

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 8日現在

機関番号：14401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22860035

研究課題名（和文）

生物規範型ロボットのための自然な身体—制御間インターフェース

研究課題名（英文）

Natural Interface for Biologically Inspired Robots

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

研究成果の概要（和文）：生物規範型の身体—制御間インターフェースを提案するため、本研究では生物の採餌行動のモデルおよび生物の知覚における受容器のモデルに着目して研究を進め、工学応用が可能なロボットの行動、センサ情報処理のためのアルゴリズムを提案した。特に前者については、バクテリアの走化性のモデルとしても一定の新規性がある事が認められ、その成果が専門の論文誌に掲載された。また、提案したアルゴリズムを応用して実用性を評価するため、空気圧駆動の筋骨格ロボットアームを開発し、その制御に関する研究を行った。

研究成果の概要（英文）：In order to propose biologically inspired control and sensing algorithms, we focused on biological models of foraging behaviors and receptor mechanism. As a result, we proposed a new robot's behavioral rule and a sensing algorithm inspired from biological models. In particular, the behavioral rule was evaluated in the fields of theoretical biology and biophysics, and the results were accepted and published in highly renowned journals of these fields. Additionally, we developed and tested a musculoskeletal robot arm in order to verify the practical application of the proposed algorithms.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011年度	1,160,000	348,000	1,508,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,420,000	726,000	3,146,000

研究分野：ロボティクス

科研費の分科・細目：知能機械学・機械システム／知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：生物規範，確率共鳴，筋骨格ロボット

1. 研究開始当初の背景

これまでに、筋骨格ロボットなどのヒトの筋骨格系を模倣して開発されたロボットや、ニューラルネットワークなどのヒトの脳における情報処理を模倣して提案されたアルゴリズムなど、多くの研究成果が生物を規範とするアプローチによって得られてきた。こ

の様にヒトが有する運動・学習の能力に注目し、それをハードウェア・ソフトウェアの両面で模倣するアプローチは、ロボティクスにおける有力なアプローチの一つと考えられてきた。しかし、多くの優れたロボットのハードウェアやアルゴリズムが提案されてきた一方、それらを実際に組み合わせて用いる

際には、ロボットの各関節の角度情報などを通じて制御・観測を行わなければならない、「身体と制御の間をどのように繋ぐか？」という身体-制御間インターフェースについては十分に注目されてこなかった。

2. 研究の目的

本研究では、ロボットの身体と制御の間のインターフェースについて、生物規範型の制御・学習アルゴリズムを用いる際には、ロボットの身体-制御間でやりとりされる情報についても生物を規範とする必要があると考える。そこで、本研究ではロボットの身体-制御間インターフェースについても生物を規範とするアプローチを採り、関節角度などの単一・決定論的な情報ではなく、生物の神経の様な冗長・確率論的な情報を用いたインターフェースの提案を目指した。

3. 研究の方法

本研究では主に以下の3点について研究を行った：

- (1) 確率的な2値の情報に基づいて制御を行うための生物規範型アルゴリズムに関する基礎的研究。
- (2) 連続なセンサ情報を冗長・確率論的な情報に変換するための生物規範型アルゴリズムに関する基礎的研究。
- (3) 生物規範型アルゴリズムを適用するための筋骨格ロボットアームの開発とその制御に関する研究。

(1), (2)については数理モデルを作成し、その有効性についてシミュレーションによる検証を行った。また、(3)については、ヒトの筋骨格系を模倣した構造を有する空気圧人工筋駆動の筋骨格ロボットアームを開発し、いくつかのタスクに注目した実ロボットによる実験を行った。

4. 研究成果

前述の3点の研究課題について、それぞれ以下の成果を得た。

- (1) 確率的な2値の情報に基づいて制御を行うための生物規範型アルゴリズムとして図1に示す「最小行動規範 (Minimalistic Behavioral Rule)」を提案し、雑誌論文(2)(3)(4)および学会発表(2)(3)(5)(6)(7)の成果を得た。このアルゴリズムは「評価が改善している間は1時刻前に取った行動を繰り返し、評価が悪化した時にはランダムに行動する」という単純な行動則であり、行動の繰り返しの際にノイズを加えて1時刻前の行動を変化させることで、評価の改善・悪化という単純な2値情報以上の評価関数の勾配情報を反映して行動することができる。雑誌論文(4)では、この単純な行動則と確率共鳴と呼ばれる現象(ノ

