

IT 项目进度计划风险量化预测方法^①

张丽君¹, 赵俊岚², 郭树行³

¹(内蒙古财经大学 计算机信息管理学院, 呼和浩特 010070)

²(内蒙古财经大学 网络中心, 呼和浩特 010070)

³(中央财政金融大学 信息学院, 北京 102206)

摘要: 针对 IT 项目进度基线定义质量普遍偏低的问题, 提出了一种资源约束条件下基于蒙特卡洛模拟的进度风险量化评估方法. 首先, 考虑资源对进度的限制问题, 提出资源约束条件下的活动历时抽样方法; 其次, 提出在活动历时随机变化情况下, 项目关键路径动态识别方法, 研究项目工期概率分布问题. 最后, 通过实例表明, 资源约束条件下的蒙特卡洛模拟方法, 能够有效地评估 IT 项目中的进度风险, 辅助项目决策.

关键词: 资源约束; 蒙特卡洛模拟; IT 项目进度; 风险量化评估

Quantification Prediction Method of Production Development Schedule Risk

ZHANG Li-Jun¹, ZHAO Jun-Lan², GUO Shu-Hang³

¹(Computer Information Management College, Inner Mongolia University of Finance and Economics, Hohhot 010070, China)

²(Department of Network Information Center, Inner Mongolia University of Finance and Economics, Hohhot 010070, China)

³(Information College, Central University of Finance and Economics, Beijing 102206, China)

Abstract: Given the generally low quality of Production Development schedule baseline definition, an evaluation method of project schedule risk quantification based on Monte Carlo simulation under the conditions of resource constraints is proposed. Firstly, considering the resource constraints on the progress, an activity duration sampling method under resource constraints is proposed. Secondly, to study the probability distribution of project duration, a method to recognize the critical path to a project dynamically is proposed under the random change in the activity duration. Finally, examples will show that Monte Carlo simulation methods under resource constraints can assess the progress risk of IT project effectively and support the project decision-making.

Key words: resource constraints; Monte Carlo simulation; production development schedule; QRA(quantitative risk evaluation)

在项目管理中, 任何活动都不可避免地存在不确定性, 因而也就存在各种各样的风险. 所以, 项目管理的理论和社会实践者们甚至认为: 项目管理其实就是风险管理. 项目风险管理是指项目管理者通过风险识别、风险估计和风险评价, 并以此为基础合理地使用多种管理方法、技术和手段对项目活动涉及的风险采取有效控制, 以保证安全、可靠地实现总目标. IT 项目进度问题是项目管理四大目标之一, 进度的管理关系到整个项目的成败^①. 然而, 由于进度风险的不确

定性和复杂性, 人们对项目进度难以做出有效的分析和评估, 以致常常做出错误的决策. 因此, 如何对 IT 项目进度风险进行合理、有效地评估, 是项目管理专家们一直讨论的热门话题.

国内外专家对项目进度风险分析的研究, 主要有活动历时的研究、项目计划评审技术 PERT(Program Evaluation and Review Technique)网络的研究、关键路径 CPM(Critical Path Method)从概率方面的定义研究和蒙特卡洛(Monte Carlo)在风险分析中的应用研究等.

① 基金项目: 内蒙古自然科学基金(2010MS1011)

收稿时间: 2013-05-20; 收到修改稿时间: 2013-06-27

目前,在项目管理实践中,用得较为广泛的是以经典 PERT/CPM 为核心的网络计划技术,但在活动历时估算和关键路径的确定上存在明显缺陷,从而导致预测误差,影响项目决策^[2,3]。

蒙特卡洛方法作为一种模拟技术,在项目风险等复杂随机问题的处理上有很大的优势;同时,随着计算机技术的发展,可以进行大量的抽样,问题求解精度越来越高,具有了很高的可靠性,能很好的指导实践^[4,5]。本文定位在资源约束条件下研究基于蒙特卡洛的 IT 项目进度风险量化评估方法,以期在活动历时随机波动的情况下,更合理地分析项目工期变化规律,辅助项目决策。

