

工程项目资源均衡的遗传算法及其 MATLAB 实现

张连营, 张金平, 王 亮

(天津大学管理学院, 天津 300072)

摘要: 本文采用基于生物进化理论的遗传算法进行工程项目的资源均衡研究, 克服了传统资源平衡算法的不足, 并利用 MATLAB 语言进行编程实现, 根据目标函数的具体要求, 有效解出单资源和多资源平衡问题的最优解, 同时得到每项作业的最优开始时间, 通过实例分析, 验证了算法的有效性和可靠性, 取得了良好的效果。

关键词: 资源平衡; 遗传算法; MATLAB; 网络计划技术

中图分类号: F224.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-6062(2004)01-0052-04

工程项目资源平衡问题有单资源平衡和多资源平衡之分。传统的解决资源平衡问题有关键路径法(CPM)、分析法、启发式算法等。关键路径法在对单个项目进行进度管理方面广为应用。它用网络图来表达工程进度, 计算各项作业的有关时间参数, 使管理者对全局有一个比较完整清晰地了解, 并通过网络分析制定日程计划, 求得完工期、资源和成本的优化方案。但对于有多个目标、并且需要分解成若干个子项目的大型工程项目, 用传统的网络计划方法进行计划安排, 在思路和实际操作上都不够清晰。分析法的主要缺点是不能有效解决大型而又复杂的问题。实际应用中, 启发式算法比分析法用得相对多一些。启发式算法较多的依赖于问题的构造和对问题性质的认识和经验, 由于网络工作结构和资源的多样性, 还没有哪种启发式方法能用于解决所有的资源平衡问题。另外, 启发式算法适用于解决不太复杂的问题, 而且它的解并不一定最优^[1-6]。遗传算法是一种借鉴生物界自然选择和进化发展起来的高度并行、随机、自适应搜索算法。本文将遗传算法引入资源平衡问题求解, 基于遗传算法的资源平衡模型利用其强大的搜索功能, 能合理安排非关键路径上作业的开始时间, 调整各项工作资源的使用次序, 使资源分配动态曲线的高峰尽可能降低, 达到资源消耗均衡状态。对于解决单资源平衡和多资源平衡效果都很好。本文自行设计遗传算法操作及过程, 通过 MATLAB 进行编程实现, 并选取参考文献[3]中算例进行计算, 证明了遗传算法的有效性, 而且本文多资源优化结果还优于参考文献的计算结果, 从而证明了本文设计的遗传算法有效性。

1 资源平衡的数学模型

资源平衡优化中, 目标函数可以定义为多种形式, 本文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:

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

约束条件: $t_i - ES_i \leq TF_i$,

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

RLI: 资源平衡系数, 表示资源平衡程度;

σ_k : 工期内第 k 种资源每天资源需求量的标准差;

w_k : 第 k 种资源的权重;

t_i : 作业 i 的开始时间;

ES_i : 作业 i 的最早开始时间;

TF_i : 作业 i 的总时差;

m : 总资源数;

n : 总作业数;

第 k 种资源平均每天的资源需求量为:

$$r = \frac{1}{T} \sum_{all} (r_i d_i) \quad (3)$$

工期内任何一种资源 k 在工期内资源消耗的标准差为:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{q=1}^T (r_{iq} - r)^2} \quad (4)$$

d_i : 第 i 项作业的持续时间;

r_i : 第 i 项作业每天的资源需求量;

r_{iq} : 第 i 项作业第 q 天的资源需求量;

T : 项目总工期。

2 资源平衡数学模型的遗传算法实现

遗传算法的编码形式对算法的搜索能力和种群多样性等性能有着重要影响^[7]。本文针对所研究问题的特点, 在算法的实现中染色体采用实数编码, 其中的每一个数字代表一项作业的可能开始时间。适应性函数采用一足够大的整数

