

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18076

研究課題名(和文) グラフ信号処理における高速デノイズングの基盤構築

研究課題名(英文) Building Accelerated Denoising Algorithms for Graph Signal Processing

研究代表者

杉本 憲治郎 (Sugimoto, Kenjiro)

早稲田大学・理工学術院(情報生産システム研究科・センター)・講師(任期付)

研究者番号：00773483

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：工学において広く活用される多様なデータ構造(高次元画像、ハイパースペクトル画像、点群、グラフ信号など)に対する、効率的なデノイズングアルゴリズムの構築に取り組んだ。特に計算量と精度の両立を理論性能と実性能の両面から分析し、様々なフィルタ手法を高度化した。当該研究期間での研究業績は、国際ジャーナル論文1件、国際レター1件、学会発表22件(国際会議11件、招待講演2件を含む)、受賞2件であった。国際会議発表の多くは当該分野で最も権威あるフラグシップ会議(ICIPとICASSP)に採択されただけでなく、ベストペーパーや若手奨励賞の受賞も含まれており、国内外で高い評価を得たと考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

画像撮像デバイスの急速な発展に伴い、撮像データはますます複雑化している。これらに対するデノイズングなどの画像処理手法は通常多大な計算量を必要とし、それが高度な手法を導入する際の障壁となっている。我々はこういった高度な手法を現実的な時間で処理できる方法を、理論と実用(ソフトウェアやハードウェア)の両面から分析し、より広い対象への応用の実現に取り組んでいる。本テーマでの成果は、こういった多様なデータ構造に対する画像処理アルゴリズムの効率化の基礎を担う重要な処理であり、またその一部は現状で世界最高性能を達成している。

研究成果の概要(英文)：We have developed efficient denoising algorithms for various data structures (high-dimensional images, hyperspectral images, point clouds, graph signals, etc.) that are widely used in engineering. In particular, we analyzed the compatibility between computational complexity and accuracy in terms of both theoretical and practical performance, and refined various filter methods.

In this research period, we have published 1 international journal article, 1 international letter, 22 conference presentations (including 11 international conferences and 2 invited lectures), and received 2 awards. Most of the international conference presentations were accepted by the most prestigious flagship conferences in signal/image processing field (ICIP and ICASSP), and also included best papers and awards for young researchers. From these highly-evaluated outcomes, our research showed high impacts and potentials in signal/image processing communities.

研究分野：画像処理

キーワード：画像処理、高速化、バイラテラルフィルタ、ノンローカルミーンズフィルタ、ハイパースペクトル画像、デノイズング

1 . 研究開始当初の背景

画像処理技術は画像撮像デバイスなどの発展と共に我々の生活を支える重要な基盤技術となった。現在では、さらなる技術の高度化により、2次元画像をより一般化した多次元多チャンネル画像・点群・グラフといった多様なデータ構造への発展と普及への期待がますます高まっている。例えば SLAM (レーザースキャナやカメラで物体や空間を計測しその 3D モデルを復元する技術) では、撮像対象は最終的には画像ではなく点群やメッシュとして表現される。つまり「画素が規則的に並べられた配列」である画像ではなく「要素が不規則に配置されその接続の有無も表すデータ構造」であるグラフという一般形で記述される。それにあわせて、このような複雑なデータ構造に対する画像処理アルゴリズムの拡張や効率化が強く望まれる。こういった背景から、本研究では画像・点群・グラフに対するデノイズングや特徴抽出を実現するフィルタの高度化を目指した。

