

多变量系统控制器的参数满意优化设计

张葛祥¹, 金炜东¹, 胡来招²

(1. 西南交通大学 电气工程学院, 四川 成都 610031; 2. 中国电子科技集团 第 29 研究所, 四川 成都 610036)

摘要: 为了将满意优化拓展到多变量系统中以解决多变量控制系统线性二次型(LQ)控制器设计中加权系数阵确定难的问题, 提出多变量系统满意优化设计方法, 通过设计满意度函数, 构造出多变量系统的满意优化数学模型, 并用改进遗传算法实现二级倒立摆系统 LQ 控制器满意优化设计. 仿真结果显示, 系统具有更满意的综合性能指标. 证实了该方法的有效性和实用性. 本文的研究对多变量系统优化设计具有一定的参考价值.

关键词: 满意优化; 控制系统; 遗传算法; 二级倒立摆

中图分类号: TP18, O224, TP273 **文献标识码:** A

Parameters satisfactory optimization of controller in multivariable control system

ZHANG Ge-xiang¹, JIN Wei-dong¹, HU Lai-zhao²

(1. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan 610031, China;

2. No. 29 Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Chengdu Sichuan 610036, China)

Abstract: To introduce satisfactory optimization into multivariable control systems to solve the problem that weighting coefficient matrices in linear quadratic controller design of multivariable control systems are chosen, satisfactory optimization method (SOM) for multivariable control systems is proposed. By designing satisfactory rate functions of performance indexes and synthesis satisfactory rate function of control system, satisfactory optimization mathematic model for multivariable control systems is constructed. The model is characterized by considering satisfactory design of performance indexes, parameter optimization, constraints and objectives, simultaneously. Also, the controller of double pendulum control system is designed using SOM based on improved genetic algorithm that has rapid convergence and good global search capability. Experimental results show that the control system designed by SOM has faster response speed, smaller over-amplitude and shorter adjusting time than that obtained by traditional methods. SOM can achieve more satisfactory control performances than traditional methods. So the introduced method is effective and practical, and also has some reference value for designing multivariable control systems.

Key words: satisfactory optimization; control system; genetic algorithms; double pendulum

1 引言(Introduction)

对于多变量系统, 经典的 PID 校正法和根轨迹校正法难以满足同时控制多个输出变量的要求, 状态空间的极点配置法要求分别设计多个反馈校正装置, 设计过程复杂, 而采用线性二次型(LQ)法只需设计一个状态反馈校正装置, 在性能指标 J 最小意义下获得最优控制信号. 但采用 LQ 法设计实际控制对象的控制器时, 性能指标 J 中的加权系数阵 S , Q 和 R 的确定比较困难, 目前采用的经验法和试凑法使设计过程复杂且设计出的控制器并不太令人满意. 因此, 采用满意优化方法进行多变量控制系统的

满意优化控制器设计是非常必要的.

本文将金炜东教授提出的控制系统满意优化方法^[1~3]拓展到多变量控制系统的控制器设计中, 将多变量控制系统的性能指标设计与控制器参数优化融为一体考虑, 将各个性能指标(如最大超调量、过渡过程时间、上升时间、稳态误差等)约束软化, 设计出性能指标满意度函数、输出变量满意度函数和控制系统综合满意度函数, 推导出基于该方法的多变量系统控制器参数满意优化设计的优化模型. 并以单输入多输出的二级倒立摆六阶系统为例, 说明了其设计过程, 在 MATLAB 环境下, 用改进遗传算法

(IGA)实现其控制器的满意优化,从而设计出较为满意的多变量系统控制器.仿真结果显示,与文献[4]相比,二级倒立摆系统的响应快速性明显提高,最大超调量明显减小,表明了该方法的有效性和实用性.

2 多变量系统满意优化模型(Satisfactory optimization model of multivariable systems)

下面以二级倒立摆控制系统为例来说明多变量系统满意优化计算模型的推导过程.

