- 1 0 4 係数行列計算部
- 1 0 5 内積計算部
- 1 0 6 第 1 辞書部
- 1 0 7 ベクトル選択部
- 1 0 8 フィルタ部
- 1 0 9 合成部
- 1 1 5 ベクトル数計算部
- 1 1 6 減衰部
- 2 制御部
- 3 入力部
- 4 表示部
- 5 画像高画質化装置
- 5 1 C P U
- 5 2 R A M
- 5 3 ドライブ部
- 5 4 画像表示部
- 5 5 記憶部
- 6 コンピュータプログラム
- 6 1 記録媒体

請求の範囲

- [請求項1] 任意の画像内の高周波成分である特徴量をその線形和で表すことができる複数の第1特徴量を記憶している手段と、前記第1特徴量に対応する高画質の高周波成分を示す複数の第2特徴量を記憶している手段と、高画質化対象の画像の特徴量から、該特徴量を前記複数の第1特徴量の線形和で表すための係数を計算する係数計算手段と、該係数計算手段が計算した係数を用いた前記線形和に含まれる第1特徴量の夫々に対応する第2特徴量に置き換えることにより、前記画像を高画質化した高画質化画像の高周波成分を生成する手段とを備える画像高画質化装置において、
- 前記係数計算手段は、
- 前記複数の第1特徴量の内、前記画像の特徴量を線形和で表すための係数の値をゼロ以外の値にすべき第1特徴量の数を決定する決定手段と、
- 前記複数の第1特徴量の中から、前記決定手段が決定した数の第1特徴量を選択する選択手段と、
- 前記特徴量を前記線形和で表すための係数の内、前記選択手段が選択した第1特徴量以外の第1特徴量に乘じられる係数をゼロとし、前記選択手段が選択した第1特徴量に乘じられる係数を計算する手段とを有することを特徴とする画像高画質化装置。
- [請求項2] 任意の画像の特徴量と、該特徴量を前記複数の第1特徴量の総数よりも少数の第1特徴量の線形和で表すために必要な第1特徴量の数との対応関係を記憶している対応関係記憶手段を更に備え、
- 前記決定手段は、
- 前記対応関係に基づいて、前記高画質化対象の画像の特徴量に対応する第1特徴量の数を決定するように構成してあることを特徴とする請求項1に記載の画像高画質化装置。
- [請求項3] 前記対応関係記憶手段は、

任意の画像に含まれるノイズの大きさ別に、前記対応関係を記憶してあり、

前記決定手段は、

前記高画質化対象の画像に含まれるノイズの大きさを計算する手段と、

該手段が計算したノイズの大きさに応じた前記対応関係を特定する手段と、

該手段が特定した前記対応関係に基づいて、前記画像の特徴量に対応する第1特徴量の数を決定する手段と

を特徴とする請求項2に記載の画像高画質化装置。

[請求項4]

前記対応関係記憶手段は、

ノイズの大きさが大きいほど、任意の画像の特徴量に対応する第1特徴量の数が少数になるような対応関係を記憶していること

を特徴とする請求項3に記載の画像高画質化装置。

[請求項5]

低画質の基底ベクトルを複数記憶している手段と、前記低画質の基底ベクトルに対応している高画質の基底ベクトルを複数記憶している手段と、画像の特徴量を複数の前記低画質の基底ベクトルの線形和で表すための係数のスパースな解を計算する係数計算手段と、該係数計算手段が計算した係数を用いた前記線形和に含まれる前記低画質の基底ベクトルの夫々を対応する前記高画質の基底ベクトルに置き換えることにより、前記画像の高画質化画像を生成する手段とを備える画像高画質化装置において、

前記係数計算手段は、

複数の前記低画質の基底ベクトルの内で計算に用いる前記低画質の基底ベクトルの数を決定する決定手段と、

複数の前記低画質の基底ベクトルの中から、前記決定手段が決定した数の低画質の基底ベクトルを選択する選択手段と、

該選択手段が選択した低画質の基底ベクトル及び前記特徴量に基づ

いて係数を計算する手段と

を有することを特徴とする画像高画質化装置。

[請求項6]

前記高画質化対象の画像内の輝度分布の空間周波数成分の内所定の空間周波数以上の高周波成分を抽出することにより、前記画像の特徴量を生成する手段と、

前記決定手段が決定した数がゼロを超過する場合に、前記空間周波数成分の内前記高周波成分よりも低周波の低周波成分を抽出する手段と、

該手段が抽出した低周波成分と高画質化画像の特徴量とを足し合わせるにより、高画質化画像を生成する手段と、

前記決定手段が決定した数がゼロである場合に、エッジ保存型フィルタにより前記高画質化対象の画像に含まれるノイズを除去する手段と、

該手段によりノイズを除去した後の画像を、高画質化画像とする手段と

を更に備えることを特徴とする請求項1乃至5の何れか一つに記載の画像高画質化装置。

[請求項7]

任意の画像に含まれる所定のノイズの各画素での値と該値を有する画素数との関係を示すヒストグラムに基づいて、前記高画質化対象の画像の特徴量の各画素での値に相当する前記所定のノイズの値に応じた前記ヒストグラムでの画素数が大きいほどゼロに近づき、前記画素数が小さいほど1に近づくゼロ以上1以下の増幅率を計算する手段と、

該手段が計算した増幅率を、前記高画質化対象の画像の特徴量の各画素での値に乘じる手段と

を更に備えることを特徴とする請求項1乃至6の何れか一つに記載の画像高画質化装置

。

[請求項8] 請求項1乃至7の何れか一つに記載の画像高画質化装置と、
該画像高画質化装置が高画質化した画像を表示する手段と
を備えることを特徴とする画像表示装置。

[請求項9] 任意の画像内の高周波成分である特徴量をその線形和で表すことができる複数の第1特徴量を記憶し、前記第1特徴量に対応する高画質の高周波成分を示す複数の第2特徴量を記憶しておき、高画質化対象の画像の特徴量から、該特徴量を前記複数の第1特徴量の線形和で表すための係数を計算し、計算した係数を用いた前記線形和に含まれる第1特徴量の夫々に対応する第2特徴量に置き換えることにより、前記画像を高画質化した画像の高周波成分を生成する画像高画質化方法において、

前記複数の第1特徴量の内、前記画像の特徴量を線形和で表すための係数の値をゼロ以外の値にすべき第1特徴量の数を決定し、

前記複数の第1特徴量の中から、決定した数の第1特徴量を選択し、

前記特徴量を前記線形和で表すための係数の内、選択した第1特徴量以外の第1特徴量に乘じられる係数をゼロとし、選択した第1特徴量に乘じられる係数を計算すること

を特徴とする画像高画質化方法。

[請求項10] 任意の画像内の高周波成分である特徴量をその線形和で表すことができる複数の第1特徴量を記憶し、前記第1特徴量に対応する高画質の高周波成分を示す複数の第2特徴量を記憶してあるコンピュータに、高画質化対象の画像の特徴量から、該特徴量を前記複数の第1特徴量の線形和で表すための係数を計算する係数計算ステップと、計算した係数を用いた前記線形和に含まれる第1特徴量の夫々に対応する第2特徴量に置き換えることにより、前記画像を高画質化した画像の高周波成分を生成するステップとを実行させるコンピュータプログラムにおいて、

前記係数計算ステップは、

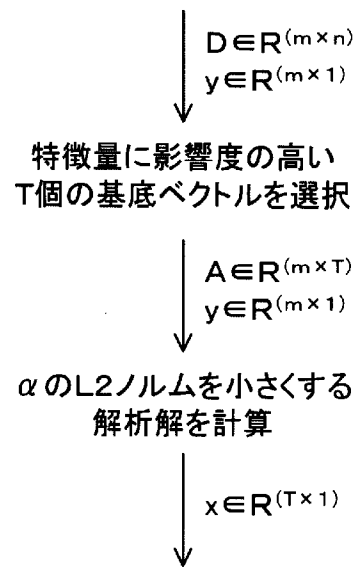
前記複数の第 1 特徴量の内、前記画像の特徴量を線形和で表すための係数の値をゼロ以外の値にすべき第 1 特徴量の数を決定するステップと、

