

含风险时差的工序可间断多资源均衡分析

郭海滨¹, 张立峰²

GUO Hai-bin¹, ZHANG Li-feng²

1. 青岛理工大学 管理学院, 山东 青岛 266520

2. 青建集团股份公司, 山东 青岛 266071

1. School of Management, Qingdao University of Technology, Qingdao, Shandong 266520, China

2. Qingjian Group Co.Ltd., Qingdao, Shandong 266071, China

E-mail: Haibin.Guo.cn@gmail.com

GUO Hai-bin, ZHANG Li-feng. Analysis of multi-resource leveling problem with activity break and risk float time. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(33): 222-226.

Abstract: A kind of resource leveling model allowing activity break is presented before. This model is improved now by introducing the multi-resource condition and a new kind of concept named risk float time. The improved model can reserve specified values of float time for selected activities of a project when the multi-resource leveling problem is calculated. Thus the increase of duration risk possibly caused by the excessive use of float time can be avoided. The validity of the improved model is verified with the help of genetic algorithm.

Key words: multi-resource leveling; genetic algorithm; activity with break; risk float time

摘要: 针对网络计划资源均衡问题, 已经提出过一种工序可间断的单资源均衡模型。通过引入多资源的条件和风险时差的概念, 对该模型加以改进。改进后的模型在求解多资源均衡问题的同时, 可以为某些选定的工序预留出一定的时差, 从而避免因资源均衡过程对这些时差的过度利用而增加工期风险。通过采用遗传算法对模型进行求解, 验证了模型的有效性。

关键词: 多资源均衡; 遗传算法; 可间断工序; 风险时差

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.33.070 文章编号: 1002-8331(2009)33-0222-05 文献标识码: A 中图分类号: F207.7

网络计划的资源均衡模型是工程项目网络计划资源优化配置领域中一类重要模型, 其建立的一个目的是通过调整和优化网络计划的工序安排, 使整个项目工期内的资源利用量实现均衡的配置。用来调整工序安排的方法既包括利用工序的开工时间进行调整^[1-3], 也包括利用工序的可间断性进行调整^[4]。在这类资源均衡问题的求解过程中, 其对于工序安排所进行的调整本质上都是对于网络计划中非关键工序的总时差进行的重新分配或调整。这些总时差的存在通常有两方面的重要作用: 一方面可以允许非关键工序的安排在总时差范围内进行适当的调整, 从而对项目资源的配置起到均衡的效果, 而另一方面则可以保证在该工序施工过程中有风险情况发生时, 工序完工时间的一定延期不会对后续工序的开工时间或者项目的总完工时间产生不利的影响。

然而, 由于用于防范风险的时差必须安排在非关键工序的预定完工时间之后才能发挥作用, 这就使得这部分时差难以同时用于资源均衡的过程。同时, 由于工序的总时差总是有限的, 因此, 如果用于资源均衡的时差占用过多, 则剩余的可用于防范风险的时差就会过小。此时如果风险情况一旦发生, 就可能使剩余时差的大小不足以弥补工序完工的延期量, 从而造成

对后续工序和项目工期的延期。因此, 为了保证工序进行风险防范所需要的时差, 可以在进行资源均衡之前, 先在风险较大的非关键工序的完工时间后面为其优先设定并保留一定的时差, 使得该时差不再被资源均衡过程所利用, 从而专门用于防范可能的风险。

针对上述这样的问题, 在已经提出的工序可间断的资源均衡模型^[4]的基础上, 首先将其扩展为多资源均衡的模型, 然后通过引入风险时差这一新的变量来对该模型加以改进, 使得其在求解多资源均衡问题的同时, 可以为某些选定的工序预留出一定的时差, 从而避免因资源均衡过程对这些时差的过度利用而增加工期风险。最后通过采用遗传算法对相关算例进行求解和分析, 验证了这一改进模型的有效性。

