

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560476

研究課題名(和文) サンプルング定理を越える映像超解像度化技術の研究

研究課題名(英文) Study of Super Resolution Algorithm for Video (Breaking the Theoretical Limitations)

研究代表者

合志 清一 (Gohshi, Seiichi)

工学院大学・情報工学部・教授

研究者番号：40500335

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：4K映像をリアルタイムで処理可能な超解像技術を開発した。開発した技術は、入力映像が保有しない高周波成分を生成することが可能であり、これまでの理論的限界であったナイキスト周波数を超える高周波成分を生成することも可能である。開発した技術をFPGA上を実装し、ハイビジョン映像を4K映像にアップコンバートし、同時に超解像処理可能な装置を開発した。解析の結果、開発した超解像アルゴリズムは、既存の4K超解像テレビの画質を凌駕することが示された。3年間で査読付き論文・国際会議26件、口頭発表21件、雑誌1件、特許4件を取得した。本技術は既に製品化が始まっており、研究開始当初の目標は完全に達成された。

研究成果の概要(英文)：A novel Super Resolution (SR) algorithm for 4K was developed. It works at real time for 4K video and it can create higher frequency elements that the input video does not possess. This theory breaks the limitation of the current theory and can create higher frequency elements than the Nyquist frequency. The algorithm is developed on a Field Programmable Array (FPGA) on a small circuit board. The size of the board is almost the same as the US \$1 bill. The equipment of the circuit board was displayed at NAB 2014 that is the biggest video and broadcasting exhibition in the world. In three years of the study 26 papers were published, 21 presentations were done, one article of the technology was published and four patents were registered. This technology is at the business status and the products are on the market. The object of the research has been completely done.

研究分野：工学、情報学

キーワード：映像処理 ナイキスト周波数 超解像 リアルタイム処理 再構成超解像

## 1. 研究開始当初の背景

本研究を開始した平成 24 年 4 月時点では、4K テレビは量販店には展示されているものの、一般視聴者には縁遠い製品であった。ハイビジョンテレビは低価格化の渦中にあり、産業としての存続も危ぶまれていた。研究申請者は、付加価値の高い 4K テレビこそが今後の主流と考え、4K 映像の魅力が広く知れ渡る技術が必要と考えていた。

しかし、4K テレビ方法はなく、4K テレビを購入しても、鑑賞するのはハイビジョン映像であり、4K 本来の魅力は未知数であった。4K テレビを販売していたテレビメーカーは超解像と名付けた新技术を 4K テレビに搭載し、販売促進を図った。しかし、超解像とは名ばかりで、従来技術と比較しても画質改善度は限られていた。

研究申請者は、真に超解像の名に値する新たな高解像度技術のアイデアを温めていたが、予算不足で研究が開始できない状況であった。

## 2. 研究の目的

### (1)映像を高精細化する新技术の確立

実用化された映像の高精細化技術としては、一部のテレビに搭載された超解像技術と知られている。しかしながら、この技術の画質改善度は、多くの映像では改善が困難なレベルである。研究レベルでは更に複雑な超解像技術も提案されているが実時間動作は困難な複雑なアルゴリズムである。本研究では、これまで用いられていない非線形信号処理を用いて、新たなアルゴリズムを完成させる。

### (2)4K で実時間動作可能なハードウェアを開発する

提案するアルゴリズムは高速信号処理を必要とする 4K 映像でも実時間動作可能な多方面に応用可能な技術とする。開発された技術を用いれば、遠隔から撮像された映像、監視カメラ映像、既存コンテンツの高精細化も可能であり、製品としてだけでなく映像産業全般の振興に貢献可能を完成させる。

## 3. 研究の方法

### (1)平成 24 年度

サンプリングの定理の限界を超える映像用超解像度化基礎アルゴリズムの完成するために下記を実行した。

- (1) 高周波成分を取り出すハイパスフィルタの構成と高調波成分を発生させる非線形特性の設計
- (2) 映像により異なる最適ハイパスフィルタ及び最適非線形特性の選択手法の設計

