

基于遗传算法的水电工程施工 “工期固定 资源均衡”优化研究

张智涌, 双学珍

(四川水利职业技术学院,四川 成都 611830)

摘要:水电工程施工具有影响因素多、约束条件多、工程量大、项目工艺复杂、周期长等特点,将先进的科学技术和项目管理理论引进水利水电工程建设和管理中是一个值得研究的领域,也是国际化的发展趋势。资源优化是项目管理的一部分,“工期固定 资源均衡”是资源优化的目标之一。与传统的优化方法相比,遗传算法在解决资源优化配置问题上有很多优点。首先,它能够大大减少计算的复杂度和计算量,尤其适用于大规模网络的计算;其次,能够与其他算法结合在一起使用;而且该算法比较适合通过计算机编程实现。因此,采用遗传算法解决水电工程施工资源优化问题也就应运而生。建立了“工期固定 资源均衡”遗传算法模型,并以某水电站项目为例,进行了工期固定、资源均衡优化计算,论证了所建模型的可行性。

关键词:遗传算法;工期固定;资源均衡;水电工程施工

中图分类号:TV7;TV52;TV2;TV5

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)06-0071-03

1 概述

水利水电工程项目管理中最常用的是网络计划技术。在网络计划中,资源作为工程实施的基本要素和必不可少的条件,是影响工程进度计划的主要因素。资源优化的失误往往会造成工程进度和投资目标失控。“工期固定 资源均衡”是资源优化的目标之一,即在工期一定的条件下,合理调整网络计划中的某些工序,实现资源的均衡利用。

在采用传统的优化方法解决大规模网络和多资源约束问题时,随着活动数目的增加,求解最优解的计算量将会急剧增加,而遗传算法的引入,则能很好地解决这个问题。

2 “工期固定 资源均衡”遗传算法模型的建立

2.1 问题描述

在此,笔者考虑的是一般的“工期固定 资源均衡”问题:

(1)假设网络计划中的每个工序活动是不可分割的,活动一旦开始就不能中断;

(2)假设每个工序只有一种执行模式;

(3)假设网络中的每项工序的工期均为常数,其所需资源的需要量和供应量在其工期内也是不变的常数。

目标函数以工期内每天资源需求量的标准差 σ_k 为目标函数,标准差越小,说明资源均衡程度

越好。

问题的数学描述如下:

$$\min RLI = \sum_{k=1}^m w_k \sigma_k \quad (1)$$

s. t.

$$t_i - ES_i \leq TF_i \quad (2)$$

$$t_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中 RLI 为资源均衡系数,表示资源均衡程度; σ_k 为第 k 种资源每天资源需求量的标准差; w_k 为第 k 种资源的权重; t_i 为作业 i 的开始时间; ES_i 为作业 i 的最早开始时间; TF_i 为作业 i 的总时差; m 为总资源数; n 为总作业数。

第 k 种资源平均每天的资源需求量 \bar{r} 为:

$$\bar{r} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n r_i d_i \quad (4)$$

工期内任何一种资源 k 在工期内资源消耗的标准差 σ_k 为:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{q=1}^T (r_{iq} - \bar{r})^2} \quad (5)$$

式中 d_i 为第 i 项作业的持续时间; r_i 为第 i 项作业每天的资源需求量; r_{iq} 为第 i 项作业第 q 天的资源需求量; T 为项目总工期。

2.2 遗传算法设计

2.2.1 染色体结构

基于遗传算法的资源优化主要是选择适应度

收稿日期:2016-06-06

最大的染色体作为父辈,交叉后产生子代。由于资源均衡问题的前提是工期固定,即网络计划的关键线路不变,关键线路上的工序开工时间均固定不变,所以,多种资源均衡优化的工作是将非关键线路上的某些工序的开工时间向后移动,同时使得多种资源的分布达到均衡分布。因此,将时标网络计划中的各项工作的开工时间 $TS(i)$ 作为染色体的基因,将非关键路线上的各个工序的实际开工时间排列的序列作为染色体串(表1)。

表1 染色体结构表

TS (0,1)	$TS(1,2)$	……	TS (i,j)	……	TS ($n-1,n$)
---------------	-----------	----	-------------------	----	---------------------

