

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03213

研究課題名（和文）深層畳み込みニューラルネットと有用画像処理における共有演算能力の相互変換手法

研究課題名（英文）Mutual Conversion Method of Shared Computing Power in Deep Convolutional Neural Networks and Useful Image Processing

研究代表者

池辺 将之（Ikebe, Masayuki）

北海道大学・量子集積エレクトロニクス研究センター・教授

研究者番号：20374613

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究で進めてきた局所輝度補正手法において、本処理のパラメータを空間変形を行う制御点として定義できて、低解像度化した画像に対するDCNNを、空間物体の識別と本手法の輝度補正関数におけるローカル関数用の空間制御とグローバル制御パラメータを操作することが適当との知見を得ることができた。DCNN（U-netを使用）において、特に雑音除去（ポアソンノイズ）ではタイリングによる画像分割が有効に働くことがわかった。また、層構造においても5層以上においての改善効果は持たない。タイリングにおいて、11×11での画像ブロックとOverlap3画素においてもPSNR値を32dB保つことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では「DCNNニューロン層の働き」と「有用な画像処理アルゴリズム」に共有する演算能力と物理的な意義を明確にできるのか？という問いに対する解を提示した。一つは、高効率高解像度画像処理の性能を落とさずに深層学習をどのように適用するか？また、有用画像処理において、どのような深層学習がHW構成に適用できるのか、そしてどのような応用ができるのかである。これらの解は、DCNNを含むシステムに対し、人が自ら性能と機能をハンドリングすることを意味する。DCNNと有用なアルゴリズム資産の相互乗りかえを許し、人が理解できる形でのシステム最適化を導くことに繋がる。

研究成果の概要（英文）：In the local tone mapping we have been working on, the parameters of this process can be defined as the control points for spatial deformation, and we have found that it is appropriate to use DCNN for low-resolution images to identify spatial objects and manipulate the spatial and global control parameters for local functions in the tone-control function of this method. In DCNN (using U-net), image segmentation by tiling was found to be effective, especially for noise reduction (Poisson noise). In the case of tiling, it was found that the PSNR value was maintained at 32 dB even for 11x11 image blocks and overlap 3 pixels.

研究分野：知的信号処理システム

キーワード：深層ニューラルネットワーク 有用画像処理 局所適応型輝度補正技術 FPGA実装

## 1. 研究開始当初の背景

深層畳み込みニューラルネットワーク (Deep Convolutional Neural Network : DCNN) は、画像分類精度において従来手法を凌駕し、大きな注目を集めた。ただし、その膨大な「データ入力と繰り返し演算」には、大量の「メモリと演算リソース」を必要とするため、コンパクトな実装手段の研究が渴望されている。その一方で、センサからの得られた画像を、人や機械が判別しやすい状態に加工することは、画像処理における根幹技術であり、通常の補正のみならず、工業用・監視・車載カメラなど様々な応用に使われている。そして現在では、医療応用 (例: 胃のピロリ菌感染、リュウマチ診断) に対し、人に対する視認性を良くした画像が同時に DCNN の認識精度を向上させるという報告がなされはじめた [Ishihara ら GCCE2017]。

処理システムの構築を考えるにあたり、認識処理に加えて視認性を良くする処理も DCNN に組み入れることはできる。しかしながら、そのシステムが最適であるかの解析は、DCNN の中身のブラックボックス化ゆえに極めて難しい。私たちはいままでに、画像のローカル/グローバル領域を統一制御する手法を研究・開発してきた。その中で、ローカル補正関数がグローバル補正も行う能力を有し、関数の本質が、ニューロンの活性化関数と同じであることがわかってきた。この背景を考えたとき、まず、

「DCNN ニューロン層の働き」と「有用な画像処理アルゴリズム」に共有する演算能力と物理的な意義を明確にできるのか? という問いが生じる。解は、DCNN を含むシステムに対し、人が自ら性能と機能をハンドリングすることを意味する。DCNN と有用なアルゴリズム資産の相互乗りかえを許し、人が理解できる形でのシステム最適化を導くことにつながる。

