

脳創成デバイス研究チーム

Laboratory for Brain-operative Device

チームリーダー 市川 道 教

ICHIKAWA, Michinori

当研究チームの一義的な目標は、自然な入力を認識し、学習によって新しい機能を獲得する能力がある「脳型コンピュータ」を創造することである。多くの数学者や物理学者は脳神経科学の発見を人工神経回路（ニューラルネット）で模倣する研究を進めた。それらの結果は、実験事実を理論的に理解すると同時に計算理論を作りあげることで大いに貢献した。また、これらのニューラルネットの成果はハードウェアやソフトウェアに移植され、市販され、工業的に利用されるに至っている。しかしながら、人間の脳にも匹敵する計算能力とメモリ容量の最新型のスーパーコンピュータ（テラマシン）があり、ニューラルネットの理論的な進歩があるにもかかわらず、人間の脳のインテリジェンスを実現するシステムは未だできていない。生物の脳を理解することは、当然ながら非常に重要であるが、同時に、工学的な再構成手法もコンピュータの創造には必要である。なぜなら、部品も目的も脳とコンピュータでは全く異なっているからである。我々は、生物実験、モデル理論、最新エレクトロニクス技術など、総合的なアプローチで、生物の脳とコンピュータアーキテクチャを関係付ける努力をしている。

1. 生理学的アプローチによる脳機能解明（富永、富永、中川、内藤）

(1) 新しい多点計測法の開発

当研究チームで開発した CCD を用いた光計測イメージング実験にステンレスのエッチングにより製造した多点電極を組み合わせ、多点電気生理計測のデータを光計測で同時計測により観察した。その比較から、多点電極の空間的な離散さを光計測の連続性で補い、逆に、多点電極の時間的連続性により、光計測の時間分解能を補えることが示された。

(2) 新しいアプローチでの記憶学習機構の研究

ラット海馬の高頻度刺激（テタヌス刺激）は長期増強現象を引き起こすことが知られ、この現象は学習の生理モデルとして広く受け入れられている。これは、理論的なモデルの基本になっているヘッブの学習規則と類似であると思われる。我々はラット海馬 CA1 領域の光計測と電気生理計測を綿密に行ったところ、テタヌス刺激で樹状突起の持続的な脱分極が誘起され、LTP が成立することを確認した。ところが、このような条件下で、CA1 錐体細胞は刺激開始直後の 2 ないし 3 回目の刺激に応答した活動電位が観察されるに過ぎず、残りの 95 回以上の刺激では発火しないということを確認した。このことは、少なくともテタヌス刺激による LTP は純粋な意味でのヘッブ規則とは一致せず、非ヘッブ規則あるいは局所的ヘッブなど、これまでの理解を修正することになりそうである。

2. 超並列ニューラルネットの理論および応用研究（呂、辛）

(1) 応用課題

海馬 EEG のデータの自動分別、単語識別、文書コーパスなどの応用課題を超並列ニューラルネットで行った。我々のモデルは従来の MLP（多層パーセプトロン）に比べて、15000 倍から 3500 倍も早く収束することが確認された。全てのモジュールで並列的な学習が可能なが、このような高性能の要因である。また、精度や汎化能力においても従来方法より優位性が示された。

(2) 追記型学習

ニューラルネットの追記型学習は何年にもわたり盛んに研究されてきたが、難しく決定的な解決には至っていなかった。これを克服するため、創発学習と呼ぶ新しい追記型学習法を提案した。原理は、超並列モジュールネットワークの拡張であり、複雑で大きな問題を簡単な小さな問題に分割することから導出されたものである。追記データを独立に学習するため、全体の再学習も余剰なメモリも不要であり、効果的な改善が見られた。

(3) 非線形分離関数

原理的な超並列ネットワークで用いている線形分離は、局所的な応答性がなく、知らない入力に誤った出力を呈するという問題がある。この問題点を克服するため、ガウス分布関数を線形分離の代わりに使うことを試みた。その結果、弱点は克服され、超並列ネットワークにおいても局所調整が可能で応答特性を得ることができた。

