

平成22年 4月 19日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19560447
 研究課題名（和文） リズム創発制御とその生物振動子における役割に関する研究
 研究課題名（英文） Research on the relationship between controller emergent rhythms and biological oscillator
 研究代表者
 松尾 孝美（MATSUO TAKAMI）
 大分大学・工学部・教授
 研究者番号：90181700

研究成果の概要（和文）：本研究では、適応制御理論およびロバスト制御理論と脳科学および細胞生物学との相互連携を実現することを目的としている。神経細胞は、一般に十分大きな定常電流を与えると、活動電位は周期的になるが、バースティングという、膜電位がゆっくり変化する静止期と周期的なバースト期の繰り返す現象を起こす。本研究では、Hindmarsh-Roseニューロンを対象とした。内部パラメータと外部入力電流の推定を行う適応オブザーバを設計し、結合ニューロンの発火パターンを早期のうちに特定することが可能であることを示した。さらに、振動子の発生機構の分岐特性について研究した。

研究成果の概要（英文）：In traditional artificial neural networks, the neuron behavior is described only in terms of firing rate, while most real neurons, commonly known as spiking neurons, transmit information by pulses, also called action potentials or spikes. We have presented three adaptive observers for a single neuron with the membrane potential measurement under the assumption that some of parameters in the HR neuron are known. Using the Kalman-Yakubovich lemma, we have shown the asymptotic stability of the error systems based on the standard adaptive control theory^{narendra}. The estimators allow us to recover the internal states and to distinguish the firing patterns with early-time dynamic behaviors.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
19年度	1,500,000	450,000	1,950,000
20年度	900,000	270,000	1,170,000
21年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：制御工学

科研費の分科・細目：5107

キーワード：アイドリング系，ニューロン，振動子，リミットサイクル，バースティング

1. 研究開始当初の背景

1980年代から制御工学の世界でも、線形一辺倒ではなく、非線形性の性質を積極的に

取り入れる動きが活発になってきた。ただし、非線形システムを取り扱う場合でも、非線形システムを平衡点周りで局所的に線形近似

したり、非線形項を相殺する非線形フィードバックによる厳密線形化などにより線形系に変換する方法が大半を占めている。これらは直接に非線形性の特徴を使っているとは言えず、本来の非線形性の特徴である創発現象や自己組織化現象などの機能を消し去っている面があった。特に、脳科学、生理学、生物学などの非線形科学を複雑系の科学と呼び、これらを制御理論に取り込む試みが行われているが、いまだ模索状態にあるとあって過言でない。その難しさの最大の原因は、平衡点の取り扱いにあると思われる。制御理論においては、単一の平衡点まわりの挙動を解析し、安定化を行うことを基本としている。ところが、複雑系においては、複数の平衡点における動的挙動がその性質を決定付けている。このようなことから複雑系の中でも生命系の制御を研究する上で、つぎの5点が必要になると考えられる。

- 1) 平衡点の設計：操作変数を用いた分岐特性の設定
- 2) アイドリング系の設計：外部信号が入ったときにすぐに特定の平衡点に吸収されるように、外部信号がなくても、複数の平衡点を動的に渡り歩くようなアイドリング状態を保持する機構の設計
- 3) リミットサイクルの設計：ポジティブフィードバック要素 (activator) とネガティブフィードバック要素 (repressor, inhibitor) の相互結合によるリミットサイクル生成
- 4) 同期によるロバスト性の維持：複数振動子の相互結合によるリズムの外乱に対するロバスト性能の向上
- 5) 全体のシステム設計と遺伝子機構との関係：遺伝子機構を微分方程式構造との関連付け

2. 研究の目的

本研究では、つぎの点を、適応制御理論およびロバスト制御理論と脳科学および細胞生物学との相互連携により実現することを目的としている。

- 1) 平衡点の設計においてはヌルラインと位相面解析が主流であるが、ヌルライン設計をフィードフォワード制御の立場から行う。
- 2) 設計された平衡点間を移り歩くための制御機構を構成する条件を提示する。このために、リアプノフ関数をさらに、システムのアイドリング状態を制御理論的に定義する。
- 3) コントロールリアプノフ関数の代わりに、リズム生成を表すリミットサイクルを記述する軌道関数を用いた制御系設計理論を構築する。
- 4) 相互結合機構をロバスト制御の立場から解析する。
- 5) 遺伝子機構による転写は、微分方程式内

の非線形関数を特徴付ける要素であるが、単純な非線形関数の組み合わせとフィードバック構造から生成されるリズム機構の種類を特定するとともに、非線形関数内のパラメータ変化の動的機構の果たす役割をシステム論的に解明する。

