

令和 3 年 5 月 2 日現在

機関番号：13903

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19813

研究課題名（和文）確率的な5次元テンソル光線空間に基づく映像からの写真現像

研究課題名（英文）Photo Developing based on 5D Probabilistic Light Field

研究代表者

福島 慶繁（Fukushima, Norishige）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：80550508

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、「カメラの設定を行い、被写体を視野に収めてからシャッターを切る」というこれまでの常識的な撮影方法から、「カメラの設定値を変えながらビデオを撮影し、後から計算処理で所望の状態の画像を現像する」という撮影のパラダイムを変えることで、今まで以上の画質と高い臨場感、機能性を実現する撮影方法の確立を目指す。研究の結果、連続する画像群から高性能な現像処理を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、大別して4つの研究成果を上げた。1つめは、近年の画像処理の基幹的な役割を果たすエッジ保存平滑化フィルタの代表的なフィルタであるバイラテラルフィルタの高速化を実現した。2つ目は、画像処理結果をサブサンプリングし、それをエッジ保存平滑化フィルタを使って高精度にアップサンプルすることで高速かつ高性能な任意の画像処理の高速化を実現した。ほかにもランダムサブサンプルによっても高速化した。3つ目は、代表的な画質評価指標であるSSIMやMS-SSIMの計算を高速化した。最後に、連射したBayer画像群から直接的に高品質の画像を現像する方法を実現した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we aim to establish a capturing method that achieves higher image quality, higher realism, and higher functionality by changing the paradigm of shooting from the conventional shooting method of "setting the camera, capturing the subject in the field of view, and then releasing the shutter" to "shooting video while changing the camera settings and later developing the desired image by computational processing. The aim of this research is to establish a method of capturing images that achieves higher image quality, higher realism, and higher functionality. As a result of our research, we have achieved a high-performance development process from a set of consecutive images.

研究分野：画像処理

キーワード：画像処理 エッジ保存平滑化フィルタ バイラテラルフィルタ ガイデッドフィルタ SSIM Bayer画像処理 乱択アルゴリズム ジョイントバイラテラルアップサンプル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

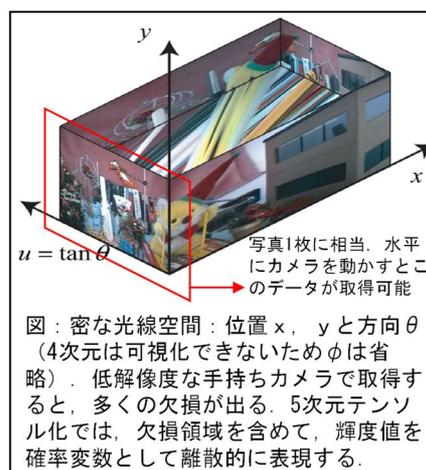
## 1. 研究開始当初の背景

スマートフォンが普及し、SNSなどで写真が広く展開される現代は、より簡単に、より高画質かつ臨場感のある写真を撮る需要が高まっている。使用されるスマートフォンに搭載される小型カメラは、撮像素子という観点からみると制約が多く、高品質な写真を撮るためには、これまでの撮影方法から大きく脱却する必要がある。

本研究は、「カメラの設定を行い、被写体を視野に収めてからシャッターを切る」というこれまでの常識的な撮影方法から、「カメラの設定値を変えながらビデオを撮影し、後から計算処理で所望の状態の画像を現像する」という撮影のパラダイムを変えることで、これまで以上の画質と高い臨場感、機能性を実現する撮影方法の確立を目指す。

## 2. 研究の目的

そのために、大量の情報を効率的に扱える新たなデータ構造や撮影・現像方法の検討を行う。データ構造には、光線空間と呼ばれる光の位置( $x, y$ )と角度( $\theta$ )に対応する値を保持する4次元空間を拡張して用いる(右図参照)。本研究では、光線空間の値を一意ではなく確率的に変動可能な状態で保持できるように5次元テンソルへと拡張する。この拡張により、様々な条件で得られた光の情報を効率的に保有可能となることが期待できる。加えて、計算により写真を現像する研究分野であるコンピュータショナルフォトグラフィの研究で用いられてきた連射撮影やフラッシュの活用、パノラマ画像や超解像、ぼけ生成などの研究を、このデータ構造を用いて包括的に捉えることで、この研究分野の体系化を試みる。