前記複数の第 1 特徴量の中から、決定した数の第 1 特徴量を選択するステップと、

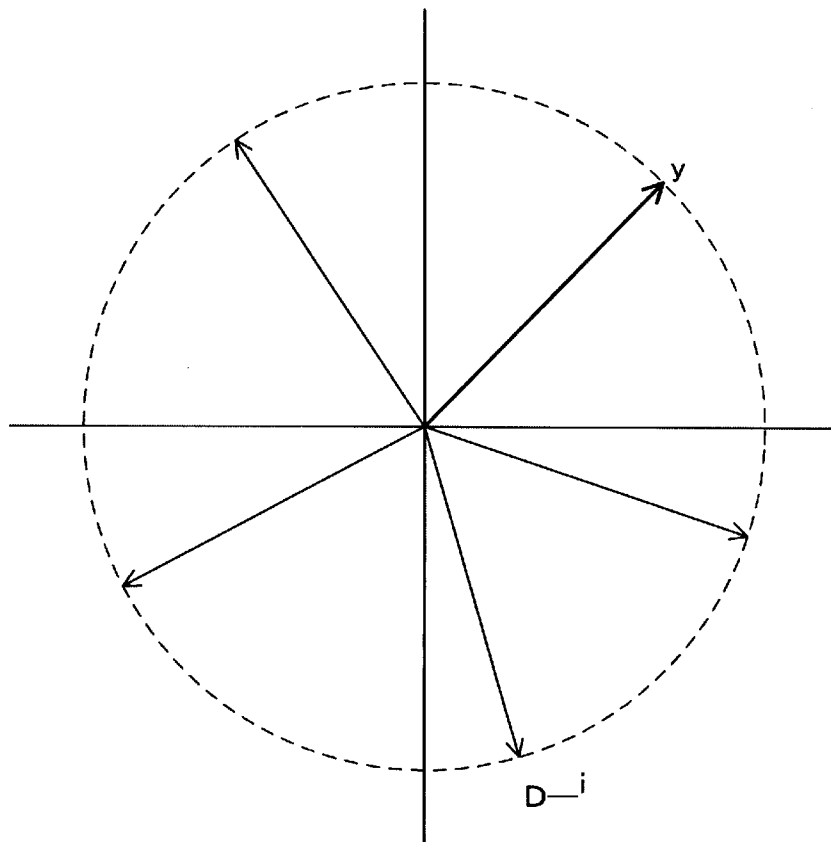
前記特徴量を前記線形和で表すための係数の内、選択した第 1 特徴量以外の第 1 特徴量に乘じられる係数をゼロとし、選択した第 1 特徴量に乘じられる係数を計算するステップと

を含むことを特徴とするコンピュータプログラム。

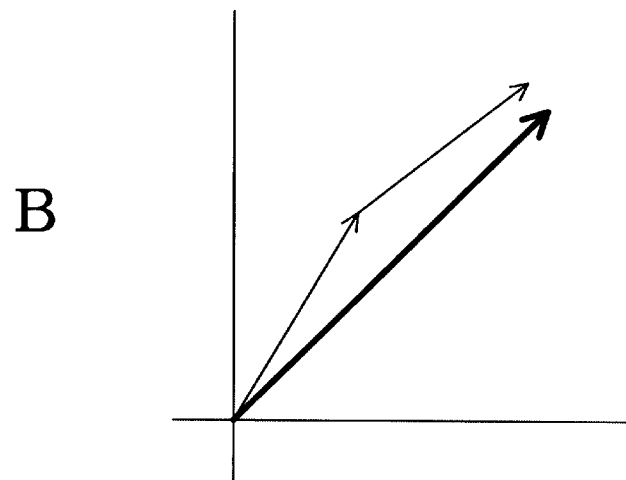
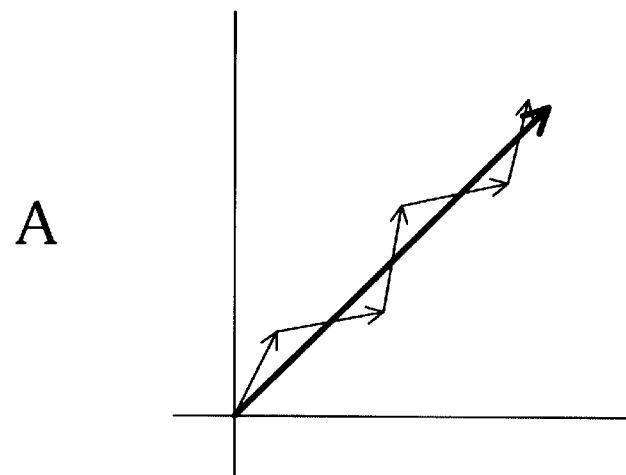
[図1]



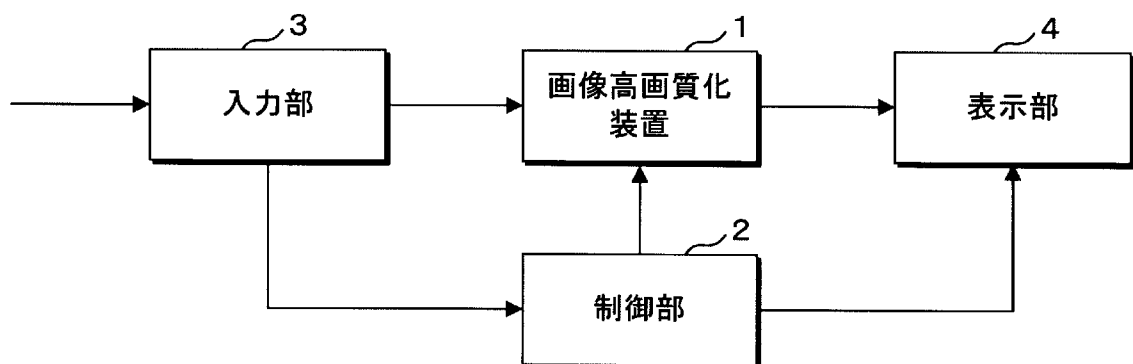
[図2]



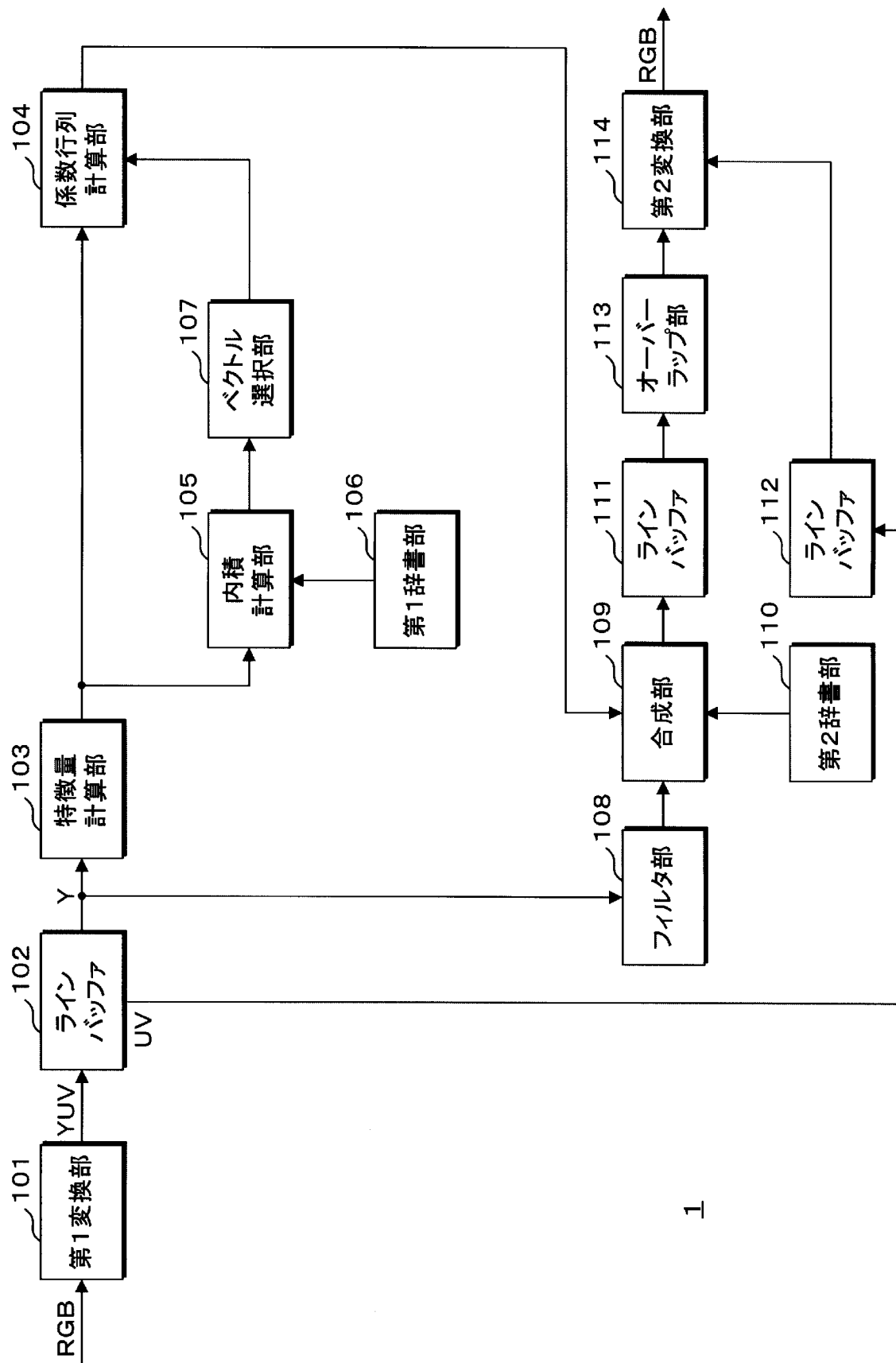
[図3]



