

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-180798

(P2011-180798A)

(43) 公開日 平成23年9月15日(2011.9.15)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G06T 3/00 (2006.01)	G06T 3/00 600A	5B057
H04N 1/387 (2006.01)	H04N 1/387 101	5C076

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 50 頁)

(21) 出願番号 特願2010-43699 (P2010-43699)
 (22) 出願日 平成22年3月1日(2010.3.1)

(71) 出願人 000002185
 ソニー株式会社
 東京都港区港南1丁目7番1号
 (74) 代理人 100093241
 弁理士 官田 正昭
 (74) 代理人 100101801
 弁理士 山田 英治
 (74) 代理人 100086531
 弁理士 澤田 俊夫
 (74) 代理人 100095496
 弁理士 佐々木 榮二
 (74) 代理人 110000763
 特許業務法人大同特許事務所

最終頁に続く

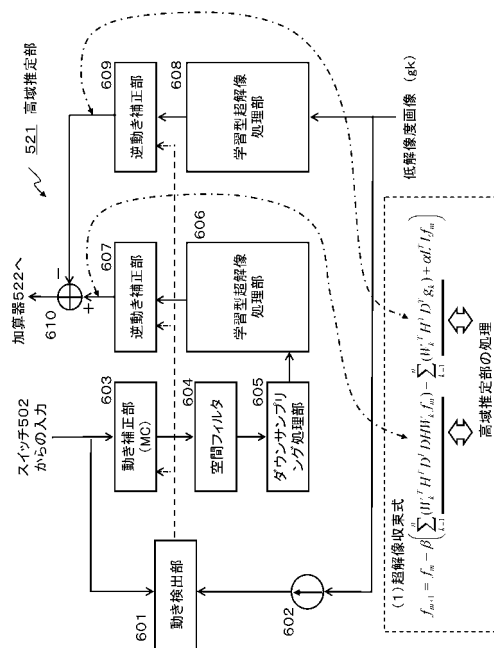
(54) 【発明の名称】 画像処理装置、および画像処理方法、並びにプログラム

(57) 【要約】

【課題】再構成型超解像処理と学習型超解像処理を組み合わせた処理により高解像度画像を生成する装置および方法を提供する。

【解決手段】超解像処理の処理対象となる低解像度画像と、超解像処理の処理過程画像または初期画像である処理画像との差分画像情報を生成し、差分画像情報と処理画像との演算処理により処理画像の更新処理を行って高解像度の画像を生成する。差分画像を生成する高域推定部において、学習データを適用した学習型超解像処理を実行する。具体的には例えばアップサンプリング処理を学習型超解像処理として実行する。本構成により再構成型超解像処理の欠点を解消し高品質な高解像度画像を生成できる。

【選択図】 図 1 8



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像と、超解像処理の処理過程画像または初期画像である処理画像との差分画像情報を生成する高域推定部と、

前記高域推定部の出力する差分画像情報と、前記処理画像との演算処理により前記処理画像の更新処理を行う演算部と、

を有する超解像処理部を有し、

前記高域推定部は、

前記差分画像情報の生成処理において、学習データを適用した学習型データ処理を実行する画像処理装置。

10

【請求項 2】

前記高域推定部は、

高解像度画像からなる処理画像に対するダウンサンプリング処理によって前記低解像度画像と同じ解像度に変換したダウンサンプル処理画像のアップサンプリング処理において学習型超解像処理を実行する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 3】

前記高域推定部は、

前記超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像のアップサンプリング処理において学習型超解像処理を実行する請求項 1 または 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

前記高域推定部は、

低解像度画像と、該低解像度画像に基づいて生成される高解像度画像との局所画像領域の特徴量情報と、低解像度画像を高解像度画像に変換するための画像変換情報との対応データからなる学習データを適用して、学習型超解像処理としてのアップサンプリング処理を実行する請求項 2 または 3 に記載の画像処理装置。

20

【請求項 5】

前記高域推定部は、

高解像度画像からなる処理画像に対するダウンサンプリング処理によって前記低解像度画像と同じ解像度に変換したダウンサンプル処理画像と、

前記超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像との差分画像のアップサンプリング処理において学習型超解像処理を実行する請求項 1 に記載の画像処理装置。

30

【請求項 6】

前記高域推定部は、

低解像度画像と、該低解像度画像に基づいて生成される高解像度画像との差分画像の局所画像領域の特徴量情報と、該差分画像を高解像度差分画像に変換するための画像変換情報との対応データからなる学習データを適用して、学習型超解像処理としてのアップサンプリング処理を実行する請求項 5 に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

前記超解像処理部は、

再構成型超解像手法に従って解像度変換処理を実行する構成を有し、該解像度変換処理におけるアップサンプリング処理において、学習データを適用した学習型超解像処理を実行する請求項 1 ～ 6 いずれかに記載の画像処理装置。

40

【請求項 8】

前記超解像処理部は、

再構成型超解像手法に従って、画像のボケと、動きと、撮像素子の解像度を考慮した解像度変換処理を実行する構成であり、

該解像度変換処理におけるアップサンプリング処理において、学習データを適用した学習型超解像処理を実行する請求項 7 に記載の画像処理装置。

【請求項 9】

前記画像処理装置は、

50

前記演算部の演算結果に対する収束判定を実行する収束判定部を有し、
前記収束判定部は、予め規定した収束判定アルゴリズムに従った収束判定処理を実行し、
収束判定に応じて結果の出力を行う請求項 1 ~ 8 いずれかに記載の画像処理装置。

【請求項 10】

画像処理装置において実行する画像処理方法であり、
高域推定部が、超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像と、超解像処理の処理過程画像または初期画像である処理画像との差分画像情報を生成する高域推定ステップと、
演算部が、前記高域推定ステップにおいて出力する差分画像情報と、前記処理画像との演算処理により前記処理画像の更新処理を行う演算ステップを有し、
前記高域推定ステップは、
前記差分画像情報の生成処理において、学習データを適用した学習型データ処理を実行する画像処理方法。

10

【請求項 11】

画像処理装置において画像処理を実行させるプログラムであり、
高域推定部に、超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像と、超解像処理の処理過程画像または初期画像である処理画像との差分画像情報を生成させる高域推定ステップと、
演算部に、前記高域推定ステップにおいて出力する差分画像情報と、前記処理画像との演算処理により前記処理画像の更新処理を行わせる演算ステップを有し、
前記高域推定ステップにおいて、
前記差分画像情報の生成処理において、学習データを適用した学習型データ処理を実行させるプログラム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像処理装置、および画像処理方法、並びにプログラムに関する。特に、画像の解像度を高める超解像処理を実行する画像処理装置、および画像処理方法、並びにプログラムに関する。

【背景技術】

30

【0002】

低解像度の画像から高解像度の画像を生成する手法として超解像処理が知られている。超解像処理は低解像度の画像から高解像度の画像を生成する処理である。

この超解像処理の手法には、例えば以下の手法がある。

(a) 再構成型超解像手法

(b) 学習型超解像手法

【0003】

(a) 再構成型超解像手法は、低解像度の画像の撮影画像に基づいて、「レンズ、大気散乱によるボケ」、「被写体、カメラ全体の動き」、「撮像素子によるサンプリング」等の撮影条件を示すパラメータを導き出して、これらのパラメータを用いて理想的な高解像度の画像を推定する方法である。

40

なお、再構成型超解像手法について開示した従来技術としては、例えば、特許文献 1 (特開 2008 - 140012 号公報) がある。

【0004】

この再構成型超解像手法の手順の概要は以下の通りである。

(1) ボケ、動き、サンプリング等を考慮した画像撮影モデルを数式で表現する。

(2) 上記の数式モデルで表現した画像撮影モデルから、コスト算出式を求める。この際、ベイジ理論を用いて事前確立等の正則化項を追加する場合もある。

(3) コストを最小とする画像を求める。

この処理によって、高解像度画像を求める手法である。なお、具体的な処理については

50

、発明の説明の前段において詳細何説明する。

この再構成型超解像手法によって得られる高解像度画像は入力画像に依存するものの、超解像効果(解像度復元効果)は高い。

【0005】

一方、(b)学習型超解像手法は、予め生成した学習データを利用した超解像処理を行うものである。学習データは、例えば低解像度画像から高画像度画像を生成する変換情報等によって構成される。学習データの生成処理は、例えばシミュレーションなどで作成した想定入力画像(低解像度画像)と、理想画像(高解像度画像)を比較して、低解像度画像から高画像度画像を生成する変換情報を作成する処理として行われる。

【0006】

このような学習データを作成して、この学習データを利用して新たな入力画像としての低解像度画像を高解像度画像に変換する。

なお、学習型超解像手法について開示した従来技術としては、例えば、特許文献2(特許3321915号公報)がある。

この学習型超解像手法は、学習データを作成すれば、様々な入力画像に対して安定した出力結果としての高解像度画像を得ることができる。

【0007】

しかし、(a)再構成型超解像手法は、一般に高い性能が期待できるものの、

「複数枚の低解像度画像の入力を必要とする」、

「入力画像の帯域等の制約が存在する」、

これらの制約があり、これらの制約条件を満足しない入力画像(低解像度画像)が得られない場合は、再構成性能が十分に発揮できず、十分な高解像度画像を生成できない場合があるという問題がある。

【0008】

一方、(b)学習型超解像手法は、入力枚数、入力画像の性質による制約は少なく安定しているが、最終的に得られる高解像度画像のピーク性能は再構成型超解像に及ばないという問題がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2008-140012号公報

【特許文献2】特許3321915号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、再構成型超解像手法と学習型超解像手法の利点を生かした超解像手法を実現する画像処理装置、および画像処理方法、並びに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】

【0011】

本発明の第1の側面は、

超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像と、超解像処理の処理過程画像または初期画像である処理画像との差分画像情報を生成する高域推定部と、

前記高域推定部の出力する差分画像情報と、前記処理画像との演算処理により前記処理画像の更新処理を行う演算部と、

を有する超解像処理部を有し、

前記高域推定部は、

前記差分画像情報の生成処理において、学習データを適用した学習型データ処理を実行する画像処理装置にある。

【0012】

10

20

30

40

50

さらに、本発明の画像処理装置の一実施態様において、前記高域推定部は、高解像度画像からなる処理画像に対するダウンサンプリング処理によって前記低解像度画像と同じ解像度に変換したダウンサンプル処理画像のアップサンプリング処理において学習型超解像処理を実行する。

【0013】

さらに、本発明の画像処理装置の一実施態様において、前記高域推定部は、前記超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像のアップサンプリング処理において学習型超解像処理を実行する。

【0014】

さらに、本発明の画像処理装置の一実施態様において、前記高域推定部は、低解像度画像と、該低解像度画像に基づいて生成される高解像度画像との局所画像領域の特徴量情報と、低解像度画像を高解像度画像に変換するための画像変換情報との対応データからなる学習データを適用して、学習型超解像処理としてのアップサンプリング処理を実行する。

10

【0015】

さらに、本発明の画像処理装置の一実施態様において、前記高域推定部は、高解像度画像からなる処理画像に対するダウンサンプリング処理によって前記低解像度画像と同じ解像度に変換したダウンサンプル処理画像と、前記超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像との差分画像のアップサンプリング処理において学習型超解像処理を実行する。

【0016】

さらに、本発明の画像処理装置の一実施態様において、前記高域推定部は、低解像度画像と、該低解像度画像に基づいて生成される高解像度画像との差分画像の局所画像領域の特徴量情報と、該差分画像を高解像度差分画像に変換するための画像変換情報との対応データからなる学習データを適用して、学習型超解像処理としてのアップサンプリング処理を実行する。

20

【0017】

さらに、本発明の画像処理装置の一実施態様において、前記超解像処理部は、再構成型超解像手法に従って解像度変換処理を実行する構成を有し、該解像度変換処理におけるアップサンプリング処理において、学習データを適用した学習型超解像処理を実行する。

【0018】

さらに、本発明の画像処理装置の一実施態様において、前記超解像処理部は、再構成型超解像手法に従って、画像のボケと、動きと、撮像素子の解像度を考慮した解像度変換処理を実行する構成であり、該解像度変換処理におけるアップサンプリング処理において、学習データを適用した学習型超解像処理を実行する。

30

【0019】

さらに、本発明の画像処理装置の一実施態様において、前記画像処理装置は、前記演算部の演算結果に対する収束判定を実行する収束判定部を有し、前記収束判定部は、予め規定した収束判定アルゴリズムに従った収束判定処理を実行し、収束判定に応じて結果の出力を行う。

【0020】

さらに、本発明の第2の側面は、
画像処理装置において実行する画像処理方法であり、
高域推定部が、超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像と、超解像処理の処理過程画像または初期画像である処理画像との差分画像情報を生成する高域推定ステップと、
演算部が、前記高域推定ステップにおいて出力する差分画像情報と、前記処理画像との演算処理により前記処理画像の更新処理を行う演算ステップを有し、
前記高域推定ステップは、
前記差分画像情報の生成処理において、学習データを適用した学習型データ処理を実行する画像処理方法にある。

40

50

【 0 0 2 1 】

さらに、本発明の第3の側面は、
 画像処理装置において画像処理を実行させるプログラムであり、
 高域推定部に、超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像と、超解像処理の処理過程画像または初期画像である処理画像との差分画像情報を生成させる高域推定ステップと、
 演算部に、前記高域推定ステップにおいて出力する差分画像情報と、前記処理画像との演算処理により前記処理画像の更新処理を行わせる演算ステップを有し、
 前記高域推定ステップにおいて、
 前記差分画像情報の生成処理において、学習データを適用した学習型データ処理を実行させるプログラムにある。

10

【 0 0 2 2 】

なお、本発明のプログラムは、例えば、様々なプログラム・コードを実行可能な情報処理装置やコンピュータ・システムに対して、コンピュータ可読な形式で提供する記憶媒体、通信媒体によって提供可能なプログラムである。このようなプログラムをコンピュータ可読な形式で提供することにより、情報処理装置やコンピュータ・システム上でプログラムに応じた処理が実現される。

【 0 0 2 3 】

本発明のさらに他の目的、特徴や利点は、後述する本発明の実施例や添付する図面に基づくより詳細な説明によって明らかになるであろう。なお、本明細書においてシステムとは、複数の装置の論理的集合構成であり、各構成の装置が同一筐体内にあるものには限らない。

20

【 発明の効果 】

【 0 0 2 4 】

本発明の一実施例の構成によれば、再構成型超解像処理と学習型超解像処理を組み合わせた処理により高解像度画像を生成する装置および方法が提供される。本発明の一実施例によれば、超解像処理の処理対象となる低解像度画像と、超解像処理の処理過程画像または初期画像である処理画像との差分画像情報を生成し、差分画像情報と処理画像との演算処理により処理画像の更新処理を行って高解像度の画像を生成する。差分画像を生成する高域推定部において、学習データを適用した学習型超解像処理を実行する。具体的には例えばアップサンプリング処理を学習型超解像処理として実行する。本構成により再構成型超解像処理の欠点を解消し高品質な高解像度画像を生成できる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 5 】

【 図 1 】カメラによる撮影処理によって得られる低解像度画像 (g_k) と理想的な高解像度画像である理想画像 (f) との関係について説明する図である。

【 図 2 】画像処理に適用するパラメータの設定について説明する図である。

【 図 3 】超解像処理を実行する画像処理装置の構成例について説明する図である。

【 図 4 】超解像処理部 1 1 3 の構成と処理の詳細について説明する図である。

【 図 5 】図 4 に示す超解像処理部 1 1 3 内に設定される複数の高域推定部 1 2 1 の個々の詳細構成と処理について説明する図である。

40

【 図 6 】図 4 に示す超解像処理部 1 1 3 内に設定される画質制御部 1 2 3 の詳細構成と処理について説明する図である。

【 図 7 】図 4 に示す超解像処理部 1 1 3 内に設定されるスケール計算部 1 2 6 の処理について説明する図である。

【 図 8 】処理対象を動画とした再構成型超解像処理を行う画像処理装置の構成例を示す図である。

【 図 9 】図 8 に示す動画初期画像生成部 2 0 1 の詳細構成と処理について説明する図である。

【 図 1 0 】図 8 に示す再構成型超解像処理を行う画像処理装置 2 0 0 中の動画超解像処理

50

部 2 0 2 の構成と処理について説明する図である。

【図 1 1】動画超解像処理部 2 0 2 内の動画高域推定部 2 1 1 の詳細構成と処理について説明する図である。

【図 1 2】学習型超解像手法を実行する画像処理装置の構成と処理の概要について説明する図である。

【図 1 3】学習処理を実行して学習データを生成する学習処理実行装置について説明する図である。

【図 1 4】図 1 3 に示す画像特徴量抽出部 3 2 3 の実行する画像特徴量抽出処理の詳細について説明する図である。

【図 1 5】学習データを適用した学習型超解像処理を実行する学習型超解像処理実行装置の構成と処理例について説明する図である。

【図 1 6】本発明の一実施例に係る画像処理装置の構成例について説明する図である。

【図 1 7】図 1 6 に示す画像処理装置 5 0 0 内の超解像処理部 5 0 3 の詳細構成を示す図である。

【図 1 8】図 1 7 に示す超解像処理部 5 0 3 内の高域推定部 5 2 1 の詳細構成を示す図である。

【図 1 9】図 1 7 に示す超解像処理部 5 0 3 内のスケール計算部 5 2 6、および周囲演算部の入出力データの詳細について説明する図である。

【図 2 0】本発明の画像処理装置の第 2 実施例における高域推定部 5 2 1 の詳細構成を示す図である。

【図 2 1】本発明の第 3 実施例の画像処理装置の構成例を示す図である

【図 2 2】図 2 1 に示す動画初期画像生成部 7 0 1 の詳細構成と処理について説明する図である。

【図 2 3】図 2 1 に示す画像処理装置 7 0 0 中の動画超解像処理部 7 0 2 の構成と処理について説明する図である。

【図 2 4】図 2 1 に示す動画超解像処理部 7 0 2 内の動画高域推定部 7 1 1 の詳細構成と処理について説明する図である。

【図 2 5】本発明の第 4 実施例に係る画像処理装置の動画高域推定部の詳細構成と処理について説明する図である。

【図 2 6】本発明の画像処理装置のハードウェア構成例について説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0 0 2 6】

以下、図面を参照しながら本発明の画像処理装置、および画像処理方法、並びにプログラムの詳細について説明する。なお、説明は以下の項目に従って行う。

1. 説明に用いる語句の定義についての説明
2. 超解像手法の概要について
 - (2 a) 再構成型超解像手法の概要
 - (2 b) 学習型超解像手法の概要
 - (2 c) 各超解像手法の問題点
3. 本発明に従った超解像手法の実施例について
 - (3 a) 実施例 1
 - (3 b) 実施例 2
 - (3 c) 実施例 3
4. 画像処理装置のハードウェア構成例について

【0 0 2 7】

[1. 説明に用いる語句の定義についての説明]

まず、本発明の説明の前に、以下の説明に用いる語句の定義について説明する。

【0 0 2 8】

(入力画像)

入力画像は、実際に撮像素子等で撮影された画像であり、超解像処理を実行する画像処

10

20

30

40

50

理装置へ入力される画像である。

この入力画像は、例えば撮影条件等による劣化、伝送、記録時の劣化等が生じている可能性のある画像であり、一般的には低解像度画像である。

(出力画像)

出力画像は、上記の入力画像に対して画像処理装置において超解像処理の施された結果として得られる画像である。なお、出力画像は、入力画像を任意倍率に拡大、縮小した高解像度画像として出力可能である。

(理想画像)

理想画像は、前述の入力画像の撮影による画質劣化、制約が存在しない場合に得られる理想的な画像であり、超解像処理の処理結果として取得することを目的とする高解像度の目標画像である。

10

【0029】

(再構成型超解像手法)