二级倒立摆系统是一个单输入多输出的六阶控制系统,此系统有三个输出变量,分别为小车的位移、下摆的摆角和上摆相对于下摆的摆角.此控制系统的三个输出量均有各自的性能评价指标,以小车位移为例,其性能评价指标可为最大偏移量、达到稳定的调整时间、响应时间等.由此,对一般的多变量系统,可作如下描述:

设多变量系统有 n 个输出变量,记为 $v_1, v_2, \dots, v_n$, 它们构成输出变量集 $V = \{(v_1, v_2, \dots, v_n) \mid v_i \in \mathbb{R}, i = 1, 2, \dots, n\}$. 设输出变量 $v_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的性能评价指标有 m 个,记为 $q_1, q_2, \dots, q_m$. 每一个性能指标变量均取实数值, $q_k \in \mathbb{R}, k = 1, 2, \dots, m$, 它们构成质量准则集 $Q = \{(q_1, q_2, \dots, q_m) \mid q_k \in \mathbb{R}, k = 1, 2, \dots, m\}$. m 个性能评价指标可表示成指标向量 $q = [q_1, q_2, \dots, q_m] \in Q, Q \subseteq \mathbb{R}^m$. 则 n 个输出变量的性能指标 $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ 构成性能评价指标集 $QN = \{(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \mid Q_i \subseteq \mathbb{R}^m, i = 1, 2, \dots, n\}$, $QN \subseteq \mathbb{R}^{n \times m}$, 可表示成性能评价指标向量 $qn = [Q_1, Q_2, \dots, Q_n]^T$, 其中 $Q_k = q_{kj} = [q_{k1}, q_{k2}, \dots, q_{km}]$, $k = 1, 2, \dots, n$. 对二级倒立摆控制系统而言,输出变量有3个,故 $n = 3$. 如果每一个输出变量取3个性能评价指标,则 $m = 3$, 于是,输出变量集 $V = \{(v_1, v_2, v_3) \mid v_i \in \mathbb{R}, i = 1, 2, 3\}$, 指标向量 $q = [q_1, q_2, q_3]$.

二级倒立摆是一个强不稳定系统,必须要设计一个恰当的控制器对其进行控制,才能使其稳定.当采用二次型方法设计控制器时,由于二次型性能指标中的加权系数矩阵难以确定,但可知一般均采用对角阵,因而可将各加权系数矩阵中的对角元素作为待优化参数,其个数由各加权系数矩阵的阶数确定.因此,推广到一般多变量控制系统时,可设多变量系统中待优化的系统参数有 p 个,记为 $x_1, x_2, \dots, x_p$, 且每一个系统参数 x_j 均为实数, $x_j \in \mathbb{R}, j = 1, 2, \dots, p$, 则 p 个系统参数构成可供选择的参数集 $X =$

$\{(x_1, x_2, \dots, x_p) \mid x_j \in \mathbb{R}, j = 1, 2, \dots, p\}$. 于是优化问题的解向量 $x = [x_1, x_2, \dots, x_p] \in X, X \subseteq \mathbb{R}^p, X$ 即为优化问题的解空间. 由于二级倒立摆系统是一个六阶控制系统,二次型性能指标中的加权系数矩阵 Q 和 R 的阶数分别为6和1,故待优化的系统参数共有7个,优化问题的解向量 $x = [x_1, x_2, \dots, x_7]$.

对于参数变量解空间 X 中的一个解 $x^{(i)}, x^{(i)} = [x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_p^{(i)}]$, 其中 $x_k^{(i)} (k = 1, 2, \dots, m)$ 是参数变量 x_k 的一个取值. 输出变量 V_j 的性能指标值为 $q_j^{(i)} = [q_{j1}^{(i)}, q_{j2}^{(i)}, \dots, q_{jm}^{(i)}] (j = 1, 2, \dots, n)$, 从而可得多变量系统的性能指标值为

$$qn^{(i)} = [Q_1^{(i)}, Q_2^{(i)}, \dots, Q_n^{(i)}]^T.$$

式中 $Q_k^{(i)} = q_{kj}^{(i)} = [q_{k1}^{(i)}, q_{k2}^{(i)}, \dots, q_{km}^{(i)}], k = 1, 2, \dots, n$. 其中 $q_{jk}^{(i)} (j = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, n)$ 是每一个性能指标 q_{jk} 关于参数解 $x^{(i)}$ 的取值. $q_{jk}^{(i)}$ 与各参数变量均有关,可将 $q_{jk}^{(i)}$ 表示成 p 个参数的函数,记为 $q_{jk}^{(i)} = f_{jk}^{(i)}(x), x \in X, X \subseteq \mathbb{R}^p, j = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, n$. 其中 $f(x)$ 为一向量函数,给出了 q 关于 x 的函数关系, q 可以是系统优化目标,也可以包括对系统性能指标的约束. 于是可得输出变量 $V_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 的性能指标向量值

$$q_j^{(i)} = [q_{j1}^{(i)}, q_{j2}^{(i)}, \dots, q_{jm}^{(i)}] = [f_{j1}^{(i)}(x), f_{j2}^{(i)}(x), \dots, f_{jm}^{(i)}(x)] \triangleq F_j(x),$$

