

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：13903
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2011～2015
課題番号：23560451
研究課題名(和文) 新超解像度画像生成アルゴリズムの研究

研究課題名(英文) Novel Super-resolution algorithm

研究代表者

櫻井 優 (Sakurai, Masaru)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70432284

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：TV(Total Variation)正則化フィルタとShockフィルタを用いた超解像システムを構築した。TV正則化フィルタによって画像を骨格成分とテクスチャ成分に分離し、骨格成分はShockフィルタによって先鋭化し、テクスチャ成分はパルス強調フィルタによって先鋭化する。結果は従来の超解像法に比べ、性能的にも演算的にも優れた先鋭画像が得られた。

本システムをGPUに実装し、フレームレート16.7msec以内の演算を実現し、4Kテレビ受信映像に対して実用化のメドをつけた。将来的には、消費電力やコストの点からFPGA化が望まれるので、本システムのFPGAへの実装を検討した。

研究成果の概要(英文)：We have developed a super-resolution system that consists of TV(Total Variation) regularization filter and Shock filter. The input image is divided into the structure component and the texture component. The structure component is enhanced by the shock filter, and the texture component is enhanced by the pulse enhancement filter. The result is much better than the conventional method. This system is implemented on the GPU. The computational time is less than 16.7msec that is 1 frame time of the television. This enables that the system can be implemented on 4K-HDTV. It is also applicable to the medical image. In the future, since FPGA implementation will be required, we study FPGA implementation of this system.

研究分野：情報学

キーワード：超解像 TV正則化フィルタ Shock フィルタ 事例学習法

1. 研究開始当初の背景

(1) 4K テレビが実用化される一方、放送局サイドから放送される画像は2K相当であり、受信機の表示性能をフルに生かすためには、受信機における超解像技術を信号処理によって行うことが求められていた。

(2) PC や医療機器のディスプレイが高精細化されており、画像をディスプレイの表示能力に合わせて高精細化する超解像技術が求められていた。

2. 研究の目的

(1) 4K テレビ用に、現行のハイビジョン信号(2K相当)に信号処理を施すことによって4K相当の解像度を得ることを目的とした。一般に超解像技術は処理演算時間が大きくテレビのような動画には不向きであるため、信号処理時間を少なくする技術を構築することを目標とした。

(2) PC や医療画像の場合の超解像は静止画像となるので、より時間をかけた高精細の超解像方式を確立することを目標とした。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、Total Variation(TV) 正則化フィルタをシステムの中核としている。入力画像信号を TV 正則化フィルタにて骨格成分とテクスチャ成分に分離する。骨格成分に関してはエッジ部分を先鋭化し、テクスチャ成分に関してはパルスを強調する。

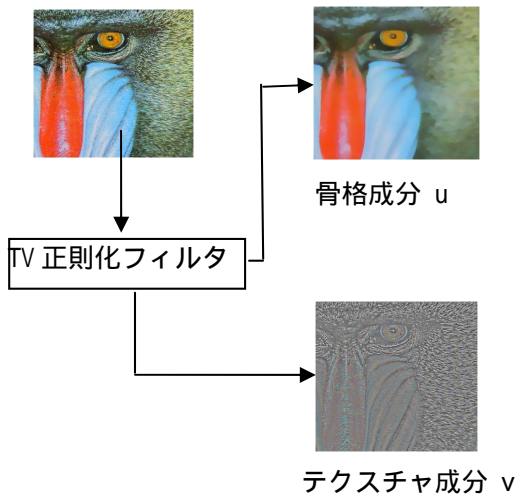


図1 TV 正則化フィルタ

$$F(u) = \int |\nabla u| dx dy + \lambda \int |f - u|^2 dx dy$$

骨格成分 u は入力成分 f に対して上式 $F(u)$ を最小化するような数値として求められる。 $F(u)$ の最小化には次式で表される Chambolle

$$p_{i,j}^{(n+1)} = \frac{p_{i,j}^{(n)} + (\tau/\lambda) \nabla (f + \lambda \text{div} p_{i,j}^{(n)})}{\max\{1, |p_{i,j}^{(n)} + (\tau/\lambda) \nabla (f + \lambda \text{div} p_{i,j}^{(n)})|\}}$$

$$u = f + \lambda \text{div} p \quad v = -\lambda \text{div} p$$

の射影法を用いる。

(2) 骨格成分の先鋭化には、TV 正則化法と Shock フィルタの2種類を検討する。また、テクスチャ成分の先鋭化には事例学習法とパルス強調法の2種類を検討する。

