

资源约束多模式项目调度的遗传算法研究

黄少荣

(广东司法警官职业学院 信息管理系, 广东 广州 510520)

摘 要: 针对以工期最短为优化目标的多模式资源约束优化调度问题进行研究, 在建立数学模型基础上, 采用改进遗传算法对模型进行求解. 算法设计上, 对各活动的执行模式进行统一编号, 使模式的内部编号包含了时序约束、资源约束、工期等信息, 针对活动执行模式采用特殊的整数编码方式, 染色体基因由活动执行模式序号组成. 对染色体结构设计了单点交叉和单点变异操作算子, 采用锦标赛选择方法. 通过实例验证了改进遗传算法在求解 MMRCPS 上的有效性.

关键词: 资源约束; 多模式; 项目调度; 遗传算法

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)09-0165-04

Study on Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling Problem Based on Genetic Algorithm

HUANG Shao-rong

(Department of Information Management, Guangdong Justice Police Vocational College, Guangzhou 510520, China)

Abstract: To improve the Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling Problem (MMRCPS), based on constructed the mathematical model of MMRCPS, a new genetic algorithm is proposed. The objective is to determine a mode and a start time for each activity such that all constraints are observed and the project duration is minimized. A special integer coding scheme is used in the algorithm, each gene represents the execution mode and the start time of an activity. By designing appropriate genetic operators, the proposed genetic algorithm is effective to solve this problem. The experimental result indicated the effectiveness of the algorithm.

Key words: resource-constrained; multi-mode; project scheduling; genetic algorithm

1 引言

多模式资源约束项目调度问题(Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling Problem, MMRCPS)是研究在工程项目活动网络图的基础上, 满足资源和活动时序等约束来安排各活动的执行模式和开始时间, 以使项目工期最短的调度方法, 其实质是寻求各个活动执行模式和开工时间的最佳组合. 相对于单模式调度问题^[1], 在资源约束条件下, 为每个活动选配不同执行模式将大大地扩展解空间, 是典型的 NP-难问题.

遗传算法是一种基于自然选择和遗传机制的随

机搜索算法, 算法内在的并行性使它适合大规模的运算, 可以有效对复杂系统进行模拟和优化, 已经在大量组合优化问题中取得成功. 文中在对遗传算法提供的通用框架上加以改进, 使其能应用于解决大规模的 MMRCPS.

2 资源约束多模式项目调度模型

典型的多模式资源约束项目调度问题(MMRCPS)表述为^[2]: 给定一个项目, 包含 M 个事件, N 个活动, 由于技术上的要求, 某些事件之间存在着时序约束, 记 $P(j)$ 为事件 j 的紧前(直接前趋)事件的集合, $S(j)$ 为事件 j 的直接后继事件的集

收稿日期: 2011-01-13; 修回日期: 2011-02-05

基金项目: 广东省自然科学基金项目(101754539192000000)

合, 整个项目结构用一张 AOA(activity-on-arrow) 有向活动网络图表示, 如图 1 所示. 图中节点代表事件, 箭线代表活动, 其方向代表时序关系. 从事件 i 到事件 j 的一项活动记为 (i, j) , SA_t 为时期 t 时正在进行的活动集合.

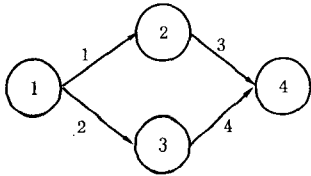


图 1 AOA 活动网络图例子

事件和活动按顺序编号, 保证 $P(j)$ 中的编号小于 $S(j)$. 事件 0 和 $M+1$ 是虚事件 (不消耗资源且执行时间为 0), 代表整个项目的开始和结束.