## 2. 研究の目的

画像の重要な情報は、ローカル/グローバルなダイナミックレンジと空間パターンによって特徴づけられている。私たちはこれまでに、画像のローカル補正を行う関数形状に着目し、その不動点が同時にグローバルな特徴量に結びつくことを発見した。その知見のもと、画像全体と局所領域の統一制御を、ローカル関数の空間的な歪みで実現した新奇の画像補正技術の研究開発を進めてきた。本研究では、これまでの研究を更に発展させ、局所的な量 (例: 輝度) と空間パターンを活用する深層畳み込みニューラルネットワーク (DCNN) に対し「①有用な画像処理を相互変換 ②現存する処理に新機能を発現 ③DCNN とのシームレスな I/F を実現」する仕組みの解明を目的とする。その成果から、メモリと演算量の最適化を明らかにし、層ごとの学習の削減と性能向上に挑む。そして高速認識も含むセンサ融合処理システムへの応用を目指す

## 3. 研究の方法

### I. DCNN の処理層と「局所と全体」統一制御アルゴリズムの解析

#### ◆「局所と全体」統一制御アルゴリズムのフィルタ分離解析

ローカル処理は、特徴量に即した変換関数を必要とするため、シンプルな空間フィルタの構成が難しい。本研究では、特徴量 $\leftrightarrow$ 統計量とし、統計量に基づいた局所変換関数 (DCNN 物理量  $1 \times 1$  と空間方向  $3 \times 3$  のフィルタ分離+多層) を再構成する。現段階では、局所ヒストグラム均等化が、直流成分をカットし高周波成分を適応的に信号増幅するアクティブハイパス特性に類似した特徴を有することを発見している。この機能は、ReLU またはシグモイドを活性化関数とした場合、オフセット変えてカスケード接続することで実現できる。そして、統計量に基づいた関数に、拘束条件を加えた場合、全体領域にどのように作用していくかを数学的に明らかにする。

#### ◆全体輝度バランスも統合できる局所適応型画像補正の DCNN 実装

ローカル関数は、入力輝度 $\leftrightarrow$ 出力輝度の関係を局所情報に基づいて得たものである。この関数は、局所毎に異なる形状を有するが、不動点はローカル平均値に準じる。この不動点に、画像全体の低周波成分 (オフセットに相当、CNN 物理量  $1 \times 1$  フィルタ) に対応する拘束条件を導入する。オフセットは、局所関数全てに影響を与えるため、全体と局所処理を統合して扱える。全体特徴量の抽出は、並列ネットワーク化するか、または、後段層に組み入れる。

### II. 処理アルゴリズムの多層化への適用 $\leftrightarrow$ 位相相関限定法の関連検証

これまで、述べてきた処理は、画像に含まれる領域・物体の意味を考慮した処理ではない。そこで、深く多層化された DCNN の能力を活かし、認識を含んだ全体画像処理へ拡張する。研究中の位相相関限定法とスパース演算に対して、中間層プーリングの位置位相不変性との共有機能および相互変換を検証・評価する。

### III. センサ融合処理システムへの相互変換の適用と実装

目標は、高ダイナミックレンジ (医療・監視) / マルチスペクトル (農業・ドローン) / 高速撮像 (工業・ロボット) センサとの融合を考える。DCNN の前段部の機能を相互変換し (図 3 右)、低メモリかつ低電力な処理モジュールへの置きかえを徹底的に検証する。640 $\times$ 480 (VGA) 解像度・実時間処理を最終目標に、システム最適化を導く手法を解明する。

