

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500283

研究課題名(和文) 情報論的自己組織化マップとその応用

研究課題名(英文) Information-theoretic self-organizing maps and its application

研究代表者

上村 龍太郎 (Kamimura, Ryotaro)

東海大学・情報教育センター・教授

研究者番号：80176643

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではニューラルネットワークの情報論的研究において目的に応じて多様で開かれた表現を創る研究を行った。具体的には、単純で自然な表現、さらに社会的表現を生み出す仕組みをモデル化しようとした。この開放型の表現研究の中から、ニューラルネットワークの基礎能力を高め、さらに情報量の定義を変更する必要が出てきた。このため多層型ニューラルネットワークを構築する研究に着手した。さらに、これまで情報量の蓄積のみを考えていたが情報量の可能性を考慮することが必要であることがわかった。また、情報論的方法是複雑であり、これを単純化しない限り実用的な方法とはなりえないこともわかった。

研究成果の概要(英文)：The models in neural networks have aimed to create representations faithful to input patterns as much as possible. However, it has turned out that the faithful representations are not necessarily effective in actual situations. Thus, the present study attempted to create multiple representations, depending on different situations. However, in the course of this pursuit to the open representations, it has turned out that it is necessary to build up more powerful network models for realizing open representations. For this, new multi-layered neural networks model was developed based on the information-theoretic self-organizing maps. In addition, the definition of information content should be changed to take into account the possibility of the information more exactly. Finally, the information theoretic methods should be simplified to be applicable to large data sets.

研究分野：ニューラルネットワーク

キーワード：ニューラルネットワーク 自己組織化マップ 情報論的方法 能動学習 多層ニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

これまでの研究では、生体系は、一定の条件の下で常に外部入力についての情報量を最大化するように構造化されていることを示してきた。生体系は不確定性の高い環境下で生きるためには、その不確定性を減少させるあらゆる情報を常に必要としていると考える。ニューラルネットワークは、生体系の仕組みを模倣しようとするものであり、入力についての情報を最大限獲得しようとするのは学習の本質となっていると考えることが出来る。

本研究の申請者は、ニューラルネットワークの学習法則が情報理論と関係していることを明らかにしてきた。すなわち、競合学習は、入力を忠実に模倣しながら入力と出力の相互情報量を最大化する方法であるということを示してきた。また、この方法は容易に自己組織化マップに応用することが出来ることも示した。

自己組織化マップでは、データ(データ構造や分布等)の出来るだけ忠実な表現が特に必要とされている。そこで、忠実な表現を獲得する多くの研究が現在行われている。この忠実性を測定する再構築誤差、topological preservation に関する尺度も数多く提案されている。しかし、この忠実性を拘束条件として情報量を最大化して得られる内部表現は、常に有用な情報をもたらすものではない。忠実性を補完する様々な内部表現の作成がデータの詳細な理解には必要である。

さらに、生体系はデータを忠実に表現するのではなく生体系の目的に応じて、特にその生存に必要な形へ入力データを変形・加工していることは明らかである。例えば、視覚情報処理で良く知られている Mach 帯は、入力情報を大きく変形し輪郭だけを浮かび上げらせようとするものである。輪郭は物体の認識においては最も重要であるからである。

また、まれにしか生起しない刺激に特に注意を向ける研究もおこなわれている。これは、忠実性との関係を保ちつつ特定の目的のための表現を作る可能性を示している。

2. 研究の目的

このような状況において研究の目的を忠実な表現から開かれた表現(open representation)への変換しようとした。

これまで研究してきた情報論的競合学習・自己組織化マップは、データの構造や分布の出来るだけ忠実(faithful representation)な表現を目指すものであった。本研究では、忠実な表現から多様な目的のために開かれた表現(open representation)への研究へと転換しようとした。

これは、より生体系の仕組みに近づくためでもあり、研究をより実用的にするためであり、さらには新しい自己組織化モデルを創造するためでもあった。

3. 研究の方法

次の3点について研究し、実際の計算モデルを構築しようとした。すべて情報量最大化の拘束条件を変化させることで対応した。すなわち、単純表現(simple representation)、自然な表現(natural representation)、そして社会的表現(social representation)である。

まず第1に、単純化へバイアスをかけた研究をおこなった。この研究はすでに情報エンハンスト法の下に研究が進んでいた。データの構造をよく知るためにはできるだけ単純化し表現することが必要であると考え。具体的には、入力ニューロン、出力ニューロン、入力と出力の間のコネクション、これらのすべての重要性を分析し、情報量への寄与率を計算する方法を提案し、本質的な要素からなるネットワークを構築しようとした。