再構成型超解像手法は、超解像処理の従来手法の一例である。「レンズ、大気散乱によるボケ」、「被写体、カメラ全体の動き」、「撮像素子によるサンプリング」等の撮影条件から理想的な画像としての高解像度画像を推定する方法である。

再構成型超解像処理は以下の手順により構成される。

(a) ボケ、動き、サンプリング等を考慮した画像撮影モデルを数式で表現する。

(b) 画像撮影モデルより、コスト式を求める。この際、ベイズ理論を用いて事前確立等の正則化項を追加する場合もある。

20

(c) コストを最小となる画像を求める。

結果は入力画像に依存するものの、超解像効果(解像度復元効果)は高い。

【0030】

(学習型超解像手法)

学習型超解像手法は、シミュレーションなどで作成した想定入力画像(低解像度画像)と、理想画像(高解像度画像)を比較して、低解像度画像から高画像度画像を生成するための学習データを作成して、この学習データを利用して新たな入力画像としての低解像度画像を高解像度画像に変換する手法である。

【0031】

[2. 超解像手法の概要について]

30

次に、低解像度画像を高解像度画像に変換する超解像手法の概要について以下の2つの手法について、順次説明する。

(2a) 再構成型超解像手法の概要

(2b) 学習型超解像手法の概要

【0032】

(2a) 再構成型超解像手法の概要

まず、再構成型超解像手法の概要について説明する。

再構成型超解像手法は、例えば位置ずれのある複数の低解像度画像を用いて、1つの高解像度画像を生成する方法であり、ML(Maximum-Likelihood)法やMAP(Maximum A Posterior)法が知られている。

40

以下、一般的なMAP法の概要について説明する。

【0033】

ここでは、 n 枚の低解像度画像を入力して、高解像画像を生成する場合について説明する。

まず、図1を参照して、カメラによる撮影処理によって得られる低解像度画像(g_k)と理想的な高解像度画像である理想画像(f)との関係について説明する。

理想画像(f)10は、図1に示すようにある被写体を撮影した実環境に対応する画素値を持つ画像であると言える。

カメラで撮影して得られる画像を撮影画像としての低解像度画像(g_k)20とする。なお、低解像度画像(g_k)20が超解像処理を実行する画像処理装置に対する入力画像

50

となる。

【0034】

超解像処理の実行対象であり撮影画像である低解像度画像 (g_k) 20は、様々な要因で理想画像 (f) 10の持つ画像情報の一部が失われた画像であると言える。

主な画像情報の消失原因に、図1に示す以下の要因がある。

動き (image warping) 11 (= W_k)、

ボケ (blur) 12 (= H)、

カメラ解像度 (camera resolution decimation) 13 (= D)、

ノイズ (noise) 14 (= n_k)、

10

【0035】

動き (W_k) 11は、被写体自身の動きやカメラの動きである。

ボケ (H) 12は、大気による散乱、カメラ光学系の周波数劣化等によるボケである。

カメラ解像度 (D) 13は、カメラの撮像素子の解像度 (画素数) によって規定されるサンプリングデータの制限である。

ノイズ (n_k) 14は、その他のノイズ、例えば信号処理等において発生する画質劣化等である。

【0036】

これらの様々な要因によって、カメラによって撮影された画像は、低解像度画像 (g_k) 20となる。

20

なお、 k は、カメラによる連続撮影画像の k 枚目の画像であることを示している。

ボケ (H) 12、カメラ解像度 (D) 13は、 k 枚目の画像の撮影タイミングに応じて変化するパラメータではなく、動き (W_k) 11とノイズ (n_k) 14は、撮影タイミングに応じて変化するパラメータとしている。

【0037】

このように、撮影画像である低解像度画像 (g_k) 20は、様々な要因で理想画像 (f) 10の持つ画像情報の一部が失われた画像データとなる。この低解像度画像 (g_k) 20と理想画像 (f) 10との対応関係を数式で示すと以下のように表現することができる。

$$g_k = D H W_k f + n_k \quad \dots \text{(数式1)}$$

30

【0038】

上記式は、超解像処理の実行対象となる低解像度画像 (g_k) 20が、理想画像 (f) 10に対して、動き (W_k)、ボケ (H)、カメラ解像度 (D) によるサンプリングによって劣化し、さらに、ノイズ (n_k) が加算されて生成されることを示している。

【0039】

なお、入力画像 (g_k)、理想画像 (f) を示すデータは、各画像を構成する画素値を表現するデータであればよく、その表現態様としては様々な設定が可能となる。

例えば、入力画像 (g_k)、理想画像 (f) を示すデータは、図2に示すように、縦一列の画素値のベクトルとして表現することができる。

入力画像 (g_k) は要素数 L の縦ベクトル、

40

理想画像 (f) は要素数 J の縦ベクトルである。

要素数は縦一列の画素数に対応する。

【0040】

その他、各パラメータは以下の構成である。

n : 入力画像 (低解像度) 画像の枚数

f : 理想画像、縦ベクトル (要素数 J)

g_k : k 枚目の低解像度画像、縦ベクトル (要素数 L)

n_k : n 枚目の画像に重畳しているノイズ (要素数 L)

w_k : k 枚目の動き (warping) を行う行列 ($J \times J$)

H : レンズによる高域成分の劣化、光学散乱を表現したボケフィルタ行列 ($J \times J$)

50

D : 撮像素子によるサンプリング (s a m p l i n g) を示す行列 (J × L)

【 0 0 4 1 】

上記式 (数式 1) において、動き (W_k)、ボケ (H)、カメラ解像度 (D) が取得可能なパラメータ、すなわち既知であるとする。

この場合、高解像度画像である理想画像 (f) の算出処理は、複数 (n) の低解像度画像 (g_1) ~ (g_n) を用いて、下記式に従って最も確率の高くなる画像 (f) を算出する処理であると考えることができる。

【 0 0 4 2 】

【 数 1 】

$$\arg \max_f \Pr(f | g_1, g_2, \dots, g_n)$$

・・・ (数式 2)

【 0 0 4 3 】

上記式をベイズの定理を用いて変形すると、以下のように変形できる。

【 数 2 】

$$\Pr(f | g_1, g_2, \dots, g_n) = \frac{\Pr(g_1, g_2, \dots, g_n | f) \cdot \Pr(f)}{\Pr(g_1, g_2, \dots, g_n)}$$

・・・ (数式 3)

【 0 0 4 4 】

ここで、複数 (n) の低解像度画像 (g_1) ~ (g_n) は撮影画像であり、既知の画像である。従って、上記式 (数式 3) の分母 $\Pr(g_1, g_2, \dots, g_n)$ は定数となる。従って、分子のみを用いて以下のように示すことができる。

$$\Pr(f | g_1, g_2, \dots, g_n) = \Pr(g_1, g_2, \dots, g_n | f) \cdot \Pr(f)$$

・・・ (数式 4)

【 0 0 4 5 】

さらに、上記式 (数式 4) の両辺の \log をとることにより、以下の式 (数式 5) に変形できる。

$$\log(\Pr(f | g_1, g_2, \dots, g_n)) = \log(\Pr(g_1, g_2, \dots, g_n | f)) + \log(\Pr(f))$$

・・・ (数式 5)

【 0 0 4 6 】

この一連の変形により、当初の式 (数式 2) の問題は、以下のように示すことができる。

【 0 0 4 7 】

【 数 3 】

$$\begin{aligned} \arg \max_f \Pr(f | g_1, g_2, \dots, g_n) &= \arg \max_f (\log(\Pr(g_1, g_2, \dots, g_n | f)) + \log(\Pr(f))) \\ &= \arg \min_f (-(\log[\Pr(g_1, g_2, \dots, g_n | f)] + \log[\Pr(f)])) \end{aligned}$$

10

20

30

40

50

・・・ (数式 6)

【0048】

一方、k 毎目の撮影画像 g_k のノイズ n_k は、前述の式 (数式 1) に従って、以下のよ
うに示すことができる。

$$n_k = g_k - DHW_k f \quad \dots \text{(数式 7)}$$

【0049】

ここでノイズが分散 σ^2 のガウス分布からなると仮定すると、前述の式 (数式 6) に含
まれる、

$$\Pr(g_1, g_2, \dots, g_n | f)$$

は、下式 (数式 8) によって表現できる。

10

【0050】

【数 4】

$$\Pr(g_1, g_2, \dots, g_n | f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\sum_{k=1}^n \|DHW_k f - g_k\|^2 / 2\sigma^2\right)$$

・・・ (数式 8)

【0051】

また、撮影画像として入力される低解像度画像 (g_1) ~ (g_n) は平坦な画像である
と仮定し、画像の事前確率を以下の式 (数式 9) のように定義する。なお、L は、ラプラ
シアンオペレータである。

20

【0052】

【数 5】

$$\Pr(f) = \exp(-\alpha \cdot \|Lf\|^2)$$

30

・・・ (数式 9)

【0053】

これらを代入することで、当初の問題、すなわち理想画像 (f) の算出問題は、以下の
式 (数式 10) においてコスト、すなわち $E(f)$ を最小とする (f) を求める処理とし
て定義できる。

【0054】

【数 6】

$$E(f) = \sum_{k=1}^n \|DHW_k f - g_k\|^2 + \alpha \|Lf\|^2$$

40

・・・ (数式 10)

【0055】

上記コスト計算式 (数式 10) において、コスト $E(f)$ を最小とする (f) は、勾配
法を用いて求めることができる。

f_0 を任意の初期値、

f_m を m 回の画像処理 (超解像化処理) の繰り返し処理 (iteration) 後の画

50

像、

とすると、以下の超解像収束式（数式 1 1）が定義できる。

【 0 0 5 6 】

【 数 7 】

$$f_{m+1} = f_m - \beta \frac{\partial E(f_m)}{\partial f}$$

$$= f_m - \beta \left(\sum_{k=1}^K W_k^T H^T D^T (DHW_k f_m - g_k) + \alpha L^T L f_m \right) \quad 10$$

．．．（数式 1 1）

【 0 0 5 7 】

上記超解像収束式（数式 1 1）において、 β は画像処理（超解像処理）における任意のユーザ設定パラメータである。T は転置行列を示す。

上記関係式（数式 1 1）に従って、勾配法によりコスト E（f）を最小とする理想画像（f）、すなわち高解像度画像を求めることができる。

【 0 0 5 8 】

上記超解像収束式（数式 1 1）に従って、勾配法によりコスト E（f）を最小とする理想画像（f）（= 高解像度画像）を求めるための画像処理、すなわち超解像処理を実行する画像処理装置 1 1 0 の構成例を図 3 に示す。

【 0 0 5 9 】

図 3 に示す画像処理装置 1 1 0 は、初期画像生成部 1 1 1、スイッチ 1 1 2、超解像処理部 1 1 3、収束判定部 1 1 4 を有する。

画像処理装置 1 1 0 は、複数枚（n 枚）の低解像度画像 $g_1 \sim g_n$ を入力し、高解像度画像 f_m を一枚出力する。

図 3 に示す g_1, g_2, \dots, g_n は、n 枚の低解像度入力画像を示す。

【 0 0 6 0 】

初期画像生成部 1 1 1 は、超解像処理結果の初期値を設定する。初期値は任意の値で良いが、この実施例では、 g_1 を入力し、 g_1 を拡大した画像を出力する例とする。

スイッチ 1 1 2 は、初回実行時のみ初期画像生成部 1 1 3 の出力側に倒れ、それ以外は、前回の収束判定部 1 1 4 の出力を超解像処理部 1 1 3 へ入力するように動作する。

【 0 0 6 1 】

超解像処理部 1 1 3 は、n 枚の低解像度画像 $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ 、スイッチ 1 1 2 からの画像を入力とし、結果を収束判定部 1 1 4 へ出力する。超解像処理部 1 1 3 の詳細は後述する。

【 0 0 6 2 】

収束判定部 1 1 4 では、超解像処理部 1 1 3 の出力を入力とし、十分な収束が行われたかどうかの判定を行う。超解像処理部 1 1 3 の結果から十分な収束が行われたと判断した場合、処理結果を外部に出力し、処理を停止する。処理が不十分だと判断した場合、スイッチ 1 1 2 を経由し超解像処理部 1 1 3 へ入力し、再度の演算を実施する。収束判定部 1 1 4 は、例えば、最新の処理結果と前回の処理結果との差分を抽出し、差分が予め規定した値以下となった場合に収束したと判定する。あるいは、予め規定した処理回数に達した場合に収束したと判定し、処理結果を出力する。

【 0 0 6 3 】

図 4 を参照して超解像処理部 1 1 3 の構成と処理の詳細について説明する。図 4 に示すように、超解像処理部 1 1 3 は、複数の高域推定部 1 2 1 の他、画質制御部 1 2 3、スケール計算部 1 2 6、さらに加算器 1 2 2, 1 2 5, 1 2 8、乗算器 1 2 4, 1 2 7 等の演

10

20

30

40

50

算部を有する。

【0064】

超解像処理部113は、図3に示すスイッチ112からの入力、複数(n)の低解像度画像 g_1, g_2, \dots, g_n を入力とし、処理結果を収束判定部114へ出力する。また、画像調整パラメータとしてユーザ設定値を入力する。

【0065】

高域推定部121は、スイッチ112からの入力である再構成途中結果の画像及び低解像度画像 g_1, g_2, \dots, g_n のいずれかを入力とし、加算器122へ処理結果を出力する。高域推定部121では、画像の高域を復元するための、補正值の計算を行う。高域推定部121の処理の詳細については後述する。

10

【0066】

加算器122は、各高域推定部121の結果を加算し、加算器125へ出力する。

画質制御部123では、画像の事前確立モデルに基づいた理想的な画像とするための、画素値の制御値を計算する。出力は、乗算器124へ入力される。

乗算器124では、画質制御部123の出力をユーザ設定値で乗算する。ユーザ設定値の値により、最終的な画像の画質がコントロールされる。なお、図に示す構成では、画質のコントロールが行えるようにユーザ設定値としたが、固定値を用いても問題ない。

【0067】

加算器125では、加算器122, 乗算器124の出力を合算し、スケール計算部126, 及び乗算器127へ計算結果を出力する。スケール計算部126では、スイッチ112からの途中演算結果、加算器125からの画素値制御信号を入力とし、最終的な制御値へのスケール値を決定する。スケール計算部126の結果は乗算器127に出力される。乗算器127では、加算器125の制御値をスケール計算部126の出力値で乗算し、加算器128へ出力する。加算器128では、スイッチ112からの途中結果より、乗算器127の結果を減算し、結果を収束判定部114へ出力する。

20

【0068】

図4に示す超解像処理部113内に設定される複数の高域推定部121の個々の詳細構成と処理について図5を参照して説明する。

高域推定部121では、先に説明した超解像収束式(数式11)中、図5(1)に示す下線部分に相当する処理を行う。

30

【0069】

動き検出部130では、スイッチ112からの高解像度画像、及び低解像度画像 g_k を受け取り両画像間の動きの大きさを検出する。具体的には動きベクトルを計算する。

なお、その前処理として、両画像間では動きが異なるため、低解像度画像 g_k については、例えばアップサンプリングフィルタによって構成される解像度変換部138でアップサンプリング処理を行い生成予定の高解像度画像に解像度を併せる処理を行う。

【0070】

動き補正部(MC)131では、スイッチ112から高解像度画像、動き検出部130からの動きベクトルを入力し、入力された高解像度画像の変形を行う。図5(1)に示す先に説明した超解像収束式(数式11)中の動き(W_k)の演算処理に相当する。

40

【0071】

空間フィルタ132では、空間解像度の劣化をシミュレーションする処理を行う。ここでは、あらかじめ測定しておいた点広がり関数(Point Spread Function)をフィルタとして画像へ畳み込みを行う。図5(1)に示す先に説明した超解像収束式(数式11)中のボケ(H)の演算処理に相当する。

【0072】

ダウンサンプリング処理部133では、高解像度画像を入力画像と同じ解像度までダウンサンプリング処理を実行する。図5(1)に示す先に説明した超解像収束式(数式11)中のカメラ解像度(D)の演算処理に相当する。

【0073】

50

その後、差分器 134 では、ダウンサンプリング処理部 133、低解像度画像 g_k の画素毎の差分値を計算する。

差分値は、アップサンプリング処理部 135 でアップサンプル処理が実行される。この処理は、図 5 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 11) 中のカメラ解像度 (D) の転置行列 (D^T) の演算処理に相当し、0 次ホールドでのアップサンプル処理となる。

【0074】

逆空間フィルタ 136 では、図 5 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 11) 中のボケ (H) の転置行列 (H^T) の演算処理に相当する処理を行う。動作としては、空間フィルタ 132 で用いた点広がり関数 ($PSF: Point Spread Function$) との相関の計算に相当する。

10

逆動き補正部 137 では、動きの逆補正を行う。動き補正部 131 と相殺される動きを差分値に対して適用する。

【0075】

次に、図 4 に示す超解像処理部 113 内に設定される画質制御部 123 の詳細構成と処理について図 6 を参照して説明する。

画質制御部 123 は、図 6 に示すようにラプラシアン変換部 141 によって構成される。

【0076】

図 6 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 11) 中の下線部の演算、すなわち、

20

$$L^T L f_m$$

この演算処理に相当する処理を実行する。

図 3 に示すスイッチ 112 から入力された高解像度画像 (f_m) に対して、ラプラシアン変換部 141 においてラプラシアンオペレータ (L) を 2 回適用して、図 4 に示す乗算器 124 へ出力する。なお、 $L = L^T$ であるので、ラプラシアンオペレータ (L) を 2 回適用する処理もによって、

$$L^T L f_m$$

この演算処理が行われることになる。

【0077】

30

次に、図 4 に示す超解像処理部 113 内に設定されるスケール計算部 126 の処理について図 7 を参照して説明する。

スケール計算部 126 では、最急降下法における画像収束演算での勾配ベクトルに対するスケール (係数) を決定する。すなわち、図 7 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 11) 中の係数 を決定する。係数 は、図 7 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 11) 中の勾配ベクトル (V_a) に対する乗算係数である。

【0078】

スケール計算部 126 は、図 4 に示す加算器 125 から勾配ベクトル (図 7 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 11) 中の (a) 勾配ベクトル (V_a)) を入力し、スイッチ 112 を介して収束中画像 (図 7 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 11) 中の (b) 収束中画像 (f_m)) を受け取る。

40

スケール計算部 126 は、これらの入力に基づいて、図 7 (2) に示す先に式 (数式 10) として説明したコスト計算式で示されるコスト: $E(f_{m+1})$ を最小とする を求める。

この係数 の算出処理としては、一般的には、2 分探索等の手法を用い、最小となるを計算する。なお、計算コストを削減したい場合には、入力によらず、定数を出力する構成でも良い。

【0079】

スケール計算部 126 の結果 () は乗算器 127 に出力される。乗算器 127 では、加算器 125 の出力として得られる勾配ベクトル (V_a) とスケール計算部 126 の出力

50

値 () を乗算し、 (V a) を加算器 1 2 8 へ出力する。加算器 1 2 8 では、スイッチ 1 1 2 からの超解像処理の途中結果として入力する m 回の超解像処理結果としての超解像処理画像 f_m から、乗算器 1 2 7 からの入力である (V a) を減算する処理を行い、 (m + 1) 回目の超解像処理結果 f_{m+1} を算出する。

すなわち、

$$f_{m+1} = f_m - (V a)$$

上記式に基づいて、 (m + 1) 回目の超解像処理結果 f_{m+1} を算出する。この式は、図 7 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 1 1) に対応する。

