

文章编号:1671-6833(2005)03-0098-04

一种改进的遗传算法及其应用

杨丽娜¹, 刘 刚², 王秋生¹

(1. 解放军信息工程大学电子技术学院, 河南 郑州 450004; 2. 北京科技大学信息工程学院, 北京 100083)

摘 要:遗传算法由于其隐含并行性和全局搜索特性,使其具有其他常规优化算法无法拥有的优点.然而,标准遗传算法存在着收敛速度慢、易“早熟”等缺陷.针对应用标准遗传算法时所存在的局限性,从适应值、交叉和变异算子以及控制参数的选取等多方面进行了遗传算法的改进设计.这种改进的遗传算法可进一步改善算法的搜索能力、搜索效率和收敛性能.最后以(N+M)容错系统的优化模型作为优化目标,得到了费用模型的最优解.计算结果验证了算法的有效性和正确性.

关键词:遗传算法;容错系统;优化模型
中图分类号:TP 273 **文献标识码:**A

0 引言

遗传算法(Genetic Algorithm, GA)是一种基于自然选择原理和遗传学机制求解问题的有效并行的全局搜索算法.它从代表问题可能潜在解集的一个种群开始,通过选择、交叉和变异等遗传操作,使种群逐代集中于搜索空间的越来越好的区域.演化的代数主要取决于代表问题解的收敛状态,末代种群中的最佳个体作为问题的最优近似解.与传统的优化算法相比,遗传算法的优点在于:①是对于参数的编码而不是对参数本身进行操作;②是从许多初始点而不是从一个初始点开始并行操作;③对问题的依存性较小;④GA 使用的不是确定的规则;⑤GA 对于待寻优的函数基本无限制.

(N+M)容错系统采用公共备件策略,可用于同类多过程的控制,提高控制系统的可靠性,实现整个系统的经济优化运行.(N+M)容错系统优化以寿命周期内总费用最低为目标,模型的目标函数和约束条件包含整型和实型变量,具有严重非线性特性,用常规的优化方法和手段难以求解^[1,2].

然而,标准的遗传算法有两个严重的缺点^[3],一是容易过早收敛,这样就会使其它个体中的有效基因不能得到有效复制,最终丢失;二是在进化后期染色体之间的差别极小,整个种群进化停滞

不前,搜索效率较低.这些使得最终搜索得到的结果往往不是全局最优解.作者提出了一种改进的遗传算法,并用此算法对(N+M)容错系统的成本数学模型进行优化.

1 (N+M)容错系统的成本数学模型

费用分析表明,(N+M)容错系统的总成本C为购置控制器的费用C₁和在寿命周期内由于控制器不可靠造成的直接经济损失C₂之和,其中,C₁与控制器的数量、可靠性及维修性有关,C₂与被控过程的性质及不能正常工作的数量有关.同时,(N+M)容错系统满足保证可用度的约束条件.

(N+M)容错系统的费用优化模型为^[1]

min C = (K₀(λ₀/μ₀)^j / (λ/μ)^j)(N+M) + K₁∑_{i=1}^N i P_{M+i},

约束条件为 A ≥ G.

其中:

P_{M+i} = (C_{N+M}^{M+i} (λ/μ)^{M+i}) / (1 + λ/μ)^{N+M},
A = (∑_{i=0}^M C_{N+M}ⁱ (λ/μ)ⁱ) / (1 + λ/μ)^{N+M}.

式中,C为模型成本,单位为万元.N为工作控制器个数,M为备用控制器个数,λ/μ表示失效率与修复率的比值,K₀表示λ/μ=λ₀/μ₀时单台控制器的价格,K₁为单个过程不能正常工作所付出

的代价, P_{M+i} 为系统处于 $M+i$ 状态的概率, A 为系统可用度, G 为保证可用度. $(N+M)$ 容错系统的成本模型如图 1 所示.

