

371 力学的情報処理によるヒューマノイドの自律的行動生成

Autonomous Motion Generation

for Humanoid Robot using Dynamics Based Information Processing System

○中村 大介(東大) 岡田 昌史(東大) 中村 仁彦(東大)

Daisuke NAKAMURA, Masafumi OKADA and Yoshihiko NAKAMURA

Univ. of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, JAPAN

Abstract: The Dynamics Based Information Processing System is defined as the brain-like information system based on the entrainment and detrainment phenomenon of the nonlinear dynamics. This system memorizes some whole body motions as attractors and generates the time sequence pattern of robot motion. In this study, we design the hierarchical dynamics based information processing system that has sensor space and motor space. While the sensor signal is input to sensor space from outside, the input from sensor space is input motor space. The change of the sensor signal causes the change of dynamics in the sensor space, and robot takes some behaviors continuously and autonomously.

Key Words: brain-like information processing, nonlinear dynamics, entrainment, whole body motion

1 はじめに

従来のロボットの知能に関する研究は、評価関数の最適化問題が中心的な議題であった。だが、これらの処理はアルゴリズムに従ったシーケンシャルなものであり、ある限定されたタスクの遂行には適しているものの、生体の持つような柔軟な情報処理とはかけ離れたものである。一方、Freeman[1]らにより、ウサギの嗅覚系の集合電位を調べ、嗅ぎなれた臭いには秩序の高い状態を、知らない臭いに対しては強いカオス状態を経由して秩序ある状態をとることが分かっている。このことから、引込みやカオスといった力学現象が、記憶の動的な過程や意識の生成と関連しているとの見方がある [2]。

これらの事実から、知能の本質を非線形力学現象の挙動との関連で捉え、力学系を用いてロボットの知能を構築するアプローチを力学的情報処理と呼ぶ [3]。この試みとして、中村ら [4] は非圧縮性完全流体の運動方程式を2輪ロボットに組み合わせることで、連結し閉じた平面全体を動き回る性質を持つカオス移動ロボットを実現した。また、岡田ら [5] は任意の閉曲線をアトラクタとする力学系を多項式表現によって設計し、ヒューマノイドの全身運動をアトラクタとして記憶する手法を構築した。しかし、外部からのセンサ信号に応じて運動が変化する機構は考えられていない。

そこで本研究では、センサ信号からヒューマノイドの運動発現までの流れを、多項式表現による力学系を階層的に設計することで実現する。具体的には、センサ信号の入力される階層と運動を発現する階層を設計し、これらの相互作用と外からのセンサ入力によって力学系の状態を動的に変化させてヒューマノイドの行動を自律的に生成させる。

2 力学系の階層化による行動生成

2.1 力学系による運動遷移

力学系によってヒューマノイドの複数の全身運動をアトラクタとして記憶し、個々のアトラクタの引込み領域を変化させることで運動の遷移を行わせる。まず、ヒューマノイドの周期運動は関節角空間で閉曲線を描くが、この閉曲線をアトラクタとするような力学系を多項

式表現によって以下のように設計する。

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + \sum_i^M \mathbf{F}_i(\mathbf{x}_k, \kappa_i) \quad (1)$$

$$\mathbf{F}_i(\mathbf{x}_k, \kappa_i) = w_1 \mathbf{f}_i(\mathbf{x}_k) + \delta(1 - w_1)w_2(\mathbf{x}_k - \mathbf{x}_0) \quad (2)$$

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \sum_{P=0}^l \sum_{\substack{p_1, \dots, p_n \\ \sum p_i = P \\ p_i: \text{positive integer}}} a_{p_1 p_2 \dots p_n} \prod_{i=1}^m x_i^{p_i} \quad (3)$$

$$w_j(\mathbf{x}_k, \mu_j) = \frac{1}{1 + \exp\{\alpha_j(h_j(\mathbf{x}_k, \mu_j) - 1)\}} \quad (4)$$

$$h_j(\mathbf{x}_k, \mu_j) = \frac{1}{\mu_j} \sqrt{(\mathbf{x}_k - \mathbf{x}_0)^T \mathbf{Q}_j (\mathbf{x}_k - \mathbf{x}_0)} \quad (5)$$

