

改进遗传算法在机器人 PID 控制中的应用

周华强¹, 胡广平²

(1 中原工学院, 河南 郑州 450007; 2 河南工程学院, 河南 郑州 451191)

摘 要: 目前典型的 PID 控制已经不能很好地满足工业机器人的控制要求, 提出了一种基于改进遗传算法在工业机器人自适应 PID 控制中的应用方法. 首先对工业用机器人的运动进行了简单的描述, 然后采用细菌共轭的思想, 对常规的遗传算法进行了改进, 并结合机器人 PID 控制, 提出了自适应 PID 控制策略. 通过仿真表明, 改进的遗传算法可以使机器人自适应 PID 控制快速收敛到理想值, 收敛的精度较高, 并且对于常规的外界干扰, 有一定的鲁棒性, 满足机器人控制的要求.

关键词: 改进遗传算法; 机器人; PID 控制; 自适应 PID

中图分类号: TP273+.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)07-0069-04

Application of Improved Genetic Algorithm in PID Control for Robot

ZHOU Hua-qiang¹, HU Guang-ping²

(1 Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China;

2 Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 451191, China)

Abstract: The typical PID control has been unable to satisfy the requirements of industrial robot control at present, an application method based on an improved genetic algorithm for industrial robot control PID is proposed. First industrial robot for a simple description, then the idea of using bacterial conjugation, for conventional genetic algorithm was improved, combined with PID control robot is proposed an adaptive PID control strategy. The simulation shows that the improved genetic algorithm can make the robot adaptive PID control rapid convergence to the desired value, the convergence of high precision, and for regular outside interference, a certain degree of robustness to meet the requirements of robot control.

Key words: improved genetic algorithm; robot; PID control; adaptive PID

1 引言

人工智能一直是广大科研工作者努力的方向, 工业上机器人运用得比较广泛, 特别是在环境恶劣的工作区域, 机器人的使用减轻了人们的工作负担, 但机器人在工作的过程中容易受到外界的干扰, 其控制的性能有待于提高^[1], 机器人控制方面目前存在的问题主要有: ①机器人系统存在的不确定性和抗外界干扰性; ②机器人运动过程的速度检测; ③机器人控制的稳定性. 针对这些问题目前也存在一些优秀的控制策略, 但由于假设条件和计算的复杂程度, 都存在一些问题. 迄今为止机器人的 PID 控制

在闭环情况下都是根据经验来整定 PID 的参数, 对于系统运行过程中的突发外界干扰无法自适应调节, 一些智能算法由于其计算的复杂性, 无法实时对参数进行调整^[2], 根据遗传算法的特殊寻优特性, 采用了细菌共轭的方法对遗传算法进行相应的改进, 减少了计算运行的时间, 能够实现对于外界干扰的实时调整. 仿真实验表明, 改进的遗传算法可以自适应调节机器人的 PID 控制.

2 机器人关节运动描述

工业机器人大多使用机器人手臂来进行物品的夹持和移动, 在这种情况下, 机器人手臂的运动方式

收稿日期: 2013-08-20; 修回日期: 2013-10-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(71173248)

为关节的移动和转动^[3],如图 1 所示.

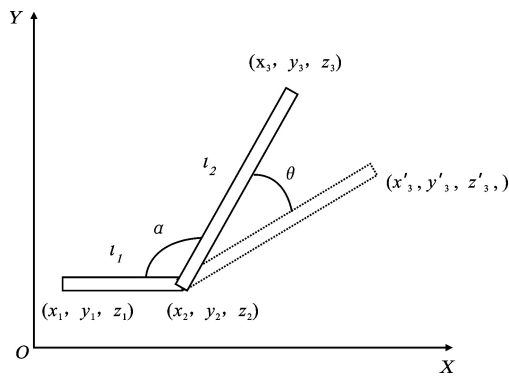


图 1 机器人关节运动描述

一个两关节的机器人手臂的运动方式描述,设机器人手臂关节的端点为 (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , (x_3, y_3, z_3) 手臂的长度分别为 l_1, l_2 , 为了简化说明,这里取 $z_1 = z_2 = z_3$, 则手臂的运动在 XOY 平面上进行,有以下关系式:

$$\begin{cases} z_1 = z_2 = z_3 \\ y_1 = y_2 \\ y_3 = l_2 \sin(\pi - \partial) \\ x_2 = x_1 + l_1 \\ x_3 = x_2 + l_2 \cos(\pi - \partial) \end{cases} \quad (1)$$