收稿日期: 2002-07-08 修回日期: 2002-10-15

作者简介: 张连营(1965—), 男, 河北景县人, 天津大学管理学院副教授, 博士, 主要从事项目管理相关问题的研究。

减去目标函数值,将资源平衡问题转化为极大化问题。遗传操作采用部分离散交叉和均匀变异。均匀变异是在规定的范围内用一个随机选择的实数代替一个基因(实数)。假如要变异的染色体为 $A=[a_1,a_2,a_3,\cdots,a_n]$,随机选择的实数 $k\in[1,n]$ 的选取取决于事先规定的变异概率,产生子代 $A'=[a_1,a_2,a_3,\cdots,d_k,\cdots,a_n]$, d_k 的值受 a_k 的最高、最低值的限制。本文中事先规定的变异范围介于每项作业的最早开始时间和最迟开始时间之间。

3 单资源平衡实例

单资源优化算例是一个有 13 项作业的 CPM 网络图,摘自参考文献[3],如图 1。每项作业有一个固定的资源需求量。表 1 列出了各项作业的持续时间、结束时间和时差。

表 1 图 5 每项作业的持续/结束时间和时差

作业	持续时间	ES	EF	LS	LF	TF
1 A	3	0	3	0	3	0
2 B	3	3	6	13	16	10
3 C	8	3	11	3	11	0
4 D	2	3	5	13	15	10
5 E	2	5	7	15	17	10
6 F	5	11	16	11	16	0
7 G	2	11	13	15	17	4
8 H	3	3	9	16	19	10
9 I	3	3	19	16	19	0
10 J	2	2	13	15	17	4
11 K	2	2	21	19	21	0
12 L	4	4	7	15	19	12
13 M	6	6	9	13	19	10

资源平衡之前每天资源需求量见图 2 从图中可以看到,资源平衡之前目标函数值 $\sigma=15.7077$,一天中最多消耗资源 54 个单位,最少消耗 10 个单位,落差达 45 个单位。资源平之后每天资源需求量见图 3。此次运算中,初始种群为 500 个,进化代数 500 代,计算结果 $\sigma=4.3397$,比平衡前的 15.7077 优化了很多。平衡后每天资源最大需求量不足 30 个单位。由于本文资源平衡假设作业不能拆分、作业持续时间和逻辑关系固定,作业每天资源需求量固定以及每项作业最早/最迟开始时间的限制,标准差不可能达到理想中的 0,只能是有限度的接近于 0。图 5 显示了染色体进化过程中适应值的变化。可以看出,300 代之后,适应值趋于稳定,染色体的最优值也趋于稳定。最终的计算结果是各项作业的最优开始时间分别为 $[1,7,4,4,12,12,14,14,17,16,20,18,6]$,目标函数值也就是标准差为 $\sigma=4.3397$ 。算例出处也对该网络图进行了资源平衡,但未给出直接的计算结果,只有图示,见图 4。图 4 中,虚线表示的是用启发式算法计算的资源平衡结果,实线是用遗传算法开发的一个系统计算的资源平衡结果,它的目标函数不是每天资源需求量的标准差,但横

标也表示工作日,纵坐标表示每天资源需求量。从图 4 可以直观的看到遗传算法比启发式算法计算结果更优化。图 3 和图 4 纵坐标的比例不同,从纵坐标对应的数据看,图 3 与图 4 粗线的起伏趋势和每天的峰值很接近,说明用本文算的优化计算结果与文献[3]的资源优化水平相当。

