

「脳を創る」

平成9年度採択研究代表者

合原 一幸

(東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授)

「脳の動的時空間計算モデルの構築とその実装」

1. 研究実施の概要

脳型時空間カオスダイナミクスおよび脳型時空間パルスダイナミクスの数理モデルを用いて、時空間ダイナミクスと情報コーディングに関して、理論解析を行なった。実装研究に関しては、大規模カオスニューラルネットワーク構築のためのチップセットの設計・製造およびパルスニューロン回路とシナプス回路の基本設計を行なった。さらに、ラット海馬CA1領域における時空間ダイナミクスに関して実験的検討を行なった。

2. 研究実施内容

(1) 理論研究

脳型時空間カオスダイナミクスおよび脳型時空間パルスダイナミクスの数理モデルを用いて、時空間ダイナミクスと情報コーディングに関して、理論解析を行った。

脳型時空間カオスダイナミクスに関しては、時空間サーチダイナミクスや組み合わせ最適化ダイナミクスを実現するカオスニューラルネットワークにおいて、不変部分空間の階層構造と時空間ダイナミクスの関係を解析した。

脳型時空間パルスダイナミクスに関しては、様々な時系列パターン入力に対するシングルニューロンの応答特性を詳しく解析するとともに、ネットワークレベルでの時空間パルスコーディングのエルゴード的性質及び時空間パルス学習則について検討した。

(2) 実装研究

実験研究に関しては、大規模カオスニューラルネットワーク構築のためのチップセットの設計・製造およびパルスニューロン回路とシナプス回路の基本設計を行なった。

まず、大規模カオスニューラルネットワークのためのカオスニューロン回路の設計を行い、このニューロンを $0.5\mu\text{m}$ CMOS 半導体技術で集積化するためのプロトタイプチップを試作した。一方、シナプス回路は出来るだけチップ面積が小さくなるように回路構成を工夫し、VHDL により回路を記述しその特性を確認した。

また、大規模な組み合わせ最適化問題を高速に解くシステムを構築するため、非常にコンパクトで高速なカオスニューロン回路をスイッチトカレント回路技術で設計し、そのプロトタイプチップを製作した。

非同期パルスニューラルネットワークに関しては、時空間的な情報をパルスの時空間構造を用いて処理するネットワークを連続値と連続時間が扱えるアナログシステムで構築するためのパルスニューロン回路と、遅延時間が可変な軸索回路を提案するとともに、これらの回路のプロトタイプを $0.5\mu\text{mCMOS}$ で実装し、その特性を調べた。

(3) 実験研究

脳型時空間計算モデルの実験的検証を目的として、ラット海馬CA1領域における外部刺激に対する時空間応答特性に関してオプティカルレコーディング計測を用いて実験的検討を行なうとともに時空間データの統計解析に関する予備的検討を行った。

3. 主な研究成果の発表 (論文発表)

○L. Chen and K. Aihara :

“Global Searching Ability of Chaotic Neural Networks”,
IEEE Trans. CAS, Part 1, Vol. 46, No. 8, pp. 974-993 (1999).

○R. Herrera, K. Suyama, Y. Horio and K. Aihara :

“IC Implementation of a Switched-Current Chaotic Neuron”,
IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E82-A, No. 9, pp. 1776-1782 (1999).

○Y. Horio, K. Watarai and K. Aihara :

“Nonlinear Resistor Circuits Using Capacitively Coupled
Multi-Input MOSFETs”, IEICE Trans. Fundamentals,
Vol. E82-A, No. 9, pp. 1926-1936 (1999).

○M. Hanagata, Y. Horio, & K. Aihara:

Asynchronous Pulse Neural Network Model for VLSI Implementation”,
IEICE Transactions on Fundamentals ,
Vol. E81-A, NO.9, pp.1853-1859(1998).

○J. Kuroiwa, S. Nara, & K. Aihara :

“Chaotic Behaviors of a Single Neuron Model for Signal Processing
Elements” ,
Proceedings of the Fifth International Conference on Neural Information
Processing(ICONIP'98),
Vol.1, pp.189-192 (1998).

○H.Itoh & K.Aihara :

“For Grasping Brain Architecture” ,
Proceedings of the Fifth International Conference on Neural Information
Processing(ICONIP'98),
Vol.1 , pp.428-430 (1998).

