

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18500179

研究課題名（和文） 情報量最大化による競合学習の実現とその応用

研究課題名（英文） Information-Theoretic Competitive Learning and its Application to Human Information Processing

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

研究成果の概要：

競合学習を実現する情報量最大化法を提案し、各種の応用を通して、人間・生体系の情報処理過程の多くが情報量最大化のプロセスであるということを実証しようとした。研究では、情報量最大化学習の高速化の研究をおこない大規模問題への応用可能性を示した。さらに、個別特徴の抽出の方法を提案し、入力パターンの詳細な特徴を抽出することに成功した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	600,000	4,200,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：競合学習、ニューラルネットワーク、相互情報量

## 1. 研究開始当初の背景

競合学習は、ニューラルネットワークの学習の基礎として多くの学習方法に応用されてきている。しかし、競合学習には多くの問題点があることも指摘されてきている。すなわち、dead neurons の問題、生体系のシステムとの差異、さらに計算の複雑さの問題である。

第1に、デッドニューロンは競合学習では大きな問題となっている。多くの方法が解決のために提案されてきている。たとえば、最近 von Hulle によってエントロピーの最大化によって競合学習を実現する手法が提案さ

れたが、かなり複雑な学習法であったこともあり、一般的には普及していない。

第2に、生体系との差異の問題である。競合学習の応用としての Kohonen の自己組織化マップは良く知られている。自己組織化マップは、単純であり強力な可視化能力をもっており、ビジネス分野等多くの分野で実用化されている。しかしながら、自己組織化マップは、生体系の自己組織化を模倣しながらも、その単純化の要請のため、生体系のメカニズムとはかなり異なっているものとなっている。

これらの問題を解決するために情報理論を用いた方法が、これまで提案されてきてい

る。情報理論を使った研究としては、Linkskerの研究が良く知られている。Linkskerは、maximum information preservationと言う原理を設定し、自己組織化の規則を導出しようとした。情報最大化原理が生体系の情報処理の基本であることを示した。Linkskerの研究は、その後の多くの情報論的研究に影響を与えた。しかしながら、彼の計算法は、複雑になりすぎており、実用に耐える状況には到達していない。また、その後の研究も単純で強力な学習規則を生み出したとは言えない。

## 2. 研究の目的

これらの問題点を解決するために、競合学習を実現する新しい情報量最大化法を提案し、各種の応用を通して、人間・生体系の情報処理過程の多くが情報量最大化のプロセスであるということを実証しようとした。この情報理論的アプローチを情報論的競合学習 (information-theoretic competitive learning, ITCL) と呼ぶことにした。

本研究では、これらのカテゴリーに属する各種学習方法を改善しながら生命情報学、認知科学、応用言語学の諸問題に適用し、人間の情報処理過程の解明を目指した。特に、人間の情報処理過程と情報量最大化原理との間の関係を解明して行くことを最大の目標とした。

## 3. 研究の方法

情報学習方法から派生してきた各種方法を精緻化することにより研究を進めた。

(1) 情報競合学習の基礎では、Competitive unit activation functions の設定の問題を解決するために、いくつかの関数 (sigmoid, Euclidean distance, Minkowski, Gaussian) の比較をおこなった。これらの間の関係や、どの関数が、どのような場合に有効であるかがわかっていながらである。

(2) ネットワーク成長アルゴリズムの greedy network growing algorithm では、必要最小の競合学習よりスタートし、次第にネットワークを複雑にすることができる。ニューロンを追加する基準が情報量だけであるため、従来のネットワーク成長学習と比べると単純に成長過程が実現できる。Greedy network-growing では、ネットワークの成長にしたがって複雑な特徴を抽出する可能性は、すでに確かめている。しかしながら、どのような特徴をどの段階で抽出させるのか等の問題が残っている。さらに、情報量を増加させることが困難である状況も観察されているし、いろいろな activation function を用いた際の変化もまだ検証されていない。これらの問題の解決を図る実験をおこなった。

(3) Teacher-directed learning では、教師情報を入力情報と同時にネットワークに与

える方法である。誤差最小化法を用いることなく学習をおこなうことができ、非常に効率の良い学習法である。しかし、教師信号をどの程度の重みをつけて与えるか、あるいは学習が進むにつれてどのように教師信号の強さを調整するか等の問題を解決する必要がある。これらの問題を解決するための実験をおこなった。

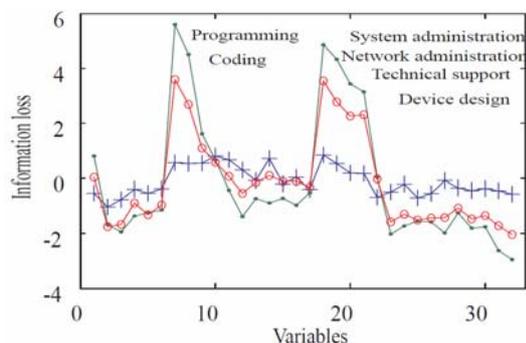
(4) Supervised ITCL では、誤差を最小化する層を設定し、競合学習とのハイブリッドモデルを仮定した。競合層と出力層のどのような組み合わせが可能であるか、検証した。さらに、伝統的な方法、たとえば、counter-propagation networks や radial-basis function networks との関係性を明らかにする実験をおこなった。