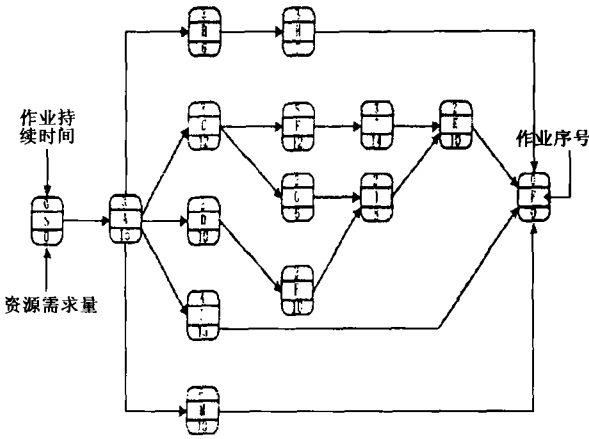


图 1 单资源平衡算例

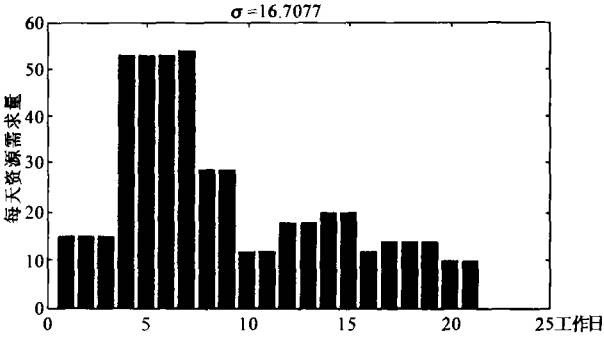


图 2 资源平衡之前每天资源需求

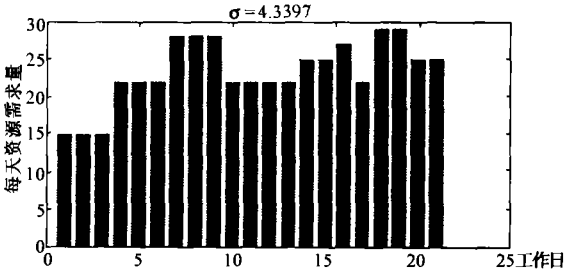


图 3 资源平衡后每天资源需求

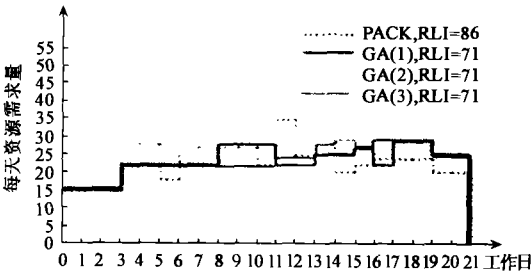


图 4 参考文献[3]的计算结果

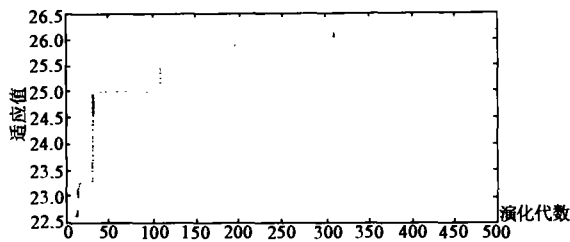


图 5 染色体的进化趋势

4 多资源平衡实例

上面遗传算法的计算以单资源平衡为目标。但实际工作中,现场及项目管理中要用到多种资源,需要进行多种资源间的平衡。理论上讲,用遗传算法解决多资源的平衡问题有更大的灵活性。在解决大型复杂的问题时,遗传算法的搜索更灵活,范围更广泛,能得出合理的最优解。

多资源平衡算例是一个有 9 项作业的 CPM 网络图^[3],图 6 给出了网络图的搭接关系和各项作业的资源需求量。每项作业有 3 个固定的资源要求,各自的开始时间、结束时间和时差如表 2 所示。图 7 和图 8 分别是资源平衡前后每天资源需求量的直方图。假设各资源权重相同,则平衡前标准差为 8.6927,每天最大资源需求为 40 个单位,平衡后标准差为 6.9714,每天最大资源需求降到 30 个单位。显然多资源平衡由于限制条件多,情况更加复杂,平衡效果远不及单资源平衡。文献[3]中仅画了一个横道图,每天最大资源需求量是 32 个单位,本文资源平衡后每天最大资源需求为 30 个单位,说明按本文方法进行的资源平衡效果更好。图 9 是染色体的进化趋势。由于初始种群取 1000,比较大,因此染色体收敛比较快,在 100 多代之后就达到了最优值。

表 2 图 5 每项作业的开始/结束时间和时差

作业	持续时间	ES	EF	LS	LF	LF
1 A	5	0	5	0	5	0
2 B	9	5	14	16	25	11
3 C	13	20	33	25	38	5
4 D	15	5	20	9	24	4
5 E	14	24	38	24	38	0
6 F	19	5	24	5	24	0
7 G	14	24	38	32	46	8
8 H	8	38	46	38	46	0
9 I	9	46	55	46	55	0

