

知能の力学的情報処理モデルの展開

Deployment of Dynamics-Based Information Processing Model of Intelligence

中村 仁彦 (Nakamura Yoshihiko)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授



研究の概要

身体運動の力学系と、脳型情報処理の力学系を結ぶことで、シンボル操作、言語的世界理解、自己内省、他者とのコミュニケーションなどの特徴を持つ機械知能を実現することを目標に実施した研究である。運動パターンの記号化、クラスタリング、抽象化の数理基盤を与え、記号に基づくコミュニケーションを実現し、体性感覚の推定法を確立した。

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：脳型情報処理、記号化、ミラーニューロン、ヒューマノイドロボット、神経筋骨格モデル、体性感覚情報

1. 研究開始当初の背景・動機

身体の力学系と脳神経系が多重階層的、連続的に構造化された複雑系が示す非線形力学系の挙動の中に、人の知能や心の情報処理の本質がある。このような視点は脳科学、生理学、物理学、哲学、認知心理学、発達心理学などの広い分野で、共有される世界観である。力学現象を情報処理の仕組みとする力学的情報処理によって、人の知能や心の情報処理に接近できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、身体運動の力学系と、脳型情報処理の力学系を結びつけることで、シンボルの操作、そこから生まれる言語的な世界理解、自己内省、他者とのコミュニケーションなどの特徴を持つ機械知能を実現するしくみを作ることである。

3. 研究の方法

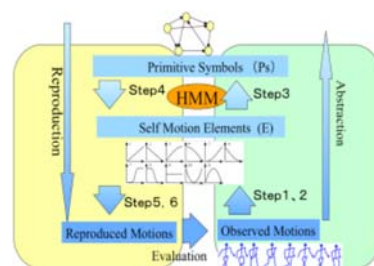
ヒューマノイドロボットを開発し、それを用いた実験と、人間の身体の詳細モデルを用いたシミュレーションによる検証というアプローチで機械知能の構成法を研究する。

- (1) センサリ=モータマップの内部状態変化を連続的な力学現象としてモデル化
- (2) ミラーニューロンの数学モデルの確立とその多重階層化
- (3) ヒューマノイドロボットを用いた実験と、人間の筋骨格モデルの運動をシミュレーションによって比較

4. 研究の主な成果

運動パターンデータの相関解析に基づく分節化、クラスタリングにおいて非単調シグモイド関数を持つニューラルネットワークを用いることで適応的に粒度の様々なクラスタリングが行えることを示した。粒度を決定する可塑性パラメータを自己組織化させることで、クラスタに適した粒度を獲得しながら、クラスタの階層構造を発見する方法を与えた。時系列パターンデータの記号化、記憶、階層的概念形成に新しい切り口を与えた。

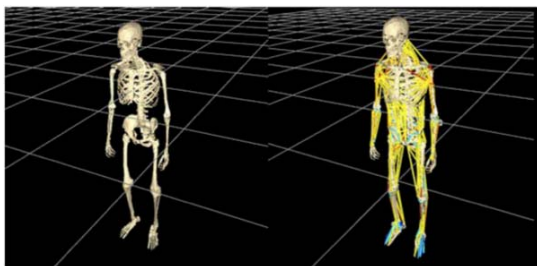
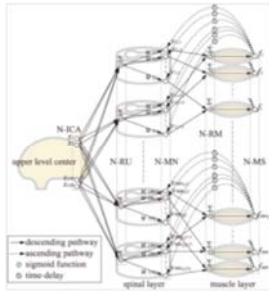
隠れマルコフモデルをミラーニューロンの機能要素として用いて、運動の認識と生成の双方向の計算を行う統計的情報処理を提案してきたが、本研究ではこれに大きな進展が見えた。統計的な類似度を用いてHMMの間に、位相構造を導入し原始シンボル空間と呼んだ。部分観測から全体を推論する問題に付いて、統計データの座標変換や、オクルージョンを分散で表現することなどによって統一的な扱いができることを示した。





原始シンボル空間をもったロボットがそれを用いて人間の動作を記号的に解釈し、ロボットが記号推論から行動を決定するコミュニケーションの基礎理論を与えた。これはミラーニューロンが言語と関連し、コミュニケーションを可能にしているという仮説をヒントにした問題設定である。またこれを実証するために、実証実験のために開発した小型ヒューマノイドを改造し、人2005年の愛・地球博では間の格闘技の対戦を実現した。

ロボティクスの運動学、動力学計算法や最適化法を採用して、人間のモーションキャプチャーデータから体の各部を運動させるのに必要な筋張力を推定する方法を与えた。さらに脊髄神経の骨格筋支配に関する解剖学的知見を用いることによって脊髄神経の活動状況を推定する方法を与えた。この実験を通じて、一連の全身運動とモーションキャプチャーのデータから全身の反射弓を発見できる可能性が出てきた。



5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

本研究では研究代表者が関わるものだけで8件の論文表彰を受けている。また研究代表者の個人表彰もこの間に7件を数え、国際的な受賞、表彰も多い。

中でも、ミラーニューロンの数学モデルとそれを用いた人間=ロボットコミュニケーション、人間の体性感覚の推定計算法や脊髄反射弓の議論については、周辺の科学技術の分野との共同研究が始まりつつある。このように、本研究の成果は世界的にも高い評価を得ており、今後のこの分野の発展の方向を示した研究として大きなインパクトを与えた。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

- [1] **Y. Nakamura**, K. Yamane, Y. Fujita, and I. Suzuki: "Somatosensory Computation for Man-Machine Interface from Motion Capture Data and Musculoskeletal Human Model," IEEE Transactions on Robotics, vol.21, no.1, pp.58-66, 2005.
- [2] T. Inamura, I. Toshima, H. Tanie, and **Y. Nakamura**: "Embodied Symbol Emergence based on Mimesis Theory," International Journal of Robotics Research, vol.23, no.4, 2004.
- [3] A. Murai, K. Yamane, and **Y. Nakamura**: "Modeling and identifying the somatic reflex network of the human neuromuscular system" IEEE/EMBS International Conference on Engineering in Medicine and Biology, pp. 2717-2721, 2007.
- [4] **Yoshihiko Nakamura**, Wataru Takano and Katsu Yamane: "Mimetic Communication Theory for Humanoid Robots Interacting with Humans," International Symposium of Robotics Research, San Francisco, USA, October 12-15, 2005.
- [5] Tomomichi Sugihara, Wataru Takano, Katsu Yamane, Kou Yamamoto, and **Yoshihiko Nakamura**: "Online Dynamical Retouch of Motion Patterns Towards Animatronic Humanoid Robots," IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 117-122, Tsukuba, Japan, December 5-7, 2005.

ホームページ等

<http://www.ynl.t.u-tokyo.ac.jp>