## 4. 研究成果

### I. DCNN の処理層と「局所と全体」統一制御アルゴリズムの解析

本研究で開発した手法について述べる。SLHE 法では、通常のヒストグラム平均化手法と比較

して、ヒストグラム自体に低域通過フィルタで滑らかにし、画像変換後の過度な画像強調を抑制する。変換関数は、累積ヒストグラムとなっている。まず、マルチ・レイヤー法と SLHE 法をテクスチャ強調の観点から考察する。このとき、前者は、高周波成分のみに強調処理が行われる (図 1、 $G$  は利得、 $P_{dML}$  は局所平均値との差分、 $L$  は輝度  $P_{out}$  は出力輝度、 $\Omega$  は局所領域)。対して SLHE 法では、統計的に多くの画素が占める輝度範囲を広い範囲に変換する。しかし、数学的にヒストグラムの中央値が変換関数の中央値となるため、局所領域の中央値から見た変動成分のみが強調される (図 1、CumLH は累積ヒストグラム、 $G_{LHE}$  は LHE 利得、 $P_{dLHE}$  は局所中央値との差分、 $\beta_{dist}$  は輝度分布)。よって、低周波成分がカットされ、高周波成分が、輝度分布に即して能動的に強調される。このことは、前者の強調が輝度飽和を引き起こし、後者は、適応的に強調を制御することがわかった (図 3)。また、グローバル特性は低周波成分の輝度分布に集中しているため、カットされた低周波成分を復元し、制御することがグローバル処理に等しいことを見出した。

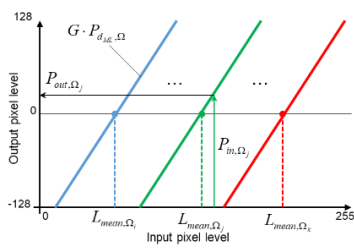


図1 マルチ・レイヤー法の補正関数 (局所平均値は 0 にマッピング)

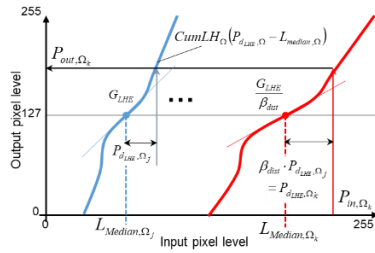


図2 SLHE 法の補正関数 (局所中央値は 127 にマッピング)

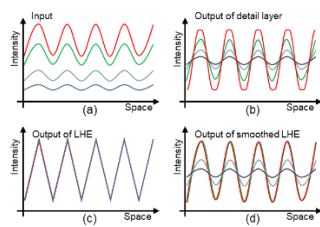


図3 マルチ・レイヤー/SLHE 法の入出力波形

グラデーションなどの連続的な輝度変化に対応するため、通常ヒストグラムに対し、階級内で輝度を積算し階級ごとの平均値を扱うよう拡張した (図 4)。度数および階級内平均値に、シグモイド関数からなる基底関数群を割り当てて、SLHE 法を基にした滑らかな局所変換関数 (累積ヒストグラム) を得る (図 5)。本手法の数学的特性から、輝度分布が狭い場合は一意の利得による強調となり、広い場合は、適応的に利得が低下して強調による輝度飽和を抑制する。数学的特性から、局所変換関数の平均値・中央値は一定の値に収束し、これらの値からなる低周波成分はカットされることとなる。ゆえに、これらの値の軌跡は、低周波成分の制御を担う。このことは、局所関数が存在する空間と局所関数の中心が描く軌跡を操作することで、ローカル特性 (前者) とグローバル特性 (後者) を制御できることを意味している (図 6)。