1 相关研究基础和概念

1.1 蒙特卡洛方法原理

蒙特卡洛方法又称随机抽样技巧或统计试验方法,是一类以概率统计理论为基础,通过随机变量的统计分析、随机模拟,求解数学、物理、工程技术问题近似解的方法^[3,4]。蒙特卡洛方法能够比较逼真地描述事物的特点和过程,解决一些传统数值方法难以解决的问题,因而该方法的应用领域日趋广泛。

蒙特卡洛的基本思想是:当所求问题的解与某个事件的数字特征有关时,可以通过某种试验的方法得出该数字特征值,通过它求得实际问题的解。假设所求解的变量 X 是随机变量,数学期望 $E(\xi)$,那么近似确定 x 的方法是对 ξ 进行 N 次重复抽样,产生相互独立的 ξ 的序列 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$,并计算其算术平均值:

$$\xi_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_i \quad (1)$$

根据柯尔莫哥罗夫大数定理有:

$$P(\lim_{N \rightarrow \infty} \xi_N = x) = 1 \quad (2)$$

因此,当 N 足够大时, $\xi_N \approx E(x) = x$ 成立的概率为等于 1,也就是说 ξ_N 作为 x 的估计值。

使用蒙特卡洛方法解决问题的一般过程可以分为四个步骤:

① 对求解的问题建立概率统计模型,使所求的解恰好是该模型的概率分布或数学期望。对于本身就具有随机性质的问题,如粒子运输问题,主要是正确地描述和模拟这个概率过程。对于本来不具备随机性质的确定性问题,比如计算定积分、解线性方程组等,就必须事先构造一个人为的概率过程,它的某些参数

正好是所要求问题的解。

② 根据概率统计模型的特点和计算实践的需要,尽量改进模型,以便减小方差和降低模拟费用,提高计算的效率。

③ 建立对随机变量的抽样方法。有了明确的概率过程后,为了实现过程的数字模拟,必须实现从已知概率分布的随机数的抽样。例如为了得到 $E(\xi)$ 的估计值 ξ_N ,关键在于得到 ξ 的序列: $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$, ξ 的产生是由随机变量 ξ 的分布 F 决定的。这种根据已知分布规律产生的随机变量的具体数值 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$,称为分布 F 的一个子样, ξ_k 为子样的一个元素。

④ 给出获得所求解的统计估计值及其方差。

1.2 IT 项目进度风险评估中的几个概念

在 IT 项目中,活动资源对计划活动的历时有影响,因为分配给计划活动的资源,以及这些资源是否用于项目,将影响大多数活动历时。为说明这个问题,首先明确几个概念,即活动历时、活动工时和资源单位^[6]。

① 活动历时:表示完成该任务所经历的实际时间。

② 活动工时:表示资源配给情况下,执行任务的工作时间。这里的资源既可以是特指某一重要的任务执行条件;也可以是对任务执行必要条件的抽象,而非特定单一条件。通常,在没有明确特殊重要条件下,资源是指抽象资源。

③ 资源单位:是对资源每一单位任务持续时间内的工作时间的度量单位。

它们之间的关系为:活动工时=活动历时×资源单位。在实际中,对于特定的任务,常常因为资源的使用是固定的,需要适当地调节活动时间来平衡。

比如某公司聘请行业专家为公司职员培训,培训内容需要 8 小时来完成。对于培训任务来说,场地、专家、公司员工以及其它必要的设备都是该活动必须的条件,缺一不可。以上所有条件均具备时才称具备资源,如果每天具备资源的时间有 2 小时,则资源单位即为 2;由于培训内容要 8 小时才能完成,所以完成该任务的时间即活动历时为 4 天;完成该任务的实际授课时间为 $4 \times 2 = 8$ 小时,即为活动工时。

2 资源约束条件下基于蒙特卡洛模拟 IT 项目进度风险评估模型介绍

对于 IT 项目工期 T 来说,它满足 $T = \sum_{i=1}^k t_i$ 。其中,

t_i 表示项目关键路径上每一连续环节活动历时. 应用蒙特卡洛方法进行 IT 项目进度风险评价的思路是: 针对项目中每一环节的活动历时 t_i , 假定其服从一定的分布, 利用计算机产生符合该分布的随机数来模拟该活动的历时, 再运用 PERT/CPM 法找出项目的关键路线, 并求出项目的模拟工期 $T^{[6]}$. 经过大量模拟就可以统计项目工期 T 的分布特征, 从而分析项目的进度风险^[7,8].

