

遗传算法在水利工程施工进度控制优化中的应用

汪安南¹, 史安娜¹, 张元教², 彭得胜³

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 210098 2. 国务院南水北调工程建设委员会办公室, 北京 100053;

3. 水利部淮河水利委员会, 安徽 蚌埠 233000)

[摘要] 应用遗传算法的基本理论, 研究水利工程施工中的“时间—费用”优化问题, 并应用所设计的遗传算法“工期—费用”优化数学模型对淮准岗洪水控制工程项目施工进行优化, 以寻求工程工期和工程成本之间的均衡。应用结果表明, 遗传算法应用于水利工程施工进度控制优化问题分析具有一定的优越性。

[关键词] 遗传算法; 水利工程; 进度控制; 优化

[中图分类号] F407.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1003-9511(2006)04-0055-03

进度控制是项目的三大控制之一。在项目管理中, 科学、合理地安排进度计划, 控制好施工进度是保证项目工期、质量和成本三大要素的第一重要因素。网络计划是一种表达工程进度计划的方法; “时间—费用”优化问题是工程施工网络优化的问题之一。“时间—费用”优化问题, 就是在工程工期和工程成本之间寻求一种均衡, 使得在工期最短的时候费用最低, 或者在费用最低的情况下使得工期最短, 从而使两者之间达到最优的组合。对该优化问题的研究 Kelly, Meyer, Shaffer, Butcher 和 Talbot 是线性规划中动态规划方法的代表, 而 Fondahl 方法、Simense 模型以及 Moselhi 模型都是启发式搜索算法的典型代表。以上两种方法各有缺点, 前者通过求目标函数导数的零点或一系列迭代计算过程来求最优解, 对多峰问题, 这种方法容易陷入局部最优点附近, 且要求目标函数有较好的连续性或可微性。而启发式搜索算法却不能保证能够得到最优解, 在很大程度上依靠经验方法来得出问题的答案。本文应用遗传算法来解决水利工程施工中的“时间—费用”优化问题。

1 遗传算法简介

遗传算法是一种通过模拟生物进化过程自适应随机搜索最优解的方法。过去 20 多年中, 在解决复杂的全局优化问题方面, 遗传算法已取得了成功的应用, 并受到了人们广泛的关注。在优化问题中, 如果搜索空间不规则, 或者目标函数是多峰的, 就要求

所使用的算法必须具有高度的鲁棒性, 以避免在局部最优解附近徘徊。遗传算法的优点恰好是擅长全局搜索。遗传算法属于非确定性算法, 但不同于纯随机算法。遗传算法将随机搜索与方向性搜索结合在一起, 因此可以平衡优化搜索的两个相互矛盾的策略, 搜寻最优解与全局搜索^[1]。

2 遗传算法应用于“工期—费用”优化的数学模型

2.1 目标函数与约束条件

$$\min C_i = \sum C_i = \sum [\alpha_i T(i) + b_i] \quad (1)$$

$$\sum T(i) = T_i \quad (2)$$

$$\alpha_i = [C_n(i) - C_c(i)] / [T_n(i) - T_c(i)] \quad (3)$$

$$\text{st} \begin{cases} b_i = [C_c(i)T_n(i) - C_n(i)T_c(i)] / [T_n(i) - T_c(i)] \quad (4) \\ T_c(i) \leq T(i) \leq T_n(i) \quad (5) \end{cases}$$

式中: $i \in A$ 为在关键线路上有自由时差的分项工程; C_i 为总费用; T_i 为在工程中需要压缩的工期; $C_n(i)$ 为工序 i 正常费用; $C_c(i)$ 为工序 i 在最短时间内完成时的费用; $T_n(i)$ 为工序 i 在正常费用条件下完成工程的时间; $T_c(i)$ 为工序 i 在极限费用条件下完成工程所需要的最短时间; $T(i)$ 为工序 i 中间工期; C_i 为工序 i 中间费用^[2-5]。

对于目标函数, 是通过寻求压缩关键线路上的工期来满足工期要求, 同时使得工程费用最低。

2.2 遗传算法的计算过程设计

(1)染色体设计。把关键线路上的所有分项工程排成一列,形成一个染色体结构,用每个分项工程所能减少的工期作为一个基因,从而形成染色体串,对于不能压缩工期的分项工程,基因值用零来表示。但是基因值之和加起来应该等于要压缩的时间。也就是说应该满足目标函数中的式(2)。结构如图1所示。