其中符号“ $\triangleq$ ”表示“定义为”,从而可将 $qn^{(i)}$ 表示成系统参数的函数,即

$$qn^{(i)} = [F_1^{(i)}(x), F_2^{(i)}(x), \dots, F_n^{(i)}(x)]^T.$$

式中

$$F_k^{(i)}(x) = f_{kj}^{(i)}(x) = [f_{k1}^{(i)}(x), f_{k2}^{(i)}(x), \dots, f_{km}^{(i)}(x)], k = 1, 2, \dots, n.$$

在多变量系统中,由于各输出变量的各个性能评价指标之间存在着一定的矛盾,不同输出变量的性能评价指标之间也存在着矛盾,因而,各输出量之间也存在着一定的矛盾.同时,控制系统的各个性能评价与系统待优化的参数之间存在着一定的内在联系.如何综合考虑这些矛盾因素和探索这种内在联系是设计一个满意控制器必须要考虑的问题.下面用性能指标满意度函数、输出变量满意度函数和控制系统综合满意度函数来统一考虑这些矛盾之间的关系以及这些矛盾因素与待优化的参数之间的关系.

设控制系统的性能指标满意度函数为 $\phi(q): \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$, 并设 $s_k (s_k \in [0, 1])$ 为性能评价指标 $q_k (k = 1, 2, \dots, m)$ 的满意度函数值,即 $s_k = \phi_k(q_k), \phi_k: \mathbb{R} \rightarrow [0, 1], (k = 1, 2, \dots, m)$, 则 m 个性能指标的满

意度函数向量为 $S = [s_1, s_2, \dots, s_m] = [\phi_1(q_1), \phi_2(q_2), \dots, \phi_m(q_m)] \in [0, 1]^m$. 设输出变量 $V_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 的满意度函数为 $\Psi_j(S_j)$,

$$\Psi_j: \Xi^m \rightarrow [0, 1], j = 1, 2, \dots, n,$$

记为 $st_j = \Psi_j(S_j)$, 则 n 个输出量的满意度函数向量

$$ST = [st_1, st_2, \dots, st_n] =$$

$$[\Psi_1(S_1), \Psi_2(S_2), \dots, \Psi_n(S_n)] \in [0, 1]^n.$$

设多变量控制系统的综合满意度函数为 $g(ST)$, $g: \Xi^n \rightarrow [0, 1]$ 记为 $sty = g(ST)$. 按最满意原则取最满意解为 $sty_{op} = \max(sty)$, 所对应的解 x_{op} 为即控制系统经优化后得到的最佳解.

综上所述, 多变量系统满意优化模型为

$$\begin{cases} q_{jk}^{(i)} = f_{jk}(x) \in X, X \subseteq \Xi^l, \\ q_j = F_j(x) = [f_{j1}(x), f_{j2}(x), \dots, f_{jm}(x)], \\ s_k = \phi_k(q_k) \in [0, 1], \\ S = [s_1, s_2, \dots, s_m] \in [0, 1]^m, \\ st_j = \Psi_j(S_j) \in [0, 1], \\ ST = [st_1, st_2, \dots, st_n] \in [0, 1]^n, \\ sty = g(ST) \in [0, 1], \\ sty_{op} = \max\{sty\} \in [0, 1], \\ x_{op} \in X. \end{cases} \quad (1)$$

3 基于 IGA 控制器满意优化设计 (Satisfactory optimization design of controller based on IGA)

遗传算法 (GA) 是一种具有极高鲁棒性和广泛适用性的全局优化方法, 由于 GA 不受优化问题性质限制, 能够处理传统优化方法难以解决的复杂优化问题, 因而 GA 在不同专业领域得到了广泛的应用并成为近十多年来跨学科研究的热点问题^[5,6].

