

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：17301
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2020～2022
課題番号：20H04158
研究課題名(和文) 高速画像処理ハードウェアを基軸とした振戦抑制技術の確立と顕微鏡下手術支援への展開

研究課題名(英文) Establishment of tremor suppression technology based on high-speed image processing hardware and its application to microsurgery assistance

研究代表者
柴田 裕一郎 (Shibata, Yuichiro)
長崎大学・情報データ科学部・教授

研究者番号：10336183
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：顕微鏡下での繊細な操作を要求されるマイクロサージャリーを容易にするために、術者の不随意的微小振動を抑制し手術器具を安定化する画像ベースのアクティブ型振動抑制の技術基盤の確立を目的とし、(1)FPGA(プログラム可能なハードウェア)を用いた高速画像処理による振動情報抽出機構、(2)低遅延周波数フィルタのFPGA実装による術者の意図的な操作と振戦の信号分離機構、(3)超小型振動モータによる手技の妨げとならない小型軽量加振機構を実現し、その効果を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
画像から振動情報を抽出する試みはこれまでも行われてきたが、小型の画像処理ハードウェアによってリアルタイムに振動情報を抽出することは難しかった。本研究ではハードウェア化に適した処理手順の工夫を行うことでこれを可能とし、シミュレーションだけではなく、実際の機械機構と組み合わせることで振動抑制効果を示した点に学術的意義がある。また、小型で低消費電力なシステムで映像から振動情報を取り出せる技術は、他のさまざまなモニタリングシステムにも広く応用可能である。

研究成果の概要(英文)：This research project aims to establish a technical basis for image-based active vibration suppression to stabilize surgical instruments by suppressing involuntary tremors of surgeons to facilitate microsurgery, which requires delicate manipulation under a microscope. The contributions that have been implemented and proven to be effective in this project include: (1) a vibration information extraction mechanism based on high-speed image processing with a field programmable gate array (FPGA), (2) an FPGA-based low-latency frequency filter to separate signals between intentional manipulation and tremors, and (3) a lightweight mechanical excitation mechanism with a compact vibration motor that does not interfere the surgical operation.

研究分野：コンピュータ工学、リコンフィギャラブルコンピューティング

キーワード：振動抑制 FPGA 画像処理 マイクロサージャリー

1. 研究開始当初の背景

(1) 顕微鏡下で行うマイクロサージャリーの急速な発展により、例えば眼科分野では $100\mu\text{m}$ 以下の微細な病変も扱うことができるようになり、これまでは難治であった眼疾患の治療が可能となった。特に我が国における主要な失明原因である増殖糖尿病網膜症などは、マイクロサージャリー技術でしか治療できない。しかし、眼科手術で必須のマイクロサージャリーは、その技術を習得するのに多大な労力と時間を要することから熟練した医師は少なく、難治性眼疾患の手術治療では一部の医師の負担が大きいという問題がある。このままでは昨今の高齢化による患者数の増加に対処できなくなることが危惧される。

(2) 眼科マイクロサージャリーの大きな問題点のひとつとして、術者の手指振戦（不随意的な律動的ふるえ）の問題がある。マイクロサージャリーでは非常に微細な手術操作が要求されるため、術者に手指振戦があると手術器具の安定性が損なわれ手術遂行が困難になる。また、眼科手術は局所麻酔で行うことが多く、患者の目の微動が繊細な手技の妨げになることがある。すなわち、眼科マイクロサージャリーにおいては、これらの振動を抑制するための工学的技術基盤の確立が期待される。

(3) このような問題を解決する工学的アプローチのひとつに、アクティブ型振動制御の技術がある。すなわち、検出した振動と逆位相の振動をアクチュエータで加えることで、手技の妨げとなる振動を相殺する方法である。一方で、マイクロサージャリーにおける振戦抑制への応用を考えると次のような技術的課題がある。

