

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.04.029

一种改进的 GEP 算法在函数优化中的应用

张春潜, 王洪亮, 武江伟
(东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620)

摘要: 提出一种改进的基因表达式编程算法, 该算法具有自适应性和更好的收敛性能, 并应用到函数优化中。GEP 进化过程中随着进化代数的增加而自适应地增大变异率和交叉率, 算法中增加适应度值反馈计算变异率和交叉率。对改进的算法进行了线性回归实验并取得很好的实验结果。实验证明该算法在函数优化中具有很好的性能。

关键词: 基因表达式编程; 函数优化; 变异率; 交叉率
中图分类号: TP306.1; O224 **文献标识码:** A

Application of an Improved GEP Algorithm on Function Optimization

ZHANG Chun-qian, WANG Hong-liang, WU Jiang-wei
(College of Information Science & Technology, Donghua University, Shanghai 201620)

Abstract: An improved gene expression programming (GEP) algorithm is presented, the algorithm has adaptive and better astringent capability, and is applied to function optimization. In the evolution process the mutation probability and crossover probability will be increased adaptively with the increase of fitness. The feedback of fitness value to calculate the mutation probability and crossover probability, this step is added to the algorithm. Put up linear regress experiments to the improved algorithm and get a good effect. Experiments result shows that the algorithm has very good capability in function optimization.

Keywords: Gene expression programming; Function optimization; Mutation probability; Crossover probability

0 引言

函数优化问题一直是科学界研究的热点。传统的函数优化方法一直采用数学代数方法, 但在优化复杂函数时人工计算工作繁重。随着遗传算法 (Genetic Algorithm, GA) 的出现, 各国科研工作者开始尝试将 GA 用在函数优化上, 并取得重大成果。由于 GA 具有智能性和全局搜索能力, 在函数优化中只需设计自变量的取值范围和适应度函数就能自动计算出最佳结果。但 GA 在复杂函数优化中编码过长, 易读性差, 导致过于复杂, 进化时间太长, 并且容易产生早熟。故采用一种具有树型编码的基因表达式编程 (Gene Expression Programming, GEP) 算法, GEP 具有更好的自适应性和收敛性能, 将其应用于函数优化中。

1 GEP 原理

1.1 树型编码

GEP 是由葡萄牙科学家 Candida Ferreira 提出的新的进化算法, 具有树型编码和插串操作的优点, 采用了分级树结构。分级树 (ET-tree) 由叶节点和终结点组成, 叶节点代表运算符 (操作符), 与上一级树的叶节点相连, 并与下一级树的 2 个叶节点和终结点或一个叶节点相连。叶终点是树的终端, 表

示操作数 (运算值), 与上一级叶节点相连。在函数优化中, 它由函数自变量或运算值来表示。ET-tree 的遍历顺序从上到下, 从左到右; 从 ET-tree 转化成函数形式则从下到上, 从左到右。例如: $y=3x^2+2x+1$, ET-tree 表示形式如图 1 所示。

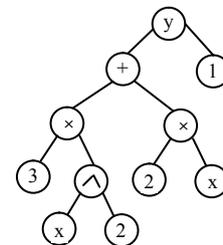


图 1 树型表示

1.2 适应度评估

适应度评估是对种群中个体对环境适应能力的评估, 控制着进化计算的方向, 常用 2 种评估法:

1) 实数函数法, 常用函数公式为:

$$f_i = \sum_{j=1}^n (M - |C(i, j) - T_j|);$$

2) 逻辑函数法: $if\ n >= 1/2 * C_i, then\ f_i = n; else\ f_i = 1$, 其中 f_i 为适应度函数。列出逻辑规则, 评价适应度时将计算结果与逻辑规则进行比较, 计算它们的相似度, 相似度即为需要的适应值。

收稿日期: 2009-10-29; 修回日期: 2010-03-03
基金项目: 国家自然科学基金项目 (60672026) 资助
作者简介: 张春潜 (1984-), 男, 江西人, 硕士研究生, 从事进化算法研究。

2 一种改进的 GEP 算法

2.1 原理

进化过程中适应度函数控制着进化方向, 随着进化代数的增加, 个体适应度越高, 而变异率和交叉率始终保持不变, 这将影响进化速度、收敛性能和适应值精度, 故提出一种具有自适应性的变异率和交叉率。

当进化过程随进化代数的升高, 保留策略法保留下来的个体适应度越高, 为避免产生早熟, 逐代增大变异率和交叉率, 使进化过程在进化操作的后期能继续产生有意义的搜索空间, 而不会过早收敛早熟, 从而使进化过程具有更好的收敛性能。进化过程中设计变异率和交叉率随着进化代数增加而自适应地增加, 即 $V = k_1 n$, $C = k_2 n$, (其中 V 为变异率, C 为交叉率, k_1 为进化代数对变异率的影响因子, k_2 为进化代数对交叉率的影响因子, n 为进化代数)。随着进化代数的增加, 将自适应地增加 V 、 C 。