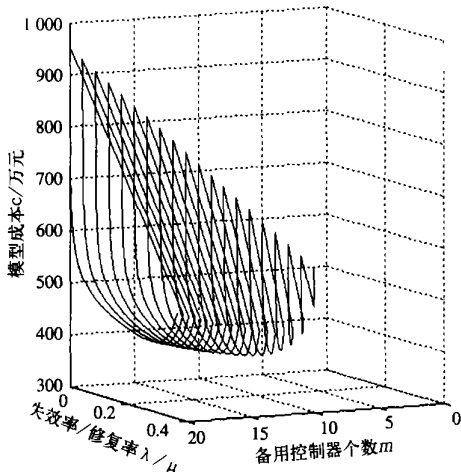


图 1 $(N+M)$ 容错系统的成本模型

Fig. 1 Optimization model of $(N+M)$ fault tolerant system

该模型具有以下特点: ①包括整型变量和实型变量, 是一个混合优化问题. ②目标函数和约束条件具有严重的非线性特征, 组合项系数中含有变量, 目标函数的海森矩阵甚至一阶偏导数矩阵都很难求得. ③约束条件多项式的长度与变量有关, 表达式不固定. ④ M 和 λ/μ 相差两个数量级以上, 使得目标函数的等高线区域范围非常狭小. ⑤目标函数是一个多峰值函数, 且随着 N 的增加, 峰值也相应的增加. ⑥远离最优解的模型图非常陡峭, 个体的微小变化都会造成其适应值的很大差别. 如果采用标准遗传算法, 进化初始阶段, 种群中的超级个体可能得到很高的繁殖机会, 造成算法早熟. ⑦在每一个峰值的最优解附近, 图形非常平缓. 如果采用标准遗传算法, 进化后期, 算法可能无法遍历到全局最优解.

可见, 此优化模型用标准遗传算法来求解, 难以保证解的全局性, 需要对其进行改进.

2 改进的遗传算法

2.1 个体选择概率分配

常用的分配方法有按比例适应度分配和基于排序的适应度分配. 前者是利用比例于各个个体适应度的概率决定其子孙的遗留可能性. 概率大的个体能被多次选中, 它的遗传因子就会在种群中扩大. 后者的适应度仅仅取决于个体在种群中的序位, 而不是实际的目标值. 排序方法克服了

比例适应度计算的尺度问题, 也克服了选择压力太小而导致搜索范围迅速变窄从而产生过早收敛的问题. 排序方法引入种群均匀尺度, 提供了控制选择压力的简单有效的方法. 排序方法要比比例方法表现出更好的鲁棒性, 因此, 作者采用基于排序方法的适应度分配.

2.2 交叉(crossover)

多点交叉和均匀交叉的思想源于控制个体特定行为的染色体表示信息的部分无须包含于邻近的子串中, 多点交叉的破坏性可以促进解空间的搜索, 而不是过早收敛, 因此搜索更加健壮. 而均匀交叉比多点交叉更加广义化, 将每个点都作为潜在的交叉点, 随机产生与个体等长的 0-1 掩码, 掩码中的片段表明了哪个父代个体向子代个体提供变量值. 因此, 文章采用均匀交叉作为交叉方法.

2.3 变异(mutation)

对于被选中种群中的某个个体, 以一定自适应变异概率 P_m 随机选取若干位进行取反操作, 即将该基因码反转, 从而产生一个在某一基因位不同于上一个个体的新个体. 个体基因变异的位数为自适应变化, 即随着进化的进行由大到小地变化.

2.4 自适应概率 P_c 、 P_m 的设计

在遗传算法的参数中, 交叉概率 P_c 与变异概率 P_m 的选择是影响遗传算法行为和性能的关键所在, 直接影响算法的收敛性. P_c 越大, 新个体产生的速度就越快, 然而, P_c 过大时遗传模式会被破坏的可能性也越大, 使得具有高度适应性的个体结构很快就会被破坏掉. 如果 P_c 过小, 搜索过程缓慢以至停滞不前. 对于变异概率 P_m 来说, 如果过小, 不易产生新的个体结构; 如果过大, 遗传算法就变成了纯粹的随机搜索算法. 在进化初期, 避免个别适应度高的个体迅速繁殖, 出现早熟现象, P_c 和 P_m 不宜过小, 以增加种群的多样性; 在进化后期, 个体接近最优解时, P_c 和 P_m 不宜过大, 以避免个体长期无法达到最优解.