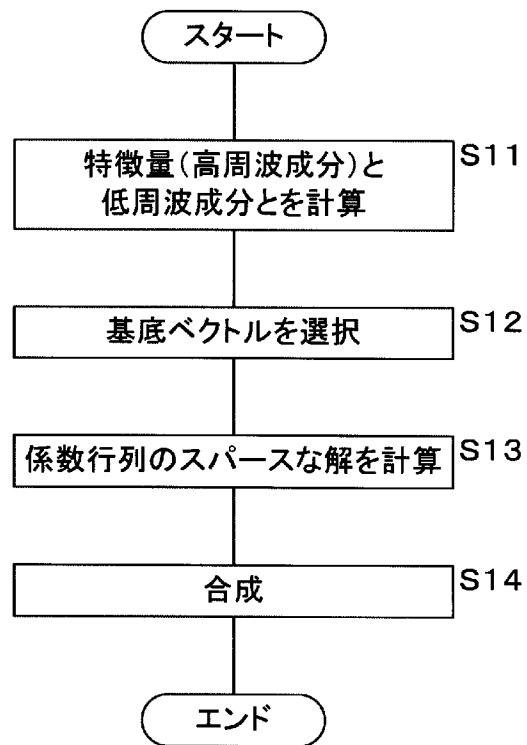
[図4]



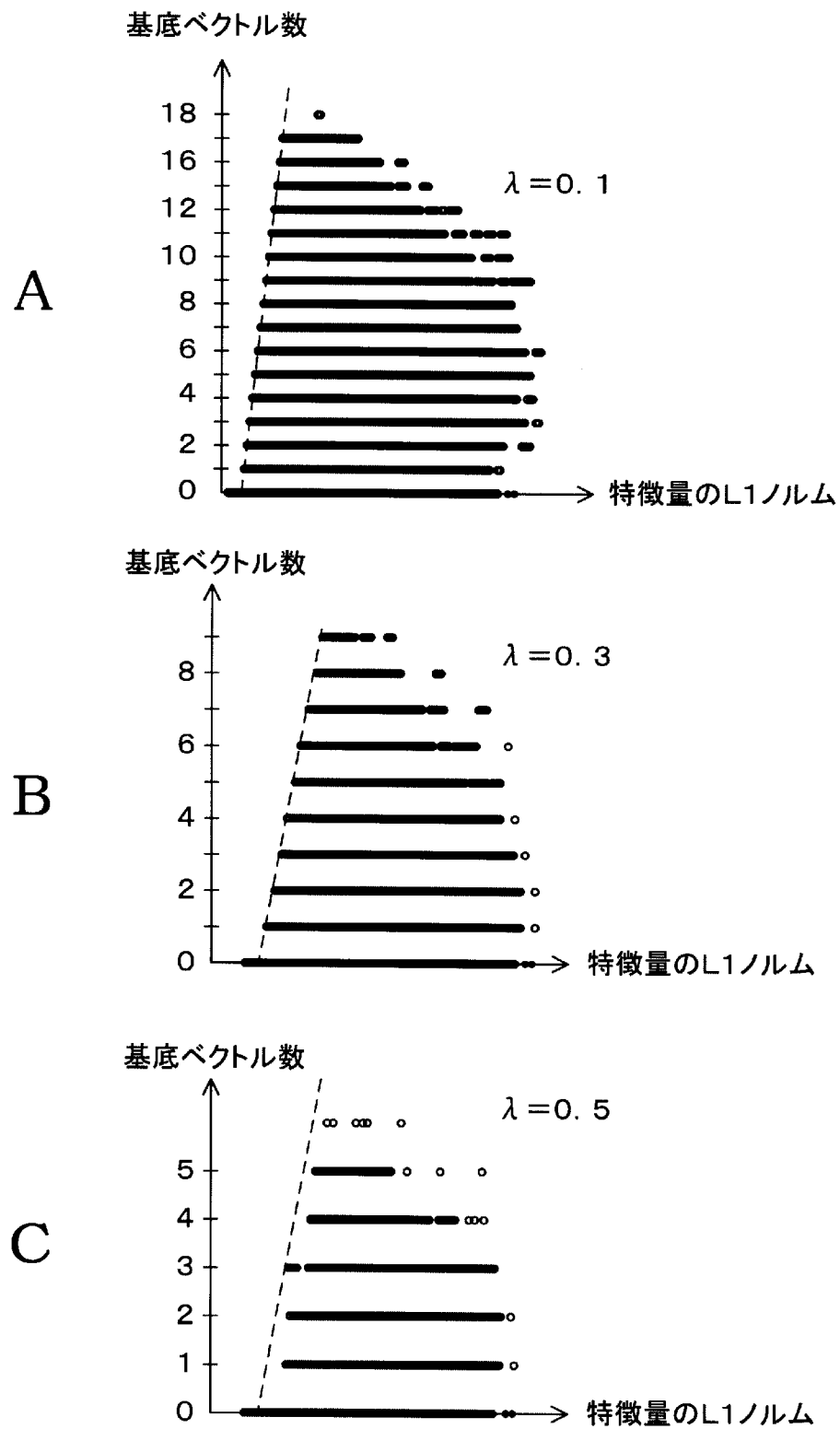
[図5]



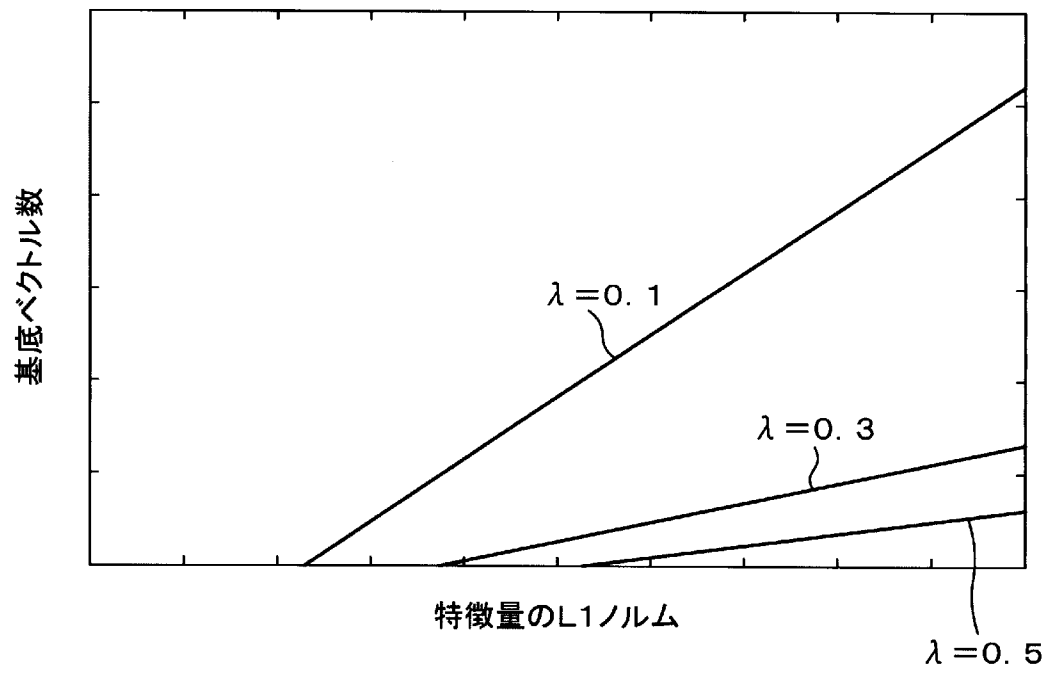
[図6]



