

基于多种群遗传算法测试用例优先级技术研究

李龙澍, 李 森, 廖 敏, 汪小珍

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘 要:测试用例优先级技术是一种高效实用的回归测试技术。为提高回归测试效率,提出了一种应用于回归测试过程中基于多种群遗传算法测试用例优先级技术的方法。该方法采用三个具有不同进化规律的种群,第一个种群重视全局搜索,第二个种群重视局部搜索,第三个种群通过前两个种群的移入来均衡算法的局部搜索和全局搜索能力,使算法能在更大范围内寻优。经过实验验证,该算法是一种有效的测试用例优先排序方法,较一般的遗传算法具有更强的性能和更高的效率。

关键词:测试用例优先级;回归测试;多种群;遗传算法

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)04-0112-03

Research Test Case Suite Minimization Based on Multiple Population Genetic Algorithm

LI Long-shu, LI Sen, LIAO Min, WANG Xiao-zhen

(Ministry of Education Key Laboratory of Intelligent Computing & Signal Processing,
Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: Test case prioritization is an effective and practical technique applied in regression testing. In order to increase the effectiveness of test suite, algorithm for construction of software test case suite minimization based on multiple population genetic algorithm. This algorithm has three populations with different evolution pattern, and the first focus on the overall search, the second focus on the overall search, while the third can balance the search ability at both the local search and local search through the migration part, which makes multiple population genetic algorithm search better solutions in a larger range. The experimental results show that this algorithm is a kind of effective method of test cases which is superior in both effectiveness and efficiency.

Key words: test case prioritization; regression testing; multiple population; genetic algorithm

0 引言

测试用例优先级技术着重于研究回归测试中测试用例使用策略的问题。这种技术认为,不同测试用例对于测试目标的完成有着不同的贡献程度,为了能够更快地达成测试目标,有必要将不同的测试用例进行比较和排序,然后优先执行相对重要的测试用例。与普通的回归测试方法相比,测试用例优先级技术依据测试的历史信息,以代码覆盖率或检错效率等为标准,为每个待复用的测试用例赋予一个优先级,并在回归测试过程中按优先级顺序选取和执行这些测试用例。测试用例优先级技术可以很好地解决回归测试中测试用例高效使用的问题,能够帮助测试人员尽早达到预期的覆盖率目标或检错目标,有利于提高测试效率,降

低测试的时间开销和人力成本^[1-4]。

文中提出了一种改进的多种群遗传算法实现测试用例优先排序的方法,该方法能够依据选定的测试用例优先排序目标生成最满足该目标的测试用例序列。实验结果表明:所提出的方法是一种有效的测试用例优先排序方法,有很好的可行性。

1 背景知识

1.1 测试用例优先化

测试用例优先化(TCP, Test Case Prioritization)是对测试用例按某种特定顺序进行排序,从而达到一些性能目标的调度过程。其具体定义为^[5]:对于某测试套 T , PT 表示对 T 中元素所有可能的排序的集合; f 表示应用于 PT 中每种排序的函数,输出的是每种排序的判定值,值越高效果越好。测试用例优先化就是寻找一个 $T' \in PT$,使得对于任意 $T'(T' \in PT \text{ 且 } T' \neq T)$,都有 $f(T') \geq f(T)$ 。

收稿日期:2010-09-01;修回日期:2010-12-27

基金项目:安徽省自然科学基金(090412054)

作者简介:李龙澍(1956-),男,安徽亳州人,教授,博士生导师,研究方向为知识工程、软件分析与测试。

1.2 遗传算法

Holland^[6]第一次提出了具有选择、交叉和变异等操作的遗传算法。遗传算法作为一种适应性搜索技术,通过模仿生命进化过程来解决优化问题。它的操作对象为染色体(chromosomes),由一串数字组成,数字串中的每个数字叫做基因(gene),而一系列染色体的组合构成一个种群(population)。每个染色体都有一个适应度,用来决定下一代生存的可能性。下一代产生后,一部分染色体交叉,而少部分基因发生变异^[7]。

