

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第6450710号  
(P6450710)

(45) 発行日 平成31年1月9日(2019.1.9)

(24) 登録日 平成30年12月14日(2018.12.14)

(51) Int.Cl.	F I
GO6N 20/00 (2019.01)	GO6N 99/00 1 5 3
GO6T 3/40 (2006.01)	GO6T 3/40 7 3 0
HO4N 7/01 (2006.01)	HO4N 7/01 G
HO4N 1/387 (2006.01)	HO4N 1/387 1 0 1

請求項の数 6 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2016-99737 (P2016-99737)	(73) 特許権者	592131906
(22) 出願日	平成28年5月18日 (2016. 5. 18)		みずほ情報総研株式会社
(62) 分割の表示	特願2014-231089 (P2014-231089)		東京都千代田区神田錦町二丁目3番地
	の分割	(74) 代理人	100105957
原出願日	平成26年11月13日 (2014. 11. 13)		弁理士 恩田 誠
(65) 公開番号	特開2016-177829 (P2016-177829A)	(74) 代理人	100068755
(43) 公開日	平成28年10月6日 (2016. 10. 6)		弁理士 恩田 博宣
審査請求日	平成29年11月9日 (2017. 11. 9)	(72) 発明者	永田 毅
			東京都千代田区神田錦町二丁目3番地 み
			ずほ情報総研 株式会社 内
		(72) 発明者	前川 秀正
			東京都千代田区神田錦町二丁目3番地 み
			ずほ情報総研 株式会社 内
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 情報予測システム、情報予測方法及び情報予測プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

学習対象を記録する学習対象記憶部と、学習結果を記録する学習結果記憶部と、入力部に接続された制御部とを備えた情報予測システムであって、

前記制御部が、

前記学習対象記憶部に記録された学習対象毎に、予測元情報の特徴ベクトル及び予測先情報の特徴ベクトルを算出し、

前記予測元情報の特徴ベクトルと前記予測先情報の特徴ベクトルとを結合することにより結合ベクトルを生成し、

すべての学習対象の前記結合ベクトルを用いて、機械学習を行なうことにより、結合基底ベクトルを生成して前記学習結果記憶部に記録する学習処理と、

前記入力部により指定された処理対象を予測元情報とする特徴ベクトル及び、前記予測元情報の特徴ベクトルの結合係数を算出し、この結合係数と、前記学習結果記憶部に記録された前記結合ベクトルを用いて、前記処理対象の予測先情報の特徴ベクトルを算出する予測処理とを実行することを特徴とする情報予測システム。

【請求項 2】

前記予測元情報を第1の基底ベクトルで表現した第1の係数を、前記予測元情報のばらつきを表わす指標で除算した予測元情報の特徴ベクトルを生成するとともに、前記予測先情報を第2の基底ベクトルで表現した第2の係数を、前記予測先情報のばらつきを表わす指標で除算した予測先情報の特徴ベクトルを生成することを特徴とする請求項1に記載の

10

20

情報予測システム。

【請求項 3】

前記予測元情報、予測先情報の特徴ベクトルのばらつきを表わす指標として、それぞれ前記予測元情報、予測先情報の特徴ベクトルの結合係数の標準偏差を用いることを特徴とする請求項 2 に記載の情報予測システム。

【請求項 4】

算出した予測先情報の特徴ベクトルを圧縮して、前記処理対象との差分を比較し、前記差分が基準値より大きい場合には、前記差分を拡大して、前記予測先情報の特徴ベクトルから差し引くポスト処理を実行することを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の情報予測システム。

10

【請求項 5】

学習対象を記録する学習対象記憶部と、学習結果を記録する学習結果記憶部と、入力部に接続された制御部とを備えた情報予測システムを用いて、情報予測を行なう方法であって、

前記制御部が、

前記学習対象記憶部に記録された学習対象毎に、予測元情報の特徴ベクトル及び予測先情報の特徴ベクトルを算出し、

前記予測元情報の特徴ベクトルと前記予測先情報の特徴ベクトルとを結合することにより結合ベクトルを生成し、

すべての学習対象の前記結合ベクトルを用いて、機械学習を行なうことにより、結合基底ベクトルを生成して前記学習結果記憶部に記録する学習処理と、

20

前記入力部により指定された処理対象を予測元情報とする特徴ベクトル及び、前記予測元情報の特徴ベクトルの結合係数を算出し、この結合係数と、前記学習結果記憶部に記録された前記結合ベクトルを用いて、前記処理対象の予測先情報の特徴ベクトルを算出する予測処理とを実行することを特徴とする情報予測方法。

【請求項 6】

学習対象を記録する学習対象記憶部と、学習結果を記録する学習結果記憶部と、入力部に接続された制御部とを備えた情報予測システムを用いて、情報予測を行なうプログラムであって、

前記制御部を、

前記学習対象記憶部に記録された学習対象毎に、予測元情報の特徴ベクトル及び予測先情報の特徴ベクトルを算出し、

30

前記予測元情報の特徴ベクトルと前記予測先情報の特徴ベクトルとを結合することにより結合ベクトルを生成し、

すべての学習対象の前記結合ベクトルを用いて、機械学習を行なうことにより、結合基底ベクトルを生成して前記学習結果記憶部に記録する学習処理と、

前記入力部により指定された処理対象を予測元情報とする特徴ベクトル及び、前記予測元情報の特徴ベクトルの結合係数を算出し、この結合係数と、前記学習結果記憶部に記録された前記結合ベクトルを用いて、前記処理対象の予測先情報の特徴ベクトルを算出する予測処理とを実行する手段として機能させることを特徴とする情報予測プログラム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、予測元情報に基づいて、予測先情報を予測するための情報予測システム、情報予測方法及び情報予測プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

二つの情報の関係を学習し、処理対象情報に対して、この学習結果を利用して、新たな情報を予測する場合がある。例えば、超解像技術においては、低解像度の原画像から高解像度の画像を生成する。この超解像技術は、ディスプレイ装置の高解像度化に伴って注目

50

されており、各種機器等で採用されつつある。この超解像技術においては、失われた高周波成分を類推することになる。例えば、ある画像データのピクセルサイズを縦横に拡大する場合、隣り合う二つのピクセルの中間値を算出して、間のピクセルを埋める。この算出方法では失われた高周波成分が再現されず、拡大画像の境界線が曖昧な画像になる。一方、超解像技術では、ピクセルのパターンを解析して、適切と思われるピクセルを算出し、元画像の隣接するピクセル同士の間に埋めることで、高周波成分を類推する。

#### 【 0 0 0 3 】

超解像技術においては、パッチ超解像と、高周波成分予測とを組み合わせる（例えば、非特許文献 1 参照）。この文献に記載された技術では、低周波成分から高周波成分を予測する手法として、低周波と高周波を PCA で次元を削減し、高解像画像を回帰分析で予測する。この場合、ポスト処理としてバイラテラルフィルタを用いている。

10

#### 【 0 0 0 4 】

また、少ないハードウェアリソースで高速に処理する技術も検討されている（例えば、特許文献 1 参照）。この文献に記載された技術では、まず、処理対象とする画像をシーンに分ける。そして、シーンに適合する辞書テーブルを用いて、失われた高周波成分を辞書に対するツリー検索にて類推する。そして、辞書テーブルの検索を高速化するため、主成分分析を用いて、検索キーとなるインデックスビットマップをスカラ値である第一主成分及び第二主成分に変換すると共に、第一主成分と第二主成分とでグルーピングを行ない、その平均値を算出する。

20

#### 【 先行技術文献 】

#### 【 特許文献 】

#### 【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 3 - 2 6 6 5 9 号公報

#### 【 非特許文献 】

#### 【 0 0 0 6 】

【 非特許文献 1 】 Columbia University, Wei Liu<sup>1</sup>, 他「Hallucinating Faces: TensorPatch Super-Resolution and Coupled Residue Compensation」、[online]、Columbia University、[平成 26 年 9 月 23 日検索]、インターネット<[http://www.ee.columbia.edu/~wliu/CVPR05\\_LiuWei1.pdf](http://www.ee.columbia.edu/~wliu/CVPR05_LiuWei1.pdf)>

30

#### 【 発明の概要 】

#### 【 発明が解決しようとする課題 】

#### 【 0 0 0 7 】

上述のように、超解像技術において、高速化、高画質化のための各種試行が行われている。しかしながら、非特許文献 1 に記載の技術においては、主成分分析が行なわれているが、高解像画像は回帰分析により予測している。この場合、低解像と高解像との関係を、主成分係数毎に独立に回帰学習すると、精度のよい主成分係数と悪い主成分係数とが混在してしまうため、全体的な精度に課題が生じる場合がある。

