

力学的引込みによるヒューマノイドの運動遷移

Motion transition of the Humanoid
based on Brain-like Information processing using dynamical systems

中村 大介 岡田 昌史 中村 仁彦 (東京大学)

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 that generates the motion pattern using the entrainment and detrainment phenomenon of the nonlinear dynamics. This system recollects some whole body motions as attractors and generates the time sequence pattern of robot motion. In this paper, we design the hierarchical dynamics based information processing system that has sensor space and motor space. Because of the sensor signal, some attractors in the sensor space are fired that ignites some attractors in motor space, which caused the entrainment of the nonlinear dynamics to the closed curved line in N dimensional space. Based on the change of the sensor signal, the robot takes some behaviors continuously.

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

1 はじめに

ロボットの知能に関する研究は近年盛んとなり、従来の人工知能に多い記号処理方式に代わる柔軟な知的情報処理として、脳型情報処理が注目されている。一方、生体の脳神経において力学現象が多く見られ、Freeman[1]はウサギの嗅球の集合電位が既知の臭いに対しては周期状態に近い状態をとり、未知の臭いに対してはカオス状態をとることを明らかにした。また津田[2]は学習におけるカオスの有効性を示し、脳を多安定な力学系としていくつかの安定状態を遷移していく様子をカオスの遍歴と呼んだ。このような中で、知能において力学現象が本質的な役割を担っている[3]との考えがある。

本研究では、力学系の引き込み現象やその開放に基づいて情報処理を行う系を力学的情報処理系と定義し、これを用いたヒューマノイドの運動の遷移を実現する。ヒューマノイドの全身運動を力学系のアトラクタとして記憶し、引き込みを用いた運動の再生、引き込み領域の操作による複数の運動間の遷移を実現し、ロボットの内部状態に依存した運動の遷移を変化させるシステムを構築する。

2 力学系による運動の記憶・再生・遷移

ヒューマノイドの多自由度な全身運動 θ^N を少数の基底で表される状態空間 R^n ($n < N$) へと低次元化する変換写像 f を得る。ヒューマノイドの全身運動はこの状態空間内において閉曲線 C を描き、この閉曲線をアトラクタとする離散時間力学系 $F(x)$ を多項式表現[4]によって以下のように設計する。

$$x_{k+1} = x_k + F(x_k) \quad (1)$$

$$F(x_k) = w_1 f(x_k) + \delta(1 - w_1)w_2(x_k - x_0) \quad (2)$$

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

δ は定数であり、 w_1, w_2 は重み係数で以下の式によって定義される。

$$w_i(h_i(x_k)) = 1 - \frac{1}{1 + \exp\{\alpha_i(h_i(x_k) - 1)\}} \quad (4)$$

$$h_i(x_k, \kappa_i) = \frac{1}{\kappa_i} \sqrt{(x_k - x_0)^T Q_i (x_k - x_0)} \quad (5)$$

α_i は定数である。 $i = 1$ のとき、 κ_1 は定数で式(5)では中心 x_0 と正定行列 Q_1 で定義される楕円体 S_1 (C を内包する) に対して、大きさ 1 を境にして楕円の内部と外部が判断される。この値を用いて式(5)によって内部ならば 1、外部ならば 0 の値を重み係数 w_1 として用いる。一方、 $i = 2$ のときは楕円体の軸長を κ_2 の値によって変化させる。このとき、 $F(x)$ と $x_k - x_0$ を状態空間内のベクトル場として定義したときの概念図を Fig.1 に示す。こ

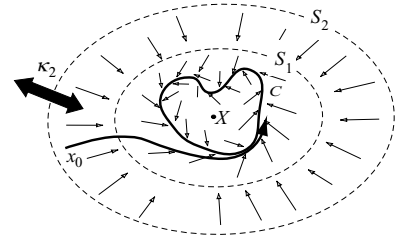


Fig. 1: Vector field

れにより、 S_2 の点 $x[0]$ から出発したヒューマノイドの姿勢の状態 x は閉曲線 C に引込まれ、これに対応する運動 M を発現する。これは運動の記憶と再生に相当する。複数の行動が存在する場合には式(1)を