- ① 振動情報をどのように取得するかという課題。一般的に広く用いられる振動情報の取得方法のひとつに加速度センサがある。振動制御の理論的観点からは揺れを止めたいポイントにセンサを設置するのがもっとも望ましいが、マイクロ手術器具の先端にセンサを取り付けることはできない。また、取得された加速度データから振動の振幅を求めるとは積分処理が必要となるが、これは誤差やノイズの影響を蓄積しやすく、微小な振戦の振動情報をリアルタイムかつ正確に捉えるには不向きである。
- ② 術者の意図的な操作による動きと振戦による振動の分離をどのように行うのかという課題。振戦に比べて術者の意図的な操作はゆっくりであるから、振動周波数による分離が可能と考えられる。しかし、通常のバンドパスフィルタでは出力信号に位相遅れが生じるため、この出力の位相を反転して加えても元の振動を相殺できない。また、計算処理そのものの遅延も問題となる。
- ③ マイクロ手術器具を加振する機械機構とその制御演算機構をどのように構築するかという課題。アクティブ型の振動制御を行うためには、振戦による振動を打ち消すためのアクチュエータ機構をマイクロ手術器具に取り付け加振する必要がある。前述した振動情報の取得・分離および加振制御信号の生成を高速に行うためには、プロセッサと入出力機構が疎結合された従来の計算機アーキテクチャではなく、計算機構と計測・機械機構が一体となった新たなサイバー・フィジカルシステムのアーキテクチャが必要であるが、その適切な構成は自明ではない。

2. 研究の目的

眼科分野において顕微鏡下で行うマイクロサージャリーを容易にするため、術者の振戦による振動を抑制しマイクロ手術器具を安定化するアクティブ型振動抑制の技術基盤とそのシステムアーキテクチャを確立することを目的とする。現在、顕微鏡画像をディスプレイに投影するヘッドアップ手術が広まりつつあるが、この映像信号にプログラム可能なハードウェアである FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いた高速画像処理技術を適用し、振動情報の抽出をノイズの影響を抑えつつリアルタイムに取得する手法を探索する (図 1)。また、術者の意図的な動作と振戦を分離するために、一種の学習に基づく予測機能を導入した適応フィルタを応用することで位相遅れのない分離手法の確立を図るとともに、小型振動モータによる手技の妨げとならない軽量な加振機

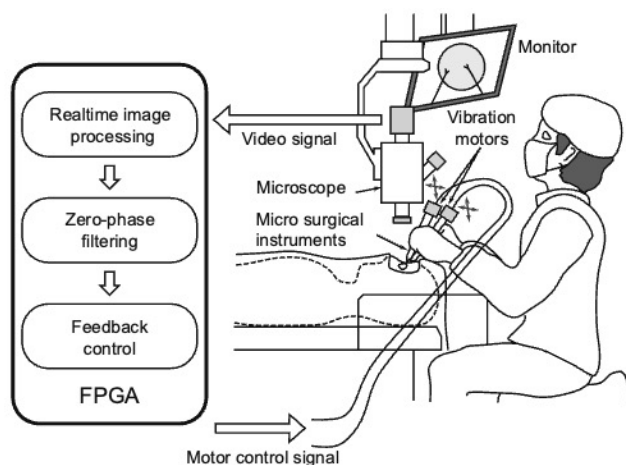


図 1: 提案技術のコンセプト

構を開発し、試作と実験を通じて提案手法の効果と課題を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 単純化された Lucas-Kanade 法をベースとしたストリーム型のフィルタ処理アーキテクチャを採用することで、すべての画素のオプティカルフローをリアルタイムに推定し、その統計情報を用いることで振動情報を抽出する手法と、位相遅れのない適応フィルタの一種である帯域制限多重フーリエ線形結合器 (BMFLC: Band-limited Multi Fourier Linear Combiner) によって振戦に対応する周波数帯域の情報とそれ以外を分離する手法を組み合わせた方法を提案し、ハードウェア記述言語を用いて FPGA に実装し実機による動作確認を行った。また、FPGA にカメラデバイスを接続し、機械式メトロノーム等を撮像することにより、振動成分のリアルタイムな抽出や、特定の周波数バンドの成分の抽出が可能かを実験した。

(2) 画像からの振動情報抽出アルゴリズムの課題の一つに、単純なオプティカルフローでは各ピクセルの移動量が微小でない場合には十分な精度が得られないという問題点があった。これに対する一般的な対処法は、解像度ピラミッドを用いた山登り法の導入であるが、ハードウェア化する際のパイプラインの構造や制御が複雑になるという難しさがあった。また、輝度不変性の仮定から照明変化に弱い点や、画素値を保持するフレームバッファのメモリの使用量が大きいという問題点も顕在化してきた。そこで、画像を細かく分割した上で、特徴量マッチングによるオプティカルフロー推定と従来から使用していた適応フィルタ BMFLC を組み合わせ、各ブロックの平均振動成分を得るとともに、BMFLC の重みパラメータを用いたフィルタリングを行うことで、背景と振動領域を低コストで分離するアルゴリズムを提案し実装した。また、勾配角を量子化した回転不変勾配ヒストグラム (RIHOG) を用いることで、フレームバッファのメモリ使用量を大幅に削減するアーキテクチャを提案し、実機実験によりその効果を評価した。

