

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12916

研究課題名（和文）視覚神経系の時空間応答特性に学んだ小型・リアルタイム手話認識システム

研究課題名（英文）Real-time sign language recognition system inspired by spatio-temporal characteristics of the visual nervous system

研究代表者

奥野 弘嗣 (Okuno, Hirotugu)

大阪工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：30531587

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、手話や物体の認識に適した視覚特徴量抽出アルゴリズムの開発、このアルゴリズムのデジタル回路実装、及びこのアルゴリズムを用いた場合の認識精度の検証を行った。このアルゴリズムは、時空間視覚特徴の抽出、及びこの特徴を利用した視覚情報認識を効率よく行っている生体の視覚神経系に発想を得たものである。また、ここで得られた特徴量を用いることで、ニューラルネットワークによる指文字・物体認識の精度が向上することを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、視覚神経系の学んだ視覚特徴量の利用によって、比較的小規模なニューラルネットワークでも高い識別精度が得られること、並びにこの特徴量抽出回路が、限られた回路規模で実現できることを示した。この結果は、エッジデバイスでの人工知能の運用を加速させるものである。近年目覚ましい成果を上げてきた深層学習をベースとした人工知能は、処理負荷が大きい大規模なニューラルネットワークの利用を前提としているため、処理能力が乏しいエッジデバイスでの運用は制限されてきた。本研究で得られた特徴抽出回路と検証結果は、この状況を改善するものである。

研究成果の概要（英文）：In the present study, we developed algorithms that extracts particular visual features to achieve efficient sign language and object recognition, and implemented the algorithm into a digital circuit. We also investigated the recognition accuracy when the algorithm was employed. This algorithm was inspired by the visual nervous system that achieves efficient spatio-temporal visual feature extraction and vision-based recognition. The results of this study showed that the use of this visual feature improves accuracy of hand sign and object classification.

研究分野：電子工学、神経科学

キーワード：ニューロモーフィック 画像処理 ロボットビジョン 手話認識 人工知能

1. 研究開始当初の背景

近年の人工知能技術の急速な発展は、障害者への合理的配慮の必要性を説く障害者差別解消法の制定と相まって、障害者を補助するアプリケーションを生み出している。中でも人工知能による音声認識機能を活用した音声・文字の相互変換アプリケーションは、聴覚障害者を支援するため、多くの企業で配備が進んでいる。しかし音声・文字の相互変換では、健常者から聴覚障害者への情報提供はスムーズに実施できるが、聴覚障害者から健常者への情報提供は、文字入力が必要とするため利便性が低い。手話による入力が可能であれば利便性は大きく向上するが、実用化はなされてない。

これまで、ディープラーニング (DL) 技術を用いて、手話・ジェスチャー認識の実現を目指した研究は行われてはいるが、現在の DL には以下のような問題点が存在するため、実用化は遠い。

DL は学習や認識に要する計算コストが非常に大きいため、高速なコンピュータ、もしくは高速なサーバに接続したネットワークデバイスでしか利用できない。

従来の形式ニューロン (ニューラルネットワークの構成要素) は時間特性を持たないため、手話・ジェスチャー認識で求められる時空間特徴を扱うには複雑なネットワーク構成が必要となり、学習・識別手法の確立が困難となる。

一方、生体の視覚神経系 (神経の発火周波数は最高数 100Hz) は、今日のプロセッサを構成するトランジスタに比べて 100 万分の 1 以下の速度であるにも関わらず、今日の人工知能よりも遥かに高速かつ効率的に視覚情報の認識を行うことが出来る。視覚神経系と人工知能の間には多くの違いが存在するが、中でも本研究では、特に顕著な違いとしてニューロンの時間特性、及び神経回路のアーキテクチャに注目する。これら二つの要素を組み込み、従来の人工知能の限界を超えた時空間特徴認識が行える人工神経システムの構築法を確立する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、時空間視覚特徴の抽出、及びこの特徴を利用した視覚情報認識を効率よく行っている生体の視覚神経系に学び、図 1 に示す時空間視覚特徴識別システムの要素を開発することである。具体的には、視覚神経系の時空間特性を模擬した視覚特徴量抽出アルゴリズムの開発とその回路実装、この視覚特徴量を用いた識別アルゴリズムの開発、神経の時間特性を持ったニューラルネットワークによる識別器の開発である。