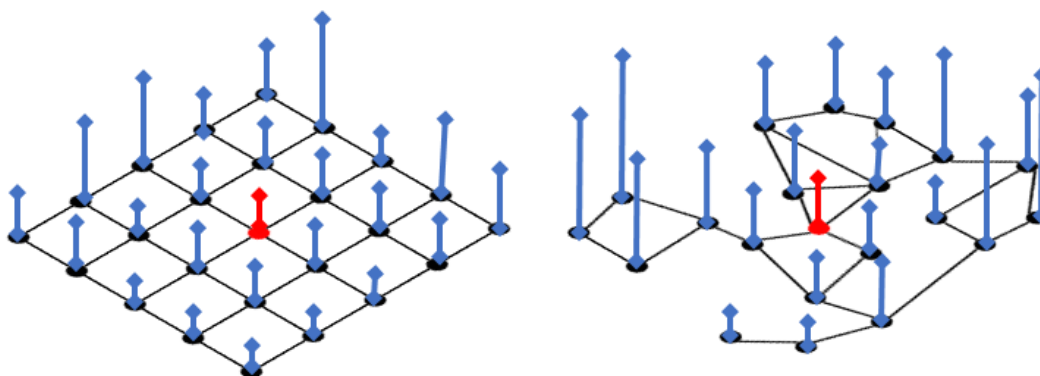


Figure 1 画素が規則的に配置された画像信号と不規則に配置されたグラフの違い

2 . 研究の目的

本研究の主な目的は、グラフをはじめとした多様なデータ構造に対する実時間デノイズングを目標にした高速演算アルゴリズムの基盤構築である。ここでの高速演算とは、理論面からの計算量削減と実装面からの実計算時間との両面から議論されるものである。画像処理アルゴリズムの従来研究の多くは、理論基盤の整備とより高い性能の追求が最優先事項としており、実応用に向けた高速化の議論はどちらかと言えば二の次である場合が多い。しかし近年、ある程度の理論基盤が整ったこととデータの複雑化に伴って計算量の増加が無視できなくなったことから、より幅広い分野への波及のためには、こういった処理性能を維持しながらの計算量の低減の重要性が高まっている。

3 . 研究の方法

筆者が過去に取り組み成果を上げてきた「定数時間フィルタ」をはじめとした高速画像処理アルゴリズムの知見を拡張し、高次元画像・点群・グラフといったより複雑なデータ構造に対する方法論を探った。また複雑なデータ構造だけに縛られず、一般的な画像処理の基本性能そのものの向上を狙って、これまでに培った理論の拡張や一般化、そして実性能を向上させるための方法論の高度化にも取り組んだ。これらと同時に、単なるフィルタの性能向上だけでなく応用への貢献も重要であることから、多数のフィルタ処理を要求する応用アルゴリズムを調査し、それらに対してこれまでに得られた研究成果を適用することで、応用アルゴリズムの性能向上に努めた。本研究で特に重視する点として理論と実践の両立がある。これを踏まえ、単なる理論面での改善だけでなく、近年の CPU/GPU の計算機アーキテクチャの性能を十分に引き出せる実装や、各種パラメータでの性能検証などにも取り組んだ。

4 . 研究成果

本テーマで推進した得られた代表的な成果を、以下の4つのカテゴリに分けて概説する。

(1) 線形フィルタの高度化

まず代表的な線形フィルタであるガウシアンフィルタの定数時間アルゴリズムについて、その

近似に用いる離散コサイン変換(DCT)の定式化とパラメータについて詳細に検証した。その結果、従来効率的とされていた DCT-3 が必ずしもそうではなく、これまで検討のなかった DCT-7 が最も近似精度で優れるという事実を確認した。またその際の最適な近似パラメータを閉形式で陽に示した。この式は従来法のアプローチよりも数理最適化の視点から理解しやすく、計算量オーダーも優れるという利点がある。この成果は信号処理のフラグシップ会議に採択された (ICASSP2018)。またガウシアンフィルタを用いる後続の研究で活用される結果となった。

またガウシアンフィルタの定数時間アルゴリズムの性能改善の知見を基に、本研究ではガボールフィルタ (SIP2019) や異方性ガウシアンフィルタ (SIP2019) へと理論を発展させた。いずれも人間の視覚野のモデル化において重要な役割を果たすフィルタであり、様々なスケールのフィルタを理論上同一の計算時間で処理できる点が強みである。特に後者は、異方性ガウシアンフィルタの過完備基底への分解をスパースモデリングの問題として捉えることで、機械学習や数理最適化との理論の関連性を結びつける興味深い成果となった。例えば右図は、2次元の異方性ガウシアンフィルタを0度・45度・90度方向の1次元指向性ガウシアンフィルタで再現可能性を示している(オレンジが実現可能なアスペクト比)。この成果は高く評価され、信号処理シンポジウムにおいて若手奨励賞を受賞した。

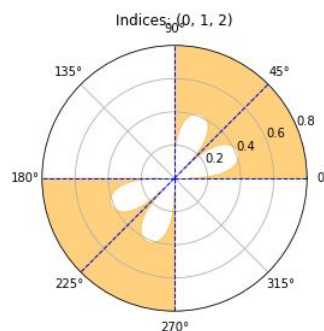


Figure 2 過完備基底への分解可能性

またデータ構造の一般化を目的に、点群データに対するガウシアンフィルタの効率化にも取り組んだ (APSIPA2018)。これは機械学習の古典的アルゴリズムであるガウス変換の考え方を最新の知見で捉え直したものであり、今後のさらなる発展が期待される。