#### 【 0 0 0 8 】

また、特許文献 1 に記載の技術においては、辞書データのデータ量削減と、検索高速化のために主成分分析を行なっているが、主成分係数の分散は考慮されていない。

40

本発明は、上記問題点を解決するためになされたものであり、第 1 の情報に基づいて、第 2 の情報を効率的に予測するための情報予測システム、情報予測方法及び情報予測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 】

#### 【 0 0 0 9 】

・上記課題を解決する情報予測システムは、学習対象を記録する学習対象記憶部と、学習結果を記録する学習結果記憶部と、入力部に接続された制御部とを備える。そして、前記制御部が、前記学習対象記憶部に記録された学習対象毎に、予測元情報の特徴ベクトル及び予測先情報の特徴ベクトルを算出し、前記予測元情報の特徴ベクトルと前記予測先情報の特徴ベクトルとを結合することにより結合ベクトルを生成し、すべての学習対象の前

50

記結合ベクトルを用いて、機械学習を行なうことにより、結合基底ベクトルを生成して前記学習結果記憶部に記録する学習処理と、前記入力部により指定された処理対象を予測元情報とする特徴ベクトル及び、前記予測元情報の特徴ベクトルの結合係数を算出し、この結合係数と、前記学習結果記憶部に記録された前記結合ベクトルを用いて、前記処理対象の予測先情報の特徴ベクトルを算出する予測処理とを実行する。これにより、効率的かつ的確に予測することができる。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、予測元情報に基づいて、予測先情報を効率的に予測することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本実施形態の画像処理システムの説明図。

【図2】本実施形態の処理手順の説明図であって、(a)は第1の学習処理、(b)は第2の学習処理の説明図。

【図3】本実施形態の処理手順の説明図。

【図4】本実施形態の処理手順の説明図。

【図5】本実施形態の超解像処理の処理手順の概要の説明図。

【図6】本実施形態の処理手順の説明図。

【図7】本実施形態の処理手順の説明図。

【図8】本実施形態の処理手順の説明図。

【図9】本実施形態の処理手順の説明図。

【図10】本実施形態の効果の説明図。

【図11】本実施形態の効果の説明図。

【図12】本実施形態の効果の説明図。

【図13】本実施形態の効果の説明図。

【図14】本実施形態の効果の説明図。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明を具体化した情報予測システムの一実施形態を図1～図14に従って説明する。本実施形態では、顔画像の解像度を上げる超解像技術に適用する場合を説明する。

30

図1に示すように、本実施形態では、画像処理システム20を用いる。この画像処理システム20には、入力部10、出力部15が接続されている。入力部10は、キーボードやポインティングデバイスにより構成され、担当者によって入力された情報を取得する。出力部15は、ディスプレイにより構成され、各種情報の出力を行なう。

【0016】

画像処理システム20は、超解像処理を行なうためのコンピュータシステムである。この画像処理システム20は、制御部21、学習対象記憶部としての顔画像記憶部22、学習結果記憶部23を備えている。

【0017】

制御部21は、制御手段(CPU、RAM、ROM等)を備え、後述する処理(学習段階、超解像段階、第1予測段階、第2予測段階、ポスト処理段階、特徴点抽出段階、メッシュ分割段階、正規化段階、特徴画像抽出段階、主成分分析段階等の各処理等)を行なう。そのための情報予測プログラムを実行することにより、制御部21は、図1に示すように、学習部210、超解像部215、第1予測部216、第2予測部217、ポスト処理部218、特徴点抽出部21a、メッシュ分割部21b、正規化部21c、特徴画像抽出部21d、主成分分析部21eとして機能する。

40

【0018】

学習部210は、高解像画像と、この高解像画像に対応した低解像画像とを用いて、超解像処理に必要な情報を生成する処理を実行する。

50

超解像部 2 1 5 は、処理対象画像（入力画像）の解像度を上げる超解像処理を実行する。超解像部 2 1 5 は、処理対象画像及び計算途中の画像を記憶するメモリを備えている。

【 0 0 1 9 】

第 1 予測部 2 1 6 は、主成分ベクトルが直交化されている場合に、高解像パッチの最適解を算出する処理を実行する。

第 2 予測部 2 1 7 は、主成分ベクトルが直交化されていない場合に、高解像パッチの最適解を検索する処理を実行する。第 2 予測部 2 1 7 は、主成分係数の最適解の検索時に微小移動させる振幅に関するデータを保持している。

【 0 0 2 0 】

ポスト処理部 2 1 8 は、生成した超解像画像を用いて、誤差を調整する処理を実行する。本実施形態では、I B P（iterative back projection）法を用いる。このポスト処理部 2 1 8 は、超解像結果の妥当性を判定するための閾値に関するデータを保持している。

【 0 0 2 1 】

特徴点抽出部 2 1 a は、処理対象画像において、特徴点を抽出する処理を実行する。本実施形態では、パターン認識により、顔画像を代表する特徴点（例えば、顔の輪郭や顔のパーツ位置）を抽出する。

【 0 0 2 2 】

メッシュ分割部 2 1 b は、抽出した特徴点に基づいて、処理対象画像を所定形状のメッシュに分割する処理を実行する。本実施形態では、Delaunay法を用いて、三角形のメッシュを生成する。このDelaunay法は、空間内の点を連結して三角形のグループを生成し、その三角形のすべての角に対する最小角度が最大になるようにする手法である。

【 0 0 2 3 】

正規化部 2 1 c は、処理対象画像における特徴点が、予め定められた位置に配置されるようにメッシュを変形する処理を実行する。本実施形態では、予め定められた位置として平均顔の配置を用いる。このため、正規化部 2 1 c には、平均顔の配置パターンに関するデータを保持させておく。更に、正規化部 2 1 c は、変形させたメッシュを元に戻す処理を実行する。このため、正規化部 2 1 c には、正規化のために変形させたときの変換情報を記憶する。

【 0 0 2 4 】

特徴画像抽出部 2 1 d は、正規化した処理対象画像から超解像画像を生成するために必要な特徴量を抽出する処理を実行する。本実施形態では、特徴量として、画像の高周波成分を用いる。なお、後述するように、処理対象画像そのもの（元画像）を特徴量として用いることも可能である。

【 0 0 2 5 】

主成分分析部 2 1 e は、複数のデータにおいて、分散の大きい方向順に直交ベクトルを求める主成分分析処理を実行する。主成分分析部 2 1 e は、主成分分析処理により、固有値と固有ベクトル（基底ベクトル）とを算出する。ここで、固有値は分散を示す。また、基底ベクトルは、分散の大きな方向順に並べられる。下位の主成分ほど情報が少ないので、一定の累積寄与率（正規化固有値の累積）に達した時点で足切りすることにより、次元を限定して計算負荷を軽減することができる。

【 0 0 2 6 】

次に、各記憶部に記録されている情報を説明する。

顔画像記憶部 2 2 には、学習に用いる顔画像（学習対象）に関する学習用画像データが記録されている。この学習画像データは、超解像処理のための学習に用いるデータが登録された場合に記録される。この顔画像データには、データ番号に関連付けられて、複数の顔画像が記録されている。

【 0 0 2 7 】

学習結果記憶部 2 3 には、カップリング学習によって生成された主成分基底ベクトルと平均ベクトルとが記録される。ここで、i 番目の結合パッチベクトルの平均ベクトルは以下のように表現することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

【 数 1 】

 $\bar{p}_i^{(m)}$  i 番目の結合パッチベクトルの平均ベクトル

【 0 0 2 9 】

また、i 番目の結合パッチベクトルの、n 番目の主成分の主成分基底ベクトルは、以下のように表現することができる。

【 0 0 3 0 】

【 数 2 】

 $\vec{u}_{in}^{(m)}$  i 番目の結合パッチベクトルの n 番目の主成分基底ベクトル

10

【 0 0 3 1 】

以下、上記画像処理システム 20 において、超解像画像を生成する場合の処理を説明する。この処理は、学習処理と超解像処理とから構成される。

( 学習処理 )

まず、図 2 を用いて、学習処理を説明する。この学習処理は、第 1 の学習処理と第 2 の学習処理とを含む。第 1 の学習処理においては、サイズや顔パーツの位置を合わせるように正規化した高解像と低解像との顔画像のペアを生成する。第 2 の学習処理においては、高解像と低解像との顔画像のペアを、それぞれ所定形状 (例えば、四角形) の要素 (パッチ) に分割する。そして、パッチ単位で「低解像、高解像」の関係を、主成分分析によりカップリング学習する。