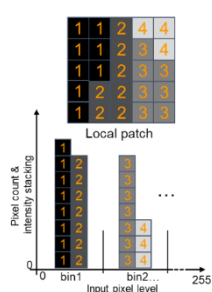


図4 輝度積算ヒストグラム

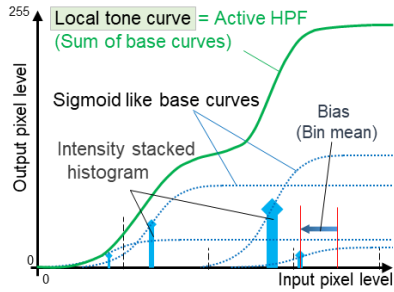


図5 本手法の局所補正関数

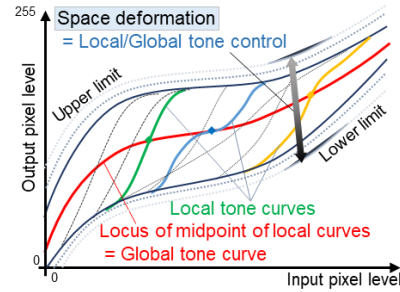


図6 本手法のグローバル制御 (赤線) ローカル制御 (上下・灰色線)

本手法を DCNN と相互変換する場合、大サイズの領域指定を実現するため初期層において 5 層以上のレイヤーを消費することがわかり、初期層の DCNN 入れ替えは適さないことがわかった。低解像度化した画像に対する DCNN を並列に配置し、空間物体の識別と本手法の輝度補正関数におけるローカル関数用の空間制御とグローバル制御パラメータを操作することが適当との判断を得た (図 7)。

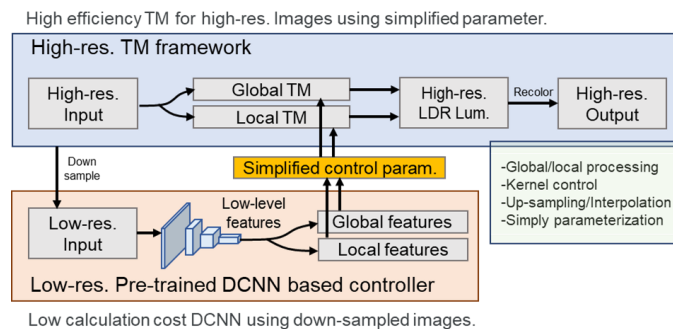


図7 高解像度トーン・マッピング処理と DCNN の適合処理

## II. 処理アルゴリズムの多層化への適用⇔位相相関限定法の関連検証

位相相関限定法は、画像の周波数領域表現に依存する 2 つの類似画像間の相対的な並進オフセットを推定する手法である。本研究では、機械学習を含む医療応用システムの研究を行った。関節検出する前に、いくつかの既知の画像処理アルゴリズムを使用し、手 X 線画像の指のおおよその面積と角度をすばやく検出する。これにより、関節検出の計算が削減される。まず、2 値化により、X 線画像の背景を除去する。次に、モルフォロジー演算を使用し、雑音除去を行う。指の先端と溝より、指の面積を計算し、この面積の中心線を検出する。最後に、指の領域のサイズによって指の幅を計算する。最後に、指の領域を切り取って関節位置を特定する。

図 8 の step3 に示すように、線のズレ成分は、それぞれ  $t-1$  と  $t$  の画像の骨のエッジである。白線は、一致する部分を表す。位置補正の前に、時系列の X 線画像の同じ関節の検出結果には、関節ウィンドウの位置に偏差がある。そのため、関節検出の位置を調整するための第一 POC の使用を行う。POC により、2 つの関節ウィンドウ間の偏差を大幅に排除でき、エッジ領域はほぼ完全に一致する。上下の骨の動きを別々に検出できるように、関節画像をセグメント化するアルゴリズムを提案した。