### (2)平成 25 年度

超解像度化アルゴリズムの高速化と高品質化が可能なアーキテクチャに改修するとともに超解像度化実験を 4K テレビで実施した。

- (1) 処理の効率化
- (2) 複数のハイビジョン映像を用いた

## 4K テレビ画面での超解像度化実験

以上の研究成果により、アルゴリズムの基礎は固まった。

### (3)平成 26 年度

超解像度化処理をハイビジョン映像・4K 変換で実証するために 4K テレビ画面を用いた主観評価実験を実施し、研究成果が当初の目的通り既存超解像技術を凌駕することを証明した。

## 4. 研究成果

超解像は英語の Super Resolution の和訳である。Super Resolution の研究は 2000 年頃から盛んになり、今日に至っている。超解像という言葉が、専門家の間だけで用いられている間は良かったが、リーマンショック直後 2008 年末から、に有名タレントを使った「超解像機能搭載」のハイビジョンテレビが市場に投入され、大きな誤解を生んでしまった。2010 年以降、複数の刑事ドラマで監視カメラに写り込んだボケ画像が、警察の鑑識班のコンピュータ操作で高画質化される映像が、様々なシーンで登場した。この結果、一般消費者は言うに及ばず、一部の専門家まで刑事ドラマで用いられた技術が存在すると勘違いする事態に至った。

Super Resolution にはいくつかの手法が提案されているが、最も多くの研究者が論文を書いてきたアルゴリズムは再構成超解像 (Super Resolution Image Reconstruction) である。新たな超解像技術を完成させることが、本研究の目的であるため、当然、既存研究でもっとも成果が多いとされる再構成超解像との比較は必須である。再構成超解像のアルゴリズムを解析するに従って、再構成超解像は極めて限られた条件でのみ高解像度化が可能な実用化にはほど遠い方式である事を発見した。通常、研究成果とは何らかの新しい事実の発見であるが、何らかの既存技術がほとんど効果を発揮しないと言う事実は既特権者には受け入れがたいことである。申請者は再構成超解像の実態を様々な学会で報告し、一定の理解を得た後、査読付き論文に投稿したが理不尽な理由で返礼された。その後、査読付き国際会議で複数回発表したのち、再度、国内論文誌に投稿し、ようやく採録となった。現在では、再構成超解像は特別な場合を除き、効果が無い方法と認識され始めたが、未だに再構成超解像信者は少なくない。本研究の一つ目の成果は、再構成超解像の本質を暴いたことである。



図1 原画像



図2 図1を縦横2倍拡大



図3 従来手法による  
高解像度化



図4 提案手法による  
高解像度化

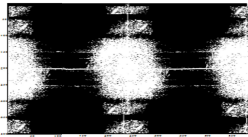


図5 図1の2D-FFT結果



図6 図2の2D-FFT結果



図7 図3の2D-FFT結果



図8 図4の2D-FFT結果

本研究の二つめの成果は、言うまでも無く従来の理論的境界を超えた超解像アルゴリズムの開発である。画像や映像は撮影時に使用された撮像デバイスの解像度を越える周波数成分は持たない。再構成超解像は、撮影された映像から折り返しを除去して、解像度を向上させているだけであって、存在しない解像度を作り出しているのではない。本研究ではこの理論的境界を打ち破ることが目標であった。図1を縦横2倍に拡大した画像を図2に示す。画像や映像は拡大すると必ずぼける。図1と図2とを比較すると図2にはボケが発生している。図3は図2を代表的な従来手法であるエンハンスで処理した結果である。図3は図2とほとんど同じ解像度であり、改善効果は認められない。これは両者の2次元FFT(2D-FFT)である図2と図3のスペクトラムを比較するとよく分かる。ボケ画像である図2のスペクトラム図6とエンハンス処理結果の図3のスペクトラム図7とはほとんど同一である。エンハンスにより新たに発生したスペクトラムは存在せず、解像度の変化が無いことが理解できる。図2のボケ画像を本研究で開発したアルゴリズムで処理すると図4となる。図4を図2,3と比較すると明らかに解像度が改善している。また、図4の2D-FFT結果となるスペクトラムを図8に示す。図8を図6,7と比較すると明らかにスペクトラムが増大している。この結果は原画像が持たない新たなスペクトラムを生成したことになる。ここで最大のライバルである再構成超解像との比較ではなく、エンハンスと比較したことには理由がある。最古成長解像は複数の低解像度画像から高解像度画像を作成する方法である。この例のように、たった1枚の画像出高画質化は不可能である。このため、ここでは再構成超解像ではなくエンハンスを利用した。