次に、自然な表現である。この研究は自己組織化マップの特有の問題を解決するための技術的研究に限った。自己組織化マップの出力マップは、ニューロン間の距離を自然な形で表現してはいない。得られたウェイトに対して、多くの視覚化技術を用いクラス境界を再表現している。最近、視覚化を目標とした研究が盛んになって来ている。ここでは、学習の際に、入力パターンの距離と同時にニューロン間の距離も考慮した自己組織化マップを構築しようとしている。情報理論的自己組織化マップでもこのようなニューロン間の距離を自然な形で表現する研究をおこなった。

最後に、社会的表現である。自己組織化マップは、ニューロンの集団を扱っている。しかし、ニューロンの関係は単純であり、お互いの距離が近ければ近いほど関係が深いということを前提としている。このニューロン間の関係を多様化し、社会的な関係を導入すとした。

4. 研究成果

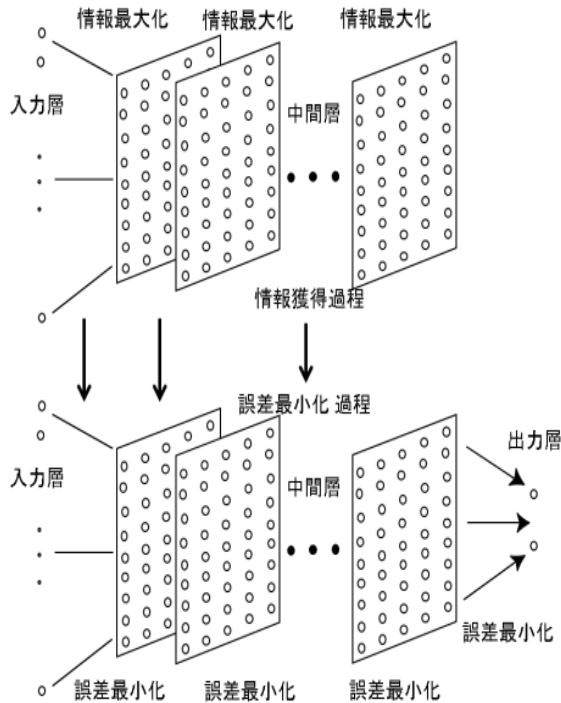
平成24年度25年度の研究により、単純で、自然な表現および社会的表現を作り上げる可能性を見出すことができた。

さらに、これらの研究の中から、階層型ネットワークへの拡張と新しい情報量の可能性、生体系との比較、方法の単純化、さらに制限付き情報量最大化の必要性を感じ取ることができた。

まず、階層型ネットワークへの拡張である。研究の中で、自己組織化マップの能力をより高める必要性が生じた。このために、研究をさらに進めて、これまでの単層で教師なし学習に基づいた情報論的自己組織化ニューラルネットワークを多層型でかつ教師つき学習へ拡張した。これは、学習の基礎能力が高く、応用しやすいという特徴を持つ多層ニューラルネットワークを構築する研究につながった。図参照。

研究の初期段階では、多層型ネットワークを用いることは想定していなかった。もちろ

ん、情報理論的方法ではすでに Linsker は、



多層ネットワークを用い、各層において常に保存すべき情報量を最大化するように最適化されていると考えた。しかし、Linsker の方法は、実際に実現することは困難であった。このことから初期段階では単層のネットワークに限って研究をおこなった。

研究の成果として情報理論的研究ではじめて本格的な多層型神経回路網の学習方法を構築する可能性を見出すことができた。これまでの情報理論的方法の能力を飛躍的に高める方法の可能性を見出すことができた。

次に、自己組織化マップの多層型ネットワークと教師あり学習への拡張である。自己組織化マップでは、多層型への拡張と他の教師つき学習に匹敵する能力を持つ教師つきの学習方法は実現されてはいない。新しい方法は、特別な仕組みを必要とせず自己組織化マップを自然な形で教師付多層型ネットワークへ拡張するものである。

さらに深層学習との関係である。情報論的研究は、自己組織化マップを基本として拡張されてきた。すなわち理解しやすい多層ニューラルネットワークを作ることが可能となる。さらにニューロンの配置を自動的に決定し、ニューロン間の結合関係を自動的に制限し特徴分析ニューロンを作り出す可能性も持っている。これまでの深層学習の研究では学習の結果をより理解しやすくするものは少ない。新しい多層ネットワークは、分類能力等を向上させるだけではなく、学習結果をわかりやすく表現することができる可能性を持っている。

