

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：37120

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300092

研究課題名(和文)埋込型自己縮小画像コードブックとファジィ推論に基づく高倍率画像拡大法の開発

研究課題名(英文)Development of modal own embedding type reduction image codebook and highly magnifying image expansion based on fuzzy inference

研究代表者

麻生 隆史 (ASO, Takashi)

九州情報大学・経営情報学部・教授

研究者番号：20259683

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：多くのディスプレイが高解像化に向かう中、高解像画像のストレージや伝送の物理的負荷が増加しており、その対策は急務である。本研究は、保存や伝送負荷の少ない低解像画像から高倍率拡大によって高解像画像を得る新しい枠組みを提案する。この枠組みでは、手元に高解像画像があることを前提とし、高解像画像を低解像画像へ変換する際に、拡大処理によっては復元できない成分を埋め込むことで、拡大時に読み出した情報で補償する。これまでに私たちが開発した、ファジィ推論を応用したコードブック画像拡大法で出発点となる縮小画像に対して事前に「仕掛け」を施すことで、これまで難しかった高倍率画像拡大における画質の高品位化を実現した。

研究成果の概要(英文)：While many displays are higher resolution, the measure increases in storage of a high resolution image and a physical load of transmission, and is urgently needed. This research proposes the new framework to get a high resolution image from a little low resolution image of preservation and a transmission load by highly magnifying expansion. When premising that there is a high resolution image in hand and changing a high resolution image to a low resolution image by this structure, when magnifying the ingredient expansion processing can't restore with to be embedded, it's compensated by read information. It's preliminary to the reduction image which becomes a starting point by the codebook image expansion way to which the fuzzy inference that we have developed it so far was applied. High quality of image quality in the highly magnifying image expansion which was to do a device, and was difficult up to was achieved.

研究分野：総合領域

キーワード：ファジィ推論 映像拡大処理 コードブック

1. 研究開始当初の背景

私たちは静止画像拡大法において、ファジィ推論を応用した画像拡大法(Aso et al. IEEJ Trans.'03, AutoSoft'04)から出発して、自己縮小画像コードブックの導入による高品位な画像拡大法(Kawano et al. 信学論'08, IMAVIS'08)を開発している。また、動画像拡大法においては、信号の外挿に着目した方法(Aso et al. AutoSoft'06)から着手し、動画向けコードブックの開発による高速化(Tamukoh et al. PSIVT'10)、そのFPGAへの実装と実験によるその実時間実行性の検証(Tamukoh et al. IWAIT'12)を行った。従来手法と異なる点は、画像鮮鋭度を左右するエッジの保存性が極めて優れるという点である。しかし3倍(面積9倍)を超える高倍率拡大では、従来手法に対する性能は上回るものの、視覚的な劣化が著しい。このような経緯から、本研究では高倍率拡大を実現するための新しい展開として、コードブック情報の画像埋め込みと、それを用いたファジィ推論による拡大時欠落成分の推定方法を確立する必要があった。

2. 研究の目的

スマートフォンやタブレットPCの登場によって、画像や動画を手軽に閲覧して直感的な操作により表示サイズを変更することができるようになり、画像を部分的に拡大表示して閲覧したいという要求は高まっている。学術的には、画像拡大あるいは超解像として、活発に研究が行われており、SIGGRAPH、ICIP、ICCV、CVIMなどの画像、ビジョン関連のトップカンファレンスでも多くの研究発表が行われている。一方で、近年の画像拡大・超解像に関する研究から、拡大倍率の大きさには限界があることも経験的に知られている。最新の研究成果においても、高倍率拡大の課題はさまざまなアプローチがなされているものの、未だ決定的な方法は見出されていない。このような状況で、本研究は新しい発想と理論によってその解決策を見いだすものである。

これまでの画像拡大では、与えられたサイズの小さな画像(1枚あるいは複数枚)と画像一般に関する事前知識から、高解像画像を生成することが主眼であった。一方で、画像拡大の使用形態として、高解像の所与画像があって、一旦縮小して、再び拡大して閲覧するという場合が考えられる。近年のオンラインストレージサービス、画像(動画)共有サービスでは、アップロード時の画像サイズには制限があり、高解像画像は一旦縮小する必要がある。当然ながら、閲覧時には高解像画像を閲覧したいというニーズは発生するので、上述した画像拡大の使用形態の典型的な事例となる。

