

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820158

研究課題名(和文)次世代型超高精細超解像技術の確立およびシステムの開発

研究課題名(英文) Establishment and System Development of Super-Resolution Image Reconstruction Technique for Next Generation Super-High Definition Images

研究代表者

後藤 富朗(GOTO, TOMIO)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：20324478

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：平成25年度～27年度にかけて本課題にて提案したTotal Variationフィルタ、Shockフィルタ、エッジエンハンスメントフィルタを用いた超解像画像システムの開発を行った。Total Variationフィルタでは入力画像を骨格成分(画像のエッジ成分と滑らかな輝度値変化をする成分)とテクスチャ成分(画像の細かな振動成分)に分離し、骨格成分に対してShockフィルタをテクスチャ成分に対してエッジエンハンスメントフィルタを用いることで画像の先鋭化を達成することができ、超解像画像拡大法の画質改善を行うことができた。この研究成果を国内学会発表10件、国際会議発表10件にて成果発表を行った。

研究成果の概要(英文)：From 2013 to 2015, we have been studied for super-resolution image reconstruction, which utilizes the Total Variation Image Reconstruction, the Shock filter and the Edge Enhancement filter. By using the TV regularization, input images are divided into a structure component, which consists of edge components and low frequency components, and a texture component, which consists of high frequency components. The structure and texture components magnified by utilizing the Shock filter and the Edge Enhancement filter, respectively, we have achieved high-quality super-resolution image reconstruction, and image quality have been drastically improved. And we gave some presentations in ten domestic and ten international societies.

研究分野：画像処理

キーワード：超解像 画像拡大 画像再構成

## 1. 研究開始当初の背景

地上デジタル放送の開始および大型テレビや次世代DVDの普及により、高精細な映像を目にする機会が増えており、アナログ放送の終了に伴い、より一層高精細映像への要求が高まっている。また、次世代HDTVのディスプレイパネルには、4k×2kや8k×4kといった超高精細ディスプレイの開発が進められており、現行のディスプレイに比べ、縦横の解像度が2倍あるいは4倍に増える。一方、地上デジタル放送波では、1440×1080画素の映像を伝送しており、現在、広く普及しているHDTVの解像度は1920×1080画素であるため、製品によっては縦・横1.4倍程度の超解像を行っている。それに対し、次世代ディスプレイに地上デジタル放送を表示するには、**縦横それぞれ4倍あるいは8倍程度の超解像を行うことが必要不可欠**となる。しかし、現行の超解像技術では、超解像画質およびその処理時間に対して仕様を満足する技術は存在しておらず、**超高精細な映像を出力できる超解像技術の確立およびその処理の超高速化**が必要不可欠である。

## 2. 研究の目的

アナログ放送は2011年7月に地上デジタル放送に移行した。一方、次世代HDTVでは4k×2kあるいは8k×4kという超高精細パネルの開発が進められており、超解像技術は現行のHDTVだけでなく次世代HDTVにおいても必要不可欠な技術である。しかし、現行の超解像技術を次世代HDTVに適用すると、**エッジが不鮮明**となったり、**圧縮による雑音**が視覚的に**認知しやすくなる**という問題がある。そこで、本課題では、次世代HDTVへの応用を可能とする次世代型超高精細超解像技術の確立およびそのシステム構築を行い、画質向上およびリアルタイム動作可能な超解像システムの検証を行った。

## 3. 研究の方法

先行研究において本課題の基礎研究として、Total Variation(TV)正則化手法に注目し、その計算時間の短縮方法を提案した。次に、TV正則化手法の最大の欠点であるテクスチャ成分に対して超解像が行われないという問題点の解決策として、テクスチャ成分に対して、事例学習法を適用するという方式を提案した。この方法は、画像の骨格成分(図1(a)参照)に対してはTV正則化手法を用い、テクスチャ成分(図1(b)参照)には事例学習法を用いることで、画像の成分に対してそれぞれ適した超解像法を

用いる方式となっている。性能的には、双方の特長を生かしたものとなっており、その新規性は論文の査読において高く評価された。さらに、本提案方式において発見された大きな特長としては、通常の事例学習法においては、高域成分を利用するのに比べ、本方式では画像の高域成分のかわりにテクスチャ成分を用いることによって、通常の事例学習法の性能が改善され、また処理時間が大幅に改善される見通しが得られたことである。その理由は、画像信号の高域成分にはエッジ成分が大きなピーク値として含まれるが、テクスチャ成分にはエッジ成分が含まれないからである。エッジ成分が無いということは、事例学習法における参照画像数の削減、探索時間の短縮に大きな期待をすることができる。