アルゴリズムを検証するために、関節のファントムを使用してテスト画像を準備した。我々の関節破壊量検出は、データセット (患者からの 462 関節画像) で false negative (1/462) と false positive (2/462) の割合が最も低くなっている。位置補正アルゴリズムは 1 ピクセル未満の位置シフトを達成でき、不一致の確率は 2% 未満である。また、関節分離アルゴリズムと POC を使用して JSN の進行を確認しました。ただし、データセットにはタグ付けされていないため、精度測定には GT: Ground Truth を備えたファントムを使用した。0.1 mm のシフトがあるファントムイメージのセットを用意した。図 9 は、得られた進行と GT を示す。グラフの赤線は、メディアンフィルタを使用しない場合の結果です。メディアンフィルタは、POC の精度に影響を与えるノイズを抑制することにより、エラーを低減する。平均誤差が約 0.20 ピクセルであり、単調増加する変化を追従する。従来の研究では関節腔幅 (JSW) 測定を報告しており、少なくとも 1.2 ピクセルの誤差を持ち、最小検出距離 (SDD) は約 1 ピクセルである。本手法では、0.1 ピクセル未満の差分画像距離を検出できる。本研究において DCNN を適用した場合、人間がタグ付けを行うため、基本的に人間の目を超えることはできない。そのため、関節検出に DCNN を適用することとなる。2 段階のカスケード NET 構造を用いることで、向きの正規化を必要とせずに関節の検出が可能であることを確認した。