【 0 0 8 0 】

超解像処理部 1 1 3 は、この (m + 1) 回目の超解像処理結果、すなわち、

$$f_{m+1} = f_m - (V a)$$

上記処理結果を収束判定部 1 1 4 に出力する。

収束判定部 1 1 4 は、超解像処理部 1 1 3 から、 (m + 1) 回目の超解像処理結果、すなわち、

$$f_{m+1} = f_m - (V a)$$

を入力し、この入力に基づいて十分な収束が行われたかどうかの判定を行う。超解像処理部 1 1 3 の結果から十分な収束が行われたと判断した場合、処理結果を外部に出力し、処理を停止する。処理が不十分だと判断した場合、スイッチ 1 1 2 を経由し超解像処理部 1 1 3 へ入力し、再度の演算を実施する。収束判定部 1 1 4 は、例えば、最新の処理結果と前回の処理結果との差分を抽出し、差分が予め規定した値以下となった場合に収束したと判定する。あるいは、予め規定した処理回数に達した場合に収束したと判定し、処理結果を出力する。

【 0 0 8 1 】

次に、図 8 以下を参照して処理対象を動画像に特定した場合の再構成型超解像処理を行う画像処理装置の構成と処理について説明する。なお、この処理対象を動画像とした再構成型超解像処理を行う画像処理装置については本出願人と同一出願人の先の特許出願である特開 2 0 0 8 - 1 4 0 0 1 2 号公報にも記載がある。

【 0 0 8 2 】

図 8 に、処理対象を動画像とした再構成型超解像処理を行う画像処理装置 2 0 0 の構成例を示す。

図 8 に示すように、画像処理装置 2 0 0 は、動画初期画像生成部 2 0 1、動画超解像処理部 2 0 2、画像バッファ 2 0 3 を有する。

【 0 0 8 3 】

動画像に対する処理においては、

g_t : 時刻 t における低解像度動画像の 1 フレーム

f_t : 時刻 t における高解像度動画像の 1 フレーム

上記のように定義する。

このように、低解像度画像 g_t は、時刻 t における低解像度動画像の 1 フレームであり、高解像度画像 f_t は、低解像度画像 g_t に対して超解像処理処理を施した結果として得られる高解像度画像とする。

【 0 0 8 4 】

図 8 に示す再構成型超解像処理を行う画像処理装置 2 0 0 において、低解像度画像 g_t は、動画初期画像生成部 2 0 1 及び、動画超解像処理部 2 0 2 へ入力される。

動画初期画像生成部 2 0 1 では、前フレームの動画超解像処理結果 (f_{t-1}) 及び (g_t) を入力とし、動画超解像処理部 2 0 2 へ生成した初期画像を出力する。動画初期画像生成部 2 0 1 の詳細に関しては、後述する。

【 0 0 8 5 】

動画超解像処理部 2 0 2 では入力された初期画像、低解像度画像 (g_t) を適用して高解像度画像 (f_t) を生成して出力する。動画超解像処理部 2 0 2 の詳細に関しては、後述する。

10

20

30

40

50

動画超解像処理部 202 から出力された高解像度画像は、外部へ出力されるのと同時に画像バッファ 203 へも出力され、次フレームの超解像処理に利用される。

【0086】

次に、図 9 を参照して動画初期画像生成部 201 の詳細構成と処理について説明する。動画初期画像生成部 201 は、前フレームの動画超解像処理結果 (f_{t-1}) 及び (g_t) を入力とし、動画超解像処理部 202 へ生成した初期画像を出力する。

【0087】

まず、低解像度画像 g_t が例えばアップサンプリングフィルタによって構成される解像度変換部 206 でアップサンプリング処理を行い生成予定の高解像度画像に解像度を併せる処理を行う。

動き検出部 205 では、前フレーム高解像度画像 f_{t-1} 、アップサンプリングした低解像度画像 g_t 間の動きの大きさを検出する。具体的には動きベクトルを計算する。

【0088】

動き補正部 (MC) 207 では、動き検出部 205 で検出された動きベクトルを利用して動き補正部 (MC) 207 で高解像度画像 f_{t-1} に対する動き補償処理を行う。これにより高解像度画像 f_{t-1} に動き補償処理が施され、アップサンプリングした低解像度画像 g_t と被写体の位置が同じに設定された動き補償画像が生成される。

【0089】

MC 未適用領域検出部 208 では、動き補正 (MC) 処理により生成された高解像度画像、及びアップサンプルした低解像度画像を比較して、動き補正 (MC) がうまく適用できていない領域を検出する。画素単位に MC の適用の可否情報 [0:1] を設定して出力する。

【0090】

ブレンド処理部 209 は、

動き補正部 (MC) 207 の生成した高解像度画像 f_{t-1} に対する動き補償結果画像

、解像度変換部 206 で低解像度画像 g_t に対してアップサンプリングされたアップサンプル画像、

MC 未適用領域検出部 208 で検出された MC 未適用領域検出情報、これらを入力する。

【0091】

ブレンド処理部 209 は、これらの入力情報を利用して、以下の式に基づいてブレンド結果としての動画超解像初期画像を出力する。

動画超解像初期画像 (ブレンド結果) = (1 -) (アップサンプル画像) + (動き補償結果画像)

【0092】

次に、図 8 に示す再構成型超解像処理を行う画像処理装置 200 中の動画超解像処理部 202 の構成と処理について図 10 を参照して説明する。

動画超解像処理部 202 のブロック図を図 10 に示す。動画超解像処理部 202 は、高域推定部が 1 つの動画高域推定部 211 として構成されている点を除き、先に、図 4 を参照して説明した静止画に対する超解像処理を行う超解像処理部 113 と同様の構成を有する。

【0093】

図 10 に示すように、動画超解像処理部 202 は、動画高域推定部 211 の他、画質制御部 212、スケール計算部 215、さらに加算器 214, 217、乗算器 213, 216 等の演算部を有する。

【0094】

動画超解像処理部 202 は、図 8 に示す動画初期画像生成部 201 から、前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像を入力する。すなわち、

動画超解像初期画像 (ブレンド結果) = (1 -) (アップサンプル画像) + (動き

10

20

30

40

50

補償結果画像)

上記ブレンド結果を入力する。

さらに、低解像度画像 g_t 、画像調整パラメータとしてユーザ設定値 α を入力し、処理結果としての高解像度画像 (f_t) を生成して出力する。

【0095】

動画超解像処理部 202 内の動画高域推定部 211 の詳細構成と処理について図 11 を参照して説明する。動画高域推定部 211 は、先に図 5 を参照して説明した静止画対応の高域推定部 121 と同様、画像の高域を復元するための補正值の計算を行う。

動画高域推定部 211 は、先に図 5 を参照して説明した静止画対応の高域推定部 121 と異なり、動き検出部、動き補正部、逆動き補正部が存在しないが、静止画対応の高域推定部 121 と同様、画像の高域を復元するための補正值の計算を行う。

【0096】

動画高域推定部 211 は、動画初期画像生成部 201 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像と、低解像度画像 (g_t) を入力し、加算器 214 へ処理結果を出力する。

【0097】

図 11 に示す空間フィルタ 211 では、動画初期画像生成部 201 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像を入力して空間解像度の劣化をシミュレーションする処理を行う。ここでは、あらかじめ測定しておいた点広がり関数 (Point Spread Function) をフィルタとして画像へ畳み込みを行う。先に説明した超解像収束式 (数式 11) 中のボケ (H) の演算処理 (図 5 (1) 参照) に相当する。

【0098】

ダウンサンプリング処理部 222 では、高解像度画像を入力画像と同じ解像度までダウンサンプリング処理を実行する。先に説明した超解像収束式 (数式 11) 中のカメラ解像度 (D) の演算処理 (図 5 (1) 参照) に相当する。

【0099】

その後、差分器 223 では、ダウンサンプリング処理部 222、低解像度画像 g_t の画素毎の差分値を計算する。

差分値は、アップサンプリング処理部 224 でアップサンプル処理が実行される。この処理は、先に説明した超解像収束式 (数式 11) 中のカメラ解像度 (D) の転置行列 (D^T) の演算処理 (図 5 (1) 参照) に相当し、0 次ホールドでのアップサンプル処理となる。

【0100】

逆空間フィルタ 225 では、先に説明した超解像収束式 (数式 11) 中のボケ (H) の転置行列 (H^T) の演算処理 (図 5 (1) 参照) に相当する処理を行う。動作としては、空間フィルタ 221 で用いた点広がり関数 (PSF: Point Spread Function) との相関の計算に相当する。逆空間フィルタ 225 の出力は加算器 214 へ出力される。

【0101】

図 10 に示す動画超解像処理部 202 のその他の構成部、すなわち画質制御部 212、スケール計算部 215 は、静止画対応の超解像処理部 113 の画質制御部 123 (図 6 参照)、スケール計算部 126 (図 7 参照) と同様の処理を行う。

【0102】

すなわち、画質制御部 212 は、先に説明した図 6 に示すようにラプラシアン変換部 141 によって構成され、図 6 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 11) 中の下線部の演算、すなわち、

$$L^T L f_m$$

この演算処理に相当する処理を実行する。

動画初期画像生成部 201 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像を入力して動画超解像初期画像に対して、ラプラシアン変換部においてラプラシアンオ

10

20

30

40

50

ペレータ (L) を 2 回適用して、図 10 に示す乗算器 2 1 3 へ出力する。

【 0 1 0 3 】

スケール計算部 2 1 5 では、最急降下法における画像収束演算での勾配ベクトルに対するスケールを決定する。すなわち、先に図 7 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 1 1) 中の係数 を決定する。

【 0 1 0 4 】

スケール計算部 2 1 5 は、図 10 に示す加算器 2 1 4 から勾配ベクトル (図 7 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 1 1) 中の (a) 勾配ベクトル) を入力し、さらに動画初期画像生成部 2 0 1 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像を入力する。

スケール計算部 2 1 5 は、これらの入力に基づいて、図 7 (2) に示す先に式 (数式 1 0) として説明したコスト計算式で示されるコスト : $E (f_{m+1})$ を最小とする を求める。

この の算出処理としては、一般的には、2分探索等の手法を用い、最小となる を計算する。なお、計算コストを削減したい場合には、入力によらず、定数を出力する構成でも良い。

【 0 1 0 5 】

この結果、最小コストの設定可能な が決定される。その後の処理は、先に静止画対応の処理例として説明した図 7 を参照して説明した処理と同様の処理となる。

すなわち、図 10 に示すスケール計算部 2 1 5 の結果 () は乗算器 2 1 6 に出力される。乗算器 2 1 6 では、加算器 2 1 4 の出力として得られる勾配ベクトル (V a) (図 7 (1) 参照) とスケール計算部 2 1 5 の出力値 () を乗算し、 (V a) を加算器 2 1 7 へ出力する。加算器 2 1 7 では、動画初期画像生成部 2 0 1 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像 f_0 から、乗算器 2 1 6 からの入力である (V a) を減算する処理を行い、超解像処理結果 f_t を算出する。

すなわち、

$$f_t = f_0 - (V a)$$

上記式に基づいて、超解像処理結果 f_t を算出する。この式は、図 7 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 1 1) に対応する。

動画超解像処理部 2 0 2 は、これを超解像処理結果として出力し、かつ画像バッファ 2 0 3 に格納する。

【 0 1 0 6 】

(2 b) 学習型超解像手法の概要

次に、学習型超解像手法の概要について説明する。

学習型超解像手法は、シミュレーションなどで作成した想定入力画像 (低解像度画像) と、理想画像 (高解像度画像) を比較して、低解像度画像から高画像度画像を生成するための学習データを作成して、この学習データを利用して新たな入力画像としての低解像度画像を高解像度画像に変換する手法である。

【 0 1 0 7 】

図 1 2 以下を参照して学習型超解像手法を実行する画像処理装置の構成と処理の概要について説明する。

学習型超解像処理を実行する場合、その事前処理として学習データを作成することが必要となる。まず、図 1 2 を参照して学習用データの生成処理について説明する。

図 1 2 は、学習用データ生成装置 3 0 0 の構成例を示している。

【 0 1 0 8 】

学習用データ生成装置 3 0 0 は、高解像度画像としての理想画像 3 5 1 を入力して、仮想的な劣化画像としての低解像度画像 3 5 2 を生成する。これら理想画像 3 5 1 と低解像度画像 3 5 2 が学習用データとされ、これらを利用して、例えば図 1 3 に示す学習処理実行装置 3 2 0 において学習処理を実行して学習データの生成が行われる。

【 0 1 0 9 】

10

20

30

40

50

学習用データ生成装置 300 は、図 12 に示すようにぼかし処理部 (blur) 301、低解像度化処理部 (decimation) 302 を有する。ぼかし処理部 (blur) 301 は、高解像度画像としての理想画像 351 を入力し、ぼかし処理を実行し、さらに低解像度化処理部 (decimation) 302 は、低解像度化処理を実行して、仮想的な劣化画像としての低解像度画像 352 を生成する。

このような高解像度画像としての理想画像 351 と、仮想的な劣化画像としての低解像度画像 352 の組み合わせを多数、作成し、これらを用いて、図 13 に示す学習処理実行装置 320 を利用して学習処理を実行し学習データを生成する。

【0110】

図 13 を参照して、学習処理実行装置 320 による学習処理について説明する。

10

学習処理実行装置 320 は、学習用データ生成装置 300 の生成した理想画像 351 と低解像度画像 352 の画像ペアを順次、入力して学習データを生成してデータベース (DB) 325 に格納する。

【0111】

ブロック分割部 321, 322 は、それぞれ理想画像 351 と低解像度画像 352 の対応するブロック (局所領域) の切り出しを実施する。

画像特徴量抽出部 323 は、低解像度画像 352 から選択されたブロック (局所領域) の画像特徴を抽出する。抽出処理の詳細に関しては後述する。

【0112】

変換フィルタ係数導出部 324 は、理想画像 351 と、低解像度画像 352 から抽出した対応ブロックを入力し、低解像度画像 352 から理想画像 351 を生成するための拡大処理を行うための最適な変換フィルタ係数 (フィルタタップ等) を計算する。

20

データベース (DB) 325 は、画像特徴量抽出部 323 の生成したブロック単位の画像特徴量と、変換フィルタ係数導出部 324 の生成した変換フィルタ係数を格納する。

【0113】

画像特徴量抽出部 323 の実行する画像特徴量抽出処理の詳細について図 14 を参照して説明する。画像特徴量抽出部 323 は図 14 に示すようにベクトル変換部 331、量子化処理部 332 を有する。

【0114】

ベクトル変換部 331 は、ブロック分割部 321 が選択した低解像度画像 352 の局所領域画像データであるブロック画像 337 を 1次元ベクトル 338 に変換する。

30

量子化処理部 332 は、さらに、1次元ベクトル 338 のベクトルの各要素に対して量子化等の変換を行い、量子化ベクトル 339 を生成する。この演算により算出された値を局所的な画像 (ブロック) の特徴量とする。この特徴量データが学習データとしてデータベース 325 に格納される。

【0115】

データベース (DB) 325 には、ブロック単位の特徴量データである量子化ベクトルと、そのブロックに対応する変換フィルタ係数との対応データが格納される。

【0116】

次に、図 15 を参照して、学習データを適用した学習型超解像処理を実行する学習型超解像処理実行装置の構成と処理例について説明する。

40

【0117】

図 15 に示す学習型超解像処理実行装置 340 は、超解像処理の実行対象となる低解像度画像 371 を入力し、データベース 343 に格納された学習データを適用した超解像処理を行い、高解像度画像 372 を生成して出力する。

【0118】

まず、ブロック分割部 341 は、超解像処理の実行対象となる低解像度画像 371 を入力して、ブロック (小領域) を切り出す。

画像特徴量抽出部 342 は、ブロック単位の画像特徴量を抽出する。この特徴量は、図 14 を参照して説明したと同様の量子化ベクトルデータである。

50

【0119】

変換フィルタ係数選択部344は、画像特徴量抽出部342の抽出したブロック対応の特徴量（量子化ベクトルデータ）に最も類似するデータをデータベース（DB）343の格納データから検索する。

データベース（DB）343は、図13を参照して説明したデータベース325に対応し、ブロック単位の特徴量データである量子化ベクトルと、そのブロックに対応する変換フィルタ係数との対応データが格納されたデータベースである。

【0120】

変換フィルタ係数選択部344は、画像特徴量抽出部342の抽出したブロック対応の特徴量（量子化ベクトルデータ）に最も類似するデータに対応付けられた変換フィルタ係数をデータベース343から選択抽出し、フィルタ適用部345に出力する。

10

【0121】

フィルタ適用部345は、変換フィルタ係数選択部344から提供された変換フィルタ係数を設定したフィルタ処理によるデータ変換処理を実行して、高解像度画像372の構成ブロックとなる局所画像を生成する

ブロック合成部346は、フィルタ適用部345から順次出力されるブロックを合成し、高解像度画像372を生成する。

【0122】

このように、学習型超解像処理による高解像度画像の生成処理は、シミュレーションなどで作成した想定入力画像（低解像度画像）と、理想画像（高解像度画像）を比較して、低解像度画像から高解像度画像を生成するための学習データを作成して、この学習データを利用して新たな入力画像としての低解像度画像を高解像度画像に変換する。

20

【0123】

（2c）各超解像手法の問題点

上述したように、低解像度画像から高解像度画像を生成する手法として、

（a）再構成型超解像手法

（b）学習型超解像手法

これらの手法がある。

【0124】

しかし、（a）再構成型超解像手法は、一般に高い性能が期待できるものの、

「複数枚の低解像度画像の入力を必要とする」、

「入力画像の帯域等の制約が存在する」、

これらの制約があり、これらの制約条件を満足しない入力画像（低解像度画像）が得られない場合は、再構成性能が十分に発揮できず、十分な高解像度画像を生成できない場合があるという問題がある。

30

【0125】

このように、再構成型超解像手法は、複数枚の画像の利用を前提としており、単数、もしくは入力枚数が少ない場合効果が限定的となる。

また、再構成型超解像手法は、実効的に以下の処理が行われている。

（a）入力画面内の折り返し成分（エイリアシング）に基づいて、高周波成分（ナイキスト周波数以上）の成分を推定

（b）低域成分内（ナイキスト周波数以下）の折り返し成分（エイリアシング）を除去、高周波成分（ナイキスト周波数以上）の復元

40

このような処理が実行される。

【0126】

しかし、入力画像枚数が少ない場合には、折り返し成分（エイリアシング）の推定がうまくいかないといった問題がある。また、入力画像内の入力画像が極端に劣化しており、折り返し成分が検出できない場合にも同様に高域性能が不十分な場合がある。

結論として、再構成型超解像手法は、入力画像が複数枚で、サンプリングによる折り返し歪みを有している場合に高い効果が望める。しかし、入力画像数が少ない場合や、入力

50

画像内に折り返し歪みが全く存在していない場合の解像度向上効果は低いという欠点がある。

【 0 1 2 7 】

一方、(b)学習型超解像手法は、入力枚数、入力画像の性質による制約は少なく安定しているが、最終的に得られる高解像度画像のピーク性能は再構成型超解像に及ばないという問題がある。

(b)学習型超解像手法は、十分な学習データ及び、学習データ選択時の参照情報が十分な場合には、大きな効果を発揮する。

しかし、実用上は以下の制約がある。

学習データのデータ量の上限、

学習データ選択時の参照情報の制限、

これらの制約により学習型超解像では、各ブロック単位の処理の組み合わせ結果として最終的な高解像度画像が生成され、全体としてのバランスが悪くなる場合があり、十分な解像度向上効果が得られない場合がある。

【 0 1 2 8 】

[3 . 本発明に従った超解像手法の実施例について]

以下、本発明に従った超解像手法の実施例について説明する。本発明の画像処理装置は、再構成型超解像手法と学習型超解像手法の利点を生かした超解像手法を実現する。まず、本発明の超解像処理の概要について説明する。