1 工序可间断的多资源均衡分析

1.1 变量定义

在考虑多资源的情况下, 结合文献[5]中的多资源同一化方法, 对原有文献[4]中单资源均衡模型的变量定义加以补充和完善, 得到文中的各变量定义如下。

(1) 集合变量

作者简介: 郭海滨(1978-), 男, 博士, 主要研究领域为工程项目资源优化配置; 张立峰(1981-), 男, 助理工程师, 主要从事建筑施工领域工作和研究。

收稿日期: 2008-07-01 **修回日期:** 2009-01-09

$A=\{1, 2, \dots, N\}$ 为项目的单代号工序集, N 为项目工序数。

$B=\{1, 2, \dots, K\}$ 为项目的资源集, K 为项目资源数。

$P(i)$ 为工序 i 的紧前工序集。

(2) 时间变量

T 为项目网络计划的总工期。

$E_S(i)$ 为工序 i 的最早可能开工时间。

$L_S(i)$ 为工序 i 的最迟必须开工时间。

$L_F(i)$ 为工序 i 的最迟必须完工时间。

$S(i)$ 为工序 i 的实际开工时间。

$D(i)$ 为工序 i 不间断时的工期, 即工序 i 不间断时从开工到完工的时间长度。

$D_W(i)$ 为工序 i 间断的时刻, 即在该工序实际开工时间后的该时刻开始间断, 取值非负。

$D_P(i)$ 为工序 i 间断的时间长度, 取值非负。

$F_{ES}(i)$ 为工序 i 的实际最早可能开工时间, 即在其所有紧前工序的实际开工时间和间断时间长度已定的情况下, 工序 i 的实际最早可能开工时间。当工序 i 没有紧前工序时, 设 $F_{ES}(i)=0$ 。

$F_F(i)=L_S(i)-F_{ES}(i)$ 为工序 i 的实际最大时差, 表示在紧前工序实际开工时间已定的情况下, 工序 i 实际的最大可利用时差。

$R_F(i)=[S(i)-F_{ES}(i)]/[L_S(i)-F_{ES}(i)](i \in A)$ 为工序 i 的浮动工率, 即工序 i 的实际开工时间所利用的时差与该工序的实际最大时差 $F_F(i)$ 之间的比率, $0 \leq R_F(i) \leq 1$ 。

$R_W(i)=D_W(i)/D(i)(i \in A)$ 为工序 i 的工序间断率, 即工序 i 间断后第一段子工序的工期占工序 i 间断前总工期的比率, $0 \leq R_W(i) \leq 1$ 。

$R_P(i)=D_P(i)/[L_F(i)-F(i)]=D_P(i)/[L_F(i)-S(i)](i \in A)$ 为工序 i 的间断延期率, 即在工序 i 实际开工时间已占用部分时差的条件下, 间断的时间长度与其间断时剩余实际可利用时差之间的比率。当工期约束关系满足时, $0 \leq R_P(i) \leq 1$ 。

(3) 资源变量

$r_0(i, k)$ 为工序 i 对第 k 种资源的需求强度。

$r_{\max}(k)$ 为所有工序对第 k 种资源的需求强度的最大值。

$r_1(i, k)=r_0(i, k)/r_{\max}(k)$ 为资源同一化之后的工序 i 对第 k 种资源的资源强度, 即同一化之后, 工序 i 施工时对第 k 种资源的需求强度(单位时间需求量)。

$r(i, k, t)$ 为资源同一化之后, 工序 i 在项目整个周期内任意 t 时刻对第 k 种资源需求量。

$R(k, t)$ 为资源同一化之后, 项目在 t 时刻对第 k 种资源的需求总量, 由 t 时刻正在施工的所有工序的资源需求量累加求得。

$R_M(k)=\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N D(i) \cdot r_1(i, k)$ 为资源同一化之后, 整个项目工期内对第 k 种资源需求量的平均值。

$\omega(k)$ 为第 k 种资源的重要性权重系数, 且所有资源该变量值的和为 1。

1.2 多资源均衡改进模型

基于以上各变量定义, 再通过 $\omega(k)$ 对各类资源均衡的目标函数进行加权求和, 就可以对文献[4]所提出的工序可间断的单资源均衡模型加以改进, 得到如下所示的工序可间断的多资源均衡模型。