## 4. 研究成果

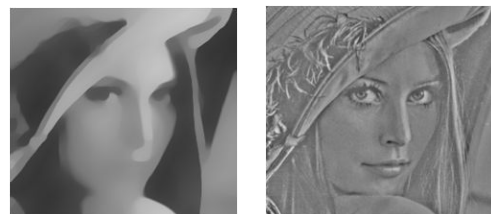
本研究で提案するリアルタイム超解像システムの処理の流れを図2に示す。本課題において得られた成果を以下の5項目に大別する。以下の(1)、(3)は図2中の超解像拡大の処理であり、(4)は雑音除去処理である。

### (1) TV正則化法の改善

TV正則化拡大関数の中に、ボケ要素を改善する畳込積分項を設ける手法では、演算時間が非常に大きいことが問題となっていた。この解決策として、非線形フィルタを用いた超解像手法を提案し、この方法によって、大幅な演算時間の削減とともに、シャープなエッジの立ち上がりを実現した。

### (2) 事例学習法の改善

TV正則化法を用いた事例学習法は大きな性能改善が見込まれ、それを旨として、Local Linear Embedded法、主成分分析法、クラスタリング法などを適用して実験を試みた。また参照画像の数とパッチサイズの大きさと画質改善の関係を解明することによって最適な事例学習法の解を求めた。その結果、良好な



(a) 骨格成分 (b) テクスチャ成分

図1: TV正則化手法による成分分離

画質を得るためには実時間処理では行うことができないことが検証できた。そこでテクスチャ成分に対する事例学習法の適用は見送り、次に述べるn乗フィルタを用いた非線形処理による画質改善を試みた。

### (3) パルス強調

事例学習法では演算コストが大きいため実時間処理には適さない。そこで、テクスチャ成分はパルス成分から構成されることに着目し、パルスを先鋭化する非線形フィルタを検討した。パルス先鋭化フィルタとしては、次式を用いた。

$$y = A \times |x|^N \times \text{sign}(x)$$

ここで、 $x$  は入力、 $A$  は 1~3 程度の係数、 $N$  は 2~3 程度のべき乗数である。この操作によって学習法と同じレベルの画質が得られ、また演算時間を数十倍程度高速に動作させることが可能となった。

### (4) 雑音除去処理

入力画像に雑音を含んだ画像に対して超解像処理を行うと、雑音を強調してしまい、超解像画像が劣化してしまう。そのため、超解像処理をする前に雑音除去を行う必要があり、図2の雑音除去処理によって雑音を取り除く。雑音除去処理には、DEF(Deblocking Edge Filter)、TV正則化フィルタ、Sobel Filter、Gaussian Filterを用いた。雑音除去および超解像処理を行った画像を図3に示す。図3より、ノイズ除去を効果的に行え、さらに超解像処理により高精細な画像を生成できることを確認した。

### (5) GPGPUサーバへのシステムの実装

本課題で提案した超解像システムをGPGPUサーバ上に実装し、ハイビジョン映像に対する処理性能について検証

した。GPGPUサーバは本課題において購入したNvidia GeForce GTX TITANを使用し、CPU: Intel Xeon、メモリ: 32GBの構成のサーバ上に実装を行った。各処理と処理速度の関係を表1に示す。表1より、本システムを用いることでテレビ信号の1フレームの処理時間である16.7msec以内での処理が行えることが確認でき、リアルタイム超解像を実現することができた。



(a) ノイズ除去なし



(b) ノイズ除去あり

図3：超解像画像

表1：超解像システムの処理時間

処理項目	処理時間 [msec]
TV正則化フィルタ	3.20
Shockフィルタ	3.39
パルス強調フィルタ	3.04
雑音除去処理	1.24
合計	10.87