開かれた表現の研究を多層ネットワークの学習に利用すれば、汎化能力が高かつわかりやすいネットワークできる可能性は高

くなった。

次に、生体系の神経回路との比較である。多様な層をもつ自己組織化マップは、どのような特徴抽出ニューロンをどのような層に作っていくのか。Linsker が主張したように、この方法は、自動的に生体系のニューロンに似た特徴抽出ニューロンを作り出すことができるのか、検討できる段階まで研究は達したと考える。

また新しい情報量を導入する必要性が認められた。これまでの情報論的方法では、ニューラルネットワークに蓄積する情報量をその理論の基本とした。しかし、研究の中で、蓄積された情報量は必ずしもニューラルネットワークの能力の向上にはつながらないことがわかった。たとえば、情報量を大きくしていくと汎化能力は逆に小さくなることがわかっている。これは情報量を大きくする過程で余分で不必要な情報を獲得するからである。

この解決のためには獲得すべき情報量の量だけではなくその質を考慮する必要があると考える。このためには新しい情報量の定義を模索する必要があると考える。

新しい情報量は、既存の入力データの情報を保存するのではなく、どのような新しいデータに対しても対応できる可能性を持ったものである必要があるという結論に達した。どれだけ多量の情報を蓄積したとしてもそれが新しい状況に対処できなければ意味のないものである。新しい情報量の定義の必要性は切実なものになった。

次に方法の単純化である。これまでの情報論的方法はかなり複雑な方法であり、最近のビックデータに適用しようとするとはほとんど計算が不可能であることもわかった。したがって、計算を出来るだけ簡単にしない限り、実用化は困難となる。研究の中で、情報量の最大化をそのまま実現するのではなく擬似的に情報量を最大化する必要性が出てきた。すなわち、情報量の最大化と同じ動きをより単純な方法で近似する方法である。

さらに、制限付き情報量の最大化である。情報量最大化ではどのニューロンが発火するかは方法に任せられており、研究の目的によっては決められない。これは情報量の方法を応用する大きな妨げとなっていた。新しい研究としてはどのニューロンを発火させるかを前もって決めておき、情報量を最大化する方法の必要性も明らかとする必要がある。

忠実な表現から開かれた表現へシフト研究を実現するためには、より生体系のネットワークに近い多層型ネットワークを用いる必要があることがわかった。

さらに開かれた表現を可能にするにはこれまでの情報量の定義を変更する必要性に迫られた。また、情報量最大化の内容を考慮した方法に変化させることによって、開かれて表現の実現が可能となることがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 25 件)

(1)R. Kamimura, “Improving visualisation and prediction performance of supervised self-organising map by modified contradiction resolution”, *Connection Science*, Volume 27, Issue 1, 2015, pages 40-67, 査読有.

(2)R. Kamimura, “Input information maximization for improving self-organizing maps”, *Applied Intelligence* September 2014, Volume 41, Issue 2, pp 421-438, 査読有.

(3)R. Kamimura, “Cooperation-Controlled Learning for Explicit Class Structure in Self-Organizing Maps”, *The Scientific World Journal*, Hindawi Publishing Corporation, Volume 2014 (2014), 24 pages, 査読有.

(4)R. Kamimura, “Double Competition for Information-Theoretic SOM”, *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence(IJARAI)*, 3(11), 2014. Pages 21-30.

(5)R. Kamimura, “Explicit knowledge extraction in information-theoretic supervised multi-layered SOM”, *Proceedings of 2014 IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence (FOCI)*, Pages 78-83, 査読有.

(6)R. Kamimura, “Information acquisition performance by supervised information-theoretic self-organizing maps”, *Proceedings of 2014 Sixth World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, 2014, Page(s):151 – 157, 査読有.

(7)R. Kamimura, “Information-theoretic multi-layered supervised self-organizing maps for improved prediction performance and explicit internal representation”, *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, 2014, Page(s): 953 – 958, 査読有.

(8)R. Kamimura and T. Kamimura, “Embedded information enhancement for neuron selection in self-organizing maps”, *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, 2014, Page(s):959 – 965, 査読有.