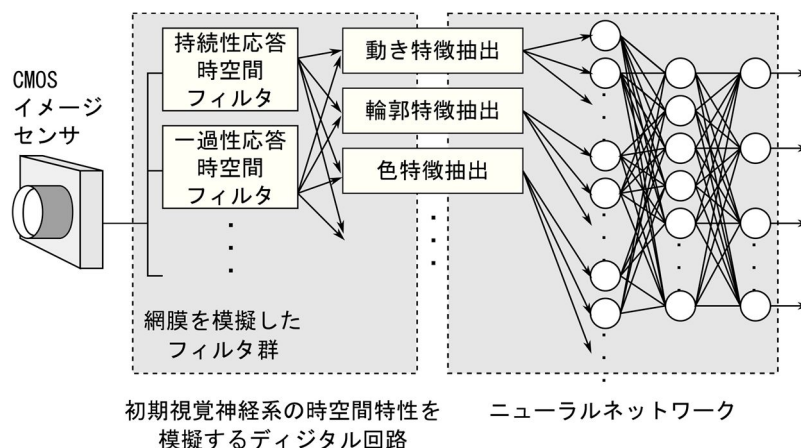


図 1: 目標とする視覚認識システムの構成。本研究では、この中の要素を開発した。

3. 研究の方法

(1) 時空間視覚特徴の抽出

本研究で提案する時空間視覚特徴アルゴリズムは、運動方向と速さに選択性を持つ細胞モデルに学んだアルゴリズム [1] であり、(上・下)、(左・右)、(右上・左下)、(右下・左上) の 4 対 8 方向に対して、2 つの異なる速度域の動作を強調する。図 2 は、この処理フローの一部であり、この処理により 1 つの速度域の 1 対、例えば左右の動きが強調される。他の方向・速度域でも同様の処理が行われる。図 2 の処理フローの各ステップは単純であり、ステップ数も少ないため、このアルゴリズムは回路実装に適している。

入力画像は以下のように処理される。まず、時間フィルタ (図 2 中の T_f と T_s) と 2 つの直交する空間フィルタ (図 2 中の E と O) の組み合わせにより、左と右のどちらかの運動を強調する時空間フィルタ (その出力は図中の L_E , L_O , R_E , R_O) が生成される。 L と R の文字はそれぞれ左と右への運動方向選択性を示す。図 3 (a) (b) は時空間フィルタ L_E 及び L_O の時空間重みである。図 2 に示す通り、加算の組み合わせを変えることで、方向選択性の異なるフィルタ R_E , R_O が得られる。

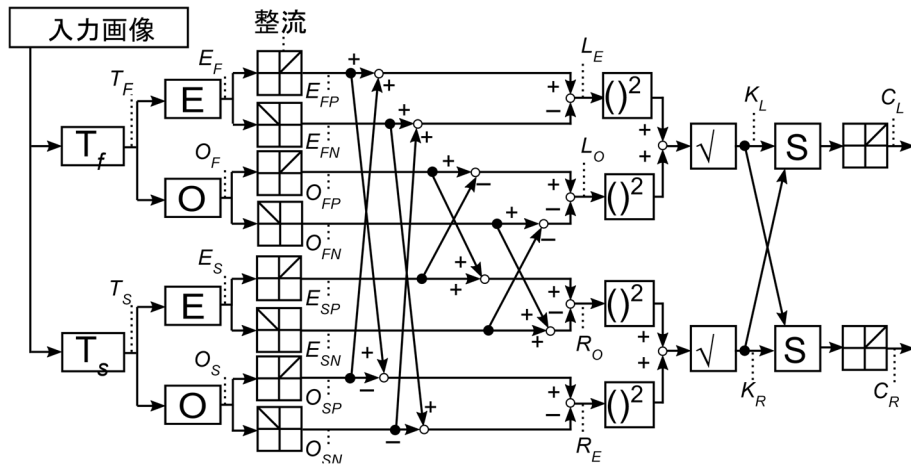


図 2：時空間視覚特徴抽出の処理フロー。([1]より引用)