## 3. 研究の方法

本研究は、各処理を(a)撮影,(b)再構成,(c)現像の3段階に分けて進める。そして、これら処理と従来のコンピュータショナルフォトグラフィとの研究の関連を明らかにすることで、この分野の研究の体系化を進める。

### (a) 撮影

まず簡単な条件で取得するために、露光時間、焦点位置などのカメラ設定値を一定にする。加えて、運動パターンを指定・限定し、カメラを微小に動かして映像を取得することで、カメラの位置・方向の分解精度を上げる。これは、代表者が行ってきたカメラ配置を拘束条件とするカメラ位置校正の研究からの発展である。簡単な条件の映像から基準となる光線空間を再構成し、これを基準として撮影設定値を変動させながら撮影したデータを追加していく。

### (b) 再構成

再構成では、得られた映像の位置、方向情報をもとに光線空間を構築する。そして、異なる撮影条件が得られた映像とそのぼけ情報やダイナミックレンジの情報をもとに、5次元テンソルの光線空間として段階的に統合する。段階的に行うことで、画像1枚ずつ構成するよりも処理が安定することが予想される。

### (c) 現像

従来の光線空間でも可能な処理である、任意のぼけ状態、視点から見られる画像、パノラマ画像の生成に加え、増えた1次元情報を用いて、ダイナミックレンジを広げるHDRや、解像度を上げる超解像などを同時に行う。そのために、輪郭を保持可能な平滑化フィルタを確率的に間引いて用いて情報を集めることで、不足する情報を補間しながら効率的に処理する。

## 4. 研究成果

本研究は、各処理を(a)撮影,(b)再構成,(c)現像の3段階に分けて進めものである。そして、これら処理と従来のコンピュータショナルフォトグラフィの研究との関連を明らかにすることで、この分野の研究の体系化を進めるものである。

初年度は、まず撮影環境として、通常のスマホや一眼レフに加えてデプスセンサを購入し、それらの撮像環境を整備した。そして、アプリケーションとしてHDRや、自由視点画像合成を対象として、再構成手法の様々な検討を行った。まず、自由視点画像合成に関しては、

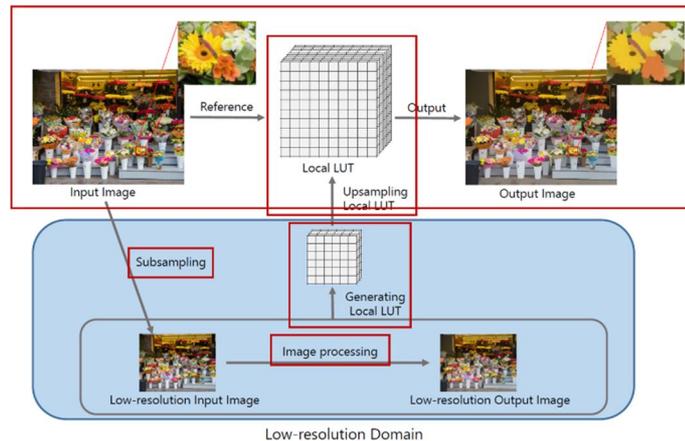
デプスセンサの剛体レジストレーションをより簡単かつロバストに可能なキャリブレーションパターンを構築した。そしてHDRに関しては、まず通常のスマートフォンで映像を撮影し、カメラの運動が少ない場合と大きい場合で、レジストレーションがどの程度可能かを検証した。このレジストレーションには複数の動きベクトル推定アルゴリズムを適用して検証した。加えて、デプスセンサを用いてそのレジストレーションの精度が向上できるか試みた。

このようにまず初年度に (a) 撮影に関する撮影環境について整備を行った。(b) 再構成や(c) 現像に関する項目はアプリケーションごとにことなるためそれぞれ分けて記述する。主要な成果は以下に大別される。

- (1) 規則的な間引きによるダウンサンプル・アップサンプルによる汎用的な高速化
- (2) ランダムな間引きによる画像処理や畳み込みの高速化
- (3) 短時間周波数変換による高速処理、高速な画質評価
- (4) 高速なエッジ保存平滑化フィルタ
- (5) 連射画像群からの現像
- (6) プログラミング言語による拡張