本文采用的遗传算法主要从以下几方面对标准遗传算法进行改进:

- 1) 初始种群均匀分布, 以保证初始种群的多样性和初始解分布于整个解空间;
- 2) 采用不等位编码, 取值范围小的参数其位串少, 取值范围大的参数其位串长, 这样可缩短染色体的长度, 加快搜索速度;
- 3) 采用最优保留策略, 每代保留 10% 的个体, 以加快算法的收敛性;
- 4) 采用自适应交叉算子和自适应变异算子;
- 5) 评价函数采用多变量控制系统的综合满意度函数, 即本文前面提到的函数 $g(ST)$.

算例 二级倒立摆系统是一个单输入多输出的六阶控制系统, 其结构原理图、各个参数的含义以及

各个参数取值和非线性数学模型参见文献[7]. 将二级倒立摆的非线性数学模型在 $\gamma = \theta_1 = \theta_2 = \dot{\gamma} = \dot{\theta}_1 = \dot{\theta}_2 = 0$ 的不稳定平衡点附近进行线性化, 并取系统的状态变量为 $Z = (z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6)^T = [\gamma, \theta_1, \theta_2, \dot{\gamma}, \dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1]^T$ 和输出变量为 $Y = (y_1, y_2, y_3)^T$, 可得到如下的二级倒立摆系统的状态方程:

$$\begin{cases} \dot{Z} = AZ + BU, \\ Y = CZ. \end{cases} \quad (2)$$

二级倒立摆控制系统的各个输出变量的性能评价指标设计如下:

- 1) 输出变量 y_1 的过渡过程时间 (误差小于 2%) 小于 2.5 s ($t_{s1} \leq 2.5$ s);
- 2) 输出变量 y_1 的上升时间不超过 1 s ($t_{p1} \leq 1$ s);
- 3) 输出变量 y_2, y_3 的过渡过程时间 (误差小于 2%) 不超过 2 s ($t_{s2} \leq 2$ s, $t_{s3} \leq 2$ s);
- 4) 输出变量 y_2 的最大超调量不超过 20% ($mp_1 \leq 20\%$);
- 5) 输出变量 y_3 的最大超调量不超过 10% ($mp_2 \leq 10\%$).

二级倒立摆控制系统的结构框图如图 1 所示.

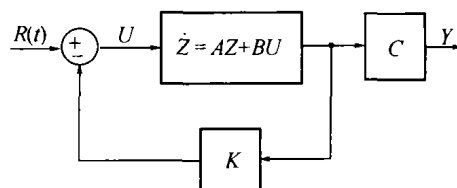


图 1 算例控制系统结构

Fig. 1 Structure of control system in the example

根据系统要求, 采用 LQ 法设计倒立摆控制器. 二次型性能指标为

$$J = \int_0^\infty (Z^T Q Z + U^T R U) dt. \quad (3)$$

控制量 $U = -KZ$, 系统初始状态和最终状态均为 0. 在式(3)中, 加权系数矩阵 Q 为对称半正定常数组, 令 $Q = \text{diag}(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6)$, 加权系数矩阵 R 为正定矩阵, 令 $R = q_7$, 于是优化问题的解向量

$$x = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7] = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7].$$

根据二级倒立摆系统对各性能指标的不同要求和设计者对性能指标的理解, 本文设计出如下的各性能指标满意度函数:

$$s_{11} = \phi_1(t_{s1}) = 1 - e^{-1.5351(4-t_{s1})}, \quad (4.1)$$

$$s_{12} = \phi_2(t_{p1}) = 1 - e^{-2.3025(2-t_{p1})}, \quad (4.2)$$

$$s_{21} = \phi_3(t_{s2}) = 1 - e^{-1.1513(4-t_{s2})}, \quad (4.3)$$

$$s_{22} = \phi_4(mp_1) = 1 - e^{-0.2302(30-mp_1)}, \quad (4.4)$$

$$s_{31} = \phi_5(t_{s3}) = 1 - e^{-1.1513(4-t_{s3})}, \quad (4.5)$$

$$s_{32} = \phi_6(mp_2) = 1 - e^{-0.2302(20-mp_2)}. \quad (4.6)$$

二级倒立摆控制系统各输出变量的满意度函数向量为

$$S_1 = [s_{11}, s_{12}], S_2 = [s_{21}, s_{22}], S_3 = [s_{31}, s_{32}].$$

各输出变量的满意度函数选取线性加权函数,输出变量 y_1 的满意度函数为 $st_1 = \Psi_1(S_1) = (1/2)(s_{11} + s_{12})$, 输出变量 y_2 的满意度函数为 $st_2 = \Psi_2(S_2) = (1/2)(s_{21} + s_{22})$, 输出变量 y_3 的满意度函数为 $st_3 = \Psi_3(S_3) = (1/2)(s_{31} + s_{32})$; 系统输出变量的满意度函数向量 $ST = [st_1, st_2, st_3]$, 系统的综合满意度函数也选取线性加权函数 $sty = g(ST) = (1/3)(st_1 + st_2 + st_3)$.