δ, α_j は定数であり、 $(\mu_1, \mu_2) = (1, \kappa)$ である。 h_1 は中心 \mathbf{x}_0 と正定行列 \mathbf{Q}_j によって定義される楕円体 \mathbf{S}_1 の内外を大きさ 1 を境にして判断し、 h_2 は \mathbf{S}_1 を κ 倍した楕円体 \mathbf{S}_2 の内外を判断する。 w_1, w_2 は重み関数であり、 $\mathbf{S}_1, \mathbf{S}_2$ の内部では 1、外部では 0 の値をとる。このときの概念図を Fig.1 に示す。引込み領域の大きさを表す κ の値を発火強さ、 $\kappa > 0$ の状態をアトラクタが発火していると呼ぶ。発火強さを変化させることでアトラクタ間の遷移が可能であり、運動の遷移を実現する。

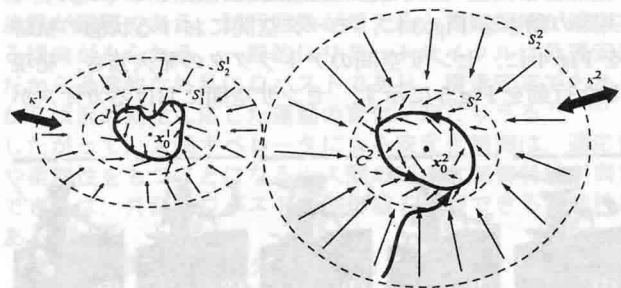


Fig. 1: Change of vector field

2.2 力学系の階層的設計

前節で κ の値の変化による運動の遷移を可能とした。本節では、センサ信号によって引込みを生じる階層(センサ空間)と、運動を発現する階層(モータ空間)の設計を考え、センサ入力から運動の発現までを、力学系を用

いた階層設計で実現する。以下に各空間の力学系を示し、Fig.2 にシステム全体の概念図を示す。

$$\mathbf{x}_{k+1}^s = \mathbf{x}_k^s + \sum_i^M \mathbf{F}_i^s(\mathbf{x}_k^s) + (1-w_1^s)w_2^s \mathbf{G}(\mathbf{x}_k^s) \quad (6)$$

$$\mathbf{x}_{k+1}^m = \mathbf{x}_k^m + \sum_i^M \mathbf{F}_i^m(\mathbf{x}_k^m) \quad (7)$$

センサ空間の状態 \mathbf{x}^s は式 (6) の $\mathbf{G}(\mathbf{x}_k^s)$ によってカオス

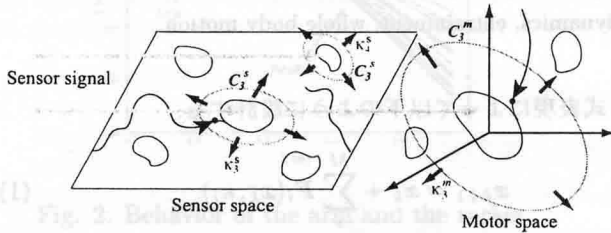


Fig. 2: Hierarchical representation

状態をとるが、外部からセンサ入力があると、複数のアトラクタ C_i^s が発火し、 \mathbf{x}^s は1つのアトラクタへ引込まれる。次に、センサ空間で引込みが生じると、モータ空間内の対応する1つのアトラクタ C_i^m が発火し、 C_i^m への引込みが生じ、運動が発現する。外界の環境の変化や、自らの運動によってセンサ信号は変化し、ロボットの行動は自律的に生成・遷移する。

