

# 四元数ニューラルネットによる運動学の学習

鈴木 亨<sup>†</sup> 小川 毅彦<sup>†</sup> 林 誠治<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 拓殖大学工学部電子システム工学科

## 1. はじめに

多層型ニューラルネットの四元数への拡張が研究されている。多層型四元数ニューラルネットは、四元数に拡張された誤差逆伝搬法により、四元数間の関係を学習できる[1]。一方、多関節ロボットアームの関節角から先端座標を求める計算が運動学である[2]。関節角及び先端座標を四元数で表すと、運動学は四元数による多変数関数で表現できる。本研究では、多層型四元数ニューラルネットを、四元数で表現した多関節ロボットアームの運動学の学習に適用する。

## 2. 四元数とニューラルネット

四元数は1つの実部と3つの虚部からなる高次元数である。虚数単位を  $i, j, k$  とすると、 $\mathbf{x} = x_0 + ix_1 + jx_2 + kx_3$  と表現できる。ただし  $x_0, x_1, x_2, x_3$  は実数であり四元数の各成分を表す。また、

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1,$$

$$ij = -ji = k, jk = -kj = i, ki = -ik = j \quad (1)$$

である。四元数は乗法に関して結合則を満たすが交換則を満たさないという特徴がある。

入力と荷重、出力を四元数に拡張した多層型ニューラルネットを考える。本研究では四元数入力の各部にシグモイド関数を用いる各部独立型のニューロンを考える。つまり  $\mathbf{s} = s_0 + is_1 + js_2 + ks_3$  に対して、

$$f(\mathbf{s}) = f(s_0) + if(s_1) + jf(s_2) + kf(s_3), f(u) = \frac{1 - e^{-u}}{1 + e^{-u}} \quad (2)$$

とする。学習時は、四元数に拡張された誤差逆伝搬法により、四元数荷重の更新を行う。

## 3. 多関節ロボットアームの運動学

多関節ロボットアームにおいて、与えられた関節角に対して先端座標を求めるのが運動学である。本研究では図1に示す3自由度アームを考え、3つの関節角  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  から先端座標  $P(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$  を求める。実際には、関節角を表す回転行列に対応する四元数  $q_1, q_2, q_3$  と、先端座標に対応する四元数  $p$  を用いる。

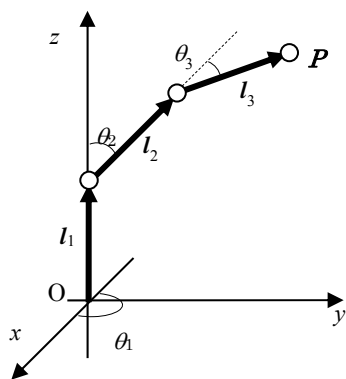


図1. 3自由度ロボットアーム

## 4. シミュレーション

四元数ニューラルネットによるロボットアーム逆運動学解法の動作を示すために、関節角と先端座標のデータを用いて、ネットワークの学習により3自由度アームの逆運動学問題を解く。ネットワークは3入力1出力とし、中間層は5とした。学習係数は0.001とし、学習回数は10000回とした。入力は  $\theta_1$  と  $\theta_2, \theta_3$  の3つの関節角に対応する四元数、出力は1つの先端座標を表す四元数とした。学習データと以下の通りとし、テストデータは学習データと同じデータ(テストデータ①)と学習データに含まれないデータ(テストデータ②)とした。具体的には、学習データの中間の関節角となる任意の10個のデータとした。

- 学習データ: 関節角  $\theta_1 = \{0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ\}$ ,  $\theta_2 = \{30^\circ, 60^\circ, 90^\circ\}$ ,  $\theta_3 = \{30^\circ, 60^\circ, 90^\circ\}$ , 先端座標  $P(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ , 計63データ。
- テストデータ①: 学習データと同じ、関節角  $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ , 先端座標  $P(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$  の63データ。
- テストデータ②: 学習データに含まれない、関節角  $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ , 先端座標  $P(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$  の10データ。

学習を行った結果、平均2乗誤差は0.00299となり十分に減少した。テストデータ①を用いて推定した結果、先端座標の推定誤差の平均は0.128、分散は0.00382となり、ほぼ正しく推定されている。一方テストデータ②を用いた場合は、先端座標の推定誤差の平均は0.246、分散は0.0226となり、未学習データではやや誤差が大きくなっている。

## 5. まとめ

本研究では、多層型四元数ニューラルネットを、四元数で表現した多関節ロボットアームの運動学の学習に適用することを提案し、3自由度ロボットアームのモデルを用いてシミュレーションを行った。結果として、四元数ニューラルネットで十分に学習が可能であることを示した。今後の課題として、未学習データに対する推定精度の向上および誤差に対する量的な検証が必要であると考えている。

## 参考文献

- [1] T. Nitta, "An extension of the back-propagation algorithm to quaternions", Proc. of Int'l Conf. on Neural Information Processing, 1, 247/250 (1996)
- [2] 広瀬茂男, ロボット工学, 裳華房 (1987)