遗传算法一般要包含以下几个处理步骤:首先对问题的解进行编码,即用染色体表示问题的潜在解,生成经过编码的初始种群;适应度函数因优化问题的目标函数而定,然后根据适应度大小挑选个体进行遗传操作;最后按照适者生存和优胜劣汰的原理逐代演化,得到问题的最优解或近似最优解。每个个体在种群演化过程中都被评价优劣并得到其适应度值,个体在选择、交叉以及变异算子的作用下向更好的适应度进化以达到寻求问题最优解的目标。

2 测试用例优先排序目标评价方法

文中以增加测试用例序列发现错误的速率(rate of fault detection),即在回归测试过程中使用测试用例序列尽早发现错误作为测试用例优先排序的目标。

测试用例的覆盖率越大,这个用例发现错误的可能性就越大,于是可以用测试用例的覆盖率信息来量化目标。根据使用的覆盖率信息为块覆盖率、语句覆盖率和判定覆盖率,对应的评价方法分别有 APBC (Average Percentage Block Coverage), APSC (Average Percentage Statement Coverage) 和 APDC (Average Percentage Decision Coverage)。测试用例执行之前可以通过覆盖率分析工具得到它的覆盖率信息,所以 APBC (APDC, APSC) 可以在测试用例全部执行之前使用,用来指导测试用例的优先排序^[8,9]。

文中采用 APBC 为评价方法。APBC, 即测试用例序列块覆盖率的平均值,值越大表示这个序列越能尽早地达到更高的块覆盖率。

APBC 的公式化表示如式(1)所示:

$$APBC = 1 - \frac{TB_1 + TB_2 + \cdots TB_j + \cdots TB_m}{nm} + \frac{1}{2n} \quad (1)$$

其中 n 为测试用例序列中测试用例的个数, m 为被测程序中包含块的个数, TB_j 表示测试用例序列中第一个发现块 $j(j \in [1, m])$ 的测试用例位置编号。

3 多种群遗传算法测试用例优先排序方法

3.1 多种群遗传算法

在双种群遗传算法的基础上^[10,11],提出一种多种

群遗传算法。在改进的多种群遗传算法中,种群1用作探测子种群,采用较大的交叉和变异概率,着重全局搜索,种群2用作开发子种群,采用较小的交叉和变异概率,着重局部搜索,种群3是采用基本的遗传操作,在遗传过程中将种群1和种群2中部分最优个体移入到种群3中,具有平衡局部搜索和全局搜索的能力。每进化 K 代后,进行三个种群之间的信息交流,设种群的规模为 N_p ,信息交流的原则是:整合种群1和种群2中适应度值较优的 $N_p/4$ 个个体移入到种群3中,如果种群3大小超出规定种群大小,则根据个体适应度值大小对种群3的个体进行淘汰操作,以保持种群3的规模,然后将种群3中适应度值最优的两个个体分别替换种群1和种群2中适应度值最差的两个个体。

3.2 参数编码及适应值函数设计

文中,多种群遗传算法的输入是若干个测试用例组成的测试用例集,输出是测试用例序列,整个程序只是变换这些测试用例的排列位置,并不考虑测试用例的具体组成。所以可以用实数的编号来表示测试用例。为测试用例集中的每个测试用例赋一个实数的编号,测试用例序列便可以用这些编号组成的数组来表示。

个体的适应度值反映了个体在问题解空间中的适应能力。每个个体的适应度值的大小决定了该个体是继续繁衍还是消亡,充分体现了“适者生存,优胜劣汰”的自然选择规律。适应度函数的确定是遗传算法实现的关键,由它指导遗传算法的搜索方向,使测试数据朝着目标方向进化。一般,适应度函数值在0到1之间,值越大,表明相应的个体越优,它被复制进入下一代的概率就越大。