(5) コスト付き情報量最大化では、コストとしてユークリッド距離を用いていたが、問題に応じていろいろなコスト関数を定義できる可能性を探求した。

(6) 自己組織化マップでは、ニューロンの相互関係を情報量最大化の中にどのように導入するか明確でない。相互関係の導入方法を確固としたものにするための実験をおこなった。

## 4. 研究成果

各種情報理論的な学習方法は、3年間の研究により、一步実用段階に近づいてきたと考えることができる。さらに、次の二つの面で、



情報理論を用いた方法を前進させることができた。すなわち、情報損失法と自由エネルギーの導入である。

これまでの研究では、情報量は学習そのものを促進するために導入されてきた。しかし、研究の過程で、ニューラルネットワークの各部位はどのような働きをするのかを探求するために情報量は使用できることがわかってきた。このために、情報競合学習の応用の可能性が広がった。上図は、情報教育に応用したものである。学生は、プログラム、情報科学に興味をもっているかどうかで、大きく二つのグループに分かれることが確かめられた。

また、計算の複雑さは、自由エネルギーを導入することによって解決できることがわかってきた。下図は、自由エネルギーを用い

た方法と通常の競合学習の最終的な誤差をあらわしている。図から理解できるように。自由エネルギーを用いると誤差をかなり減少させることができることがわかった。

Methods	Average	Stdev	Max	Min
Competitive	22.7	8.680	43	14
Free energy	5.6	1.350	7	3

最後に、情報量最大化による競合学習法は、この3年間の研究において、実用化段階までかなり近づいてきたと考えることができる。さらに、各種方法の組み合わせによるネットワークの能力の向上の研究が必要である。また、応用研究を進め、実用化の可能性を探求することが必要であると考えられる。

#### 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 31 件)

(1) R. Kamimura, “Forced information for information-theoretic competitive learning,” in *Machine learning*, pp. 125–144, IN-TECH, 2009 (査読有) .

(2) R. Kamimura, “Conditional information and information loss for flexible feature extraction,” in *Proceedings of the international joint conference on neural networks(IJCNN2008)*, pp. 2047–2083, 2008 (査読有) .

(3) R. Kamimura, “Feature discovery by enhancement and relaxation of competitive units,” in *Intelligent data engineering and automated learning-IDEAL2008(LNCS)*, vol. LNCS5326, pp. 148–155, Springer, 2008 (査読有) .

(4) R. Kamimura, “Mutual information maximization by free energy-based competitive learning for self-organizing maps,” in *Proceedings of the international conference on systems, man, and cybernetics(SMC2008)*, pp. 1819–1825, 2008 (査読有) .

(5) R. Kamimura, “Interpreting and improving multi-layered networks by free energy-based competitive learning,” in *Proceedings of the international conference on systems, man, and cybernetics(SMC2008)*, pp. 1812–1818, 2008 (査読有) .

(6) R. Kamimura, “Feature detection and information loss in competitive learning,” in *Proceedings of the international conference on*

*soft computing and intelligent systems and the international symposium on advanced intelligent systems(SCIS and ISIS2008)*, pp. 1144–1148, 2008 (査読有) .

(7) Kamimura, “Assimilation of individual activities to collective ones to produce explicit self-organizing maps,” in *Proceedings of the IASTED international conference on artificial intelligence and applications (AIA2009)*, pp. 158–162, 2009 (査読有) .

(8) R. Kamimura, “Supervised enhanced learning to simplify internal representations of multilayered networks,” in *Proceedings of the IASTED international conference on artificial intelligence and applications (AIA2009)*, pp. 169–174, 2009 (査読有) .

(9) R. Kamimura, O. Uchida and S. Hashimoto, “Greedy network-growing algorithm with Minkowski distances, *International Journal of General Systems*. Vol. 36, 2007, pp. 157-177 (査読有).

(10) R. Kamimura “Combining Hard and Soft Competition in Information-Theoretic Learning” *Proceedings of IEEE symposium on foundations of computational intelligence,2007*, pp.578-582 (査読有)

(11) R. Kamimura, F. Yoshida, T. Yamashita and R. Kitajima, “Information-Theoretic Variable Selection in Neural Networks” *Proceedings of IEEE symposium on foundations of computational intelligence, 2007*, pp.578-582 (査読有)

(12) R. Kamimura, “Forced Information and Information Loss for a Student Survey Analysis”, *Foundations of Computational Intelligence, 2007. FOCI 2007. IEEE Symposium on*, 1-5 April 2007 Page(s):630 – 636 (査読有)

(13) R. Kamimura, “Controlled Competitive Learning: Extending Competitive Learning to Supervised Learning”, 2007. *IJCNN 2007. International Joint Conference on* 12-17 Aug. 2007 Page(s):1767 – 1773 (査読有) .