(1) 規則的な間引きによるダウンサンプル・アップサンプルによる汎用的な高速化  
研究の主な成果

計算による現像では、その高速化は必要不可欠である。本項目では、汎用の画像処理を高速化する方法として、ダウンサンプルした画像に対して画像処理を行い、それをアップサンプルすることで計算を削減する方法を提案した。この方法では、入力画像と画像処理結果の局所的な対応をルックアップテーブルとして保存することで、任意の解像度の画像処理を小さい解像度での画像処理結果から変換する方法である(右図)。本手法を Local LUT Upsampling と名付け、いくつかの方法を提案した。



図：Local LUT Upsampling

この手法では汎用的にいくつかの画像処理結果の高速化が可能となる。下に主要な画像処理結果を示す。本手法では入力画像に対して、平滑化、強調するフィルタリングする任意の処理を高速化可能である。

この手法は、高速化率と近似精度がトレードオフとなるが、約100倍の高速化を達成すると画質評価指標であるPSNRが33~35dBであり、10倍程度だと36~40dB程度の近似精度で高速化することが可能となった。



図：Local LUT UPsample

得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

Local LUT Upsampling は、エッジ保存平滑化フィルタを利用したアップサンプル手法の一種である。従来の方法としては、ジョイントバイラテラルアップサンプル: JBU (2007), ガイデットフィルタによるアップサンプル: GIU (2010), 双方を合わせたバイラテラルガイデットサンプル: BGU (2016) や機械学習を用いたアップサンプルがある(2017)。JBUは平滑化を行うものしかアップサンプルできず、GIUは、画像の線形変換しか対応しない。BGUは汎用的に対応できるものの計算コストが高く、機械学習ベースのものは画像処理ごとに学習が必要のため、セットアップに多大な時間がかかる。提案手法は、汎用的に使用することができ、学習も必要なく、計算速度も従来の方法よりも高速に動作するため、

現状世界で最も高速かつ高精度、多機能に実行できる方法となっている。

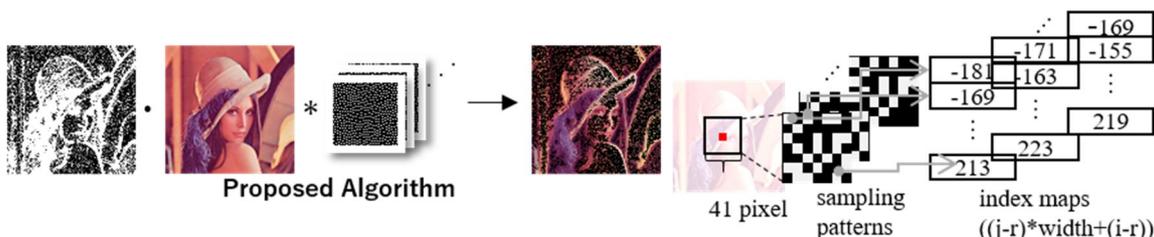
#### 今後の展望

今後は精度向上のために、提案手法のパラメータを画像処理毎にパラメータだけ学習するなどの拡張を行い、より高性能な手法として完成させることを検討している。

### (2) ランダムな間引きによる画像処理や畳み込みの高速化

#### 研究の主な成果

本手法は、任意の画像処理の処理領域を重要度に応じて不規則に間引くことで高速化するものである。任意の画像処理に対しては処理する画素を間引き、畳み込みに関しては、さらに畳み込みカーネルを間引くことで高速化する。以下にその様子を示す。



図：画素間引きとカーネル間引きによる汎用画像処理の高速化

重要度に応じて、処理画素を間引くことで任意の画像処理を高速化可能にした。また、畳み込みに関しては、画素を間引くよりも畳み込みカーネルを間引くほうが高性能であることを示した。加えて、この間引き処理は現代の計算機アーキテクチャにとっては最大性能を出すことに都合が悪く、2013年ごろから使用可能になっている専用のハードウェア命令 (gather) を用いたとしても性能は高くはない。そこで、現代の計算機ハードウェアに適切なデータ構造を提案し、データ構造変換を施すことで、従来よりも2倍以上の性能を出すことにも成功した。また、間引きの時に、画像処理の統計的なデータから適切な間引きパターンを見つけることでこれまでの間引きに比べて、近似性能を5 dB以上と大幅な改善に成功している。本研究の成果は、画像処理の主要な国際会議であるICIP2019にて発表した。