模型(I)

$$\min_{R_F, R_W, R_P} f = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T \omega(k) \cdot [R(k, t) - R_M(k)]^2 \quad (1)$$

s.t.

$$F_{ES}(i) = \max_j \{S(j) + D(j) + D_P(j)\} \quad (j \in P(i), i \in A) \quad (2)$$

$$S(i) = R_F(i) \cdot [L_S(i) - F_{ES}(i)] + F_{ES}(i) \quad (i \in A) \quad (3)$$

$$D_W(i) = R_W(i) \cdot D(i) \quad (i \in A) \quad (4)$$

$$D_P(i) = R_P(i) \cdot [L_S(i) - S(i)] \quad (i \in A) \quad (5)$$

$$0 \leq R_F(i), R_W(i), R_P(i) \leq 1 \quad (i \in A) \quad (6)$$

$$R(k, t) = \sum_{i=1}^N r(i, k, t) \quad (k \in B, t=1, 2, \dots, T) \quad (7)$$

$$r(i, k, t) = \begin{cases} r_1(i, k) & S(i) \leq t \leq S(i) + D_W(i) \text{ 或} \\ & S(i) + D_W(i) + D_P(i) \leq t \leq S(i) + D(i) + D_P(i) \\ & S(i) + D(i) + D_P(i) \leq t \leq S(i) + D(i) + D_P(i) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (k \in B) \quad (8)$$

式中各变量含义参见上述 1.1 节变量定义。

在模型(1)中, 目标函数式(1)的含义是计算网络计划对多种资源需求量的计划曲线与均值线之间的加权均方差值, 以此衡量多种资源分配的均衡程度并使之趋于最小。式(2)是实际最早开工时间的计算公式。式(3)~式(5)分别是实际开工时间 S 、工序间断时刻 D_W 、工序间断时间长度 D_P 的计算公式。式(6)是无量纲变量 R_F 、 R_W 和 R_P 的取值范围约束, 其与式(3)~式(5)一起间接表示了变量 S 、 D_W 、 D_P 的取值范围约束。式(7)是 t 时刻总的资源需求量的计算公式。式(8)表示第 i 工序在 t 时刻对第 k 种资源的需求量, 当工序 i 施工时取值为 $r_1(i, k)$, 工序不施工或间断时取值为 0。

2 含风险时差的工序可间断多资源均衡分析

2.1 风险时差

风险时差是指为了防范工序风险情况, 避免资源均衡过程对工序总时差过度占用而在工序完工时间之后预先设定并保留的时差, 其属于工序总时差的一部分, 可以根据工序的不同风险程度为其取值设定不同的大小。通过为工序设定风险时差, 可以避免在资源均衡过程中对工序时差的过度利用, 从而避免或减少资源均衡过程所导致的对项目总工期风险的影响, 保证项目的按期完工。

从现实意义上来讲, 由于造成项目或工序风险的影响因素众多, 其发生具有高度不确定性的特征, 并且对风险影响程度的识别要受以往施工经验的影响和制约, 因此, 为工序所设定的风险时差不易实现准确的度量。在实际实施中, 可以根据专家或施工工程人员的经验对项目各工序的风险进行综合判断, 并基于判断结果对各工序需要预留的风险时差进行设定。对风险较大的工序可以设定较大的风险时差, 以充分保证防范风险的需要, 而对风险较小的工序则可以设定相对较小的风险时差, 以保证资源均衡时对工序进行的安排具有更大的灵活性。另外, 在为项目的工序设定风险时差时, 还必须保证所设定的风险时差均在各工序总时差所允许的范围内。

假设已设定了项目各非关键工序的风险时差大小, 则可以在此基础上对前述的资源均衡模型进行改进, 以便于在求解资源均衡问题时对风险予以考虑。

2.2 变量重定义

当新引入风险时差这一变量时, 各工序的最迟完工时间将会有所变化。这就需要在改进模型之前首先对其进行重新计算。将工序 i 的风险时差记为 $\Delta T_{RR}(i)$, 则变化后的工序 i 最迟开工时间为:

$$L_{SR}(i) = \min_l \{L_{SR}(l)\} - \Delta T_{FR}(i) - D(i) \quad (l \in Q(i)) \quad (9)$$

