

# 周期運動のアトラクタ化によるロボットの滑らかな運動遷移の実現

情報科学科 水上 俊輝

指導教員：小林 邦和，鈴木 拓央

## 1 はじめに

近年、ロボットの社会進出が進んでおり、ロボットが人間と接する機会も増えてきている。ロボットが個々の運動を連続時間上で実行する場合、その運動遷移は滑らかな遷移にならない可能性があり、人間に対してぎこちない印象を与えてしまう。そこで、ロボットの個々の動作を連続時間上で滑らかに遷移させることで、より人間らしい動きをロボットへ実装できるのではないかと考えた。

先行研究ではロボットの個々の周期運動をアトラクタ化し遷移させることで、運動遷移を実現させている [1][2]。本研究では先行研究の手法を実装することで、円滑な運動遷移が行われているか確認する。

## 2 アトラクタを持つ力学系の設計

ロボットの全身運動は、ロボットの関節角度が連続時間で変化することで生成される。本研究では、サンプリング時間ごとのロボットの関節角度を  $\mathbf{m}$ 、各関節角度を時間順に並べたものを運動データ  $M$  とする。ここで、 $\mathbf{m}$  は各関節角度を並べた列ベクトルである。

$$M = [ \mathbf{m}[1], \mathbf{m}[2], \dots, \mathbf{m}[n] ] \quad (1)$$

ヒューマノイドロボットのような多自由度を持つロボットの場合、運動データをそのまま用いると計算コストが高くなってしまいうため、特異値分解を用いることで全身の周期運動の低次元化を行う。運動データ (1) を特異値分解することで、

$$M = USV^T \quad (2)$$

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

を得られ、ここで次式によって全身運動を近似することによって低次元化を行う。

$$M \cong U_1 S_1 V_1^T \quad (3)$$

式 (3) によって得られた全身運動の低次元化データを、

$$\Xi = [ \xi[1], \xi[2], \dots, \xi[n] ] \quad (4)$$

とする。

式 (4) で表現される閉曲線  $C$  に対し、 $N$  次元空間上にある領域  $D$  を設定し、領域内の点  $\boldsymbol{\eta}_i$  におけるベクトル場  $\mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_i)$  を定義する。ここで、点  $\boldsymbol{\eta}_i$  は  $\xi[k+1] - \xi[k]$  に垂直な  $N-1$  次元内の球内に配置しており、 $\xi^{\boldsymbol{\eta}_i}[k]$  は  $\xi[k]$  の中で  $\boldsymbol{\eta}_i$  に最も近い点である。また、 $\gamma_i$  はアトラクタの引き込み具合を調節するパラメータである。

$$\mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_i) = (\xi^{\boldsymbol{\eta}_i}[k+1] - \xi^{\boldsymbol{\eta}_i}[k]) + \gamma_i \quad (5)$$

次に、ベクトル場  $\mathbf{f}(\mathbf{x})$  を最大次数  $\ell$  の多項式で以下の形に近似的に表現する。

$$\mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_i) = \sum_{P=0}^{\ell} \sum_{\substack{p_1, \dots, p_N \\ \sum p_j = P}} a_{(p_1 p_2 \dots p_N)} \prod_{j=1}^N \eta_{ij}^{p_j} \quad (6)$$

このベクトル場  $\mathbf{f}(\mathbf{x})$  を多項式の係数からなる行列  $\Phi$  を用いて、次式の形で表現する。

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \Phi(a_{(p_1 p_2 \dots p_N)}) \boldsymbol{\theta}(\mathbf{x}) \quad (7)$$

$$\boldsymbol{\theta}(\mathbf{x}) = [ x_1^\ell \ \dots \ x_N^\ell \ x_1^{\ell-1} x_2 \ \dots \ 1 ]^T \quad (8)$$