由于施工环境不确定性因素影响, 每个活动有多种执行模式, 每种执行模式对应不同的工期和资源需求. 活动必须选择 k 种执行模式 ($k = 1, 2, 3, \dots$) 之一来执行, 而且执行过程不可中断或更改执行模式, (d_{ij}^k, r_{ijv}^k) 表示活动 (i, j) 的执行模式集合, r_{ijv}^k 为活动 (i, j) 用模式 k 执行时单位工期所需资源 v 的数量, d_{ij}^k 为工期. 所有活动共享 V 种可更新资源, 其中第 v 种资源的供应量为 R_v .

调度的目标是在满足资源约束和时序约束前提下, 通过确定合理的活动执行顺序、相应的执行模式以及活动的开始时间, 使项目的工期最短.

其数学模型如下:

$$\min f(x) = F_{n+1} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{(i,j) \in SA_t} \sum_{k=1}^{K_{ij}} r_{ijv}^k X_{ij}^k \leq R_v \quad (2)$$

$$(v = 1, 2, \dots, V; t = 1, 2, \dots, T_N)$$

$$\sum_{k=1}^{K_{ij}} X_{ij}^k = 1, \quad (i, j) \in A \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{t=ET_{ij} \\ i \in P(j)}} t Y_{ijv}^t \leq \sum_{\substack{t=ET_{jl} \\ l \in S(j)}} (t Y_{jl}^t - \sum_{k=1}^{K_{jl}} d_{jl}^k X_{jl}^k) \quad (4)$$

$$(j = 1, 2, \dots, N)$$

$$\sum_{t=ET_{ij}}^{LT_{ij}} Y_{ij}^t = 1 \quad (5)$$

(1) 式为目标函数, 表示项目工期最短.

F_{n+1} 为结束事件 ($M+1$) 对应的唯一活动 ($N+1$) 的最早开始时间.

(2) 式表示资源约束, 即单位工期内所有活动对某种资源的消耗量不能超出其供应量.

(3) 式表示活动仅能用一种模式执行 ($X_{ij}^k = 1$

时, 活动以模式 k 执行, 否则为 0).

(4) 式表示时序约束, 项目中任一活动必须在其所有紧前活动结束之后才能开工.

$[ET_{ij}, LT_{ij}]$: 活动 (i, j) 的结束时间窗, 即活动限定在此时间窗内的某个时点被完成.

(5) 式定义了活动的时间窗约束 ($Y_{ij}^t = 1$, 则活动 (i, j) 在时间窗 $[ET_{ij}, LT_{ij}]$ 中的一个时点 t 上被完成, 否则为 0).

3 基于 MMRCPS 的遗传算法实现

3.1 编码与解码

MMRCPS 的求解是在时序约束下安排各项活动的开工优先权, 然后在资源约束下按不同执行模式安排各个活动的开工时间, 从而得到项目总工期. 由于各个活动选择的执行模式不同, 对应的工期也可能不同, 所以最后要找到不同执行模式下对应的最短工期.

由于执行模式是模型的主要决策变量, 文中对解决该问题的传统遗传算法多维编码方案作了改进^[3], 针对活动执行模式采用特殊的编码方式, 使模式的内部编码包含了优先约束、资源约束、工期等信息. 活动的编码采用自然数 ($0 \sim N+1$) 表示: 第 1 个活动的 k 种执行模式用 $1-k$ 表示; 第 2 个活动的第 1 种执行模式用 $k+1$ 表示, 第 2 种用 $k+2$ 表示, $\dots$; 第 n 个活动的第 k 种执行模式用 nk 表示.

长度为 $N+2$ 的整数序列编码 $S = (s_0, s_1, \dots, s_{N+1})$ 表示问题的一个解, 即一个可行调度. 其中, s_n 对应第 n 个活动的一种执行模式 ($n = 1, 2, \dots, N$), $s_0 = 0$ 和 $s_{N+1} = nk + 1$ 分别代表项目的开始和结束.

3.2 初始种群生成

随机地为各活动选定一种执行模式, 保证选定的执行模式满足资源约束条件, 然后基于优先规则生成满足时序约束的工作链表. 重复此过程, 生成初始种群.

Step1: 确定活动的实施模式和优先级.

