

A-013

低次元アトラクタによる運動遷移の一手法

Smooth transition of whole body motion by effect of low-dimensional attractor

望月 雄飛†
Yuhi Mochizuki須鎗 弘樹‡
Hiroki Suyari

1. はじめに

近年, 生体内の連想や記憶といった情報処理にカオスや引き込み現象などの非線形力学現象が関連していることがわかってきており, 力学系を利用した知能や情報処理などの研究が注目されるようになってきている. 中村ら[1,2]はヒューマノイドロボットの周期運動を低次元化して閉曲線として表し, これをアトラクタとした. さらに, アトラクタ間の遷移によって全身運動の遷移を実現した. 本研究では, それらを基にして, 各関節角度や角度の変化量を用いた運動の遷移に対する評価関数を提案し, それによって最適なタイミングでの滑らかな運動の遷移を行う手法を提案する.

2. 全身運動のアトラクタへの変換

ロボットの全身運動は全身の関節の角度が連続時間で変化することによって生成される. 本研究では一定時間ごとの各関節角度をポーズ θ , ポーズを時間順に並べたものを運動のデータ M として扱う. ポーズはそれぞれの関節角度を並べた列ベクトルである.

$$M = [\theta[1] \ \theta[2] \ \dots \ \theta[m]]$$

ヒューマノイドロボットのような大自由度を持つロボットの場合, 運動データをそのまま扱うと計算コストが高くなる. そのため本研究では特異値分解を用いて全身の周期運動の低次元化を行い, 閉曲線を得る. 運動データを特異値分解すると

$$M = USV^T$$

となる. S は特異値が対角成分に並んだ対角行列であり, 特異値を考慮して, 以下のように分解する.

$$U = [U_1 \ U_2] \quad S = \begin{bmatrix} S_1 & 0 \\ 0 & S_2 \end{bmatrix} \quad V^T = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}^T$$

全身運動を次式によって近似することにより低次元化する.

$$M \cong U_1 S_1 V_1^T$$

ここで

$$A = U_1 S_1 \quad X = V_1^T$$

とおくと, 全身運動が行列 A によって X に低次元化される.

次に周期運動を低次元化した閉曲線に, 近傍の点を引き込むようにベクトル場を設定し, それを多項式近似することにより, 周辺の点を引き込む低次元のアトラクタを作成する. ベクトル場は行列によって記述される. 構成方法については[1,2]を参照. ここではその行列を F とする.

従って運動をアトラクタとして獲得すると, 運動の低次元化の行列 A と低次元の空間上の挙動を示す行列 F の2つの行列によって表される.

2種類の運動をアトラクタとして獲得し, それに対応する低次元化の行列 A_1, A_2 とベクトル場を近似した行列を F_1, F_2 として, これを動作1, 動作2とする. 動作1から動作2への遷移の力学系は次式で表される. x は低次元空間上の点で, 全身運動のポーズに対応するものであり, ξ は x の多項式表現である.

$$x[k+1] = x[k] + \alpha F_1 \xi(x[k]) + \beta F_2 \xi(x[k])$$

α を1から0へ, β を0から1へ徐々に変化させることにより, アトラクタ間を滑らかに遷移させることができる. また, この力学系から $\alpha A_1 + \beta A_2$ によって全身運動を生成する.

3. 問題の提起

今回の実験では全身に17個の関節を持つヒューマノイドロボットを扱い, シミュレータ上で設計した異なる2つの周期運動を対象とする.

17次元のヒューマノイドロボットの周期運動を特異値を考慮して6次元に低次元化し, 閉曲線を獲得した. さらに, 閉曲線の周辺ヘラングラムにベクトルの始点を複数与え, 閉曲線に近づくベクトルを設定し, それを3次の多項式で近似することによりベクトル場を作成した.

これを2つの異なる運動について行い, アトラクタ間の遷移と動作の対応を観察した.

左腕と左足を振り上げ, 振り下ろす動作と両腕を交互に前に突き出す動作の2つをアトラクタとして獲得し, 運動の遷移を行った. この2つの動作を動作1, 2とする.

図1は6次元に低次元化を行った運動の第3成分までをプロットしたものであり, 最初, 動作1に対応する閉曲線を周回し, そこから動作2に対応する閉曲線に引き込まれることがわかる. また, この遷移から17次元の運動を生成すると遷移途中の動作が得られた.

この運動の遷移では, 遷移を開始するポーズや遷移途中の動作を考慮していない. そのため, 遷移途中に不安定な動作が生成されることがある. これを防ぐため, 遷移途中の動作はできるだけ角度変化の小さな動作にする必要がある.