開発したアルゴリズムは、これまで画像処理にはほとんど用いられてこなか

った非線形処理を応用し、8K映像まで見据えてリアルタイム処理が可能なアルゴリズムである。超解像には、再構成超解像以外にも様々な手法が提案されている。しかし、超解像はもともと静止画の解像度を向上させる手法として提案されており、1枚の映像処理に秒単位～数時間を要する。映像に用いる技



図9 4K リアルタイム処理装置

術は1枚の映像を16.7ms以下で完結する必要があり、諸外国で研究されてきた超解像技術はこの条件を満たさない。

比較的高速化が進んでいる学習型超解像であっても1枚あたりで秒単位の時間が必要である。このような環境下で、日韓のテレビメーカーのみが、超解像機能搭載のテレビを販売している。各社が超解像の根拠とする超解像の定義は、理論的な限界であるナイキスト周波数を越える周波数成分を生成可能なアルゴリズムとしている。しかし、図5～図8に示すような超解像処理前後のスペクトラムは公開されておらず、どの程度画質が改善されているのかわからない。これは疑問である。本研究に関連して、超解像機能を搭載した各社のテレビを対象に主観補床実験を行った。実験の結果、各社の超解像機能搭載テレビは、超解像機能未搭載のテレビと有意差が得られなかった。現時点では、今回の研究で開発した超解像アルゴリズムが、唯一、TVメーカー各社の超解像の定義に該当し、リアルタイム動作可能なアルゴリズムとなる。

本研究の3番目の成果は、開発したアルゴ

リズムを利用して 4KTV 用リアルタイム処理装置を開発したことである。図 9 に開発したリアルタイム 4K 映像超解像装置を示す。図に示すように本装置は非常に小型・軽量である。基板にはさまざまな部品が実装され散るが、ほとんどの部品はインターフェイスまたは電源に関する部品である。開発したアルゴリズムは基板中央の放熱板下部に位置する FPGA に全てのアルゴリズムが実装されている。