给手臂一个转动的指令,转动的角度为 θ , 则新位置下机器人手臂的各个端点有以下关系式:

$$\begin{cases} z_1 = z_2 = z_3' \\ y_1 = y_2 \\ y_3' = l_2 \sin(\pi - \partial - \theta) \\ x_2 = x_1 + l_1 \\ x_3' = x_2 + l_2 \cos(\pi - \partial - \theta) \end{cases} \quad (2)$$

由于在运动的过程中,机器人手臂转动的直线距离为

$$l = l_2 \sqrt{2 - 2(\cos(\pi - \partial - \theta)\cos(\pi - \partial) + \sin(\pi - \partial - \theta)\sin(\pi - \partial))} \quad (3)$$

3 改进的遗传算法

遗传算法(Genetic algorithm)被广泛应用于一系列优化问题上,其操作算子主要收进化算法的启发,有染色体的交叉和变异,相关研究对于防止算法早熟收敛和停滞有很大的贡献,但是算法的进化属性使其不可避免会出现一些问题^[4],例如:很多进化算法的变量不能用于需要实时响应的问题上,还有一个主要的原因是算法包括很多开放的参数,常规的遗传算法包含了三个参数:种群规模、交叉率和变异率,开放的

参数导致了算法执行过程中存在了很多不确定的因素.本文采用细菌共轭算子来改进遗传算法,使其能够实现高性能优化.细菌共轭算子模拟的是细菌体之间基因信息的单方向传递机制,在这种信息传递机制中,来自捐赠个体的基因信息通过适应度函数的评价,来筛选对受赠个体有益的信息^[5].

细菌共轭算子在遗传算法中的应用很大程度上减少了遗传算法在执行过程中的复杂计算,优点是其执行的性能不受起始参数的影响,因此改进的遗传算法可以用于实时应用,因为在寻找全局最优和局部最优不用花费太多时间,同时能够防止早熟和达到更精确的结果.

3.1 细菌共轭算子

细菌共轭算子主要由两部分组成:①水平基因传递;②竞选.在这个过程中需要用到的变量有四个:捐赠染色体 C_{don} , 受赠染色体 C_{rec} , 最佳适应度函数 $Fitness_b$, 最差适应度函数 $Fitness_w$, 水平基因传递由两个父代染色体来进行,其中适应度函数最佳的为捐赠染色体,适应度函数最差的为受赠染色体,在基因传递阶段,受赠染色体和新产生的染色体一同进入到竞选阶段,然后得到细菌共轭算子的输出^[6].

水平基因传递阶段.随机选择基因种群中的捐赠染色体,选择的过程用到两个参数:复制的长度 L , 复制的位置 P . 复制的长度与两个父代染色体的适应度函数值有关,表达式为

$$L = \frac{|Fitness(C_{don}) - Fitness(C_{rec})|}{|Fitness_b - Fitness_w|} \times L_c \quad (4)$$

式中, L_c 为染色体的长度. P 采用 $[0, L_c]$ 之间的随机值来表示.

在这两个参数值确定之后,捐赠染色体的基因序列从点 P 开始,长度为 L 复制给受赠染色体相应的位置,并取代原来的序列,当序列长度小于 L 时,复制的过程从捐赠染色体的开端进行,由于位置 P 是随机的,所以每一次的复制,结果都是不相同的,水平基因传递的流程图如图 2 所示.

3.2 竞选

在这个阶段,由基因传递产生的新染色体与受赠染色体进行竞选,对于适应度函数值差的染色体进行变异操作来增加其获胜的可能性,通过比较已变异和未变异染色体的适应度值,由获胜染色体取代种群中的受赠染色体,进入到下一个循环中^[7].

在变异算子中,变异率 P_m 与染色体之间的相似性有关,假设两个染色体之间相似序列的个数为

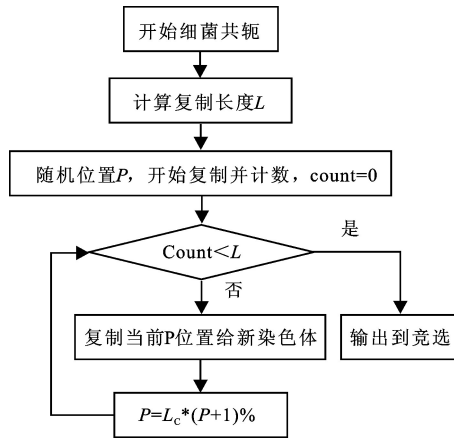


图 2 水平基因传递流程图

L_s , 则变异率 P_m 计算为

$$P_m = \frac{L_s}{L_c} \quad (5)$$

竞选阶段的染色体传递流程图如图 3 所示.