(3) 振動抽出メカニズムの定量評価のためには、振動の真値が明らかな合成動画等による検証実験が必要である。そこで FPGA とプロセッサが同一チップ上に混載された FPGA SoC を利用し、プロセッサ上で動作するオペレーティングシステム環境から振動抽出ハードウェアへアクセスするためのメカニズムを開発し、カメラデバイスからの入力映像だけでなく、動画ファイルからも入力を与える実験を可能とした。また、実験中の内部情報等を FPGA SoC のプロセッサ部で取得することで、実験結果の解析も容易に行える評価環境を構築した。

(4) 手術器具加振機構については、単純な単方向の加振では振戦と加振の方向の不一致が生じるという課題があったため、円形形状の加振機構を新たに開発した。また、所望の振戦を再現できる振動装置を新たに開発するとともに、磁気 3 次元位置計測システムを用いて振動情報を高精度に測定できる実験環境を構築した。これらの実験環境と FPGA 画像処理システムを用いて適応フィルタの種類が振動抑制に与える影響を評価した。

(5) FPGA の処理を医療システムと連携するにあたっては、高い機能安全性の確保も課題となる。そこで、同一の演算を異なる処理方式で実装する冗長モジュールを、ハードウェア資源の多様性や回路合成時の最適化戦略の多様性を用いて半自動的に設計できる設計フローを開発した。本手法を用いてフィードバック制御演算を行うハードウェアを設計し、遅延シミュレーションによる評価および実機によるオーバークロックテスト等を行い、制御の堅牢性への影響を評価した。

4. 研究成果

(1) 単純化された Lucas-Kanade 法を畳み込みフィルタとして完全なパイプラインアーキテクチャによって FPGA 実装することで、入力動画から振動情報をリアルタイムに抽出し、さらに適応フィルタである BMFLC を用いて 8 Hz から 12 Hz の振動成分だけを位相遅れなく取り出すハードウェアを実現し、その動作を実機によって確認した。また、実験により下記の知見を得た。

- ① ハードウェア規模としてはミドルエンドの FPGA である Kintex-7 (XC7K325T) で実現可能であり外部メモリも必要ないこと。
- ② 解像度が 640x480 ピクセルのビデオストリームを毎秒 60 フレーム処理することができ、

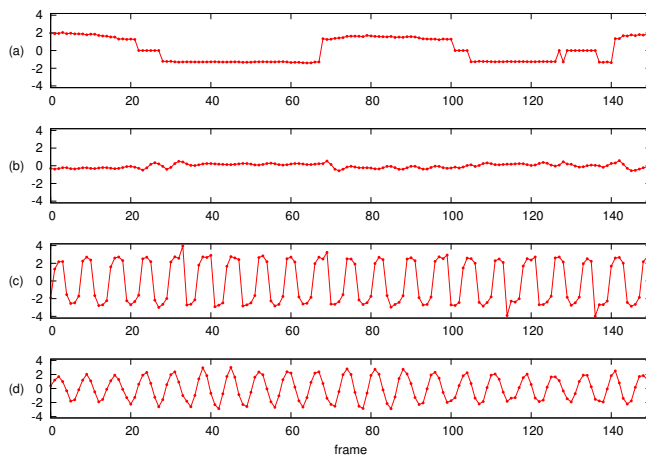


図 2: BMFLC の実験結果

BMFLC フィルタでの遅延時間も $0.74\mu s$ と、スループットとレイテンシの両面でリアルタイム処理が可能であること。

- ③ 振動する物体の形状について事前に情報を与えたりパラメータをチューニングすることなく、様々な動画入力から振動情報を抽出可能であること。

図 2 は実験結果であり、振戦ではない振動 (a) は抽出されないのに対し (b)、振戦の周波数の振動 (c) は抽出されている (d)。これらの成果は IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences 誌等で発表した[1]。