(2) 非線形フィルタの高度化

線形フィルタだけでなく、デノイズングにおいて重要な役割を果たしてきたバイラテラルフィルタやノンローカルミーンズフィルタなどの非線形フィルタの性能改善にも取り組んだ。特筆すべき成果の一つが、米国 Dayton 大学との共同研究から生まれた、ランダム射影に基づく高次元画像のための非線形フィルタの効率化である。近年の機械学習分野でも注目されるランダム射影の理論と、これまでの基本成果である定数時間フィルタが組み合わせることで、これまで計算コストが大きかったハイパースペクトル画像向けのバイラテラルフィルタやノンローカルミーンズフィルタの理論上の近似精度を維持しつつ理論計算量を 1/4 に削減できた。ハイパースペクトル画像の場合、もっと大きい計算量削減率を達成できる。また実性能でもこれらの理論値とほぼ同等の性能改善を確認できた。既存の定数時間フィルタの理論と機械学習との結びつきが新たな視点から明らかになったことで、今後のさらなる理論の発展と応用も期待される。この成果は、画像処理分野のフラグシップ国際会議に採択 (ICIP2018) され、その後国際ジャーナル (JEL2021) にも出版された。

もう一つの大きな成果が、512x512 サイズのグレースケール画像に対し、CPU 上で 200FPS を超える処理速度を達成したバイラテラルフィルタ (ICIP2019) である。この成果の価値は、フィルタカーネルの分解に特異値分解を導入することで、従来の同等の性能を従来の半分の畳み込み演算回数で達成できる事実を示した点にある。またその分解が画像処理の効率的な実装のために採用されるタイリング処理との相性がよい利点があった。タイリングとは右図のように画像をいくつかのサブ画像に分割し、サブ画像を個別に処理するテクニックのことである。これによりメモリアクセスの局所性が高まり、計算時間が有意に短縮される。加えて、タイリングによって各サブ画像の画素値レンジが狭まるが、これが前述の特異値分解の計算時間と近似精度を大幅に改善する。このように互いに特長が活かされ性能を高めあうことで、比較的処理が重

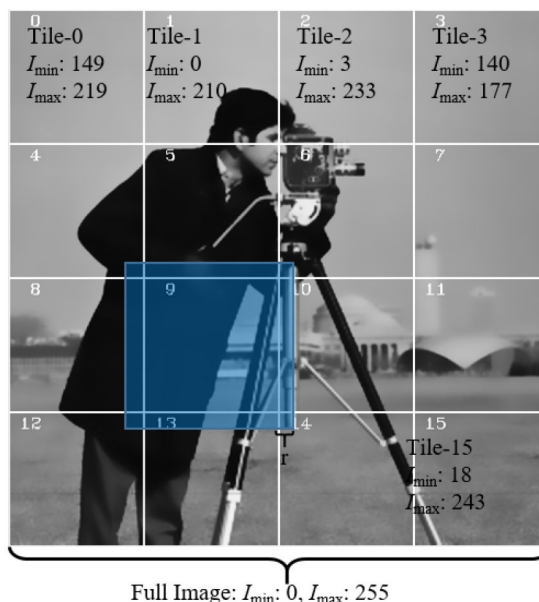


Figure 3 画像のタイリングと輝度値レンジ

いと言われる非線形フィルタでありながら劇的な処理速度を達成できた。この成果もまた高く評価され画像処理のフラグシップ国際会議 ICIP において Top 10% Papers にランクインし注目された。

(4) フィルタアルゴリズムの応用

上記に示した成果はフィルタそのものの基本性能の改善であったが、同時に画像処理や機械学習における各種応用手法への適用と性能改善にも取り組んだ。前述の米国 Dayton 大学とのもう一つの共同研究テーマとして、コンピュータビジョンの基礎アルゴリズムの一つである距離変換の理論性能改善を実現した。これは距離計算中に登場する最小値計算を畳み込み演算で近似し、それを定数時間アルゴリズムで実現することで、処理全体としての計算量オーダーを改善したものである。これは信号処理分野で最も権威ある国際レター誌 (SPL2019) に出版された。そのほか、画像処理分野に大きく貢献した成果として SSIM の高速化がある。SSIM とはデジタル画像の品質評価のための最も代表的な定量指標である。単純な誤差計測と比べて主観的な画像品質に近い評価指標であるとされる。この SSIM 計算の内部で多数回繰り返されるフィルタを定数時間フィルタで置換することで、結果出力を維持しつつ大幅な高速化を達成した。この成果もまた国際的に高く評価され、国際会議(ICIPRoB2020) において Best Paper Award を受賞した。そのほか、画像の微細振動の可視化する Motion Magnification というタスクにおいて、その根幹をなす理論である位相ベース画像処理で必要となる高速フィルタの活用にも取り組んだ (SIP2020)。