注:工序(0,1)(1,2)……(i,j)……($n-1,n$)为非关键工序。

2.2.2 初始化

在进行初始化之前,我们应当已经知道每个工作的最早开始时间,且个体的初始化是从右向左进行的,即从项目的结束工作向项目的开始工作进行。已知 ES_i 为工作 i 的最早开始时间, S_i 为工作 i 的紧后工作集合, d_i 为工作 i 的持续时间,则工作 i 的基因值(即开始时间 v_i)为:

$$v_i = ES_i + \text{random}(\min\{v_k | k \in S_i\} - ES_i - d_i) \quad (6)$$

由于整个过程是从右向左进行的,工作 i 紧后工作的开始时间 v_k 已经赋值,因此,式(6)不会产生非法计划安排。可以看出,这种方法完全避免了利用总时差对工作开始时间进行调整所带来的对该工作的后续工作总时差重新计算的问题。

2.2.3 编码设计

由于“工期固定资源均衡”的前提条件是关键线路的工序不变,所以,非关键工序的开工时间有较固定的取值范围,其编码方法如下所示:

$$TS(i,j) \in \text{RAN}[ES(i,j), LS(i,j)] \quad (7)$$

式中 $TS(i,j)$ 为工序(i,j)的实际开工时间(即染色体基因); $ES(i,j)$ 为工序(i,j)的最早开工时间; $LS(i,j)$ 为工序(i,j)的最迟开工时间; $\text{RAN}(a, b)$ 为在 a, b 之间以随机数方式取任意数。

2.2.4 遗传算子

由于工作的开始时间依赖于其后续工作的开始时间,而单纯的交叉操作后会产生非法个体,故在交叉之后需要对个体进行合法性检验,对不合理的个体进行调整。检验和调整的过程仍然按照从右向左的方向进行,检验公式如下:

$$v_i \leq \min\{v_k | k \in S_i\} - d_i \quad (8)$$

当基因值满足上述条件时该基因值合理,否则需要进行调整。调整方式依据公式(8)重新向该基因赋值。

变异的过程相对简单,对于一个给定的个体,随机选择一个基因位,然后对该基因值按照初始化的公式(8)重新赋值。

算子采用轮盘式的方法进行选择,并且采取保留父代最优个体的策略。

2.2.5 约束条件

为了使该算法能够顺利进行,笔者充分利用问题本身的启发式信息,将约束条件分为两种不同类型的约束:

(1)基本约束。直接来自环境向系统提供的实例,标志变量定义域范围的约束。

$$ES(i,j) \leq TS(i,j) \leq LS(i,j) \quad (9)$$

这是工序开工时间的选择范围,此项约束在种群的初始化中予以考虑。

(2)属性约束。定义在基本约束集上,反映变量间制约关系的约束。

由于在编码设计中,工序的实际开工时间在工序的总时差范围内取任意数,从而有可能使工序用完自己的自由时差而影响后续工序的最早开工时间,使网络的逻辑结构产生矛盾: $TF(k,i) < TS(i,j)$ 。因此,所产生的约束条件如下所示:

$$\max_k \{TS(k,i) + T(k,i)\} \leq TS(i,j) \quad (i,j) \in N \quad (10)$$

2.2.6 修复算子

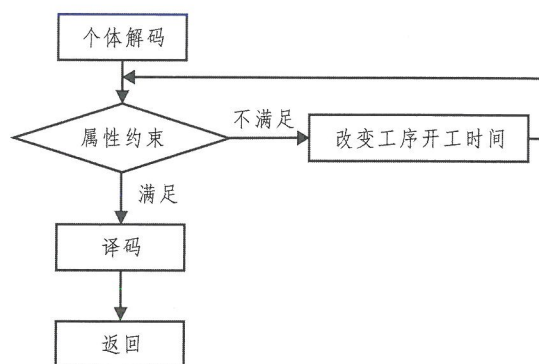


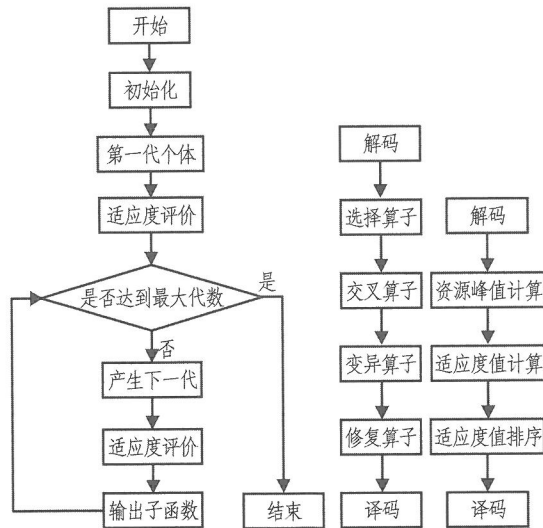
图1 修复算子流程图

从约束条件出发,设计编码范围并产生随机个体的种群进行遗传进化,然后对产生的子代个体进行筛选,对不满足属性约束的个体采用修复算子加以处理,从而能够保证种群中的个体都能