【 0 1 2 9 】

本発明の一実施例に係る画像処理装置は、先に式(数式11)として説明した超解像収束式を変形し、以下に示す超解像収束式(数式12)を適用した処理を行う。

【 0 1 3 0 】

【 数 8 】

$$\begin{aligned}
 f_{m+1} &= f_m - \beta \left(\sum_{k=1}^n W_k^T H^T D^T (DHW_k f_m - g_k) + \alpha L^T L f_m \right) \\
 &= f_m - \beta \left(\sum_{k=1}^n (W_k^T H^T D^T DHW_k f_m - W_k^T H^T D^T g_k) + \alpha L^T L f_m \right) \\
 &= f_m - \beta \left(\sum_{k=1}^n (W_k^T H^T D^T DHW_k f_m) - \sum_{k=1}^n (W_k^T H^T D^T g_k) + \alpha L^T L f_m \right)
 \end{aligned}$$

・・・(数式12)

【 0 1 3 1 】

上記超解像収束式(数式12)において、 β は画像処理(超解像処理)における任意のユーザ設定パラメータである。 T は転置行列を示す。

上記関係式(数式12)に従って、勾配法によりコスト $E(f)$ を最小とする理想画像 (f) を求めることができる。

【 0 1 3 2 】

上記超解像収束式(数式12)において、

$(H^T D^T)$ と、

(DH) 、

は、画像処理装置における処理としては、以下の処理の実行に対応する意味を持つ。

DH : ダウンサンプリングフィルタの適用処理、

$H^T D^T$: アップサンプリングフィルタの適用処理、

【 0 1 3 3 】

上記の超解像収束式（数式 1 2）に示すモデル式より算出された単純なダウンサンプル、アップサンプル処理は数学的には正しい結果を導き出す。しかしこの結果が主観的な評価と必ずしも一致しない場合がある。

【0134】

本発明では、モデル式より算出された単純なダウンサンプル処理を、学習データを利用した縮小処理、アップサンプル処理を同じく学習データを利用した拡大処理、もしくは学習型超解像に置き換えることにより超解像結果の主観的な結果を向上させるものである。この手法を用いることで、入力枚数が少ない場合、入力画像が極端に劣化した場合でも画質向上の効果を期待することができる。

以下、本発明の超解像処理の複数の実施例（実施例 1～3）について、順次説明する。

10

【0135】

（（3a）実施例 1）

まず、本発明の画像処理装置の第 1 実施例について、図 1 6～図 1 9 を参照して説明する。

図 1 6 は、画像処理装置 5 0 0 の全体構成を示す図である。

図 1 7 は、図 1 6 に示す画像処理装置 5 0 0 内の超解像処理部 5 0 3 の詳細構成を示す図である。

図 1 8 は、図 1 7 に示す超解像処理部 5 0 3 内の高域推定部 5 2 1 の詳細構成を示す図である。

図 1 9 は、図 1 7 に示す超解像処理部 5 0 3 内のスケール計算部 5 2 6、および周囲演算部の入出力データの詳細について説明する図である。

20

【0136】

図 1 6 に示す画像処理装置 5 0 0 は、先に図 3 を参照して説明した再構成型超解像処理を実行する画像処理装置 1 1 0 と同じ構成であり、初期画像生成部 5 0 1、スイッチ 5 0 2、超解像処理部 5 0 3、収束判定部 5 0 4 を有する。

本発明の画像処理装置 5 0 0 は、超解像処理部 5 0 3 内に構成される高域推定部 5 2 1 の構成が前述の従来構成とは異なる構成を有し、異なる処理を実行する。

【0137】

図 1 6 に示す画像処理装置 5 0 0 は、複数枚（ n 枚）の低解像度画像 $g_1 \sim g_n$ を入力し、高解像度画像 f_m を一出力する。図 1 6 に示す g_1, g_2, \dots, g_n は、 n 枚の低解像度入力画像を示す。

30

【0138】

初期画像生成部 5 0 1 は、超解像処理結果の初期値を設定する。初期値は任意の値で良いが、例えば低解像度画像 g_1 を入力し、 g_1 を拡大した画像を出力する。

スイッチ 5 0 2 は、初回実行時のみ初期画像生成部 5 0 1 の出力側に倒れ、それ以外は、前回の収束判定部 5 0 4 の出力を超解像処理部 5 0 3 へ入力するように動作する。

【0139】

超解像処理部 5 0 3 は、 n 枚の低解像度画像 $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ 、スイッチ 5 0 2 からの画像を入力とし、結果を収束判定部 5 0 4 へ出力する。超解像処理部 5 0 3 の詳細は後述する。

40

【0140】

収束判定部 5 0 4 では、超解像処理部 5 0 3 の出力を入力とし、十分な収束が行われたかどうかの判定を行う。超解像処理部 5 0 3 の結果から十分な収束が行われたと判断した場合、処理結果を外部に出力し、処理を停止する。処理が不十分だと判断した場合、スイッチ 5 0 2 を経由し超解像処理部 5 0 3 へ入力し、再度の演算を実施する。収束判定部 5 0 4 は、例えば、最新の処理結果と前回の処理結果との差分を抽出し、差分が予め規定した値以下となった場合に収束したと判定する。あるいは、予め規定した処理回数に達した場合に収束したと判定し、処理結果を出力する。

【0141】

図 1 7 を参照して超解像処理部 5 0 3 の構成と処理の詳細について説明する。なお、図

50

17に示す超解像処理部503の構成は、先に図4を参照して説明した超解像処理部113の構成とほぼ同じ構成を持つ。ただし、高域推定部521の構成が前述の従来構成とは異なる構成を有し、異なる処理を実行する。

【0142】

図17に示すように、超解像処理部503は、複数の高域推定部521の他、画質制御部523、スケール計算部526、さらに加算器522, 525, 528、乗算器524, 527等の演算部を有する。

【0143】

超解像処理部503は、図16に示すスイッチ502からの入力、複数(n)の低解像度画像 g_1, g_2, \dots, g_n を入力とし、処理結果を収束判定部504へ出力する。また、画像調整パラメータとしてユーザ設定値を入力する。

10

【0144】

高域推定部521は、スイッチ502からの入力である再構成途中結果の画像及び低解像度画像 g_1, g_2, \dots, g_n のいずれかを入力とし、加算器522へ処理結果を出力する。高域推定部521では、画像の高域を復元するための、補正值の計算を行う。高域推定部521の処理の詳細については後述する。

【0145】

加算器522は、各高域推定部521の結果を加算し、加算器525へ出力する。

画質制御部523では、画像の事前確立モデルに基づいた理想的な画像とするための、画素値の制御値を計算する。出力は、乗算器524へ入力される。

20

乗算器524では、画質制御部523の出力をユーザ設定値で乗算する。ユーザ設定値の値により、最終的な画像の画質がコントロールされる。なお、図に示す構成では、画質のコントロールが行えるようにユーザ設定値としたが、固定値を用いても問題ない。

【0146】

加算器525では、加算器522, 乗算器524の出力を合算し、スケール計算部526, 及び乗算器527へ計算結果を出力する。スケール計算部526では、スイッチ512からの途中演算結果、加算器525からの画素値制御信号を入力とし、最終的な制御値へのスケール値を決定する。スケール計算部526の結果は乗算器527に出力される。乗算器527では、加算器525の制御値をスケール計算部526の出力値で乗算し、加算器528へ出力する。加算器528では、スイッチ502からの途中結果より、乗算器527の結果を減算し、結果を収束判定部504へ出力する。

30

【0147】

図17に示す超解像処理部503内に設定される複数の高域推定部521の個々の詳細構成と処理について図18を参照して説明する。

高域推定部521では、先に説明した超解像収束式(数式12)中、図18(1)に示す下線部分の算出処理に相当する処理を行う。

【0148】

動き検出部601では、スイッチ502からの高解像度画像、及び低解像度画像 g_k を受け取り両画像間の動きの大きさを検出する。具体的には動きベクトルを計算する。

なお、その前処理として、両画像間では動きが異なるため、低解像度画像 g_k については、例えばアップサンプリングフィルタによって構成される解像度変換部602でアップサンプリング処理を行い生成予定の高解像度画像に解像度を併せる処理を行う。

40

【0149】

動き補正部(MC)603では、スイッチ502から高解像度画像、動き検出部601からの動きベクトルを入力し、入力された高解像度画像の変形を行う。図18(1)に示す先に説明した超解像収束式(数式12)中の動き(W_k)の演算処理に相当する。

【0150】

空間フィルタ604では、空間解像度の劣化をシミュレーションする処理を行う。ここでは、あらかじめ測定しておいた点広がり関数(Point Spread Function)をフィルタとして画像へ畳み込みを行う。図18(1)に示す先に説明した超解

50

像収束式（数式 1 2）中のボケ（H）の演算処理に相当する。

【0151】

ダウンサンプリング処理部 605 では、高解像度画像を入力画像と同じ解像度までダウンサンプリング処理を実行する。図 18（1）に示す先に説明した超解像収束式（数式 1 2）中のカメラ解像度（D）の演算処理に相当する。

【0152】

ダウンサンプリング処理部 605 において高解像度画像のダウンサンプリングによって生成した低解像度化画像は、学習型超解像処理部 606 に入力される。

学習型超解像処理部 606 は、先に、図 15 を用いて説明した学習型超解像処理実行装置 340 と同様の構成を有し、同様の処理を実行する。

10

【0153】

ダウンサンプリング処理部 605 から提供されるダウンサンプリングによって生成した低解像度化画像が、図 15 に示す低解像度画像 371 に対応し、学習型超解像処理部 606 は、予めデータベースに格納した学習データを利用した学習型超解像処理を実行して高解像度画像を生成する。すなわち、図 15 に示す高解像度画像 372 に対応するデータとしての高解像度画像を生成する。

【0154】

同時に、学習型超解像処理部 608 は、高域推定部 521 に入力される低解像度画像（gk）を入力して、先に、図 15 を用いて説明した学習型超解像処理実行装置 340 と同様の構成を有し、同様の処理を実行して高解像度画像を生成する。

20

【0155】

なお、学習型超解像処理部 606 と、学習型超解像処理部 608 は、低解像度画像と、該低解像度画像に基づいて生成される高解像度画像との局所画像領域の特徴量情報と、低解像度画像を高解像度画像に変換するための画像変換情報との対応データからなる学習データを適用して、学習型超解像処理としてのアップサンプリング処理を実行する。

【0156】

なお、学習型超解像処理部 606 と学習型超解像処理部 608 は、入力データのみが異なり、同じ処理を並列に実行する構成としてもよいし、予めそれぞれの処理に最適な学習データやアルゴリズムを適用した個別の処理を実行する構成としてもよい。

【0157】

これらの処理によって、学習型超解像処理部 606 が第 1 の高解像度画像を生成し、学習型超解像処理部 608 が第 2 の高解像度画像を生成する。

30

学習型超解像処理部 606 の生成する第 1 の高解像度画像は、

スイッチ 502 から入力された高解像度画像のダウンサンプリング処理によって生成した低解像度化画像を入力して学習型超解像処理によって生成した高解像度画像である。

学習型超解像処理部 608 の生成する第 2 の高解像度画像は、

高域推定部 521 に入力される低解像度画像（gk）を入力して学習型超解像処理によって生成した高解像度画像である。

【0158】

学習型超解像処理部 606 の生成した第 1 の高解像度画像と、学習型超解像処理部 608 の生成した第 2 の高解像度画像は、逆動き補正部 607、609 に入力される。

40

逆動き補正部 607、609 は、それぞれの高解像度画像に対して動きの逆補正を行う。動き補正部 603 の動き補正処理と相殺される逆動き補正が施される。

【0159】

加算器 610 は、逆動き補正部 607 の出力から、逆動き補正部 609 の出力を減算する。すなわち、

スイッチ 502 から入力された高解像度画像のダウンサンプリング処理によって生成した低解像度化画像を入力して学習型超解像処理によって生成した第 1 の高解像度画像と、高域推定部 521 に入力される低解像度画像（gk）を入力して学習型超解像処理によって生成した第 2 の高解像度画像との逆動き補正画像の差分データを生成する。この差分デ

50

ータが、加算器 5 2 2 に出力される。

【 0 1 6 0 】

なお、図 1 8 に示すように、逆動き補正部 6 0 7 と逆動き補正部 6 0 9 の出力は、た図 1 8 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 1 2) の以下のデータに対応する。

逆動き補正部 6 0 7 の出力は、超解像収束式 (数式 1 2) 中の、
 $W_k^T H^T D^T D H W_k f_m$ 、

逆動き補正部 6 0 9 の出力は、超解像収束式 (数式 1 2) 中の、
 $W_k^T H^T D^T g_k$
 にそれぞれ対応する。

【 0 1 6 1 】

加算器 5 2 2 は、図 1 7 に示すように、異なる低解像度画像 $g_1 \sim g_n$ を入力する高域推定部 5 2 1 の出力を入力して加算する。加算器 5 2 2 の出力は、超解像収束式 (数式 1 2) 中の、

$$((W_k^T H^T D^T D H W_k f_m) - (W_k^T H^T D^T g_k))$$

上記の部分データ、すなわち、図 1 9 (1) に示す (a) 勾配ベクトルの一部に対応するデータとなる。

【 0 1 6 2 】

このように、加算器 5 2 2 は、各高域推定部 5 2 1 の結果を加算し、加算器 5 2 5 へ出力する。

画質制御部 5 2 3 では、画像の事前確立モデルに基づいた理想的な画像とするための、画素値の制御値を計算する。出力は、乗算器 5 2 4 へ入力される。

乗算器 5 2 4 では、画質制御部 5 2 3 の出力をユーザ設定値 で乗算する。ユーザ設定値 の値により、最終的な画像の画質がコントロールされる。

乗算器 5 2 4 の出力は、超解像収束式 (数式 1 2) 中の、

$$L^T L f_m、$$

に対応する。

なお、図に示す構成では、画質のコントロールが行えるようにユーザ設定値としたが、固定値を用いても問題ない。

【 0 1 6 3 】

加算器 5 2 5 以降、スケール計算部 5 2 6 の処理等について図 1 9 を参照して説明する。加算器 5 2 5 では、加算器 5 2 2 , 乗算器 5 2 4 の出力を合算し、スケール計算部 5 2 6 , 及び乗算器 5 2 7 へ計算結果を出力する。スケール計算部 5 2 6 では、スイッチ 5 1 2 からの途中演算結果、加算器 5 2 5 からの画素値制御信号を入力とし、最終的な制御値へのスケール値を決定する。

【 0 1 6 4 】

スケール計算部 5 2 6 では、最急降下法における画像収束演算での勾配ベクトルに対するスケール (係数) を決定する。すなわち、図 1 9 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 1 2) 中の係数 を決定する。係数 は、図 1 9 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 1 2) 中の勾配ベクトル ($V a$) に対する乗算係数である。

【 0 1 6 5 】

スケール計算部 5 2 6 は、加算器 5 2 5 から勾配ベクトル (図 1 9 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 1 2) 中の (a) 勾配ベクトル ($V a$)) を入力し、スイッチ 5 0 2 を介して収束中画像 (図 1 9 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 1 2) 中の (b) 収束中画像 (f_m)) を受け取る。

スケール計算部 5 2 6 は、これらの入力に基づいて、図 1 9 (2) に示す先に式 (数式 1 0) として説明したコスト計算式で示されるコスト : $E (f_{m+1})$ を最小とする を求める。

この係数 の算出処理としては、一般的には、2分探索等の手法を用い、最小となるを計算する。なお、計算コストを削減したい場合には、入力によらず、定数を入力する構成でも良い。

10

20

30

40

50

【0166】

スケール計算部526の結果()は乗算器527に出力される。乗算器527では、加算器525の出力として得られる勾配ベクトル($V a$)とスケール計算部526の出力値()を乗算し、($V a$)を加算器528へ出力する。加算器528では、スイッチ502からの超解像処理の途中結果として入力する m 回の超解像処理結果としての超解像処理画像 f_m から、乗算器527からの入力である ($V a$)を減算する処理を行い、($m + 1$) 回目の超解像処理結果 f_{m+1} を算出する。

すなわち、

$$f_{m+1} = f_m - (V a)$$

上記式に基づいて、($m + 1$) 回目の超解像処理結果 f_{m+1} を算出する。この式は、
図19(1)に示す先に説明した超解像収束式(数式12)に対応する。

10

【0167】

超解像処理部503は、この($m + 1$) 回目の超解像処理結果、すなわち、

$$f_{m+1} = f_m - (V a)$$

上記処理結果を収束判定部504に出力する。

収束判定部504は、超解像処理部503から、($m + 1$) 回目の超解像処理結果、すなわち、

$$f_{m+1} = f_m - (V a)$$

を入力し、この入力に基づいて十分な収束が行われたかどうかの判定を行う。

【0168】

20

超解像処理部503の結果から十分な収束が行われたと判断した場合、処理結果を外部に出力し、処理を停止する。処理が不十分だと判断した場合、スイッチ502を經由し超解像処理部503へ入力し、再度の演算を実施する。収束判定部504は、例えば、最新の処理結果と前回の処理結果との差分を抽出し、差分が予め規定した値以下となった場合に収束したと判定する。あるいは、予め規定した処理回数に達した場合に収束したと判定し、処理結果を出力する。

【0169】

((3b) 実施例2)

次に、本発明の画像処理装置の第2実施例について、図20を参照して説明する。

この第2実施例は、基本的構成は、上述の第1実施例と同様の構成であり、第1実施例中の高域推定部521の構成を変更したものである。

30

第2実施例の画像処理装置の基本構成は、第1実施例と同様、図16に示す構成を持つ。

超解像処理部503の構成も実施例1と同様、図17に示す構成を有する。

【0170】

超解像処理部503内の高域推定部521の構成が、実施例1の構成(図18)とは異なり、本実施例2では、図20に示す構成を有する。

本実施例2に係る高域推定部521の構成と処理について、図20を参照して説明する。

高域推定部521では、先に説明した超解像収束式(数式12)中、図18(1)に示す下線部分の算出処理に相当する処理を行う。

40

【0171】

動き検出部651では、図16に示す画像処理装置500中のスイッチ502からの高解像度画像、及び低解像度画像 g_k を受け取り両画像間の動きの大きさを検出する。具体的には動きベクトルを計算する。

なお、その前処理として、両画像間では動きが異なるため、低解像度画像 g_k については、例えばアップサンプリングフィルタによって構成される解像度変換部652でアップサンプリング処理を行い生成予定の高解像度画像に解像度を併せる処理を行う。

【0172】

動き補正部($M C$) 653では、スイッチ502から高解像度画像、動き検出部601

50

からの動きベクトルを入力し、入力された高解像度画像の変形を行う。図18(1)に示す先に説明した超解像収束式(数式12)中の動き(W_k)の演算処理に相当する。

【0173】

空間フィルタ654では、空間解像度の劣化をシミュレーションする処理を行う。ここでは、あらかじめ測定しておいた点広がり関数(Point Spread Function)をフィルタとして画像へ畳み込みを行う。図18(1)に示す先に説明した超解像収束式(数式12)中のボケ(H)の演算処理に相当する。

【0174】

ダウンサンプリング処理部655では、高解像度画像を入力画像と同じ解像度までダウンサンプリング処理を実行する。図18(1)に示す先に説明した超解像収束式(数式12)中のカメラ解像度(D)の演算処理に相当する。

【0175】

ダウンサンプリング処理部655において高解像度画像のダウンサンプリングによって生成した低解像度化画像は、差分器656に入力される。

差分器656では、ダウンサンプリング処理部655の生成した低解像度化画像と高域推定部521に入力される低解像度画像 g_k の画素毎の差分値を計算する。

この差分器656の算出した差分値としての差分画像が、学習型超解像処理部657に入力される。

学習型超解像処理部657は、先に、図15を用いて説明した学習型超解像処理実行装置340と同様の構成を有し、同様の処理を実行する。ただし、ここでは、差分画像に対する処理が実行される。

【0176】

差分器656の生成した差分画像データ、すなわち、

高解像度画像のダウンサンプリングによって生成した低解像度化画像から、入力低解像度画像 g_k の画素毎の差分値からなる差分画像データが、図15に示す低解像度画像371に対応する。