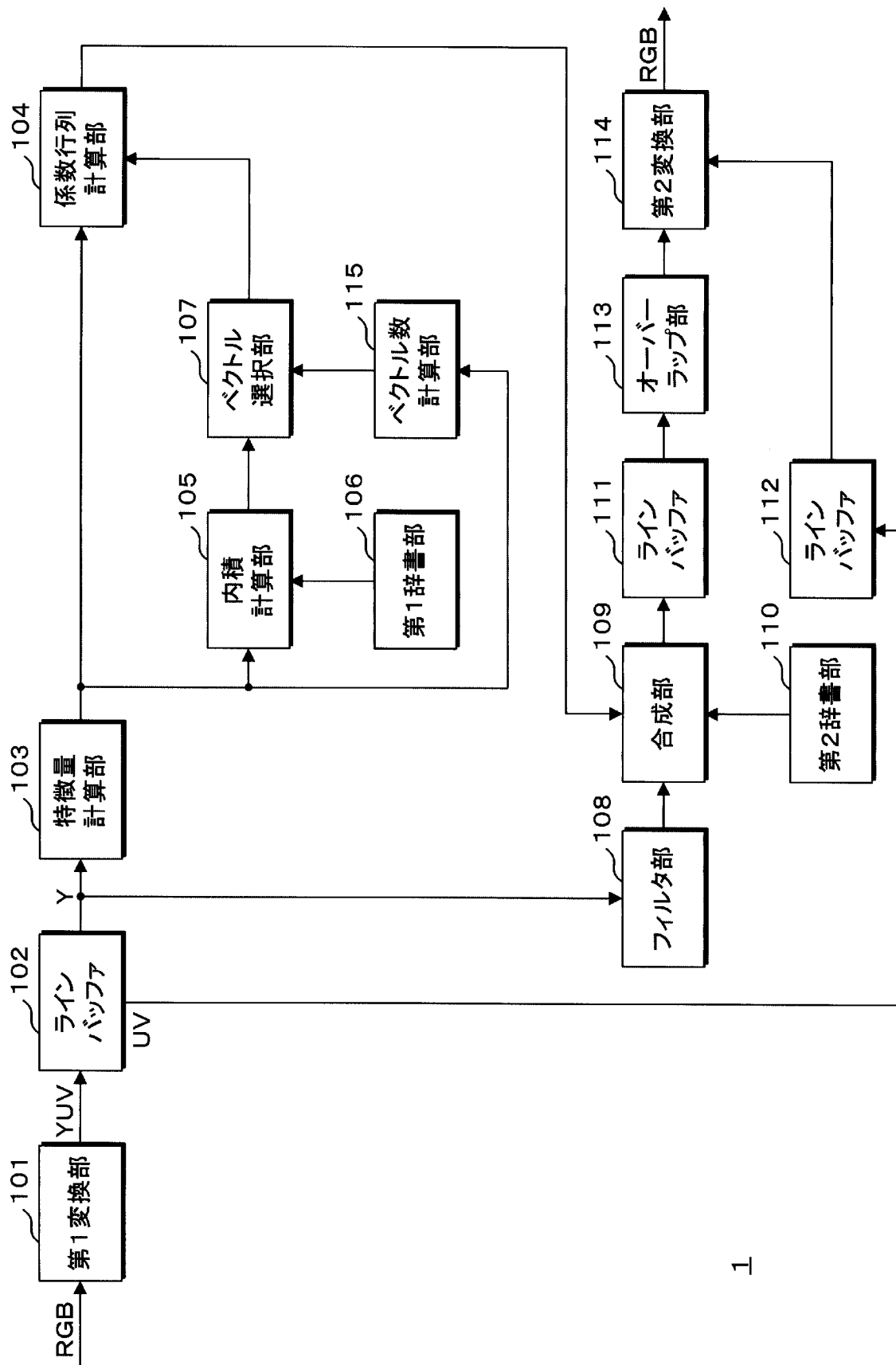
[図7]



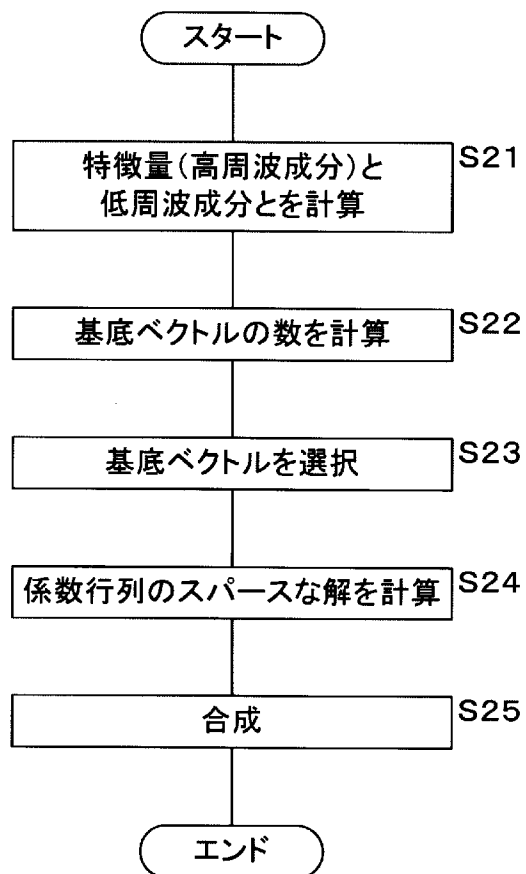
[図8]



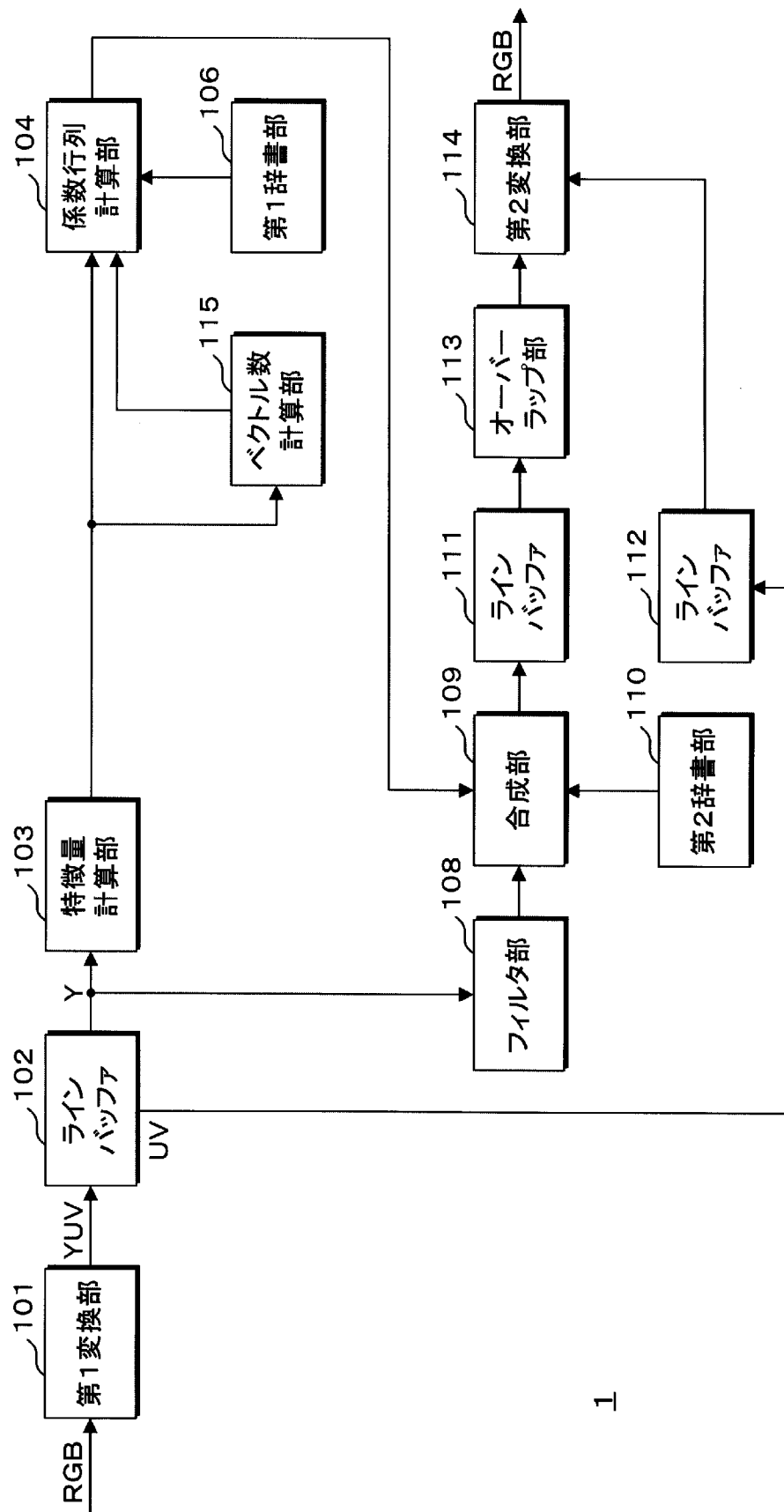
[図9]