本ハードウェアを元に主観評価実験を行い 4K テレビに搭載されている超解像機能を遙かに上回る改善がなされていることを統計学的有意差により証明した。

## 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 26 件)

1. Seiichi Gohshi, “Real-time Super Resolution for 4K and 8K Systems with Nonlinear Signal Processing”, SMPTE 2014, (査読有), Hollywood, Oct. 22<sup>nd</sup>, 2014.
2. Seiichi Gohshi, “Super Resolution with Non-Linear Signal Processing for TV”, IEVC 2014, 4C-1, (査読有), Samui, Thailand, Oct. 9<sup>th</sup>, 2014.
3. Chinatsu Mori, Seiichi Gohshi, “Specifying a Person on the Basis of Body Characteristics with a Low-Resolution Image”, IEVC 2014, 4A-6, (査読有), Samui, Thailand, Oct. 9<sup>th</sup>, 2014.
4. Hirohisa Takeshita, Seiichi Gohshi, “Subjective Assessment for Digital Images”, IEVC 2014, 3C-3, (査読有), Samui, Thailand, Oct. 9<sup>th</sup>, 2014.
5. Seiichi Gohshi, “Real-time Super Resolution Equipment for 8K Video”, ICETE 2014 (SIGMAP), (査読有), Vienna, Austria, pp.149-157, Aug. 2014.
6. Seiichi Gohshi, “Limitations of Super Resolution Image Reconstruction for Commercial Products”, World Automation Congress, IEEE SMC Society, 2014 1569916733, (査読有), Kona, USA, pp.1-6, Aug. 2014.
7. Seiichi Gohshi, “4K-to-8K TV Up-converter with Super Resolution”, the 68<sup>th</sup> NAB Broadcast Engineering Conference Proceedings 2014, (査読有), Las Vegas, USA, pp.75-80, Apr. 2014.
8. 合志, “再構成型超解像の限界”, 映像情報メディア学会論文誌, Vo.: 68, No. 4, (査読有), pp.169-173, 2014 年 4 月 .
9. Seiichi Gohshi, Takayuki Hiroi, Isao Echizen, “Subjective assessment of HDTV with super resolution function”, EURASIP Journal on Image and Video Processing 2014, 2014:11, (査読有), pp.1-10, Feb. 2014.
10. Masaki Sugike, Seiichi Gohshi, “Performance Verification of Super-Resolution Image Reconstruction”, ISPACS 2013, TA1-C-4, (査読有), pp. 547–552, Nov. 2013.
11. 山田、合志、越前, “人間とデバイスの感度の違いを利用したディスプレイ盗撮防止方式”, 情報処理学会論文誌, (査読有), 2013 年論文賞受賞論文, Vol. 54, No. 9, pp. 2177-2187, 2013 年 9 月
12. Seiichi Gohshi, Isao Echizen, “Limitations of Super Resolution Image Reconstruction and How to Overcome them for a Single Image”, ICETE2013 (SIGMAP), (査読有), pp.71-78, Jul. 2013.
13. Seiichi Gohshi, “Limitation of Super Resolution Image Reconstruction for Video”, CICSYN2013, IEEE Computer Society, (査読有), pp. 217-221, Jun. 2013.
14. Seiichi Gohshi, “Real-Time Up-Converter from HDTV to 4K with Super Resolution”, SID 2013, 42.2, (査読有), pp. 582-585, May, 2013.
15. Seiichi Gohshi, Isao Echizen, “Subjective Assessment for HDTV with Super-Resolution Function”, VPQM 2013, (査読有), pp. 26-32, Feb. 2013.
16. Seiichi Gohshi, Hiroyuki Sekiguchi, Yoshiyasu Shimizu, Takeshi Ikenaga “Subjective Assessment of Reconstruction of Super Resolution Images”, WASET, 69.207, pISSN 20110-376X, eISSN 2010-37782012, (査読有), pp.1186-1191, Sep. 2012.
17. Seiichi Gohshi, “A New Signal Processing Method for Video Image”, The Era of Interactive Media, Springer, (査読有), pp.593-604, Jun. 2012.
18. Seiichi Gohshi, “A new signal

processing method for video: reproduce the frequency spectrum exceeding the Nyquist frequency”, ACM digital Library, (査読有), pp.47-52, ISBN: 978-1-4503-1131-1, Apr. 2012.

〔学会発表〕(計 20 件)