†千葉大学大学院自然科学研究科
‡千葉大学大学院融合科学研究科

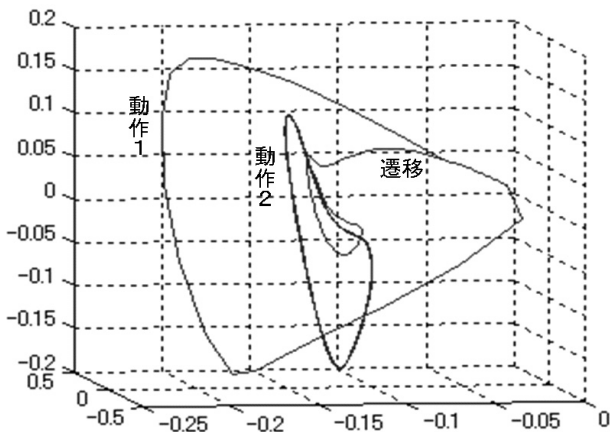


図1 アトラクタ間の遷移

4. 提案手法

遷移途中の角度変化を出来るだけ小さくするため、低次元空間上の点とそれに対応するロボットのポーズを考慮し、遷移中の動作の角度変化が小さくなるタイミングによって滑らかに遷移する手法を提案する。

4.1 低次元化

2つの運動を同一空間上で評価するため、同一の低次元化行列によって低次元化する必要がある。ここでは2つの動作の運動データ M_1, M_2 を1つの全身運動の行列とし、低次元化を次式のように行う。

$$\begin{bmatrix} M_1 & M_2 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}$$

2つの運動データが A によって低次元化されている。それぞれの閉曲線に引き込むベクトル場を設定し、近似することによって2つの動作に対応したアトラクタを得る。

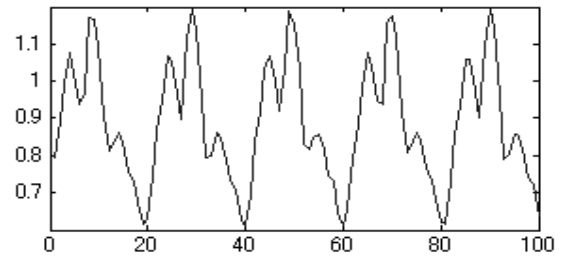
4.2 評価関数

各関節角度の差と角度の変化量の差を考慮した関数について説明する。2つのポーズに対してそれぞれの関節角度の差の合計を g 。そのポーズから次のポーズへ変化する際の関節角度の変化量の合計を g' としたときに

$$h[k] = w_1 g[k] + w_2 g'[k]$$

を運動遷移における評価関数とする。この関数はアトラクタから生成されるポーズの近さを示している。

図2は動作1と動作2に対する $h[k]$ を計算したものである。時間 k において動作1のアトラクタから生成されたポーズと、動作2を構成する全てのポーズについて評価関数の値を計算し、最小の値のものを $h[k]$ とする。 $h[k]$ の値が小さい時刻が、2つのアトラクタから生成されるポーズの関節角度と関節角度の変化量が近いタイミングであり、そこで運動遷移させることにより、滑らかな運動遷移を生成することが可能となる。

図2 $h[k]$ の変化

5. 提案手法による運動の遷移

実際の2つの動作をアトラクタとして獲得し、評価関数が最小になるタイミングで遷移を行った。図1と図3を比較すると、図1では遷移を開始する点と遷移先の閉曲線との距離があり、遷移途中で曲線が現れているのに対して、図3では2つのアトラクタ間の距離が近い部分で遷移が起きているため、それが見られない。提案手法による運動の遷移では遷移途中の動作の角度変化はほとんど無く、動作1から動作2への滑らかな遷移動作が得られた。

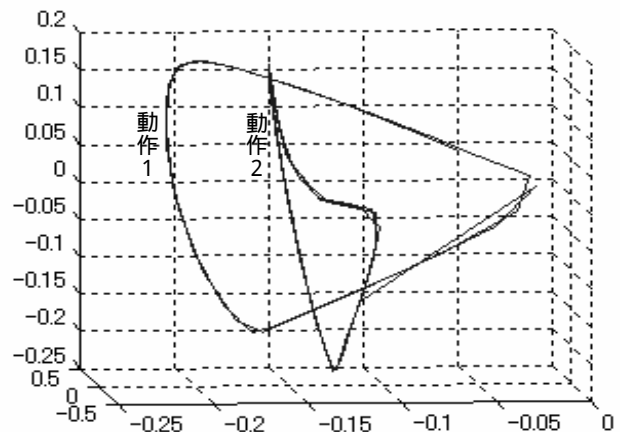


図3 提案手法による遷移

6. おわりに

低次元空間上のアトラクタによる運動の遷移において全身の関節角度と角度の変化量を考慮することにより、滑らかな運動の遷移を実現できた。

今後の課題として、重心などを考慮した指標によって運動を遷移させることなどが挙げられる。

参考文献

- [1] Masahumi Okada, Koji Tatani, Yoshihiko Nakamura "Polynomial Design of the Nonlinear Dynamics for the Brain-Like Information Processing of Whole Body Motion", Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1410-1415, 2002.
- [2] 岡田昌史, 中村仁彦, "脳型情報処理を行う力学系の多項式設計法とそのヒューマノイドの全身運動生成への応用"日本ロボット学会誌 Vol. 22 No. 8, pp.1050~1060, 2004.