2.2 算法流程

改进的 GEP 算法流程图如图 2 所示。

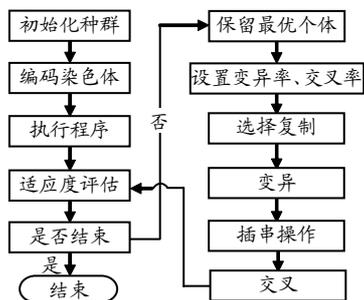


图 2 改进的 GEP 算法流程图

由图 2 可见: 该算法比常规的 GEP 算法增加了每进化一代都重新设置变异率和交叉率。

3 改进的 GEP 算法在函数优化中的应用

函数优化是进化算法运用较多的领域。GEP 是新提出的进化算法, 它具有其他进化算法无法比拟的优点, 表现在树型编码, 具有插串操作等方面, 这使 GEP 在函数优化中具有很重要的研究意义。提出改进的 GEP 算法, 研究其在函数优化中的应用。

在函数优化时, 先要设定函数自变量的取值范围, 常用二进制编码, 将十进制编码成二进制, 染色体编码长度决定了进化结果的精度, 编码越长精度越高, 但编码过长将影响进化速度, 复杂度增大, 因此需要一种适度的编码长度, 通常取 8 到 10 位。

4 实验

针对改进的 GEP 在函数优化中的应用做实验, 以 VC++ 和 Matlab 为实验平台。输入一组回归数据, 具有 2 个输入变量 x 和 y , 一个输出变量 z , GEP 算法通过已知的输入输出数据进行建模, 再利用建立的模型算出预测值, 计算真实值与预测值的相对误差。分别对常规 GEP 算法和改进的 GEP 算法做实验, 比较和分析其结果。线性回归数据如表 1 所示。

表 1 线性回归数据

z	x	y	z	x	y
68	57	9	58	50	7
76	61	12	55	51	8
51	42	6	67	62	11
56	42	10	53	49	6
57	48	9	71	59	10
77	55	10	64	57	8

设置进化算子: 进化代数为 1000, 种群大小为 50, 基因个数为 5, 头部长为 6, 单点交叉率 0.65, 两点交叉率 0.55, 变异率为 0.03, IS 元素变换和 RIS 变换率为 0.1, 采用排序选择法, Dc 交叉率和变异率为 0.6、0.03, DcPoint 交叉率和变异率分别为 0.6、0.02。

利用改进前的 GEP 算法对表 1 数据进行运算处理, 多次进化运算后得到的预测值如表 2 中 X_1 。真实值的平均误差为 2.1174%。

在 VC++ 设置变异率、单点交叉率和两点交叉率每进化一代增加 0.000 01, 其他进化算子保持不变, 多次进化算法后得到的预测值如表 2 中的 X_2 , 其平均误差为 0.532 8%。

表 2 运算结果

Z	X_1	X_2
68.000 000	67.070 855	68.588 730
76.000 000	75.869 257	76.051 297
51.000 000	49.999 105	50.828 961
56.000 000	54.712 651	56.167 928
57.000 000	58.329 428	55.918 373
77.000 000	75.430 613	76.291 275
58.000 000	57.061 750	58.074 113
55.000 000	56.797 440	53.285 317
67.000 000	67.232 766	67.845 689
53.000 000	56.761 144	54.331 286
71.000 000	68.940 063	72.368 109
64.000 000	64.004 520	65.251 404

改进的 GEP 进化结果如图 3 所示。

从表 2 中改进前与改进后的 GEP 算法进化运算可以看出: 改进的 GEP 算法平均误差比改进前小了近 4 倍, 每次进化操作过程中当进化到代数比较大时最大适应度函数仍能保持变动, 而不会在进化到一定代数时产生早熟而过早收敛。改进的 GEP 算法具有更好的收敛性能和运算精度。

(下转第 94 页)

根据人机界面软件设计流程编写的应用程序已经在特种缝纫机高速电子套结机的界面设计中得到应用。并可根据用户的要求实时增添功能，很好地实现了人机互动。

参考文献：

[1] 支强. 基于WinCE5.0的高速工业绣花机花样信息处理及人机交互的研究与应用[D]. 无锡: 江南大学控制理论与控制工程专业, 2008: 1-11.