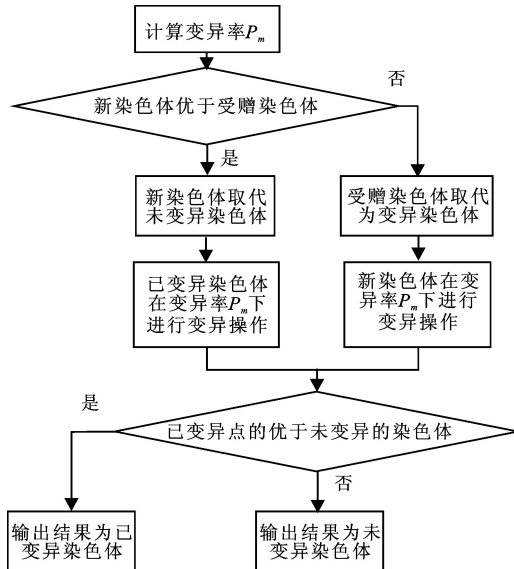


图 3 染色体竞选流程图

3.3 改进的遗传算法

改进的遗传算法主要包括以下四个步骤:①初始化种群;②对种群中全部染色体执行细菌共轭算子;③在有限次数内进行遗传循环;④判断是否满足算法终止条件.改进的遗传算法的详细流程图如图 4 所示.

4 机器人自适应 PID 控制

在机器人的控制研究中,力的反馈和速度的反馈需要精密的检测部件,常规使用的只有位移传感器,由位移传感器检测机器人运动的实时位置,反馈给控制器来进行位置修整,PID 闭环控制系统在一般情况下完全可以实现给机器人的精确控制,通常

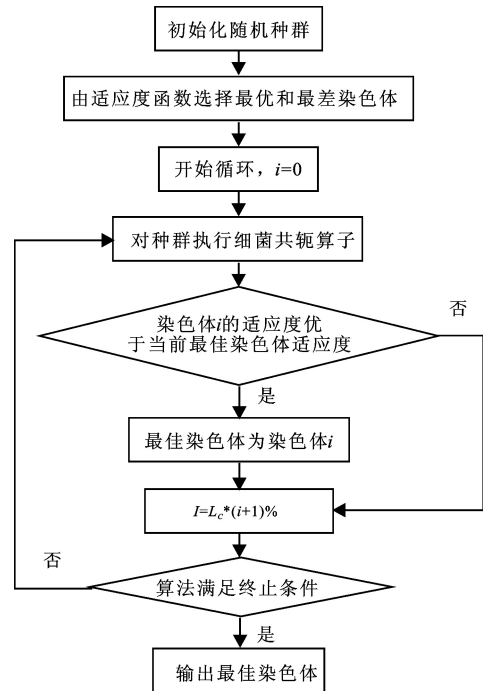


图 4 改进的遗传算法流程图

的 PID 参数可以由经验公式法或者试凑法来确定,但是如果出现了外部干扰,则普通 PID 闭环控制的稳定性较差,PID 参数无法显示自适应调整^[8],本文的自适应 PID 控制采用改进的遗传算法来实时反馈修整控制参数,对于外界干扰的鲁棒性较强,机器人自适应 PID 控制的原理如图 5 所示.

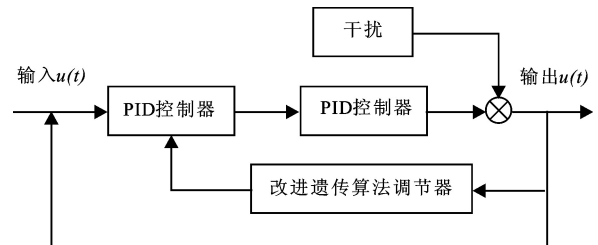


图 5 机器人自适应 PID 控制原理图

从图 5 中可以看到,由改进的遗传算法来调节 PID 控制参数,依据是实际输出与命令输入的差值组成的适应度函数,本文采用的是输入输出差值的平方和作为适应度函数,表示如下:

$$\text{Fitness} = \sum_{i=1}^n |y(t) - u(t)|^2 \quad (6)$$

全局最优参数具有最小的适应度函数,由改进的遗传算法实时调节 PID 参数,将 PID 参数 K_p , K_I , K_D 看作是遗传算法中的染色体,由初始化种群然后随机选取参数,通过细菌共轭算子有遗传循环,直至满足算法终止条件,得到最佳的 K_p , K_I 和 K_D 值.