测试用例优先排序问题中,测试用例的覆盖率越大,它发现错误的能力也就越高,所以,可用覆盖率信息来构造适应度函数,其适应度函数如式(2)所示:

$$fitness = 1 - \frac{TB_1 + TB_2 + \cdots TB_j + \cdots TB_m}{nm} + \frac{1}{2n} \quad (2)$$

其中 n 为测试用例序列中测试用例的个数, m 为被测程序中包含块的个数, TB_j 表示测试用例序列中第一个发现块 $j(j \in [1, m])$ 的测试用例位置编号。

3.3 遗传操作

遗传操作设计如下:

(1)选择操作^[12]:文中采用锦标赛选择的方式,首先在父代种群中随机选取 k 个个体,然后令其中适应值最好的个体作为被选中个体。

(2)交叉操作^[12]:采用单点交叉,首先确定一个交叉位置,然后对换交叉点后的子串。

(3)变异操作^[12]:采用互换操作,随机交换染色

体中两个不同基因的位置。

3.4 多种群遗传算法测试用例优先排序过程

多种群遗传算法解决测试用例优先排序问题的步骤如下:

步骤 1 初始化种群的规模为 N_p , 种群 1、种群 2 和种群 3 的交叉因子分别为 CR_1 、 CR_2 和 CR_3 , 变异因子分别为 PR_1 、 PR_2 和 PR_3 , 种群的最大进化代数数为 G_{\max} , 种群信息交流的进化代数 K 。

步骤 2 随机产生 $3 * N_p$ 个解, 分别构成种群 1、种群 2 和种群 3。根据适应度值函数对种群 1、种群 2 和种群 3 进行评价, 分别找出三个种群适应度值最佳的个体记为 $Best_1$ 、 $Best_2$ 和 $Best_3$, 对应的适应度值分别为 F_1 、 F_2 和 F_3 , 并使进化代数 $G = 1$ 。

步骤 3 对种群 1 采用较大的交叉概率 CR_1 和变异概率 PR_1 , 对种群 1 分别执行交叉、变异、选择操作, 若新个体的适应度值比 $Best_1$ 好, 则用新个体取代 $Best_1$, 其适应度值取代 F_1 。

步骤 4 种群 2 用较小的交叉概率 CR_2 和变异概率 PR_2 , 对种群 2 分别执行交叉、变异、选择和操作, 若新个体的适应度值比 $Best_2$ 好, 则用新个体取代 $Best_2$, 其适应度值取代 F_2 。

步骤 5 种群 3 用正常的交叉概率 CR_3 和变异概率 PR_3 , 对种群 3 分别执行交叉、变异、选择操作, 若新个体的适应度值比 $Best_3$ 好, 则用新个体取代 $Best_3$, 其适应度值取代 F_3 。

步骤 6 比较 F_1 、 F_2 和 F_3 大小, 最大者即为当前代最佳适应度值, 适应度值最大对应的个体即为当前代最佳个体。

步骤 7 判断是否达到种群之间进行信息交流的进化代数, 若达到, 则按照 3.1 节提出的信息交流原则进行交流, 交流完毕转步骤 8, 否则继续。

步骤 8 $G = G + 1$, 如果 $G < G_{\max}$, 转步骤 3, 否则输出结果并停止。

4 算法仿真结果分析

仿真过程针对应用多种群遗传算法解决测试用例优先排序分析, 并将该算法与基本遗传算法^[12]进行比较, 采用 C# 语言对算法进行仿真实验。

实验中, 种群规模 $N_p = 20$, 种群 1、种群 2 和种群 3 的交叉概率分别为 $CR_1 = 0.5$ 、 $CR_2 = 0.1$ 、 $CR_3 = 0.25$, 变异概率分别为 $PR_1 = 0.05$ 、 $PR_2 = 0.01$ 、 $PR_3 = 0.02$, 种群最大进化代数 $G_{\max} = 1000$, 种群间信息交流的进化代数 $K = 10$ 。

