

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22700088

研究課題名(和文) 表現基底に基づいた高精細画像の再構成に関する研究

研究課題名(英文) A study on accurate high-quality image reconstruction based on representation bases

研究代表者

小川 貴弘 (OGAWA, TAKAHIRO)

北海道大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：20524028

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、データベース中に存在する教師画像から得られる表現基底に基づいて高精細画像の再構成を実現するアルゴリズムの構築を行った。具体的に、1) 高精細画像のモデル化による複数の劣化要素の同時除去、2) 高精細画像を得るための表現基底の導出、3) 対象コンテンツに最適な表現基底の適応的選択を実現した。これにより、従来のエラーコンシールメント、符号化雑音除去、高解像度化の各復元分野において存在した再構成精度の限界の向上を実現した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we realized algorithms for accurate high-quality image reconstruction based on representation bases obtained from training images in databases. Specifically, we realized 1) simultaneous removal of multiple degradation elements, 2) derivation of representation bases for obtaining high-quality images and 3) selection scheme of optimal bases suitable for reconstructing target contents. Consequently, our study improved the performance limitation existing in the field of image restoration such as error concealment, noise removal and super-resolution.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学、データベース

キーワード：画像復元 画像再構成 画質評価

1. 研究開始当初の背景

近年、ブロードバンド通信、及び無線通信が急速に普及している。さらに、個々のユーザがテレビ、インターネット、デジタルカメラ、ハンディカム、携帯電話等を通じ、常時画像・映像を閲覧・取得することが可能となった。このような背景から、異なる通信環境、異なる計算機資源の端末を通じて、様々なマルチメディアコンテンツが扱われるようになってきている。その結果、通信環境及び計算機資源の違いにより、以下の問題が無視できなくなってきた。

【問題 1】劣悪な通信環境下で用いられる端末において、伝送誤差によるパケットロスから画像中に消失ブロックが発生し、極端に画質が劣化する問題

【問題 2】携帯電話等、計算機資源が十分ではない機器により取得された画像で生じる「符号化雑音」及び「低解像度」の問題
以上の問題を踏まえ、「消失ブロック」及び「符号化雑音」が存在せず、「高解像度」な画像を高精細画像と呼ぶ。本研究課題において研究代表者は、限られた計算機資源の端末においても上記 2 つの問題の解決を可能とし、高精細画像を得ることを目標とした。

2. 研究の目的

従来より、消失ブロックの復元(エラーコンシールメントと呼ばれる)、符号化雑音除去、及び高解像度化に関して各々活発に研究が進められている。研究代表者もエラーコンシールメント及び高解像度化に関して様々な提案を行ってきた。しかしながら、従来の手法では、消失範囲が増加した場合や、低ビットレートで符号化が行われた場合、さらに、極端に解像度が低下した場合等、劣化が強く生じた際に、対象とする画像のみから高精細画像を再構成することは困難である。これらの問題を解決する方法として、他の教師画像を用いることにより性能の向上を試みる手法が種々提案されているが、そのような教師データを保存することは計算機資源が限られている端末において困難である。

そこで、研究代表者は、近年信号処理の分野において最も注目されているスパース表現の研究を応用し、復元に必要な基底の情報についてのみデータベースから端末へ送信し、対象画像の再構成を行うことで、上記問題を同時に解決するという新たな手法の実現を目指した。

3. 研究の方法

本研究課題は、以下の研究方法によって実施した。

(1) 教師画像からスパース性に注目した基底の生成手法及びそれらを用いたエラーコンシールメント法の導出を行った。

(2) エラーコンシールメント法に加えて、符号化雑音の重畳モデル及び低解像度化のモデルを導入することで、(1)に加えて上記劣

化要素の復元を可能とする手法を実現し、高精細画像の取得を可能にした。

以上(1)及び(2)について、それぞれ平成 22, 23 年度及び平成 24, 25 年度において実施した。具体的な内容については、以下に示すとおりである。

【平成 22, 23 年度】

従来より、教師画像から基底を生成し、それらを基に劣化画像を復元する手法が種々提案されている。研究代表者も以前にカーネル主成分分析により固有基底を生成し、それから消失領域の復元を行う手法を提案している。ただし、これらの手法で得られる基底は一般に再構成結果において過剰な平滑化を生じる可能性が存在する。そこで研究代表者は信号のスパース性に注目し、以下の 2 点について検討を行った。