次に代表点  $\boldsymbol{\eta}_i$  に対して定義した  $\mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, L$ ) から最小二乗法によって  $\Phi$  を求める。 $F, \Theta$  を次式の形で定める。

$$F = [ \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_1) \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_2) \dots \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_L) ] \quad (9)$$

$$\Theta = [ \boldsymbol{\theta}(\boldsymbol{\eta}_1) \boldsymbol{\theta}(\boldsymbol{\eta}_2) \dots \boldsymbol{\theta}(\boldsymbol{\eta}_L) ] \quad (10)$$

式 (9), (10) を用いることで、 $\Phi$  の最小二乗解は次のようになる。ここで、 $\Theta^+$  は  $\Theta$  の擬似逆行列である。

$$\Phi(a_{(p_1 p_2 \dots p_N)}) = F \Theta^+ \quad (11)$$

これにより、閉曲線  $C$  をアトラクタとする力学系の多項式による表現を得られ、領域  $D$  内の任意の点  $\mathbf{x}[0]$  は  $k \rightarrow \infty$  で閉曲線  $C$  に引き込まれると考えられる。

また、複数のアトラクタのベクトル場  $\mathbf{f}_1(\mathbf{x}), \mathbf{f}_2(\mathbf{x})$  に対して、アトラクタ間を遷移する式は次の通りである。

$$\mathbf{x}[k+1] = \mathbf{x}[k] + \alpha_1 \mathbf{f}_1(\mathbf{x}[k]) + \alpha_2 \mathbf{f}_2(\mathbf{x}[k]) \quad (12)$$

ここで、 $\alpha_1$  と  $\alpha_2$  は、それぞれのアトラクタの重要度を表す係数である ( $0 \leq \alpha_1, \alpha_2 \leq 1$ )。

## 3 計算機シミュレーション

実際の運動データを用いる前に、人工的に作成した 2 次元の円状の運動データ  $\Xi_1, \Xi_2$  に対してアトラクタを生成し、遷移させる。

運動データと代表点  $\boldsymbol{\eta}_i$  の距離を  $L_D = 0.35$ 、パラメータ  $\gamma_i = [0.005, 0.005]$  としてアトラクタを生成し、初期値  $\mathbf{x}[0] = [-1.0, 1.2], \alpha_1 = 1, \alpha_2 = 0$  としてシミュレーションを行った。150 ステップの実行中、40 ステップから  $\alpha_1 \rightarrow 0, \alpha_2 \rightarrow 1$  となるように  $\alpha$  を 0.04 ずつ変化させた。結果は図 1 の通りとなった。

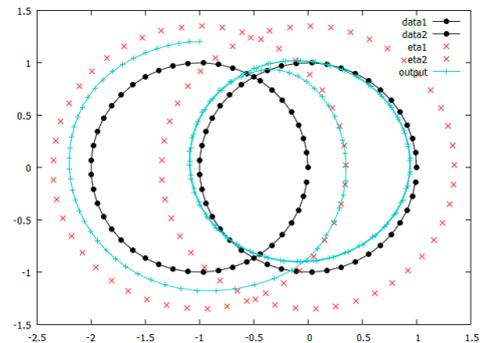


図 1 実行結果

図 1 の黒色の点が運動データ、赤色の点が代表点  $\boldsymbol{\eta}_i$ 、空色の点が実際の軌道を表している。図 1 より、アトラクタの設計が正常にできていないものの、アトラクタ間の遷移自体は正常に行えていることが確認できる。

## 4 おわりに

本研究では、異なる運動データを基にしたアトラクタ間の遷移が正常に行えていることが確認できた。

今後の課題として、実際の運動データを用いたアトラクタの設計と実機への適用が挙げられる。

## 参考文献

- [1] 岡田 昌史, 中村 仁彦 (2004) 「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.
- [2] 望月 雄飛, 須鎗 弘樹 (2007) 「低次元アトラクタによる運動遷移の一手法」, FIT2007 (第 6 回情報科学技術フォーラム), A-013, pp.31-32.