当然, 本文是在资源约束条件下在对活动历时进行抽样, 并据此进行风险评估. 该资源是可执行任务总条件的抽象, 所以在资源配给下, 执行任务的时间即活动工时就可以用来作为进度风险评估的资源约束, 也就是在给定工时约束条件下, 进行风险评估. 当抽样数据超出工时约束条件时, 剔除该模拟数据.

3 项目进度风险评估流程

首先, 明确项目实际活动过程, 并依据资源配置情况定义每个活动的约束条件; 这里默认将总活动工时作为资源约束条件, 也可以根据具体情况确定约束条件. 其次, 以每个项目活动过程的活动历时为随机变量, 按一定的概率分布对项目各个活动历时进行抽样; 经过资源约束条件筛选, 获取满足条件的样本. 再次, 利用关键路径法和蒙特卡洛模拟方法, 统计分析项目关键路径变化和项目周期的完成概率, 绘制进度风险图, 得出项目实施的最大工期、最小工期、平均工期以及在不同概率情况下工期. 最后, 在确定约束及其活动历时偏差的条件下, 进一步分析各活动间的相互影响, 综合确定总工期变化与完工概率变化, 实现对 IT 项目进度风险进行动态评价.

评估流程分为四个步骤, 第一: 针对 IT 项目实际工作流程, 确定每个活动的活动历时随机变量, 并进行模拟抽样; 第二: 采用关键路径法, 确定项目过程中关键动态路径; 第三: 采用蒙特卡洛模拟, 对项目工期数据进行模拟, 依据资源约束条件对所得数据进行筛选剔除, 直至获得足够的符合条件的数据进行统计分析; 最后, 依据上面数据, 确定影响项目总工期的动态关键路径以及不同完工概率下总工期的情况.

下面对进度风险评估中的几个关键问题进行阐述:

3.1 资源约束条件下的活动历时抽样

选取项目各个活动活动历时为随机变量, 进行随机数的抽取. 首先, 通过参考文献和历史数据分析其分布规律, 常用的主要有均匀分布、三角分布、 β 分

布等, 本文采用三角分布. 三角分布由三个参数来定义: 最小值 a , 最可能值 m 和最大值 b . 三角形分布常被作为其它分布的粗略估计, 如正态分布, 或在缺少数据时使用^[9]. 其概率函数密度可由下式给出:

$$f(x) = \begin{cases} 2(x-a)/(b-a)(m-a), & \text{若 } a \leq x \leq m \\ 2(b-x)/(b-a)(b-m), & \text{若 } m \leq x \leq b \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

其分布函数为 $F(x)$, 均值为 $(a+m+b)/3$, 方差为 $(a^2 + b^2 + m^2 - ab - am - bm)/18$

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{若 } x < a \\ (x-a)^2/(b-a)(m-a), & \text{若 } a \leq x \leq m \\ 1-(b-x)^2/(b-a)(b-m), & \text{若 } m < x \leq b \\ 1 & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

三角分布的三个参数可基于专家三点评估法对每个活动历时的估计得到, 利用随机数发生器就可以产生相应的随机数^[10].

同时, 由于活动资源是有限的, 活动历时在按其分布随机变化过程中, 还必须受资源的约束. 由公式 (3), 在资源单位一定的情况下, 按其概率分布抽取出来的活动历时如果不能满足约束条件, 仍将被过滤掉, 重新进行抽样. 如此往复循环, 直到抽到足够的数据进行模拟分析^[11].

3.2 项目关键路径动态识别和工期概率分布

在有资源约束条件的蒙特卡洛模拟过程中, 每次对各活动历时抽样所得到的随机值, 如果满足资源约束条件, 将作为时间参数, 再利用关键路径法, 求解项目模拟工期, 并记录关键路径上的各个活动信息. 如此, 完成了一次循环.

