

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月15日現在

機関番号：32613

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20700215

研究課題名（和文） 動的なニューラルネットワークの理論構築とその運動制御への適用

研究課題名（英文） Constructing theory of dynamical neural networks and its application to dynamic control

研究代表者

金丸 隆志（KANAMARU TAKASHI）

工学院大学・グローバルエンジニアリング学部・准教授

研究者番号：10334468

研究成果の概要（和文）：本研究は動的なニューラルネットワークの理論構築およびその運動制御への適用を目指している。理論の満たすべき性質について、同期、パルスによる学習、カオス性の3つに着目しており、ネットワークトポロジーと同期の関係、および注意によるアセチルコリン量に応じた記憶の安定性変化について明らかにした。同時に、運動制御への応用として人間の手の動きの応じたロボットアームの動的な制御を実現した。

研究成果の概要（英文）：I construct a theory of dynamical neural network theory, and we apply it to dynamic control of robots. I assume that the theory should have properties of synchronization, pulse-based learning, and chaos. We found the relation between network topology and synchronization, and the stability of memory under the change of concentration of acetylcholine. As for the application, we realized the dynamic control of robot arm based on the dynamic movement of human arm.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：パルスニューラルネットワーク、同期、学習、カオス性、ハードウェア化、Stochastic Synchrony、制御回路

1. 研究開始当初の背景

1960年代にはじまり1980年代にブームを迎えたニューラルネットワークは現在に至るまで成熟を続け、パターン認識や非線形最適化問題など、多くの分野に幅広く応用されるに至っている。また、統計学的観点から学習理論の整備も進み、分野としての深化も精力的に行なわれている。これらのモデルにおいて、「システムの最適な状態」や「学習が完了した状態」は系のアトラクター（典型的

には安定平衡点や安定リミットサイクル)として表現されることが多く、そのためこれらのニューラルネットワークモデルはアトラクターニューラルネットワークと呼ばれることがある。応用手法としてのアトラクターニューラルネットワークは非常に強力であり、これまでニューラルネットワーク分野の主流として機能して来た。さらに、パターン認識や最適化問題のように静的な問題だけではなく、環境に適応して運動制御則を動的

に獲得する強化学習モデルも、最終的に得られる制御則自体は学習系の安定平衡状態になっているという意味でアトラクターニューラルネットワークと見なすことができる。

しかし、応用手法としてのアトラクターニューラルネットワークの成功は、生体が同様な手法に基づいて行動をしているということも必ずしも意味しない。そのような例として近年、脳の様々な部位間の活動の同期が多く、の生理実験・心理実験で報告されている。この異なる部位間の活動の同期は、生体の脳の内部状態や外部環境および活動履歴などに依存して動的に変化するものであり、脳の振舞いが平衡点のような単純なアトラクターとは見なせないのではないかとことを示唆している。このような現象を理解するための仮説として「系に複数のアトラクターが存在し、そのアトラクター間を系が遷移しているのだろう」と考えるアイデアが存在する。しかし、この仮説は理論的・実験的に十分に正当化されているとは言えず、生体の神経回路網の動的な性質を理解することはニューラルネットワーク分野における大きな課題の一つとなっている。それを解決することは、生体の行う情報処理の理解につながると同時に、環境適応型の新しい情報処理手法を提案することにもつながる。

そのような背景から、動的に状態が変化するようなニューラルネットワークの理論を構築することを着想した。動的なニューラルネットワークとは、系のダイナミクスが安定平衡点や安定リミットサイクルのような単純なアトラクターへ収束することを必ずしも前提としない、ということである。このような理論研究はともすれば机上の理論やコンピュータ上のシミュレーションのみで話が完結してしまいがちである。そこで、本研究では理論研究だけではなく、応用例としてロボットの運動制御の実現も目指して研究を進める。

2. 研究の目的

本研究は動的なニューラルネットワークの理論構築およびその運動制御への適用を実現することが目的である。理論の満たすべき性質について、「同期」、「パルスによる学習」、「カオス性」の3つに着目している。同時に、運動制御への応用として「強化学習によるロボットの運動獲得」を実現することも目指している。これら4項目について以下にまとめる。

[同期]

私の過去の研究において、位相で表されたパルスニューロンのネットワーク系にて同期

現象の解析を行った。その際、統計物理的な手法を用いることで同期現象を系の巨視的な状態の運動として捉えることが可能となった。さらに、このネットワークを複数結合することで、系の同期状態が動的に変化するような現象も見出されている。これは動的なニューラルネットワークを考える上での基礎となり得るので、この手法を継続することで研究を進展させる。