3. 研究の方法

基本となるツールはつぎのようなものである。

1) 制御理論：適応制御理論 ロバスト制御理論

・適応制御理論においては、有界性のみを保障するパラメータ更新則において誤差信号を非線形型にすることにより、リミットサイクルやカオス的振舞を作り出す方法を考案する

・コントロールリアプノフ関数と ISS により、リミットサイクルの周波数や軌道の特徴づけを行う。

・ロバスト制御理論においては、非線形要素をもつ LFT 構造のネスト結合が生むロバスト性を解析する。

2) 計算生物学：脳科学シミュレーション、植物細胞シミュレーション

・ニューロダイナミクスにおける特徴的な動的挙動を制御理論の立場から数値シミュレーションを行い、理論の妥当性を検証する。

・光合成を生む細胞振動子における特徴的な動的挙動を制御理論の立場から数値シミュレーションを行い、理論の妥当性を検証する。

4. 研究成果

本研究では、生物振動子におけるリズム発生機構の解明を、適応制御理論およびロバスト制御理論と脳科学および細胞生物学との相互連携により実現する。特に、単体ではアイドリング的な振動を呈している要素同士が興奮的あるいは抑制的結合をすることで新たな振動現象を生み出したり、全体のロバスト性を強くする理由を複数アトラクタを持つ制御系解析として、脳科学者とともに確立することを目的としている。特に、2007年度は、つぎのことに実施した。まず、2つのシナプス結合ニューロンの発火パターンを、昨年我々が提案した単体ニューロンのための適応オブザーバを拡張することにより、ではバースティングを発生するニューロンでも、結合された流入電流の大きさにより、多様な発火パターンを呈することを示した。さらに、早期に発火パターンを推定する機構を適応制御理論を用いて、すべての状態が測定可能な場合と、膜電位のみ測定可能な場合と、4つの適応オブザーバを構成し、その性能を比較し、膜電位のみでの測定でも、発火パターンを十分に推定できることを示した。一方、ニューロンの振動パターンに、神経化学物質があるダイナミクスを持つ場合に、密接に影

響をもっていることを明らかにした。

また、2008年度は、つぎのことを実施した。まず、アイドリング状態の1つの例であるバースティングを発生する Hindmarsh-Rose ニューロンの2つのシナプス結合系を対象に、スルクライン計算と位相面解析を行った。ついで、昨年度提案した単体ニューロンの発火パターン推定を行う適応オブザーバを拡張し、初期段階のみ外部電流と膜電位を測定し、早期に内部パラメータを推定した後は、膜電位の測定のみで、外部入力電流の振幅値を推定することにより、発火パターンを瞬時に特定する2段階オブザーバを提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより確認した。さらに、バースティング、スパイクングおよびカオス状態の発火パターンを時系列データとその微分信号から推定する瞬時減衰度係数を提案し、ニューロン信号への応用を行った。ここで、微分信号は、純粋な微分演算ではなく積分演算により推定する機構も新たに提案した。一方、ニューロンの振動パターンに、神経化学物質であるABAが密接に影響することを明らかにした。

さらに、2009年度は、Hindmarsh-Rose ニューロンおよび Hodgkin-Huxley ニューロンの2つのシナプス結合系を対象に、位相面解析と安定性解析を行った。ついで、発火パターン推定を行う適応オブザーバを提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより確認した。さらに、バースティング、スパイクングなどのカオス状態の発火パターンおよび結合ニューロン同士の同期状態を判定するために、瞬時リアプノフ指数を提案し、結合ニューロン系への応用を行った。また、ニューロンの振動パターンに、神経化学物質であるABAに加えて、GABAが密接に影響することを明らかにした。一方、植物振動子のダイナミクスについては、2次元ではリミットサイクルは発生せず、3次元において発生することを明らかにし、ポアンカレ・ベンディクソン定理の応用を試みた。

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13件)

- ① Tatsuya Nomura, Yuta Kitsuka and Takami Matsuo : Nonmodel-Based Estimation for Velocity and Acceleration by Adaptive Identification Method, IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering, vol.5-3, (2010), in press.
- ② Osamu Hoshino : Alteration of Ambient GABA by Phasic and Tonic Neuronal Activation no access, Neural

Computation , Vol. 22-5, 1358--1382 (2010).

- ③ Yusuke Totoki, Kouichi Mitsunaga, Haruo Suemitsu and Takami Matsuo : Firing Pattern Estimation and Synchronization Detection of Synaptically Coupled Hindmarsh-Rose Neurons, Neural Network World, vol.19, 483-497 (2009).
- ④ Kouichi Mitsunaga and Takami Matsuo : Adaptive Estimation of Friction Forces with Differential Filter, Int.J. Systems Science vol.40, 1263-1271 (2009).
- ⑤ Osamu Hoshino: GABA Transporter Preserving Ongoing Spontaneous Neuronal Activity at Firing Subthreshold, Neural Computation , vol.21-6, 1683-1713 (2009).
- ⑥ Kouichi Mitsunaga, Yusuke Totoki and Takami Matsuo : Firing Pattern Estimation of Biological Neuron Models by Adaptive Observer, ICONIP2007, Part I, Lecture Notes in Computer Science 4984, 83-92, Springer (2008).
- ⑦ Takami Matsuo, Yoshinori Toshimitsu, and Haruo Suemitsu : H^∞ -Synchronizer for Chaotic Communication Systems, Int. J. Bifurcation and Chaos, vol.18-4, 1175 - 1187 (2008).
- ⑧ Kouichi Mitsunaga and Takami Matsuo: Adaptive Compensation of Friction Forces with Differential Filter, Int. J. of Computers, Communications & Control, vol.3-1, 80-89 (2008).
- ⑨ Takami Matsuo, Shuhei Wada, and Haruo Suemitsu : Model-Based and Non-Model-Based Velocity Estimators for Mobile Robots, Int. J. Innovating Computing, Information and Control, vol.4-12, 3123-3133 (2008).
- ⑩ Takami Matsuo , Kentaro Adachi and Haruo Suemitsu: Frequency Estimation with an LMI-based Adaptive Update Law, Int. J. International Journal of Advanced Mechatronic Systems, vol.1-2, 100-107 (2008).
- ⑪ Osamu Hoshino : An ongoing subthreshold neuronal state established through dynamic coassembling of cortical cells, Neural Comput., Vol. 20-12, 3055-3086 (2008).
- ⑫ Osamu Hoshino : Extrasynaptic-GABA-mediated neuromodulation in a sensory cortical neural network, Network: Comput.