连续多次抽样后, 项目关键路径和工期随着活动历时的变化而不断变化, 可以从网络图直观地看到相应的变化. 得到多组关键路径和工期的数据后, 对其进行统计分析, 绘制项目工期概率分布图. 判断每个模拟工期是由哪条关键路径确定的, 对各路径成为关键路径以及活动成为关键活动的概率分别进行统计, 研究其变化规律. 同时, 可以利用灵敏度图研究各活动历时变化对项目总工期的影响, 并据此给出合理的项目风险描述.

基于此, 可以得到项目进度风险中的宏观和微观信息, 为项目决策提供了依据.

3.3 蒙特卡洛模拟流程与实施准备

(1) 资源约束条件下的蒙特卡洛模拟整个流程总

结如下:

- ① 选取活动历时为随机变量, 假定其满足三角分布;
- ② 在水晶球中建立电子表格模拟模型;
- ③ 确定模拟次数 N , 以满足精度要求;
- ④ 抽取随机数模拟活动历时, 并按资源约束条件进行过滤;
- ⑤ 记录工期、关键路径以及关键活动信息.
- ⑥ 按以上步骤连续 N 次模拟后, 对随机数、项目工期和关键路径进行统计分析, 绘制统计特征图.
- ⑦ 经以上步骤, 可以得到项目的大量模拟数据, 据此进行统计分析, 分析项目风险, 提供有用的信息辅助项目决策.

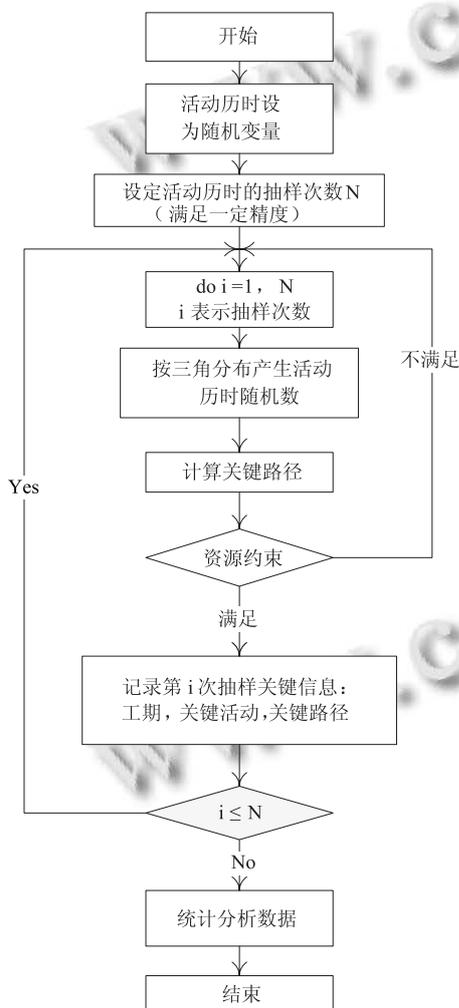


图 1 蒙特卡洛模拟流程

(2) 实施准备

- ① 关键路径算法. 利用产生的随机数, 计算有向

图从起点到终点的可能的最大长度.

- ② 水晶球软件. 在水晶球建立电子表格, 以蒙特卡洛模拟为原理, 设定假设单元和预测单元, 统计分析活动历时变动和工期变化规律.

4 案例分析——以某企业ERP项目为例

在有限资源约束下, 期望 ERP 在 190 天内完成, 并需要确定以 90% 的概率完成项目的工期; 如果限定在 1150 个工时条件下, 情况如何. 为对该期望工期进行评估, 减少进度风险, 给项目进度计划编制提供科学依据, 本例结合专家意见给出各活动历时和资源数量估计, 用蒙特卡洛方法对该企业 ERP 实施进度的实际发生情况进行模拟. 为更好地绘制网络图, 先分析了 ERP 实施的几个主要阶段和每个阶段的工作以及应达成的目标, 其工作内容和阶段目标如表 1 所示.