5 MATLAB 编程

1)MATLAB 是以矩阵计算见长的语言,在用 MATLAB 编程时要先将运算过程用矩阵运算的形式表达出来,尤其当所求解含有不止一个变量时。本文中,染色体表示各项作业的开始时间,是一个向量,最终需要表达的是每天资源需求量。因此需要通过矩阵变换,利用各种已知条件如作业间的逻辑关系、每项作业的持续时间、资源需求量等和 MATLAB 基本

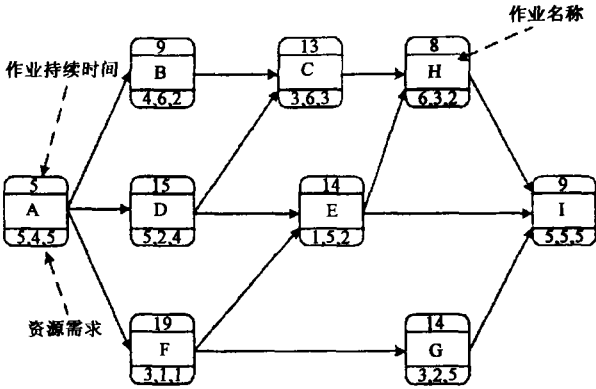


图 6 多资源平衡算例

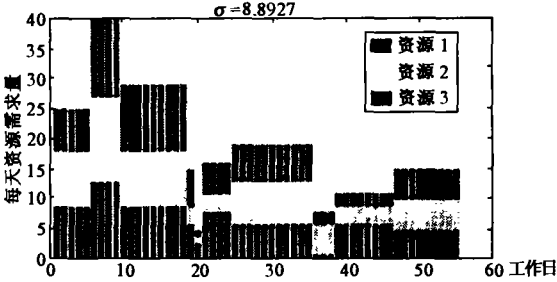


图 7 资源平衡前每天资源需求

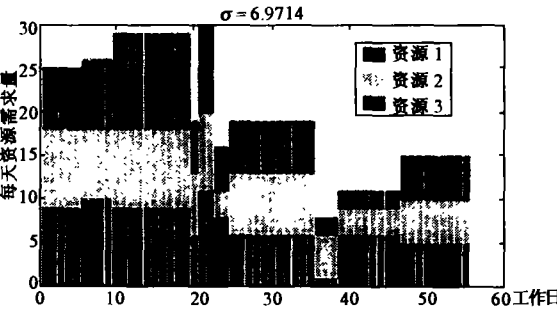


图 8 资源平衡后每天资源需求

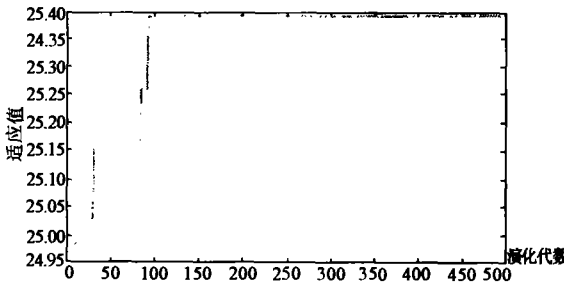


图 9 染色体的进化趋势

命令建立一个能表示每项作业每天资源需求的矩阵,然后求出每天资源需求量,画出相应图示。

2)在 MATLAB 中,一般数据的存储与运算都是以双精度进行的,它不像 C 语言,需要在程序的开始部分定义变量的类型与精度,整数类型如 int8、unit8、int16、unit16、int32、uint32 等主要用于高效内存存储,仅能进行一些基本操作,像下标和改变类型等,不能进行任何数学运算。这给资源平衡问题遗传算法的 MATLAB 编程实现带来一定困难,因为在施工过

程中,无法让一项作业在一天中的某个时点必须开始,也就是说,作业的开始时间必须是整数。由于本文所设计的遗传算法的源程序、可以调用的交叉、变异函数等都是按双精度运算编写的,这种情况下,只能在适应值函数中将经过适应值函数的染色体四舍五入取整,再将用于以后计算的数据单独取出。但是这种操作会在一定程度上抹煞遗传算法自身交叉、变异的功劳,使算法的搜索能力略有下降,为了克服这一不足,本文通过采取将算法的交叉、变异概率适当加大的措施,收到了较好效果。