【0177】

学習型超解像処理部657は、予めデータベースに格納した学習データを利用した学習型超解像処理を実行して差分データからなる高解像度差分画像を生成する。すなわち、図15に示す高解像度画像372に対応するデータとしての差分データからなる高解像度差分画像を生成する。

なお、この学習型超解像処理に適用するデータベースに格納した学習データは、低解像度の画素毎の差分値からなる差分画像データから、高解像度差分画像に対応する差分データを生成するための学習データである。

【0178】

このように、学習型超解像処理部657は、高解像度画像からなる処理画像に対するダウンサンプリング処理によって低解像度画像と同じ解像度に変換したダウンサンプル処理画像と、超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像との差分画像のアップサンプリング処理において学習型超解像処理を実行する。

なお、学習型超解像処理部657は、低解像度画像と、該低解像度画像に基づいて生成される高解像度画像との差分画像の局所画像領域の特徴量情報と、該差分画像を高解像度差分画像に変換するための画像変換情報との対応データからなる学習データを適用して、学習型超解像処理としてのアップサンプリング処理を実行する。

【0179】

学習型超解像処理部657の生成した高解像度差分画像データは、逆動き補正部658に入力される。

逆動き補正部658は、差分画像としての高解像度画像に対して動きの逆補正を行う。動き補正部603の動き補正処理と相殺される逆動き補正が施される。この差分データが、加算器522に出力される。

【0180】

10

20

30

40

50

この逆動き補正部 658 の出力は、先に実施例 1 として説明した図 18 に示す高域推定部 521 の加算器 610 の出力に対応するデータである。

すなわち、実施例 1 では、学習型超解像処理を画像差分データではなく、個別の画像に対して実行して、その結果の差分を算出する処理を実行していたが、本実施例 2 ではあらかじめ差分データを生成して、その差分データに対する学習型超解像処理を実行する処理としている点が異なるものである。

【0181】

加算器 522 に対する差分データの出力以後の処理は、実施例 2 の処理は、実施例 1 と同様であり、説明を省略する。

【0182】

上述したように、実施例 1、実施例 2 は、アップサンプリング処理を学習データを適用した学習型超解像処理として実行する構成を持つ。

実施例 1 は、低解像度画像から高解像度画像の生成処理として実行するアップサンプリング処理を学習データを適用した学習型超解像処理として実行する構成である。

また、実施例 2 は、低解像度画像間の差分画像のアップサンプリング処理を学習データを適用した学習型超解像処理として実行する構成である。

【0183】

すなわち、図 16 に示す実施例 1、実施例 2 の画像処理装置 500 の超解像処理部 503 は、図 18 または図 20 に示すように、超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像と、超解像処理の処理過程画像または初期画像である処理画像との差分画像情報を生成する高域推定部を有する。また、超解像処理部 503 は、図 19 に示すように、高域推定部の出力する差分画像情報と、処理画像との演算処理により処理画像の更新処理を行うスケール計算部 526 や加算器、乗算器等から構成される演算部を有する。

図 18 または図 20 を参照して説明したように、高域推定部は、差分画像情報の生成処理において、学習データを適用した学習型データ処理を実行する。

【0184】

例えばアップサンプリング処理を、学習データを適用した学習型超解像処理として実行することで、超解像結果の主観的な結果が向上し、また、入力される低解像度画像の枚数が少ない場合や劣化が大きい場合でも、画質の低下の少ない高解像度画像を生成することが可能となる。

【0185】

前述したように、再構成型超解像手法のみを利用した場合、アップサンプリング処理として以下の処理が行われる。

(a) 入力画面内の折り返し成分 (エイリアシング) に基づいて、高周波成分 (ナイキスト周波数以上) の成分を推定

(b) 低域成分内 (ナイキスト周波数以下) の折り返し成分 (エイリアシング) を除去、高周波成分 (ナイキスト周波数以上) の復元

このような処理が行われる。

しかし、この手法では、入力画像枚数が少ない場合、折り返し成分 (エイリアシング) の推定がうまくいかない。また、入力画像内の入力画像が極端に劣化しており、折り返し成分が検出できない場合にも同様に高域性能が不十分となる。

【0186】

本発明の構成では、アップサンプリング処理に際して、学習データを利用した学習型超解像処理を実行する構成であり、上記のような再構成型懲戒増処理の欠点を発生させることのないアップサンプリング処理が可能となる。

【0187】

((3c) 実施例 3)

次に、本発明の画像処理装置の第 3 実施例について、図 21 以下を参照して説明する。第 3 実施例は、処理対象を動画に特定した場合の超解像処理を行う画像処理装置である。

10

20

30

40

50

この第3実施例の画像処理装置の基本構成は、先に図8を参照して説明した再構成型超解像処理を行う画像処理装置200と同様の構成を持つ。

ただし、画像処理装置内の高域推定部の構成と処理が異なる。

【0188】

第3実施例の画像処理装置の基本構成について図21を参照して説明する。

図21に示すように、画像処理装置700は、動画初期画像生成部701、動画超解像処理部702、画像バッファ703を有する。

動画像に対する処理においては、

g_t : 時刻 t における低解像度動画像の1フレーム

f_t : 時刻 t における高解像度動画像の1フレーム

上記のように定義する。

このように、低解像度画像 g_t は、時刻 t における低解像度動画像の1フレームであり、高解像度画像 f_t は、低解像度画像 g_t に対して超解像処理を施した結果として得られる高解像度画像とする。

【0189】

図21に示す画像処理装置700において、低解像度画像 g_t は、動画初期画像生成部701及び、動画超解像処理部702へ入力される。

動画初期画像生成部701では、前フレームの動画超解像処理結果 (f_{t-1}) 及び (g_t) を入力とし、動画超解像処理部702へ生成した初期画像を出力する。動画初期画像生成部701の詳細に関しては、後述する。

【0190】

動画超解像処理部702では入力された初期画像、低解像度画像 (g_t) を適用して高解像度画像 (f_t) を生成して出力する。動画超解像処理部702の詳細に関しては、後述する。

動画超解像処理部702から出力された高解像度画像は、外部へ出力されるのと同時に画像バッファ703へも出力され、次フレームの超解像処理に利用される。

【0191】

次に、図22を参照して動画初期画像生成部701の詳細構成と処理について説明する。動画初期画像生成部701は、前フレームの動画超解像処理結果 (f_{t-1}) 及び (g_t) を入力とし、動画超解像処理部702へ生成した初期画像を出力する。

【0192】

まず、低解像度画像 g_t が例えばアップサンプリングフィルタによって構成される解像度変換部706でアップサンプリング処理を行い生成予定の高解像度画像に解像度を併せる処理を行う。

動き検出部705では、前フレーム高解像度画像 f_{t-1} 、アップサンプリングした低解像度画像 g_t 間の動きの大きさを検出する。具体的には動きベクトルを計算する。

【0193】

動き補正部 (MC) 707では、動き検出部705で検出された動きベクトルを利用して動き補正部 (MC) 707で高解像度画像 f_{t-1} に対する動き補償処理を行う。これにより高解像度画像 f_{t-1} に動き補償処理が施され、アップサンプリングした低解像度画像 g_t と被写体の位置が同じに設定された動き補償画像が生成される。

【0194】

MC未適用領域検出部708では、動き補正 (MC) 処理により生成された高解像度画像、及びアップサンプルした低解像度画像を比較して、動き補正 (MC) がうまく適用できていない領域を検出する。画素単位にMCの適用の可否情報 [0:1] を設定して出力する。

【0195】

ブレンド処理部709は、

動き補正部 (MC) 707の生成した高解像度画像 f_{t-1} に対する動き補償結果画像

10

20

30

40

50

解像度変換部 706 で低解像度画像 g_t に対してアップサンプリングされたアップサンプル画像、

MC 未適用領域検出部 708 で検出された MC 未適用領域検出情報、
これらを入力する。

【0196】

ブレンド処理部 709 は、これらの入力情報を利用して、以下の式に基づいてブレンド結果としての動画超解像初期画像を出力する。

動画超解像初期画像 (ブレンド結果) = (1 -) (アップサンプル画像) + (動き補償結果画像)

【0197】

次に、図 21 に示す再構成型超解像処理を行う画像処理装置 700 中の動画超解像処理部 702 の構成と処理について図 23 を参照して説明する。動画超解像処理部 702 は、図 23 に示すように、動画高域推定部 711 の他、画質制御部 712、スケール計算部 715、さらに加算器 714、717、乗算器 713、716 等の演算部を有する。

【0198】

動画超解像処理部 702 は、図 21 に示す動画初期画像生成部 701 から、前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像を入力する。すなわち、

動画超解像初期画像 (ブレンド結果) = (1 -) (アップサンプル画像) + (動き補償結果画像)

上記ブレンド結果を入力する。

さらに、低解像度画像 g_t 、画像調整パラメータとしてユーザ設定値 を入力し、処理結果としての高解像度画像 (f_t) を生成して出力する。

【0199】

動画超解像処理部 702 内の動画高域推定部 711 の詳細構成と処理について図 24 を参照して説明する。動画高域推定部 711 は、画像の高域を復元するための補正值の計算を行う。動画高域推定部 711 は、動画初期画像生成部 701 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像と、低解像度画像 (g_t) を入力し、加算器 714 へ処理結果を出力する。

【0200】

図 24 に示す空間フィルタ 801 では、動画初期画像生成部 701 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像を入力して空間解像度の劣化をシミュレーションする処理を行う。ここでは、あらかじめ測定しておいた点広がり関数 (Point Spread Function) をフィルタとして画像へ畳み込みを行う。先に説明した超解像収束式 (数式 12) 中のボケ (H) の演算処理 (図 18 (1) 参照) に相当する。

【0201】

ダウンサンプリング処理部 802 では、高解像度画像を入力画像と同じ解像度までダウンサンプリング処理を実行する。先に説明した超解像収束式 (数式 12) 中のカメラ解像度 (D) の演算処理 (図 18 (1) 参照) に相当する。

【0202】

その後、ダウンサンプリング処理部 802 において高解像度画像のダウンサンプリングによって生成した低解像度化画像は、学習型超解像処理部 803 に入力される。

学習型超解像処理部 803 は、先に、図 15 を用いて説明した学習型超解像処理実行装置 340 と同様の構成を有し、同様の処理を実行する。

【0203】

ダウンサンプリング処理部 802 から提供されるダウンサンプリングによって生成した低解像度化画像が、図 15 に示す低解像度画像 371 に対応し、学習型超解像処理部 803 は、予めデータベースに格納した学習データを利用した学習型超解像処理を実行して高解像度画像を生成する。すなわち、図 15 に示す高解像度画像 372 に対応するデータとしての高解像度画像を生成する。

【0204】

10

20

30

40

50

同時に、学習型超解像処理部 804 は、動画高域推定部 711 に入力される低解像度画像 (gt) を入力して、先に、図 15 を用いて説明した学習型超解像処理実行装置 340 と同様の構成を有し、同様の処理を実行して高解像度画像を生成する。

【0205】

なお、学習型超解像処理部 803 と、学習型超解像処理部 804 は、低解像度画像と、該低解像度画像に基づいて生成される高解像度画像との局所画像領域の特徴量情報と、低解像度画像を高解像度画像に変換するための画像変換情報との対応データからなる学習データを適用して、学習型超解像処理としてのアップサンプリング処理を実行する。

【0206】

なお、学習型超解像処理部 803 と学習型超解像処理部 804 は、入力データのみが異なり、同じ処理を並列に実行する構成としてもよいし、予めそれぞれの処理に最適な学習データやアルゴリズムを適用した個別の処理を実行する構成としてもよい。

【0207】

これらの処理によって、学習型超解像処理部 803 が第 1 の高解像度画像を生成し、学習型超解像処理部 804 が第 2 の高解像度画像を生成する。

学習型超解像処理部 803 の生成する第 1 の高解像度画像は、

動画初期画像生成部 701 から入力された初期超解像画像のダウンサンプリング処理によって生成した低解像度画像を入力して学習型超解像処理によって生成した高解像度画像である。

学習型超解像処理部 804 の生成する第 2 の高解像度画像は、

動画高域推定部 711 に入力される低解像度画像 (gt) を入力して学習型超解像処理によって生成した高解像度画像である。

【0208】

加算器 805 は、学習型超解像処理部 803 の生成する第 1 の高解像度画像から、学習型超解像処理部 804 の生成する第 2 の高解像度画像の対応画素を減算して、差分画像データを生成する。この差分データが、加算器 714 に出力される。

【0209】

図 23 に示す動画超解像処理部 702 の画質制御部 712 は、先に説明した図 6 に示すようにラプラシアン変換部 141 によって構成され、先に説明した超解像収束式 (数式 12) 中の一部の演算、すなわち、

$$L^T L f_m$$

この演算処理に相当する処理を実行する。

動画初期画像生成部 701 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像を入力して動画超解像初期画像に対して、ラプラシアン変換部においてラプラシアンオペレータ (L) を 2 回適用して、図 23 に示す乗算器 713 へ出力する。

【0210】

図 23 に示すスケール計算部 715 では、最急降下法における画像収束演算での勾配ベクトルに対するスケールを決定する。すなわち、先に説明した超解像収束式 (数式 12) 中の係数 α を決定する。

【0211】

スケール計算部 715 は、図 23 に示す加算器 714 から勾配ベクトル (先に説明した図 19 (1) に示す超解像収束式 (数式 12) 中の (a) 勾配ベクトル) を入力し、さらに動画初期画像生成部 701 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像を入力する。

【0212】

スケール計算部 715 は、これらの入力に基づいて、図 19 (2) に示す先に式 (数式 10) として説明したコスト計算式で示されるコスト: $E(f_{m+1})$ を最小とする α を求める。

この α の算出処理としては、一般的には、2 分探索等の手法を用い、最小となる α を計算する。なお、計算コストを削減したい場合には、入力によらず、定数 α を出力する構成で

10

20

30

40

50

も良い。

【0213】

この結果、最小コストの設定可能な λ が決定される。 λ は乗算器 716 に出力される。乗算器 716 では、加算器 714 の出力として得られる勾配ベクトル (Va) (図 19 (1) 参照) とスケール計算部 715 の出力値 (s) を乗算し、 (Va) を加算器 717 へ出力する。加算器 717 では、動画初期画像生成部 701 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像 f_0 から、乗算器 716 からの入力である (Va) を減算する処理を行い、超解像処理結果 f_t を算出する。

すなわち、

$$f_t = f_0 - (Va) \quad 10$$

上記式に基づいて、超解像処理結果 f_t を算出する。この式は、図 19 (1) に示す先に説明した超解像収束式 (数式 12) に対応する。

動画超解像処理部 702 は、これを超解像処理結果として出力し、かつ画像バッファ 703 に格納する。

【0214】

((3d) 実施例 4)

次に、本発明の画像処理装置の第 4 実施例について、図 25 を参照して説明する。第 4 実施例は、第 3 実施例と同様、処理対象を動画像に特定した場合の超解像処理を行う画像処理装置である。

【0215】

この第 4 実施例の画像処理装置の基本構成は、先に第 3 実施例として説明した図 21 に示す構成と同様の構成を有する。すなわち、図 21 に示す画像処理装置 700 において、低解像度画像 g_t は、動画初期画像生成部 701 及び、動画超解像処理部 702 へ入力される。動画初期画像生成部 701 では、前フレームの動画超解像処理結果 (f_{t-1}) 及び (g_t) を入力とし、動画超解像処理部 702 へ生成した初期画像を出力する。

【0216】

動画初期画像生成部 701 は、実施例 3 と同様、図 22 に示す構成を有し、実施例 3 と同様の処理を行う。動画超解像処理部 702 では入力された初期画像、低解像度画像 (g_t) を適用して高解像度画像 (f_t) を生成して出力する。動画超解像処理部 702 も、実施例 3 と同様、図 23 に示す構成を有する。ただし、図 23 に示す構成中、動画高域推定部 711 の構成が実施例 3 とは異なる構成を持つ。動画超解像処理部 702 から出力された高解像度画像は、外部へ出力されるのと同時に画像バッファ 703 へも出力され、次フレームの超解像処理に利用される。

【0217】

本実施例 4 と実施例 3 の差異は、図 23 に示す動画超解像処理部 702 内の動画高域推定部 711 の構成である。

実施例 3 では、動画高域推定部 711 は図 24 に示す構成を有するものとして説明したが、本実施例 4 では、動画高域推定部 711 は図 25 に示す構成を有する。

【0218】

図 25 を参照して本実施例 4 の画像処理装置の動画超解像処理部 702 (図 23 参照) 中に構成される動画高域推定部 711 の構成と処理について説明する。

動画高域推定部 711 は、画像の高域を復元するための補正值の計算を行う。動画高域推定部 711 は、動画初期画像生成部 701 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像と、低解像度画像 (g_t) を入力し、加算器 714 へ処理結果を出力する。

【0219】

図 25 に示す空間フィルタ 851 では、図 21 に示す動画初期画像生成部 701 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像を入力して空間解像度の劣化をシミュレーションする処理を行う。ここでは、あらかじめ測定しておいた点広がり関数 (Point Spread Function) をフィルタとして画像へ畳み込みを行う。

10

20

30

40

50

先に説明した超解像収束式（数式 12）中のボケ（H）の演算処理（図 18（1）参照）に相当する。

【0220】

ダウンサンプリング処理部 852 では、高解像度画像を入力画像と同じ解像度までダウンサンプリング処理を実行する。先に説明した超解像収束式（数式 12）中のカメラ解像度（D）の演算処理（図 18（1）参照）に相当する。

【0221】

その後、ダウンサンプリング処理部 852 において高解像度画像のダウンサンプリングによって生成した低解像度化画像は、差分器 853 に入力される。

差分器 853 では、ダウンサンプリング処理部 852 の生成した低解像度化画像と動画高域推定部 711 に入力される低解像度画像 g_k の画素毎の差分値を計算する。

【0222】

この差分器 853 の算出した差分値としての差分画像が、学習型超解像処理部 854 に入力される。

学習型超解像処理部 854 は、先に、図 15 を用いて説明した学習型超解像処理実行装置 340 と同様の構成を有し、同様の処理を実行する。ただし、ここでは、差分画像に対する処理が実行される。

【0223】

差分器 853 生成した差分画像データ、すなわち、

高解像度画像のダウンサンプリングによって生成した低解像度化画像から、入力低解像度画像 g_k の画素毎の差分値からなる差分画像データが、図 15 に示す低解像度画像 371 に対応する。

【0224】

学習型超解像処理部 854 は、予めデータベースに格納した学習データを利用した学習型超解像処理を実行して差分画像に対応する高解像度差分画像を生成する。すなわち、図 15 に示す高解像度画像 372 に対応するデータとしての差分データからなる高解像度差分画像を生成する。

なお、この学習型超解像処理に適用するデータベースに格納した学習データは、低解像度の画素毎の差分値からなる差分画像データから、高解像度差分画像に対応する差分データを生成するための学習データである。

【0225】

このように、学習型超解像処理部 854 は、高解像度画像からなる処理画像に対するダウンサンプリング処理によって低解像度画像と同じ解像度に変換したダウンサンプル処理画像と、超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像との差分画像のアップサンプリング処理において学習型超解像処理を実行する。

なお、学習型超解像処理部 854 は、低解像度画像と、該低解像度画像に基づいて生成される高解像度画像との差分画像の局所画像領域の特徴量情報と、該差分画像を高解像度差分画像に変換するための画像変換情報との対応データからなる学習データを適用して、学習型超解像処理としてのアップサンプリング処理を実行する。