Step2: 在未分配资源的活动中选择没有紧前活动或其紧前活动都已经分配资源的活动, 将其所有执行模式组成候选集合, 如果候选集合为空, 则转 Step4;

Step3: 从候选集合中随机选择一个候选模式, 为其安排开始的时间; 其最早开始的时间为其所有紧前活动中最晚结束的时间, 如果在其持续的时段内所剩的资源不能满足该活动, 则改变该活动的实施模式或者将其开始时间后移, 直到满足资源约束

条件. 同时,在候选集合中删除与所选模式同属同一活动的其它模式. 转 Step2;

Step4:结束.

3.3 目标函数计算

由于为每个活动模式安排开工时间时,其最早开始的时间为其所有紧前活动中最晚结束的时间,故对应于结束事件($M+1$)的唯一虚拟活动 s_{N+1} 的开始时间 T_{N+1} 即为整个项目的工期,工期越短,调度越优.

3.4 遗传操作

3.4.1 选择操作

采用锦标赛竞争选择,随机地从种群中挑选 c 个个体,选择具有最优适应度值的个体进入子代.

3.4.2 交叉操作

采用单点交叉方法,即选定父代染色体的某个位置作为交叉点,保留父代 1 的交叉点前的基因不变,然后在父代 2 中删除父代 1 交叉点之前基因相同的基因,将父代 2 剩下的基因顺序不变加入父代 1 中,便得到第一个子代. 交换两个父代的位置进行上述操作即可得到第二个子代. 由于在交叉过程中没有改变各基因在父代染色体中的相对位置,因此得到的子代染色体仍对应可行解.

3.4.3 变异操作

采用单点变异,即按一定变异率随机改变染色体中某个基因,把项目中某个活动的执行模式随机改为另一种模式,根据新执行模式再按染色体生成方式生成该模式后面的活动执行模式,以生成一条新的染色体.

3.4.4 最优保存

从每一代种群中保存具有最优适应值的染色体,如果父代的最优染色体对应的项目工期低于子代的最优染色体,则以父代染色体替换子代的最差染色体.

经过上述遗传操作,产生子代群体的过程概括如下^[4]:

- ① 复制 G_1 个最好解作为后代;
- ② 通过交叉操作产生 G_2 个后代;
- ③ 通过变异操作产生 G_3 个后代;
- ④ 生成 G_4 个新的个体作为后代. 这样便产生了总数为 $G = G_1 + G_2 + G_3 + G_4$ 的新一代群体.

4 算例分析

为了验证本算法的有效性,设计了一个项目实例,项目的活动网络图如图 2 所示.

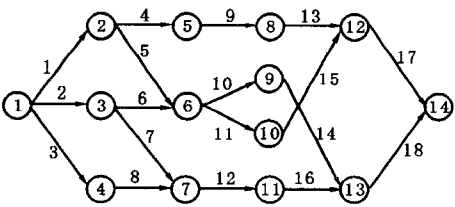


图 2 项目活动网络图

该项目包含 14 个事件 17 个活动,每个活动有两种可执行模式: n —常规模式, c —通过增加资源缩短工期的压缩模式),活动用到两种可更新资源的 R_1 和 R_2 ,单位工期限量为 12 和 10,项目的具体参数如表 1 所示.

表 1 项目参数

活动编号 (i, j)	模式编号 k	工期(天) d_{ij}^k	资源强度 r_{ijv}^k
1(1,2)	n	4	3,2
	c	3	3,4
2(1,3)	n	5	2,3
	c	4	3,4
3(1,4)	n	6	3,2
	c	4	4,4
4(2,5)	n	3	2,3
	c	2	3,4
5(2,6)	n	5	3,2
	c	4	5,4
6(3,6)	n	5	2,3
	c	3	3,4
7(3,7)	n	4	2,3
	c	3	3,4
8(4,7)	n	4	3,2
	c	3	5,4
9(5,8)	n	6	3,2
	c	4	3,3
10(6,9)	n	6	2,3
	c	4	3,4
11(6,10)	n	8	3,2
	c	7	2,4
12(7,11)	n	8	2,3
	c	7	2,4
13(8,12)	n	2	2,3
	c	3	4,4
14(9,10)	n	2	3,2
	c	3	4,4
15(10,12)	n	6	3,2
	c	5	3,4
16(11,13)	n	6	2,3
	c	5	3,4
17(12,14)	n	6	3,2
	c	5	4,4
18(13,14)	n	6	2,3
	c	5	3,4