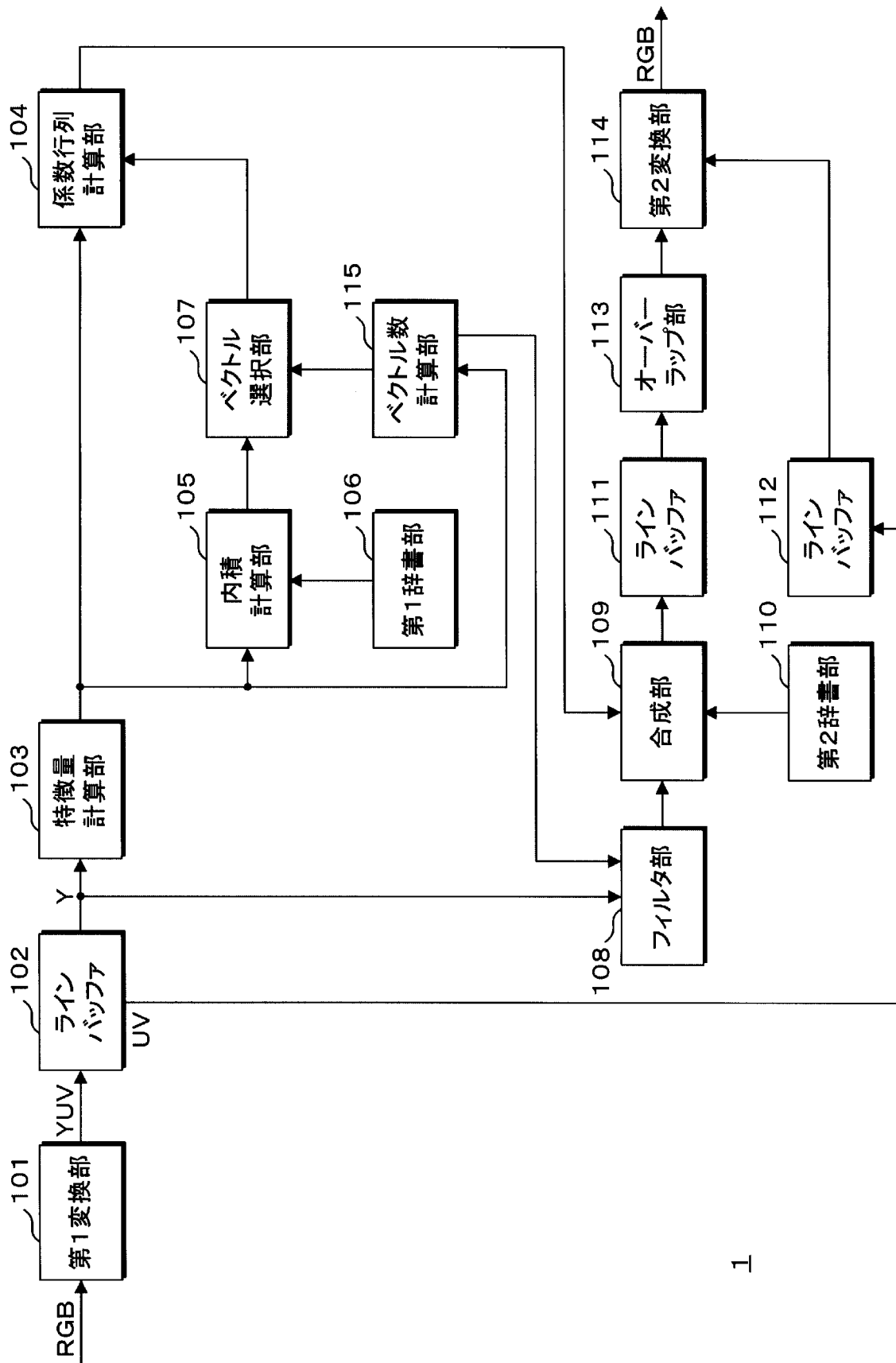
[図10]



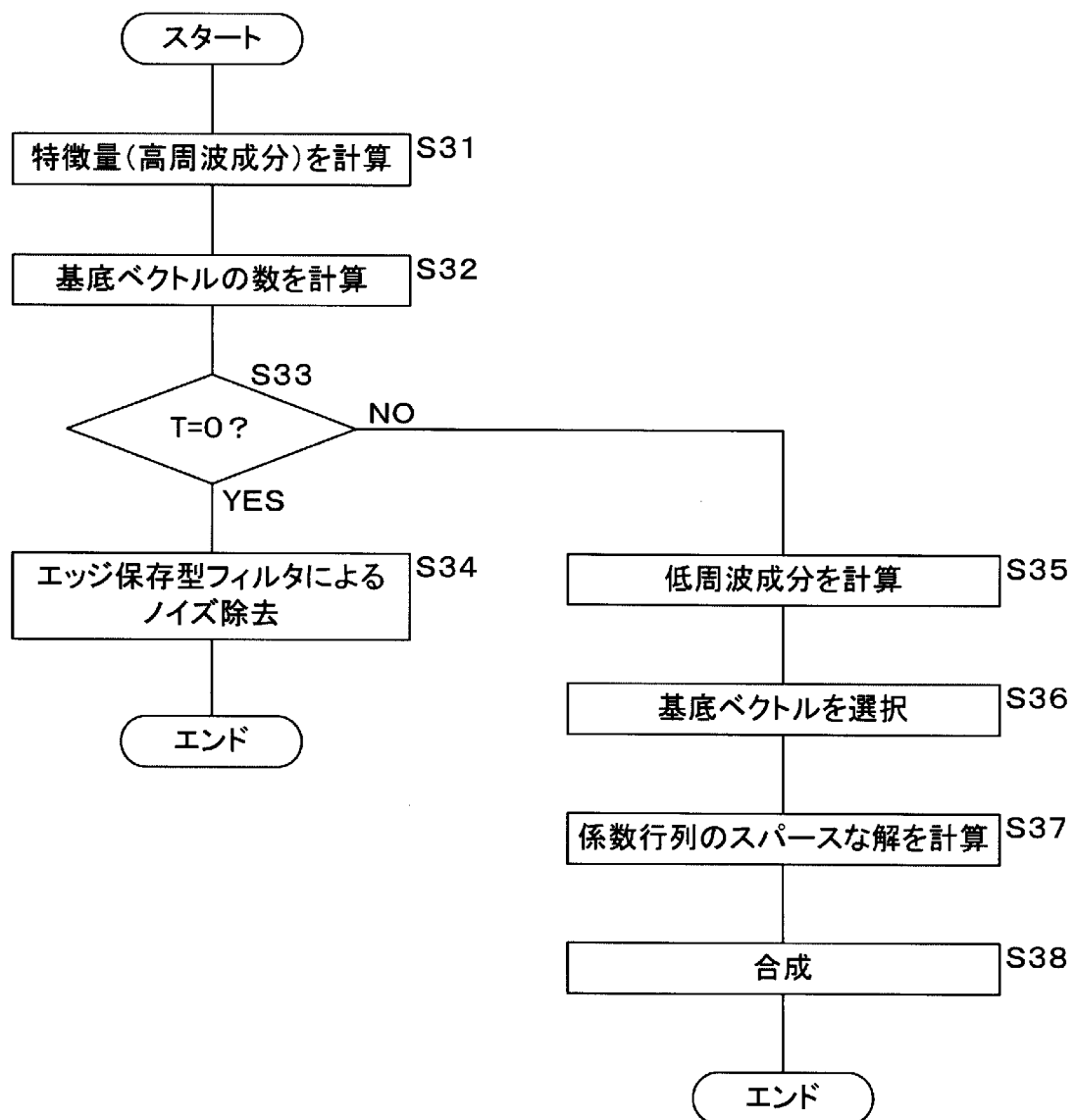
[図11]