20

【 0 0 3 2 】

( 第 1 の学習処理 )

まず、図 2 ( a ) を用いて、第 1 の学習処理を説明する。

ここでは、画像処理システム 20 の制御部 21 は、顔画像記憶部 22 に記録された顔画像データにおいて、順次、処理対象のデータを特定し、以下の処理を繰り返す。

【 0 0 3 3 】

まず、画像処理システム 20 の制御部 21 は、特徴点抽出処理を実行する (ステップ S 1 - 1)。具体的には、制御部 21 の学習部 210 は、特徴点抽出部 21a を用いて、顔の輪郭や顔パーツの特徴点を特定する。本実施形態では、顔の表情のトラッキングや顔の認識などに主に使われている AAM (Active Appearance Models) 法による自動抽出を用いる。この AAM 法では、対象物体 (人の顔) を有限個の頂点でモデル化し、このモデルを入力画像に対してフィッティングすることで対象物体の特徴点の抽出を行なう。

30

【 0 0 3 4 】

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、メッシュ分割処理を実行する (ステップ S 1 - 2)。具体的には、制御部 21 の学習部 210 は、メッシュ分割部 21b を用いて、抽出した特徴点が配置された顔画像をメッシュ分割する。

【 0 0 3 5 】

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、正規化処理を実行する (ステップ S 1 - 3)。具体的には、制御部 21 の学習部 210 は、正規化部 21c を用いて、各メッシュのグリッドを、予め定められたメッシュ位置 (例えば、平均顔) に移動させて、メッシュにより構成される三角形を変形する。これにより、すべての顔画像の特徴点の位置が揃った顔画像データを生成することができる。

40

以上、顔画像記憶部 22 に記録されたすべての顔画像データについて終了するまで繰り返す。

【 0 0 3 6 】

( 第 2 の学習処理 )

次に、図 2 ( b ) を用いて、第 2 の学習処理を説明する。

【 0 0 3 7 】

ここでは、まず、画像処理システム 20 の制御部 21 は、処理対象の解像度 (低解像、

50

高解像)を特定し、解像度毎に以下の処理を繰り返す。

ここでは、顔画像記憶部22に記録された顔画像データにおいて、順次、処理対象のデータを特定し、以下の処理を繰り返す。

【0038】

まず、画像処理システム20の制御部21は、ターゲット画像にリサイズ処理を実行する(ステップS2-1)。具体的には、制御部21は、後述するカップリング学習に用いる画像サイズ(低解像画像、高解像画像)に変換する。

【0039】

次に、画像処理システム20の制御部21は、特徴量抽出処理を実行する(ステップS2-2)。具体的には、制御部21の学習部210は、特徴画像抽出部21dにより、正規化したターゲット画像から超解像に必要な特徴量を抽出する。この処理の詳細は、後述する。

10

【0040】

次に、画像処理システム20の制御部21は、パッチ分割処理を実行する(ステップS2-3)。具体的には、制御部21の学習部210は、ターゲット画像を、予め定められた数(所定数)のパッチに分割する。本実施形態では、例えば、(25\*25)画素のパッチを生成する。

【0041】

次に、画像処理システム20の制御部21は、処理対象のパッチを特定し、パッチ毎に以下の処理を繰り返す。

20

ここでは、画像処理システム20の制御部21は、行列の作成処理を実行する(ステップS2-4)。具体的には、制御部21の学習部210は、処理対象のパッチについて、2次元パッチデータを生成する。ここでは、処理対象パッチにおけるRGB値を画素毎に並べた2次元パッチデータを生成する。そして、学習部210は、生成した2次元パッチデータを1次元行パッチベクトル(p<sub>ij</sub>)に変換する。ここで、「i」はパッチ位置、「j」は顔画像データを特定する変数である。そして、学習部210は、1次元行パッチベクトル(p<sub>ij</sub>)を行列D<sub>i</sub>に格納する。

【0042】

ここで、低解像パッチに関するデータ行列D<sub>li</sub>は以下のように表現できる。

【0043】

30

【数3】

$$D_{li} = \begin{bmatrix} \vec{p}_{i1}^{(l)} \\ \vec{p}_{i2}^{(l)} \\ \vec{p}_{i3}^{(l)} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

【0044】

また、高解像パッチに関するデータ行列D<sub>hi</sub>は以下のように表現できる。

【0045】

【数4】

40

$$D_{hi} = \begin{bmatrix} \vec{p}_{i1}^{(h)} \\ \vec{p}_{i2}^{(h)} \\ \vec{p}_{i3}^{(h)} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

【0046】

そして、処理対象の顔画像データにおけるすべてのパッチについての処理を終了するまで繰り返す。

以上を、すべての顔画像データについての処理を終了するまで繰り返す。

【0047】

50

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、主成分分析処理を実行する（ステップ S 2 - 5）。具体的には、制御部 21 の学習部 210 は、主成分分析部 21e を用いて、パッチ毎に、データ行列（D l i、データ行列 D h i）を用いて、主成分分析を行なう。

【0048】

この場合、低解像像については、以下の主成分係数、主成分基底ベクトルが算出される。

【0049】

【数 5】

$c_{ijn}^{(l)}$  データ番号 j の i 番目の低解像パッチベクトルの n 番目の主成分係数

【0050】

10

【数 6】

$\vec{U}_{in}^{(l)}$  i 番目の低解像パッチベクトルの n 番目の主成分基底ベクトル

【0051】

また、高解像像については、以下の主成分係数、主成分基底ベクトルが算出される。

【0052】

【数 7】

$c_{ijn}^{(h)}$  データ番号 j の i 番目の高解像パッチベクトルの n 番目の主成分係数

【0053】

20

【数 8】

$\vec{U}_{in}^{(h)}$  i 番目の高解像パッチベクトルの n 番目の主成分基底ベクトル

【0054】

ここで、パッチベクトルの平均ベクトルを以下のように表現する。

【0055】

【数 9】

$\vec{p}_i^{(l)}$  i 番目の低解像パッチベクトルの平均ベクトル

【0056】

30

【数 10】

$\vec{p}_i^{(h)}$  i 番目の高解像パッチベクトルの平均ベクトル

【0057】

この場合、低解像の顔画像データ「j」の「i」番目のパッチベクトルは、以下のように表現できる。

【0058】

【数 11】

$$\vec{p}_{ij}^{(l)} = \vec{p}_i^{(l)} + \sum_{n=1}^{n_{\max}(i)} c_{ijn} \vec{U}_{in}^{(l)}$$

40

【0059】

また、高解像の顔画像データ「j」の「i」番目のパッチベクトルは、以下のように表現できる。

【0060】



【数 1 2】

$$\vec{p}_{ij}^{(h)} = \vec{p}_i^{(h)} + \sum_{n=1}^{n_{\max(i)}} c_{ijn} \vec{U}_{in}^{(h)}$$

【0 0 6 1】

なお、 $n_{\max(i)}$ は、累積寄与率98%程度の主成分に制限することで、次元数を100程度に削減することができる。

そして、すべての解像度（低解像画像、高解像画像）についての処理を終了するまで繰り返す。

10

【0 0 6 2】

次に、画像処理システム20の制御部21は、カップリング学習処理を実行する（ステップS2-6）。具体的には、制御部21の学習部210は、低解像パッチと高解像パッチの主成分係数をマージしたベクトルを再度、パッチ毎に主成分分析することで相関を学習する。この処理の詳細は、後述する。

【0 0 6 3】

（特徴量抽出処理）

次に、図3を用いて、特徴量抽出処理（ステップS2-2）を説明する。

まず、画像処理システム20の制御部21は、元画像の縮小処理を実行する（ステップS3-1）。具体的には、制御部21の特徴画像抽出部21dは、処理対象の顔画像を圧縮してサイズの縮小化を行なう。これにより、顔画像の高周波成分が切り捨てられる。

20

【0 0 6 4】

次に、画像処理システム20の制御部21は、低周波成分の算出処理を実行する（ステップS3-2）。具体的には、制御部21の特徴画像抽出部21dは、縮小化した顔画像データを、元のサイズに拡大する。この場合、元のサイズで、低周波成分からなる画像データ（低周波成分画像）が生成される。

【0 0 6 5】

次に、画像処理システム20の制御部21は、高周波成分の算出処理を実行する（ステップS3-3）。具体的には、制御部21の特徴画像抽出部21dは、元の顔画像から低周波成分画像を差し引くことにより、高周波成分を抜き出す。