[パルスによる学習]

動的なニューラルネットワークを系の同期を基礎に構築する場合、系のスパイク発火の同期に基づいた学習理論が不可欠である。近年、スパイクタイミング依存可塑性 (STDP) と呼ばれる学習則が実験的に報告されているが、これはまさにパルス間の同期に基づいた学習則であり、実験家と理論家の注目を集めている。この学習則と我々のモデルの関連について調べる。

[カオス性]

前述のパルスニューロンの同期特性の解析において、広いパラメータ範囲でカオス的な同期現象が見られることが明らかになっている。カオスが大規模系で広く見られる現象であるならば、その性質を理解することは必須である。そこで理論研究を積み重ねてカオスの役割の理解への基礎とする。

[強化学習によるロボットの運動獲得]

「強化学習により運動を獲得するロボット」という応用例については、現在私が予備的に実験を開始しているテーマである。ホビー用に販売されているロボットに PIC マイコンなどを用いて構築した補助回路を付加することで、ロボットへの指令とロボットの各関節角の情報取得とを並行して行うことを実現している。これを本研究で取り扱う動的なニューラルネットワークの応用例として採用する。まずは学習のために必要な視覚情報を取得するためのカメラとその映像を処理するシステムから構築する。

3. 研究の方法

上で述べた内容に対して、下記の方法で取り組む。

[同期]

同期に関しては、内部状態が位相で表されたパルスニューロンの結合系をモデルとして用い、解析手法は Fokker-Planck 方程式による統計物理的な手法を引続き用いる。私の過去の研究において、「周期的同期振動」、「同期集団のカオスの組み換え」、「低頻度発火による弱い同期」など、本研究に関連し得る結果が既に見出されている。ただし、これらの

解析は学習が組み込まれていないモデルにおける結果であるので、これらに学習を組み込むところから研究を開始する。

[パルスによる学習]

スパイクタイミング依存可塑性 (STDP) によるパルスニューロンの学習は、現在はシングルニューロンを用いたランダムパルス時系列に対する学習が広く研究されている。しかし、現実の脳で働いている系をモデル化する際には、複数ニューロンのネットワークを用いて構造を持ったパルス時系列の学習を考えることが不可欠である。私が用いている前述の位相パルスニューラルネットワークモデルにて、この問題に対する解析の可能性を探る。

[カオス性]

カオス性については「同期」や「パルスによる学習」の研究を行う際に自然と現れる現象なので、これらと並行して研究を進めることもできる。しかし、一般にカオス現象の解析は網羅的で時間がかかることが多いため初年度は優先順位を下げ、まずは既に述べた「同期」や「パルスによる学習」による動的なニューラルネットワーク理論の構築を目指す。

[強化学習によるロボットの運動獲得]

「研究目的」にて述べたように、強化学習により運動を獲得するロボットの実現のため、カメラ映像処理とモータ処理のような基礎部の構築から始める。さらにロボットを遠隔からの操作するための Bluetooth 通信システムなども作成し、環境を整える。

4. 研究成果

各テーマの成果を以下にまとめる。

同期については、生体で起こっている現象との関連について調べるため、扁桃体における同期現象について調べた。我々の取り扱っている位相振動子モデルの Fokker-Planck 解析結果が、実験データとよく一致することが確認できた。扁桃体は生体の感情を司る部位であり、運動とは直接のつながりはないと考えられるが、我々のモデルが工学的応用可能性が高いだけでなく、生体との対応も非常に良いことを確認することができた。

学習についてはパルスの発火タイミングが重要となるが、ネットワークに結合トポロジーを導入し、発火タイミングの一致度が結合トポロジーにどのように依存するかを調べた。一般に、ネットワークの広い範囲で発火タイミングが一致するためには「遠くの素子同士が結合する」ランダム結合が有利である

が、抑制性素子の活動度が高いときは「近くの素子同士の結合に少数の遠距離結合がある」スモールワールド結合においてもリズムが生成されることが明らかになった。この少数の遠距離結合を目指すように学習が進めば、容積の限られた脳において結合数の爆発の問題を解決できると考えられる。

カオス性については、大脳皮質のデフォルト状態がダイナミックに変化するという知見のモデル化を試みた。これは私の過去の研究であるカオス連想記憶システムを利用したが、記憶遷移状態と安定記憶状態が皮質に投射されるアセチルコリン量で制御されることを見出した。アセチルコリン量は生体の注意により投射されるといわれているが、注意を向けているときに安定な記憶が得られる、という我々が日常体験する事実の簡単なモデルになっている。