【0226】

学習型超解像処理部 854 の生成した高解像度差分画像データは、加算器 714 へ出力される。その後の処理は、実施例 3 と同様の処理となる。

すなわち、図 23 に示す動画超解像処理部 702 の画質制御部 712 は、先に説明した図 6 に示すようにラプラシアン変換部 141 によって構成され、先に説明した超解像収束式（数式 12）中の一部の演算、すなわち、

$$L^T L f_m$$

この演算処理に相当する処理を実行する。

動画初期画像生成部 701 の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像を入力して動画超解像初期画像に対して、ラプラシアン変換部においてラプラシアンオペレータ（L）を 2 回適用して、図 23 に示す乗算器 713 へ出力する。

10

20

30

40

50

【0227】

図23に示すスケール計算部715では、最急降下法における画像収束演算での勾配ベクトルに対するスケールを決定する。すなわち、先に説明した超解像収束式(数式12)中の係数 α を決定する。

【0228】

スケール計算部715は、図23に示す加算器714から勾配ベクトル(先に説明した図19(1)に示す超解像収束式(数式12)中の(a)勾配ベクトル)を入力し、さらに動画初期画像生成部701の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像を入力する。

【0229】

スケール計算部715は、これらの入力に基づいて、図19(2)に示す先に式(数式10)として説明したコスト計算式で示されるコスト: $E(f_{m+1})$ を最小とする α を求める。

この α の算出処理としては、一般的には、2分探索等の手法を用い、最小となる α を計算する。なお、計算コストを削減したい場合には、入力によらず、定数を入力する構成でも良い。

【0230】

この結果、最小コストの設定可能な α が決定される。(α)は乗算器716に出力される。乗算器716では、加算器714の出力として得られる勾配ベクトル(V_a) (図19(1)参照)とスケール計算部715の出力値(α)を乗算し、(V_a)を加算器717へ出力する。加算器717では、動画初期画像生成部701の生成した前述したブレンド結果としての動画超解像初期画像 f_0 から、乗算器716からの入力である (V_a)を減算する処理を行い、超解像処理結果 f_t を算出する。

すなわち、

$$f_t = f_0 - (V_a)$$

上記式に基づいて、超解像処理結果 f_t を算出する。この式は、図19(1)に示す先に説明した超解像収束式(数式12)に対応する。

動画超解像処理部702は、これを超解像処理結果として出力し、かつ画像バッファ703に格納する。

【0231】

実施例3では、学習型超解像処理を画像差分データではなく、個別の画像に対して実行して、その結果の差分を算出する処理を実行していたが、本実施例4ではあらかじめ差分データを生成して、その差分データに対する学習型超解像処理を実行する処理としている点が異なるものである。

【0232】

上述したように、実施例3、実施例4は、超解像処理対象を動画像とした処理を実行する画像処理装置において、アップサンプリング処理を学習データを適用した学習型超解像処理として実行する構成を持つ。

実施例3は、低解像度画像から高解像度画像の生成処理として実行するアップサンプリング処理を学習データを適用した学習型超解像処理として実行する構成である。

また、実施例4は、低解像度画像間の差分画像のアップサンプリング処理を学習データを適用した学習型超解像処理として実行する構成である。

【0233】

すなわち、図21に示す実施例3、実施例4の画像処理装置700の動画超解像処理部702は、図24または図25に示すように、超解像処理の処理対象画像として入力する低解像度画像と、超解像処理の処理過程画像または初期画像である処理画像との差分画像情報を生成する動画高域推定部を有する。また、超解像処理部702は、図23に示すように、高域推定部の出力する差分画像情報と、処理画像との演算処理により処理画像の更新処理を行うスケール計算部715や加算器、乗算器等から構成される演算部を有する。

図24または図25を参照して説明したように、動画高域推定部は、差分画像情報の生

10

20

30

40

50

成処理において、学習データを適用した学習型データ処理を実行する。

【0234】

例えばアップサンプリング処理を、学習データを適用した学習型超解像処理として実行することで、超解像結果の主観的な結果が向上し、また、入力される低解像度画像の枚数が少ない場合や劣化が大きい場合でも、画質の低下の少ない高解像度画像を生成することが可能となる。

【0235】

すなわち、前述したように、再構成型超解像手法のみを利用した場合、アップサンプリング処理として以下の処理が行われる。

(a) 入力画面内の折り返し成分(エイリアシング)に基づいて、高周波成分(ナイキスト周波数以上)の成分を推定

(b) 低域成分内(ナイキスト周波数以下)の折り返し成分(エイリアシング)を除去、高周波成分(ナイキスト周波数以上)の復元

このような処理が実行される。

しかし、この手法では、入力画像枚数が少ない場合、折り返し成分(エイリアシング)の推定がうまくいかない。また、入力画像内の入力画像が極端に劣化しており、折り返し成分が検出できない場合にも同様に高域性能が不十分となる。

【0236】

本発明の構成では、アップサンプリング処理に際して、学習データを利用した学習型超解像処理を実行する構成であり、上記のような再構成型懲戒増処理の欠点を発生させることのないアップサンプリング処理が可能となる。

【0237】

なお、上述の実施例1~4では、アップサンプリング処理を学習データを適用した処理として実行する処理例を説明したが、画像処理装置において実行するダウンサンプリング処理についても予め学習データを準備し、その学習データを適用したダウンサンプリング処理を実行する構成としてもよい。

【0238】

[4. 画像処理装置のハードウェア構成例について]

最後に、図26を参照して、上述した処理を実行する画像処理装置の1つのハードウェア構成例について説明する。CPU(Central Processing Unit)901は、ROM(Read Only Memory)902、または記憶部908に記憶されているプログラムに従って各種の処理を実行する。例えば、上述の各実施例において説明した超解像処理等の画像処理を実行する。RAM(Random Access Memory)903には、CPU901が実行するプログラムやデータなどが適宜記憶される。これらのCPU901、ROM902、およびRAM903は、バス904により相互に接続されている。

【0239】

CPU901はバス904を介して入出力インタフェース905に接続され、入出力インタフェース905には、キーボード、マウス、マイクロホンなどよりなる入力部906、ディスプレイ、スピーカなどよりなる出力部907が接続されている。CPU901は、入力部906から入力される指令に対応して各種の処理を実行し、処理結果を例えば出力部907に出力する。

【0240】

入出力インタフェース905に接続されている記憶部908は、例えばハードディスクからなり、CPU901が実行するプログラムや各種のデータを記憶する。通信部909は、インターネットやローカルエリアネットワークなどのネットワークを介して外部の装置と通信する。

【0241】

入出力インタフェース905に接続されているドライブ910は、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、或いは半導体メモリなどのリムーバブルメディア911を駆動

10

20

30

40

50

し、記録されているプログラムやデータなどを取得する。取得されたプログラムやデータは、必要に応じて記憶部 908 に転送され記憶される。

【0242】

以上、特定の実施例を参照しながら、本発明について詳解してきた。しかしながら、本発明の要旨を逸脱しない範囲で当業者が実施例の修正や代用を成し得ることは自明である。すなわち、例示という形態で本発明を開示してきたのであり、限定的に解釈されるべきではない。本発明の要旨を判断するためには、特許請求の範囲の欄を参酌すべきである。

【0243】

また、明細書中において説明した一連の処理はハードウェア、またはソフトウェア、あるいは両者の複合構成によって実行することが可能である。ソフトウェアによる処理を実行する場合は、処理シーケンスを記録したプログラムを、専用のハードウェアに組み込まれたコンピュータ内のメモリにインストールして実行させるか、あるいは、各種処理が実行可能な汎用コンピュータにプログラムをインストールして実行させることが可能である。例えば、プログラムは記録媒体に予め記録しておくことができる。記録媒体からコンピュータにインストールする他、LAN (Local Area Network)、インターネットといったネットワークを介してプログラムを受信し、内蔵するハードディスク等の記録媒体にインストールすることができる。

【0244】

なお、明細書に記載された各種の処理は、記載に従って時系列に実行されるのみならず、処理を実行する装置の処理能力あるいは必要に応じて並列的あるいは個別に実行されてもよい。また、本明細書においてシステムとは、複数の装置の論理的集合構成であり、各構成の装置が同一筐体内にあるものには限らない。

【産業上の利用可能性】

【0245】

以上、説明したように、本発明の一実施例の構成によれば、再構成型超解像処理と学習型超解像処理を組み合わせた処理により高解像度画像を生成する装置および方法が提供される。本発明の一実施例によれば、超解像処理の処理対象となる低解像度画像と、超解像処理の処理過程画像または初期画像である処理画像との差分画像情報を生成し、差分画像情報と処理画像との演算処理により処理画像の更新処理を行って高解像度の画像を生成する。差分画像を生成する高域推定部において、学習データを適用した学習型超解像処理を実行する。具体的には例えばアップサンプリング処理を学習型超解像処理として実行する。本構成により再構成型超解像処理の欠点を解消し高品質な高解像度画像を生成できる。

【符号の説明】

【0246】

10 理想画像
 11 動き (image warping)
 12 ボケ (blur)
 13 カメラ解像度 (camera resolution decimation)

14 ノイズ (noise)

20 低解像度画像

110 画像処理装置

111 初期画像生成部

112 スイッチ

113 超解像処理部

114 収束判定部

121 高域推定部

123 画質制御部

126 スケール計算部

130 動き検出部

10

20

30

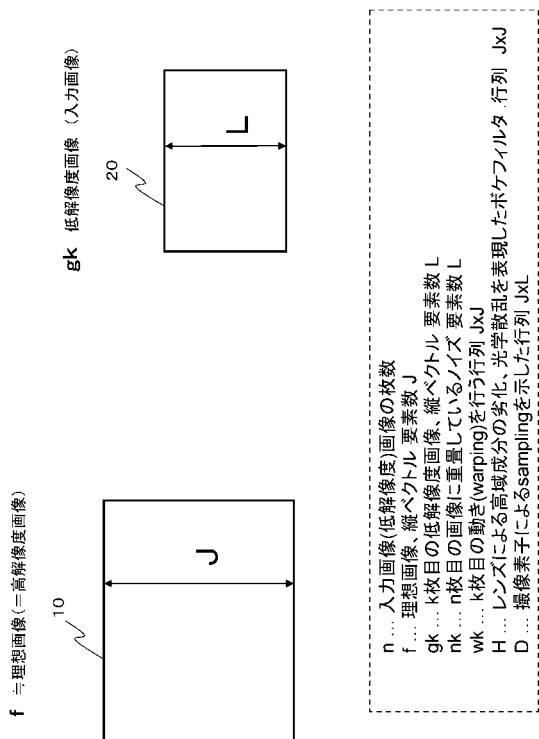
40

50

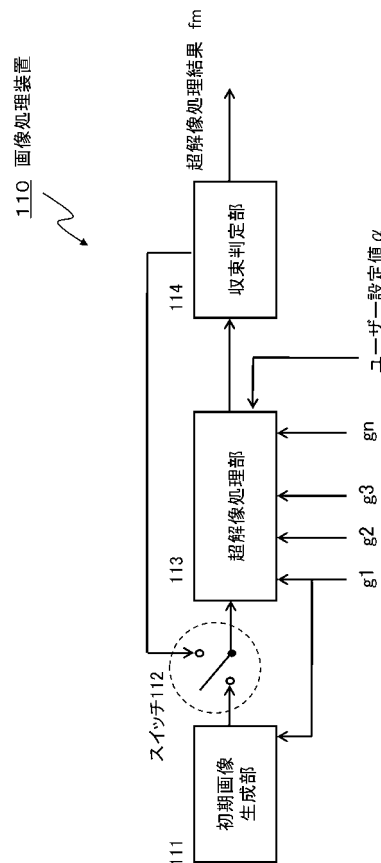
1 3 1	動き補正部	
1 3 2	空間フィルタ	
1 3 3	ダウンサンプリング処理部	
1 3 5	アップサンプリング処理部	
1 3 6	逆空間フィルタ	
1 3 7	逆動き補正部	
1 4 1	ラプラシアン変換部	
2 0 0	画像処理装置	
2 0 1	動画初期画像生成部	
2 0 2	動画超解像処理部	10
2 0 3	画像バッファ	
2 0 5	動き検出部	
2 0 7	動き補正部	
2 0 8	MC未適用領域検出部	
2 0 9	ブレンド処理部	
2 1 1	動画高域推定部	
2 1 2	画質制御部	
2 1 5	スケール計算部	
2 2 1	空間フィルタ	
2 2 2	ダウンサンプリング処理部	20
2 2 4	アップサンプリング処理部	
2 2 5	逆空間フィルタ	
3 0 0	学習用データ生成装置	
3 0 1	ぼかし処理部	
3 0 2	低解像度化処理部	
3 2 1	、 3 2 2	ブロック分割部
3 2 3	画像特徴量抽出部	
3 2 4	変換フィルタ係数導出部	
3 3 1	ベクトル変換部	
3 3 2	量子化処理部	30
3 4 1	ブロック分割部	
3 4 2	画像特徴量抽出部	
3 4 3	データベース	
3 4 4	変換フィルタ係数選択部	
3 4 5	フィルタ適用部	
3 4 6	ブロック合成部	
3 5 1	理想画像	
3 5 2	低解像度画像	
3 7 1	低解像度画像	
3 7 2	高解像度画像	40
5 0 0	画像処理装置	
5 0 1	初期画像生成部	
5 0 2	スイッチ	
5 0 3	超解像処理部	
5 0 4	収束判定部	
5 2 1	高域推定部	
5 2 3	画質制御部	
5 2 6	スケール計算部	
6 0 1	動き検出部	
6 0 3	動き補正部	50

6 0 4	空間フィルタ	
6 0 5	ダウンサンプリング処理部	
6 0 6	学習型超解像処理部	
6 0 7	逆空間フィルタ	
6 0 8	学習型超解像処理部	
6 0 9	逆動き補正部	
6 5 1	動き検出部	
6 5 3	動き補正部	
6 5 4	空間フィルタ	
6 5 5	ダウンサンプリング処理部	10
6 5 7	学習型超解像処理部	
6 5 8	逆動き補正部	
7 0 0	画像処理装置	
7 0 1	動画初期画像生成部	
7 0 2	動画超解像処理部	
7 0 3	画像バッファ	
7 0 5	動き検出部	
7 0 7	動き補正部	
7 0 8	M C 未適用領域検出部	
7 0 9	ブレンド処理部	20
7 1 1	動画高域推定部	
7 1 2	画質制御部	
7 1 5	スケール計算部	
8 0 1	空間フィルタ	
8 0 2	ダウンサンプリング処理部	
8 0 3	学習型超解像処理部	
8 0 4	学習型超解像処理部	
8 5 1	空間フィルタ	
8 5 2	ダウンサンプリング処理部	
8 5 4	学習型超解像処理部	30
9 0 1	C P U	
9 0 2	R O M	
9 0 3	R A M	
9 0 4	バス	
9 0 5	入出力インタフェース	
9 0 6	入力部	
9 0 7	出力部	
9 0 8	記憶部	
9 0 9	通信部	
9 1 0	ドライブ	40
9 1 1	リムーバブルメディア	