3. 脳型コンピュータの創造を目指したロボットおよび合成的アプローチによる研究（山田、竹内、加藤、河田、石山、小野、山本）

(1) 脳型コンピュータのアーキテクチャ

簡素化した脳のモデルを仮定して、画像処理と経験駆動学習を単体で実現する並列型コンピュータアーキテクチャを提案した。経験駆動型学習システムは最初からプログラムされた行動を持ち、もし、環境がそのプログラムだけで不都合がないなら何も変更しない。しかし、一度、環境が変化し、行動の不都合が生じると、とりあえず乱数的な行動を選択して試行する。もし、環境に適応できるとそれを学習する。行動と環境に適応できたかどうかの評価は一般に時間的な遅れがある。その時間差を補償する一時記憶メモリが必要である。システムは良い環境にさらされると、良い学習をする。

(2) 経験駆動学習の実現

小型の模型自動車によって実時間の学習の実現を試みた。模型自動車には視覚経験を入力するための CCD ビデオカメラと脳型コンピュータをハードウェア実装する FPGA（書

替え可能ゲートアレイ)が搭載されている。10 分程度の経験を学習することで、スケール速度 120 キロの高速走行することに成功した。

(3) 生物模倣視覚システム

生物模倣視覚システムによって機体の姿勢誤差検出を行う小型室内ヘリコプターを試作した。ヘリコプタには2つの CCD カメラが搭載されており、光景の特徴を FPGA で抽出する。最初の処理は 2×2 画素でのエッジの傾きを抽出し記憶することである。これは昆虫の目で発見された個眼と似ている。次に、時間の異なる1つの記憶画像から局所の配置変化を検出する。最後に全体の光学的な流れを統合して角速度を検出する。今のところ、完全な自律飛行はできないが、外部に設置した CCD でヘリコプタを観察し、位置誤差を無線経路でフィードバックするとホバリングが可能である。このヘリコプタは 2001 年の理研公開で発表された。

Research Subjects and Members of Laboratory for Brain-operative Device

1. Physiological Approaches to Elucidate Brain Function
2. Modeling and Application Studies on Massively Parallel Neural Networks
3. Robotic and Synthetic Approach Toward Realizing the Brain-Like Computer

Laboratory Head

Dr. Michinori ICHIKAWA

Research Scientists

Dr. Takashi TOMINAGA
Dr. Hitoshi YAMADA
Dr. Johane TAKEUCHI
Dr. Jonghan SHIN
Dr. Bao-Liang LU

Technical Staffs

Ms. Yoko TOMINAGA
Mr. Tadahide KATO
Ms. Naoko NAKAGAWA

Visiting Assistants

Ms. Sumiko AKIMOTO

Visiting Scientists

Dr. Yutaka NAITO (Hawaii Univ., USA)
Mr. Yorihiisa YAMAMOTO (Brainvision Inc.)
Mr. Tadashi KAWATA (Stanley Electric Co.)
Mr. Hideaki ONO (Honda R&D Co.)
Mr. Yutaka ISHIYAMA (Stanley Electric Co.)

Visiting Students

Mr. Edward MANN (Oxford Univ., UK)

誌 上 発 表 Publications

[雑誌]