応用面についてであるが、当初の予定では二足歩行のモデル化を考えていたが、歩行の安定化だけで一つの大きな研究テーマになってしまうため、ロボットアームの制御を対象とした。人間の手にスマートフォンを持たせ、その腕の動きを模倣するようロボットアームを制御する課題を通り扱った。様々な手の動きを適切なアームの動きを動的に生成するネットワークの構築に成功した。その際、ロボット制御用の ARM プロセッサボードによるモーター制御を実現し、さらに Bluetooth 通信による遠隔操作を実現したので、今後の研究の進展に役に立てることができる。

以上より、ダイナミックなニューラルネットワークの基礎を理論・応用の両面から確立することができたといえる。

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 2 件)

1. Takashi Kanamaru and Kazuyuki Aihara, "Roles of inhibitory neurons in rewiring-induced synchronization in pulse-coupled neural networks," *Neural Computation*, 査読有, vol. 22, no. 5 (2010) pp. 1383-1398. DOI: 10.1162/neco.2010.04-09-997
2. Takashi Kanamaru and Kazuyuki Aihara, "Stochastic synchrony of chaos in a pulse coupled neural network with both chemical and electrical synapses among inhibitory neurons," *Neural Computation*, 査読有, vol. 20, no. 8

(2008) pp. 1951-1972.
DOI:10.1162/neco.2008.05-07-516

[学会発表] (計12件)

1. Hiroshi Fujii, Takashi Kanamaru, Kazuyuki Aihara, Ichiro Tsuda, "A new role for attentional corticopetal acetylcholine in cortical memory dynamics," 9th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM2011, 2011/9/23, ギリシャ).
2. 山口諒、鈴木啓介、野崎祐基、石井純一、柳下翔太、山名徹、金丸隆志、"カメラ周囲の危険を認識するシステムの開発," FIT2011 第10回情報科学技術フォーラム, (2011/9/9、函館)
3. 高木 佑介、齋藤 翼、金丸隆志、"Android OS とカメラを用いた対象物追跡における処理の高速化," FIT2011 第10回情報科学技術フォーラム, (2011/9/7、函館)
4. 齋藤 翼、高木 佑介、金丸隆志、"Android OS を搭載した組み込みデバイスとスマートフォンによるモータ制御, FIT2011 第10回情報科学技術フォーラム, (2011/9/7、函館)
5. Hiroshi Fujii, Takashi Kanamaru, Kazuyuki Aihara, Ichiro Tsuda, "Attentional cholinergic projections may induce transitions of attractor landscape via presynaptic modulations of connectivity," The 3rd International Conference on Cognitive Neurodynamics (ICCN2011, 2011/6/10, 北海道).
6. 山口諒、鈴木啓介、野崎祐基、石井純一、柳下翔太、山名徹、金丸隆志、"車載カメラに対する危険認識システムの開発," 電子情報通信学会 2011年総合大会 (2011年3月17日) 東京
7. 金丸隆志、"長距離結合を持つ抑制性細胞が同期振動に及ぼす影響," 電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会 (2011年3月8日) 玉川大学
8. 金丸隆志、大城 博矩、宋 時榮、柳川 右千夫、松戸 隆之、村越 隆之、合原 一幸、"バーストニューロンモデルを用いた扁桃体同期抑制現象のモデリング," Neuro2010 プログラム (2010年9月3日)

神戸コンベンションセンター

9. 金丸隆志、大城 博矩、松戸 隆之、村越 隆之、合原 一幸、"扁桃体における同期抑制現象のモデリング," 第29回日本シミュレーション学会 (2010年6月19日) 山形大学米沢キャンパス
10. 金丸隆志、大城 博矩、松戸 隆之、村越 隆之、合原 一幸、"扁桃体における同期抑制現象のモデリング," 第32回日本神経科学大会 (2009/9/16) 名古屋国際会議場
11. 金丸隆志、合原一幸、"結合つなぎ換えにより誘起される同期における抑制性素子の役割," 日本神経回路学会 第18回全国大会 (2008年9月26日) 産業技術総合研究所 (茨城県つくば市)
12. 金丸隆志、合原一幸、"パルスニューロン集団における Rewiring-induced bifurcation とスモールワールド," 日本物理学会 (2008年9月21日) 岩手大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金丸 隆志 (KANAMARU TAKASHI)
工学院大学・グローバルエンジニアリング
学部・准教授
研究者番号: 10334468

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし