

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700193

研究課題名(和文) 行動-知覚系における確率共鳴の解明と応用

研究課題名(英文) Clarification and application of Stochastic Resonance in State-Action Systems

研究代表者

池本 周平 (Ikemoto, Shuhei)

大阪大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：00588353

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：大腸菌は、誘引物質や忌避物質の正確な濃度計測や現在位置の計測が不可能であるにも関わらず、その行動にはそれらの物質の空間的な濃度勾配が反映される。我々の研究グループでは「なぜ知覚情報からは計算不可能な濃度勾配の情報を行動に反映させられるのか？」を説明する原理・メカニズムとして確率共鳴と呼ばれる現象に注目してきた。本研究では、応募者がこの現象のモデルとして提案している「最小行動規範」に注目し、その原理・メカニズムを解析的に解明した他、ロボットの制御・学習に応用してその有用性を示した。

研究成果の概要(英文)：Escherichia Coli is able to drive bacteria to high concentrations of nutrients despite the difficulties in precisely sensing the gradient. So far, we proposed the minimalistic behavioral rule (MBR), a minimalistic strategy to model the movement of animals in similar settings in which stochastic resonance is exploited. In this research, we have clarified the mechanism by which MBR exploits stochastic resonance in state-action systems, and confirmed its applicability to robot control.

研究分野：総合領域

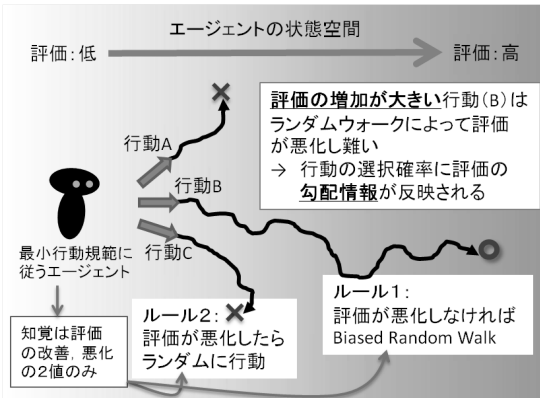
科研費の分科・細目：情報学 ・ 知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：確率共鳴 生物規範アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

大腸菌は、誘引物質や忌避物質の正確な濃度計測や現在位置の計測が不可能であるにも関わらず、その行動にはそれらの物質の空間的な濃度勾配が反映される。この能力は走化性と呼ばれ、理論生物学などの分野で盛んに研究されている一方、「なぜ知覚情報からは計算不可能な濃度勾配の情報を行動に反映させられるのか？」を説明する原理・メカニズムは明らかではなかった。

それに対し研究代表者らの研究グループでは、走化性における上記の現象を説明するモデルとして、「最小行動規範」と呼ばれる非常に単純な行動ルールを提案し、知覚-行動系における確率共鳴が非常に重要な役割を担っていることを提案してきた。最小行動規範は「状態が改善したなら前回と同じ行動を繰り返し、悪化したならば全くランダムに行動する」という非常に単純な行動ルールであるが、下図の概念図に示すメカニズムによって、行動の選択確率には知覚情報からは計算不可能な評価の空間勾配情報が含まれることになる。



しかし、その妥当性は単純な数値シミュレーションによって示されたに過ぎず、その原理・メカニズムの解析的な解明、および複雑な対象でも同様の現象が生じることの確認を必要としてきた。

2. 研究の目的

これらの背景と研究代表者のこれまでの研究成果から着想を得て、本研究計画ではまず、最小行動規範のメカニズムを解析的に明らかにすることを目指した。これにより、知覚-行動系における確率共鳴が本来計算できない勾配情報をどのように計算し、活用するのかを明らかになるため、本研究において非常に重要な目的の一つとして設定した。

次に、本研究計画では同メカニズムの工学的応用として、最小行動規範を機械学習におけるサンプリング手法として捉え、知覚-行動系における確率共鳴を利用したロボットの運動制御・学習手法の提案を目指した。これにより、工学的応用の一例が示されることになり、応用の可能性が広がるため、本研究のもう一つの目的として設定した。

3. 研究の方法

これまで、前述の最小行動規範が本来計算不可能な勾配情報を行動に反映させられる理由は、行動-知覚系において確率共鳴を生じるためであることがシミュレーションによって明らかにされていた。これまで、確率共鳴のメカニズムに関する研究が盛んに行われ、その解析的な説明がなされてきたが、本研究ではエージェントの知覚-行動系に着目するため、それらと同様のアプローチでメカニズムを解析的に説明することは極めて難しい。そこで、本研究では、説明すべき性質を(1)任意の状態における行動確率密度の単峰性、(2)任意の状態における行動確率密度の対称性、(3)行動確率密度のピークが評価関数やエージェントの動力学によって定まることの3点に絞り、ノイズ分散と情報の増加の関係については考慮しないこととした。しかし、上記3点を解析的に説明することができれば、知覚-行動系における確率共鳴がシステム・評価関数のどの特性について情報を増大させるかが分かるため、本研究を遂行する上で十分な説明と考えた。

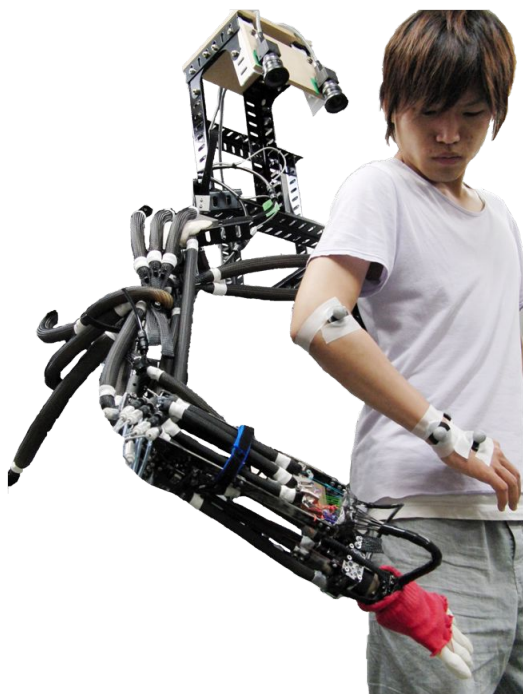
一方、最小行動規範のロボットへの応用については、このメカニズムの解明が単純化されたモデルに基づいて行われるため、非常に複雑な構造を持つロボットアームを用いて行うこととした。これにより、単純なシステムにとどまらず、複雑なシステムにおいても同現象が生じ、タスクの達成に寄与することが示されると考えた。

4. 研究成果

前者の課題については、これまでの研究において作成された最小行動規範のマルコフモデルの極限分布を調査することで達成できた。具体的には、マルコフモデルの定常状態を表す連立1次方程式を調査するという課題であり、その結果、最小行動規範に従うエージェントが選択する行動の内、最大の選択確率を持つ行動は、空間の勾配が最大となる方向へ移動する行動であることを示した。すなわち、最小行動規範が、勾配の正・負という二値の情報に基づいて行動を生成するにも関わらず、その結果として生成される行動については、勾配の大きい・小さいという、勾配の連続的な大きさに関わる情報を持つことを解析的に示した。この結果は、下記発表論文(業績, 雑誌論文[2])において発表した。

最小行動規範のロボティクスへの応用については、非常に複雑な構造を持つロボットアームの制御を対象として行った。このロボットアームは、ヒトと同様の自由度と筋骨格構造を有し、7自由度を17の空気圧人工筋によって駆動する非常に複雑な構造を持つ。そのため、その解析的なモデリング、そして逆運動学を解くことが非常に困難であり、手先位置を作業空間のある点に持っていく基本的なリーチングタスクを達成することも

難しい。使用したロボットアームの写真を以下に示す。



手先位置をロボットアーム頭部に取り付けた2台のカメラで計測し、目標位置に近づいたか否かを最小行動規範における二値評価として利用してリーチングタスクに応用したところ、実際に上記のロボットでリーチングタスクが達成でき、複雑な対象においても知覚-行動系における確率共鳴を利用した行動選択が可能であることを確認した。(業績, 雑誌論文[3])

また、新たにヒトの骨格筋に着目し、確率共鳴の応用の一例を作った他(発表論文, 学会発表[1][2]), 確率共鳴に必要なノイズ強度の調整方法について理論的研究を行い、論文(雑誌論文[1], 学会発表[3])を発表した。

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3件)

[1] ShuheIkemoto, Fabio DallaLibera, Koh Hosoda and Hiroshi Ishiguro (2014), "Spurious Correlation as an Approximation of the Mutual Information between Redundant Outputs and an Unknown Input", Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation., October, 2014. Vol. 19(10), pp. 3611-3616.

[2] ShuheIkemoto, Fabio DallaLibera, Koh Hosoda and Hiroshi Ishiguro (2012), "Minimalistic Behavioral Rule derived from Bacterial Chemotaxis in a Stochastic Resonance Setup", Physical Review E: Statistical, Nonlinear, and Soft Matter

Physics., February, 2012. Vol. 85(2), pp. 021905.

[3] Fabio DallaLibera, ShuheIkemoto, Hiroshi Ishiguro and Koh Hosoda (2012), "Control of real-world complex robots using a biologically inspired algorithm", Artificial Life and Robotics., October, 2012. Vol. 17(1), pp. 42-46.

〔学会発表〕(計3件)

[1] ShuheIkemoto, Yosuke Inoue, Masahiro Shimizu and Koh Hosoda (2013), "Minimalistic decentralized control using stochastic resonance inspired from a skeletal muscle", In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems., pp. 343-348.

[2] ShuheIkemoto, Yosuke Inoue, Masahiro Shimizu and Koh Hosoda (2013), "Minimalistic decentralized modelling for a skeletal muscle based on stochastic resonance", In 6th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines.

[3] Nagisa Koyama, ShuheIkemoto and Koh Hosoda (2012), "Redundant sensor system for stochastic resonance tuning without input signal knowledge", In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems., October, 2012., pp. 4892-4897.

〔図書〕(計0件)

〔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〕

研究代表者ホームページ：

<http://www-arl.sys.es.osaka-u.ac.jp/ikemoto/>

6．研究組織

(1)研究代表者

池本周平

研究者番号：00588353

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし