VI－4 **遺伝的アルゴリズムによるマニピュレータの制御法**

足利工業大学, ○山根裕造, 張暁軍

Control Method of Manipulator Based on Genetic Algorithm

Ashikaga Institute of Technology, ○ Yuzo Yamane, Xiaojun Zhang

1 まえがき

近年, 新しいロボットマニピュレータは産業分野で幅広く普及しており, より高速, 高精度に制御されることが要求されている. しかし, このような制御を実現するには様々な問題点がある. それはロボットマニピュレータの非線形特性と外乱により特性変動を引き起こしているなどである. これに対して様々な制御法は提案されていた. 例えば H_∞ 制御による２自由度ロボットの軌道制御[1] がある. 遺伝的アルゴリズム (GA) による制御法の研究はまだ少ないようである. そこで, 本研究ではGA を用いてマニピュレータの位置決め問題を解くことにする. 目標値として関節角は時間関数で与えられており, それを目標としてGA による制御法を提案する. さらに数値シミュレーションにより提案した手法の有効性を示している.

2 問題の提起

マニピュレータ運動方程式

$$M(\theta)\ddot{\theta} + h(\theta,\dot{\theta})\dot{\theta} + g(\theta) = \tau \tag{1}$$

において M,θ,τは慣性行列, 関節角ベクトル, 入力トルクで、h は遠心力, コリオリ力τであり、$\theta = z_1, \dot{\theta} = \dot{z}_1 = z_2$ とおくと

$$\dot{z} = A_1 z + B u_1 + f_1 \tag{2}$$

のように書き換られる。ただし

$$x_1 = \begin{pmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix}, \quad A_1 = \begin{pmatrix} 0 & I \\ 0 & -M^{-1}h \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ I \end{pmatrix}, \quad f_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -M^{-1}g \end{pmatrix}, \quad \tau = u$$

である。$M = M(z_1), h = h(z_1, z_2), g = g(z_1), \tau \in R^r$.

さて (2) に対して次の r 個の入力出力をもつ n 次元多変数可制御標準形で記述される$\sum_1$, $\sum_2$ を考える。 $\sum_1$ は (2) 式に相当し, $\sum_2$ は規範モデルである。

$\sum_J : (J = 1, 2)$

$$\begin{aligned} \dot{x}_J &= A_J x_J + B u_J + f_J & (3) \\ y_J &= C_J x_J & (4) \end{aligned}$$

ただし

$$A_J = N_n + B(\bar{A}_J + \mathring{A}_J)$$

$$N_n = \left(\begin{array}{c|c} 0 & I \\ \hline \multicolumn{2}{c}{0} \end{array} \right) \in R^{n\times n}$$

$\mathring{A}_J$は定数行列で$\bar{A}_J$は非線形関数である.

目標出力が規範モデル出力として与えられている時間 t について高々$n-1$ 次の多項式関数で表現される規範モデルについて考えてみる。

$f_2 \in Range(B)$ のとき

$$\bar{A}_2 x_2 + f_2 + u_2 = 0 \tag{5}$$

を満足するように u_2を選ぶ。そのとき$\sum_2$は

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 &= N_n x_2 \\ y_2 &= C_2 x_2 \end{aligned} \tag{6}$$

となる。

$\bar{A}_J = 0, f_J = 0$ のとき$\sum_J$の伝達関数の次数差をνとすると

$$\begin{aligned} C_J A_J^d B &= 0, d = 0, \ldots, \nu - 2 \\ C_J A_J^d B &= w_J, d = \nu - 1 \end{aligned}$$

このνを用いプラントの安定インタラクター多項式を定義する.

$$\sigma(s) = s^\nu + \mu_1 s^{\nu-1} + \ldots + \mu_\nu$$

問題は任意に与えられた y_2に対し、$y_1 \to y_2$を達成する固定ゲインをもつ線形コントローラ

$$u_1(t) = -K_1 x_1(t) + K_2 x_2(t) + M u_2(t) + f \tag{7}$$

を設計することである。ここで、K_1および K_2はそれぞれフィードバークとフィードフォーワードのゲインである. この解はつぎのように求める.

$$\begin{aligned} K_1 &= V_1 + w_1^{-1}\mu T_1 & (8) \\ M &= w_2 w_1^{-1} & (9) \\ M^{-1}K_2 &= V_2 + w_2^{-1}\mu T_2 & (10) \end{aligned}$$