利用文中提出的遗传算法对上述模式进行求解,根据实际问题,考虑运行时间,经测试后对算法参数设置如下:

种群规模为 50,最大进化代数 200,交叉率 $P_x = 0.7$,变异率 $P_m = 0.2$,算法运行结果为:项目最短工期 27 天,最佳调度方案如表 2 所示.

表 2 调度方案

活动顺序
1-2-3-8-5-4-7-6-9-12-11-13-15-10-16-14-17-18
执行模式
$n-c-c-c-n-c-c-c-c-n-c-n-n-c-c-n-c-c$
开工日期
1-1-1-5-5-5-7-8-10-10-11-14-17-17-18-21-23-23

上述实例中在不同资源约束条件下最优调度的工期如表 3 所示.

表 3 不同资源约束下的工期

R_1 和 R_2 的单位工期限量	工期(天)
(16,14)	24
(14,12)	25
(10,8)	31
(8,6)	45
(6,4)	63

结果分析:

(1) 遗传算法在 MRCPSp 优化上的有效性:遗传算法具有很强的全局搜索能力,能很好地求解 MRCPSp,确定各个活动的执行模式和开工时间,对项目做出合理的调度,特别是对于较大规模的算例,也能得到满意的结果.

(2) 遗传算法在 MRCPSp 优化上的高效性:相对于其它算法求解时间长,效果不理想的缺点,遗传算法能在较短时间内得到满意调度,并且,在工期最短的优化目标下,考虑资源均衡,减少成本,提高收益.

(3) 由表 3 可以得出:资源约束型项目调度问题中,资源是影响工期的主要因素.单位工期可用资

源越多,同一时间能安排执行的活动越多,活动也越多地采用以增加资源减少工期的压缩模式来执行,相应地,整个项目工期就越短.

5 结束语

文中针对以工期最短为优化目标的 MMRCPSp,采用改进遗传算法对模型进行求解.在算法设计上,针对活动执行模式采用特殊的编码方式,基因由活动执行模式序号组成,模式的内部编码包含了优先约束、资源约束、工期等信息;每个活动的紧前活动必须排列在该活动之前,无前行后继关系的活动则随机排列;结束事件对应的虚拟活动最早开始时间对应整个项目工期;针对染色体结构设计了单点交叉和单点变异操作算子,采用锦标赛选择方法.最后通过实例验证了改进遗传算法在求解 MMRCPSp 上的有效性.

随着现代工程项目规模的不断扩大,实现难度越来越高,对各项资源的需求量也越来越大,要对项目做出合理的调度显得越来越复杂,合理的调度是缩短工期、降低成本、提高质量的保证.从多项目、项目拆分、活动赶工、资源均衡、不同评估角度、不同优化目标、求解算法等方面对项目计划与调度优化进行深入研究,具有重大理论价值和实践意义.

参考文献:

- [1] 马云锋. 资源约束条件下多模式项目调度问题研究[J]. 雁北师范学院学报, 2005, 21(6): 105-107.
- [2] 周绍磊, 郝东, 张玉彤. 基于遗传算法的资源有限工期最短优化[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(8): 314-318.
- [3] 王为新, 李原, 张开富. 基于遗传算法的多模式约束项目调度问题研究[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(1): 72-74.
- [4] 刘士新. 项目优化调度理论与方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

作者简介:

黄少荣 女, (1976-), 副教授. 研究方向为智能算法.