(2) FPGA システムの実装効率をさらに向上させるため、単純な特徴マッチングで計算された高密度オプティカルフローと、BMFLC によるブロックベースのバンドパスフィルタを組み合わせた新しいアーキテクチャを提案するとともに、勾配角を量子化した RIHOG を用いることでフレームバッファのメモリ使用量を大幅に削減できることを示した。また、眼科における模擬手術映像を用いた実験も行った結果、下記の知見を得た。

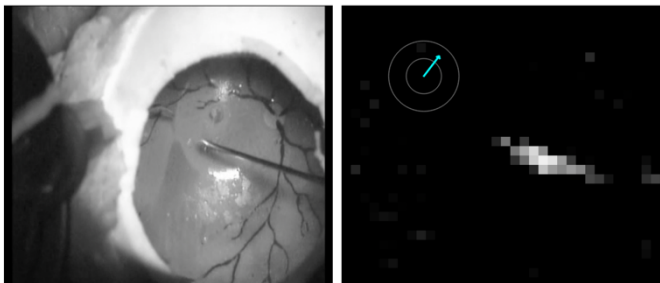


図 3：模擬手術映像での実験結果

- ① 小型の FPGA SoC である Zynq-7000 (XC7Z020) のロジック部のみを用いて、外部メモリを用いることなく所望の動作を実現できること。
- ② 解像度が 1280×720 ピクセルのビデオストリームを毎秒 60 フレームで処理できること。
- ③ 処理レイテンシは $540.9\mu s$ であり、これは 10 Hz の振動の振幅を 90%以上減衰させるために必要な遅延時間 ($1590\mu s$) の $1/3$ 程度であり十分高速であること。

図 3 は実験結果であり、左の入力動画に対し、右の抽出結果では手術器具の近傍ブロックの部分だけ振動情報が抽出されていることが分かる。これらの成果は IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences 誌等で発表した[2]。

(3) 提案システムを評価するためには、入力されたビデオストリームから振動情報をどれだけ正確に抽出できるかを定量的に評価する必要があるが、そのためには振動の真値が既知であることが前提となる。そこで人間の手の代わりに振動抑制装置を支持し、所望の振動を加振して再現できる振戦再現装置を新たに開発した (図 4)。また、磁気式 3 次元位置計測システムを用いてその正確性を評価する実験を行うとともに、振戦抑制装置と連携させた評価実験も行いその有効性を示した。これらの実験より下記の知見を得た。

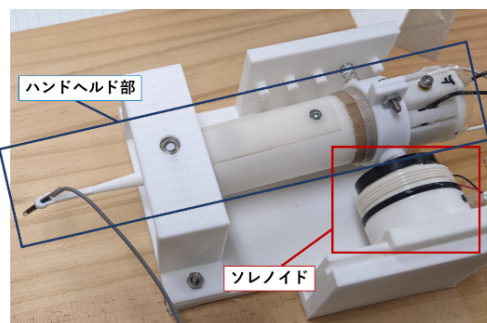


図 4：振戦再現装置

- ① 開発した振戦再現装置を用いて 10 人の被験者の振戦を再現させたところ、その振動の平均誤差は $10\mu m$ 程度であったこと。
- ② 事前に被験者から記録した手術器具先端振動を振動再現装置によって再現し、被験者の生理的振戦の主要周波数成分に応じてフィルタの通過周波数帯を適切に選択することで、手術器具先端に生じた生理的振戦由来の微小振動を効果的に抑制可能であること。

これらの成果は電気学会電子・情報・システム部門大会等で発表した[3]。

(4) 医療機器に求められる高い機能安全性を実現するために、同一の演算を異なる処理方式で実装する冗長モジュールを、ハードウェア資源の多様性や回路合成時の最適化戦略の多様性を用いて半自動的に設計できる手法を考案し、設計フローとして確立した。本手法を用いてフィードバック制御演算を行うハードウェアを設計し、遅延シミュレーションによる評価や実機によるオーバークロックテスト等を行い下記の知見を得た。

- ① 同一の演算を FPGA の異なるハードウェア資源で実現したり、回路合成時に異なる最適化戦

- 力を設定することで、異種冗長設計を半自動的に行うことができ、係る設計者の負担を低下できること。
- ② 定格の周波数よりも高いクロック周波数を入力することによって冗長ユニット間の共通要因故障を模擬したシミュレーションを行ったところ、提案手法は同種冗長設計に比べて高いエラー検出能力と高いエラー訂正能力を達成できること。
 - ③ 提案手法による異種冗長設計は、ハードウェア記述言語による設計だけではなく、高位合成を用いた設計でも効果があること。
 - ④ シミュレーションによる評価だけでなく、FPGA に実際に定格よりも高い周波数のクロック信号を供給する実機実験でも堅牢性の向上が認められること。