(9) R. Kamimura, “Simplified information acquisition method to improve prediction performance: direct use of hidden neuron outputs and separation of information acquisition and use phase”, *Proceedings of the International Workshop on Artificial Neural Networks and Intelligent Information Processing (ANNIE2014)* in conjunction with ICINCO 2014, September 2014, pp.78-87, SCITEPress, 査読有.

(10) R. Kamimura and R.Kitajima, “SOM Knowledge Induced Learning with Maximum Information Principle to Improve Multi-layered

Neural Networks”, *Proceedings of the IASTED International Conference*, February 16 - 17, 2015 Innsbruck, Austria, pp.255-261, 査読有.

(11)R. Kamimura, “Simplified Information Maximization for Improving Multi-layered Neural Networks”, *Proceedings of the IASTED International Conference*, February 16 - 17, 2015 Innsbruck, Austria, 2015 pp.262-268, ACTA Press, 査読有.

(12) R. Kamimura, “Information-Theoretic Supervised SOM with Multiple-Winners”, *Proceedings of Worldcomp*, 2014, pages, 282-287, 査読有.

(13) R. Kamimura, “Controlling Relations between the Individuality and Collectivity of Neurons and its Application to Self-Organizing Maps”, *Neural Processing Letters*, October 2013, Volume 38, Issue 2, pp 177-203, 査読有.

(14) R. Kamimura, “Repeated comprehensibility maximization in competitive learning”, *Neural Computing and Applications*, Vol.22, Issue 5, pp.911-932, April, 2013, 査読有.

(15) R. Kamimura, “Similarity interaction in information-theoretic self-organizing maps”, *International Journal of General Systems*, Volume 42, Number 3, pp.239-267, 2013, April 2013, 査読有.

(16) R. Kamimura, “Contradiction Resolution between Self and Outer Evaluation for Supervised Multi-Layered Neural Networks,” Vol.2, No.2, pp.29-38, 2013, *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence(IJARAI)*, 2(7), 29 – 38, 2013, 査読有.

(17) R. Kamimura, “Contradiction Resolution of Competitive and Input Neurons to Improve Prediction and Visualization Performance,” *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence(IJARAI)*, Volume 2 Issue 12, 42-51, 2013, April, 査読有.

(18) R. Kamimura, “Contradiction resolution with explicit and limited evaluation and its application to SOM,” in: *Neural Networks (IJCNN)*, The 2013 International Joint Conference on Conference Date(s): 4-9 Aug. 2013, Dallas, 1 – 8, 査読有.

(19) R. Kamimura, “Contradiction Resolution with Dependent Input Neuron Selection for Self-Organizing Maps,” *Proceedings of Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2013 IEEE International Conference on 13-16 Oct. 2013, Page(s):1353 – 1360, 査読有.

(20) R. Kamimura, “Dependent input neuron selection in contradiction resolution,” *Proceedings of 2013 IEEE Sixth International Workshop on Computational Intelligence & Applications (IWCI/A)*, 13-13 July 2013, Page(s):45 - 50, 査読有.

(21) R. Kamimura, “Interacting Individually and Collectively Treated Neurons

for Improved Visualization,” Studies in Computational Intelligence,,Vol.465, 2013, Pages,pp 277-290 , 査読有 .

(22) R. Kamimura and R. Kitajima, "Gradual information maximization in information enhancement to extract important input neurons," Proceedings of the IASTED International Conference Artificial Intelligence and Applications (AIA 2014) February 17 - 19, 2014 , 査読有 .

(23) R. Kamimura, "Relative information maximization and its application to the extraction of explicit class structure in SOM, Neurocomputing, Vol. 82, No.1, April, 2012, Pages 37-61 , 査読有 .

(24) R. Kamimura, "Double enhancement learning for explicit internal representations: unifying self-enhancement and information enhancement to incorporate information on input variables," Applied Intelligence, Vol.36, No.4, 2012, pages 834-856 , 査読有 .

(25) R. Kamimura, "Similarity interaction in information-theoretic self-organizing maps," International Journal of General Systems, Vol.42, No.3, Pages 1-29, March 2013 , 査読有 .

〔学会発表〕(計 件)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上村 龍太郎 (KAMIMURA RYOTARO)
東海大学・情報教育センター・教授

研究者番号：80176643

(2) 研究分担者

竹内 晴彦 (TAKEUCHI HARUHIKO)

独立行政法人・産業技術総合研究所・主任研究員

研究者番号：00357401

(3) 連携研究者

()

研究者番号：