

## 学位論文内容の要旨

学位論文題目: Artificial Visual System for Orientation Detection

(人工視覚システムとその物体方位検知への応用)

専攻 数理・ヒューマンシステム科学専攻

氏名 叶 嘉蓁

The human visual system is one of the most important component of the nervous system that provides visual perception to person. The research on orientation detection which neurons of the visual cortex response only to a line stimulus in a particular orientation is an important driving force of computer vision and biological vision. However, the principle of orientation detection remains a mystery. In this paper, we first propose a new orientation detection mechanism based on local orientation detective neurons' dendritic computation. We assume that there be orientation detective neurons which response only to a particular orientation locally and these neurons detect local orientation information based on nonlinear interactions took place on the dendrites. Then, we propose an implementation of such local orientation detective neurons with dendritic neurons, use them to extract the local orientation information, and infer the global orientation information from these local orientation information. Based on the mechanism, we propose an Artificial Visual System (AVS) for orientation detection and other visual information processing. In order to prove the effectiveness of our mechanism and the Artificial Visual System (AVS), we conduct a series of experiments which include objects with various sizes, shapes and positions. Computer simulation shows that the mechanism can perfectly perform orientation detection independent on their sizes, shapes and positions in all experiments. The experimental results are consistent well with the results of most known physiological experiments. Furthermore, we compare the performance of both Artificial Visual System (AVS) and Convolution Neural Network (CNN) on orientation detection and find that Artificial Visual System (AVS) completely beat Convolution Neural Network (CNN) on orientation detection in identification accuracy, noise resistance, computation and learning cost, hardware implementation and reasonability.

Secondly, based on the mechanism mentioned above, we use a single-layer McCulloch-Pitts neurons to realize such local orientation-sensitive neurons and show that such a single-layer perceptron artificial visual system (AVS) is capable of detecting global orientation by taking the orientation with the largest number of activations of the orientation-selective neurons as the global orientation. We perform computer simulations on this single-layer perceptron AVS, and simulation results show that this single-layer perceptron AVS works perfectly for global orientation detection, which is consistent with most of physiological experiments and models. Furthermore, in order to show the superiority of the single-layer perceptron AVS, we compare the performance of the single-layer perceptron AVS with traditional convolutional neural network (CNN) on orientation detection tasks and find that the single-layer perceptron AVS completely beats CNN in all aspects including identification accuracy, noise resistance, computational and learning cost, hardware implementation reasonability and bio-soundness.

Finally, as an important category of computational intelligence, meta-heuristic algorithms have always been a popular research interests over recent two decades. Teaching-learning-based optimization (TLBO) is one of nature-inspired meta-heuristic algorithm which is proven to have effectiveness and efficiency in solving complex optimization problems. Although TLBO has remarkable capacity to solve different optimization problems, but the issue of trapping into local optimal is a common drawback of meta-heuristic algorithm, and TLBO is no exception. Thus we use a novel search strategy to improve the performance of TLBO by means of a new selection operation. We select twenty-nine benchmark functions of IEEE CEC2017 to testify the performance of proposed algorithm in terms of effectiveness and robustness. Experimental results exhibit that the proposed algorithm outperforms other state-of-the-art algorithms.

## 【学位申請審査結果の要旨】（叶 嘉棊）

当博士学位論文審査委員会は、標記の博士学位申請論文を詳細に査読し、投稿された論文の査読プロセスを確認した。本博士論文と従来の論文との類似性指標は24%であり(iThenticate)、剽窃等の問題がないことを確認した。また論文公聴会を令和4年7月19日(火曜日)に公開で開催し、詳細な質疑応答を行って論文の審査を行った。以下に審査結果の要旨を記す。

1962年にHubelとWieselが猫の一次視覚野(V1)で方位選択性細胞を発見して以来、60年間の懸命な研究努力がされていたにもかかわらず、方位選択性細胞が(1)どのように、(2)どの程度、そして(3)いずれのメカニズムによって、物体の方位検出に貢献しているかが謎のままである。博士学位申請論文では、方位選択性細胞が物体の方位検出にどのように貢献したかを説明するための新しい定量的メカニズムを提案した。まず、局所方位検出ニューロンが視覚神経系に存在すると仮定し、樹状突起ニューロンやMcCulloch-Pittsニューロンの単層パーセプトロンを用いて、局所方位検出ニューロンを実装した。更に、これらの局所方位検出ニューロンを用いて、局所的な方位情報を得たうえ、大局的な方位を検出するメカニズムを提案し、計算機シミュレーションにより、提案したメカニズムが物体のサイズ、位置に関係なく、すべての実験において物体の方位を正しく検出できることを示した。最後に、提案したメカニズムに基づいて、方向検出およびその他の視覚情報処理のための一般化された人工視覚システム(AVS)を提案し、その有効性を証明するために、従来の畳み込みニューラルネットワーク(CNN)との比較実験をした。計算機実験結果により、人工視覚システム(AVS)は、物体の方位検出に対し、識別精度、ノイズ耐性、計算コスト、学習コストと合理性すべての面において、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を完全に凌駕していることを示した。

学位論文は六つの章で構成されている。第1章では、方位検出に関する過去の研究について総括している。第2章では、樹状突起ニューロンによる方位検出メカニズムを提案した。第3章では、McCulloch-Pittsニューロンの単層パーセプトロンによる方位検出メカニズムについて詳しく紹介した。第4章では、学習アルゴリズムを提案している。更に、第5章では、まとめと展望を述べている。

当博士論文審査委員会は、研究内容及び研究成果を慎重に吟味した結果、本  
博士学位申請論文が博士の学位を授与することに十分に値するものと認め、合  
格と判断した。