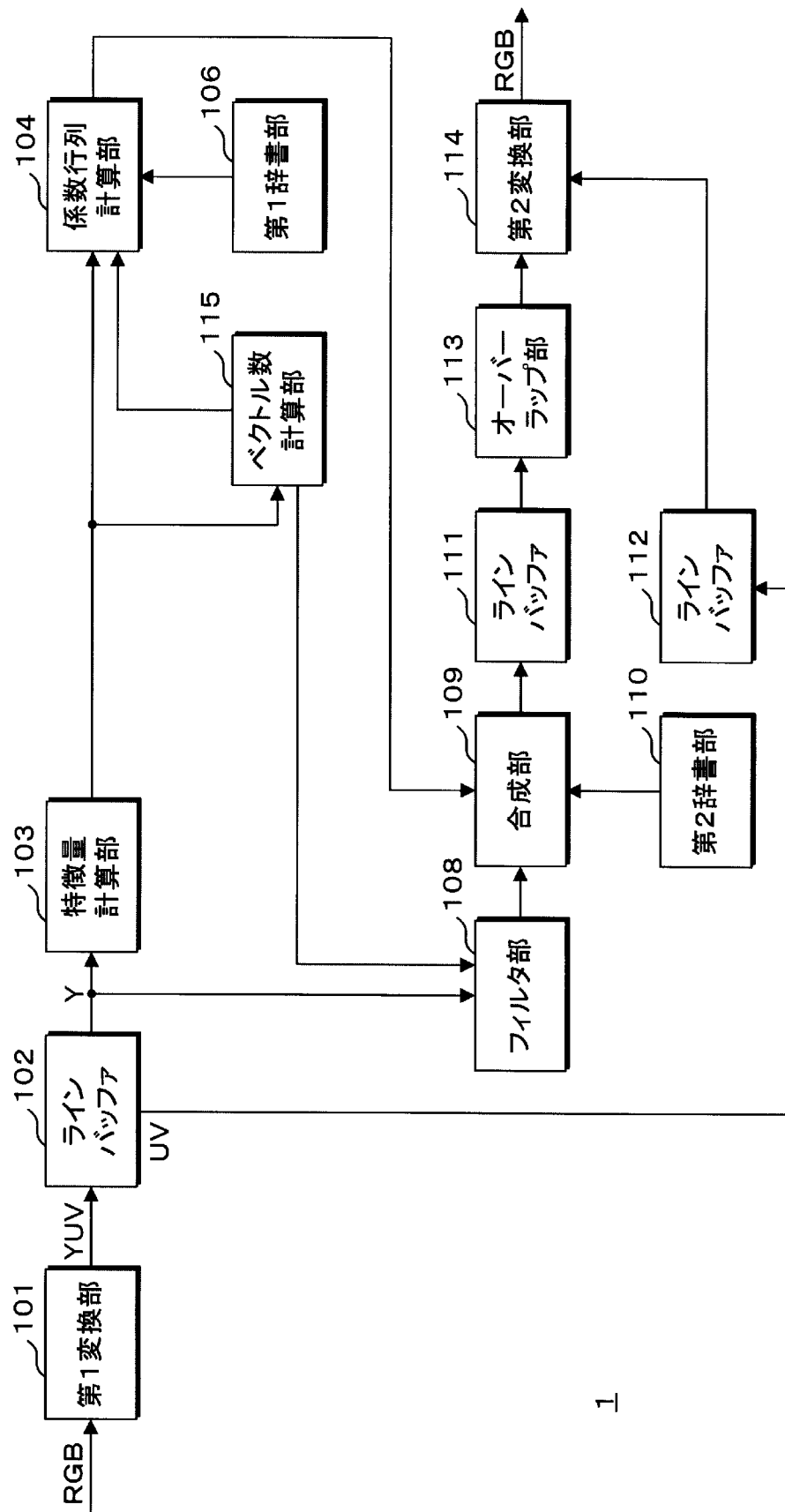
[図12]



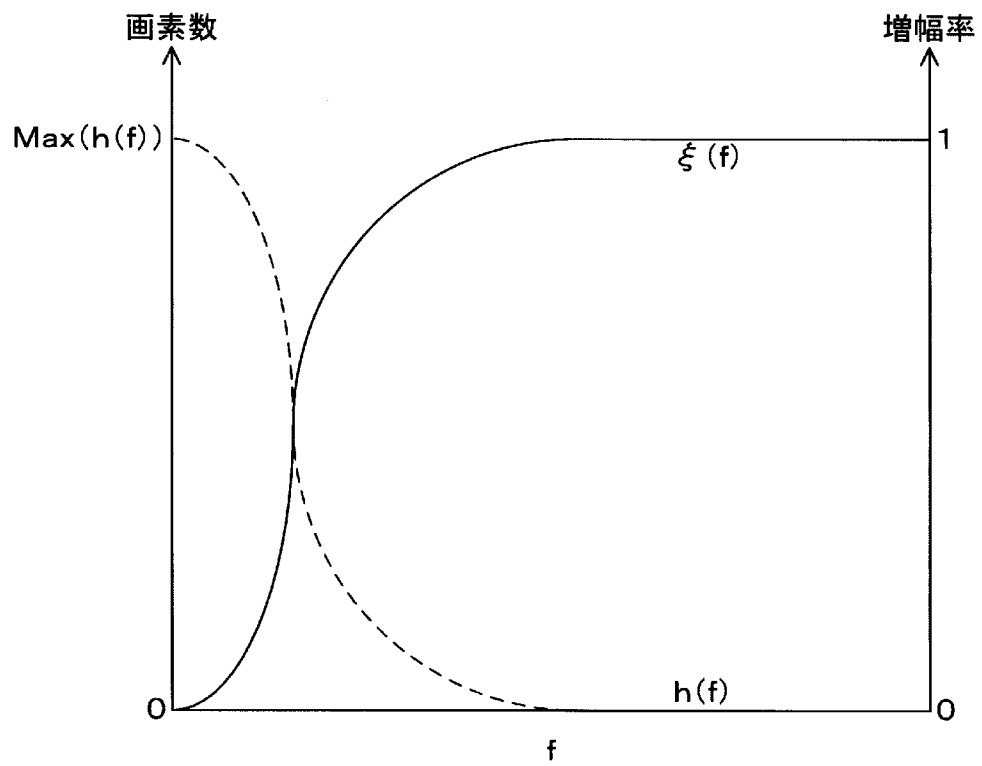
[図13]



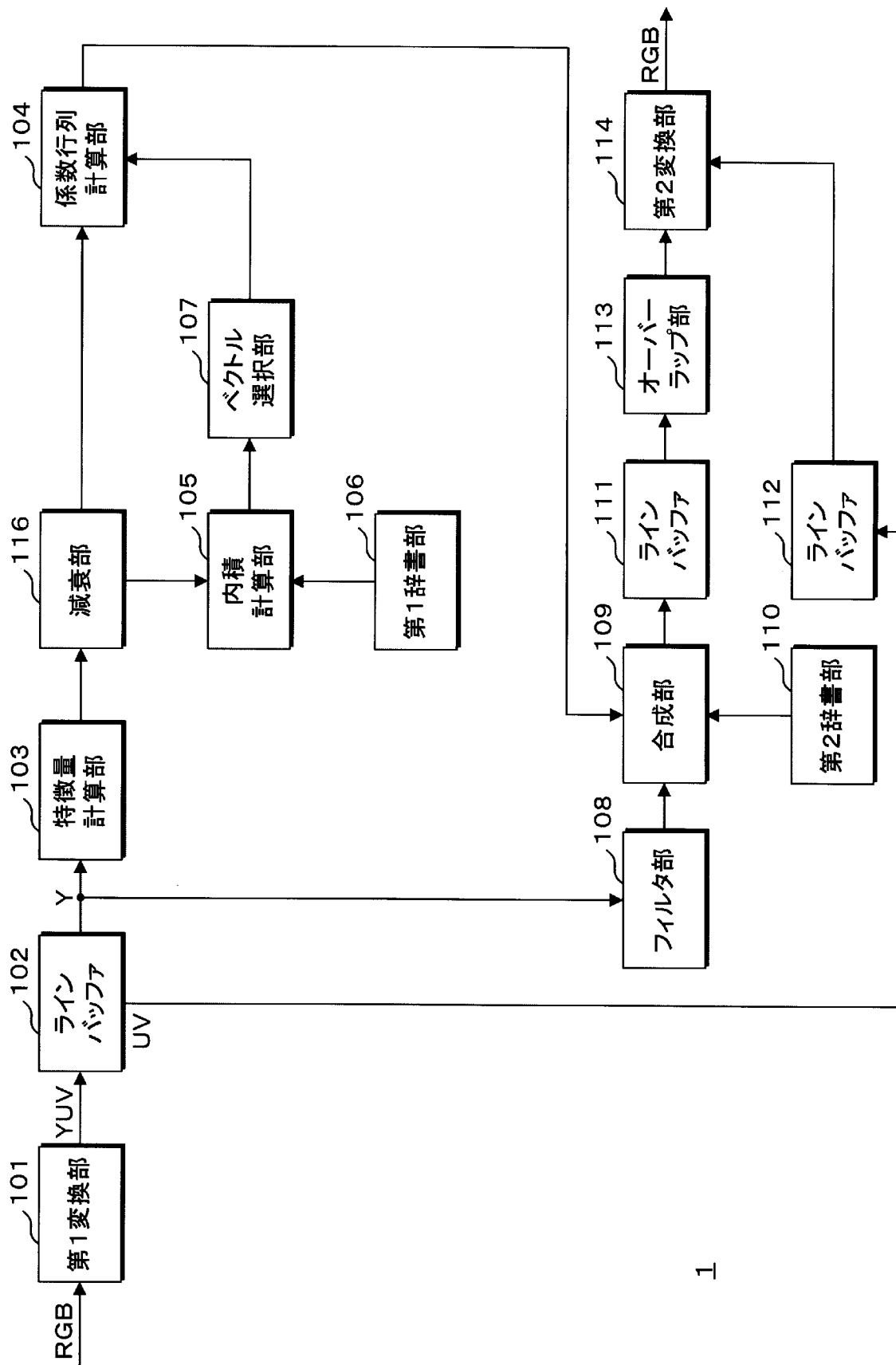
[図14]