本研究では、拡大画像では得られない成分を縮小画像中に埋め込み、拡大時にその情報を付加することで元の高解像画像に近い画

像を得る「往復型」画像拡大法という枠組みを提案し、これまでの画像拡大では成し得なかった高品位の高倍率拡大を実現することを目標とする。また、本研究の成果を一般に広く知ってもらうため、学会発表等でそのアルゴリズムと研究成果を発表する。すなわち、従来手法のように小サイズ画像から出発するのではなく、高解像画像から情報埋め込み縮小画像を生成し、それから拡大画像を得るためのアルゴリズムの設計、さらにシステムの実装と解像度変換ツールの開発、実世界に存在する種々の画像における実証実験および情報発信を行うことである。

学術的な特色

これまでの画像拡大の研究では、出発点が小サイズ画像であったために、そこから高解像画像を得るための推定法の高度化が焦点であった。本研究では、出発点を高解像画像とすることで、新しい画像拡大の課題設定のもと、縮小と拡大を一括りにした画像拡大法を開発しようとするところにこれまでの画像拡大の研究と異なる特色がある。また、縮小と拡大は、結果として記憶容量の圧縮と伸張に対応するため、画像の符号化・復号化の研究とも関連があるが、これは、同一解像度の画像をいかに効率よく圧縮するかには主眼が置かれており、本研究での取り組みは解像度変換を伴うという点で、一線を画する。

また、ハードウェアアクセラレータという付加的なハードウェアで既存の計算環境の性能を押し上げる仕組みも同時に開発するところは、ソフトウェアのみによる実現を前提とした既存の画像拡大の研究に対する本研究の特色といえる。

独創的な点

所与の小サイズ画像から出発するこれまでの画像拡大の研究を転換し、所与の大サイズ画像から縮小と再拡大によって、現状の拡大率の限界を超えようとするアプローチは、国内外と問わず未だ取り組まれていない新たな課題設定である。その課題設定によって、事前に縮小画像に情報を埋め込むことが可能となり、それを積極的に利用する独創的な画像拡大法の構築が可能となる。

予想される結果と意義

クラウドサービスが発展し、オンラインストレージ、画像/動画共有などのサービスがますます普及すれば、ストレージや通信のコストは現在以上に極めて大きな問題になると予想される。画像、動画といった保存と通信に大きな負担となるメディアをネットワーク上で、少負荷に管理・運用する仕組みづくりは急務である。本研究課題によって、画像や動画のサイズ変換に生じる劣化を抑制し、高倍率画像拡大に耐えうる解像度変換ツールを実現することで、その仕組みづくりに大きく貢献できる。また、この方式に基づく

画像アップロード，共有画像閲覧など，今後のネットワーク社会におけるキラアプリケーションが見込まれる．

3．研究の方法

本研究は，私たちが基盤研究(C)で開発してきた自己縮小コードブックとファジィ推論を応用した画像拡大アルゴリズムに基づいている．本課題では，そのアルゴリズムに対して，縮小画像への拡大時に復元できない成分を補償情報として埋め込み，拡大処理と同時に読みだした情報によって低解像拡大画像を補償することを可能とする理論拡張を行う．その後，縮小から拡大までを包括的に取り扱う往復型画像拡大の定式化と，実世界への応用展開を目指し，本計画を実現する．

4．研究成果

(1)平成 2 4 年度の成果

基礎理論の構築

以下のサブテーマを設定し，それぞれ画像特徴抽出の専門家である九州工業大学の河野英昭准教授，画像への情報埋め込みにおいて顕著な業績のある山口大学の末竹規哲准教授の協力を得て理論の構築を進めた．

縮小による消失成分の画像特徴抽出（麻生・河野）

画像縮小によって図 1 (A)のような「復元不可成分」が生じる．この成分を補償するためには，これを特徴付ける手法が不可欠である．一般の画像に対してこの問題を解決することは困難であるが，私たちは，最近の研究(Kawano et al. Optical Review'10)によって復元不可成分画像の微小領域が，複数のエッジパターンに分解できることを突き止めた．そこで，エッジパターン群による再構成パラメータ推定と捉えることで，画像特徴抽出の基礎理論を構築した．