式中, l : 工序 i 的紧后工序; $Q(i)$: 工序 i 的紧后工序集; $D(i)$: 工序 i 的工期; $\Delta T_{FR}(i)$: 工序 i 的风险时差; $L_{SR}(l)$ 、 $L_{SR}(i)$ 分别为工序 l 和工序 i 考虑风险时差时的最迟开工时间。当工序没有紧后工序时, $L_{SR}(i)$ 可直接由式(10)计算。

$$L_{SR}(i) = L_S(i) - \Delta T_{FR}(i) \quad (10)$$

式中, $L_S(i)$: 不考虑风险时差时工序 i 的最迟完工时间, 其他符号意义同前。

另外, 工序可间断多资源均衡模型中所涉及到的工序的实际最早开工时间也会发生相应的变化, 需要通过式(11)加以计算。

$$F_{ES}(i) = \max_j \{S(j) + D(j) + D_P(j) + \Delta T_{FR}(j)\} \quad (j \in P(i)) \quad (11)$$

式中, $\Delta T_{FR}(j)$: 工序 j 的风险时差, 其他各项符号意义同本章前面模型中的变量含义。

在为项目工序设定风险时差的基础上, 含有风险时差的工序可间断多资源均衡模型中需要重新定义的变量如下。

$F_{ES}(i) = L_{SR}(i) - F_{ES}(i) \quad (i \in A)$ 为引入风险时差时, 工序 i 的实际最大时差, 表示在紧前工序实际开工时间和预留的风险时差已定的情况下, 工序 i 实际的最大可利用时差。

$R_{FR}(i) = [S(i) - F_{ES}(i)] / [L_{SR}(i) - F_{ES}(i)] \quad (i \in A)$ 为引入风险时差时, 工序 i 的浮动工时率, 即工序 i 的实际开工时间所利用的时差与该工序的实际最大时差 $F_{FR}(i)$ 之间的比率, $0 \leq R_{FR}(i) \leq 1$ 。

$R_{RR}(i) = D_P(i) / [L_{SR}(i) - S(i)] \quad (i \in A)$ 为考虑风险时差的情况下, 工序 i 的间断延期率, 即在工序 i 实际开工时间和风险时差已占用部分时差的条件下, 间断的时间长度与其间断时剩余实际可利用时差之间的比率。当工期约束关系满足时, $0 \leq R_{RR}(i) \leq 1$ 。

工序 i 可间断且考虑风险时差时各时间变量的含义及其相互关系如图 1 所示。图中变量含义与前述资源均衡模型变量含义相同。

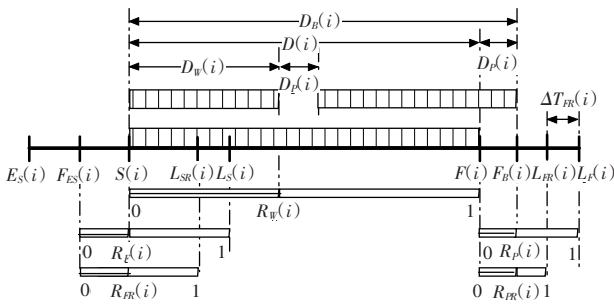


图 1 工序 i 间断且考虑风险时差时各变量示意

2.3 含风险时差的改进模型

在以上变量重新定义的基础上, 可建立改进后的含风险时差的工序可间断多资源均衡模型如下。

模型(II)

$$\min_{R_{FR}, R_{RR}, R_{PR}} f = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T \omega(k) \cdot [R(k, t) - R_M(k)]^2 \quad (12)$$

s.t.