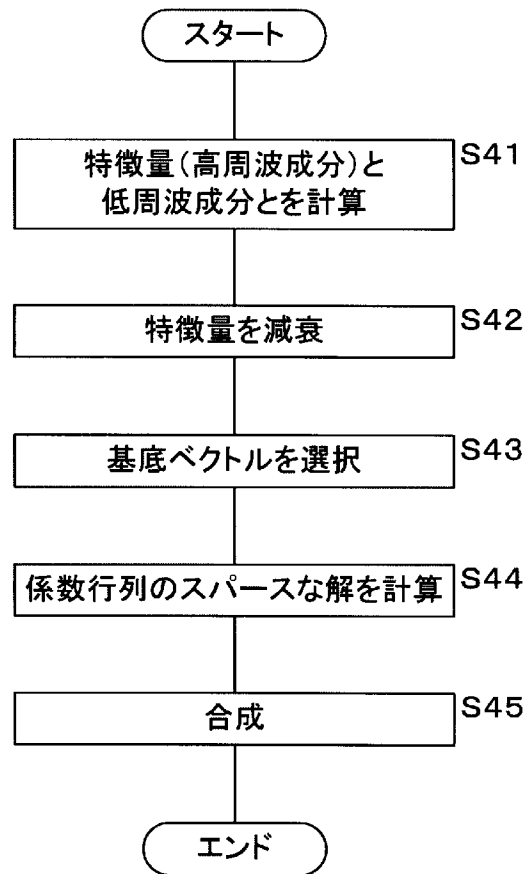
[図15]



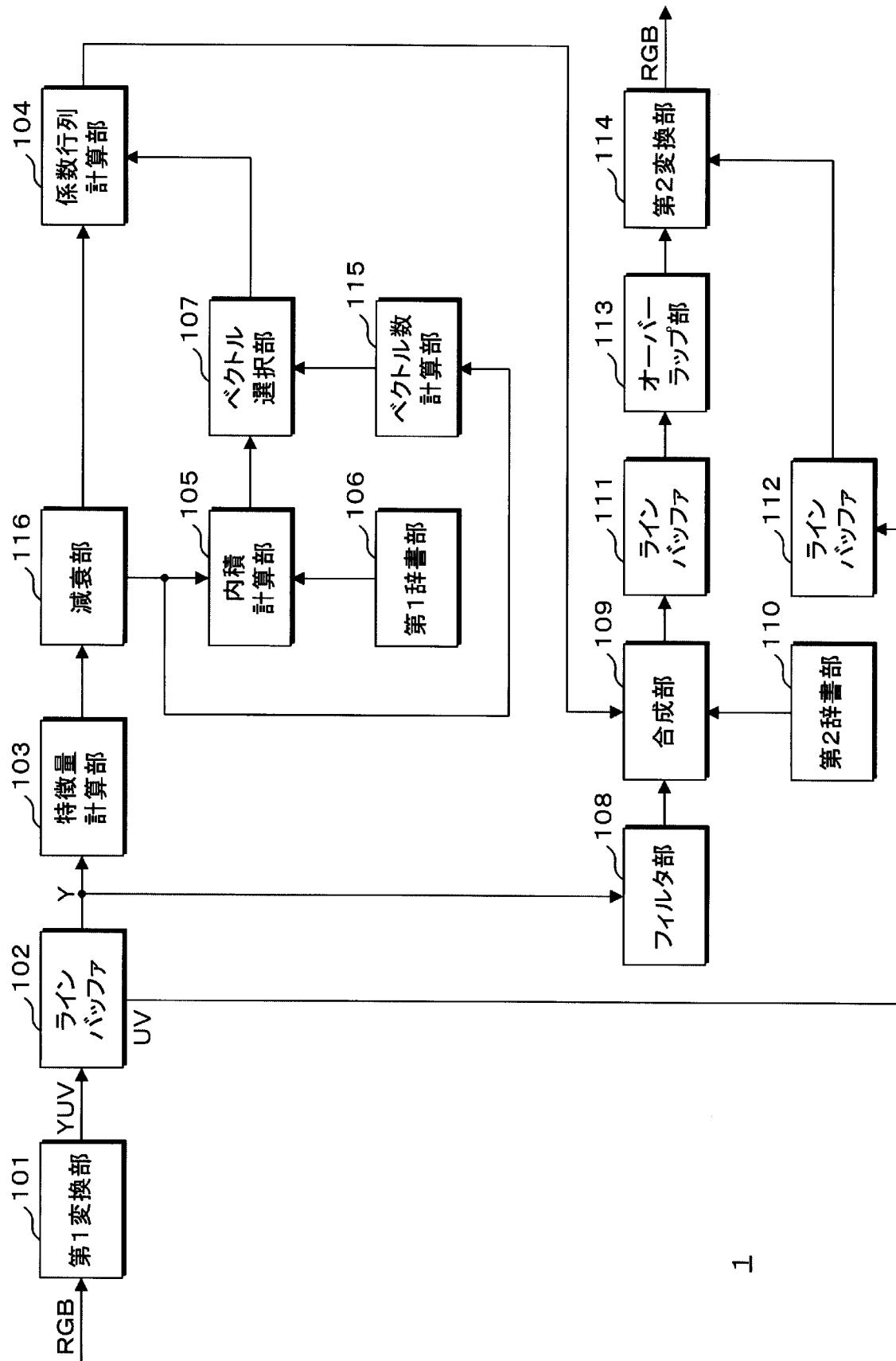
[図16]



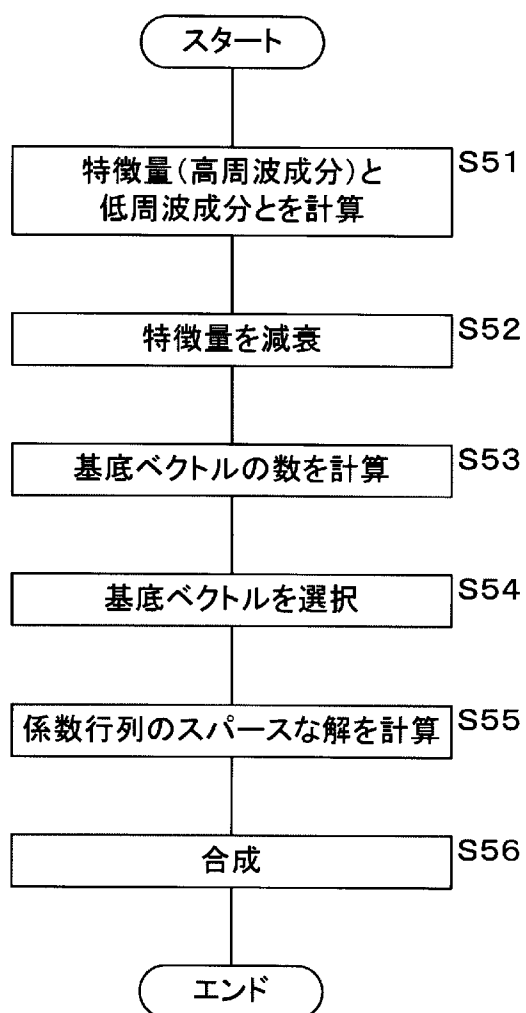
[図17]