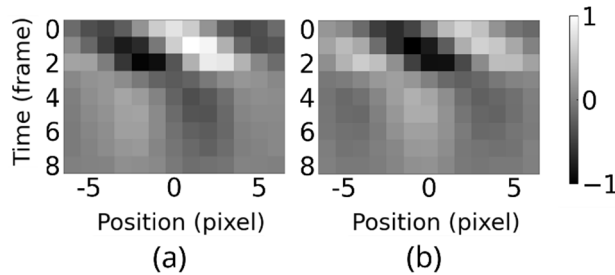


図 3：時空間視覚特徴抽出の処理フロー。([1]より引用)

次に、位相が直交する 2 つのフィルタ出力(図 2 中の L_E と L_O , R_E と R_O) の二乗和により、運動エネルギーモデル出力(図 2 中の K_L と K_R) が得られる。この処理により空間位相依存性が除去される。

各運動方向検出器は、先行研究で提案された神経の計算モデル[2] に組み込まれた非線形活性化関数(図 2 中の S, 式 1) を用いて、相互抑制を行う。左方向検出器の出力を得る場合の非線形活性化関数は式 1 で表される。

$$C_L = \alpha + \frac{\beta K_L^\zeta - \delta K_R^\zeta}{\gamma K_L^\zeta + \epsilon K_L^\zeta} \quad (1)$$

Python を用いて時空間特徴強調アルゴリズムをプログラミングし、その出力を評価した。定量的評価には、垂直方向の輪郭が特定方向に移動するシミュレーション動画を用いた。輪郭の移動速度を固定し、コントラストを変化させて、コントラスト依存性を検証した。また、コントラストを固定し、速度を変化させていくことで、速度-出力の関係を検証した。定性的評価には、人が特定方向へ歩く実環境動画を用いた。

(2) 視覚特徴量を用いた識別アルゴリズム

画像データへの前処理は、convolutional neural network (CNN) を用いた画像識別において、識別精度向上のための重要なアプローチの一つである。本研究では、識別能力の高い生体視覚神経系で利用されている前処理のモデルであるガボールフィルタを CNN の前処理として利用した場合の画像識別能力の検証を行った[3]。前処理の評価を行うため、図 4 に示す処理の流れを用いて、ガボールフィルタを前処理として用いた場合および前処理を行わない場合の識別結果の比較を行った。学習・推論に利用したデータセットは、小規模なデータセットである STL-10 および CIFAR-10 である。結果が、特定の CNN のハイパーパラメータに依存したものとならないよう、多数のランダムに生成された CNN に対する識別結果を評価した。

(3) スパイクング・ニューラルネットワーク

実際の神経回路では、抑制性ニューロンが情報処理において重要な役割を果たしている。抑制性ニューロンは、結合しているシナプス後ニューロンに対して抑制入力をし、シナプス後ニューロンの膜電位を下げる。その働きによってシナプス後ニューロンの刺激に対する選択性を高めることが示唆されている。

本研究では、抑制性ニューロンの働きで組み合わせ特徴に応答する小規模のネットワークを構築し、抑制性ニューロンの時定数と学習後の選択性の関係を検証した [4]。用いたニューロンのモデルは leaky integrate-and-fire (LIF) モデルであり、用いた学習則は抑制入力の長期増強(LTPi) である[5]。

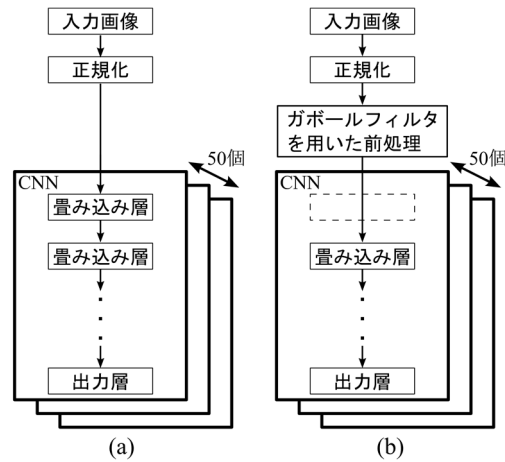


図 4：前処理の効果を検証するための処理の流れ。([3]より引用)