[2] 侯俊杰. 深入浅出MFC(第2版)[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2007: 14-37.
 [3] 陆林. 基于ARM9的大型触摸屏控制器的研究与开发[D]. 无锡: 江南大学控制理论与控制工程专业, 2008: 4-8.
 [4] 呼健. 人机界面设计与评估技术的研究和应用[D]. 济南: 山东大学软件工程专业, 2005: 3-24.
 [5] Microsoft. Embedded Visual C++ Version 4.0 Help [Z]. 2004.

(上接第 84 页)

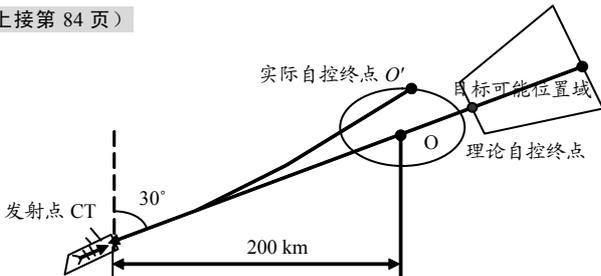


图 2 某型潜射反舰导弹飞行航路图

表 2 某型潜射反舰导弹自控终点散布误差分析

误差源	位置误差	
	横向位置误差 ΔZ (m)	纵向位置误差 ΔX (m)
初始姿态误差 ($\delta\alpha_0$)	0	195.1
初始姿态误差 ($\delta\beta_0$)	487.7	0
初始姿态误差 ($\delta\gamma_0$)	84.7	-18.0
各方向位置误差	572.4	177.1
和平方根位置误差	599.2	

另外，依据某型潜射反舰导弹的自控终点散布的极限误差公式，可以计算出其极限误差为： $\Delta X = \Delta Z = \pm 2 324.4 \text{ m}$ ，初始对准误差所引起的自控终点散布误差明显小于极限误差。

3 结论

仿真结果表明，该模型简便清晰，易于使用，方便计算，为项目论证阶段初始对准精度指标的分配提供了一定的借鉴作用。

参考文献：

[1] 张炎华, 程加斌. 鲁棒滤波及舰载武器捷联系统初始对准研究[J]. 上海交通大学学报, 31(4): 65-67.
 [2] 吴俊伟, 曾启明, 聂莉娟. 惯性导航系统的误差估计[J]. 中国惯性技术学报, 2002, 10(6): 1-5.
 [3] 袁信, 俞济祥, 陈哲. 导航系统[M]. 北京: 航空工业出版社, 1992.
 [4] 樊荣. 捷联惯导系统初始对准方法研究及其仿真[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.
 [5] Titterton D H, Weston J L. Strapdown inertial navigation technology[M]. London: Peter Peregrinus Ltd, 1997.
 [6] 赵建军, 王光辉. 潜射反舰导弹自控终点误差散布及其改进[J]. 火力与指挥控制, 2003, 28(5): 12-13.
 [7] 胡海, 熊峰. 潜射反舰导弹对远距离大散布目标的搜索方式[J]. 战术导弹技术, 2005(4): 12-15.
 [8] 刘毅, 刘志俭, 吕新广. 初始对准误差对惯性制导误差影响的简化算法[J]. 航天控制, 2006, 24(2): 30-33.

(上接第 91 页)

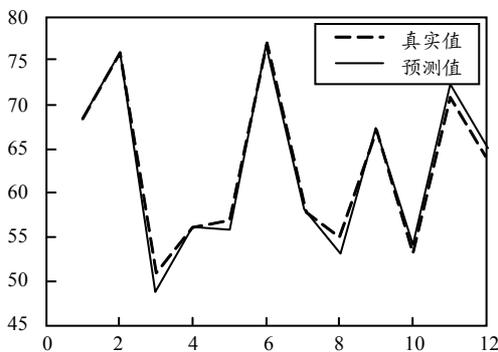


图 3 改进的 GEP 算法的运算结果

5 总结

该算法的变异率和交叉率随进化代数的增加而自适应地增加，解决了 GEP 算法容易产生早熟的问题。

实验证明，将该算法运用到函数优化问题中具有很好的效果。

参考文献：

[1] Candida Ferreira. Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems[J]. Complex System 2001, 13(2): 87-129.
 [2] Zhou Chi, Xiao Weimin, Tirpak Thomas M., et al. Evolving accurate and compact classification rules with gene expression programming[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2003, 7(6): 519-531.
 [3] 成渝, 唐常杰, 等. 具有线性复杂度的 GEP 适应度评价算法[J]. 四川大学学报, 2008, 40(1).
 [4] 陈国良, 王煦法, 庄镇泉, 等. 遗传算法及其应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996.
 [5] 罗瑜, 汪锐. 基于 GEP 的多因子曲线拟合[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(9).