ただし$\mu = (\mu_1, \cdots, \mu_\nu) \in R^{r*\nu}$

$$\begin{aligned} V_1 &= w_1^{-1}(C_1 A_1^{\nu}) = \mathring{A}_1 + \frac{1}{w_1} C_1 N_n^{\nu} \\ T_1 &= [C_1^T, N_n{}^T C_1^T, \cdots, (N_n)^{\nu-1} C_1^T]^T \\ V_2 &= w_2^{-1}(C_2 A_2^{\nu}) = \mathring{A}_2 + w_2^{-1} C_2 N_n^{\nu} \\ T_2 &= [C_2^T, N_n{}^T C_2^T, \cdots, (N_n^T)^{\nu-1} C_2^T]^T \end{aligned}$$

(10) 式で$f = 0$を満足するf_2が存在するとする.

$$\bar{B} f = T_2 f_2 - T_1 f_1 \tag{11}$$

このとき，可制御、可観測なシステムを取り出し

$$\delta\dot{x} = (N_\nu - \bar{B}\mu)\delta x$$

$$\xi = \bar{C}\delta x \tag{12}$$

となりシステム全体の閉ループ方程式 (11) 式を安定にさせるμが存在する。

3 アルゴリズム

ここでは, 提案する手法のアルゴリズムを示す.

Step 1. 初期化

初期染色体を初期化する. 世代数 gen = 0, 交叉確率p_cおよび突然変異確率p_mを設定する. また染色体はつぎのベクトルを用いる.

$$\mu = (\mu_1, \cdots, \mu_\nu)$$

Step 2 に進む.

Step 2. (13) 式により評価関数$J(\mu_k)$を計算する. ただし$k = 1, 2, \cdots, pop_size$, pop_sizeは染色体の数である. ここで, μはGA により求めそれを (8),(9) 式に代入してゲインK_p, K_vを計算する. したがってその評価関数の最小値に対応する染色体 μ^*の適合度は高いである.

$$J(\mu_k) = q_m(t) - q(t) \tag{13}$$

Step 3. 選択

Step 3.1 次式により選択確率p_iおよび累積確率$\alpha_k(k = 1, 2, \cdots, pop_size)$を計算する.

$$F = \sum_{i=1}^{pop\_size} J(\mu_i), \quad p_i = \frac{J(\mu_i)}{F}, \quad \alpha_k = \sum_{j=1}^{k} p_j \tag{14}$$

Step 3.2 [0,1] の乱数表r_kを発生し, $r_k \le \alpha_1$ のとき, μ_1を選択し, μ'_kとする.

$\alpha_{i-1} < r_k \le \alpha_i$のとき, $\mu_i (2 \le i \le pop\_size)$ を選択し, μ'_kとする.

Step 3.3 Step 3.2 をpop_size回くり返し, pop_size個の染色体が得られる.

Step 4. 交叉 乱数r_jを発生する. ただし$(0 \le r_j \le 1, j = 1, 2, \cdots, pop_size)$. $r_j < p_c$のV_jを交叉染色体として, 選ばれたものを二つ毎に一つの組にする. 余ったものを除去する. 一つの組(μ'_i, μ'_j)には, 交叉で新しい染色体$\mu''_i = r\mu'_i + (1-r)\mu'_j$と$\mu''_j = r\mu'_j + (1-r)\mu'_i$が産生される.

Step 5. 突然変異 乱数r_jを作る. $(j = 1, 2, \cdots, pop\_size)$. $r_j < p_m$となる染色体を選択し, 突然変異を行う.

Step 6 gen ← gen + 1, step 2 に進む. シミュレーションを終了すれば, 最大適応度をもつ染色体が対応するゲインをコントローラゲインとする.

4 数値実験例

発表時に示す.

5 あとがき

本稿では, GA に基づく２自由度マニピュレータの位置決め問題を解くための手法を提案した. さらに、数値例より手法の有効性を確認した。

目標値が空間座標で与えられている時関節角を決める逆運動系問題を解かねばならないが, GA を用いた解法についても報告されている.

参考文献

[1] 弓場井ほか：スケジュールドＨ∞制御による２自由度ＤＤロボットノ軌道制御, 第１５回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 67/68, (1997).

[2] 山根, 張：非線形サーボ系の固定ゲインをもつ線形コントローラについて, SICE 関西支部創立 30 周年記念シンポジウム論文集, 35/39,(1996).

[3] 鈴木：GA を用いたロボットアーム角の数値解法, 足利工業大学卒業研究資料, (1997).