#### 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

現状、汎用的な画像処理の高速化手法としては、(1)による方法は速度、精度においてバランスが優れており、本手法は高速な処理が求められる場所においてはより高い性能を持っている。両者とも現在の世界でも最高性能を持つ方法となっている。

#### 今後の展望

今後は、これらをプログラミング言語として記述できるように拡張することでより汎用性を高めるとともに、補間の方法の向上などを検討することで更なる性能の改善を行う予定である。

### (3) 短時間周波数変換による高速処理

#### 研究の主な成果

本手法は、周波数変換をブロックで行うことで高速化を行った方法である。主に2つの処理を行い、一つ目は冗長DCT変換を、計算機アーキテクチャを考慮した最適化を行ったものであり、もうひとつは、ガウシアンフィルタに特化して、短時間周波数変換を高速化したものである。

前者は、ブロック単位でDCT変換を行い、デノイズやデブラー処理を周波数領域で行う手法である。これを、アルゴリズム的に演算回数を削減することで高速化するとともに、近代の計算機に乗っているハードウェア命令であるFMA命令を考慮することで総演算回数の最適化を行った。通常、デノイズやデブラーは非常に簡単な処理でなければ、リアルタイム動作させることが難しかったが、この方法によりリアルタイムでデブラーとデノイズを実行させることに成功した。デブラー、デノイズは画像現像の基本的な処理であり、これらが高速化可能になることは、様々な画像処理手法にとって重要である。また、デブラーとデノイズを一括で処理できるようにしたことで画像処理パイプラインを2段ではなく1段で事項可能にした。そのため、ノイズの増幅とぼけ除去のトレードオフの扱いが容易になったことに加えて、使用する回路の小規模化などにも貢献する。

後者では、ガウシアンフィルタに特化して、高速化を行った。同様にFMA命令を使って、DCTの種類に応じて最適な方法を検討した。また、ガウシアンフィルタは、汎用的な方法であり様々なところで使われる。次に述べるバイラテラルフィルタや高次元ガウシアンフィルタ、画質評価指標などでも使われ、ここでは画質評価指標での応用について簡単に述べる。現在画質評価指標のSSIMやMS-SSIMは画質を評価するだけの用途以外にも機械学習の結果のよし悪しを判別するためにも使用されており、その場合は無数の画質評価関数

が呼ばれる。つまり、この画質評価が高速に行えると、汎用的に学習自体も高速化するため重要性が高い。本研究では、この SSIM 計算のアルゴリズムを最適化し、より高速に動作するようにした。加えて、高速化したガウシアンフィルタを用いることで更なる高速化を達成した。

得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

本手法は、現在計算速度、精度両者のトレードオフを考慮したときに世界最高峰の性能を誇る手法である。デノイズ・デブラーの成果は、画像処理の主要な国際会議である ICIP2019 にて発表しており、ガウシアンフィルタによる画質評価の成果は、国際会議で Best paper award を受賞した。

今後の展望

本手法は低レイヤの汎用的な手法であるため、より広く使われるようにコードの公開等を進めることで、研究成果が、より科学の発展に寄与できるように整備を進めていく予定である。

#### (4) 高速なエッジ保存平滑化フィルタ

研究の主な成果

エッジ保存平滑化フィルタは現代の画像処理において汎用的に使われる基盤的なツールとなっている。エッジ保存平滑化フィルタであるバイラテラルフィルタやその高次元拡張である高次元ガウシアンフィルタを高速化したものである。グレイスケール画像のバイラテラルフィルタは 3 次元の高次元ガウシアンフィルタであり、これの高速化を行った。2019 年には SVD を用いた手法、2020 年にはフーリエ級数展開を用いた手法によってそれぞれ高速化を行った。また、カラーのバイラテラルフィルタの場合は 5 次元の高次元ガウシアンフィルタであり、こちらも 2020 年に発表している。また、2021 年には、更なる次元の高い方法となるノンローカルミンフィルタについて発表する予定である。このすべての方法において、内部でガウシアンフィルタを用いており、基本的な考え方として畳み込みをすべてガウシアンフィルタに分解するアプローチである。そのため(3)で行った研究成果を利用することで更なる高速化が達成されている。

得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

本成果は、画像処理の主要な国際会議である ICIP にてすべて発表されている。特にグレイスケールの場合の成果は国際会議発表の Top10% にノミネートされた。また、性能としても現状世界最高峰の性能を達成している。