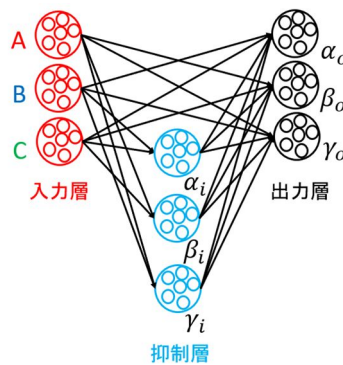


図 5：スパイクング・ニューラルネットワークの構成図。([4]より引用)

本研究で構成したネットワークを図 5 に示す．それぞれ円形の集まりはニューロン群を意味する．このニューラルネットワークは入力層，抑制層，出力層の 3 層からなる．入力ニューロン群の A・B・C は 3 種類の特徴に定答するニューロン群を想定している．出力層・抑制層の各ニューロン群は入力層の 3 つのうち 2 つのニューロン群と結合している．入力層から抑制層も同様の結合をしている．抑制層の各グループは 3 つある出力層の全グループと結合している．出力層は入力層から興奮入力，抑制層から抑制入力を受ける．抑制層から出力層の重みのみ LTPi によって更新される．

このため出力ニューロンは初期状態でも入力に対して選択性を持つ．この選択性が学習によって高まるかどうかを，各ニューロンの時定数を変化させながら検証した．

4．研究成果

(1) 時空間視覚特徴の抽出

本研究で開発した時空間視覚特徴抽出アルゴリズムの検証実験の詳細は[1]に記されている．検証実験によって本研究で開発されたアルゴリズムが，高い運動方向選択性と低いコントラスト依存性を示し，速度推定にも十分な情報を抽出できることを示した．

(2) 視覚特徴量を用いた識別アルゴリズム

生体で利用されている前処理のモデルを CNN の前処理として利用した場合の，識別能力検証の詳細は[3]に記されている．前処理を行わない手法と比較して，ガボールフィルタを前処理として利用した手法が平均として，より高い accuracy を示した．この結果から，小規模なデータセットを用いた学習・推論の際に，ガボールフィルタを CNN の前処理として利用することは，識別精度向上に有効であることが示された．

(3) スパイクング・ニューラルネットワーク

ニューロンの時定数と学習後の選択性に関する検証実験の結果は，[4]にて発表された．出力ニューロンの時定数を 20 ms に固定した場合，抑制性ニューロンの時定数を，これよりも少し長い 30 ms 程度にすれば，最も選択性が高まることが示された．

<引用文献>

[1] E. Horiguchi and H. Okuno, "A Visual Feature Detection Algorithm Inspired by Spatio-Temporal Properties of Visual Neurons," International conference on Neural Information Processing 2021, Online, 2021/12/8-12, Lecture Notes in Computer Science, pp. 634-643, 2021.

[2] N.C. Rust, O. Schwartz, J.A. Movshon, and E.P. Simoncelli, "Spatiotemporal elements of macaque V1 receptive fields," Neuron 46(6), pp. 945-956, 2005.

[3] 森田耀仁, 奥野弘嗣, "ガボールフィルタをCNNの前処理として用いた画像識別," 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 寝屋川市, 2022/12/03, 信学技報, NC2022-54, pp.43-46.