$$F_{ES}(i) = \max_j \{S(j) + D(j) + D_P(j) + \Delta T_{FR}(j)\} \quad (j \in P(i), i \in A) \quad (13)$$

$$S(i) = R_{FR}(i) \cdot [L_{SR}(i) - F_{ES}(i)] + F_{ES}(i) \quad (i \in A) \quad (14)$$

$$D_W(i) = R_{RR}(i) \cdot D(i) \quad (i \in A) \quad (15)$$

$$D_P(i) = R_{PR}(i) \cdot [L_{SR}(i) - S(i)] \quad (i \in A) \quad (16)$$

$$0 \leq R_{FR}(i), R_{RR}(i), R_{PR}(i) \leq 1 \quad (i \in A) \quad (17)$$

$$R(k, t) = \sum_{i=1}^N r(i, k, t) \quad (k \in B, t=1, 2, \dots, T) \quad (18)$$

$$r(i, k, t) = \begin{cases} r_1(i, k) & S(i) \leq t \leq S(i) + D_W(i) \text{ 或} \\ & S(i) + D_W(i) + D_P(i) \leq t \leq S(i) + D(i) + D_P(i) \quad (k \in B) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (19)$$

式中, 各变量含义可参见上述 1.1 节及 2.2 节相关说明。

在模型(II)中, 式(14)和(16)是由式(3)和(5)考虑风险时差后变换得到 S 、 D_P 的计算公式, 式(17)是重新定义后的浮动工时率、间断延期率及原来的工序间断率的约束范围。模型(II)其他公式的含义与模型(I)中的相同。

事实上, 在模型(II)变量的基础上, 可以通过计算和比较引入风险时差前后工序的实际可利用时差来说明所设定风险时差的有效性。设任意非关键工序的总时差为 $T_F(i)$, 风险时差为 $\Delta T_{FR}(i)$, 不考虑预留风险时差时工序调整所实际利用的总时差为 $T_{FR}(i)$, 而考虑预留风险时差时工序所实际利用的时差为 $T_{FRR}(i)$, 则 $T_{FR}(i)$ 和 $T_{FRR}(i)$ 的大小可由如下式(20)~(21)计算得到。

$$\begin{aligned} T_{FR}(i) &= [F_{ES}(i) - E_S(i)] + R_{FR}(i) \cdot [L_S(i) - F_{ES}(i)] + \\ & R_{PR}(i) \cdot [L_{SR}(i) - S(i)] = [F_{ES}(i) - E_S(i)] + \\ & [S(i) - F_{ES}(i)] + R_{PR}(i) \cdot [L_S(i) - S(i)] \leq \\ & [F_{ES}(i) - E_S(i)] + [S(i) - F_{ES}(i)] + [L_S(i) - S(i)] = \\ & L_S(i) - E_S(i) = T_F(i) \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} T_{FRR}(i) &= [F_{ES}(i) - E_S(i)] + R_{FR}(i) \cdot [L_{SR}(i) - F_{ES}(i)] + \\ & R_{RR}(i) \cdot [L_{SR}(i) - S(i)] = [F_{ES}(i) - E_S(i)] + \\ & [S(i) - F_{ES}(i)] + R_{RR}(i) \cdot [L_{SR}(i) - S(i)] \leq \\ & [F_{ES}(i) - E_S(i)] + [S(i) - F_{ES}(i)] + \\ & [L_S(i) - \Delta T_{FR}(i) - S(i)] = \\ & L_S(i) - E_S(i) - \Delta T_{FR}(i) = T_F(i) - \Delta T_{FR}(i) \end{aligned} \quad (21)$$

从以上式(20)~(21)的推导即可看出, 当不引入风险时差时, 对非关键工序的开工时间和间断时间进行调整时, 其可利用时差范围的上界为该工序的总时差; 而为该工序预留风险时差后, 对工序进行调整所能利用的时差范围上界则变为了该工序总时差扣除其风险时差后剩余的部分。也就是说, 模型在求解资源均衡的过程中始终会为非关键工序保留一段不被利用的时差, 从而在出现风险情况时, 便于工序的施工始终能有一定的缓冲时间来加以应对, 避免因风险问题而造成后续工序开工时间乃至项目总工期的延期。