イズの存在が情報取得に益する現象)との類似性に注目し、大腸菌の様な単純な生物の行動において確率共鳴が寄与している可能性を確率モデルを用いて指摘した。また、雑誌論文(3)では前述の確率モデルを解析し、そのメカニズムの存在を数学的に証明した。これらの成果は理論生物学や生物物理学において評価され、分野の主要な論文誌に採録された。また、ロボティクスにおいても、最小行動規範の応用の可能性を調査し、その成果が雑誌論文(2)に示すように掲載された。

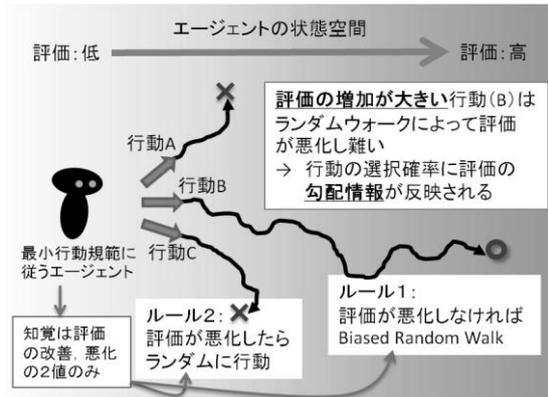


図1 最小行動規範の概念図

- (2) 連続なセンサ情報を冗長・確率的な情報に変換するための生物規範型アルゴリズムとして、(1)においても関連が深い確率共鳴と呼ばれる現象に注目した手法を提案し、学会発表(4)の成果を得た。図2に本研究で注目するグラフィカルモデルを示す。確率共鳴とは、連続値の入力信号 X に対し、その信号を閾値 θ によって2値化処理した出力信号 Y がある場合、ノイズ $N1$ を加えることで「入力信号が閾値以上か?以下か?」という単なる2値情報だけではなく、「入力信号が閾値に対してどの程度の大きさか?」という情報が0と1の発生確率となって表れる現象のことである。これまでにも確率共鳴の工学的応用を目指した研究が行われてきたが、いずれも入力信号 X を既知として出力信号 Y との相互情報量を計算することによって確率共鳴の存在を確かめることに留まっており、「入力信号 X が未知で出力信号 Y を観測することでその情報を得る」という実際の要請を満たすものではなかった。そこで本研究では、入力信号 X が未知の場合でも入力信号 X と出力信号 Y の間に確率共鳴が生じていることを確認し、その強度を推定・調節するという課題に取り組んだ。図2に示したグラフィカルモデルは、「同一の信号 X と独立なノイズ $N1, N2$ が入力される冗長な確率共鳴素子を持

つ観測系において、2つの出力間の疑似相関は入力信号 X と出力信号 Y の間の相関を表す」という研究の主要なアイデアを示している。現在、提案手法の基盤となる理論について研究を進めており、得られた成果は国際会議に投稿中である（1件）。

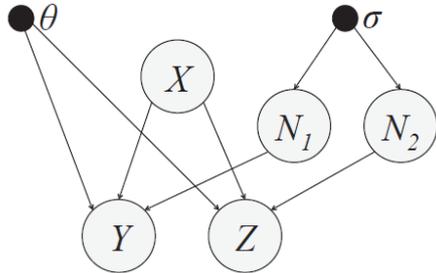


図2 提案手法のグラフィカルモデル

- (3) 筋骨格ロボットアームの開発とその制御に関する研究を行い、雑誌論文(1)および学会発表(1)(2)の成果を得た。図3に本研究で用いた筋骨格ロボットアームを示す。このロボットアームは7自由度の構造、17の空気圧人工筋を有し、その骨格構造、筋配置は人間の筋骨格系を模倣して設計されている。学会発表(2)では、前述(1)(2)の成果をここで開発したロボットに応用した結果を発表しており、本成果は本研究計画において重要であると考えられる。しかし、得られた結果が十分ではないため本研究の目的が達成されたとは言えず、今後も引き続き研究を推進することを予定している。