今後の展望

すべての成果をまとめ、プログラムとして公開することで、より広く使われるようにする予定である。

#### (5) 連射画像群からの現像

研究の主な成果

通常、画像現像は、Bayer 画像を RGB 画像に変換し、必要な処理を施す流れである。この通常の画像処理パイプラインは、最初の段階でのデノイズやデブラーの性能が後段の処理に大きく影響を与える。本研究では、この Bayer を RGB に戻す処理を極力最終段階で行えるように画像処理パイプラインを変更し、加えて複数枚のベイヤー画像を同時に扱うことで高性能な画像処理を実現した。

実験では、GooglePixel 等のスマートフォンを用いて連射撮影可能な環境を構築し、それを用いて新たな画像処理パイプラインを実現することを検証した。

得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

試験的に、新たなパイプラインの検証を進めた段階であり、(1)~(4)の研究成果との結合はまだである。

今後の展望

その他で得られた成果と統合することでよりインパクトの高い成果の実現を目指す。

#### (6) プログラミング言語による拡張

研究の主な成果

複雑な画像処理を書くコードが長くなり、またハードウェアに合わせて最適化するとその傾向は更に顕著になる。そのため、一部の処理は、プログラミング言語として近似高速化を表現した。代表的なものは、定数時間のガウシアンフィルタを実現した。

得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

本成果は、国内研究会で発表したり、国際会議 APSIPA にて発表したりしている。国内研究会では、優秀賞を得た。

今後の展望

より汎用的な様々な手法をプログラミング言語として記述可能なように拡張することでより研究成果の普及を加速させる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Maeda Yoshihiro, Fukushima Norishige, and Matsuo Hiroshi	4. 巻 8
2. 論文標題 Effective Implementation of Edge-Preserving Filtering on CPU Microarchitectures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1985 ~ 1985
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app8101985	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計63件（うち招待講演 1件/うち国際学会 18件）