3 ヒューマノイドの行動生成

11 自由度を持つロボットに設計したシステムを実装し、実験を行った。まず10個の行動を記憶し、センサ空間へ入力するセンサ信号としてタッチセンサの on-off、カメラによる色情報 (RGB 値) を用いた。そして、青いものを見せる → 左肩を触る → 緑の物を見せる → 頭部を触る → 赤いものを見せる、という入力を与え、2度実験を行った。このときの case2 についてのロボットの実際の動きを Fig.3 に、モータ空間における状態の軌跡を Fig.4 に、センサ空間のアトラクタの発火強さ、発現した行動を Fig.5 に示す。センサ空間におけるカオスが

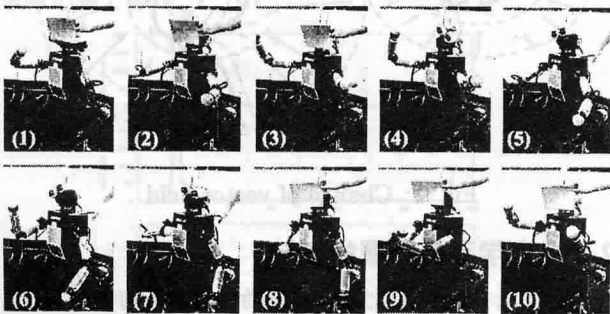


Fig. 3: Motion change with sensor signal:

ロボットの内部状態に対応し、内部状態によって運動の

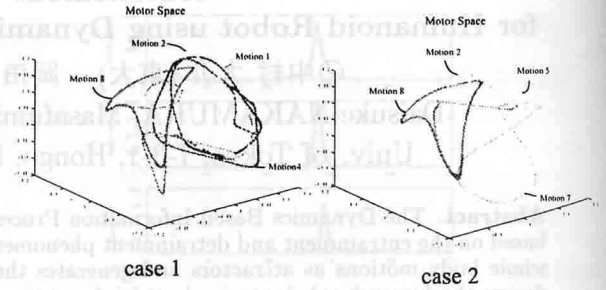


Fig. 4: Trajectory of \mathbf{x}_k^m

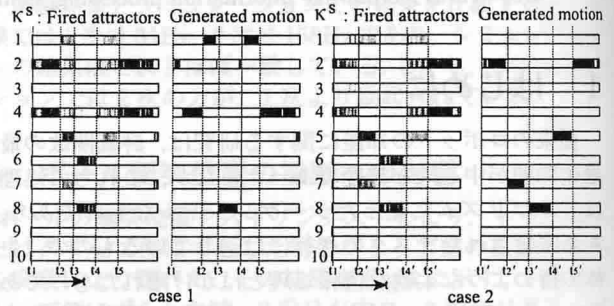


Fig. 5: Fired motions

発現が変化している。

4 おわりに

本研究では、引込みやカオスを生じる力学系を用いてセンサ信号を入力とした階層的情報処理系を設計し、以下の結果を得た。

- ヒューマノイドの複数の運動を力学系を用いてアトラクタとして記憶し、引込み領域の大きさを変えることで運動の遷移を実現した。
- センサ信号から運動の発現までを力学系を用いて階層的に設計し、カオスを生じる内部状態によって運動の発現が変化するシステムをヒューマノイドに実装した。

なお、本研究は科学技術振興事業団「自律的行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」の支援を受けた。

参考文献

- [1] W.J.Freeman and W.Schneider: Changes in spatial patterns of rabbit olfactory EEG with conditioning to odors, Psychophysiology, No.19, pp.44-56,1982
- [2] 津田一郎: 脳における生成と崩壊のダイナミクス, 数理科学 No.396,6月号,1996
- [3] 中村仁彦: 行動から知能への力学的設計論にむけて, システム/制御/情報, Vol.46, No.1, pp.3-8,2002
- [4] 中村, 関口: カオティック移動ロボット, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.6, pp.918-926,1997
- [5] M.Okada, K.Tatani and Y.Nakamura: Polynomial Design of the Nonlinear Dynamics for the Brain-Like Information Processing of Whole Body Motion, Proc. of 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1410 ~ 1415,2002