为保持实验的公平性, 基本遗传算法的种群规模设置为 $N = 60$, 交叉和变异概率设为 0.25 和 0.02。

设回归测试用例集内的初始测试用例数 50 个, 为测试用例集中的每个测试用例赋一个实数的编号, 列举出测试用例和块覆盖率信息对应表, 并将各组测试用例的覆盖率信息用作进化的适应值函数; 然后应用多种群遗传算法对测试用例集进行优先排序处理, 并将该算法与基本遗传算法进行优化过程中的算法迭代次数与算法的时间性能进行比较, 分析过程中, 首先列出个测试用例集覆盖测试需求的情况, 应用多种群遗传算法对测试用例优先排序, 然后比较当迭代次数逐渐增加时, 应用多种群遗传算法与基本遗传算法在算法效率上进行分析, 具体对优化后的块覆盖率进行比较, 如图 1 所示。

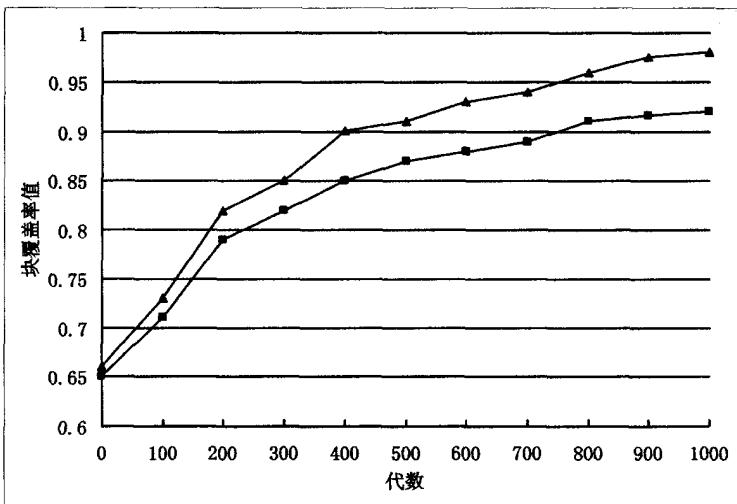


图 1 遗传算法与多种群遗传算法比较图

图 1 中两条曲线是运用基本遗传算法和多种群遗传算法进行测试的结果曲线, 其中带三角形曲线是多种群遗传算法进化的结果, 其最优解为 0.98; 带正方形的曲线是运用基本遗传算法优化的结果, 其最优解为 0.92。从图 1 中可以看出, 基本遗传算法只有在开始进化的一段时间内与多种群遗传算法的寻优结果没有多大的区别, 在进化的中后期, 多种群遗传算法比基本遗传算法有明显的优势。从图中还可以看到, 随着进化代数的增加, 多种群遗传算法比基本遗传算法会有更好的寻优结果, 基本遗传算法容易陷入局部最优, 而多种群遗传算法可以很好的均衡全局搜索能力和局部搜索能力, 从而避免陷入局部最优。

5 结束语

分析了测试用例优先排序问题, 提出了改进的多种群遗传算法解决该类问题。在多种群遗传算法中通过种群 1 和种群 2 可以直接增加种群解的多样性, 提

(下转第 119 页)

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
284	120.096524	198.0.36.10	198.0.36.110	WiMAX	HO_ACK
286	120.674586	198.0.36.110	198.0.36.110	WiMAX	HO_ACK
336	136.282442	198.0.36.10	198.0.36.110	WiMAX	HO_ACK
337	136.285400	198.0.36.110	198.0.36.110	WiMAX	HO_ACK
339	136.434029	198.0.36.110	198.0.36.110	WiMAX	HO_CONF
340	136.436748	198.0.36.110	198.0.36.110	WiMAX	HO_CONF
341	136.499305	198.0.36.10	198.0.36.110	WiMAX	HO_CONF
342	136.501934	198.0.36.110	198.0.36.110	WiMAX	HO_CONF