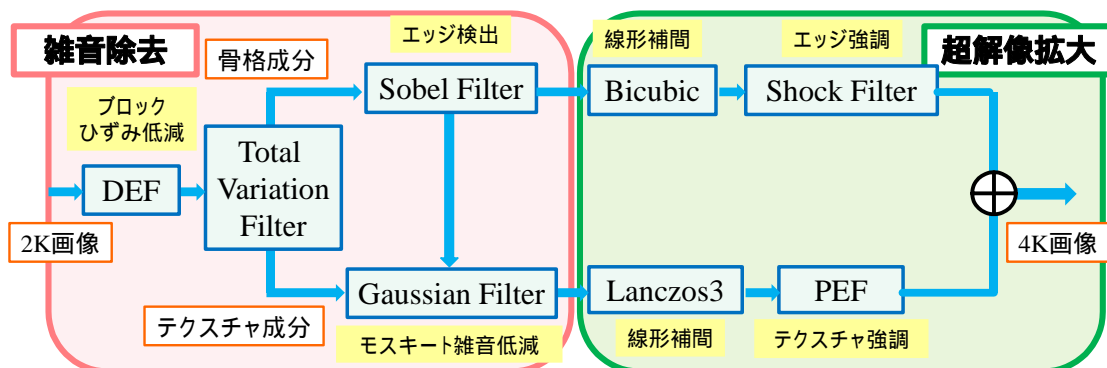


図2：リアルタイム超解像処理のブロック図

## 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)

- (1) 作田泰隆, 川本祐大, 渡辺将史, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, “TV 正則化法と Shock Filter を用いた超解像拡大法”, 電子情報通信学会誌, 査読有, Vol. J96-D, No.3, pp.686-694, 2013.

〔学会発表〕(計 20 件)

- (1) M.Sakurai, Y.Sakuta, M.Watanabe, T.Goto, S.Hirano, “Super-Resolution Through Non-Linear Enhancement Filters”, ICIP, 査読有, pp.854-858, 2013.
- (2) 長島史弥, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, “Total Variation 正則化手法とショックフィルタを組み合わせた超解像手法の改善”, 電気関係学会東海支部連合大会, L4-4, 2013.
- (3) F.Nagashima, M.Watanabe, T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, “Improving Image Quality of Super-resolution with Total Variation Regularization and Shock Filter”, GCCE, 査読有, pp.447-448, 2013.
- (4) T.Fukuoka, T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, “Implementation of MPEG-2 Video Compression Artifact Reduction System on GPU”, GCCE, 査読有, pp.341-342, 2013.
- (5) 鈴木悠平, 三浦俊司, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, “TV 正則化を用いた学習型超解像の高精細化に関する研究”, IMPS, I-5-02, 2013.
- (6) 渡辺将司, 長島史弥, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, “TV 正則化フィルタと Shock フィルタを用いた超解像手法の検討”, 信号処理シンポジウム, pp.465-468, 2013.
- (7) 三浦俊司, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, “テクスチャ成分を用いた学習型超解像手法の性能改善”, 映像情報メディア学会冬季大会, 13-7, 2013.
- (8) 後藤恭平, 長島史弥, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, “4K-HDTV 用超解像システムの提案”, 電子情報通信学会総合大会, D-11-22, pp.22, 2014.
- (9) T.Goto, T.Fukuoka, F.Nagashima, S.Hirano, M.Sakurai, “Super-Resolution System for 4K-HDTV”, ICPR, 査読有, pp.4453-4458, 2014.
- (10) 鈴木悠平, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, “ショックフィルタを用いた超解像手法における画質改善”, 電気関係学会東海支部連合大会, 2014.
- (11) M.Sakurai, H.Makino, T.Goto, S.Hirano, “Digital Face Beautification

Utilizing TV Filter and Super-Resolution Technology”, GCCE, 査読有, pp.313-314, 2014.

- (12) K.Goto, F.Nagashima, T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, “Super-Resolution for High-Resolution Displays”, GCCE, pp.309-310, 2014.
- (13) F.Nagashima, T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, “4K-HDTV Super-Resolution System”, GCCE, pp.204-205, 2014.
- (14) 牧野博一, 桜井優, 後藤富朗, 平野智, “TV 正則化フィルタと超解像手法を用いた顔画像処理”, IMPS, 2014.
- (15) T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, “Face Image Processing by TV Filter and Super-Resolution”, VCIP, pp.245-248, 2014.
- (16) 後藤恭平, 長島史弥, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, “非線形フィルタ処理による超解像手法”, CE 研究会, 2015.
- (17) 永田敦史, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, “Total Variation 正則化の分割計算に関する研究”, 電気関係学会東海支部連合大会, 2015.
- (18) 後藤恭平, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, “画像強調を用いた超解像手法”, 情報科学技術フォーラム, I-020, pp.241-242, 2015.
- (19) K.Goto, T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, “Novel Image Enhancement for Super-Resolution”, GCCE, pp.223-224, 2015.
- (20) K.Goto, T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, “Super-Resolution with Image-Enhancement Technique”, IWAIT, 2016.

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

- (1) 名称: 画像処理装置  
発明者: 桜井優, 後藤富朗, 作田泰隆  
権利者: 名古屋工業大学  
種類: 特許  
番号: 2012-012639  
出願年月日: 2012 年 1 月 25 日  
国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
後藤 富朗 (GOTO Tomio)  
名古屋工業大学・情報工学専攻・助教  
研究者番号: 20324478