- Neural Syst., vol.19, 95-117 (2008).
⑬ Osamu Hoshino : Enhanced sound-perception by widespread onset neuronal responses in auditory cortex, Neural Comput., vol.19, 3310-3334 (2007).

[学会発表] (計 13 件)

- ① Yusuke Totoki, Ryuta Ito, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo: Simultaneous Parameter and Input Estimation of Hindmarsh-Rose Neuron by Adaptive Observer, Proc. of ICCAS-SICE 2009, 4896-4901 (2009).
② Yusuke Totoki, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo: Decay Rate Estimation of Continuous Time Series Using Instantaneous Lyapunov Exponent, Proc. of ICCAS-SICE 2009, 5073-5077 (2009).
③ Tatsuya Nomura, Yuta Kitsuka, Hiroki Nakamura, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo: Adaptive Backstepping Control for a Two-Wheeled Autonomous Robot, Proc. of ICCAS-SICE 2009, 4687-4692 (2009).
④ Nobumichi Nagano, Takami Matsuo: Computer-Aided Diagnosis of Gastrointestinal Radiographs Using Adaptive Differential Filter, Proc. of ICCAS-SICE 2009, 4793-4797 (2009).
⑤ Yuta Kitsuka, Tatsuya Nomura, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo: Adaptive Estimation of Mass Flow Rate of a Four-Cylinder Spark Ignition Engine, Proc. of ICCAS-SICE 2009, 5224-5229 (2009).
⑥ Ryuta Ito, Yusuke Totoki, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo: Adaptive Input Estimation of a Hodgkin-Huxley Neuron, Proc. of ICCAS-SICE 2009, 5230-5235 (2009).
⑦ Kouichi Mitsunaga and Takami Matsuo: Non-Model-Based Estimation of Friction Forces with Acceleration Estimator, Proc. of SICE Annual Conference 2008, 1883-1888 (2008).
⑧ Yusuke Totoki, Haruo Suemitsu and Takami Matsuo: Nonlinear Dynamics Estimation of CAM Plants Using Slow Manifolds, Proc. of SICE Annual Conference 2008, 1877-1882 (2008).
⑨ Kouichi Mitsunaga, Yusuke Totoki and Takami Matsuo: Firing Pattern Estimation of Biological Neuron Models by Adaptive Observer, WEE-5, ICONIP2007.
⑩ Kouichi Mitsunaga and Takami Matsuo:

Adaptive Estimation of Friction Forces under a Sector Condition, C10-07. pdf (4 pages), Proc. of Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC-2007).

- ⑪ Kentaro Adachi, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo: LMI-Based Frequency Estimator With Averaging, C18-02. pdf (4 pages), Proc. of Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC-2007).
⑫ Shuhei Wada, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo: Model-Based and Non-Model-Based Velocity Estimators and Its Application to Mobile Robots, A03-06. pdf (4 pages), Proc. of Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC-2007).
⑬ Masayuki Oka, Yusuke Totoki, Haruo Suemitsu and Takami Matsuo: Adaptive Observer for Biological Clock of Crassulacean Acid Metabolism with Partial States, C07-09. pdf (4 pages), Proc. of Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC-2007).

[図書] (計 1 件)

- ① Osamu Hoshino, Takami Matsuo, Kazuhiro Tsuboi, and Meihong Zheng: Modulation of Ongoing and Cognitive Behaviors of Distributed Neural Networks through Tonic- and Phase-release of Norepinephrine, Advances in Psychology Research, Volume 55, Nova Science Publishers (2007).

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :

権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等
<http://matlab0.hwe.oita-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松尾 孝美 (MATSUO TAKAMI)
大分大学・工学部・教授
研究者番号: 90181700

(2) 研究分担者

星野 修 (HOSHINO OSAMU)
茨城大学・工学部・教授
研究者番号: 00303016
末光 治雄 (SUEMITSU HARUO)
大分大学・工学部・助教
研究者番号: 50162839

(3) 連携研究者

()

研究者番号：