(1) ソフトウェア・ハードウェアでの実装効率化

研究の方法でも述べたように、理論性能だけでなくデバイス上での実性能も重要な評価指標である。本研究ではソフトウェアとハードウェアの両方の視点から、実性能の向上にも取り組んだ。その一つが定数時間バイラテラルフィルタの知見を活用した効率的な GPU 実装である。これはサイズの大きいボリュームデータにも適用可能であり、従来法と比べて同等の精度を維持しつつ 10~100 倍の高速化を達成した (SSII2018, APSIPA2018)。

また、近年の CPU の計算機アーキテクチャ(例えばパイプライン処理やキャッシュ効率など)の特長を活かしたアルゴリズムを構成し、その性能を極限まで引き出すソフトウェアの実装に取り組み良好な結果を得た (APSIPA2018, VCIP2020)。こういったハードとソフトの両面からの改善によって、理論面での改善で得た以上の実践面での性能向上が実現できており、こういった両面からの分析の重要性が確認できた。

なお、ここに挙げた成果の多くは、信号処理・画像処理分野におけるフラグシップ国際会議や国際ジャーナルに採択されたものである。加えてその一部は受賞にもつながるなど国内でも国際的にも高い評価を得たと考えている。また国内ではこれらの成果に関連した招待講演 2 件を行い、本成果の普及にも努めた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Karam Christina, Sugimoto Kenjiro, Hirakawa Keigo	4. 巻 30
2. 論文標題 Color-compressive bilateral filter and nonlocal means for high-dimensional images	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Electronic Imaging	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/1.JEI.30.2.023001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Otsuka Tomoki, Fukushima Norishige, Maeda Yoshihiro, Sugimoto Kenjiro, Kamata Sei-ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Optimization of Sliding-DCT Based Gaussian Filtering for Hardware Accelerator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Conference on Visual Communications and Image Processing (VCIP2020)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/VCIP49819.2020.9301775	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Karam Christina, Sugimoto Kenjiro, Hirakawa Keigo	4. 巻 26
2. 論文標題 Fast Convolutional Distance Transform	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Signal Processing Letters	6. 最初と最後の頁 853 ~ 857
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LSP.2019.2910466	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Miyamura Takahisa, Fukushima Norishige, Waqas Muhammad, Sugimoto Kenjiro, Kamata Sei-ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Image Tiling For Clustering To Improve Stability Of Constant-Time Color Bilateral Filtering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2020)	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICIP40778.2020.9191059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sumiya Yuto, Fukushima Norishige, Sugimoto Kenjiro, Kamata Sei-ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Extending Compressive Bilateral Filtering For Arbitrary Range Kernel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2020)	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICIP40778.2020.9191123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Sasaki, N. Fukushima, Y. Maeda, K. Sugimoto, and S. Kamata	4. 巻 -
2. 論文標題 Constant-time Gaussian filtering for acceleration of structure similarity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of International Conference on Image Processing and Robotics (ICIPRoB2020)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sugimoto Kenjiro, Fukushima Norishige, Kamata Sei-ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 200 FPS Constant-Time Bilateral Filter Using SVD and Tiling Strategy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2019)	6. 最初と最後の頁 190-194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICIP.2019.8802927	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fukushima Norishige, Maeda Yoshihiro, Kawasaki Yuki, Nakamura Masahiro, Tsumura Tomoaki, Sugimoto Kenjiro, Kamata Sei-ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Efficient Computational Scheduling of Box and Gaussian FIR Filtering for CPU Microarchitecture	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of APSIPA Annual Summit and Conference (APSIPA ASC2018)	6. 最初と最後の頁 875-879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/APSIPA.2018.8659674	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yano Takahiro, Sugimoto Kenjiro, Kuroki Yoshimitsu, Kamata Sei-ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Acceleration of Gaussian Filter with Short Window Length Using DCT-1	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of APSIPA Annual Summit and Conference (APSIPA ASC2018)	6. 最初と最後の頁 129-132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/APSIPA.2018.8659511	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yano Koichi, Sugimoto Kenjiro, Kamata Sei-ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 GPU-friendly Approximate Bilateral Filter for 3D Volume Data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of APSIPA Annual Summit and Conference (APSIPA ASC2018)	6. 最初と最後の頁 2054-2058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/APSIPA.2018.8659773	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Karam Christina, Sugimoto Kenjiro, Hirakawa Keigo	4. 巻 -