(14) R. Kamimura, and R. Kitajima, “Forced Information Maximization to Accelerate Information-Theoretic Competitive Learning” *IJCNN 2007. International Joint Conference on* 12-17 Aug. 2007 Page(s):1779 - 1784 (査読有)

(15) R. Kamimura “Partially Activated Neural

Networks by Controlling Information” Lecture Notes in Computer Science LNCS4668, 2007, pp. 1611-3349 (査読有)

(16) R. Kamimura “Information loss to extract distinctive features in competitive learning” Proceedings of IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2007, pp.1217-1222 (査読有)

(17) R. Kamimura, “Free Energy-based Competitive Learning for Self-Organizing Maps” Proceedings of Artificial Intelligence and Applications, 2008, Feb, pp.414-419 (査読有) .

(18) R. Kamimura, T. Taniguchi and R. Kitajima, “An Information-Theoretic Approach to Feature Extraction in Competitive Learning” Proceeding of Artificial Intelligence and Applications , 2008, pp.388-394 (査読有) .

(19) R. Kamimura, “Free Energy-based Competitive Learning and Minimum Information Production Learning” Proceeding of Artificial Intelligence and Applications, 2008, pp.395-400 (査読有) .

(20) R. Kamimura, “Free Energy-Based Competitive Learning for Mutual Information Maximization” Proceedings of IEEE SMC International Conference on Distributed Human-Machine Systems, 2008, pp.215-222, pp.414-419 (査読有) .

(21) R. Kamimura, “Supervised Competitive Learning for Explicit Internal Representations”, Proceedings of IEEE SMC International Conference on Distributed Human-Machine Systems, 2008, pp.223-227 (査読有) .

(22) R. Kamimura, “Forced Information and Information Loss in information-Theoretic Competitive Learning,” Proceedings of Conferences on Artificial Intelligence and Applications, pp.69-74, Feb.,2007 (査読有) .

(23) R. Kamimura, F. Yoshida, R. Kitajima, “Interpreting Cabinet Approval Ratings by Neural Networks,” Proceedings of Conferences on Artificial Intelligence and Applications, pp.64-68, Feb.,2007 (査読有) .

(24) R. Kamimura, “Student Survey by Information-Theoretic Competitive Learning,” Proceedings of IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.5135-5140, Oct., 2006 (査読有) .

(25) R. Kamimura, “Controlling Excessive Information by Surface Information Criterion for Information-Theoretic Self-Organizing Maps,” Proceedings of IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.5130-5134, Oct., 2006 (査読有) .

(26) R. Kamimura, “Automatic Inference of Cabinet Approval Ratings by Information-Theoretic Competitive Learning,” LNCS 4232, pp.897-908,2006 (査読有) .

(27) R. Kamimura, “Self-organizing by Information Maximization: Realizing Self-Organizing Maps by Information-Theoretic Competitive Learning,” LNCS 4232, pp.925-934,2006 (査読有) .

(28) R. Kamimura, F. Yoshida, R. Kitajima, “Collective Information-Theoretic Competitive Learning: Emergency of Improved Performance by Collectively Treated Neurons Learning,” LNCS 4232, pp.626-633,2006 (査読有) .

(29) R. Kamimura, F. Yoshida, R. Kitajima, “Inference of Cabinet Approval Ratings by Neural Networks,” Proceedings of SCIS2006, pp.213-217, Sep., 2006 (査読有) .

(30) R. Kamimura, “Cooperative information maximization with Gaussian activation functions for self-organizing maps,” Vol.17, No.4, pp.909-918, IEEE Transactions on Neural Networks, 2007 (査読有) .

(31) R. Kamimura, “Supervised Information Maximization by Weighted Distance,” Proceedings of International Conference on Neural Networks, pp.3456-3462, July, 2007.

[学会発表] (計 4 件)

(1) R. Kamimura, “Partially enhanced competitive learning,” in Proceedings of the international conference on neural information processing (ICONIP2008), Auckland, November, 2008 (査読有) .

(2) R. Kamimura, “Feature detection by structural enhanced information,” in Proceedings of the international conference on neural information processing (ICONIP2008), November, Auckland, 2008 (査読有) .

(3) R. Kamimura, “Enhanced visualization by combining som and mixture models,” in

Proceedings of the international conference on neural information processing (ICONIP2008), November, Auckland, 2008 (査読有) .

(4) R. Kamimura, “Collective activations to generate self-organizing maps,” in Proceedings of the international conference on neural information processing (ICONIP2008), November, Auckland, 2008 (査読有)

[図書] (計 2 件)

(1) 上村龍太郎、吉田文彦、山下俊恵他、” 社会知能システム入門、” 2 月、2007, pp. 1-12(上村担当部分、pp. 1-5, 53-82, 90-91), 東海大学出版会

(2) 山下俊恵、上村龍太郎、高橋隆男、橋本政樹他、” ビジュアルデータアナリシス、” 2 月、2007, pp. 1-102(上村担当部分、pp. 83-93), 東海大学出版会

[その他]

## 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

内田 理 (UCHIDA OSAMU)  
東海大学・情報理工学部・講師  
研究者番号： 50329306

### (3) 研究分担者

竹内 晴彦 (TAKEUCHI HARUHIKO)  
産業技術総合研究所・サービス工学研究センター・主任研究員  
研究者番号： 00357401