1. 合志、“再構成超解像と低解像度画像”, 電子情報通信学会、ソサエティ大会、A-4-2, 2014 年 9 月
2. 合志、“再構成超解像と折り返し”, 映像情報メディア学会年次大会、16-2, 2014 年 9 月
3. 合志、伊藤、“4K カメラ用フォーカスアジャスト機能の提案”, 映像情報メディア学会年次大会、16-1, 2014 年 9 月
4. 合志、谷岡、“再構成超解像と固体デバイスに関する考察”, 電子情報通信学会研究会(通信方式)CS2014-4, 2014 年 7 月
5. 合志、“映像のリアルタイム超解像化”, JST 分野別新技術説明会(ビッグデータ) 科学技術振興機構, 2014 年 2 月
6. 合志、“HDTV・4KTV アップコンバータの開発 -いかにしてナイキスト周波数を超えるか-”, 画像符号化シンポジウム(PCSJ2013)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS2013), 2013 年 11 月
7. 合志、“招待講演「理論限界を超える高精細化」”, 画像符号化シンポジウム(PCSJ2013)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS201), 2013 年 11 月
8. 画像符号化シンポジウム(PCSJ2013)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS201)
9. 合志、“HDTV 用再構成超解像の現状”, 電子情報通信学会、ソサエティ大会、A-4-3, 2013 年 9 月
10. 合志、“再構成型超解像技術と固体撮像デバイスに関する考察”, 映像情報メディア学会年次大会、1-1, 2013 年 8 月
11. 合志、“再構成超解像の周波数解析”, 電子情報通信学会研究会(通信方式)CS2013-8, Vol.113, No.114, pp.1-6, 2013 年 7 月
12. 合志、“再構成超解像の周波数解析”, 画像電子学会年次大会, 会 R7-4, 2013 年 6 月
13. 合志、“招待講演「超解像技術の現状と将来」”, 映像情報メディア学会年次大会, ITE Technical Report Vol.37, No.15, CE2013-16 (Mar.2013)
14. 合志、関口、清水、池永“再構成超解像におけるイテレーションと画

質”, 4-10, 映像情報メディア学会 2012 年冬季大会

15. 合志、越前“再構成型超解像技術の限界”, 信学技報 VOL.36, NO.48, pp.1-6, 2012 年 11 月
16. 合志、関口、清水、池永“非線形処理を用いた超解像技術の提案と画質評価”, 信学技報, Vol.112, No.225, PRMU2012-62-44, pp.59-64, 2012 年 10 月
17. 合志、関口、清水、池永“再構成超解像の新たな課題”, A-6-3, 電子情報通信学会、ソサエティ大会、2012 年 9 月
18. 合志、関口、清水、池永“非線形処理を用いた映像の超解像化”, A-6-1, 電子情報通信学会、ソサエティ大会、2012 年 9 月
19. 合志、関口、清水、池永“超解像化映像の主観評価”, A-6-2, 電子情報通信学会、ソサエティ大会、2012 年 9 月
20. 合志、“再構成超解像技術の限界”, 映像情報メディア学会年次大会、23-3, 2012 年 8 月
21. 合志、越前“非線形処理を用いた超解像”, Vol.112, No.190, EMM2012-44, pp.51-56, 2012 年 8 月

〔図書〕(計 1 件)

1. 合志、“4K を 8K へリアルタイム処理する超解像技術”, (雑誌)放送ジャーナル(p.65), 2013 年 11 月

〔産業財産権〕

○取得状況(計 4 件)

名称: 画像処理装置、画像処理方法

発明者: 合志、小笠原、中村

権利者: 計測技術研究所

種類: 特許

番号: 特許 5629902

出願年月日: 2013 年 8 月 20 日

取得年月日: 2014 年 10 月 17 日

国内外の別: 国内

名称: 信号処理装置、制御プログラム、および集積回路

発明者: 合志、小笠原、中村

権利者: 計測技術研究所

種類: 特許

番号: 特許 5403450

出願年月日: 2013 年 2 月 25 日

取得年月日: 2013 年 11 月 8 日

国内外の別: 国内

名称: 画像強調装置、画像強調方法

発明者: 合志

権利者: 計測技術研究所

種類: 特許

番号: 特許 5396626

出願年月日：2012年8月9日  
取得年月日：2013年11月1日  
国内外の別：国内

名称：画像強調装置、画像強調方法  
発明者：合志  
権利者：計測技術研究所  
種類：特許  
番号：特許 5320538  
出願年月日：2012年8月9日  
取得年月日：2013年7月26日  
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

2. <http://www.ohmsha.co.jp/bulletin/>
3. <http://eetimes.jp/ee/articles/1310/24/news064.html>

キーワード：合志清一、4K、超解像  
で検索可能

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

合志 清一 (Gohshi, Seiichi)  
工学院大学・情報学部・教授  
研究者番号：40500335

##### (2)研究分担者

なし

##### (3)連携研究者

なし