1. 発表者名 高木博康, 福嶋慶繁
2. 発表標題 Halideによる効率的な再帰型ガウシアンフィルタの記述
3. 学会等名 情報学ワークショップ Workshop on Informatics 2020 (WiNF 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 間瀬和哉, 福嶋慶繁
2. 発表標題 可分化によるバイラテラルフィルタの高速化
3. 学会等名 情報学ワークショップ Workshop on Informatics 2020 (WiNF 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李思語, 福嶋慶繁, 佐々木大寛, 杉本憲治郎, 鎌田清一郎
2. 発表標題 定数時間GFによるSSIMの高速計算
3. 学会等名 情報学ワークショップ Workshop on Informatics 2020 (WiNF 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福嶋慶繁
2. 発表標題 画像処理の高性能計算
3. 学会等名 電子情報通信学会画像工学研究会 (IE) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角谷勇仁, 大塚友貴, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 定数時間アルゴリズムによるローカルラプラシアンフィルタの高速化
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 間瀬和哉, 福嶋慶繁
2. 発表標題 バイラテラルフィルタの可分化による高速化
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 角谷勇仁, 大塚友貴, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 フーリエ級数展開によるローカルラプラシアンフィルタの高速化
3. 学会等名 電気電子情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李思語, 福嶋慶繁, 佐々木大寛, 杉本憲治郎, 鎌田清一郎
2. 発表標題 定数時間GFを用いたSSIM計算の高速化
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高木博康, 福嶋慶繁
2. 発表標題 Halideを用いた再帰型ガウシアンフィルタの効率的な記述
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小島史也, 福嶋慶繁
2. 発表標題 GPUにおけるバイラテラルフィルタのガウス分布重み計算の近似高速化
3. 学会等名 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤拓海, 福嶋慶繁
2. 発表標題 バイラテラルフィルタの数値計算精度
3. 学会等名 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川加寿也, 福島慶繁
2. 発表標題 コンプレッシブバイラテラルフィルタの係数計算の高速化
3. 学会等名 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大石創, 福島慶繁
2. 発表標題 固有値分解による高次元ガウシアンフィルタの高速化
3. 学会等名 電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Otsuka, N. Fukushima, Y. Maeda, K. Sugimoto and S. Kamata
2. 発表標題 Optimization of Sliding-DCT Based Gaussian Filtering for Hardware Accelerator
3. 学会等名 IEEE International Conference on Visual Communications and Image Processing (VCIP) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Takagi and N. Fukushima
2. 発表標題 An Efficient Description with Halide for IIR Gaussian Filter
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Waqas and N. Fukushima
2. 発表標題 Comparison of Image Features Descriptions for Diagnosis of Leaf Diseases
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Otsuka and N. Fukushima
2. 発表標題 Vectorized Implementation of K-means
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Oishi and N. Fukushima
2. 発表標題 Clustering-Based Acceleration for High-Dimensional Gaussian Filtering
3. 学会等名 International Conference on Signal Processing and Multimedia Applications (SIGMAP) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福嶋慶繁, 前田慶博
2. 発表標題 バイラテラルフィルタの数値計算精度
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川阿香里, 福嶋慶繁
2. 発表標題 Halide を用いたステレオマッチングの実装
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田島寛士, 福嶋慶繁
2. 発表標題 ローカルLUTアップサンプリング
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坪川哲平, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 乱折フィルタにおけるサンプリングカーネルの最適化
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大塚友貴, 福嶋慶繁
2. 発表標題 スライディング DCT による定数時間ガウシアンフィルタの安定性
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤利樹, 福嶋慶繁
2. 発表標題 オブティカルフローを用いたベイヤー画像のマルチフレーム補間
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻悠太, 福嶋慶繁
2. 発表標題 再帰フィルタとタイリングのHalide による記述
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮村拳寿, 福嶋慶繁
2. 発表標題 定数時間カラーバイラテラルフィルタの精度向上
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大塚友貴, 福嶋慶繁, 杉本憲治郎, 鎌田清一郎
2. 発表標題 スライディングDCTによる定数時間ガウシアンフィルタの高精度計算
3. 学会等名 電子情報通信学会画像工学研究会(IE)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Muhammad Waqas, 福嶋慶繁
2. 発表標題 SIFT記述子に基づく葉の病気部分類
3. 学会等名 電子情報通信学会通信方式研究会(CS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Ishikawa, N. Fukushima, and H. Tajima
2. 発表標題 Halide Implementation of Weighted Median Filter
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Sato and N. Fukushima
2. 発表標題 Multi-frame interpolation of Bayer images using optical flow
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Tsuji and N. Fukushima
2. 発表標題 Halide and OpenMP for Generating High-Performance Recursive Filters
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 H. Tajima, T. Tsubokawa, Y. Maeda, and N. Fukushima
2 . 発表標題 Fast Local LUT Upsampling
3 . 学会等名 International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 T. Sasaki, N. Fukushima, Y. Maeda, K. Sugimoto, and S. Kamata
2 . 発表標題 Constant-Time Gaussian Filtering for Acceleration of Structure Similarity
3 . 学会等名 International Conference on Image Processing and Robot (ICIPRoB) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Sumiya, N. Fukushima, K. Sugimoto, and S. Kamata
2 . 発表標題 Extending Compressive Bilateral Filtering For Arbitrary Range Kernel
3 . 学会等名 International Conference on Image Processing (ICIP) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 T. Miyamura, N. Fukushima, W. Muhammad, K. Sugimoto, and S. Kamata,
2 . 発表標題 Image Tiling for Clustering to Improve Stability of Constant-Time Color Bilateral Filtering