2. 論文標題 Near-Constant Time Bilateral Filter for High Dimensional Images	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2018)	6. 最初と最後の頁 3244-3248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICIP.2018.8451545	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sugimoto Kenjiro, Kyochi Seisuke, Kamata Sei-Ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Universal Approach for DCT-Based Constant-Time Gaussian Filter with Moment Preservation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2018)	6. 最初と最後の頁 1498-1502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICASSP.2018.8461679	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fukushima Norishige, Sugimoto Kenjiro, Kamata Sei-Ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Guided Image Filtering with Arbitrary Window Function	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2018)	6. 最初と最後の頁 1523-1527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICASSP.2018.8462016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Otsuka Tomoki, Fukushima Norishige, Maeda Yoshihiro, Sugimoto Kenjiro, Kamata Sei-ichiro
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 (VCIP2020) (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 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2020) (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 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2020) (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 Robotics (ICIPRoB2020) (国際学会)
4. 発表年 2020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 (ICIP2019) (国際学会)
4. 発表年 2019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
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・映像メディア処理シンポジウム (PCSJ/IMPS)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 溝上 智仁, 杉本 憲治郎, 鎌田 清一郎
2. 発表標題 複素スティーラブルピラミッドの位相抽出の効率化による高速な motion magnification
3. 学会等名 信号処理シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本 憲治郎
2. 発表標題 [招待講演] 計算機性能を引き出す画像処理プログラミング
3. 学会等名 電子情報通信学会 信号処理研究会(SIP) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本 憲治郎
2. 発表標題 [招待講演] 定数時間フィルタによる高速画像処理
3. 学会等名 電子情報通信学会 信号処理研究会(SIP) (招待講演)
4. 発表年 2020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 杉本 憲治郎, 鎌田 清一郎
2. 発表標題 スライディング変換を用いた定数時間ガボールフィルタ
3. 学会等名 信号処理シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉本 憲治郎, 佐々木 大寛, 鎌田 清一郎
2. 発表標題 ガウシアン周辺化を用いた非等方ガウシアンフィルタのカーネル分解
3. 学会等名 信号処理シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢野 貴大, 杉本 憲治郎, 鎌田 清一郎
2. 発表標題 直交多項式展開を用いた高速ガウス変換
3. 学会等名 信号処理シンポジウム
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パ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 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 APSIPA Annual Summit and Conference (APSIPA ASC2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Yano, K. Sugimoto, Y. Kuroki and S. Kamata
2 . 発表標題 Acceleration of Gaussian filter with short window length using DCT-1
3 . 学会等名 APSIPA Annual Summit and Conference (APSIPA ASC2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Yano, K. Sugimoto and S. Kamata
2 . 発表標題 GPU-friendly approximate bilateral filter for 3D volume data
3 . 学会等名 APSIPA Annual Summit and Conference (APSIPA ASC2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 C. Karam, K. Sugimoto and K. Hirakawa
2 . 発表標題 Near-constant time bilateral filter for high dimensional images
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Sugimoto, S. Kyochi and S. Kamata
2. 発表標題 Universal approach for DCT-based constant-time Gaussian filter with moment preservation
3. 学会等名 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Fukushima, K. Sugimoto and S. Kamata
2. 発表標題 Guided image filtering with arbitrary window function
3. 学会等名 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢野 光一, 杉本 憲治郎, 鎌田 清一郎
2. 発表標題 GPU処理に適した三次元画像の高速近似バイラテラルフィルタ
3. 学会等名 画像センシングシンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
連携研究者	鎌田 清一郎	早稲田大学・理工学術院・教授	
	(KAMATA Sei-ichiro)		
	(00204602)	(32689)	

6. 研究組織（つづき）

	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
連携研究者	福嶋 慶繁 (FUKUSHIMA Norishige) (80550508)	名古屋工業大学・工学系研究院・准教授 (13903)	
連携研究者	京地 清介 (KYOCHI Seisuke) (70634616)	北九州市立大学・国際環境工学部・准教授 (27101)	
連携研究者	黒木 祥光 (KUROKI Yoshimitsu) (60290847)	久留米工業高等専門学校・制御情報工学科・教授 (57101)	

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		
米国	University of Dayton		