30

【0 0 6 6】

（カップリング学習処理）

次に、図4を用いて、カップリング学習処理を説明する。ここでは、低解像パッチの主成分係数と、高解像パッチの主成分係数を結合して一つの行ベクトル（1次元ベクトル）を生成する。そして、行列に格納し、再度、主成分分析を行なう。低解像パッチの情報と高解像パッチの情報を結合して主成分分析することで、低解像パッチと高解像パッチの関係を学習する。

【0 0 6 7】

まず、画像処理システム20の制御部21は、行ベクトルの生成処理を実行する（ステップS4-1）。具体的には、制御部21の学習部210は、低解像パッチの主成分係数と、高解像パッチの主成分係数を結合したベクトル $P(m)_{ij}$ を生成する。

40

【0 0 6 8】

【数 1 3】

$$\vec{p}_{ij}^{(m)} = \left( \frac{c_{ij0}^{(l)}}{s_{i0}^{(l)}}, \frac{c_{ij1}^{(l)}}{s_{i1}^{(l)}}, \dots, \frac{c_{ijn_{\max(l,i)}}^{(l)}}{s_{in_{\max(l,i)}}^{(l)}}, \frac{c_{ij0}^{(h)}}{s_{i0}^{(h)}}, \frac{c_{ij1}^{(h)}}{s_{i1}^{(h)}}, \dots, \frac{c_{ijn_{\max(h,i)}}^{(h)}}{s_{in_{\max(h,i)}}^{(h)}} \right)$$

【0 0 6 9】

ここで、「 $S_{in}$ 」は、以下のスケーリングファクターである。

【0 0 7 0】

50

【数 1 4】

 $s_{in}^{(l)}$  i 番目の低解像パッチベクトルの n 番目の主成分係数のスケーリングファクター

【0 0 7 1】

【数 1 5】

 $s_{in}^{(h)}$  i 番目の高解像パッチベクトルの n 番目の主成分係数のスケーリングファクター

【0 0 7 2】

このスケーリングファクター  $s_{in}$  には、i 番目の低解像パッチベクトルの n 番目の主成分係数  $C_{ijn}$  の標準偏差を用いる。

10

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、行列の生成処理を実行する（ステップ S 4 - 2）。具体的には、制御部 21 の学習部 210 は、1 次元行パッチベクトル  $P_{ij}$  を用いて、結合パッチベクトルのデータ行列  $D_{mi}$  を生成する。このデータ行列  $D_{mi}$  は、以下のように表現できる。

【0 0 7 3】

【数 1 6】

$$D_{mi} = \begin{bmatrix} \vec{p}_{i1}^{(m)} \\ \vec{p}_{i2}^{(m)} \\ \vec{p}_{i3}^{(m)} \\ \vdots \end{bmatrix}$$

20

【0 0 7 4】

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、パッチ毎の主成分分析処理を実行する（ステップ S 4 - 3）。具体的には、制御部 21 の主成分分析部 21e は、データ行列  $D_{mi}$  を用いて、主成分分析を行なう。

【0 0 7 5】

この場合、以下の主成分係数、主成分基底ベクトルが算出される。

【0 0 7 6】

【数 1 7】

 $c_{ijn}^{(m)}$  データ番号 j の i 番目の結合パッチベクトルの n 番目の主成分係数

30

【0 0 7 7】

【数 1 8】

 $\vec{u}_{in}^{(m)}$  i 番目の結合パッチベクトルの n 番目の主成分基底ベクトル

【0 0 7 8】

ここで、主成分基底ベクトル  $U_{in}$  は、以下のように表現できる。

【0 0 7 9】

【数 1 9】

$$\vec{U}_{in}^{(m)} = \{ \vec{U}_{in}^{(m,l)} \vec{U}_{in}^{(m,h)} \}$$

40

【0 0 8 0】

【数 2 0】

 $\vec{U}_{in}^{(m,l)}$   $\vec{U}_{in}^{(m)}$  のうち前半の低解像部分

【0 0 8 1】

【数 2 1】

 $\vec{U}_{in}^{(m,h)}$   $\vec{U}_{in}^{(m)}$  のうち後半の高解像部分

【0 0 8 2】

50

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、直交化処理を実行する（ステップ S 4 - 4）。具体的には、制御部 21 の学習部 210 は、グラムシュミット法で低解像成分（〔数 20〕）の直交化を行なう。この場合、高解像成分（〔数 21〕）も、低解像成分における直交化係数を用いて変換する。

【0083】

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、直交化ベクトルを利用可能かどうかについての判定処理を実行する（ステップ S 4 - 5）。具体的には、制御部 21 の学習部 210 は、直交化して、主成分ベクトルの数を「 $n_{\max}(l, i)$ 」個に制限しても、精度上、問題ないかどうかを確認する。具体的には、主成分ベクトルの数を「 $n_{\max}(l, i)$ 」個に制限した場合における、高解像主成分ベクトルの累積寄与率を算出する。この累積寄与率が所定値（例えば、98%）に達している場合には、直交化ベクトルを利用可能と判定する。

10

【0084】

精度上の問題がなく、直交化ベクトルを利用可能と判定した場合（ステップ S 4 - 5 において「YES」の場合）、画像処理システム 20 の制御部 21 は、直交化した結合ベクトル、平均ベクトルの記録処理を実行する（ステップ S 4 - 6）。具体的には、制御部 21 の学習部 210 は、直交化した結合ベクトル、平均ベクトルを、学習結果記憶部 23 に記録する。

【0085】

一方、精度上の問題があり、直交化ベクトルを利用不可と判定した場合（ステップ S 4 - 5 において「NO」の場合）、画像処理システム 20 の制御部 21 は、元の結合ベクトル、平均ベクトルの記録処理を実行する（ステップ S 4 - 7）。具体的には、制御部 21 の学習部 210 は、元の結合ベクトル、平均ベクトルを、学習結果記憶部 23 に記録する。

20

【0086】

ここで、結合パッチベクトルの平均ベクトルを以下のように表現する。

【0087】

【数 22】

$$\bar{p}_i^{(m)} \quad i \text{ 番目の結合パッチベクトルの平均ベクトル}$$

【0088】

30

この場合、データ「j」の「i」番目の 1 次元行パッチベクトル  $P_{ij}$  は、以下のように表現できる。

【0089】

【数 23】

$$\bar{p}_{i,j}^{(m)} = \bar{p}_i^{(m)} + \sum_{n=1}^{n_{\max}(m,i)} c_{i,j,n}^{(m)} \bar{u}_{in}^{(m)}$$

【0090】

【数 24】

40

$$\vec{u}_{in}^{(m)} = \{ \vec{u}_{in}^{(m,l)} \vec{u}_{in}^{(m,h)} \}$$

【0091】

（超解像処理）

次に、図 5 ~ 図 9 を用いて、超解像処理を説明する。

まず、図 5 を用いて、超解像処理の概要を説明する。

【0092】

入力画像から、低解像パッチの主成分係数からなるパッチベクトル V 10 を取得する。そして、学習結果記憶部 23 から、結合パッチベクトルの主成分基底ベクトルの低解像部分 V 21 と、結合パッチベクトルの平均ベクトルの低解像部分 V 22 とを取得する。そし

50

て、パッチベクトル $V_{10}$ を、平均ベクトルの低解像部分 $V_{22}$ 、主成分基底ベクトルの低解像部分 $V_{21}$ で表現するための主成分係数 $C_{ij}$ を算出する。

【0093】

そして、学習結果記憶部23から、結合パッチベクトルの主成分基底ベクトルの高解像部分 $V_{31}$ と、結合パッチベクトルの平均ベクトルの高解像部分 $V_{32}$ とを取得する。そして、算出した主成分係数 $C_{ij}$ 、主成分基底ベクトルの高解像部分 $V_{31}$ 、平均ベクトルの高解像部分 $V_{32}$ を用いて、入力画像の超解像を生成する。

【0094】

次に、図6を用いて、具体的に超解像処理を説明する。

まず、画像処理システム20の制御部21は、顔画像入力処理を実行する（ステップS5-1）。具体的には、制御部21の超解像部215は、入力部10によって指定された入力画像を取得する。

10

【0095】

次に、画像処理システム20の制御部21は、顔特徴点抽出処理を実行する（ステップS5-2）。具体的には、制御部21の超解像部215は、特徴画像抽出部21dを用いて、ステップS1-1と同様に、特徴点の抽出を行なう。