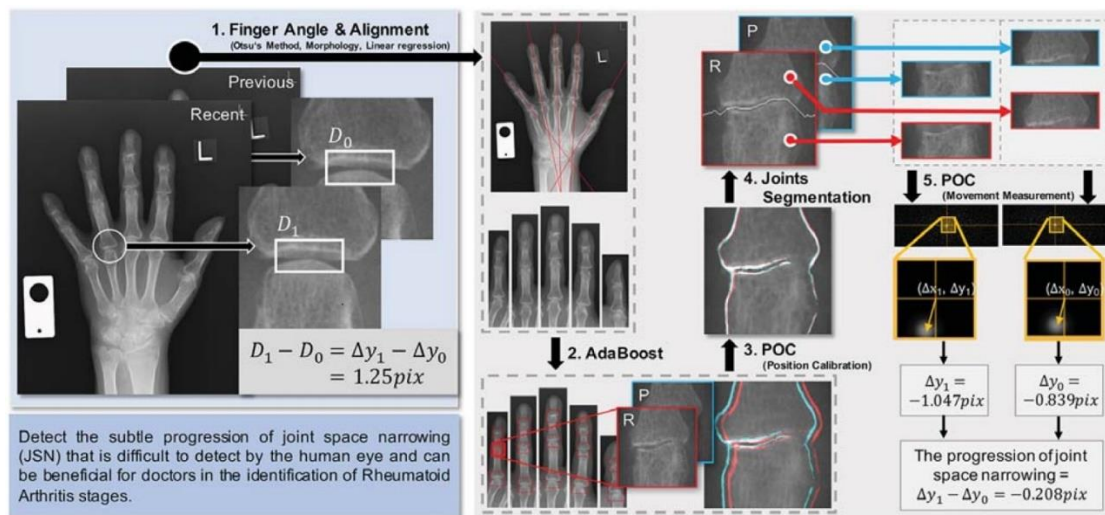


図 8 位相相関限定法による関節リウマチ関節破壊量の計測

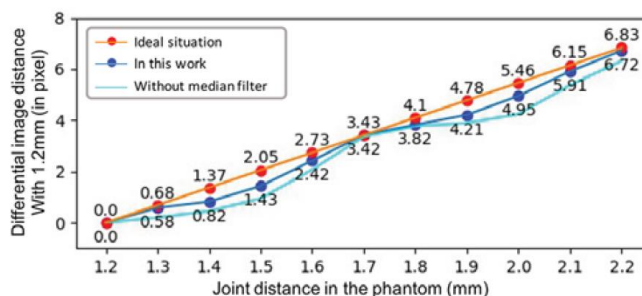


図 9 関節ファントムを用いた処理結果

### III. センサ融合処理システムへの相互変換の適用と実装

U-net に注目し、全ての画像処理に有用なノイズ除去への適用を行った。U-net は深層畳み込みニューラルネットワークのエンコーダとデコーダ部を持ち、それぞれの各層がバイパス接続により結合されている U 字型のネットワークである。U-Net の Concat パスは画像の大局的な特徴を保存するため、局所特徴だけを学習できる。そのため、学習の収束時間と再構成された画像の品質に優位性がある。ノイズモデルは、イメージセンサを考慮してポアソンノイズを仮定した。低露光画像では、光の粒の数が時間ごとに変動するためである。入力画像と学習効果について、解像度が高ければ高いほどノイズ除去の性能が上がることを確認した (図 10)。その理由は高い解像度であるほど、物体とノイズが分離しやすい傾向にあるためである。また、ノイズは局所性を持つため、画像全体を入力する必要がない。そこでタイリングアーキテクチャを適用した。1920×1080 解像度において、オーバーラップサイズ 3 ピクセル、タイルサイズ 11×11 で PSNR 値 32dB が確保できる (図 11)。同時に 5 層以上の U-net は性能が向上しないこともわかった。このことは、11×11 の極小ネットワーク構造の省メモリ構成で繰り返し処理することにより、DCNN を活用したノイズ除去が可能であることを意味している。本アーキテクチャを AI エッジ端末である OKI AE2100 に実装し、本機構優位性を実証した。また、今後の課題として、U-Net のカスケード接続がノイズ除去に有効であることがわかった。しかし、主観評価で優位性が見られるが、PSNR、SSIM などの評価値は低下した。これは、アスファルトなどをより滑らかに表現してしまうことに起因する。本傾向は継続して調査する予定である。

Image Size	481x321	1920x1080	1984x1284	3848x2568
SSIM	0.65	0.827	0.88	0.96
PSNR(dB)	22.56	31.63	32.55	34.6