Frame 284 (160 bytes on wire, 160 bytes captured)
 Ethernet II, Src: wistron_ae:46:18 (00:16:d3:ae:46:18), Dst: bplan_1b:c3:75 (00:0
 Internet Protocol, Src: 198.0.36.10 (198.0.36.10), Dst: 198.0.36.110 (198.0.36.11
 User Datagram Protocol, Src Port: wimaxasncp (2231), Dst Port: wimaxasncp (2231)
 WiMAX ASN Control Plane Protocol
 [Malformed Packet: WiMAX ASN CP]

图6 切换响应测试

参考文献:

- [1] 胡心怡, 周慧源. WiMAX 无线通信技术[J]. 电信快报, 2010(2):43-45.
- [2] IEEE 802.16-2004. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems[S]. IEEE, 2004.
- [3] Abichar Z, Peng Yanlin, Chang J M. WiMax: The Emergence of Wireless Broadband [J]. IEEE, IT Professional, 2006, 8(4):44-48.
- [4] 糜正琨. 移动 IP 技术[J]. 中兴通讯技术, 2008(4):59-62.
- [5] RFC 3344. IP Mobility Support for IPv4[S]. IETF, 2002.
- [6] RFC 3775. Mobility Support in IPv6[S]. IETF, 2004.
- [7] 薛伟, 高仲合, 杨自芬, 等. 移动 IP 切换机制性能分析[J]. 计算机与信息技术, 2006(11):43-44.
- [8] 徐华中, 郑诚. 移动 IP 隧道技术实现的研究[J]. 中国水运, 2008(4):258-259.
- [9] RFC 2784. Generic Routing Encapsulation[S]. IETF, 2000.
- [10] 贺昕, 李斌. 异构无线网络切换技术[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2008:68-70.
- [11] 张明, 王锁萍, 何涛. 移动 WiMax 的切换机制[J]. 网络与通信, 2009, 35(22):103-105.
- [12] 李军. 支持 AAA 的移动 IPv6 网络切换性能研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(计算技术研究所), 2006.

(上接第 114 页)

高了算法的全局搜索能力和局部搜索能力,而种群 3 具有很好的平衡全局搜索和局部搜索的能力,从而实现解空间内更好的寻优。通过仿真实验结果表明提出的多种群遗传算法,比基本遗传算法效果更好,能够更好地应用于测试用例优先排序问题中,有效地提高软件测试效率。

参考文献:

- [1] Kim J M, Porter A. A history-based test prioritization technique for regression testing in resource constrained environments[C]// Proceedings of the International Conference on Software Engineering. [s.l.]:[s.n.], 2002:119-129.
- [2] Rothermel G, Untch R H, Chu C Y, et al. Prioritizing test cases for regression testing[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2001, 27(10):929-948.
- [3] Li Z, Harman M, Hierons R M. Search algorithms for regression test case prioritization[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2007, 33(4):225-237.
- [4] Srikanth H, Williams L, Osborne J. System test case prioritization of new and regression test cases[C]//Proceedings of the International Symposium on Empirical Software Engineering. [s.l.]:[s.n.], 2005:62-71.
- [5] 屈波, 聂长海, 徐宝文. 回归测试中测试用例优先级技术研究综述[J]. 计算机科学与探索, 2009, 3(3):225-233.
- [6] HOLLAND J H. Adaptation in Nature and Artificial Systems [M]. [s.l.]: MIT Press, 1992.
- [7] 姚尧. 一种基于遗传算法的软件测试用例生成新方法[J]. 计算机与数字工程, 2009, 37(1):18-21.
- [8] 陈文萍. 基于遗传算法的软件测试用例优化技术研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2009.
- [9] 万松松, 薛锦云, 谢武平. 最小测试用例集生成方法改进及应用[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(10):181-183.
- [10] 于蕾蕾. 双种群遗传算法的改进及其应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.
- [11] 方必和, 于蕾蕾. 基于淘汰机制的双种群遗传算法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(9):101-103.
- [12] 梁芳. 遗传算法的改进及其应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.