縮小画像への消失成分情報の埋め込み（麻生・末竹）

画像特徴を図 1 (B)のようにコード化し，縮小画像へ埋め込む手法が必要である．埋め込み手法の満たす要件として，可能な限り大容量のデータを埋め込めること，埋め込みによって画像の劣化を抑制すること，JPEG や MPEG といった圧縮処理に対しての頑健性をもつことが求められる．これらは，画像への情報埋め込みに求められる一般的要件であるが，本研究特有の要件として，拡大処理によって消失する成分に埋め込みできることが挙げられる．拡大時に消失する成分とは，画像の高周波成分であり，高周波領域に限定してデータを埋め込めることが望ましいと考えられる．これらの要件を満たし得る手法として，研究分担者の末竹規哲准教授が開発した埋め込み手法(田中ら，信学論'09)があり，これをベースに開発を進めた．この先行

研究では，限定色画像という使用可能な色空間に制限のある厳しい条件で埋め込み容量を拡大することに成功しており，これを周波数空間に制限のある条件での埋め込み手法として再構築している．

アルゴリズムの実装・高速化

アルゴリズム・計算理論の専門家である九州情報大学の車柄王己教授，多くのハードウェア設計・開発の経験を有する田向権准教授の協力を得て以下のサブテーマについて研究をすすめた．

コードブックとファジィ推論を用いた画像拡大の高速化（麻生・車）

コードブック化された復元不可成分から図 1 (C)の推定欠落成分を得る問題は，図 1 (D)の低解像拡大画像を検索クエリとするデータベース照合問題として定式化できる．私たちはこれまでの画像拡大の研究(Kawano et al., Opt.Rev.'10, IMAVIS'09)において，ファジィ推論を応用した照合問題に対する高速な解法を開発しており，その有用性を確認している．一方，本研究では高倍率の拡大画像を対象とするため，検索クエリ量の増大によってさらなる高速化が必要となる．本研究では，画像をある種のパラメータとして索引化し，索引検索技術を援用することでさらなる高速化を進めた．

ハードウェアアクセラレーション（麻生・田向）

取り扱う解像度の増大に伴い，汎用の CPU とメモリのみでの計算は困難になると考えられる．私たちはこれまでも，動画像の実時間拡大システムとして FPGA を用いたハードウェアアクセラレータ(Tamukoh et al., IWAIT'12)を設計・開発してきている．本研究では，高倍率画像を扱うため，大規模メモリへの適応が必要であり，そのための研究開発を田向准教授と共同で進めた．

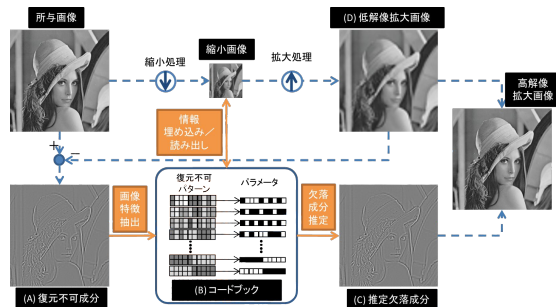


図 1 往復型画像拡大の概要

(2)平成 2 5 年度・2 6 年度の成果

基礎理論の構築（麻生・末竹・河野）

往復型画像拡大の定式化

画像特徴抽出からコードブックの情報埋め込みに至るまでの、往復型画像拡大の核心技术とこれまでに開発してきているファジィ推論を用いたコードブック画像拡大技術を組み合わせることで、往復型画像拡大の基本的枠組みを完成させた。

グレースケール静止画像の高倍率拡大への適用

画像拡大技術の良否を評価する最も単純で標準的なデータセットである、SIDBA 標準画像データベースのグレースケール画像を対象として、拡大画像の画質評価を行った。定量的な誤差による数値評価だけでなく、被験者を募った主観評価実験を行うことで数値に頼れない画質の評価を行った。これは、最終的な成果を画像共有サイトからの不特定多数の閲覧者による画像閲覧・再生に応用することを企図していることによる。グレースケール静止画像への適用を通して、アルゴリズムの精緻化を図った。

各種画像への適用

文書画像のような2値画像、ポスターのようなイラスト画像、カラー自然画像といった特性の異なる種々の画像に対して適用し、グレースケール画像と同様に評価を行った。

アルゴリズムの実装（麻生・車・田向）

カラー動画像の高倍率拡大環境の構築と評価

ファジィ推論を用いたコードブック照合アルゴリズムの効率化・高速化およびハードウェアアクセラレーションの統合を行うベースとしてPC クラスタや分散環境で実行することを想定している。そこで、これまでの研究で実装されているプログラムを並列化した。具体的には、PC クラスタ上でのOpenMPI による実装を行った。実装後は、数値評価と被験者実験による主観評価を行った。