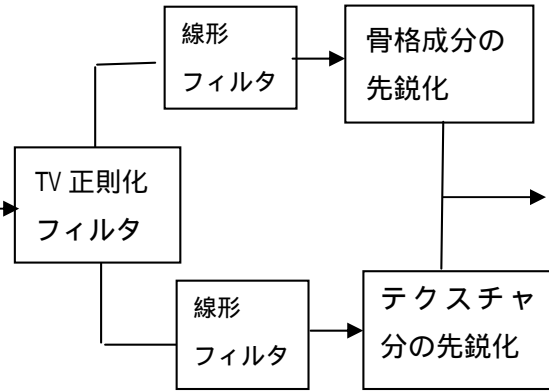


図2 超解像の構成

4. 研究成果

(1) TV 正則化法による骨格成分の先鋭化: 骨格成分に対して次式を最小化する拡大画像 TV 正則化法を用いた。ここで g はローパスフィルタであり、 $F(u)$ を最小化することにより、骨格成分 u は振動成分を抑えながら先鋭化される。

$$F(u) = \int |\nabla u| dx dy + \lambda \int (u * g - f)^2$$

この方式によると性能よくエッジ成分を立ち上げることが出来たが、演算時間が大きくかかるのが欠点であった。

(2) Shock フィルタによる骨格成分の先鋭化: 上記の方式では時間を要しすぎて動画には不向きなので、短時間でエッジ成分を先鋭化する Shock フィルタを採用した。Shock フィルタは下記の式で与えられる巡回型非線形フィルタで、画像のエッジ成分を急峻にする。

$$u^{(n+1)} = u^{(n)} - \alpha \cdot \text{sign}(\Delta u^{(n)}) |\nabla u^{(n)}|$$

Shock フィルタはエッジ以外の微小振動成分には悪影響が出るが、本システムでは骨格成分には微小振動成分が無いので、好都合である。Shock フィルタは演算が簡単な分、いくつかの悪影響が発見された。ジャギーと呼ばれる画像の輪郭のひずみ、もうひとつは平坦な画面に現れる階段状のひずみである。ジャギーひずみは、修正項の符号を取る部分の u 信号にローパスフィルタをかけることで解決された。また平坦画面ひずみは修正項の絶対値を取る部分に不感帯を設けることで解

決された。(1)の方法に比べると性能はほぼ同じで、演算時間は数百倍の改善を果たせた。

(3)事例学習法によるテクスチャ成分の先鋭化：

事例学習法は、画像の3x3画素程度のパッチに分けてこれを例えば2倍拡大する。この画像に対して別途用意した類似した種々の高精細画像の中から最も類似した画像を選ぶ。高解像度画面を低解像度の画面から推定するものである。事例学習法はエッジの部分で効果出にくいことと演算時間が大きいことが難点である。

本システムのテクスチャ成分はエッジ成分を含まないので、普通の画像に対するよりはパッチサイズを8x8程度に広げることができて演算時間が大幅に削減することができた。

(4)非線形フィルタによるテクスチャ成分の先鋭化：

事例学習法は演算時間が大きいことが欠点である。テクスチャ成分はパルス成分からなることに注目して、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。