5 机器人自适应 PID 控制仿真

为了说明本文提出的机器人自适应 PID 控制的有效性,采用 MATLAB 的 SIMULINK 模块对于机器人自适应 PID 控制进行仿真,如图 5 所示的系统控制原理,PID 控制器的传递函数为

$$G_{PID} = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \quad (7)$$

在系统运行中加入白噪声作为系统的外界干扰,取种群的大小为 20,循环的次数为 100,根据第二节提出的改进的遗传算法进行编程,适应度函数由式(6)表示,给系统一个幅值为 1 的阶跃信号. 机器人系统阶跃响应图如图 6 所示.

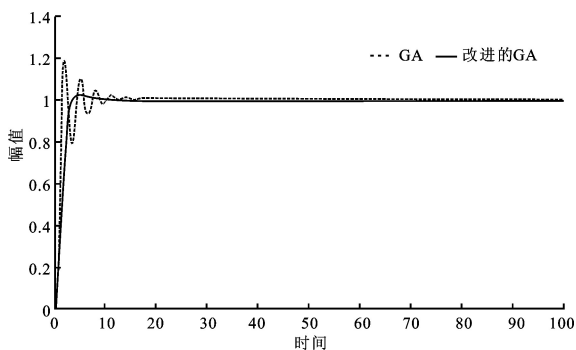


图 6 机器人系统阶跃响应图

由图 6 可知,改进的遗传算法相比于未改进的遗传算法的收敛时间更快,并且系统的超调量很小,在外界干扰下,不会使系统稳定性下降.

由图 7 的算法收敛曲线可以看出,改进的遗传算法在循环的 10 次以内就开始收敛了,而未改进的遗传算法在 55 次循环时才开始收敛,并且适应度函数收敛的值要大于改进的遗传算法,证明了改进的遗传算法的收敛速度快,收敛的精度较高.

6 结束语

本文采用细菌共轭的思想,对常规的遗传算法进行了改进,并结合机器人 PID 控制,提出了自适应 PID 控制策略,通过仿真表明,改进的遗传算法可以使机器人自适应 PID 控制快速收敛到理想值,收敛的精度较高,并且对于常规的外界干扰,有一定的鲁棒性,满足机器人控制的要求,对于一般的机器

人 PID 控制有一定的借鉴作用.

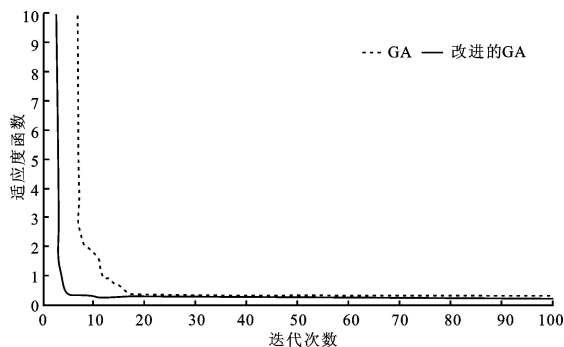


图 7 改进遗传算法收敛曲线

参考文献:

- [1] 杨怡. 电烤箱温度系统的模糊自整定 PID 控制方法的研究[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(4): 141-143.
- [2] 孙亮, 甘飞梅. 基于机器学习实现双轮机器人平衡控制的应用研究[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(12): 2972-2974.
- [3] 胡海波, 黄友锐. 基于混合 PSO 神经网络的自整定分数阶 PID 控制器[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(5): 157-161.
- [4] 曹玉丽, 史仪凯, 袁小庆, 等. 自平衡机器人变论域模糊 PID 控制研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30(2): 347-350.
- [5] 郭小和, 刘科, 周继强, 等. 基于改进遗传算法的单神经元自适应 PID 控制[J]. 南昌航空大学学报: 自然科学版, 2012, 26(4): 14-18.
- [6] 刘莉, 张彦敏. 基于改进遗传算法的 FNN PID 控制器在温度控制系统中的应用[J]. 工业控制计算机, 2009, 22(3): 63-65.
- [7] 呼文豹, 郭锐锋, 王志成. 基于专家 PID 控制器的伺服系统速度控制研究[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(7): 2372-2376.
- [8] 杨成晨, 张九根. 基于灰色预测模糊 PID 算法的空调房间温度控制[J]. 电子技术应用, 2012, 38(4): 56-59.

作者简介:

周华强 男, (1979-), 硕士, 讲师. 研究方向为计算机应用与智能控制.

胡广平 女, (1977-), 硕士, 讲师. 研究方向为人工智能与计算机应用.