① スパース性を満たす表現基底の導出とエラーコンシールメント

研究代表者が既に提案している手法に対し、新たにスパース性を満たす条件を導入することで、データベースにおいて高精度に表現基底を生成することが可能となった。さらに、得られる基底を研究代表者が以前に提案したエラーコンシールメント法の劣化モデルに対して適用をすることで、従来手法で存在した再構成結果に過剰な平滑化が生じる問題を解決した。

② 対象の画像に対する最適な表現基底の適応的選択

エラーコンシールメントを行う際に、対象となる画像は一般に各々統計的特徴が異なると考えられる。したがって、復元に用いられる基底は対象の画像に対して適応的に設定されることが望ましい。そこで、応募者はデータベースにおいて教師画像の種類に応じて基底のパターンを複数生成し、対象となるコンテンツに対して適応的に最適な基底の選択を可能とする。研究代表者は以前に、対象となる劣化画像から最適な固有基底を適応的に選択する従来に存在しない新しい手法を提案している。したがって、それらを同様にスパース性に注目した表現基底へ導入することで、エラーコンシールメントの高精度化を試みた。

【平成 24, 25 年度】

平成 22, 23 年度で提案した表現基底の導出法及びエラーコンシールメント法に対し、平成 24, 25 年度では、符号化雑音重畳のモデル及び解像度低下のモデルを導入し、3 つの劣化要素(消失ブロック、符号化雑音、低解像度化)を同時に除去することを可能とした。研究代表者はデータベースにおいて、「教師画像(高精細画像)」と「それらに符号化雑音付加及び低解像度化が施された画像」の組を用意し、スパース性に注目した表現基底の導出を行った。さらに、それらの基底の組を用いることで、陰に劣化モデルの表現を可能とした。さらに、平成 22, 23 年度に実現された最適な基底の適応的選択を導入することに

より、従来のモデルが対象の画像に正確に当てはまらない問題についても解決を試みた。

4. 研究成果

本研究課題の研究成果は以下の通りである。まず、研究代表者は、スパース表現及びカーネル多変量解析を導入した高精度な消失ブロック復元(エラーコンシールメント)について実現を行った。これらの手法はいずれも、最適な表現基底を対象の画像データに対して適応的に選択することを可能とした。これにより、従来と比較して高精度な再構成が可能であることが確認された。適応的な基底の選択を備えた復元法の実現は、これまで実現することが困難であり、その独創性が認められ、IEEE Trans. Image Processing 及び IEEE Trans. Multimedia, Signal Processing, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 等の論文誌に掲載された。また、上記において提案された手法では図1及び図2に示す通り、消失領域の復元のみならず、高解像度化についても同じ枠組みで適用可能なアルゴリズムとして実現しており、その高い汎用性が示されている。

また、スパース表現とともに、近年注目されているランク最小化に基づく手法についても提案を行ってきた。具体的に、動画の事例ベース超解像のランク最小化に基づく高解像度化を実現し、従来法と比較して高精度に高解像度動画の再構成を可能とした。これらの手法の独創性が認められ、本研究の発表に関して、電気・情報関係学会北海道支部連合大会 優秀論文発表賞を受賞している。