【0096】

次に、画像処理システム20の制御部21は、メッシュ分割処理を実行する（ステップS5-3）。具体的には、制御部21の超解像部215は、メッシュ分割部21bを用いて、ステップS1-2と同様に、顔画像をメッシュ分割する。

20

【0097】

次に、画像処理システム20の制御部21は、正規化処理を実行する（ステップS5-4）。具体的には、制御部21の超解像部215は、ステップS1-3と同様に、各メッシュのグリッドを、予め定められたメッシュ位置（例えば、平均顔）に移動させて、メッシュにより構成される三角形を変形する。

【0098】

次に、画像処理システム20の制御部21は、特徴量抽出処理を実行する（ステップS5-5）。具体的には、制御部21の超解像部215は、特徴画像抽出部21dにより、ステップS2-2と同様に、正規化した入力画像から超解像に必要な特徴量を抽出する。

【0099】

30

次に、画像処理システム20の制御部21は、パッチ分割処理を実行する（ステップS5-6）。具体的には、制御部21の超解像部215は、ステップS2-3と同様に、予め定められた数（所定数）のパッチに分割する。

【0100】

次に、画像処理システム20の制御部21は、処理対象のパッチを特定し、パッチ毎に以下の処理を繰り返す。

ここでは、画像処理システム20の制御部21は、超解像パッチの予測処理を実行する（ステップS5-7）。具体的には、制御部21の超解像部215は、超解像パッチについて、第1予測処理又は第2の予測処理を行なう。ここでは、主成分ベクトルが直交化されている場合には、第1予測処理を行ない、主成分ベクトルが直交化されていない場合には、第2の予測処理を行なう。この処理の詳細は後述する。

40

以上、処理対象画像のすべてのパッチの処理を終了するまで繰り返す。

【0101】

次に、画像処理システム20の制御部21は、ポスト処理を実行する（ステップS5-8）。この処理の詳細は後述する。

【0102】

次に、画像処理システム20の制御部21は、正規化画像を元画像の形状に戻す処理を実行する（ステップS5-9）。具体的には、制御部21の超解像部215は、各メッシュのグリッドを、ステップS5-4の移動方向とは逆方向に移動させることにより、各メッシュのグリッドの配置を元に戻す。

50

## 【 0 1 0 3 】

( 第 1 の予測処理 )

図 7 を用いて、超解像パッチについて、第 1 の予測処理を説明する。この処理は、主成分ベクトルが直交化されており、より高速に処理したい場合に行なわれる。

## 【 0 1 0 4 】

まず、画像処理システム 20 の制御部 21 は、内積処理を実行する ( ステップ S 6 - 1 ) 。具体的には、制御部 21 の第 1 予測部 216 は、以下の式を用いて、内積を算出する。

## 【 0 1 0 5 】

## 【 数 2 5 】

10

$$c_{i,t,n}^{(m)} = \vec{p}_{i,t}^{(l)} \cdot \vec{U}_{in}^{(m,l)}$$

## 【 0 1 0 6 】

ここで、 $U_{in}$ 、 $P_{it}$  は、以下のとおりである。

## 【 0 1 0 7 】

## 【 数 2 6 】

$$\vec{U}_{in}^{(m,l)} \quad \text{直交された結合主成分ベクトルの低解像部分}$$

## 【 0 1 0 8 】

## 【 数 2 7 】

20

$$\vec{p}_{i,t}^{(l)} \quad \text{入力から求めた低解像パッチ係数ベクトル}$$

## 【 0 1 0 9 】

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、高解像パッチの計算処理を実行する ( ステップ S 6 - 2 ) 。具体的には、制御部 21 の第 1 予測部 216 は、以下の式を用いて、各パッチにおいて高解像パッチ係数ベクトルを生成し、超解像部 215 のメモリに記憶する。

## 【 0 1 1 0 】

## 【 数 2 8 】

30

$$\vec{p}_{i,t}^{(m,h)} = \vec{p}_i^{(m,h)} + \sum_{n=1}^{n_{\max}(m,i)} c_{i,t,n}^{(m)} \vec{U}_{in}^{(m,h)}$$

## 【 0 1 1 1 】

( 第 2 の予測処理 )

図 8 を用いて、超解像パッチについて、第 2 の予測処理を説明する。この処理は、主成分ベクトルが直交化されていない場合や、 $n_{\max}(l,i)$  以上の主成分ベクトルを考慮したい場合に行なわれる。

## 【 0 1 1 2 】

まず、主成分分析による低解像パッチ係数ベクトルの算出処理を実行する ( ステップ S 7 - 1 ) 。具体的には、制御部 21 の超解像部 215 は、主成分分析部 21e を用いて、低解像パッチ係数ベクトルを算出する。

40

## 【 0 1 1 3 】

## 【 数 2 9 】

$$\vec{p}_{i,t}^{(l)} \quad \text{入力から求めた低解像パッチ係数ベクトル}$$

## 【 0 1 1 4 】

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、主成分係数の仮設定処理を実行する ( ステップ S 7 - 2 ) 。具体的には、制御部 21 の第 2 予測部 217 は、ステップ S 6 - 1 と同様に、内積を算出することにより、入力画像 ( データ番号 :  $t$  ) の主成分係数  $C_{i,t,n}$

50

を算出する。なお、主成分ベクトルが直交化されていないため、算出した主成分係数  $C_{i,t,n}$  を初期値として仮設定し、後述する最適解検索を行なう。

【 0 1 1 5 】

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、仮設定した主成分係数による低解像パッチ係数ベクトルの算出処理を実行する（ステップ S 7 - 3）。具体的には、制御部 21 の第 2 予測部 217 は、学習結果記憶部 23 から、以下の平均ベクトル、主成分基底ベクトルを取得する。

【 0 1 1 6 】

【数 3 0】

$$\vec{p}_i^{(m,l)} \quad \vec{p}_i^{(m)} \text{のうちの前半の低解像部分}$$

10

【 0 1 1 7 】

【数 3 1】

$$\vec{U}_{in}^{(m,l)} \quad \vec{U}_{in}^{(m)} \text{のうちの前半の低解像部分}$$

【 0 1 1 8 】

この場合、入力画像（データ番号：  $t$  ）の低解像画像の各パッチにおける結合ベクトルの低解像成分（低解像パッチ係数ベクトル）は、仮設定された主成分係数  $C_{i,t,n}$  を用いて、以下のように表現される。

【 0 1 1 9 】

【数 3 2】

$$\vec{p}_{i,t}^{(m,l)} = \vec{p}_i^{(m,l)} + \sum_{n=1}^{n_{\max}(m,i)} c_{i,t,n}^{(m)} \vec{U}_{in}^{(m,l)}$$

20

【 0 1 2 0 】

【数 3 3】

$$\vec{p}_{i,t}^{(m,l)} \quad \text{低解像パッチの主成分係数と、高解像パッチの主成分係数を結合したベクトルのうちの、前半の低解像部分}$$

【 0 1 2 1 】

30

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、差分の算出処理を実行する（ステップ S 7 - 4）。具体的には、制御部 21 の第 2 予測部 217 は、ステップ S 7 - 1 において算出した低解像パッチ係数ベクトルと、ステップ S 7 - 3 において算出した低解像パッチ係数ベクトルとの差分を、以下の式を用いて算出する。

【 0 1 2 2 】

【数 3 4】

$$E = \left| \vec{p}_{i,t}^{(m,l)} - \vec{p}_{i,t}^{(l)} \right|$$

【 0 1 2 3 】

そして、第 2 予測部 217 は、算出した差分を、仮設定した低解像パッチ係数ベクトルに関連付けて、メモリに仮記憶する。

40

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、繰り返し終了かどうかについての判定処理を実行する（ステップ S 7 - 5）。具体的には、制御部 21 の第 2 予測部 217 は、差分が最小値となった場合、繰り返し終了と判定する。

【 0 1 2 4 】

まだ、差分が未だ減少傾向にあり、繰り返し終了でないと判定した場合（ステップ S 7 - 5 において「NO」の場合）、画像処理システム 20 の制御部 21 は、仮設定された主成分係数を勾配の低い方向に微小な振れ幅で位置移動させて、ステップ S 7 - 3 以降の処理を繰り返す。

【 0 1 2 5 】

50

一方、差分が増加傾向に反転し、繰り返し終了と判定した場合（ステップ S 7 - 5 において「YES」の場合）、画像処理システム 20 の制御部 21 は、差分の最小値の主成分係数の特定処理を実行する（ステップ S 7 - 6）。具体的には、制御部 21 の第 2 予測部 217 は、差分が最小値となる主成分係数を特定する。