压缩时间 A	压缩时间 B	...	压缩时间 i	...	压缩时间 n
--------	--------	-----	--------	-----	--------

图1 染色体结构示意图

(2)产生祖先。随机产生一组初始解(n 个),这几个初始解所构成的解集为原始群体。由于原始群体遍及整个解空间,因而能很好地反映搜索空间的性态,更能体现优化问题所描述的生态环境。母体数 N 是每一代个体的固定总数,也即初始解的个数。由于初始解的分布影响结果,而每一代的运算量影响总计算时间,所以 N 对结果和计算时间都有影响, N 越大所需的时间越多。但由于迭代终止的条件取决于母体总体的评价水平,故 N 的大小对迭代次数影响明显。

(3)选择方法。计算每个染色体的适应值,从中选出适应值较大的 n 个串,称这 n 个染色体的集合为一个匹配集,这个过程叫选择。选择的方法有多种,在此采用了转轮法。首先求出目前种群中所有数字串的适应值之和 f_s ,之后产生一个位于 0 和 f_s 之间的均匀分布的伪随机数 r ,并将满足下述条件的解群中第 m 个数字串加入匹配集。 f_i 为第 i 个数字串的适应值。重复此过程,直至匹配集中包含足够的数字串。数字串入选匹配集的概率是与其适应值大小成正比例的。

$$\sum_{i=1}^{m-1} f_i < r \text{ 和 } \sum_{i=1}^m f_i \geq r \quad (6)$$

(4)交叉、变异。定义一个交叉概率 P_s ,利用这个概率随机选择复制后的染色体进行交叉,产生后代。同样定义一个变异概率 P_m ,选择交叉后的染色体进行变异操作,完成一次进化。经过一定次数的进化就可得到最终结果。

(5)确定算法的终止条件。遗传算法的收敛条

表2 “工期—费用”优化结果

方 案	输 入 参 数				优化结果(最佳个体所在代数 \max_{gen} 及对应的变量值 X_1, \dots, X_8)								
	种群大小	交叉率	变异率	最大世代数	最佳个体所在代数 \max_{gen}	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
优化方案1	40	0.6	0.05	200	127	41 055	28 411	12 598	12 217	7 213	6 558	772	12 781
优化方案2	40	0.7	0.04	200	79	41 159	27 935	12 985	12 528	7 231	6 615	809	12 981
优化方案3	50	0.75	0.03	200	51	40 149	26 498	12 178	12 128	7 009	6 595	788	12 418

件采用在连续多少代解的适应值没有明显改进即终止。

3 应用示例

3.1 工程简介

淮河临淮岗洪水控制工程总投资为 22.7 亿元,其中主体工程投资 13.4 亿元。主体工程包括主坝工程(工程 1)、副坝工程及副坝穿坝建筑物(工程 2)、49 孔浅孔闸加固改造工程(工程 3)、姜唐湖进洪闸工程(工程 4)、新建 12 孔深孔闸工程(工程 5)、新建 500t 级船闸工程(工程 6)、城西湖船闸改建工程(工程 7)、上下游引河工程和公用工程(工程 8)等分项工程,各分项工程的工期和投资额如表 1 所示。由于工程周期长、耗资大、施工复杂,因此如何对工程施工进行统筹安排,实现各种资源的优化配置,使工程建设得以高效并保质保量地完成便成为该工程迫切需要解决的问题。为此,应用前面提出的遗传算法模型对淮河临淮岗洪水控制工程项目施工进行资源优化,即“工期—费用”优化。

表1 淮河临淮岗洪水控制工程建设分解

工程编号	工程名称	起止时间	持续时间/月	投资额/万元
1	主坝工程	第1年6月~第6年6月	60	42 348
2	副坝工程及副坝穿坝建筑物	第2年10月~第5年9月	36	29 352
3	49孔浅孔闸加固改造工程	第1年1月~第3年2月	36	12 378
4	姜唐湖进洪闸工程	第1年9月~第3年5月	21	13 128
5	新建12孔深孔闸工程	第1年10月~第3年2月	17	7 131
6	新建500t级船闸工程	第1年11月~第3年5月	19	6 685
7	城西湖船闸改建工程	第2年9月~第3年5月	9	779
8	上下游引河工程	第1年11月~第4年4月	34	13 381