为此作者设计出自适应交叉概率 P_c 与变异概率 P_m , 将 SIN 函数改造为 P_c 的自适应函数, 其表达式为

$$P_c = -0.4 \ln\left(\frac{\text{gen}}{\text{generation}} \cdot \frac{\pi}{2}\right) + 0.5,$$

P_m 的自适应函数表达式为

$$P_m = -0.2 \ln\left(\frac{\text{gen}^2}{\text{generation}}\right) + 0.3.$$

进化初期两者较大,以利于种群的多样性,随着进化的进行,二者渐进减小,便于个体向最优解靠近.这里,gen 为当前进化代数,generation 为总进化代数.

2.5 对指定基因进行变异

在设计变量中, λ/μ 对解的适应值影响最大.在进化后期,若变异仅发生在 m 基因上,就不能使解的适应值发生大的偏移,容易陷入局部最优解.因此,在进化后期应加大 λ/μ 的变异概率.

2.6 精英保留原则

将种群中适应度最好的小部分个体与上一代比较后,保留较好的个体,以此来保留优良基因.

2.7 记忆功能

在算法中增加一个记忆器,使之记住搜索过的最好解,算法结束后,与当前解比较选出较优者,进一步提高寻优的能力.

3 算法实现

3.1 约束条件的处理

对于有约束非线性规划的约束条件的处理,通常采用两种办法.一种方法是通过解析法和惩罚函数等方法变换把带约束非线性规划问题转化为无约束非线性规划问题.另一种方法是设计恰当的遗传操作以保证所有新产生的染色体在可行集中.由于 $(N+M)$ 成本模型的约束条件非常复杂,很难采用常规非线性规划的方法进行处理,因此,作者采用后者来处理约束条件.

3.2 算法终止准则

如果连续 5 代最优解的差异很小,就认为寻优结束.

种群的大小选为 40,终止条件为在规定的 100 代内连续 5 代平均适应度的差异的绝对值对于 m 为 0,对于 λ/μ 小于 0.001.

3.4 算法实现步骤

对于 $(N+M)$ 容错系统的全局优化问题,提出的遗传算法按如下步骤进行:

Step 1 初始化控制器个数 n 、染色体个数 pop-size、遗传代数 generation.

Step 2 在约束条件范围内选出总数为 pop-size 的初始种群.

Step 3 计算各染色体的评价函数 $eval(i)$ 和累积概率 $q(i)$,并根据累积概率 q 用轮盘赌选择法进行种群选择.

Step 4:根据自适应交叉概率 P_c 选出进行交叉的染色体.

Step 5:采用一致交叉方法对选中的染色体进行交叉操作,并判断交叉产生出的新染色体是否满足约束条件.如果不满足,则转回 Step 5;如果满足,则进入 Step 6.

Step 6:根据自适应变异概率 P_m 选出进行变异的染色体.

Step 7:对选中的染色体进行变异操作,如果是进化后期,对 λ/μ 加大变异概率,判断变异产生出的新染色体是否满足约束条件.如果不满足,则转回 Step 7;如果满足,则进入 Step 8.

Step 8:判断是否满足结束条件.如果满足,得出优化结果;如果不满足,世代数增 1 并转回 Step 3.

4 $(N+M)$ 容错系统的优化结果及算法性能分析

4.1 优化结果分析

采用上述改进的遗传算法对 $(N+M)$ 容错系统进行优化求解,其优化结果如表 1 所示.

从表 1 可以看出:①当 N 一定时,用改进的遗传算法可以得到 M 和 λ/μ 的最优解;②在采用相同数量备件 M 的情况下,随着 N 的增加, λ/μ 相应减小,即在备用控制器不变的条件下,随着工作控制器的增加,对每一台控制器的可靠性的要求也越高.

表 1 $(N+M)$ 容错系统优化模型的遗传算法结果
Tab.1 Opti nization Mbdl Solving for $(N+M)$

fault tolerant system					
N	1	2	3	4	5
M	1	1	1	2	2
λ/μ	0.003 7	0.002 6	0.002 2	0.011 0	0.009 6
N	6	7	8	9	10
M	2	2	3	3	3
λ/μ	0.008 7	0.007 6	0.018 5	0.017 1	0.016 0
N	11	12	13	14	15
M	3	4	4	4	4
λ/μ	0.014 9	0.026 1	0.023 7	0.023 4	0.022 3
N	16	17	18	19	20
M	4	5	5	5	5
λ/μ	0.021 2	0.032 0	0.030 4	0.029 2	0.028 2

5.2 算法性能分析

为了全面地评价改进遗传算法的性能,文章设计了两个算法程序,即传统遗传算法程序(算法 1)和改进的遗传算法程序(算法 2).每一个算法程序在 $n=20$ 的条件下各自独立运行 30 次.