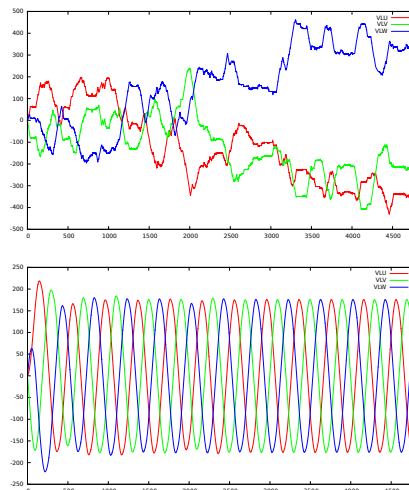


図 5: 実機による実験結果

図 5 に実機によるオーバクロック下における制御回路の実験結果を示す。上は冗長化されていない設計の動作であり、制御が発散していることが分かる。一方で下は提案手法による冗長設計を行った結果であり、同じオーバクロック周波数でも制御がとれており、堅牢性の向上が確認できる。これらの成果は International Journal of Networking and Computing 誌等で発表した[4]。

(5) 長崎大学を中心に研究を行った画像処理ハードウェア機構と中央大学を中心に研究を行った機械的振動機構を結合するインタフェースを実装し、振戦抽出システムが抽出した振戦振動の逆位相振動を手術器具先端に加振するシステムを開発した。また、このシステムに顕微鏡カメラを接続し、振動抑制装置の効果を評価する共同実験を行った(図6)。この結果、提案手法により実際に振動抑制効果が得られることを実証した。これらの実験から以下の知見を得た。

- ① 振戦抽出システムのセルサイズとウィンドウサイズを一定程度大きくすることで振戦の抽出精度が向上すること。
- ② 振動抽出のトレンド除去のためには、タップ数を適切に設定すれば移動平均フィルタのような簡便なものでも効果があること。
- ③ 振戦再現装置を用いて再現した 10Hz の定常波振動に対し抑制を行った場合、目標の振動成分を約 60%抑制できること。



図 6: 共同実験環境

<文献>

- [1] Taito MANABE, Kazuya UETSUHARA, Akane TAHARA, Yuichiro SHIBATA, FPGA Implementation and Evaluation of a Real-Time Image-Based Vibration Detection System with Adaptive Filtering, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E103-A No.12, pp.1472-1480 (2020)
- [2] Taito MANABE, Yuichiro SHIBATA, Real-Time Image-Based Vibration Extraction with Memory-Efficient Optical Flow and Block-Based Adaptive Filter, EICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E106-A, No.3, pp. 504-513 (2023)
- [3] 田中将勝, 諸麥俊司, 柴田裕一郎, 北岡隆, 上松聖典, 手術器具振動抑制装置の定量的評価を目的とする生理的振戦再現装置の開発, 電気学会電子・情報・システム部門大会, pp.999-1005 (2022)
- [4] Taichi Saikai, Kotoko Miyata, Taito Manabe, Yuichiro Shibata, Evaluation of Directive-based Heterogeneous Redundant Design Approaches for Functional Safety Systems on FPGAs, International Journal of Networking and Computing, Vol.12, No.2, pp.387-405 (2022)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 眞邊泰斗, 柴田裕一郎	4. 巻 121(59)
2. 論文標題 適応的差分符号化によるリアルタイム動画画像圧縮のFPGA実装	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 44-49
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 無
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 片山太智, 今村優太, 眞邊泰斗, 柴田裕一郎	4. 巻 121(59)
2. 論文標題 FPGAによるハイダイナミックレンジ合成処理への拡張畳み込みの適用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 50-55
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 無
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 眞邊泰斗, 上津原和也, 田原あかね, 柴田裕一郎	4. 巻 121(175)
2. 論文標題 ブロック分割と適応フィルタによる動画画像ベース振動成分抽出システムのFPGA実装	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 24-29
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 無
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 Saikai Taichi, Miyata Kotoko, Manabe Taito, Shibata Yuichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Evaluation of an HLS-based heterogeneous redundant design approach for functional safety systems on FPGAs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. International Symposium on Computing and Networking (CANDAR)	6. 最初と最後の頁 162-167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CANDAR53791.2021.00030	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 Imamura Yuta, Fukui Shota, Manabe Taito, Shibata Yuichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 An FPGA-based Power-saving Particle Filter Using Dynamic Reconfiguration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. International Symposium on Computing and Networking Workshops (CANDARW)	6. 最初と最後の頁 439-443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/candarw53999.2021.00081	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 MORI Tatsuma, MANABE Taito, SHIBATA Yuichiro	4. 巻 E105.A
2. 論文標題 A Hardware Oriented Approximate Convex Hull Algorithm and its FPGA Implementation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 459 ~ 467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2021vlp0016	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 -