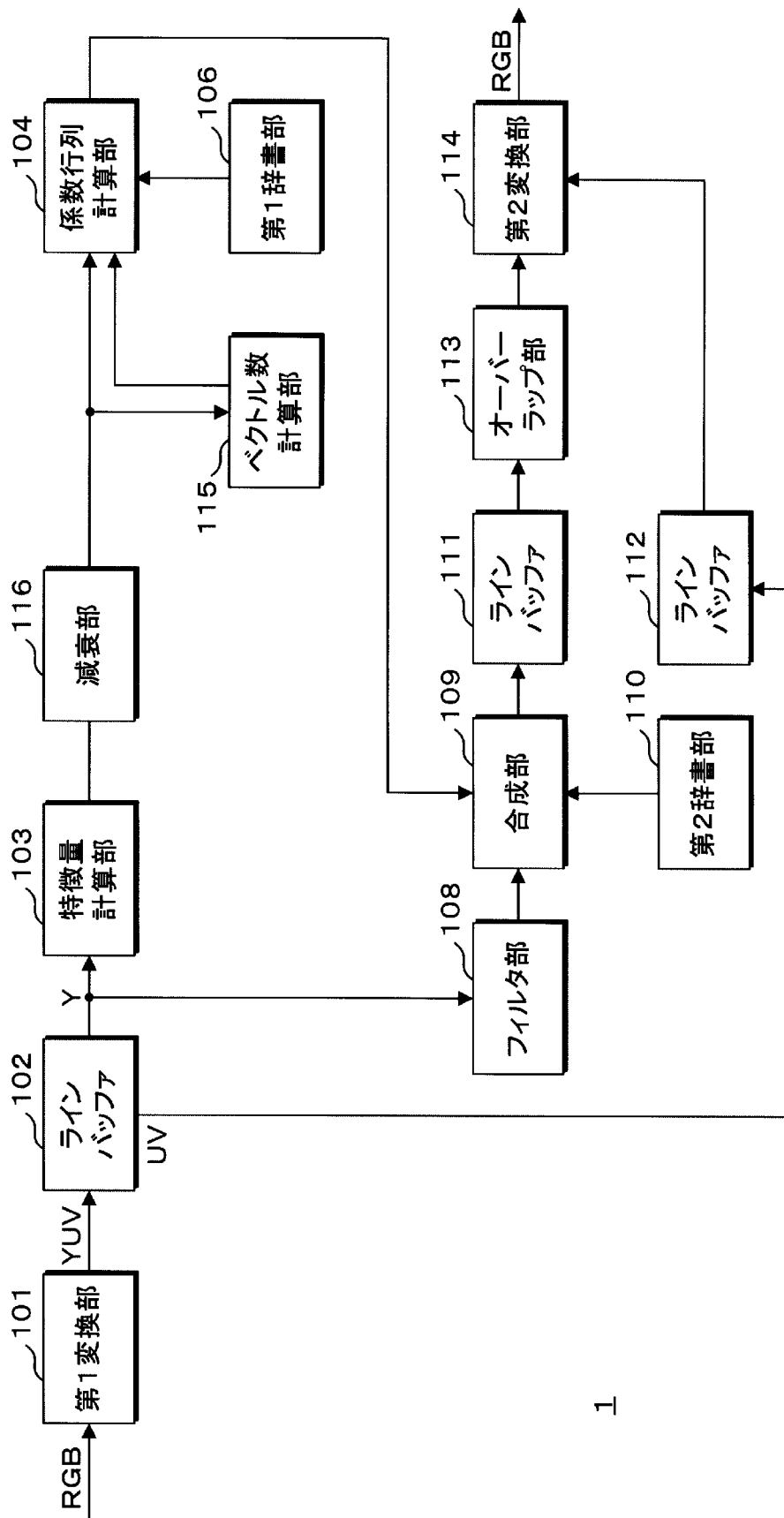
[図18]



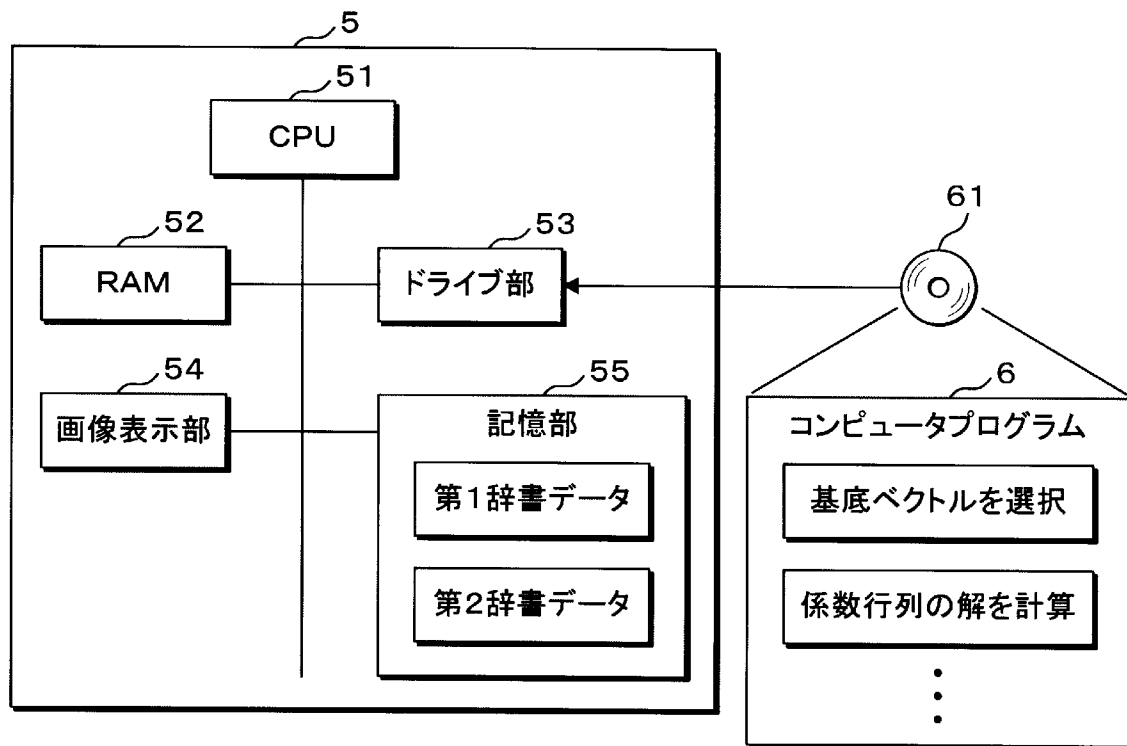
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/078845

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T3/40(2006.01)i, H04N7/01(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)

G06T3/40, H04N7/01

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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

JSTPlus (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	Toshiyuki KATO et al., "Sparse Coding o Mochiita Multiframe Chokaizo", IPSJ SIG Notes, 23 May 2013 (23.05.2013), vol.2013-CVIM-187, no.3, pages 1 to 9	1, 5, 8-10 2-4, 6, 7
Y A	Blondel Mathieu et al., "Learning Robust Sparse Kernel Classifiers", IPSJ SIG Notes, 15 February 2012 (15.02.2012), vol.2011-MPS-86, no.2, pages 1 to 8	1, 5, 8-10 2-4, 6, 7
A	Kengo MAKINO et al., "Kinbo Patch no Joho ni Motozuku Omomi o Riyo shita Sparse Saikosei ni yoru Ichimai Chokaizo", IPSJ SIG Notes, 23 May 2013 (23.05.2013), vol.2013-CVIM-187, no.16, pages 1 to 6	1-10

☒ 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
18 November, 2014 (18.11.14)

Date of mailing of the international search report
02 December, 2014 (02.12.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/078845

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Tatsuya HARADA, "Large-Scale Generic Image Recognition and Image Representation", IEICE Technical Report, 10 February 2011 (10.02.2011), vol.110, no.414, pages 61 to 74	1-10
A	Makoto NAKASHIZUKA, "Sparse Signal Representations and its Applications to Image processing", The Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers, 01 October 2011 (01.10.2011), vol.65, no.10, pages 33 to 38	1-10
A	Kohei INOUE, Kiichi URAHAMA, "Speed-up of Image Classification and Image Retrieval Based on Sparse Singular Value Decomposition", IEICE Technical Report, 21 June 2002 (21.06.2002), vol.102, no.152, pages 1 to 6	1-10
A	JP 2013-109759 A (Mitsubishi Electric Corp.), 06 June 2013 (06.06.2013), entire text; all drawings & US 2013/0129207 A1	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G06T3/40(2006.01)i, H04N7/01(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. G06T3/40, H04N7/01

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 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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）

JSTPlus(JDreamIII)

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
Y A	加藤 利幸、外 2 名，“スパースコーディングを用いたマルチフレーム超解像”，情報処理学会研究報告，2013.05.23， Vol.2013-CVIM-187, No.3, p.1-9	1, 5, 8-10 2-4, 6, 7
Y A	ブロンデル マチュー、外 2 名，“頑健なスパースカーネル分類器の学習”，情報処理学会研究報告，2012.02.15, Vol.2011-MPS-86, No.2, p.1-8	1, 5, 8-10 2-4, 6, 7

☒ 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

1 8 . 1 1 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 2 . 1 2 . 2 0 1 4

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）

佐田 宏史

5 H

4 1 8 9

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

C (続き) . 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
A	牧野 賢吾、外 3 名, “近傍パッチの情報に基づく重みを利用した スパース再構成による一枚超解像”, 情報処理学会研究報告, 2013. 05. 23, Vol. 2013-CVIM-187, No. 16, p. 1-6	1-10
A	原田 達也, “大規模一般画像認識と画像表現”, 電子情報通信学 会技術研究報告, 2011. 02. 10, Vol. 110, No. 414, p. 61-74	1-10
A	中静 真, “スパース信号表現とその画像処理応用”, 映像情報メ ディア学会誌, 2011. 10. 01, Vol. 65, No. 10, p. 33-38	1-10
A	井上 光平、浦浜 喜一, “スパースな特異値分解に基づく画像識 別と画像検索の高速化”, 電子情報通信学会技術研究報告, 2002. 06. 21, Vol. 102, No. 152, p. 1-6	1-10
A	JP 2013-109759 A (三菱電機株式会社) 2013. 06. 06, 全文、全図 & US 2013/0129207 A1	1-10