于是,可以采用 IGA 对该系统进行优化设计,算法如下:

1) 染色体编码. 7 个参数 $[q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7]$ 的取值范围分别为 $\{[1, 10], [10, 100], [100, 500], [1, 5], [1, 5], [1, 5], [0, 1]\}$, 对应的 7 个二进制串的长度分别为 $\{6, 8, 10, 6, 6, 6, 6\}$, 则染色体编码长度为 48;

2) 种群规模 $N = 50$, 自适应交叉率 p_c 和自适应变异率 p_m 的取值如下:

$$p_c = \begin{cases} k_c(f_{\max} - f)/(f_{\max} - \bar{f}), & f \geq \bar{f}, \\ k_c, & f < \bar{f}, \end{cases} \quad (5)$$

$$p_m = \begin{cases} k_m(f_{\max} - f)/(f_{\max} - \bar{f}), & f \geq \bar{f}, \\ k_m, & f < \bar{f}. \end{cases} \quad (6)$$

其中, k_c, k_m 为 0.6 ~ 1 之间的实数, $f_{\max}$ 和 $\bar{f}$ 分别为群体的最大适应值和平均适应值, 在计算 p_c 的公式中 f 为待交叉的两个体中适应值较大的一个适应值, 在计算 p_m 的公式中 f 为待变异个体的适应值;

3) 适应值函数采用多变量控制系统的综合满意度函数 $g(ST) = (1/3)(st_1 + st_2 + st_3)$.

将算法在 MATLAB^[8] 环境中编程实现, 平均搜索 100 代就可以得到满意解. 下面给出两组满意解:

a) $[q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7] = [1.4531, 30.7429, 181.7693, 0, 0, 0, 0.0539]$, 经计算得到的状态反馈阵为 $K = -[5.1939, 57.9475, 141.0822, 6.2424, 23.2185, 18.8517]$, 其阶跃响应曲线见图 2 中曲线 1 所示(实线);

b) $[q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7] = [1.4609, 30.7038, 177.8592, 0, 0, 0, 0.0588]$, 经计算得到的状态反馈阵为 $K = -[4.9866, 55.6487, 135.4935, 5.9394, 22.303, 0, 18.1561]$, 其阶跃响应曲线见图 2 中曲线 2 所示(实线).

作为对比, 列出文献[4]中分别采用 4 种不同方法设计出的 4 种结果:

极点配置法: $K = -[2.9975, 24.979, 48.975, 1.9075, 8.4535, 6.9016]$, 其阶跃响应曲线见图 2 中曲线 3 所示(点划线);

离散 LQ 法: $K = -[2.490, 36.87, 99.82, 2.74, 15.50, 13.40]$, 其阶跃响应曲线见图 2 中曲线 4 所示(虚线);

降维观测器设计法 $K = -[5.2041, 66.700, 116.14, 7.7658, 21.164, 16.246]$, 其阶跃响应曲线见图 2 中曲线 5 所示(虚线);

连续 LQ 法: $K = -[3.1560, 46.956, 122.48, 3.9740, 19.423, 16.381]$, 其阶跃响应曲线见图 2 中曲线 6 所示(点划线).