[4] 池田真宏, 奥野弘嗣, "SNNにおける抑制性シナプス可塑性を用いた組み合わせ特徴に対する選択性の向上," 画像の認識・理解シンポジウム 2022, 姫路市, 2022/07/25-28, Extended Abstract, IS3-22, pp.1-4

[5] M. A. Bourjaily, and P. Miller, "Synaptic Plasticity and Connectivity Requirements to Produce Stimulus-Pair Specific Responses in Recurrent Networks of Spiking Neurons," PLOS Computational Biology, vol.7, no. 2, pp. 1-18, 2011.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Eisaku Horiguchi, Hirotsugu Okuno	4. 巻 13111
2. 論文標題 A Visual Feature Detection Algorithm Inspired by Spatio-Temporal Properties of Visual Neurons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 634-643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-92273-3_52	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 Kento Misaka and Hirotsugu Okuno	4. 巻 -
2. 論文標題 FPGA implementation of an algorithm that enables color constancy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration	6. 最初と最後の頁 991-995
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SII46433.2020.9025949	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 三阪健人, 奥野弘嗣	4. 巻 -
2. 論文標題 照明色・強度に影響されない色情報符号化アルゴリズムのFPGA実装	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2019 講演論文集	6. 最初と最後の頁 2P1-105(1)-(4)
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 田中靖浩, 西口敏司, 三阪健人, 奥野弘嗣	4. 巻 -
2. 論文標題 色恒常性カメラ画像を用いた物体識別	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 画像の認識・理解シンポジウム 2019 Extended Abstract	6. 最初と最後の頁 (DS-11)1-4
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 黒瀬大輝, 奥野弘嗣	4. 巻 -
2. 論文標題 ガウシアンフィルタを活用した効率的なオプティカルフロー検出アルゴリズム	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 画像の認識・理解シンポジウム 2019 Extended Abstract	6. 最初と最後の頁 (DS-13)1-4
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 進士裕介, 奥野弘嗣, 平田 豊	4. 巻 119
2. 論文標題 小脳スパイクニューラルネットワークモデルのFPGA実装	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 7-12
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 -