1. 著者名 MANABE Taito, KATAYAMA Taichi, SHIBATA Yuichiro	4. 巻 E105.A
2. 論文標題 FPGA Implementation of a Stream-Based Real-Time Hardware Line Segment Detector	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 468 ~ 477
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2021vlp0009	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 松田 将朋, 荒木 康利, 眞邊 泰斗, 石塚 洋一, 柴田 裕一郎	4. 巻 -
2. 論文標題 YOLOv3-tinyベースCNNによる低消費電力物体認識システムのFPGA実装	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会九州支部火の国情報シンポジウム2022論文集	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 無
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 MANABE Taito, UETSUHARA Kazuya, TAHARA Akane, SHIBATA Yuichiro	4. 巻 E103.A (12)
2. 論文標題 FPGA Implementation and Evaluation of a Real-Time Image-Based Vibration Detection System with Adaptive Filtering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1472 ~ 1480
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2020VLP0002	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 Alperen Mustafa COLAK, Taito MANABE, Yuichiro SHIBATA, Fujio KUROKAWA	4. 巻 11 (1)
2. 論文標題 Asymmetric Stencil Approach for Latency Reduction of Real-Time Peak Detection Using AMPD Algorithm and FPGA Technology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Renewable Energy Research	6. 最初と最後の頁 456-461
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 西改太一、宮田琴子、眞邊泰斗、柴田裕一郎	4. 巻 120 (237)
2. 論文標題 PID制御システムの異種冗長設計における高位設計手法の提案と評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 30-35
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 無
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 MANABE Taito, SHIBATA Yuichiro	4. 巻 E106.A (3)
2. 論文標題 Real-Time Image-Based Vibration Extraction with Memory-Efficient Optical Flow and Block-Based Adaptive Filter	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 504 ~ 513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2022VLP0009	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 Masahiro Nishimura, Yuta Imamura, Taito Manabe, Yuichiro Shibata	4. 巻 -
2. 論文標題 FPGA implementation of HDR synthesis processing with image compression techniques	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. International Conference on Field-Programmable Technology (FPT)	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICFPT56656.2022.9974347	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 Taichi Saikai, Kotoko Miyata, Taito Manabe, Yuichiro Shibata	4. 巻 12 (2)
2. 論文標題 Evaluation of Directive-based Heterogeneous Redundant Design Approaches for Functional Safety Systems on FPGAs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Networking and Computing	6. 最初と最後の頁 387-405
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Araki Yasutoshi, Matsuda Masatomo, Manabe Taito, Ishizuka Yoichi, Shibata Yuichiro	4. 巻 497
2. 論文標題 FPGA Implementation of an Object Recognition System with Low Power Consumption Using a YOLOv3-tiny-based CNN	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Networks and Systems	6. 最初と最後の頁 223 ~ 233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-08812-4_22	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 山下恵三・眞邊泰斗・柴田裕一郎	4. 巻 122(174)
2. 論文標題 リアルタイム画像処理システムの定量的評価のためのFPGA SoCを用いた環境構築	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 41-46
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 無
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 西村昌浩・今村優太・眞邊泰斗・柴田裕一郎	4. 巻 122 (60)
2. 論文標題 FPGAによるHDR合成処理への画像圧縮技術の適用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 107-112
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 無
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 松井信太郎・眞邊泰斗・柴田裕一郎	4. 巻 122 (60)
2. 論文標題 Helmholtzの原理に基づく曲線輪郭線検出のFPGA実装	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 113-118
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 無