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

Xは入力、Aは1~3程度の乗数、Nは2~3くらいのべき乗数である。この操作によって学習法と同じレベルの画質が得られ、また演算時間が数十倍速くなった。

(5) 合成システム：

骨格成分の先鋭化に関しては、TV正則化法とShockフィルタ法を実験した結果、演算時間の大きな差異からShockフィルタ法を採用することとした。

テクスチャ成分の先鋭化に関しては、同じく演算時間の差異より、パルス先鋭化フィルタを採用することとした。

下図に超解像合成システムを示す。

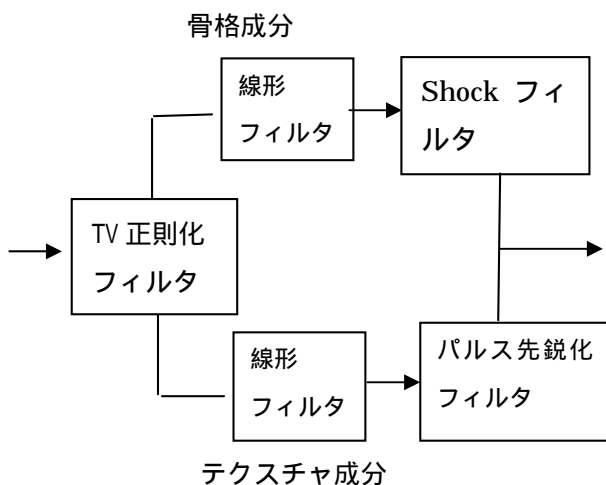


図3 超解像システム

(6)圧縮ひずみの除去

現行のMPEG2を用いた放送では、圧縮ひずみ(ブロックひずみとモスキートひずみ)が画質を劣化させている。圧縮ひずみは超解像によって強調されるのでひずみ除去が必須となる。本システムにおいては、エッジ成分付近のテクスチャ成分にローパスフィルタをかけるという方式を取り入れている。

(7) 顔処理

テレビの画像においては、人間顔の部分のみは超解像処理を行わないほうが好ましい結果が多いことが分かった。したがって本システムでは顔検出を行い、顔の部分には超解像を行わないようにしている。

(8)超解像システムのGPU実装

本システムが実際の4Kハイビジョンテレビに実装が可能かどうか確認する目的でGPUにてプログラムを実行してみた。GPUはNVIDIA Geforce GTX TITANを用いた。演算結果としては、4Kテレビの1枚の画像(3840x2160画素)の処理に、下記の表のような数値が得られた。

表1

TV正則化フィルタ	5.55msec
Shockフィルタ	3.19msec
パルス強調フィルタ	1.59msec
ノイズ除去その他	0.73msec
顔処理	2.12msec
合計	13.18msec

テレビの信号は16.7msecでフレームが変わるので、本システムは、4Kハイビジョンのテレビ信号処理ができることを実証した。図4に超解像の前と後を示す。

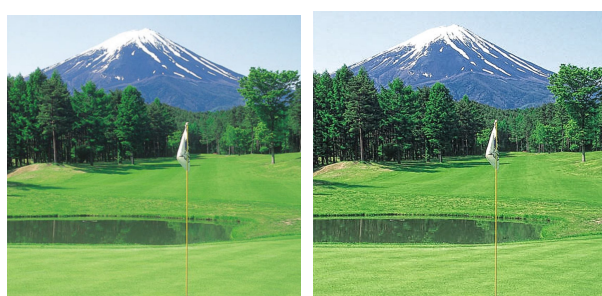


図4 超解像の画像

(9) TV正則化フィルタのハード化：

超解像のみならずTV正則化フィルタは他の画像処理に有用である。将来のLSI化を目指して、TV正則化フィルタのFPGA化を検討した。画像を8x8のブロックに分けて処理を行うとほぼひずみのない演算が行われることを確認した。この結果はTV正則化フィルタおよび超解像システムのハード化に役立つ。

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 4 件)