【0126】

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、高解像パッチの計算処理を実行する（ステップ S 7 - 7）。具体的には、制御部 21 の第 2 予測部 217 は、学習結果記憶部 23 から、以下の平均ベクトル、主成分基底ベクトルを取得する。

【0127】

【数 3 5】

$$\bar{p}_i^{(m,h)} \quad \bar{p}_i^{(m)} \text{のうちの後半の高解像部分}$$

【0128】

【数 3 6】

$$\vec{U}_{in}^{(m,h)} \quad \vec{U}_{in}^{(m)} \text{のうちの後半の高解像部分}$$

【0129】

そして、第 2 予測部 217 は、差分が最小値となる主成分係数を、以下の式に適用して、高解像パッチ係数ベクトルを算出し、超解像部 215 のメモリに記憶する。

【0130】

【数 3 7】

$$\vec{p}_{i,t}^{(m,h)} = \bar{p}_i^{(m,h)} + \sum_{n=1}^{n_{\max}(m,t)} c_{i,t,n}^{(m)} \vec{U}_{in}^{(m,h)}$$

【0131】

（ポスト処理）

図 9 を用いて、ポスト処理を説明する。ここでは、IBP (iterative back projection) 法を用いることにより、算出した超解像を入力画像のサイズに縮小した場合の画像と、入力画像との誤差を小さくする。

【0132】

まず、画像処理システム 20 の制御部 21 は、超解像結果の取得処理を実行する（ステップ S 8 - 1）。具体的には、制御部 21 の超解像部 215 は、ポスト処理部 218 により、超解像部 215 のメモリに記憶された高解像パッチ係数ベクトルからなる画像を呼び出す。

【0133】

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、超解像結果の縮小処理を実行する（ステップ S 8 - 2）。具体的には、制御部 21 のポスト処理部 218 は、呼び出した超解像画像を、入力画像のサイズに縮小した圧縮画像を生成する。

【0134】

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、元画像との差分の算出処理を実行する（ステップ S 8 - 3）。具体的には、制御部 21 のポスト処理部 218 は、圧縮画像と入力画像とを比較して差分を算出する。

【0135】

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、差分は閾値以下かどうかについての判定処理を実行する（ステップ S 8 - 4）。具体的には、制御部 21 のポスト処理部 218 は、算出した差分と許容できる閾値とを比較する。

【0136】

差分は閾値以下と判定した場合（ステップ S 8 - 4 において「YES」の場合）、画像処理システム 20 の制御部 21 は、超解像結果の出力処理を実行する（ステップ S 8 - 5

10

20

30

40

50

）。具体的には、制御部 21 のポスト処理部 218 は、メモリに記録された超解像画像を、超解像処理結果として出力する。

【0137】

一方、差分は閾値以下でないと判定した場合（ステップ S8 - 4 において「NO」の場合）、画像処理システム 20 の制御部 21 は、差分の拡大処理を実行する（ステップ S8 - 6）。具体的には、制御部 21 のポスト処理部 218 は、算出した差分を、超解像画像の解像度に拡大した差分画像を生成する。

【0138】

次に、画像処理システム 20 の制御部 21 は、超解像結果の補正処理を実行する（ステップ S8 - 7）。具体的には、制御部 21 のポスト処理部 218 は、メモリに記憶された画像から差分画像を差し引いた画像を生成し、メモリに記録して更新する。

【0139】

そして、画像処理システム 20 の制御部 21 は、超解像結果の縮小処理（ステップ S8 - 2）以降の処理を繰り返す。

【0140】

以上、本実施形態によれば、以下に示す効果を得ることができる。

（１）本実施形態では、低解像画像と高解像画像とを用いて、主成分分析によるカップリング学習を行なう。低解像と高解像との関係を、主成分係数毎に独立に回帰分析により学習した場合には、精度のよい主成分係数と悪い主成分係数とが混在してしまうため、全体的な精度に課題が生じる場合がある。一方、本実施形態では、係数ベクトル単位で学習するため、主成分係数全体の精度が一致し、全体的な精度の向上を図ることができる。

【0141】

画像データベース検索を行なう手法に比べて、累積寄与率が低い主成分ベクトルを足切りして、次元を小さくすることにより、高速に高解像画像を生成することができる。更に、画像データベース検索を行なう手法よりも、データ容量を格段に少なくすることができる。また、複数の画像を用いて学習処理を行なうため、高画質な高解像画像を生成することができる。

【0142】

図 10 に示すように、入力画像を拡大した場合、ジャギーが生じているが、本実施形態の超解像処理を行なった超解像結果では、高解像を再現できている。低解像の入力画像の元画像（高解像）である「正解」に近い解像を実現できる。

【0143】

（２）本実施形態では、画像処理システム 20 の制御部 21 は、特徴量抽出処理を実行する（ステップ S2 - 2）。ここでは、高周波成分を用いて、特徴量を算出し、比較的良好な超解像を実現することができる。

【0144】

図 11 に示すように、特徴量を抽出する場合に用いる画像を、「元画像」、「高周波成分」を用いた場合を比較する。低解像度特徴量、高解像度特徴量の算出において、いずれにも「元画像」を用いた場合には、輪郭部分にブロックノイズが生じている。一方、低解像度特徴量、高解像度特徴量の算出において、いずれかに「高周波成分」を用いた場合には、良好な超解像を実現できている。

【0145】

（３）本実施形態では、スケーリングファクター  $S_{in}$  には、 $i$  番目の低解像パッチベクトルの  $n$  番目の主成分係数  $C_{ijn}$  の標準偏差を用いる。通常、異なる 2 つの特徴ベクトルを結合して主成分分析を行なう場合、結合前の 2 つの特徴ベクトルの次元の違い（スケールの違い）を多く吸収するため、一方の特徴ベクトルにスケーリングファクターを乗算する。ここで、固定値のスケーリングファクターを用いて主成分分析を行なうと、番号の大きな高周波成分の主成分係数  $C_{ijn}$  は、番号の小さな低周波成分の主成分係数  $C_{ijn}$  の分散にかき消されてしまう。一方、標準偏差で除算してから主成分分析を行なうことにより、各主成分係数のスケールが同等になり、主成分分析のメリットを活かすことができる。



図 12 に示すように、スケーリングファクターを用いない従来法では、超解像画像の劣化が生じているが、本実施形態では、良好な超解像を実現できている。

【0146】

(4) 本実施形態では、画像処理システム 20 の制御部 21 は、超解像パッチについて、第 1 の予測処理又は第 2 の予測処理を実行する。これにより、直交化の状況により、二つの予測処理を使い分けることができる。

【0147】

図 13 には、第 1 の予測処理（最適解検索）を用いた場合と、第 2 の予測処理（直交化）を用いた場合との比較例を示す。両者において、正解画像と超解像画像の差異は、殆ど生じていない。一方、計算時間は、直交化により短縮され、回帰分析と同等な高速処理を実現できる。

10

【0148】

(5) 本実施形態では、画像処理システム 20 の制御部 21 は、ポスト処理を実行する。これにより、誤差を抑制することができる。

図 14 に示すように、ブロックノイズが生じた場合にも、ポスト処理により、影響を小さくすることができる。

【0149】

なお、上記実施形態は、以下の態様に変更してもよい。

・上記実施形態では、第 1 の特徴ベクトルとして低解像ベクトル、第 2 の特徴ベクトルとして高解像ベクトルを用いて、顔画像の超解像を行なう。超解像処理の対象は、顔画像に限定されるものではなく、形状にパターンを有する対象物を高画質に変換する超解像に適用することができる。この場合には、特定のパターンを有する低解像画像と高解像画像とを用いて、学習処理を行なう。

20

【0150】

更に、本発明の情報予測方法は、超解像だけではなく、第 1 のベクトルデータから第 2 のベクトルデータを推定する各種用途に適用することができる。例えば、セグメンテーションにおいては、顕在化された情報から潜在化された情報を抽出する。

【0151】

2 次元画像特徴点認識においては、第 1 の特徴ベクトルとして対象 2 次元画像、第 2 の特徴ベクトルとして対象画像の特徴点を用いる。

30

2 次元画像のセグメンテーションにおいては、第 1 の特徴ベクトルとして対象 2 次元画像、第 2 の特徴ベクトルとして対象画像のセグメンテーションを用いる。

【0152】

3 次元画像特徴点認識においては、第 1 の特徴ベクトルとして対象 3 次元画像、第 2 の特徴ベクトルとして対象画像の特徴点を用いる。

3 次元画像のセグメンテーションにおいては、第 1 の特徴ベクトルとして対象 3 次元画像、第 2 の特徴ベクトルとして対象画像のセグメンテーションを用いる。

【0153】

以下、情報予測の具体例を挙げる。

例えば、画像のボケ・ブレ除去においては、第 1 特徴ベクトルとして「ブレ・ボケを含む画像ベクトル」、第 2 特徴ベクトルとして「ブレ・ボケを除去した画像ベクトル」を用いる。