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 MATSUI Shintaro, MANABE Taito, SHIBATA Yuichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 FPGA implementation of contour detection based on Helmholtz principle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Symposium on Computing and Networking Workshops (CANDARW)	6. 最初と最後の頁 411-415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CANDARW57323.2022.00071	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16件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 眞邊泰斗, 柴田裕一郎
2. 発表標題 適応的差分符号化によるリアルタイム動画画像圧縮のFPGA実装
3. 学会等名 電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片山太智, 今村優太, 眞邊泰斗, 柴田裕一郎
2. 発表標題 FPGAによるハイダイナミックレンジ合成処理への拡張量み込みの適用
3. 学会等名 電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 眞邊泰斗, 上津原和也, 田原あかね, 柴田裕一郎
2. 発表標題 ブロック分割と適応フィルタによる動画ベース振動成分抽出システムのFPGA実装
3. 学会等名 電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Saikai Taichi, Miyata Kotoko, Manabe Taito, Shibata Yuichiro
2. 発表標題 Evaluation of an HLS-based heterogeneous redundant design approach for functional safety systems on FPGAs
3. 学会等名 International Symposium on Computing and Networking (CANDAR) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Imamura Yuta, Fukui Shota, Manabe Taito, Shibata Yuichiro
2. 発表標題 An FPGA-based Power-saving Particle Filter Using Dynamic Reconfiguration
3. 学会等名 International Workshop on Advances in Networking and Computing (WANC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuichiro Shibata
2. 発表標題 Real-time signal and image processing with FPGA computing
3. 学会等名 Joint Seminar: IIIT-Delhi and Nagasaki University Cutting-Edge Issues in Spatial Econometrics and Image Processing: Missing Data, Causal Inference and Machine Learning (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田 将朋, 荒木 康利, 眞邊 泰斗, 石塚 洋一, 柴田 裕一郎
2. 発表標題 YOLOv3-tinyベースCNNによる低消費電力物体認識システムのFPGA実装
3. 学会等名 情報処理学会九州支部火の国情報シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西改太一、宮田琴子、眞邊泰斗、柴田裕一郎
2. 発表標題 PID制御システムの異種冗長設計における高位設計手法の提案と評価
3. 学会等名 電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahiro Nishimura, Yuta Imamura, Taito Manabe, Yuichiro Shibata
2. 発表標題 FPGA implementation of HDR synthesis processing with image compression techniques
3. 学会等名 International Conference on Field-Programmable Technology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Araki Yasutoshi、Matsuda Masatomo、Manabe Taito、Ishizuka Yoichi、Shibata Yuichiro
2. 発表標題 FPGA Implementation of an Object Recognition System with Low Power Consumption Using a YOLOv3-tiny-based CNN
3. 学会等名 International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下恵三・眞邊泰斗・柴田裕一郎
2. 発表標題 リアルタイム画像処理システムの定量的評価のためのFPGA SoCを用いた環境構築
3. 学会等名 電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西村昌浩・今村優太・眞邊泰斗・柴田裕一郎
2. 発表標題 FPGAによるHDR合成処理への画像圧縮技術の適用
3. 学会等名 電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松井信太郎・眞邊泰斗・柴田裕一郎
2. 発表標題 Helmholtzの原理に基づく曲線輪郭線検出のFPGA実装
3. 学会等名 電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 MATSUI Shintaro, MANABE Taito, SHIBATA Yuichiro
2. 発表標題 FPGA implementation of contour detection based on Helmholtz principle
3. 学会等名 International Workshop on Advances in Networking and Computing (WANC) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴田裕一郎・眞遺泰斗
2. 発表標題 FPGAと機械学習の社会応用
3. 学会等名 電子情報通信学会非線形問題研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柴田裕一郎
2. 発表標題 リコンフィギャラブルコンピューティングの課題と展望
3. 学会等名 Gfarmワークショップ2023 (招待講演)
4. 発表年 2023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
研究 分担者	上松 聖典 (Uematsu Masafumi) (30380843)	長崎大学・病院 (医学系)・講師 (17301)	

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
研究分担者	諸麥 俊司 (Moromugi Shunji) (70346930)	中央大学・理工学部・准教授 (32641)	
研究分担者	北岡 隆 (Kitaoka Takashi) (80234235)	長崎大学・医歯薬学総合研究科（医学系）・教授 (17301)	
研究分担者	眞邊 泰斗 (Manabe Taito) (90908534)	長崎大学・情報データ科学部・助教 (17301)	

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