另外, 当将各工序的风险时差均设为 0 时, 则改进后的模型(II)实质上就转化为模型(I), 从而也说明了改进模型(II)对模型(I)的兼容性。

3 算法设计

仍沿用文献[4]所采用的遗传算法对上述模型(II)进行求解。其中, 适值函数、编码与初始种群生成、选择、交叉与变异以及解码等设计如下。

采用的适值函数为:

$$F_{FR}(j) = \frac{1}{f(j)} \quad (22)$$

式中, $f(j)$: 第 j 染色体对应的目标函数值; $F_{FR}(j)$: 第 j 染色体的适值。这样, 当染色体的目标函数值越小时, 其对应的适值就越大, 该染色体个体就越容易生存。

根据模型(II), 染色体的基因串的构造形式取为 $\{R_{FR}(1),$

$\dots, R_{RK}(N), R_W(1), \dots, R_W(N), R_{RK}(1), \dots, R_{RK}(N)\}$, 并采用实数编码。在此基础上, 按照式(17)的约束随机生成多条染色体的初始值, 以此构造出初始种群。根据问题规模的不同, 种群规模一般可取为 50~200。

染色体 j 的选择概率取为:

$$S(j) = \frac{F(j)}{\sum_{j=1}^Z F(j)} \quad (23)$$

其中, $S(j)$ 为染色体 j 的选择概率, $F(j)$ 为染色体 j 的适值, Z 为染色体种群规模。

进化计算过程中, 采用线性交叉方法按照交叉概率每次随机选择一对染色体进行交叉操作。

为了保证种群多样性, 还需要对染色体种群进行变异操作, 即按一定概率每次随机抽取一个染色体个体, 将其一个或者多个基因位的值按均匀分布随机改变为变量取值范围内的其他值, 从而生成一个新的染色体。

解码则是指由计算得到的最优染色体中的 R_{RK}, R_W, R_{RK} 的值通过变量定义或模型公式计算求得可用于工序安排的 S, D_W, D_p 等变量的具体数值, 并最终对网络计划进行优化安排以实现整个项目工期内资源的均衡配置。

4 求解步骤

模型(II)的求解步骤与文献[4]中的模型(II)求解步骤类似, 可简要叙述如下。

(1) 按照式(17)及工序特殊要求所规定的相关变量取值范围随机生成各变量值, 并编码生成初始种群。

(2) 在进化的每一代, 计算其当前父代种群所有染色体对应的适值。

(3) 对当前父代种群进行选择、复制、交叉、变异等操作后, 计算所生成的子代种群中各染色体的适值。

(4) 将遗传操作后生成的子代种群与当前代的父代种群合并考虑, 选择其中适值大的 Z 个染色体组成新的种群, 作为下一代计算的父代种群。

(5) 在所生成下一代父代种群的基础上, 循环执行(2)~(4)步的操作, 直至结果收敛或进化达到所设定的最大代数。

(6) 进化循环结束后, 对种群中适值最大的染色体进行解码, 计算其所对应的各工序 S, D_W, D_p 的值以及目标函数值, 以此作为问题求解的最终优化结果。

5 应用举例

5.1 算例说明

算例是在文献[6]所提供的算例基础上扩展为多资源情况而得到的, 其单代号网络如图 2 所示。

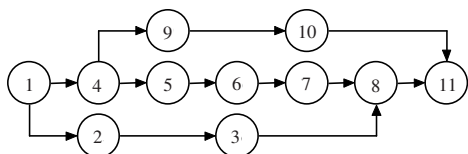


图 2 算例的单代号网络

各项网络参数如表 1 所示, 其中编号 1 的工序为按照单代号网络计划编制规则所添加的起始虚工序。表 1 中各符号的含义为: D 为工序的持续时间, E_s 为工序的最早开工时间, L_s 为工

表 1 算例的单代号网络相关参数

工序编号	工序名称	D	E_s	L_s	$r(1)$	$r(2)$
1	(虚工序)	0	0	0	0	0
2	G	4	0	3	4	7
3	H	3	4	7	5	6
4	A	2	0	0	2	5
5	B	3	2	2	4	8
6	C	2	5	5	2	5
7	D	3	7	7	1	6
8	E	3	10	10	4	7
9	K	2	2	7	2	4
10	L	4	4	9	2	5
11	F	2	13	13	6	10