40

【0154】

また、防犯カメラ動画解析（アクション予測）においては、第 1 特徴ベクトルとして「予測開始時までの時系列の人物アクションデータ」、第 2 特徴ベクトルとして「予測開始後の人物の時系列の人物アクションデータ」を用いる。

【0155】

また、画像以外の情報予測にも応用できる。

例えば、音声の高音質化においては、第 1 特徴ベクトルとして「低音質の音信号」、第 2 特徴ベクトルとして「高音質の音信号」を用いる。ここでは、音信号の信号そのもの、

50

或いは高周波成分を要素とするベクトルを用いる。

【0156】

また、気象予測においては、第1特徴ベクトルとして「予測開始時までの時系列の気象データ」、第2特徴ベクトルとして「予測開始後の時系列の気象データ」を用いる。ここでは、各種気象データ（天候、気圧、気温、湿度、風向き、風速等）を要素とするベクトルを用いる。

【0157】

また、経済予測においては、第1特徴ベクトルとして「予測開始時までの時系列の株価・経済指標データ」、第2特徴ベクトルとして「予測開始後の時系列の株価・経済指標データ」を用いる。ここでは、株価・経済指標データ（各種銘柄の株価、金利、景気、雇用統計、物価上昇率、貿易等）を要素とするベクトルを用いる。

10

【0158】

また、健康予測においては、第1特徴ベクトルとして「予測開始時までの時系列の生体指標データ」、第2特徴ベクトルとして「予測開始後の時系列の生体指標データ」を用いる。ここでは、各種生体指標（体重、身長、各健康診断値等）を要素とするベクトルを用いる。

【0159】

また、交通量予測においては、第1特徴ベクトルとして「予測開始時までの時系列の交通量に関する指標データ」、第2特徴ベクトルとして「予測開始後の時系列の交通量データ」を用いる。ここでは、各交通量データ（計測地、車両数、車種、車速、行き先等）を要素とするベクトルを用いる。

20

【0160】

また、消費行動予測においては、第1特徴ベクトルとして「予測開始時までの時系列の消費行動データ」、第2特徴ベクトルとして「予測開始後の人物の時系列の消費行動データ」を用いる。ここでは、人物アクションデータ（品名、消費量、各種経済指標等）を要素とするベクトルを用いる。

【0161】

・上記実施形態では、線形の主成分分析を行なうが、非線形なカーネル主成分分析を行なうことも可能である。

・上記実施形態では、スケーリングファクター  $S_{in}$  には、 $i$  番目の低解像パッチベクトルの  $n$  番目の主成分係数  $C_{ijn}$  の標準偏差を用いる。スケーリングファクター  $S_{in}$  は標準偏差に限定されるものではなく、主成分係数  $C_{ijn}$  のばらつきを表わす指標を用いることが可能である。

30

【0162】

・上記実施形態では、スケーリングファクター  $S_{in}$  には、 $i$  番目の低解像パッチベクトルの  $n$  番目の主成分係数  $C_{ijn}$  の標準偏差を用いる。ここで、スケーリングファクター  $S_{in}$  は標準偏差に限定されるものではなく、主成分係数  $C_{ijn}$  の分散を表わす統計的変数を用いることが可能である。

次に、上記実施形態及び別例から把握できる技術的思想について、それらの効果とともに以下に追記する。

40

（1）上記課題を解決する情報予測システムは、学習対象を記録する学習対象記憶部と、学習結果を記録する学習結果記憶部と、入力部に接続された制御部とを備える。そして、情報予測システム、情報予測方法及び情報予測プログラムにおいては、前記制御部が、前記学習対象記憶部に記録された学習対象毎に、第1の特徴ベクトル及び第2の特徴ベクトルを算出し、前記第1の特徴ベクトルから、前記第1の特徴ベクトルの平均値を減算して生成された値を、前記第1の特徴ベクトルのばらつきを表わす指標で除算した第1の行ベクトルを生成するとともに、前記第2の特徴ベクトルから前記第2の特徴ベクトルの平均値を減算して生成された値を、前記第2の特徴ベクトルのばらつきを表わす指標で除算した第2の行ベクトルとを生成し、前記第1の行ベクトルと前記第2の行ベクトルとを結合することにより結合行ベクトルを生成し、すべての学習対象の前記結合行ベクトルを用

50

いて、主成分分析を行なうことにより、結合主成分基底ベクトルを生成し、前記結合行ベクトルの平均ベクトルとともに前記学習結果記憶部に記録する学習処理と、前記入力部により指定された処理対象の第1の特徴ベクトルを算出し、前記第1の特徴ベクトルの主成分係数を算出し、該主成分係数と、前記学習結果記憶部に記録された前記結合行ベクトルの平均ベクトル及び前記結合主成分基底ベクトルを用いて、処理対象の第2の特徴ベクトルを算出する予測処理とを実行する。これにより、効率的かつ的確に第2の特徴ベクトルを予測することができる。

(2) 上記情報予測システム、情報予測方法及び情報予測プログラムにおいては、前記結合主成分基底ベクトルと前記第1の特徴ベクトルの成分とを直交化して、前記学習結果記憶部に記録することが好ましい。これにより、直交化を利用して、計算の高速化を行なうことができる。

10

(3) 上記情報予測システム、情報予測方法及び情報予測プログラムにおいては、算出した第2の特徴ベクトルを圧縮して、前記処理対象との差分を比較し、前記差分が基準値より大きい場合には、前記差分を拡大して、前記第2の特徴ベクトルから差し引くポスト処理を実行することが好ましい。これにより、予測時に生じた誤差を是正することができる。

(4) 上記情報予測システム、情報予測方法及び情報予測プログラムにおいては、前記第1、第2の特徴ベクトルのばらつきを表わす指標として、それぞれ前記第1、第2の特徴ベクトルの主成分係数の標準偏差を用いることが好ましい。これにより、各係数のスケールが同等になり、主成分分析のメリットを活かすことができる。

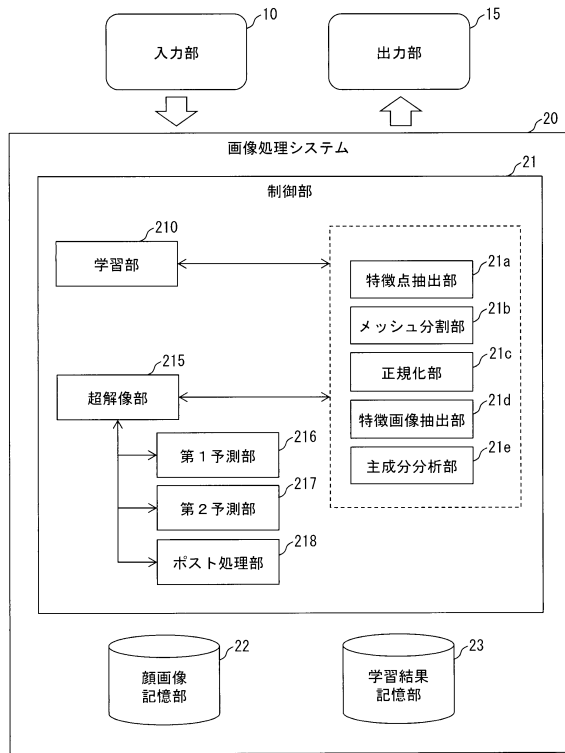
20

【符号の説明】

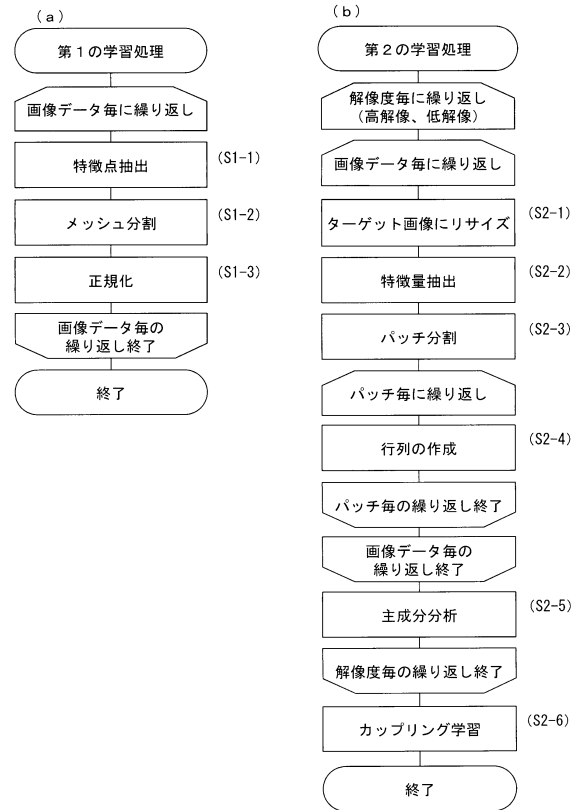
【0163】

10...入力部、15...出力部、20...画像処理システム、21...制御部、210...学習部、215...超解像部、216...第1予測部、217...第2予測部、218...ポスト処理部、21a...特徴点抽出部、21b...メッシュ分割部、21c...正規化部、21d...特徴画像抽出部、21e...主成分分析部、22...顔画像記憶部、23...学習結果記憶部。