3)通常计算资源平衡的软件如 P3, Microsoft Project 等都是将项目各项作业的约束输入,运行相应命令,即可得到资源平衡后的结果。编译好适应值函数的遗传算法也是如此,只需将作业的最早开始时间、最迟开始时间和选用的交叉、变异函数名称,交叉、变异参数,适应值函数等输入,即可得到想要的结果。本文中,染色体的每个基因代表的是每项作业的可能开始时间,因此关键路径上作业的开始时间是固定的,资源平衡的进行只是在一定范围内调整非关键路径上作业的开始时间,对关键路径没有任何影响。但是遗传算法的交叉、变异点是随机产生的,如果交叉或变异点随机产生在关键路径上,则交叉或变异前后父子个体的基因没有变化,无形中使遗传算法作了无用功,降低它的搜索能力,于是可以考虑将关键路径上的作业取出,只通过遗传算法计算非关键路径上的作业,这样可以充分利用算法的广泛搜索能力,算法改变后比改变前演化代数明显减少,而且易于避免局部最优。

6 结束语

本文运用遗传算法克服了传统资源平衡算法的缺陷,解决了单资源和多资源平衡问题,经过多次运算,本文的计算结果已经比较优化。但是本文的数学模型是有一定的假设前提的,其中重要的一条假设是网络中的作业不能分割,这就显得不像实际操作那么灵活,实际项目中,非关键路径上的非关键作业是可以分割,在不同的时段,以不同的速率进

行的,这在一定程度上限制了资源平衡的更加优化,而 Project 2000 在进行资源平衡时是允许分割非关键路径上的作业的,从这个角度讲,本文的算法还可以做进一步优化,以更加符合工程实际。

在反复研究与运算过程中,也发现了遗传算法的一个缺点,它的进化速度较慢,对于本文研究的资源均衡问题来说,如果初始种群是 500 个,进化代数为 1000 代,那么在 PⅢ 700, 64M 内存的计算机中至少要运行 2 分钟,但从最后的计算结果可以看出,大约在进化到 300 代左右计算已经收敛。当然,遗传算法的许多优点也是不容忽视的,如果能将遗传算法做适当改进,或与能提高计算速度的其它算法结合,将有助于遗传算法的发展及其工程应用。总之,基于进化思想的遗传算法都给我们提供了思考、解决问题的崭新空间和途径,它在工程项目资源平衡中的成功运用充分证明了在这一领域具有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- [1] 孙艳丰,王众托.遗传算法在优化问题中的应用进展研究[J].控制与决策,1996(4):425~431.
- [2] 马兴义. Matlab 6 应用开发指南[M].北京:机械工业出版社,2002:35~43.
- [3] Sou-Sen Leu, Chung-Huei Yang, Jiun-Ching Huang. Resource leveling in construction by genetic algorithm-based optimization and in decision support system application[J]. Automation in Construction, 2000(10): 27~41.
- [4] Weng-Tat Chan, David K. H. Chua, Govindan Kannan. Construction resource scheduling with genetic algorithms[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1996(6):125~131.
- [5] Sou-Sen Leu, Chung-Huei Yang. GA-based multi-criteria optimal model for construction scheduling[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1999(11):420~427.
- [6] Tarek Hegazy. Optimization of resource allocation and leveling using genetic algorithms [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1999(6):167~175.

Genetic Algorithms Based on MATLAB of Construction Project Resource Leveling

ZHANG Lian-ying, ZHANG Jin-ping, WANG Liang

(Management School, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In this paper, Genetic algorithms (GAs), which is based on biological evolution theory, is employed to solve resource leveling problem in project management. It overcomes drawbacks of traditional resource leveling algorithms. MATLAB is used in programming to get optimal answers to single resource leveling and multiple resources leveling questions according to specific objective function, at the same time, the starting dates of activities are also acquired. GAs is proved to be efficient and reliable through real example calculation, which achieves good results.

Key words: resource leveling; genetic algorithms; MATLAB; network scheduling technique

责任编辑: 许冠南