(原著論文) *印は査読制度がある論文誌

- Shin J. and Talmov A. N.: "A single trial analysis of hippocampal theta frequency during nonsteady wheel running in rats", *Brain Res.* **897**, 217–221 (2001). *
- Tominaga T., Tominaga Y., and Ichikawa M.: "Simultaneous multi-site recordings of neural activity with an inline multi-electrode array and optical measurement in rat hippocampal slices", *Eur. J. Physiol.* **443**, 317–322 (2001). *
- Ichikawa M., Yamada H., and Takeuchi J.: "Flying robot with biologically inspired vision", *J. Rob. Mechatron.* **13**, 621–624 (2001). *
- Lu B., Shin J., and Ichikawa M.: "Massively parallel classification of EEG signals using min-max modular neural networks", *Lect. Notes Comput. Sci.* **2130**, 601–608 (2001). *
- Ma Q., Lu B., Murata M., Ichikawa M., and Isahara H.: "On-line error detection of annotated corpus using modular neural networks", *Lect. Notes Comput. Sci.* **2130**, 1185–1192 (2001). *
- Shin J., Lu B., Talmov A. N., Brankack J., and Matsumoto G.: "Reading auditory discrimination behavior of freely moving rats from hippocampal EEG", *Neurocomputing* **38/40**, 1557–1566 (2001). *
- Tanemura K., Murayama M., Akagi T., Hashikawa T., Tominaga T., Ichikawa M., Yamaguchi H., and Takashima A.: "Neurodegeneration with tau accumulation in a transgenic mouse expressing V337M human tau", *J. Neurosci.* **22**, 133–141 (2002). *
- (その他)
- Lu B., Shin J., and Ichikawa M.: "Fast classification of high-dimensional EEG signals using min-max modular neural networks", *RIKEN Rev.*, No. 40, pp. 58–62 (2001).
- [単行本・Proc.]
- (原著論文) *印は査読制度がある論文誌
- Lu B. and Ichikawa M.: "A Gaussian zero-crossing discriminant function for min-max modular neural networks", *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, Osaka, 2001–9, edited by Baba N., Jain L. C., and Howlett R. J., IOS Press, Amsterdam, pp. 298–302 (2001). *
- Lu B. and Ichikawa M.: "Emergent on-line learning in min-max modular neural networks", *Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks*, Washington, DC, USA, 2001–7, IEEE, New York, pp. 2650–2655 (2001). *
- (その他)
- Lu B. and Ichikawa M.: "Emergent on-line learning: Towards brain-style computers", *Neural Information Processing ICONIP2001 Proc. Vol. 2*, Shanghai, China, 2001–11, Fudan University Press, Shanghai, pp. 655–658 (2001).
- Ma Q. and Lu B.: "Emergent learning and natural language processing", *Neural Information Processing*

ICONIP2001 Proc. Vol. 2, Shanghai, China, 2001–11, Fudan University Press, Shanghai, pp. 659–664 (2001).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Lu B. and Ichikawa M.: “Emergent on-line learning in min-max modular neural networks”, INNS-IEEE Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN 2001), Washington, DC, USA, July (2001).

Lu B., Shin J., and Ichikawa M.: “Massively parallel classification of EEG signals using min-max modular neural networks”, Int. Conf. on Artificial Neural Networks (ICANN2001), (European Neural Network Society), Vienna, Austria, Aug. (2001).

Ma Q., Lu B., Murata M., Ichikawa M., and Isahara H.: “On-line error detection of annotated corpus using modular neural networks”, Int. Conf. on Artificial Neural Networks (ICANN2001), (European Neural Network Society), Vienna, Austria, Aug. (2001).

Lu B. and Ichikawa M.: “A gaussian zero-crossing discriminant function for min-max modular neural networks”, 5th Int. Conf. on Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems & Allied Technologies (KES’2001), Osaka, Sept. (2001).

Takashima A., Tanemura K., Murayama M., Akagi T., Hashikawa T., Tominaga T., and Ichikawa M.: “Mechanism of neurodegeneration through tau accumulation in transgenic mouse expressing human tau”, 31st Ann.

Meet. of Soc. for Neuroscience, San Diego, USA, Nov. (2001).

Ichikawa M., Yamada H., and Takeuchi J.: “A flying robot controlled by a biologically inspired vision system”, 8th Int. Conf. on Neural Information Processing (ICONIP-2001), Shanghai, China, Nov. (2001).

Ma Q. and Lu B.: “Emergent learning and natural language processing”, 8th Int. Conf. on Neural Information Processing (ICONIP-2001), Shanghai, China, Nov. (2001).

Lu B. and Ichikawa M.: “Emergent on-line learning: Towards brain-style computers”, 8th Int. Conf. on Neural Information Processing (ICONIP-2001), Shanghai, China, Nov. (2001).

(国内会議)

富永貴志, 富永洋子, 市川道教: “ラット海馬神経回路特性の可塑性を光学的に測定する”, 第24回日本神経科学・第44回日本神経化学合同大会 (Neuro2001), 京都, 9月 (2001).

市川道教, 富永貴志: “多点計測とその信号処理の技術的可能性と問題点”, 第24回日本神経科学・第44回日本神経化学合同大会 (Neuro2001), 京都, 9月 (2001).

市川道教: “コンピュータは脳に進化できるのか?”, 第39回日本生物物理学会年会, 吹田, 10月 (2001).

富永貴志, 富永洋子, 市川道教: “ラット海馬におけるテタヌス刺激による長期増強はHebb型学習モデルになりうるか?: 光計測法による検証”, 第39回日本生物物理学会年会, 吹田, 10月 (2001).