図 10 関節ファントムを用いた処理結果

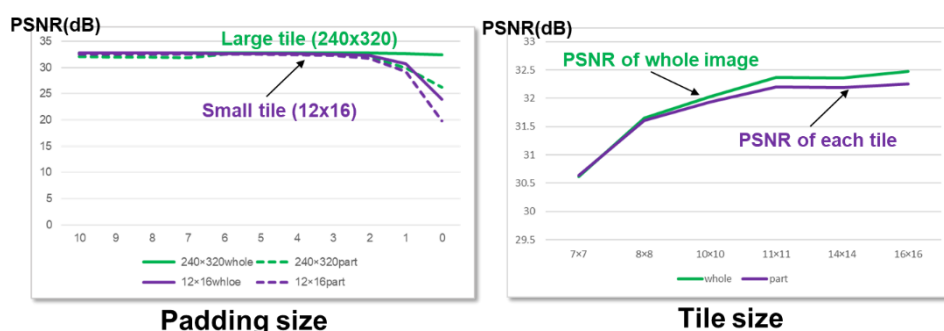


図 11 関節ファントムを用いた処理結果

DCNN (カスケード型 U-net を使用) において、特に雑音除去 (ポアソンノイズ) ではタイリングによる画像分割が有効に働くことがわかった。また、層構造においても 5 層以上においての改善効果は持たない。タイリングにおいては、11 x 11 の画像ブロックと Overlap3 画素においても PSNR 値を 32dB 保つことが明らかになった。このことから、Full-HD 以上画像の処理において HW を最小化して深層学習ベースの雑音除去が可能となる。また、性能の向上について、ネットのカスケード構造が有効であることがわかった。このとき、第 1 ネットは雑音を再構成する。そのため、第 2 ネットは再構成された雑音を学習して、雑音がない状態の画像に近づける。このとき PSNR 値に変化は見られなかったが、特にグラデーション領域の滑らかさが際立った画像が得られることもわかった。本手法をエッジデバイス OKI AE2100 AI Edge computer に実装し、効果を確認した。また、本研究で研究を進めてきた局所輝度補正手法において、画像を一つの輝度変換空間でローカル・グローバル領域の演算を行うためには高周波領域に着目すれば良いことがわかった。また、低周波領域は、高周波の抽出に対して消された成分を復元する問題に帰着でき、それは輝度変換空間を変形することでなされる ことがわかった。このことから、本処理のパラメータを空間変形を行う制御点として定義できて、低解像度化した画像に対する DCNN を、空間物体の識別と本手法の輝度補正関数におけるローカル関数用の空間制御とグローバル制御パラメータを操作することが適当との知見を得ることができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Ando K., Ueyoshi K., Oba Y., Hirose K., Uematsu R., Kudo T., Ikebe M., Asai T., Takamaeda-Yamazaki S., and Motomura M.,	4. 巻 E102
2. 論文標題 Dither NN: hardware/algorithm co-design for accurate quantized neural networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 2341-2353
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2019PAP0009	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 Yamamoto K., Ikebe M., Asai T., Motomura M., and Takamaeda-Yamazaki S.	4. 巻 E102
2. 論文標題 FPGA-Based Annealing Processor with Time-Division Multiplexing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 2295-2305
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2019PAP0002	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 Kaneko T., Orimo K., Hida I., Takamaeda-Yamazaki S., Ikebe M., Motomura M., and Asai T.	4. 巻 E10-N
2. 論文標題 A study on a low power optimization algorithm for an edge-AI Device	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications	6. 最初と最後の頁 373-389
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/nolta.10.373	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 Kaneko T., Ikebe M., Takamaeda-Yamazaki S., Motomura M., and Asai T.,	4. 巻 23
2. 論文標題 Hardware-Oriented Algorithm and Architecture for Generative Adversarial Networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Signal Processing	6. 最初と最後の頁 151-154
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2299/jsp.23.151	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 Ambalathankandy, P., Ou, Y., Kochiyil, J., Takamaeda, S., Motomura, M., Asai, T., and Ikebe, M.	4. 巻 1
2. 論文標題 Radiography Contrast Enhancement: Smoothed LHE Filter a Practical Solution for Digital X-Rays with Mach Band	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA)	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/DICTA47822.2019.8946114	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 Ou, Y., Ambalathankandy, P., Shimada, T., Kamishima, T., and Ikebe, M.	4. 巻 1
2. 論文標題 Automatic Radiographic Quantification of Joint Space Narrowing Progression in Rheumatoid Arthritis Using POC	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 IEEE 16th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2019)	6. 最初と最後の頁 1183-1187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISBI.2019.8759206	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 Kanazawa, Y., Yokoyama, S., Hiramatsu, S., Sano, E., Ikegami, T., Takida, Y., Minamide, H & Ikebe, M.	4. 巻 58
2. 論文標題 Wideband terahertz imaging pixel with a small on-chip antenna in 180 nm CMOS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBL06
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab03c9	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 Ando K., Ueyoshi K., Orimo K., Yonekawa H., Sato S., Nakahara H., Takamaeda-Yamazaki S., Ikebe M., Asai T., Kuroda T., and Motomura M	4. 巻 53
2. 論文標題 BRein memory: a single-chip binary/ternary reconfigurable in-memory deep neural network accelerator achieving 1.4TOPS at 0.6W	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Solid-State Circuits	6. 最初と最後の頁 983-994
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSSC.2017.2778702	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 Ambalathankandy P., Takamaeda-Yamazaki S., Motomura M., Asai T., Ikebe M., and Kusano H	4. 巻 60
2. 論文標題 Real-time HDTV to 4K and 8K-UHD conversions using anti-aliasing based super resolution algorithm on FPGA	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microprocessors and Microsystems	6. 最初と最後の頁 21-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.micpro.2018.05.008	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15件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 池辺将之