序的最迟开工时间, $r(1), r(2)$ 分别表示工序关于第 1、2 种资源的资源强度。另外在该算例中, 假定工序 10 的风险最大, 当模型计算考虑风险时将其设定 2 天的预留风险时差。

5.2 算法参数

采用遗传算法对含风险时差的工序可间断多资源均衡模型进行求解, 所取的种群规模为 60, 最大进化代数为 500。模型的分组重复实验表明, 当交叉概率在 0.6~0.8、变异概率在 0.05~0.1 范围内时, 对模型的求解可以达到良好的效果。

5.3 求解结果

采用遗传算法分多种情况对提出的模型进行了求解验证, 求解结果说明如下。

对于多资源均衡算例而言, 当所有非关键工序均可间断时, 求解得到的目标函数值为 0.002 8, 其迭代收敛过程及资源均衡结果分别如图 3 和图 4 所示, 其工序安排如图 5 所示。当

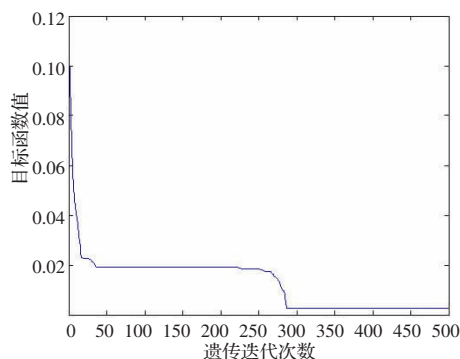


图 3 工序可间断时的多资源均衡迭代过程

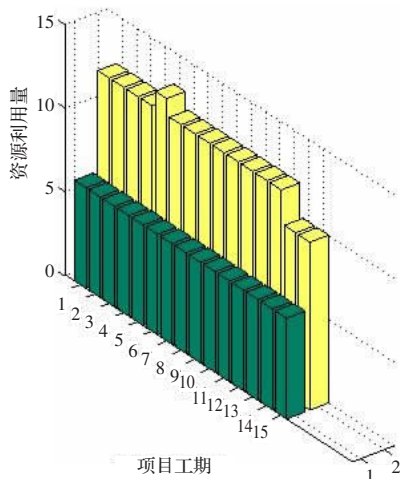


图 4 工序可间断时的多资源均衡结果

所有非关键工序不可间断时, 求解得到的目标函数值为 0.032 5, 其工序安排如图 6 所示。当工序可间断且为工序 10 预先设定 2 天的风险时差时, 求解得到的目标函数值为 0.050 9, 其工序安排情况如图 7 所示。图 5~7 中, 黑色条纹表示关键工序, 灰色条纹则表示非关键工序。

工序 编号	工序 工期	资源 r(1)	资源 r(2)	工期/天																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
2	4	4	7																	
3	3	5	6																	
4	2	2	5																	
5	3	4	8																	
6	2	2	5																	
7	3	1	6																	
8	3	4	7																	
9	2	2	4																	
10	4	2	5																	
11	2	6	10																	
每日资源用量	R(1)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	R(2)	12	12	12	12	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10	10	10

图 5 工序可间断时的工序安排

工序 编号	工序 工期	资源 r(1)	资源 r(2)	工期/天																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
2	4	4	7																	
3	3	5	6																	
4	2	2	5																	
5	3	4	8																	
6	2	2	5																	
7	3	1	6																	
8	3	4	7																	
9	2	2	4																	
10	4	2	5																	
11	2	6	10																	
每日资源用量	R(1)	6	6	8	8	6	4	7	6	6	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	R(2)	12	12	15	15	12	9	11	12	12	11	12	12	12	12	10	10	10	10	10

