

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2010

課題番号：19500191

研究課題名（和文）神経回路網のカオスを用いた生体機能型新処理・制御様式研究とその搭載ロボット試作

研究課題名（英文）A novel method of biomorphic information processing and control using chaos in neural network and an autonomous robot installing their mechanisms as a practical implementation

研究代表者 奈良 重俊（NARA SHIGETOSHI）

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：60231495

研究代表者の専門分野：物理情報学・デバイス物理学

科研費の分科・細目：（分科）情報学・（細目）感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：カオス・適応制御・ダイナミクス・神経回路網・非線形能動素子・

不良設定問題・身体運動制御・ロボット制御

1. 研究計画の概要

（1）「身体制御」に関しては、高等動物の筋肉による運動制御は該当する脳の運動野の神経細胞数に鑑みるに何桁も異なる大冗長度を有した制御である。その意味と機構はいまだに明らかではないが、発見論的アイデアのもと、神経回路網に埋め込んだ少数個のアトラクターに典型的な身体運動を対応させた coding を採用し、更にそこにカオスを導入する。それにより複雑な身体運動を発生させそれを適応的に制御を行い、カオスの機能的関与を具体的に示すことを通じてその身体制御メカニズム解明に一石を投じ、機能シミュレーションによる工学的再現を目指すものである。

（2）「カオス搭載ロボットによる迷路求解の実現」に関しては、二輪自走ロボットに対して実際に迷路を設定し、機能シミュレーションに基づくカオス制御機構を組み込み、ハードウェア実装を行った遍歴ロボットを試作して迷路求解を行わせることを目指す。該当二輪自走ロボットの CPU は神経回路網を搭載できる性能規模ではないため、電磁波による信号の転送・受信を介してパソコン上にある神経回路網におけるカオスを用いて制御する試作機とする。更には高額の二足歩行ロボットを導入してその装着 CPU に直接神経回路網を擬似的に搭載して実験機を試作

することも計画には含めてある。

（3）「光電子デバイスによる神経回路網の試作」に関しては、半導体技術を駆使して「量子閉じ込めシュタルク効果（QCSE）」を用いた能動双安定素子を作製し、それを二段に組み合わせて神経発火状のパルス発振をする素子を二次元上に集積的に配置し神経回路網の動作をさせるチップを試作しようとするものである。理論的な評価によるとこの素子の動作は生体的神経の3桁ほど速いパルス発振となっており、実際に神経回路網的動作を行うと、機能的に同等かつ人間や高等動物の1000倍ほど早い高度かつ高速処理ができると期待される（T. Yamamoto, Y. Ohkawa, T. Kitamoto, T. Nagaya and S. Nara, *Int. J. of Bif. and Chaos* に掲載決定済み）。申請者と実験的研究者との過去の共同研究歴では単一素子による多安定動作までは実現している（Y. Tokuda, Y. Abe, S. Nara and N. Tsukada, *Applied Physics Letter*, vol.63 (1993), pp. 2609-2611, S. Nara, Y. Tokuda, Y. Abe, M. Yasukawa and N. Tsukada, *Journal of Applied Physics*, vol.75, No.8, pp.3749-3755 (1994)）。しかしながら、これを集積させた素子結合系を作製しようとした場合は高額のコストがかかると思われる、本研究期間においては集積化は将来の課題とし、少数個の結合素子作製費用計上

とその評価による動作確認とデータ解析研究を目指すものである。

2. 研究の進捗状況

(1)「身体制御」に関しては、計算機実験が進行中であり、学会発表を2008年度から行い、毎年継続している(2)「カオス搭載ロボットによる迷路求解の実現」については、2007年度から主として計算機実験の結果を学会にて報告を開始、ハードウェア搭載による実験については、システムの部分的な製作と動作実験を行い、同様に学会での発表を開始した。前者については専門誌への英語論文による研究結果報告を開始した。(3)「光電子デバイスの試作」に関しては、連携研究者と協議を開始し、薄膜作製の実験を開始した。現在デバイス試作を行っており、2009年度において試作品が得られており、最終年度(2010年度)においてはデバイスの動作実験まで行う予定である。

3. 現在までの達成度

2009年度の段階において、(1)「身体制御」に関しては、計算機実験が6割がた、実機作製と実験が5割がた達成されているが、やや遅れ気味である(2)「カオス搭載ロボットによる迷路求解の実現」に関しては、9割以上の達成度であり、専門誌への英語論文も数編、国際会議においても数編の論文を投稿して受理され、発表が進んでおり、達成度としては計画以上の進展である(3)「光電子デバイスの試作」に関しては、まだ5割がたの達成度であり、今後の理論的な数値実験と実際のデバイスによる動作実験とを組み合わせる計画した動作が実際に起きるかどうかを試みる段階であり、計画に比べやや遅れている段階である。全体としてはおおむね順調に進展していると言える。

4. 今後の研究の推進方策

最終年度(2010年度)において、特に(1)「身体制御」および(3)「光電子デバイスの試作」に力を注ぎ、当初の計画を達成するべく連携研究者との共同研究を進める予定である。

5. 代表的な研究成果

(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 12件)

- (1) Yongtao Li, Shuhei Kurata, Shogo Morita, So Shimizu, Daigo Munetaka and Shigetoshi Nara, Application of Chaotic Dynamics in A Recurrent Neural Network to Control --- Hardware Implementation into A

Novel Autonomous Roving Robot, Biological Cybernetics(査読有), Vol. 99, pp. 185-196 (2008)

- (2) Yongtao Li, Shigetoshi Nara, Novel Tracking Function of Moving Target Using Chaotic Dynamics in A Recurrent Neural Network Model, Cognitive Neurodynamics (査読有), Vol. 2, pp. 39-48 (2008)
- (3) Ryu Takada, Daigo Munetaka, Shoji Kobayashi, Yoshikazu Suemitsu, Shigetoshi Nara, Numerically evaluated functional equivalence between chaotic dynamics in networks and cellular automata under totalistic rules, Cognitive Neurodynamics (査読有), Vol. 1, No. 3 (2007) p.p.189-202

[学会発表] (計 48件)

- (1) Yongtao Li, Shuhei Kurata, Ryosuke Yoshinaka, Shigetoshi Nara, Chaotic Dynamics in Quasi-layered Recurrent Neural Network Model and Application to Complex Control via Simple Rule, International Joint Conference on Neural Networks, June, 2009, Atlanta, Georgia, USA., 2009
- (2) Ryuichi Sato, Noriyuki Furumai, Koji Ochi, Ryu Takada, Yongtao Li, Shigetoshi Nara, Signal transport via chaos in a neural network -- a metaphoric model of communications in brain --, The 2nd International Conference on Cognitive Neurodynamics (ICCN'09), November, 2009, Hangzhou, China, 2009
- (3) Yongtao Li, Shuhei Kurata, Kosuke Shigematsu, Yuta Takamura, Shogo Morita, Shigetoshi Nara, Could Chaotic Dynamics Knock at the Door of Intelligent Control? , International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM 2008, in Xi'an, China, (2008)
- (4) Yongtao Li, Tai Tanaka, Yoshikazu Suemitsu, and Shigetoshi Nara, A novel method of control using chaotic dynamics in systems having many degrees-of-freedom, The 6th International Congress on Industrial and Applied Mathematics Zurich, July 16-20, 2007, Proceedings of the 6th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, supplied by CD-ROM