

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	Natalia Efremova
論文題目	A hierarchical neural network model of object recognition and mental rotation		
(論文内容の要旨)			
It has been reported that the primate visual system is able to perform classification and categorization of objects based on their shape, and that humans rely heavily on shape similarity among objects for object categorization and identification. The visual information is processed in two major parallel pathways: ventral and dorsal processing streams. In this study, we propose a cortical architecture for hierarchical visual perceptual processing, resembling the ventral visual stream in primate visual cortex. The proposed model consists of hierarchy of modules, representing the primary visual and inferotemporal cortex (IT) and can be divided into two parts. The base module, which corresponds to the IT cortex, is the self-organized map (SOM) of functional radial-basis function (RBF) modules. The preprocessing module, which corresponds to the visual areas V1-V4, is the hierarchy of increasingly sophisticated representations, naturally extending the model of simple and complex cells of Hubel and Wiesel. The combinations of the features extracted at this stage are then processed with the neurons of IT cortex. We show that a neural network model, based on this architecture, can perform recognition and classification of rotating natural objects. These objects are presented to the model at 2D projections, made at a ten-degree step. We further show that the model can create a similarity map of the objects. This result can be interpreted at the two levels of abstraction: the level of the similarity map (SOM-level), and the level of the inner model representations (RBF-level). One of the key points of this research is the claim for neurophysiological plausibility of the model, as it makes testable predictions, which can be compared with the recent experimental data. Therefore, we can compare the model's performance with experimental data from humans and non-human primates. The behavior of the proposed network is consistent with the corresponding properties of monkey IT cortex. The method of storage of information in the SOM of RBFs is similar to the organizational map of the IT region: the inner representations of the input objects in the RBF centers resemble the columnar organization of the IT cortex. The similarity map generated by the model can be compared with the pattern of horizontal activation of the IT area, as was described in the number of recent fMRI and optical imaging studies. To justify the network's performance, we address the typical problems in recognition systems and investigate the model's invariance to scale and translations. Finally, we show how the SOM of RBFs model can be extended to perform additional tasks. We regard two main extensions of the model: mental rotation task for recognition of the objects, presented from non-canonical views, and the attentional shift task for robust categorization of input objects. These extensions allow us to make some important suggestions about the organization of the primate visual systems: the existence of the additional pathway for recognition of the objects, presented from the non-canonical views and the presence of prerequisites for the categorization of the at the IT area of the primate cortex.			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、ヒトを含む高等動物のパターン認識の中枢である下側頭葉の神経回路の理論的研究である。得られた主要な研究成果は以下のとおりである。

1) 最新の心理物理学および神経生理学の成果に基づき、三次元物体の認識と心的回転に関する生理学的に妥当なモデルを提案した。モデルは、一次視覚野や下側頭葉 (IT) に対応するような複数のモジュールの階層構造から構成された。シミュレーションの結果、サルや人間の大脳皮質のいくつかの重要な特性をシミュレートすることが可能となった。特にネットワークにおいて獲得されたデータ構造はTE野の生理学的に知られたマップに類似していた。また動径基底関数 (RBF) の中心に対応する物体表現は、ITのコラム構造に類似していた。さらにTE野における水平方向の組織化は、本モデルで獲得されたマップときわめて類似していた。

2) 提案された神経回路モデルは、回転する自然物体を頑健に認識し、分類することを明らかにした。さらにその表現は、物体の拡大縮小および平行移動に対する不変性を有した。しかし物体の部分をスクランブルした画像に対しては認識不可能であり、これは神経生理学的な実験とよく一致している。

3) 最後に、本モデルを2つの機能を持つように拡張できるかが検討された。第一は、非典型的な景観から提示された物体に対する心的回転であり、もう一つは頑健なカテゴリー化に対する注意の移動である。これらの拡張によって、より頑健なパターン分類機能が得られることが示唆された。

下側頭葉が主に視覚パターン認識の中枢であることは古くから知られているが、残念なことに、パターン認識のアルゴリズムについては、あまり分かっていない。しかし、心理学や生理学的な研究から下側頭葉における情報表現や情報処理を示唆する重要な特性が知られている。本研究は、現時点で知られているほとんど全ての重要な特性を単一の神経回路網モデルによって説明したものであり、独創性が高く画期的なものであると言える。

また網膜に投影された視覚情報は、大脳の一次視覚野に伝達され、その後、複雑な処理を経てパターン認識の下側頭葉に到達する。本研究では、一次視覚野から下側頭葉までの情報処理の本質を捉えた階層的ニューラルネットワークモデルを提案し、教師無し学習により、現在知られている下側頭葉のデータをうまく説明出来ることを示した研究であり、これまでに殆ど明らかにされてこなかった大脳におけるパターン認識の基本的アルゴリズムが明らかにされたという点で、高く評価される。

よって、本論文は博士 (情報学) の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成24年2月23日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。