- (1) T.Goto, Y.Kato, S.Hirano, M.Sakurai, T.Q.Nguyen, "Compression Artifact Reduction based on Total Variation Regularization Method for MPEG-2", IEEE Trans. On CE, 査読有、Vol.57, No. 1, pp.253-259, 2011.
 - (2) 後藤富朗, 作田泰隆, 川本祐大, 桐山誠史, 鈴木彰太郎, 平野智, 桜井優, "TV 正則化手法を利用した事例学習型超解像法の高速化", 映像情報メディア学会誌, 査読有, Vol. 65, pp.1621-1627, 2011.
 - (3) T.Goto, Y.Kawamoto, Y.Sakuta, A.Tsutsui, M.Sakurai, "Learning-based Super-resolution Image Reconstruction on Multi-core Processor", IEEE Trans. on CE、査読有、Vol. 58, pp.941-946, 2012.
 - (4) 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 33 件)
- (1) Y.Kawamoto, S.Suzuki, Y.Sakuta, T.Goto, M.Sakurai, "A Study on Fast Learning-based Super-resolution utilizing TV Regularization for HDTV", ICCE, 査読有, pp. 731-732, 2012.
 - (2) Y.Sakuta, A.Tsutsui, T.Goto, M.Sakurai, R. Sakai, "Super-Resolution utilizing Total Regularization on CELL Processor", ICCE, 査読有, pp. 729-730, 2012.
 - (3) A.Tsutsui, T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, "Implementation of Total Variation Regularization Algorithm on CELL Processor", ICCE, 査読有, pp.498-499, 2012.
 - (4) 三浦俊司, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, "主成分分析を用いた学習型超解像手法の画質改善", 映像情報メディア学会年次大会, 23-4, 2012.
 - (5) M.Sakurai, Y.Sakuta, M.Watanabe, T.Goto, S.Hirano, "Super-Resolution Utilizing Total Variation Regularization and Shock Filter", ICIP, 査読有, pp.2221-2224, 2012.
 - (6) M.Watanabe, Y.Sakuta, T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, "Super-Resolution Image Processing with Total Variation Regularization and Shock Filters", GCCE, 査読有, pp.575-576, 2012.
 - (7) S.Miura, Y.Kawamoto, S.Suzuki, T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, "Image Quality Improvement for Learning-based Super-resolution with PCA", GCCE, 査読有, pp.577-578, 2012.
 - (8) 作田泰隆, 渡辺将史, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, "ショックフィルタの TV 正則化超解像への応用", 信号処理シンポジウム, pp.293-296, 2012.
 - (9) 鈴木雄太, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, "ガボールウェーブレット変換を用いた学習型超解像に関する研究", 信号処理シンポジウム, pp.303-306, 2012.
 - (10) 川本祐大, 三浦俊司, 作田泰隆, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, "Total Variation 正則化分離を用いた学習型超解像の性能改善", 画像工学研究会, 2012.
 - (11) 小林宏紀, 渡辺将史, 作田泰隆, 後藤富朗, 桜井優, "Total Variation 正則化を用いたサイドバイサイド方式 3D 放送映像の超解像復元", 映像情報メディア学会冬季大会, 2012.
 - (12) 三浦俊司, 鈴木悠平, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, "主成分分析を用いた学習型超解像の性能改善", CE 研究会, 2013.
 - (13) 渡辺将史, 長島史弥, 作田泰隆, 後藤富朗, 平野智, 桜井優, "ショックフィルタと TV 正則化フィルタを用いた拡大画像の高精細化", CE 研究会, 2013.
 - (14) 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.
 - (15) 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.
 - (16) F.Nagasima, 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.
 - (17) 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.
 - (18) 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.
 - (19) 渡辺将司, 長嶋史弥, 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.
- (20) 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.
- (21) 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.
- (22) T.Goto, T.Fukuoka, F.Nagashima, S.Hirano, M.Sakurai, “ Super-Resolution System for 4K-HDTV ”, ICPR, 査読有, pp.4453-4458, 2014.
- (23) 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.
- (24) 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.
- (25) K.Goto, F.Nagashima, T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, “ Super-Resolution for High-Resolution Displays ”, GCCE, pp.309-310, 2014.
- (26) F.Nagashima, T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, “ 4K-HDTV Super-Resolution System ”, GCCE, pp.204-205, 2014.
- (27) 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.
- (28) T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, “ Face Image Processing by TV Filter and Super-Resolution ”, VCIP, pp.245-248, 2014.
- (29) 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.
- (30) 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.
- (31) 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.
- (32) K.Goto, T.Goto, S.Hirano, M.Sakurai, “ Novel Image Enhancement for Super-Resolution ”, GCCE, pp.223-224, 2015.
- (33) 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 3 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
- (2) 名称: 画像処理装置、画像処理プログラム、および、画像を生成する方法
 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: 2012-504535
 出願年月日: 2012 年 9 月 7 日
 国内外の別: 国内
- (3) 名称: Image Processing Device, Image Processing Program, and Method for Generating Image
 発明者: Masaru Sakurai, Tomio Goto, Akihiro Yoshikawa
 権利者: 名古屋工業大学
 種類: 特許
 番号: PCT/JP2011/055776
 出願年月日: 2012 年 9 月 10 日
 国内外の別: 国外

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桜井 優 (SAKURAI Masaru)
 神奈川大学 工学研究所 客員教授
 (平成 26 年 4 月より現職)
 研究者番号: 70432284

(2) 研究分担者

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