$$x_{k+1} = x_k + \sum_i F_i(x_k) \quad (6)$$

とし、各 κ_2 に相当する変数を変えることで、運動の遷移を実現する。

3 力学系の階層化

次に、この力学系の階層化を行う。力学系はセンサ空間とモータ空間の 2 つの階層を持つ (Fig.2 参照)。セン

サ空間におけるアトラクタ (閉曲線) を C_i^s とし, モータ空間におけるアトラクタを C_i^m とする. センサ空間内の状態変数 x_k^s は

$$x_{k+1}^s = x_k^s + F^s(x_k^s) + (1 - w_1^s)(1 - w_2^s)G(x_k^s) \quad (7)$$

で表される力学系に基づいて運動する. ここで, $G(x_k^s)$

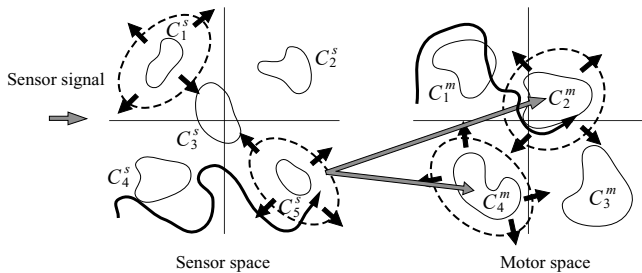


Fig. 2: Hierarchical representation

はカオス的な挙動を示す部分を表す. 外部からのセンサ信号によって複数の κ_2^s の値を変化させ, x_k^s を C_i^s のいずれかに引き込む. x_k^s が C_i^s に引き込まれるとそれに対応した κ_2^m を変化させ, モータ空間内の x_k^m を C_i^m に引き込ませ, 行動の発現を行う. 行動によってセンサ信号は変化し, ロボットの運動は別の動きへと変化する. これにより, ロボットは自律的な行動をとる. センサ信号がない場合には, x_k^s はカオス的な挙動をとるため, 同じセンサ信号に対してもロボットは別の行動を発現する. これは, ロボットの内部状態によって異なる行動を発現することに相当する.

4 ヒューマノイドの行動生成

実際に用いたヒューマノイドを Fig.3 に示す. このロ

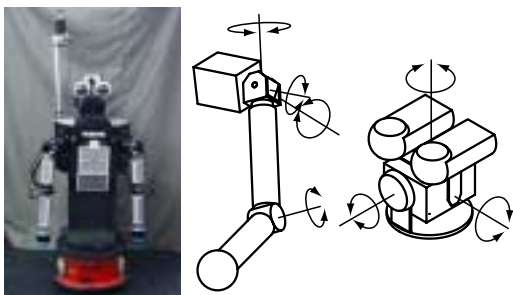


Fig. 3: Robovie

ボットは 11 自由度を持つ. 10 個の全身運動をそれぞれ 3 次元に圧縮し, 状態変数の各要素が関節角度を表すモータ空間を設計した. センサ信号としてタッチセンサ信号を用いた. タッチセンサ信号によっていくつかの行動の引き込み領域が大きくなり, その中の 1 つの行動が発現する. タッチセンサからの入力を右肩 → 頭部右側 → 右腕と変化させたときのモータ空間における x_k^m の動きを Fig.4 に示す. また, このとき発火したセンサ空間上の閉

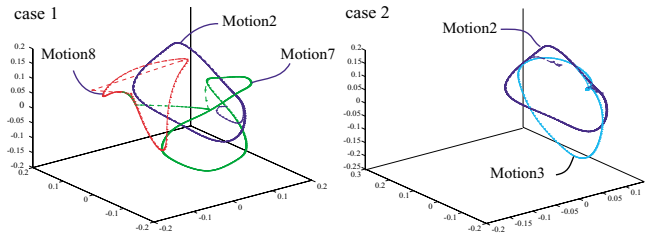


Fig. 4: Trajectory of x_k^m

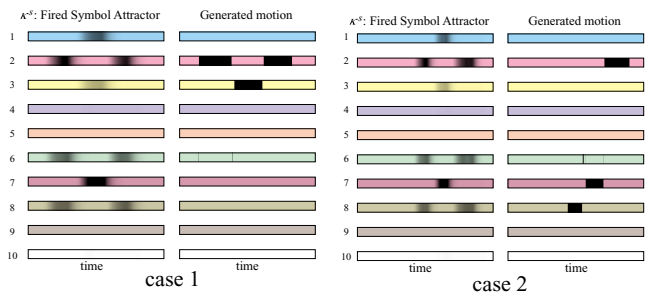


Fig. 5: Fired motions

曲線, モータ空間上の閉曲線の番号を Fig.5 に示す. 実験は 2 度行われ, センサに触れるタイミングを変えることで異なる行動が発現される.

5 おわりに

本研究では, ヒューマノイドの運動遷移に引き込み現象を持つ力学系の適用を考え, 以下の結果を得た.

- 多項式で表現された, アトラクタを持つ力学系を用いて, ヒューマノイドの多数の全身運動の記憶・再生を実現した.
- アトラクタの引き込み領域の大きさを操作することでアトラクタ間の遷移を可能とし, ヒューマノイドの複数の運動間の遷移を実現した.
- 力学系の階層化とカオス力学系の導入により, タッチセンサからの入力と内部状態によって運動の遷移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: 「匂いを識別する脳のカオス」別冊日経サイエンス vol.120 pp.42 ~ 51,1991
 [2] 津田一郎: カオスの脳観, サイエンス社, 1990
 [3] 中村仁彦: 非線型力学系として統合されたロボットの情報処理と制御 - 運動の制御理論から知能の制御理論へ -, 計測と制御, Vol.40, No.6, pp.426-432, 2001
 [4] 岡田昌史, 中村仁彦: N次元時系列パターンを記憶連想する非線型力学系の多項式表現 日本ロボット学会予稿集, 1229-1230, 2001