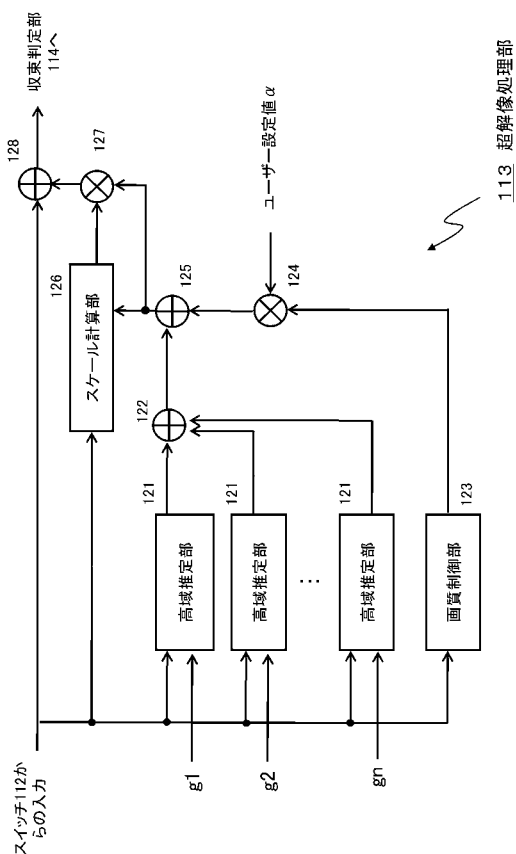
【 図 2 】



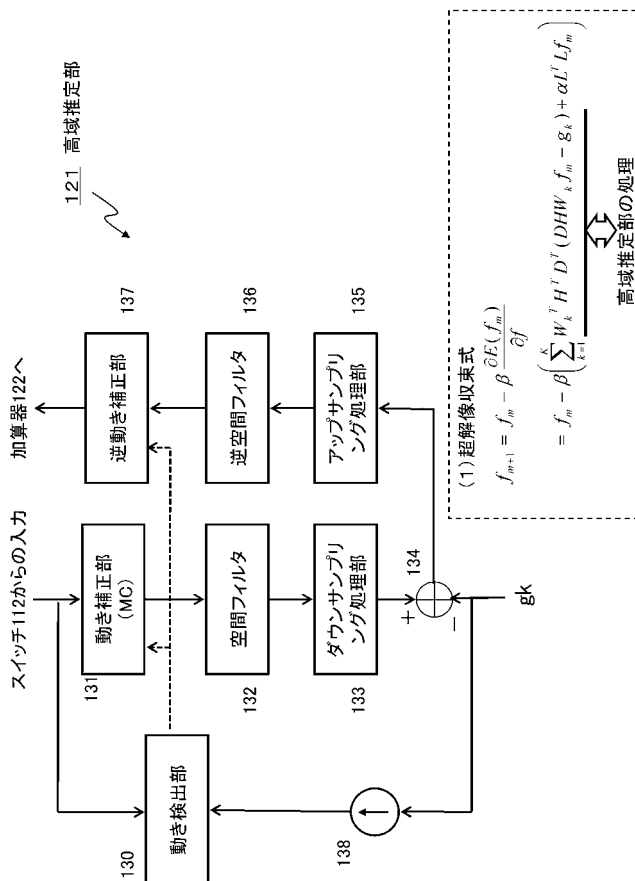
【 図 3 】



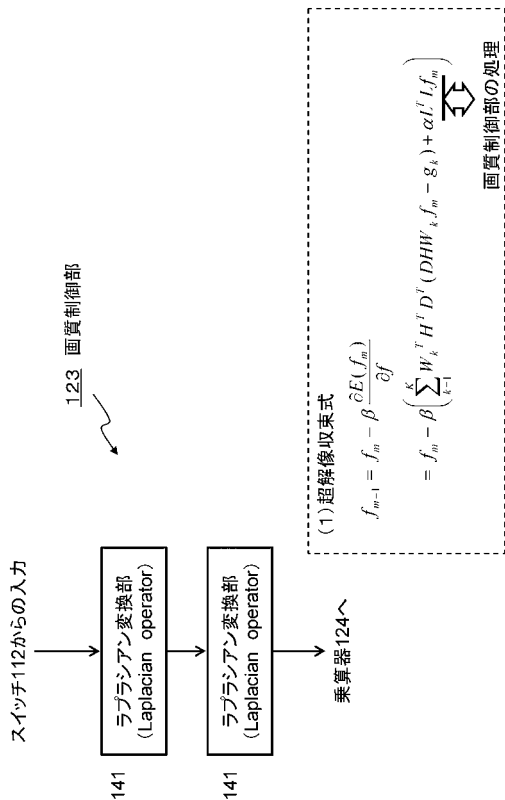
【 図 4 】



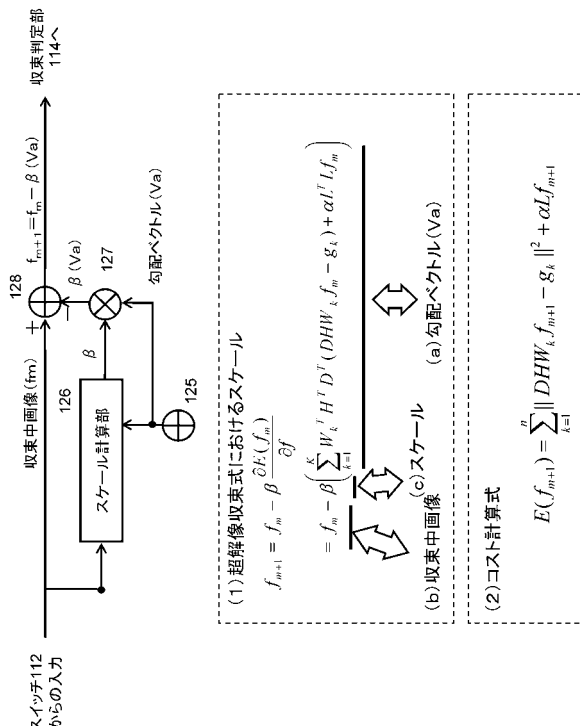
【 図 5 】



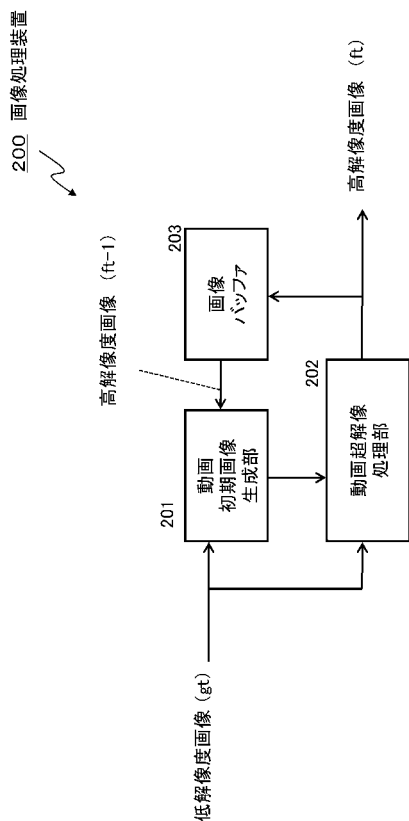
【 図 6 】



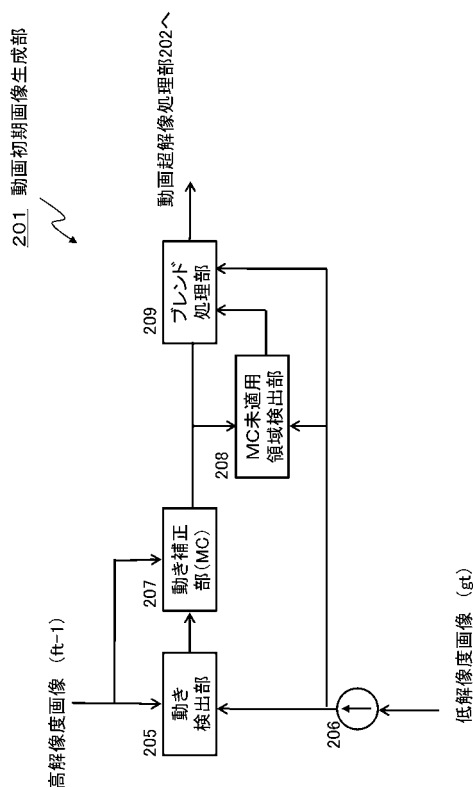
【 図 7 】



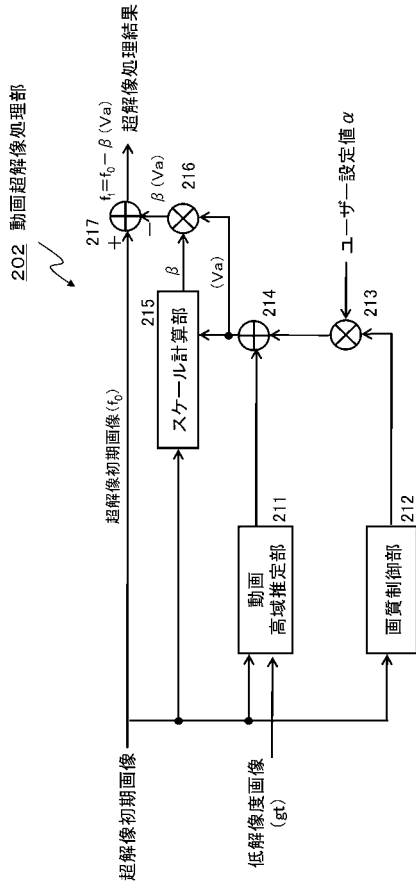
【 図 8 】



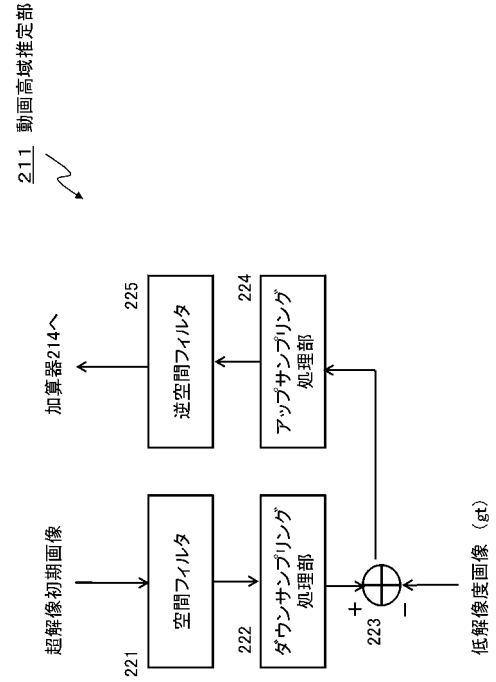
【 図 9 】



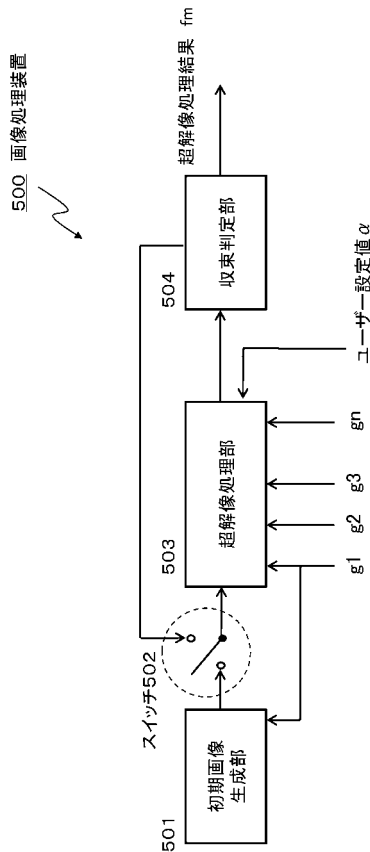
【図 1 0】



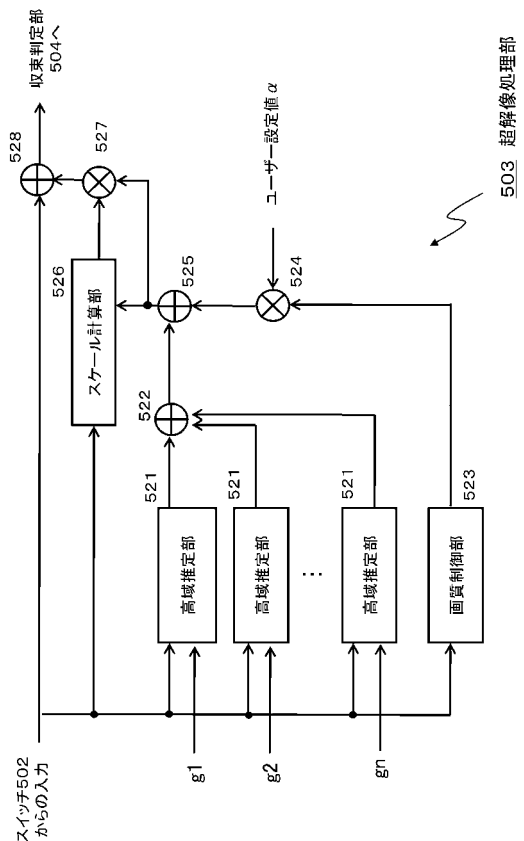
【図 1 1】



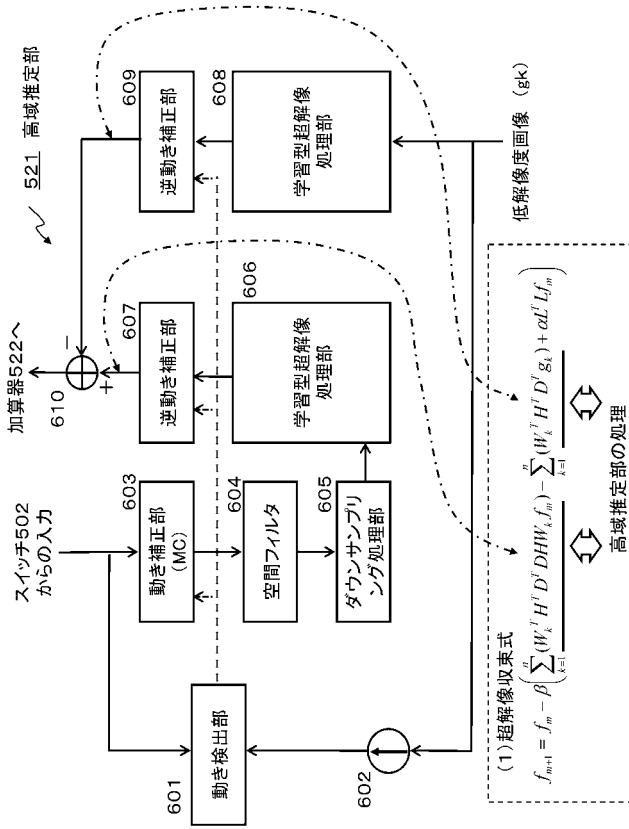
【図 1 6】



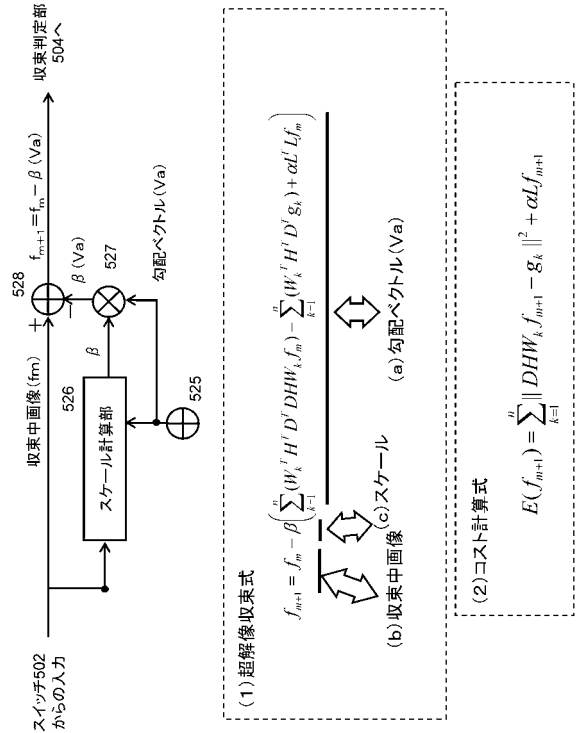
【図 1 7】



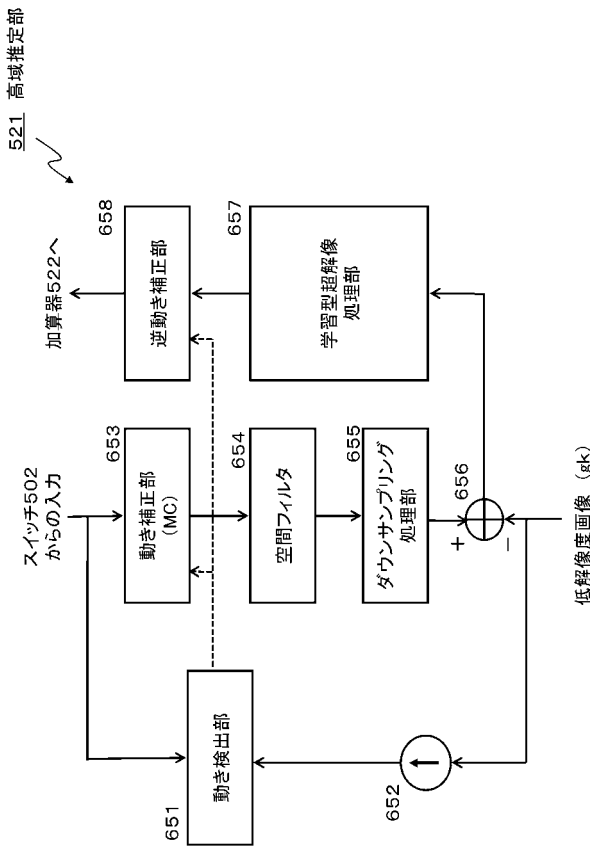
【図 18】



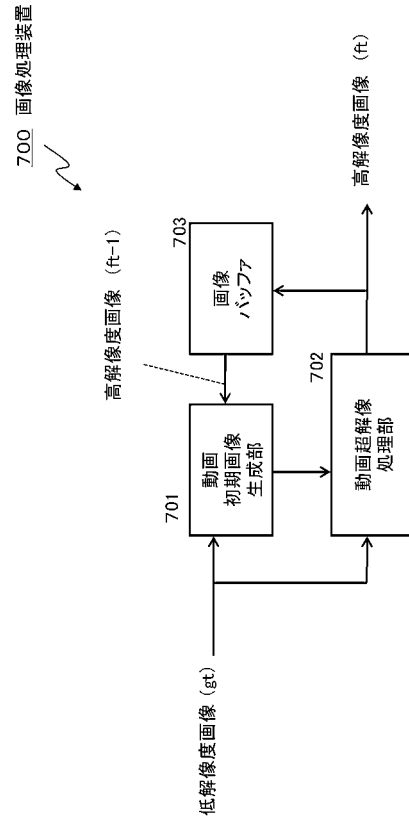
【図 19】



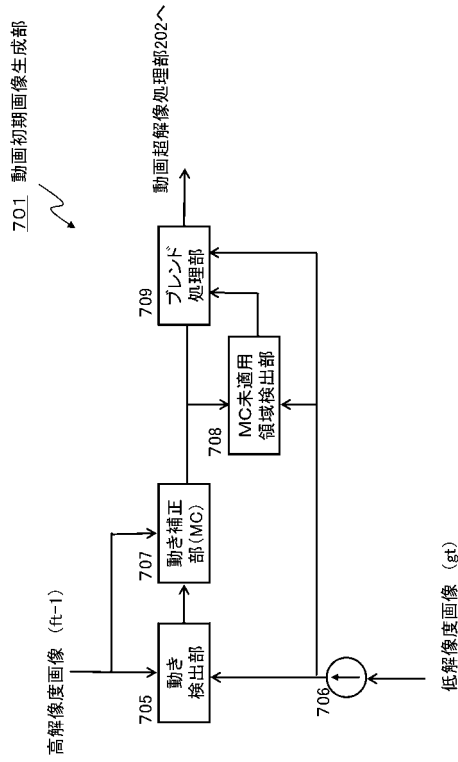
【図 20】



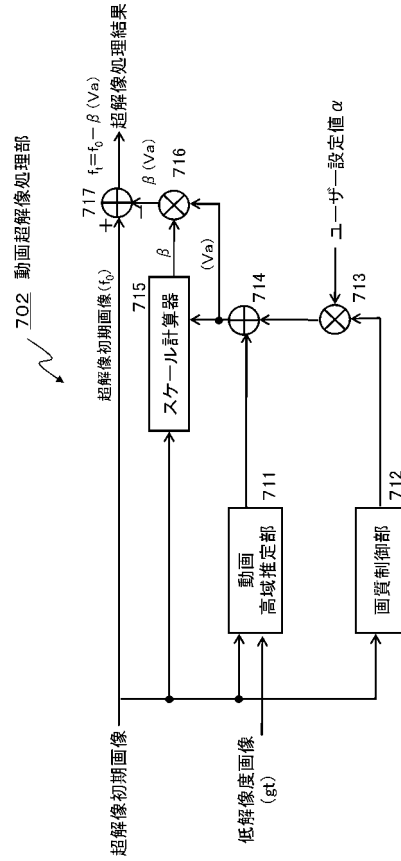
【図 21】