注:工程 3、5、8 为率先开工工程;工程 4 必须在第四年汛期前竣工,工程 3、5、6、7 均须在第三年汛期前完工。

3.2 优化结果

依据输入参数选择原则和求解问题的实际情况,选出输入参数和方案,因篇幅限制本文给出 3 组参数和 3 个方案(表 2),优化比较图见图 2 所示。优

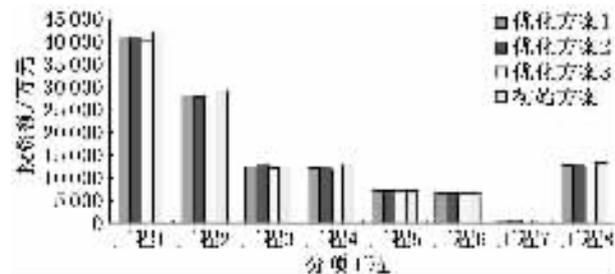


图2 “工期—费用”优化结果比较图

化结果反映出:优化方案1的总投资额为初始方案总投资额的97.1%;优化方案2的总投资额为初始方案总投资额的97.7%;优化方案3的总投资额为初始方案总投资额的94.1%。因此优化方案3为最优方案,选择该方案将在施工工期不变的情况下节省5.9%的投资,计7419万元,该方案下各个分项工程投资额及节省投资见表3。

表3 最优方案下各个分项工程投资额及节省投资

工程	投资额/万元	节省投资额/万元	节省投资所占比例/%
工程1	40149	2199	5.19
工程2	26498	2854	9.72
工程3	12178	200	1.62
工程4	12128	1000	7.62
工程5	7009	122	1.71
工程6	6595	90	1.35
工程7	788	-9	-1.16
工程8	12418	963	7.20

4 结 语

遗传算法是一种模拟生物进化的自适应随机搜索方法,由于它对问题本身的限制较少,对问题目标函数和约束条件既不要求可微也不要求连续,仅要求该问题是可计算的;同时,它的搜索始终遍及整个解空间,能找到近乎全局最优解,因而在网络计划优化方面具有广泛的应用价值。与其他的搜索算法相比,遗传算法的计算效率更有效,特别是对复杂的计划优化问题,克服了其他搜索算法计算过程复杂,对于工序繁多的大型工程,求解需要较长时间,而且计算结果是近似最优解,误差比较大等问题,将其应用于水利工程施工进度控制优化问题分析中具有一定的优越性。

[参考文献]

- [1] 李敏强. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 10-20.
- [2] 王首绪, 邵晓光, 周建民. 非数字并行算法对多种资源均衡优化研究[J]. 中国公路学报, 2001, 14(3): 121-126.
- [3] 王涛, 付宜利. 一种改进的遗传算法在车间调度中的应用[J]. 计算机集成制造系统, 2002, 8(5): 392-395.
- [4] 林志荣, 朱道. 网络计划中的资源均衡优化的研究[J]. 中国管理科学, 2000, 8(3): 39-43.
- [5] 张连营, 骆刚. 遗传算法在工程项目资源优化中的应用[J]. 天津大学学报, 2001, 34(2): 188-192.

(收稿日期 2005-12-07 编辑: 方宇彤)

(上接第 54 页) 求、政府对项目是不是支持、项目在当地社区能不能得到积极的回应; 围绕项目完成后有没有必要的维护政策和措施, 有没有必要的资金来进行维护, 有没有必要的人力资源来进行项目维护, 有没有必要的技术和后继项目来对所立项目进行项目维护, 有没有其他条件支持项目(例如补贴、税收、价格、政策法规等); 围绕项目对可再生资源 and 不可再生资源究竟发生什么样的影响进行细致的调查和审核, 以求弄清楚项目的成功建立能不能持续发挥有益的作用。

4 结 论

可以由专家和政府主管部门共同对前述 5 个方面的评估结论要求进行论证评判。在这些要求条件

中, 若原已有国家和地方标准的按原有的标准执行, 若原来没有标准并且暂时也难以制定的, 由主管部门先行根据一些发达国家现有标准或国际通用标准拟订一些临时规则代替标准, 待时机成熟后再制定相应的标准, 然后进行科学的、公正的、公开的评审。建议以加权打分的方式确定评判结果。论证打分的结果只要能够确认, 立项项目有切实可行的措施来保障项目的完成和实现立项目标, 项目既符合水利部当前的发展优先战略, 又符合国家和所在地区的发展优先战略, 就应当允许项目立项投入付诸实行。

[参考文献]

- [1] 国家计划委员会, 水利部. 水利产业政策[J]. 水利经济, 1998, 16(1): 1.

(收稿日期 2005-11-23 编辑: 梁志建)