3 . 学会等名 International Conference on Image Processing (ICIP) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 N. Fukushima, Y. Kawasaki, and Y. Maeda
2 . 発表標題 Accelerating Redundant DCT Filtering for Deblurring and Denoising
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Sugimoto, N. Fukushima, and S. Kamata
2 . 発表標題 200 FPS Constant-time Bilateral Filter Using SVD and Tiling Strategy
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Fukushima, T. Tsubokawa, and Y. Maeda
2 . 発表標題 Vector Addressing for Non-Sequential Sampling in FIR Image Filtering
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 A. Ishikawa, N. Fukushima, A. Maruoka, and T. Iizuka
2 . 発表標題 Halide and GENESIS for Generating Domain-Specific Architecture of Guided Image Filtering
3 . 学会等名 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 大塚友貴, 福嶋慶繁
2. 発表標題 DCTを用いた定数時間ガウシアンフィルタの演算数削減
3. 学会等名 画像センシングシンポジウム (SSI)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤利樹, 川崎雄基, 福嶋慶繁
2. 発表標題 冗長DCTによる高効率な周波数フィルタリング
3. 学会等名 画像センシングシンポジウム (SSI)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮村拳寿, 杉本憲治郎, 福嶋慶繁, 鎌田清一郎
2. 発表標題 領域に応じたレンジカーネル最適化による定数時間バイラテラルフィルタ
3. 学会等名 電子情報通信学会画像工学研究会 (IE)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大塚友貴, 福嶋慶繁
2. 発表標題 DCTを用いた定数時間ガウシアンフィルタの演算数削減
3. 学会等名 電子情報通信学会東海支部 卒業研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻悠太, 福島慶繁
2. 発表標題 定数時間バイラテラルフィルタの効率的な計算スケジューリング
3. 学会等名 電子情報通信学会東海支部 卒業研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤利樹, 福島慶繁
2. 発表標題 オプティカルフローを用いた手振れ画像からのHDR画像生成
3. 学会等名 電子情報通信学会東海支部 卒業研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮村拳寿, 福島慶繁
2. 発表標題 タイリングとレンジドメイン削減による定数時間バイラテラルフィルタの性能向上
3. 学会等名 電子情報通信学会東海支部 卒業研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Tajima, T. Tsubokawa, Y. Maeda, and N. Fukushima
2. 発表標題 Local LUT Upsampling for Acceleration of Edge-Preserving Filtering
3. 学会等名 International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Tsubokawa, M. Nakamura, Y. Maeda, and N. Fukushima
2. 発表標題 Tiling Parallelization of Guided Image Filtering
3. 学会等名 International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IW-FCV)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田島寛士, 坪川哲平, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 ローカルLUTによるエッジ保存平滑化フィルタの近似高速化
3. 学会等名 電子情報通信学会 画像工学研究会 (IE)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Tsubokawa, Y. Maeda, and N. Fukushima
2. 発表標題 Vectorization of Kernel and ImageSubsampling in FIR Image Filtering
3. 学会等名 International Symposium on Computing and Networking (CANDAR)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川阿香里, 福嶋慶繁, 丸岡晃, 飯塚拓郎
2. 発表標題 ガイデットフィルタのHalideとGENESISコンパイラを用いた専用アーキテクチャ生成
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 エッジ保持平滑化フィルタの非正規化数抑制による効率的な実装
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田島寛士, 坪川哲平, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 ローカルLUTを用いたエッジ保存平滑化フィルタの高速化
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川崎雄基, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 ポストスケーリング型DCTを用いた周波数フィルタリングへの冗長処理適用
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坪川哲平, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 FIRフィルタにおける画素とカーネルのサブサンプリングによる高速化
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊光一朗, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 単精度浮動小数点における定時間バイラテルフィタの高効率化
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 室岡芳樹, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 PCAによる局所線形フィルタの高速化
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム(PCSJ)/映像メディア処理シンポジウム(IMPS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Fukushima, Y. Maeda, Y. Kawasaki, M. Nakamura, T. Tsumura, K. Sugimoto, and S. Kamata
2. 発表標題 Efficient Computational Scheduling of Box and Gaussian FIR Filtering for CPU Microarchitecture
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊光一朗, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 定数時間バイラテルフィルタの高効率な単精度浮動小数点実装
3. 学会等名 信号処理シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川崎雄基, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 ポストスケーリング型DCTによる周波数フィルタの高速化
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川崎雄基, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 ポストスケーリング型DCTによる冗長周波数フィルタ
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 室岡芳樹, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 主成分分析によるガイドットフィルタの近似
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 室岡芳樹, 前田慶博, 福嶋慶繁
2. 発表標題 主成分分析を用いたガイドットフィルタの高速化
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 伊東 敏夫 (著), 福嶋 慶繁 (著), 鈴木 真二 (著), 高瀬 竜一 (著), 植芝 俊夫 (著), 堂前 幸康 (著), 木寺 正平 (著), & 25 その他	4. 発行年 2020年
2. 出版社 S&T出版	5. 総ページ数 228
3. 書名 距離・画像センサの基礎と最先端	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="https://github.com/norishigefukushima/OpenCP">https://github.com/norishigefukushima/OpenCP</a>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	前田 慶博  (Maeda Yoshihiro)  (80843375)	東京理科大学・工学部電気工学科・助教   (32660)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------