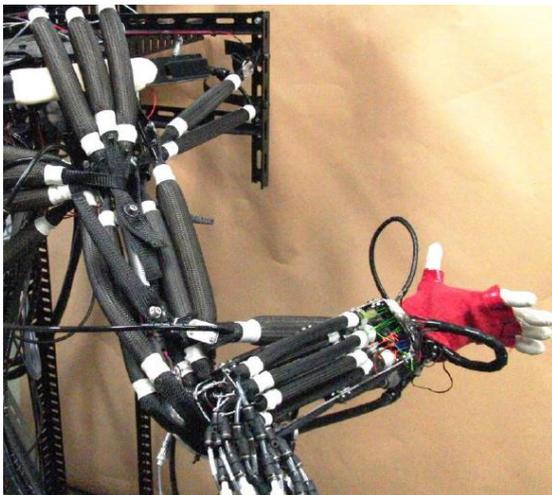


図3 筋骨格ロボットアーム

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 4件)

- (1) Shuhei Ikemoto, Yoichi Nishigori, Koh Hosoda, "Advantages of flexible

musculoskeletal robot structure in sensory acquisition", *Artificial Life and Robotics*, 査読有, 採録決定。

- (2) Fabio DallaLibera, Shuhei Ikemoto, Hiroshi Ishiguro, Koh Hosoda, "Control of real world complex robots using a biologically inspired algorithm", *Artificial Life and Robotics*, 査読有, 採録決定。
- (3) Shuhei Ikemoto, Fabio DallaLibera, Koh Hosoda, Hiroshi Ishiguro, "Minimalistic Behavioral Rule from Bacterial Chemotaxis in a Stochastic Resonance Setup", *Physical Review E*, 査読有, Vol.85, Issue 2, 2012, pages 021905.
- (4) Shuhei Ikemoto, Fabio DallaLibera, Hiroshi Ishiguro, "Stochastic Resonance Emergence from a Minimalistic Behavioral Rule", *Journal of Theoretical Biology*, 査読有, Vol.273, Issue 1, 2011, pages 179-187.

[学会発表] (計 7件)

- (1) Shuhei Ikemoto, Yoichi Nishigori, Koh Hosoda, "Advantages of flexible musculoskeletal robot structure in sensory acquisition", *International Symposium on Artificial Life and Robotics*, 2012年1月20日, 大分県。
- (2) Fabio DallaLibera, Shuhei Ikemoto, Hiroshi Ishiguro, Koh Hosoda, "Control of real world complex robots using a biologically inspired algorithm", *International Symposium on Artificial Life and Robotics*, 2012年1月19日, 大分県。
- (3) Fabio DallaLibera, Shuhei Ikemoto, Koh Hosoda and Hiroshi Ishiguro, "Minimalistic Behavioral Rule for Reflecting Robot's Morphology", *The 5th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2011)*, 2011年10月12日, 兵庫県。
- (4) 小山渚, 池本周平, 細田耕, "ヒト規範触覚センサの開発に向けた確率共鳴強度の最適化", *日本ロボット学会学術講演会*, 2011年9月9日, 東京都。
- (5) ダーラリベラ・ファビオ, 池本周平, 港隆史, 石黒浩, メネガッティ・エマヌエレ, "A minimalistic behavioral rule for robot control", 第8回身体性認知科学と実世界応用に関する若手専門委員会, 2010年11月10日, 大阪府。
- (6) 池本周平, ダーラリベラ・ファビオ, 港隆史, メネガッティ・エマヌエレ, 石黒浩,

"2 値評価に基づくランダムウォークを利用した学習データのサンプリング", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2010年6月14日, 北海道.

- (7) ダーラリベラ・ファビオ, 池本周平, 港隆史, 石黒浩, メネガッティ・エマヌエレ, "Biased Random Walk を用いた車輪移動型ロボットのロバストな制御手法の提案", 2010年6月14日, 北海道.

[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]

特に無し

6. 研究組織

(1) 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