実世界への応用と情報発信（麻生・車・田向）

往復型画像拡大の応用と情報発信のために、一般ユーザが手軽に使用できるツールの作成をし、コードブック照合の高速化(車)、ハードウェアアクセラレーション(田向)の技術で補強されている。ツールの基本仕様は、最適なものとなった。

ソフトウェア単体型ツールの構築

開発する往復型画像拡大手法(縮小から拡大までの一連のアルゴリズム)を広く一般のユーザに使用してもらうために、手軽なシステム構成で実行でき、かつ操作性の良いユーザインタフェースを備えたソフトウェア単体型ツールを作成した。ここで言うソフトウ

ェア単体型とは、ハードウェアアクセラレーションがなくソフトウェアのみで動作可能という意味である。同様のことを実現可能な市販のソフトウェアがあるが、画像特徴抽出と情報埋め込みの最先端の技術により、本研究は適用可能倍率とその画質においてそれらを大幅に上回ることを目指した。

ウェブアプリケーション型ツールの構築

ハードウェアアクセラレータを備えたフルスペック環境で、画像共有サイトへの縮小アップロードとダウンロード後の拡大閲覧を支援するツールを構築し、実際の画像共有サイトを介した実験・検証を行った。

本研究をまとめると、これまでに私たちが開発したファジィ推論を応用したコードブック画像拡大法で出発点となる縮小画像に対して事前に「仕掛け」を施すことで、これまで歯が立たなかった高倍率画像拡大における画質の高品位化を実現することを目指とし、画像特徴抽出に関する基礎理論の検討およびアルゴリズムの実装・高速化に関する研究を行い、高倍率画像拡大実現の可能性を確認し、さらに自己縮小画像中のコードブック作成においてファジィ推論を最適化し、ハードウェア化しやすいように、下位ビットのパターンを組み込んだ本手法を国際会議等で発表してきた。

さらに本研究を、より高速で高精度に、より汎用的に対応するアイデアを精査するとともに、ハードウェア化しやすい手法を考案し、具体的な手法としては、従来からあるFPGAを用いたシミュレーションを行いハードウェア実装に最適な環境になるようにパラメータやビットの埋め込み方法を調整し、良好な結果を確認することができた。

本研究の目的である「埋込型自己縮小画像コードブックとファジィ推論に基づく高倍率画像拡大法の開発」は実現された。

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1件)

Hakaru Tamukoh, Hideaki Kawano, Noriaki Suetake, Byungki Cha, Takashi Aso,
“Fast Image-enlargement Algorithm for the Augmentation of the High-Frequency Component by Employing a Hierarchical Predefined Codebook”,
International Journal of Innovative Computing, Information and Control,
査読有, Vol.9, 2013, pp.903-914

[学会発表](計3件)

Hakaru Tamukoh, Noriaki Suetake,
Hideaki Kawano, Ryosuke Kubota, Byungki

Cha, Takashi Aso,
“ Fuzzy-Rule-Embedded Reduction Image
Construction Method for Image
Enlargement with High Magnification ”,
9th International Conference on
Computer Vision Theory and
Applications(VISAPP2014), Jan.5,2014,
Lisbon(Portugal)

Hakaru Tamukoh, Hideaki Kawano, Noriaki
Suetake, Byungki Cha, Takashi Aso,
“ A Data Embedded Reduction Image
Generation Method for High-Quality
Image Enlargement ”, World Scientific
and Engineering Academy and
Society(WSEAS2013), Jan.9,2013,
Milan(Italy)

田向 権, 河野 英昭, 末竹 規哲, 関根
優年, 車 炳王己, 麻生 隆史
“ 高精細画像拡大のための情報埋込型画像
縮小 ”, 電子情報通信学会 SIS 研究会,
2012年9月20日, 鳥取県関西本部交流室
(大阪府大阪市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

麻生 隆史 (ASO, Takashi)
九州情報大学・経営情報学部・教授
研究者番号：20259683

(2) 研究分担者

車 炳王己 (CHA, Byungki)

九州情報大学・経営情報学部・教授
研究者番号：10310004

末竹 規哲 (SUETAKE, Noriaki)
山口大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：80334051

河野 英昭 (KAWANO, Hideaki)
九州工業大学・大学院工学研究院電気電子
工学研究系・准教授
研究者番号：00404096

田向 権 (TAMUKOH, Hakaru)
九州工業大学・大学院生命体工学研究科・
准教授
研究者番号：90432955

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

久保田 良輔 (KUBOTA, Ryosuke)