2. 発表標題 1画素単位で輝度を適切に制御する高速かつグローバル・ローカル適応型画像処理
3. 学会等名 光と レーザーの科学技術フェア2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池辺将之
2. 発表標題 X線画像診断に向けた定量的サブピクセル関節破壊量計測
3. 学会等名 映像情報メディア学会情報センシング11月研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池辺将之
2. 発表標題 32×32 画素並列ADC 構成によるグローバルシャッタ型CMOS テラヘルツイメージセンサ
3. 学会等名 シンポジウム テラヘルツ科学の最先端 (招待講演)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Kaneko T., Ikebe M., Takamaeda-Yamazaki S., Motomura M., and Asai T.
2. 発表標題 Hardware-oriented algorithm and architecture for generative adversarial networks
3. 学会等名 The 2019 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki S., Rim S., Takamaeda-Yamazaki S., Ikebe M., Motomura M., and Asai T.
2. 発表標題 Experimental demonstration of physical reservoir computing with nonlinear electronic devices
3. 学会等名 The 2019 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minamikawa K., Takamaeda-Yamazaki S., Ikebe M., Motomura M., and Asai T.
2. 発表標題 FPGA-based FORCE learning accelerator towards real-time online reservoir computing,
3. 学会等名 The 2019 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaneko T., Ikebe M., Takamaeda-Yamazaki S., Motomura M., and Asai T.
2. 発表標題 Ternarized backpropagation: a hardware-oriented optimization algorithm for edge-oriented AI devices
3. 学会等名 The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Research Institute of Electrical Communication (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yokoyama, S., Ikebe, M., Kanazawa, Y., Ikegami, T., Ambalathankandy, P., Hiramatsu, Takida, Y. & Minamide, H.
2. 発表標題 A 32 × 32-Pixel 0.9 THz Imager with Pixel-Parallel 12b VCO-Based ADC in 0.18 μm CMOS
3. 学会等名 In 2019 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rim S., Suzuki S., Takamaeda-Yamazaki S., Ikebe M., Motomura M., and Asai T.
2. 発表標題 Approach to reservoir computing with Schmitt trigger oscillator-based analog neural circuits,
3. 学会等名 The 7th Japan-Korea Joint Workshop on Complex Communication Sciences, (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ando K., Ueyoshi K., Oba Y., Hirose K., Uematsu R., Kudo T., Ikebe M., Asai T., Takamaeda-Yamazaki S., and Motomura M
2. 発表標題 Dither NN: an accurate neural network with dithering for low bit-precision hardware
3. 学会等名 The 2018 International Conference on Field-Programmable Technology (FPT'18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ambalathankandy P., Shimada T., Takamaeda-Yamazaki S., Motomura M., Asai T., and Ikebe M.
2. 発表標題 Analysis of smoothed LHE methods for processing images with optical illusions," IEEE International Conference on Visual Communications and Image Processing
3. 学会等名 IEEE International Conference on Visual Communications and Image Processing(VCIP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名	Kudo T., Ueyoshi K., Ando K., Hirose K., Uematsu R., Oba Y., Ikebe M., Asai T., Motomura M., and Takamaeda-Yamazaki S.
2. 発表標題	Area and energy optimization for bit-serial log-quantized DNN Accelerator with shared accumulators
3. 学会等名	IEEE 12th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Yokoyama S., Kanazawa Y., Ikegami T., Hiramatsu S., Sano E., Takida Y., Ambalathankandy P., Minamide H. and Ikebe M.
2. 発表標題	CMOS terahertz imaging pixel with a VCO-based ADC
3. 学会等名	SSDM 2018 (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Kanazawa, Y., Sano, E., Yokoyama, S., Ambalathankandy, P., Ikebe, M., Hiramatsu, S., Takida, Y. & Minamide, H.
2. 発表標題	CMOS Terahertz Imaging Pixel with a Wideband on-Chip Antenna
3. 学会等名	In 2018 43rd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW2018) (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	13. Shimada, T., Ikebe, M., Ambalathankandy, P., Motomura, M., & Asai, T.
2. 発表標題	Sparse Disparity Estimation Using Global Phase Only Correlation for Stereo Matching Acceleration
3. 学会等名	In 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2018) (国際学会)
4. 発表年	2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 情報処理装置及び情報処理方法並びに情報処理用プログラム	発明者 島田武、池辺将之、 吉田 敏明	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2018-073549	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	高前田 伸也  (Takamaeda Shinya)  (60738897)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授    (12601)	

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
---------	---------