图 6 工序不可间断时的工序安排

工序 编号	工序 工期	资源 r(1)	资源 r(2)	工期/天																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
2	4	4	7																	
3	3	5	6																	
4	2	2	5																	
5	3	4	8																	
6	2	2	5																	
7	3	1	6																	
8	3	4	7																	
9	2	2	4																	
10	4	2	5																	
11	2	6	10																	
每日资源用量	R(1)	6	6	6	6	6	8	8	6	6	6	6	4	4	6	6	6	6	6	6
	R(2)	12	12	12	12	13	17	17	12	12	12	12	7	7	10	10	10	10	10	10

图 7 工序 10 预留 2 天风险时差时的工序安排

5.4 分析与结论

通过算例求解结果可以看出, 遗传算法在迭代求解时, 收敛过程是比较稳定而迅速的, 说明将遗传算法用于求解该文的

模型是合理的和有效的。当允许工序间断时, 多资源均衡的结果比工序不可间断时更加优化与合理, 说明多资源均衡模型是有效的, 并且也是合理可行的。另外, 当为工序 10 预留 2 天的风险时差时, 计算得到的目标函数值虽然比不考虑风险时差时稍差, 但是从图 7 中工序安排的变化即可看出, 对于工序 10 而言, 其完工时间末已经预留了第 12 天、第 13 天这 2 天的风险时差, 可以用于防范可能出现的风险情况, 避免对后期进度或总工期造成不利的影晌。

6 结束语

工作是基于文献[4]的工作进一步展开的, 对其已提出的模型做了进一步扩展和改进。在文中, 通过采用资源同一化和目标函数加权求和的方法, 可以先将原先的模型扩展为适用于多资源均衡的情况。然后, 再通过引入风险时差这一新的变量, 则可以进一步将其改进为能够考虑工序风险情况的多资源均衡模型。通过该文工作, 使得改进后的模型既可以实现工序可间断情况下多资源均衡问题的求解, 同时又可以在求解时为风险较大的工序预留一定的风险时差, 使这些时差不会被用于资源均衡的过程, 从而避免资源均衡对工序总时差的过度占用而导致项目工期风险的增加。最后, 相关算例的求解和结果分析表明了模型的有效性。

参考文献:

- [1] Weng -Tat C, Chua D K H, Kannan G. Construction resource scheduling with genetic algorithms[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1996, 122(2): 125-132.
- [2] Sou -Sen L, Chung -Huei Y. GA-based multicriteria optimal model for construction scheduling[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1999, 125(6): 420-427.
- [3] 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, 19(5): 78-82.
- [4] 郭海滨, 郑丕谔. 工序可间断的资源均衡分析[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(34): 207-212.
- [5] 白思俊. 多资源约束的网络计划的启发式优化方法[J]. 系统工程理论与实践, 1995(7): 42-47.
- [6] Son J, Mattila K G. Binary resource leveling model activity splitting allowed[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2004, 115(6): 887-894.

(上接 217 页)

精度在 92% 以上, 总体分类精度超过 90%, 优于决策树法。SVM 法存在学习和训练提取规律的过程, 不需要处理对象的先验知识, 对样本选取的准确性没有那么苛刻, 可处理分布不规则的复杂数据, 可提高分类精度。

方法较适合复杂高维空间, 但随着属性数据特征的增加, 也增加了寻找最佳惩罚系数 C 和间隔因子 γ 所需的时间, 需进一步改进其确定方法。

参考文献:

- [1] Ouma Y O, Tateishi R. Urban-trees extraction from Quickbird imagery using multiscale spectex-filtering and non-parametric classification[J]. ISPRS J of Photogrammetry and Remote Sensing, 2008, 63(3):

- 333-351.
- [2] Xu Min, Watanachaturaporn P, Varshney P K, et al. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 97: 322-336.
- [3] Shupe S M, Marsh S E. Cover and density-based vegetation classifications of the Sonoran desert using Landsat TM and ERS-1 SAR imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 93(1/2): 131-149.
- [4] Filippi A M, Jensen J R. Fuzzy learning vector quantization for hyperspectral coastal vegetation classification[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 100(4): 512-530.
- [5] Mazzoni D, Garay M J, Davies R, et al. An operational MISR pixel classifier using support vector machines[J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 107(1/2): 149-158.