〔学会発表〕 計36件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 林慎太郎, 奥野弘嗣
2. 発表標題 視覚神経の時空間応答特性に学んだリアルタイム両眼視差検出システム
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久光祥太, 奥野弘嗣
2. 発表標題 Michaelis-Menten式とRetinex理論に基づく色恒常性を備えたイメージセンサシステム
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山地勇樹, 堀口栄作, 奥野弘嗣
2. 発表標題 視覚神経系に学んだ時空間特徴量抽出アルゴリズムのFPGA実装
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Eisaku Horiguchi, Hirotsugu Okuno
2. 発表標題 A Visual Feature Detection Algorithm Inspired by Spatio-Temporal Properties of Visual Neurons
3. 学会等名 International conference on Neural Information Processing 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akito Morita, Hirotsugu Okuno
2. 発表標題 The Effect of Preprocessing with Gabor Filters on Image Classification Using CNNs
3. 学会等名 International Conference on Artificial Life and Robotics 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shota Hisamitsu, Hirotsugu Okuno
2. 発表標題 An Image Coding Algorithm with Color Constancy Using the Retinex Theory and the Naka-Rushton Equation
3. 学会等名 International Conference on Artificial Life and Robotics 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Yamaji, Akito Morita, Hirotsugu Okuno
2. 発表標題 A Fast Image Sensor System with an Efficient Multi-Scale Gaussian Filtering Circuit
3. 学会等名 International Conference on Artificial Life and Robotics 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Shinji, Hirotsugu Okuno, Yutaka Hirata
2. 発表標題 Artificial cerebellum implemented on an FPGA for real-time adaptive motor control
3. 学会等名 The 10th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 進士裕介, 奥野弘嗣, 平田豊
2. 発表標題 FPGA実装した人工小脳によるモータ適応制御
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田耀仁, 奥野弘嗣
2. 発表標題 昆虫視覚系の運動検出器モデルと Echo State Network を用いた人の動き分類
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林慎太郎, 奥野弘嗣
2. 発表標題 テクスチャ境界を対応点探索に利用できる神経模倣両眼立体視システム
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 末永裕哉, 笠垣諒, 奥野弘嗣
2. 発表標題 視覚神経系に学んだ時空間特徴量とリザバーコンピューティングを活用したジェスチャー識別
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒瀬大輝, 奥野弘嗣
2. 発表標題 オプティカルフローと Echo State Network を用いたドローンの運動状態推定
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀口栄作, 森田耀仁, 奥野弘嗣
2. 発表標題 生体視覚野細胞の時空間応答特性を模擬した視覚特徴量抽出アルゴリズム
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥野弘嗣
2. 発表標題 FPGAを活用した視覚神経模倣ロボットビジョンシステム
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥野弘嗣
2. 発表標題 視覚神経系における処理のロボットビジョン実装
3. 学会等名 バイオメテック情報処理の最前線～基礎研究から社会実装への道のり～（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥野弘嗣
2. 発表標題 生体視覚神経系に学んだ画像処理システム
3. 学会等名 電気関係学会関西連合大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yusuke Shinji, Hirotsugu Okuno, Yutaka Hirata
2. 発表標題 Artificial cerebellum running on an FPGA
3. 学会等名 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shintao Hayashi, Hiroto Kajihara, Hirotugu Okuno
2. 発表標題 A binocular disparity detection algorithm inspired by the spatio-temporal properties of binocular cells
3. 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Eisaku Horiguchi and Hirotugu Okuno
2. 発表標題 A spatio-temporal feature extraction algorithm that simulates a physiological model of a neuron in the early visual cortex
3. 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akito Morita, Totshiki Yamada, Hirotugu Okuno
2. 発表標題 Motion and shape classification using spiking neural network
3. 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kento Misaka and Hirotugu Okuno
2. 発表標題 FPGA implementation of an algorithm that enables color constancy
3. 学会等名 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三阪健人, 奥野弘嗣
2. 発表標題 照明色・強度に影響されない色情報符号化アルゴリズムのFPGA実装
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中靖浩, 西口敏司, 三阪健人, 奥野弘嗣
2. 発表標題 色恒常性カメラ画像を用いた物体識別
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒瀬大輝, 奥野弘嗣
2. 発表標題 ガウシアンフィルタを活用した効率的なオプティカルフロー検出アルゴリズム
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 進士裕介, 奥野弘嗣, 平田 豊
2. 発表標題 小脳スパイクニューラルネットワークモデルのFPGA実装
3. 学会等名 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirotsugu Okuno
2. 発表標題 FPGA-based robotic vision systems inspired by the retina and the visual cortex
3. 学会等名 International Symposium on Neuromorphic and Non-linear Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥野弘嗣
2. 発表標題 生体視覚神経系に学んだロボットビジョン開発
3. 学会等名 国際画像機器展2019 国際画像セミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田真宏, 奥野弘嗣
2. 発表標題 SNNにおける抑制性シナプス可塑性を用いた組み合わせ特徴に対する選択性の向上
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤遼河, 奥野弘嗣
2. 発表標題 複数の空間周波数情報と機械学習を用いた両眼視差推定アルゴリズム
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林智哉, 奥野弘嗣
2. 発表標題 Border-ownership選択性細胞の応答特性に学んだ図地分離アルゴリズム
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山地勇樹, 奥野弘嗣
2. 発表標題 視覚神経系の特性を模擬する時空間フィルタ回路
3. 学会等名 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森田耀仁, 奥野弘嗣
2. 発表標題 ボールフィルタをCNNの前処理として用いた画像識別
3. 学会等名 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mahiro Ikeda and Hirotsugu Okuno
2. 発表標題 Increasing Selectivity to a Feature Combination Using Inhibitory Synaptic Plasticity in a Spiking Neural Network
3. 学会等名 International Conference on Artificial Life and Robotics 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryoka Sato and Hirotsugu Okuno
2. 発表標題 Binocular Disparity Estimation Algorithm Using Multiple Spatial Frequency Information and a Neural Network
3. 学会等名 International Conference on Artificial Life and Robotics 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoya Kobayashi and Hirotsugu Okuno
2. 発表標題 A Figure-Ground Discrimination Algorithm Inspired by Border-Ownership Selective Cells
3. 学会等名 International Conference on Artificial Life and Robotics 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

神経模倣システム研究室 http://neuro-inspired.org/index.html
--

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

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