図1 左：消失領域を含む画像，右：提案手法による復元画像



図2 左：低解像度画像，右：提案手法により得られる高解像度画像

上記までの研究成果に加え、研究代表者は、高精細画像の定義について注目した。従来より、高精細画像の復元の際には、その定量評価指標として平均二乗誤差が用いられてきた。しかしながら、この指標は、従来より画質を評価することには適していないことが多くの研究者により指摘されてきた。そこで、研究代表者は、近年画質評価指標として提案されている Structural Similarity index (SSIM index)を、復元の際の定量評価指標として用いることで、この問題の解決が可能になるのではないかと考えた。このとき、従来の平均二乗誤差と比較して、SSIM index は、凸関数ではないため、その最適化が容易でないことが知られている。これに対し、研究代表者は、この指標の最適化を疑似凸問題へと置き換えることにより、様々な劣化画像の復元を可能とする手法を実現した(図3)。これらの成果は、EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 及び IEEE Signal Processing Society の Flagship Conference である ICASSP において報告されている。

また、これに加えて、主観画質を考慮したエラーコンシールメント法についても新たに提案を行った。具体的に、物体の動きに注目した動画のフレーム遷移を表現し、これをワーピングに基づいてモデル化を行った。さらに、このモデルをカルマンフィルタの状態遷移モデルに導入することで、従来と比較して、視覚的に高精度な復元を可能とした。このような方法は、これまでに提案されており、本研究における独創的な点であると言える。また、本手法ではエラーコンシールメントに加え、一定の符号化雑音除去が可能であることが示された。



図3 左：消失領域を含む画像，右：新たな画質評価指標を導入した提案手法による復元結果



図4 左：パケットロスにより消失ブロックが発生した動画像，右：ワーピングを導入したカルマンフィルタによる復元結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Adaptive missing texture reconstruction method Based on kernel cross-modal factor analysis with a new evaluation criterion, Signal Processing, 査読有, 2014(掲載確定)
- ② Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Image inpainting based on sparse representations with a perceptual metric, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 査読有, 2013
DOI:10.1186/1687-6180-2013-179
- ③ Takahiro Ogawa, Daisuke Izumi, Akane Yoshizaki and Miki Haseyama, Super-resolution for simultaneous realization of resolution enhancement and motion blur removal based on adaptive prior settings, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2013, vol. 2013:30, 査読有, 2013
DOI:10.1186/1687-6180-2013-30
- ④ Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Missing texture reconstruction method based on error reduction algorithm using Fourier transform magnitude estimation scheme, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 22, no. 3, pp. 1252-1257, 査読有, 2013
DOI:10.1109/TIP.2012.2220152
- ⑤ Miki Haseyama, Takahiro Ogawa, Trial realization of human-centered multimedia navigation for video retrieval, International Journal of Human-Computer Interaction, vol. 29, no. 2, pp. 96-109, 査読有, 2013
- ⑥ Miki Haseyama, Takahiro Ogawa, Nobuyuki Yagi, A review of video retrieval based on image and video semantic understanding, ITE Transactions on Media Technology and Applications, vol. 1, no. 1, pp. 2-9, 査読有, 2013
- ⑦ Miki Haseyama, Takahiro Ogawa, Adaptive example-based super-resolution using Kernel PCA with a novel classification approach, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2011, 2011:138, 査読有, 2011
DOI:10.1186/1687-6180-2011-138
- ⑧ Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Missing

image data reconstruction based on adaptive inverse projection via sparse representation, IEEE Transactions on Multimedia, vol. 13, no. 5, pp. 974-992, 査読有, 2011

DOI:10.1109/TMM.2011.2161760

- ⑨ Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Adaptive Single Image Superresolution Approach Using Support Vector Data Description, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2011, 査読有, 2011
DOI:10.1155/2011/852934
- ⑩ Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Missing Intensity Interpolation Using a Kernel PCA-Based POCS Algorithm and Its Applications, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 20, no. 2, pp. 417-432, 査読有, 2011
DOI:10.1109/TIP.2010.2070072
- ⑪ 田中 章, 小川 貴弘, 長谷山 美紀, 宮腰 政明, 固有空間 BPLP 法の補間精度に関する解析, 電子情報通信学会 論文誌 (A), vol. J94-A, no. 2, pp. 116-126, 査読有, 2011
- ⑫ Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Missing Texture Reconstruction Method Based on Perceptually Optimized Algorithm, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2010, 査読有, 2010
DOI:10.1155/2010/208976