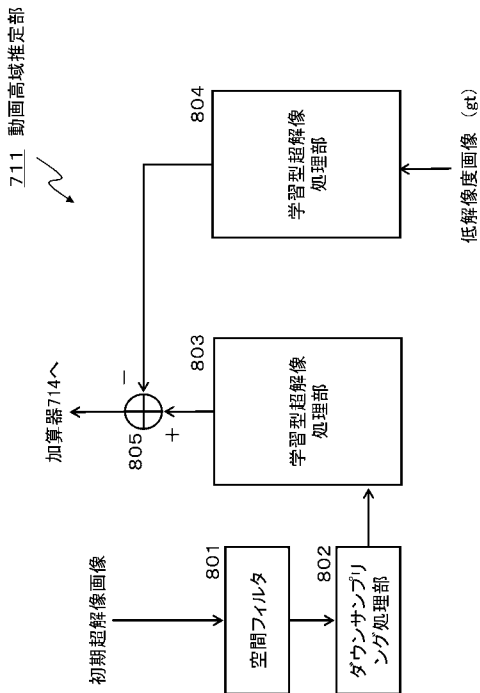
【 図 2 2 】



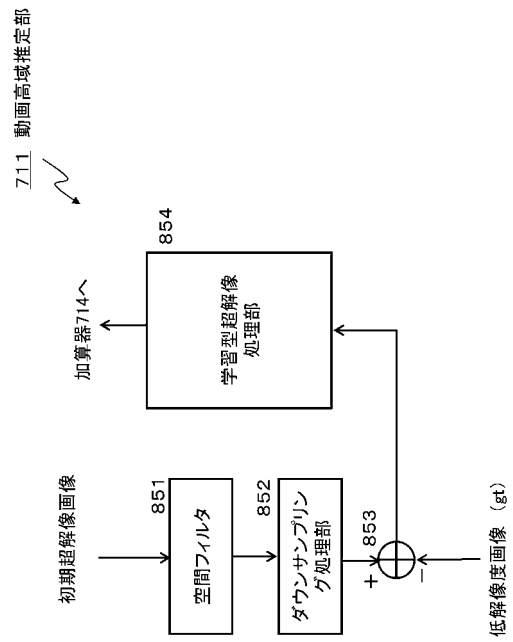
【 図 2 3 】



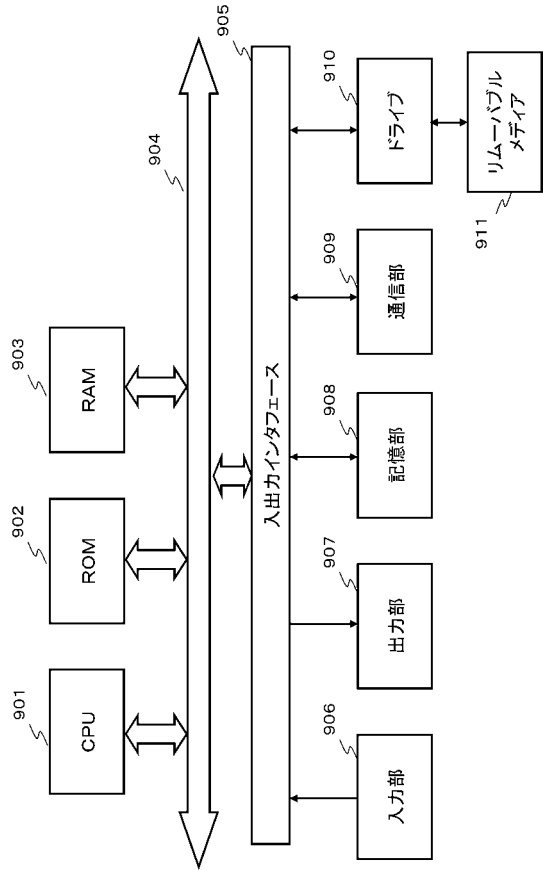
【 図 2 4 】



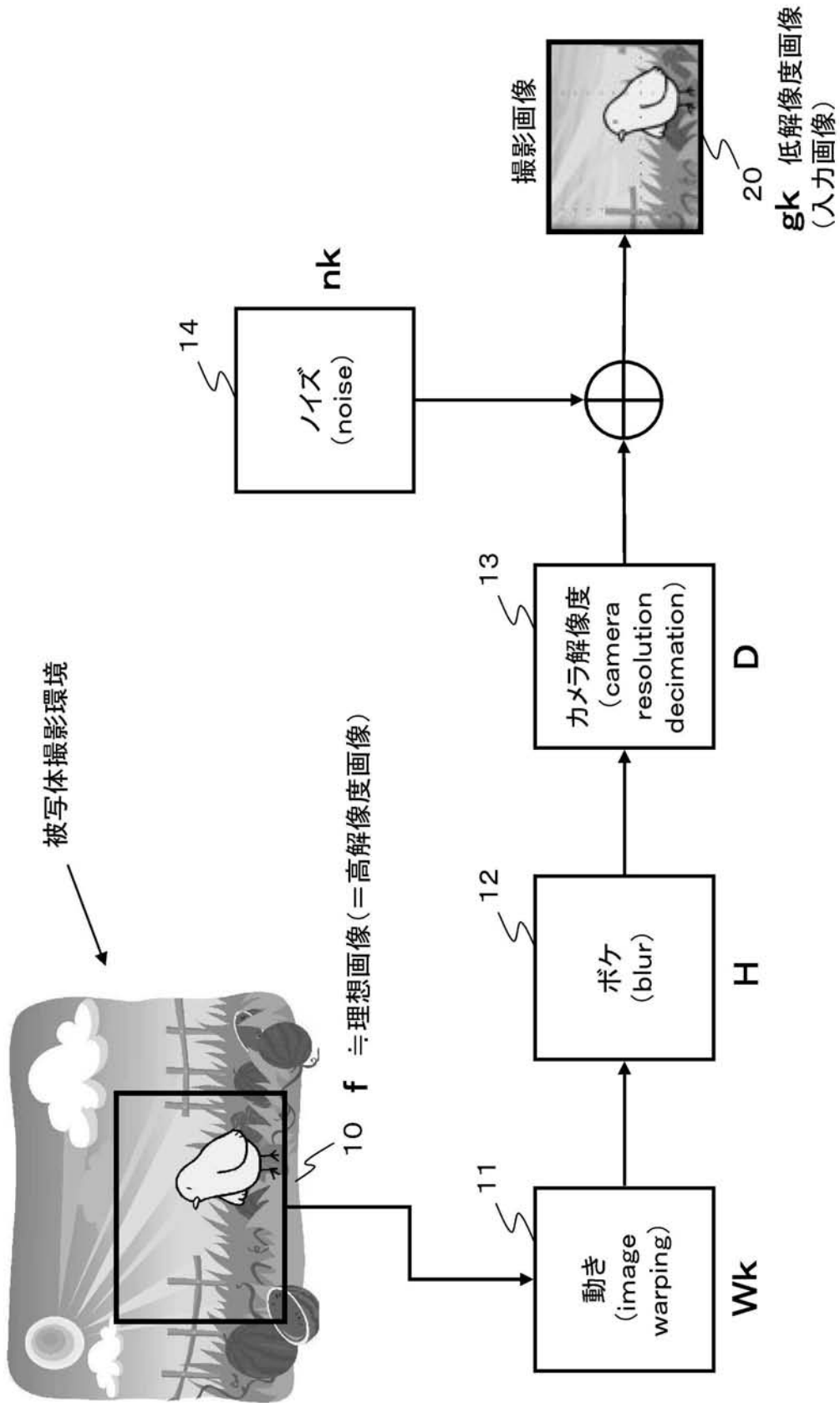
【 図 2 5 】



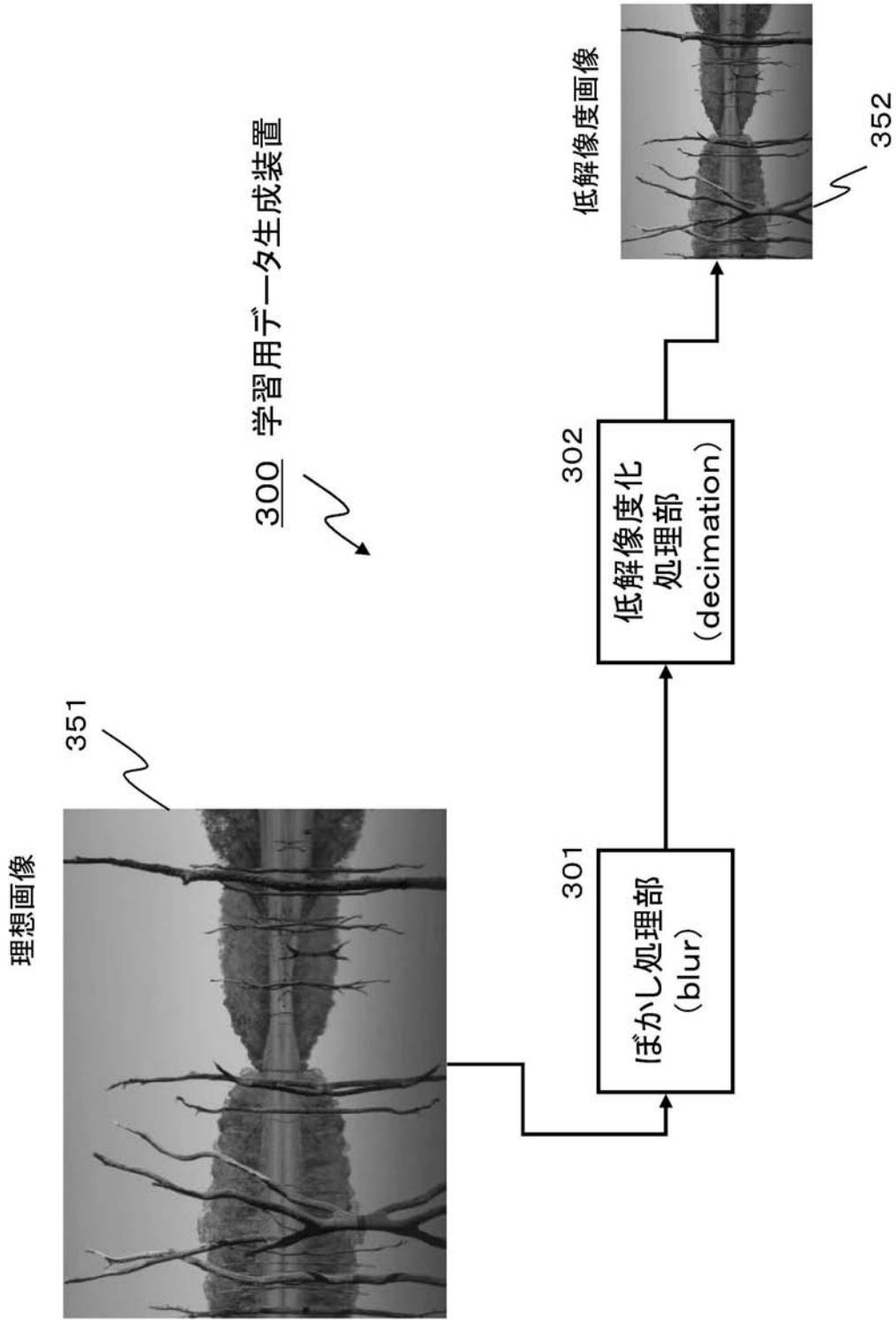
【図 26】



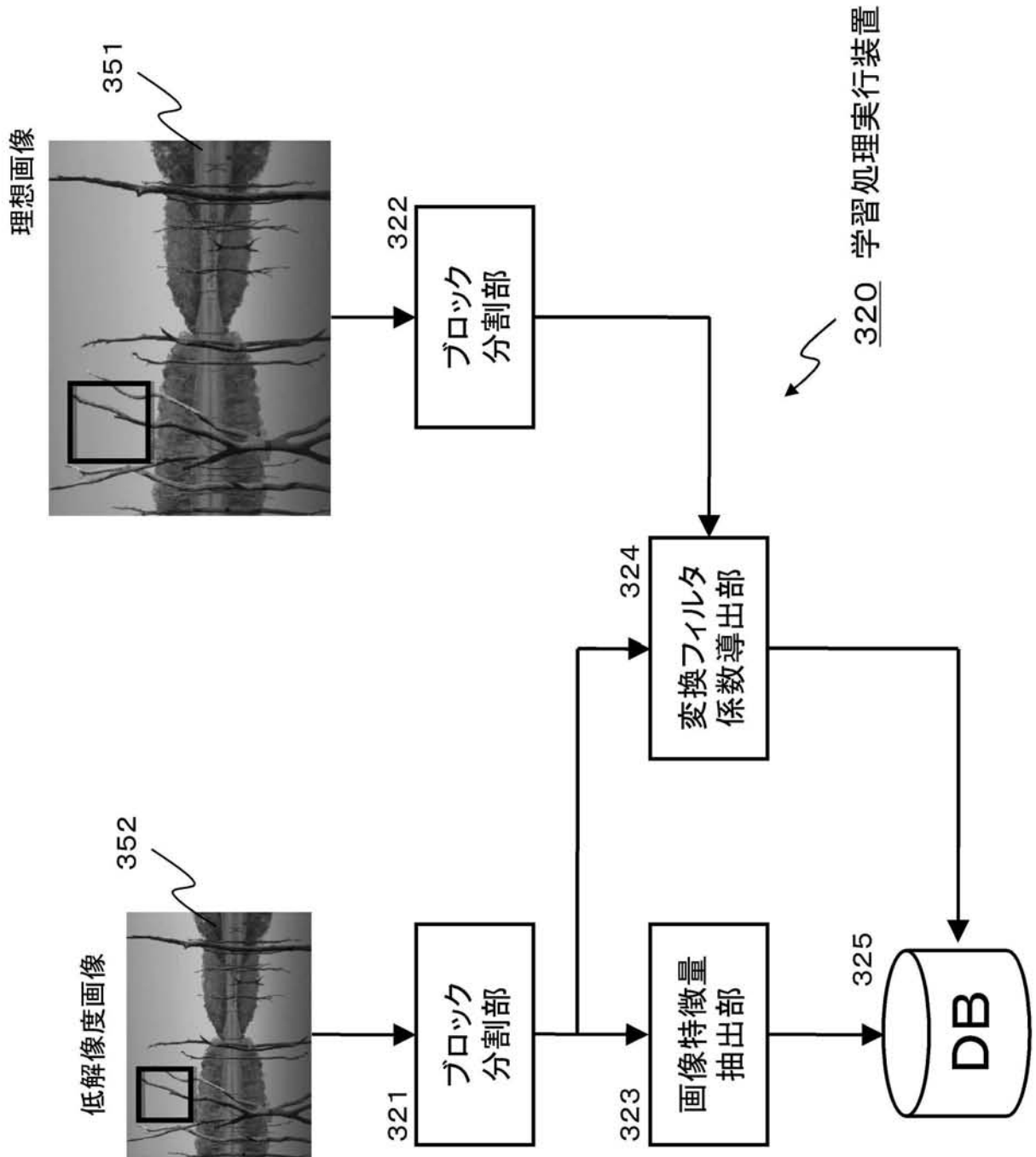
【 図 1 】



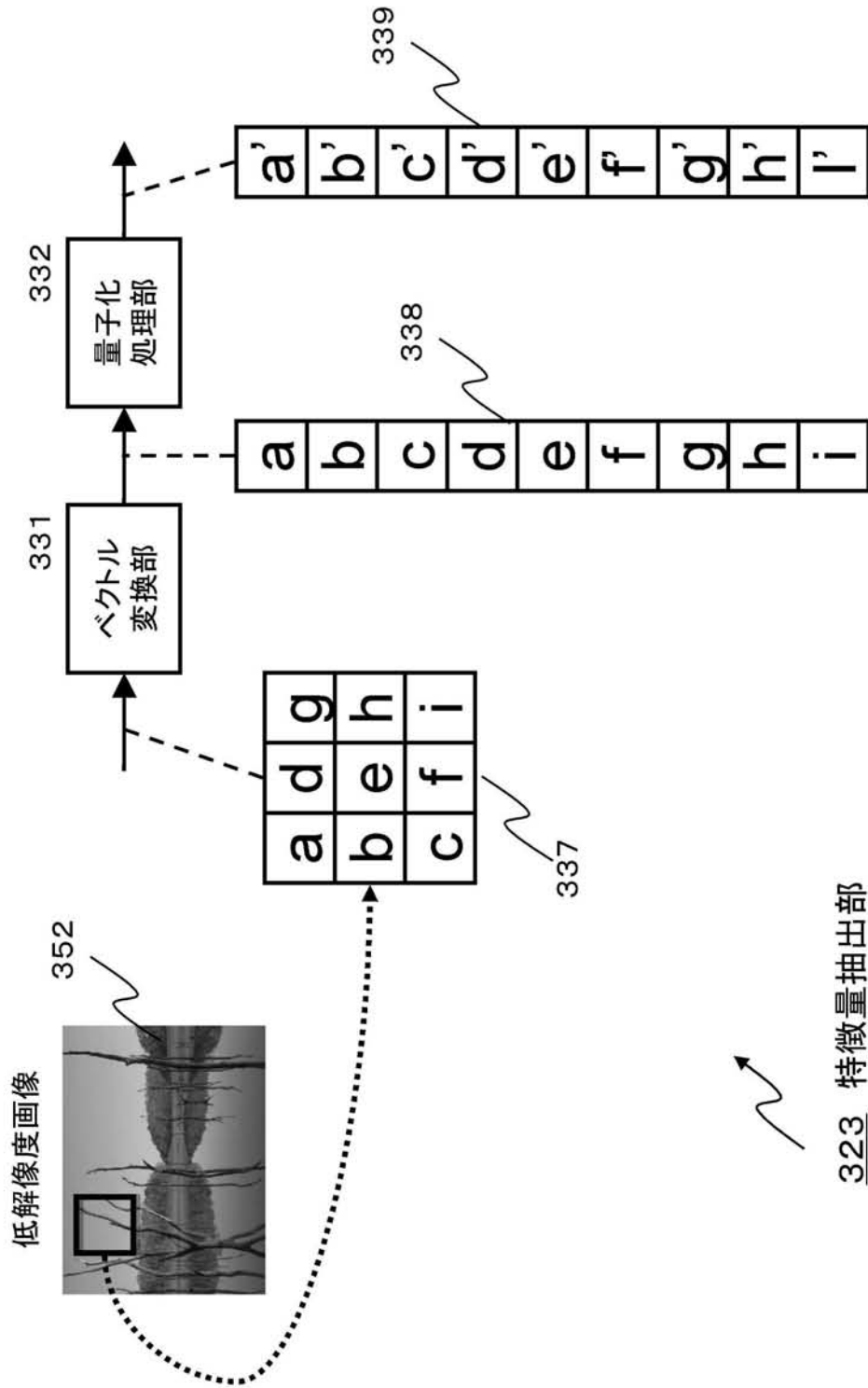
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】

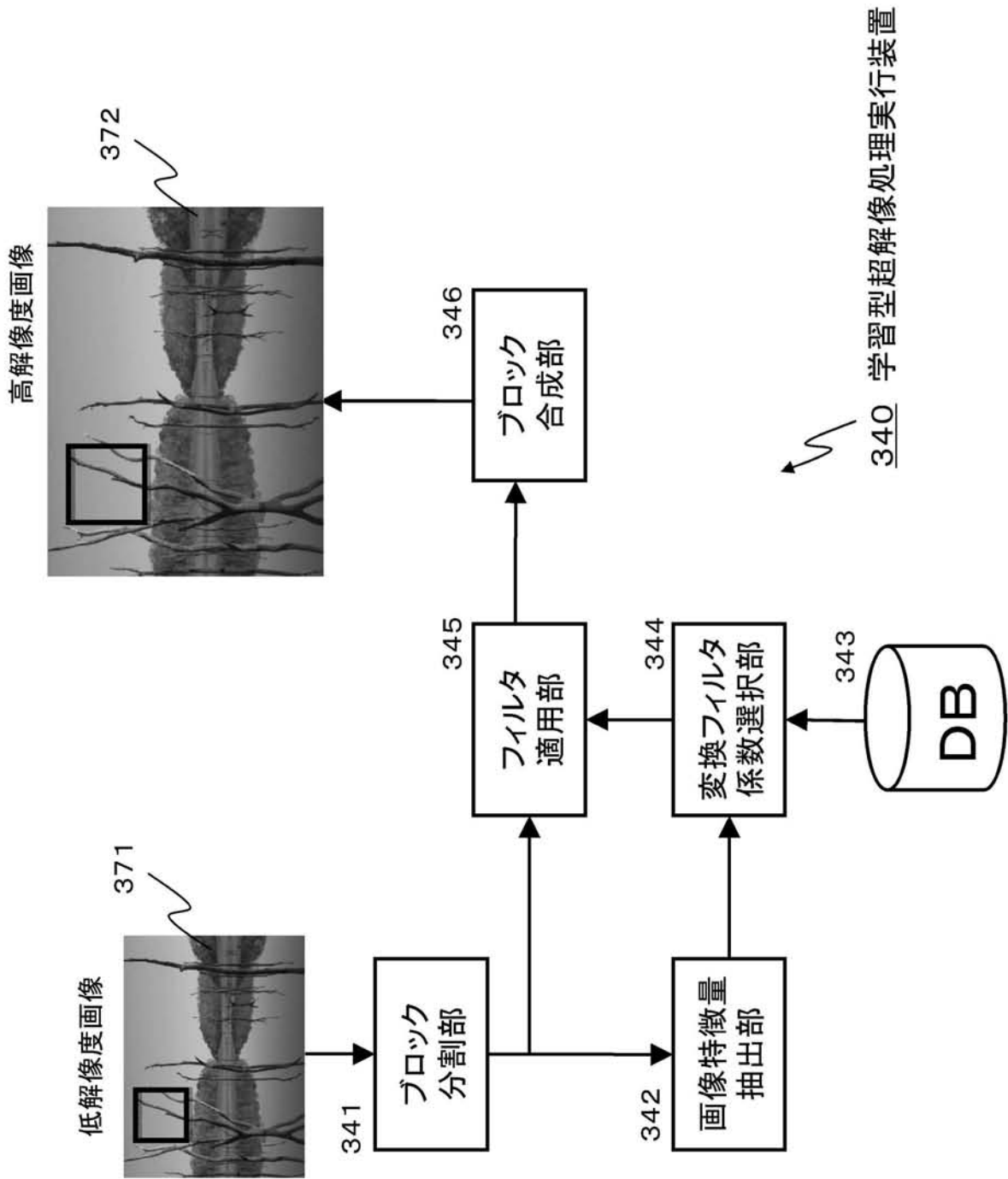


【 図 1 4 】



323 特徴量抽出部

【図 15】



フロントページの続き

(72)発明者 名雲 武文

東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内

(72)発明者 宮井 岳志

東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内

(72)発明者 グザビエ ミシェル

東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内

Fターム(参考) 5B057 CA08 CA12 CA16 CB08 CB12 CB16 CD09 CE03 CE06 DB02

DB09 DC08 DC32 DC36

5C076 AA21 AA22 BB04 BB22 BB25