○O.Araki & K.Aihara :

“Emergent Synchronous Patterns in a Multilayer Neural Network” ,
Proceedings of the Fifth International Conference on Neural Information
Processing(ICONIP'98),
Vol.2 , pp.959-962 (1998) .

○K.Someya , A.Fujita , K.Saeki , Y.Sekine & K.Aihara :

“Effects of an Active Feature on Neurodynamics and Chaotic Phenomena by
Active Axon” ,
Proceedings of the Fifth International Conference on Neural Information
Processing(ICONIP'98),
Vol.3 , pp.1273-1276 (1998) .

○M.Watanabe & K.Aihara :

“ What Functional Connectivity Can Do : Software Driven Neural
Networks” ,
Proceedings of the Fifth International Conference on Neural Information
Processing(ICONIP'98),
Vol.3 , pp.1370-1373 (1998) .

○H.Nishimura , N.Katada & K.Aihara :

“Resonance Phenomena in the Response of Chaotic Neural Networks” ,
Proceedings of the Fifth International Conference on Neural Information
Processing(ICONIP'98),
Vol.3 , pp.1433-1436 (1998) .

○H.Suzuki , K.Aihara , J.Murakami & T.Shimozawa :

“An Application of ISI Reconstruction to Sensory Neurons of Crickets” ,
Proceedings of the Fifth International Conference on Neural Information
Processing(ICONIP'98),
Vol.3 , pp.1559-1562 (1998) .

○H.Hayashi , Y.Horio & K.Aihara :

“Switched-Capacitor Chaotic Neuron Circuit with Three Internal States” ,
Proceedings of 1998 International Symposium on Nonlinear Theory and its

Applications,

Vol.2 pp.479-482 (1998) .

○N.Kanou , Y.Horio & K.Aihara :

“IC Implementation of Switched-Current Chaotic Neural Network and its Experimental Observations” ,

Proceedings of 1998 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications,

Vol.2 pp.563-566 (1998) .

○K.Watarai , Y.Horio & K.Aihara :

“A Non-Linear Negative Resistance Circuit Using Capacitive-Coupled Multi-Input MOSFETs” ,

Proceedings of 1998 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications,

Vol.2 pp.659-662 (1998) .

○M.Adachi & K.Aihara :

“Characteristics of Chaotic Neural Networks with Various Updating Methods: Synchronous, Cyclic Asynchronous and Fully Asynchronous Updating” ,

Proceedings of 1998 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications,

Vol.2 pp.691-694 (1998) .

○L.Chen & K.Aihara :

“Attractors in Transiently Chaotic Neural Networks” ,

Proceedings of 1998 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications,

Vol.2 pp.703-706 (1998) .

○K.Someya , Y.Fujieda , M.Miyasaka , Y.Sekine & K.Aihara :

“Dispersions of Neurodynamics and Synapse Efficiency with Pulse-Type Hardware Neuron Model” ,

Proceedings of 1998 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications,

Vol.2 pp.723-726 (1998) .

○I.Kobayashi , Y.Horio & K.Aihara :

“Switched-Capacitor Chaotic Neuron Circuit with Unipolar / Bipolar Output Function” ,

Proceedings of 1998 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications,

Vol.3 pp.887-890 (1998) .

○M.Watanabe & K.Aihara :

“A Simple Neural Networks Model for Temporal Pulse Coding” ,

数理解析研究所講究録 1072 「力学系の不変量とその応用」 ,

pp.162-173 (1998) .

○M.Watanabe & K.Aihara :

“Learning in Software Driven Neural Networks with Temporal Coding and Functional Connectivity ” ,

Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Life and Robotics,

Vol.1 pp.78-81 (1999) .

○M.Adachi & K.Aihara :

“Retrieval Characteristics of Associative Chaotic Neural Networks with Weighted Pattern Storage ” ,

Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Life and Robotics,

Vol.1 pp.82-85 (1999) .

○Y.Horio , I.Kobayashi , H.Hayashi & K.Aihara :

“IC Implementation of a Multi-Internal-State Chaotic Neuron Model with Unipolar and Bipolar Output Functions ” ,

Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Life and Robotics,

Vol.1 pp.90-93 (1999)