满足给定的约束条件。修复的目的是对变量进行一致性调整,使后面的变量服从前面的变量,以解决变量间的冲突,修复算子流程见图 1。

2.3 遗传算法流程

“工期固定 资源均衡”遗传算法流程见图 2。



(a)算法流程图;(b)产生下一代子函数;
(c)适应度评价函数

图 2 工期固定资源均衡遗传算法流程图

3 工程实例分析

某水电站项目总工期定为由“资源有限 工期最短”优化模型中得出的 87 个月。结合理论和实际优化分析,确定此遗传算法优化模型的交叉概率、变异概率、种群规模和最大进化代数分别为 0.7、0.1、100 和 2 000,各资源权重均取 1/4。利用所建遗传算法模型得出的优化结果见图 3。

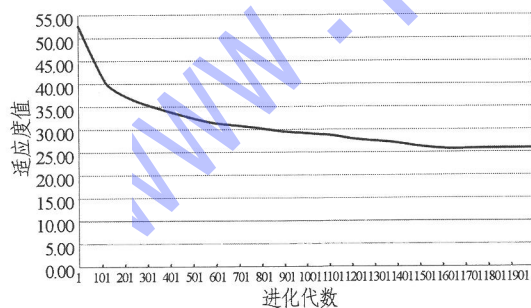


图 3 工期固定资源均衡遗传算法优化结果示意图

从图 3 中可以看出:第一代个体适应度值最大,其值为 52.356 2,当进化到 1 605 代时,适应度值达到最小,其值为 25.775 4,并且到 2000 代时适应值始终保持为 25.775 4。我们还可以看出:遗传算法在优化过程中,刚开始时函数值下降

的较快,代数越高、优化的速度越慢,最终达到全局收敛。继续增加优化代数,其结果仍不会改变(笔者曾试着计算过 3000 代和 5000 代,其优化结果不变),从而说明此时已达到优化的全局最优解。

采用优化程序计算出的月土石方明挖量的均衡结果见图 4。

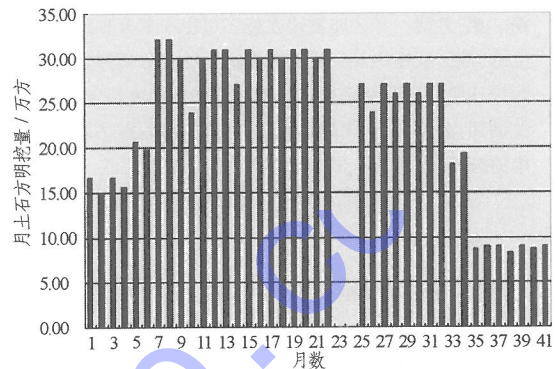


图 4 月土石方明挖量遗传算法资源均衡结果图

4 结语

(1)笔者针对传统算法在多种资源优化中应用的不足,建立了“工期固定 资源均衡”的遗传算法优化模型,解决了多种资源在网络计划优化时的竞争问题,取得了较好效果,促进了 GA 理论与应用研究。

(2)遗传算法在“工期固定 资源均衡”优化中的成功运用,充分证明了其在水利水电工程资源优化中的应用具有广阔的前景。

参考文献:

- [1] 玄光男,程润伟. 遗传算法与工程设计[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [2] 田 军,寇纪淞,李敏强. 利用遗传算法优化施工网络计划[J]. 系统工程理论与实践,1999,14(5):78-82.
- [3] 仲景冰. “工期固定,资源均衡”优化的动态规划法[J]. 武汉城市建设学院学报,2000,17(2):6-10.
- [4] Chung-Wei Feng, Liang Liu, and Scot A. Burns. Using Genetic Algorithms to Solve Construction Time - Cost Trade - Off Problems[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 1997, 11(3): 184-189.
- [5] 张连营,骆 刚,鹿丽宁. 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.

作者简介:

张智涌(1964-),男,重庆彭水人,副教授、高级工程师,从事水利水电工程设计与施工管理教学及科研工作;
双学珍(1982-),女,山西交城人,副教授,工程师,硕士,从事水利水电工程设计与施工管理教学及科研工作。

(责任编辑:李燕辉)