改进的遗传算法有以下特点:

(1) 收敛精度提高.改进遗传算法的性能不仅在搜索能力上比传统的遗传算法有了非常大的提高,而且在收敛精度方面有着非常明显的改进.

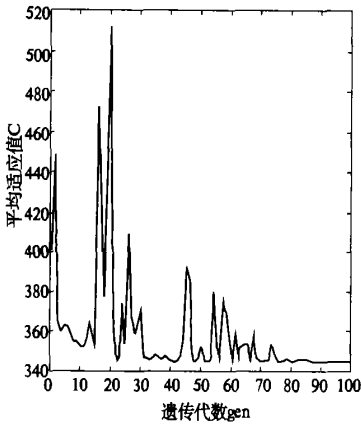


图 2 算法 1 平均适应值

Fig. 2 Average fitness of algorithm 1

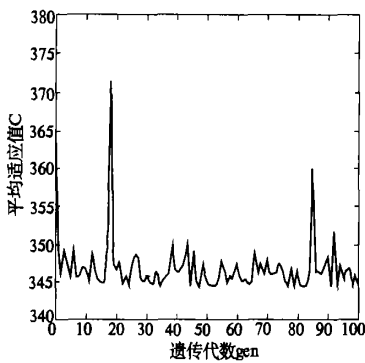


图 3 算法 2 平均适应值

Fig. 3 Average fitness of algorithm 2

(2) 能以较大概率找到全局最优解.分析图 2 和图 3 可以看出,遗传算法运行过程的曲线较为平滑(图 2),随着遗传代数的增加,基因种群对应的目标函数平均值越来越靠近最优解,甚至重合.这说明遗传算法在执行过程中维持种群的多样性方面存在着较大的缺陷,并且在进化的后期,遗传算法对最优解的搜索效率明显降低.而改进的遗传算法曲线较为曲折(图 3),保证了群体的多样化,提供了从当前局部最优解向全局最优解的搜索空间的转移,从而保证了算法的全局性.

6 结论

文章提出一种改进的遗传算法来实现(N+M)容错系统这类复杂模型的优化.该算法避免了超级个体问题,保证了优化的有效性,在搜索能力、进化效率上都有了很大的提高,有效地克服了传统遗传算法可能出现的不收敛现象.仿真结果表明,该算法是可行且高效的,取得了满意的结果.

参考文献:

- [1] WANG S T, YE L Q, MAI K O P. Intelligent networked (N+M) fault tolerant systems for hydropower station [J]. hydroelectric energy, 1999, 17(1): 66~72.
- [2] 王生铁,叶鲁卿,邴凤山.水电站(N+M)容错系统可靠性分析[J].水电能源科学,1998,16(1): 46~50.
- [3] 王小平,曹立明.遗传算法[M].西安:西安交通大学出版社,2001.18~86.
- [4] 郭卉.改进遗传算法在牵引变压器优化设计中的应用[J].中国电机工程学报,2005,25(4): 119~123.

An Improved Genetic Algorithm and Its Application

YANG Li na¹, LIU Gang², WANG Qu -sheng¹

(1. Institute of Electronic Technology, P. L. A Information Engineering University, Zhengzhou 450004, China; 2. School of Information Engineering, University of Science and Technology of Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract : Genetic algorithm has some advantages that other normal methods do not have because of its two characters — implicit parallelism and global searching. But SGA has defects of slow convergence and premature convergence. According to these characteristics, the improved genetic algorithm is designed from several aspects such as fitness, crossover and mutation operator as well as choice of control parameters in this paper. The algorithm can improve its searching space, searching efficiency and convergence performance. Finally, (N+M) fault -tolerant system is used as the optimization objective, and the optimal solution of cost model is also obtained. Calculation result shows that the algorithm proposed in the paper is valid and correct.

Key words : genetic algorithm; fault -tolerant systems; optimization model