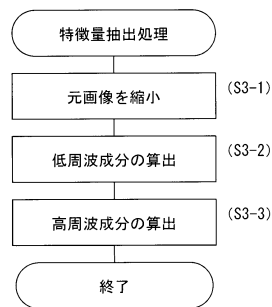
【図 1】



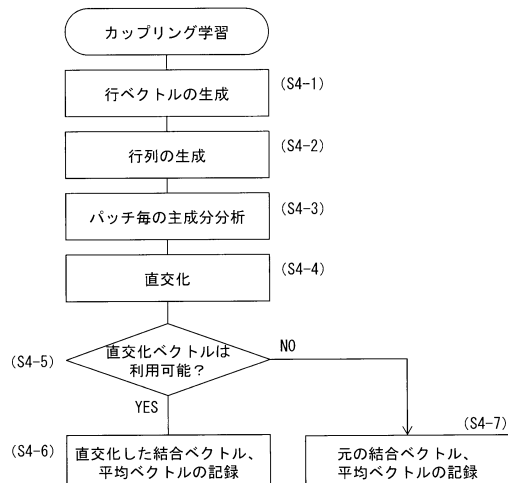
【図 2】



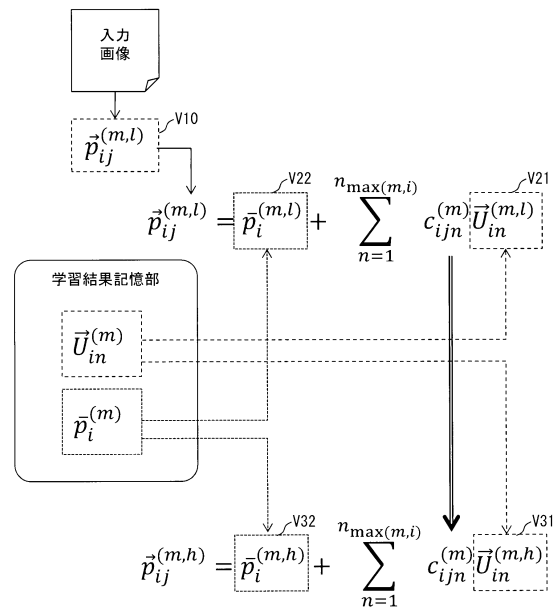
【図 3】



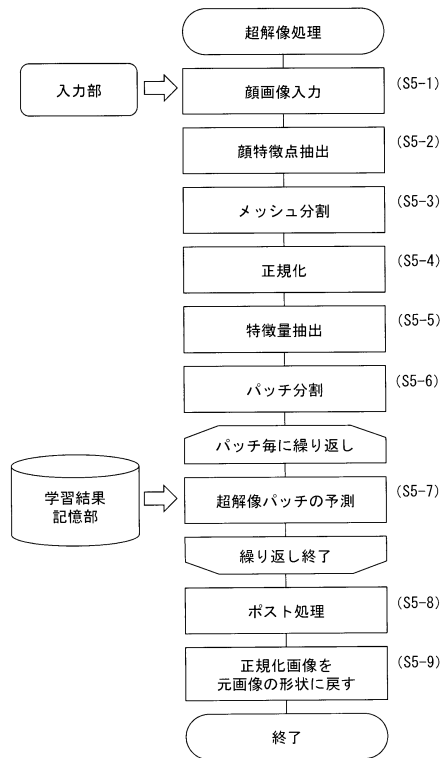
【図 4】



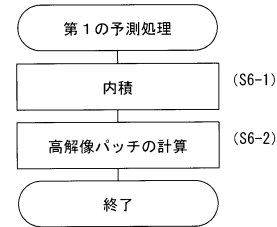
【図 5】



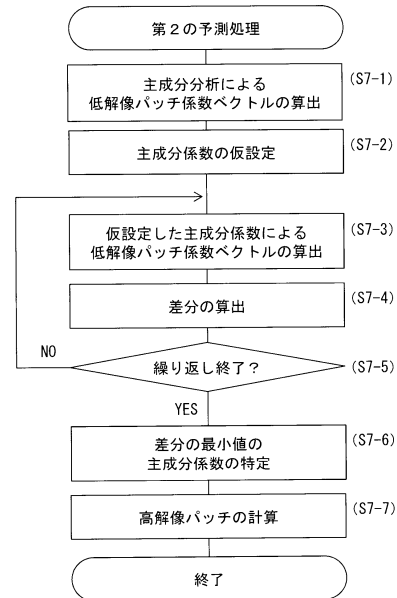
【図 6】



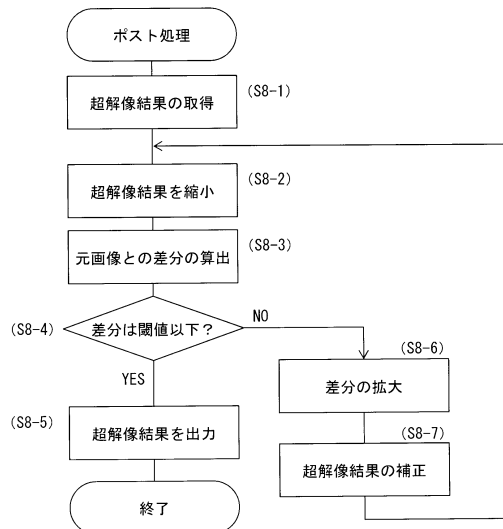
【図 7】



【図 8】



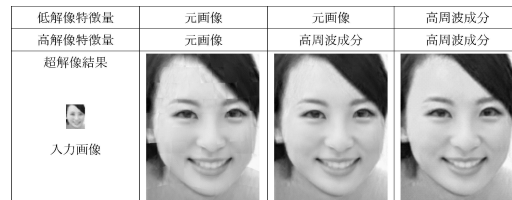
【図 9】



【図 10】





【図 11】





【図 12】



【図 1 3】

手法	最適解探索	直交化
正解-超解像 の平均	8.89e+00	8.89e+00
計算時間[sec]	41.6	6.4
超解像結果		
 入力画像		

【図 1 4】

ポスト処理前	ポスト処理後
	

## フロントページの続き

- (72)発明者 水谷 麻紀子  
東京都千代田区神田錦町二丁目3番地 みずほ情報総研 株式会社 内
- (72)発明者 友澤 弘充  
東京都千代田区神田錦町二丁目3番地 みずほ情報総研 株式会社 内
- (72)発明者 松崎 和敏  
東京都千代田区神田錦町二丁目3番地 みずほ情報総研 株式会社 内
- (72)発明者 佐野 碧  
東京都千代田区神田錦町二丁目3番地 みずほ情報総研 株式会社 内
- (72)発明者 萩原 透  
東京都千代田区神田錦町二丁目3番地 みずほ情報総研 株式会社 内
- (72)発明者 檜作 彰良  
東京都千代田区神田錦町二丁目3番地 みずほ情報総研 株式会社 内

審査官 多胡 滋

- (56)参考文献 特開2013-109758(JP,A)  
須藤修, 外2名, テクスチャ特徴とファジィ領域成長法を用いるカラー画像の領域分割, 映像情報メディア学会技術報告 ヒューマンインフォメーション メディア工学 映像表現&コンピュータグラフィクス, 日本, (社)映像情報メディア学会, 2004年 2月 3日, 第28巻, 第7号, pp. 89-94

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06N 99/00  
G06T 3/40  
H04N 1/387  
H04N 7/01