[学会発表] (計 15 件)

- ① 大貫 修平, 小川 貴弘, 長谷山 美紀, カルマンフィルタを用いたエラーコンシールメントの高精度化に関する検討 ～物体の運動を考慮した状態遷移モデルの実現～, 映像情報メディア学会技術報告, 2014年2月18日, 北海道大学(北海道)
- ② 廣川 真梨子, 小川 貴弘, 長谷山 美紀, 動画像の事例ベース超解像のランク最小化に基づく高精度化に関する検討, 映像情報メディア学会技術報告, 2014年2月18日, 北海道大学(北海道)
- ③ Shuhei Ohnuki, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Warping-Based Error Concealment Using Temporal Feature Point Correspondence, IWAIT2014, 2014年1月6日, Sukosol Hotel (Bangkok, Thailand)
- ④ 石原 賢太, 小川 貴弘, 長谷山 美紀, 胃 X 線二重造影像を用いた Helicobacter pylori 感染の識別の高精度化に関する検討, 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2013年10月19日, 室蘭工業大学(北海道)
- ⑤ 廣川 真梨子, 小川 貴弘, 長谷山 美紀, 重み付きロバスト PCA を用いた動画像フレーム補間の高精度化に関する検討, 電

気・情報関係学会北海道支部連合大会,
2013年10月19日, 室蘭工業大学(北海道)

- ⑥ Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, KCFA-BASED MISSING AREA RESTORATION INCLUDING NEW PRIORITY ESTIMATION, ICIP2013, 2013年9月18日, Melbourne Convention and Exhibition Centre(Melbourne, Australia)
- ⑦ 吉崎 茜, 桂井麻里衣, 小川貴弘, 長谷山美紀, 胃 X 線二重造影像を用いた Helicobacter pylori 感染の識別に関する検討, 映像情報メディア学会技術報告, 2013年2月18日, 北海道大学(北海道)
- ⑧ 五十嵐 祐太, 小川貴弘, 長谷山美紀, 近赤外光除去フィルタを用いずに取得した画像からの可視光成分の抽出に関する検討, 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2012年10月21日, 北海道大学(北海道)
- ⑨ 吉崎 茜, 小川貴弘, 長谷山美紀, サポートベクトル回帰を用いたぶれによる劣化画像の復元に関する一検討, 電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2012年10月20日, 北海道大学(北海道)
- ⑩ 小林 克希, 小川貴弘, 長谷山美紀, 画像検索結果の提示方法の有効性評価に関する検討 —特徴統合理論に基づく評価指標の実現—, 2012年10月20日, 北海道大学(北海道)
- ⑪ Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Perceptually Optimized Subspace Estimation for Missing Texture Reconstruction, ICASSP2012, 2012年3月28日, 国立京都国際会館(京都府)
- ⑫ Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Adaptive KPCA-Based Missing Texture Reconstruction Approach Including Classification Scheme via Difference Subspaces, ICIP2011, 2011年9月11日, Square Brussels Meeting Centre (ベルギー, ブリュッセル)
- ⑬ Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Adaptive Reconstruction Method of Missing Textures Based on Perceptually Optimized Algorithm, ICASSP2011, 2011年5月25日, Prague Congress Centre (チェコ, プラハ)
- ⑭ Sunmi Kim, Hirokazu Tanaka, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Adaptive Spatial-Temporal Error Concealment for Wavelet based Video Coding, GCOE-NGIT, 2011年1月18日, 北海道大学(北海道)
- ⑮ Summi Kim, Hirokazu Tanaka, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama, Spatial-Temporal Error Concealment for 3-D DWT Video Coding in Wireless Transmission System, 若手研究者支援のための産学協同 GCOE 国内シンポジウ

ム, 2010年10月6日, 北海道大学(北海道)

[その他]

ホームページ等

<http://www-lmd.ist.hokudai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 貴弘 (OGAWA TAKAHIRO)

北海道大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号: 20524028