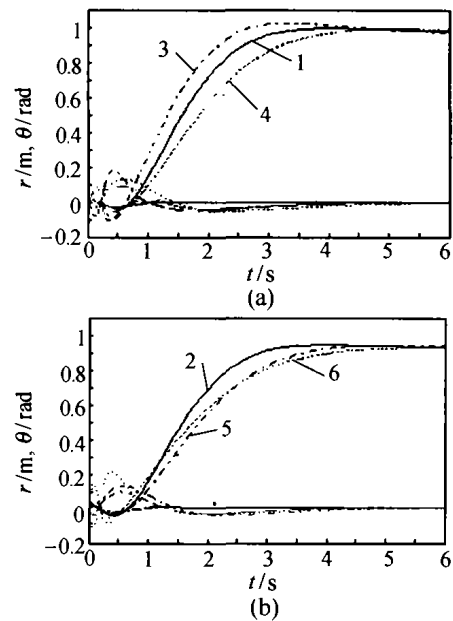


图 2 二级倒立摆系统的阶跃响应

Fig. 2 Step responses of double pendulum system

从仿真结果可看出, 采用满意优化方法设计的二级倒立摆系统的控制器使系统具有更为满意的综合性能指标. 图 2 采用本文提出的方法得到的曲线 1 和曲线 2 与文献[4]中的结果得到的曲线 3、曲线 4、曲线 5 和曲线 6 相比, 系统的响应快速性有了明显提高, 上升时间和过渡过程时间都比文献[4]中的四组设计时间短, 系统的超调量也较小, 不仅完全满足开始确定的性能指标要求, 而且结果表明, 其设计

是相当令人满意的.

4 结束语(Conclusion)

LQ 最优控制已成为现代控制理论及应用中最有成果的一部分,但当设计多变量系统的 LQ 控制器时,其性能指标 J 中的加权系数阵的确定很困难.本文采用满意优化方法进行控制器参数的优化设计,将性能指标要求的设计与控制器参数设计统一考虑,并用改进遗传算法进行全局寻优,不仅可以比较容易地确定其加权系数阵的值,而且获得了较为满意的设计结果.文中以单输入多输出的二级倒立摆六阶系统为例,将满意优化方法应用于 LQ 设计中,获得了令人相当满意的倒立摆控制器,仿真结果表明,该方法的优化性能优于传统方法.

参考文献(References):

- [1] 金炜东.满意优化问题与列车操纵优化方法研究[D].成都:西南交通大学,1998.
(JIN Weidong. *Study on satisfactory optimization and train operation optimization method* [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 1998.)
- [2] JIN Weidong, ZHAO Duo, LI Gang. The application of multi-criterion satisfactory optimization in FIR digital filter design [C]// *Proc of 2000 Int Workshop on Autonomous Decentralized System*. Los Alamitos: IEEE Press, 2000: 227 - 230.
- [3] 金炜东,陈立,李岗.遗传算法用于控制器参数的满意优化[J].西南交通大学学报,1998,33(6):699 - 703.
(JIN Weidong, CHENG Li, LI Gang. Satisfactory optimization of the parameters of controller using genetic algorithm [J]. *J of Southwest Jiaotong University*, 1998, 33(6): 699 - 703.)
- [4] 梁任秋,赵松,唐悦,等.二级倒立摆的数字控制器设计[J].控制理论与应用,1987,4(1):115 - 123.
(LIANG Renqiu, ZHAO Song, TANG Yue, et al. Digital controller design of double pendulum [J]. *Control Theory & Applications*, 1987, 4(1): 115 - 123.)
- [5] 杨智民,王旭,庄显义.遗传算法在自动控制领域中的应用综述[J].信息与控制,2000,29(4):329 - 337.
(YANG Zhimin, WANG Xu, ZHUANG Xianyi. Sumarizaion of application of genetic algorithm in automation [J]. *Information and Control*, 2000, 29(4): 329 - 337.)
- [6] HABIB Y, SADIQ M S, HAKIM A. Evolutionary algorithms, simulated annealing and tabu search: a comparative study [J]. *Engineering Application of Artificial Intelligence*, 2001, 14(2): 167 - 181.
- [7] 张葛祥,李众立,毕效辉.倒立摆与自动控制技术研究[J].西南工学院学报,2001,16(3):12 - 16.
(ZHANG Gexiang, LI Zhongli, BI Xiaohui. Study on pendulum and automation [J]. *J of Southwest Institute of Technology*, 2001, 16(3): 12 - 16.)
- [8] 欧阳黎明. MATLAB 控制系统设计[M].北京:国防工业出版社,2001:168 - 203.
(OU' YANG Liming. *Design of Control Systems in MATLAB* [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2001: 168 - 203.)

作者简介:

张葛祥 (1974 —),男,西南交通大学电气工程学院博士生,研究领域为优化方法与优化控制,进化计算,智能控制,神经网络等, E-mail: dylan7237@sina.com;

金炜东 (1959 —),男,西南交通大学电气工程学院教授,博士生导师,博士,研究领域为优化方法与优化控制,智能信息处理,系统仿真等;

胡来招 (1945 —),男,中国电子科技集团第29所研究员,博士生导师,博士,研究领域为信号处理,侦察接收机,无源定位等.