表 1 ERP 实施活动逻辑关系表

阶段划分	阶段包含具体活动	前导活动
1. 准备阶段	a 项目组成立和项目启动	
	b 项目定义	a
	c 项目管理和 ERP 培训	a
	d 安装软件和系统管理员培训	a
	e 软件安装测试	d
2. 初步培训	f 软件功能培训	b/c/e
	g 二次开发培训	b/c/e
3. 数据收集	h 物料编码规则确定	f/g
	i 基础数据整理和核查	h
4. 总体方案	j 流程优化培训	h
	k 流程诊断、分析、优化	j
	l 总体解决方案确认	k
5. 详细方案	m 岗位、职责和规章的讨论和确定	l
	n 二次开发	m
	o 详细解决方案确定	n
6. 软件设置、软件测试	p 软件设置和设置文档提交	o
	q 软件单元测试	p
	r 软件集成测试	q
	s 系统测试	r
7. 切换准备和系统切换运行	t 用户手册编写	s
	u 最终用户培训	t
	v 期初数据收集整理	i/u
8. 系统运行评估和验收	w 系统切换运行	v
	x 系统运行评估	w
	y 系统验收	x

4.1 项目网络进度计划

根据 ERP 项目实施过程和各阶段活动之间的逻辑关系, 基于专家三点评估得到的活动历时、活动资源单位如表 2 所示。

表 2 活动历时、活动资源估计表

活动	前导	乐观	最可能	悲观	资源单位
a	-	2	3	4	2
b	a	3	7	9	3
c	a	4	5	6	3
d	a	6	7	8	2
e	d	6	7	9	4
...
o	n	4	5	6	4
p	o	6	7	9	2
q	p	3	5	6	6
r	q	4	5	8	2
s	r	7	8	10	3
t	s	4	5	7	4
u	t	10	15	17	3
v	i/u	4	6	8	3
w	v	25	30	33	2
x	w	5	6	7	5
y	x	2	3	4	6

4.2 模拟及输出评价

建立电子表格模型(如图 2 所示, 所显示数据仅为模拟数据一组), 其中:

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	IT项目进度风险预测													
2	活前	资	乐	最	悲	活	最	最	最	最	时	是	关	
3	动导	源	观	可	观	动	早	早	迟	迟	差	否	键	
4	a	2	2	3	4	3	0	3	0	3	0	1	1	
5	b	3	3	7	9	5	3	9	10	16	7	0	0	
6	c	3	4	5	6	4	3	8	12	17	9	0	0	
7	d	2	6	7	8	7	3	10	3	10	0	1	1	
8	e	4	6	7	9	7	10	17	10	17	0	1	1	
9	f	4	4	5	6	5	10	15	13	18	3	0	0	
10	g	4	4	7	8	6	17	23	17	23	0	1	1	
11	h	2	2	4	5	3	23	26	23	26	0	1	1	
12	i	3	100	120	130	116	26	142	40	156	14	0	0	
13	j	2	3	4	5	4	26	30	26	30	0	1	1	
14	k	5	35	40	43	39	30	69	30	69	0	1	1	
15	l	8	4	5	6	6	69	75	69	75	0	1	1	
16	m	3	10	13	17	15	75	90	75	90	0	1	1	
17	n	8	10	12	15	12	90	102	90	102	0	1	1	
18	o	4	4	5	6	5	102	107	102	107	0	1	1	
19	p	2	6	7	9	7	107	114	107	114	0	1	1	
20	q	6	3	5	6	5	114	119	114	119	0	1	1	
21	r	2	4	5	8	6	119	125	119	125	0	1	1	
22	s	3	7	8	10	7	125	132	125	132	0	1	1	
23	t	4	4	5	7	6	132	138	132	138	0	1	1	
24	u	3	10	15	17	13	138	151	138	151	0	1	1	
25	v	3	4	6	8	7	151	157	151	157	0	1	1	
26	w	2	25	30	33	27	157	185	157	185	0	1	1	
27	x	5	5	6	7	5	185	190	185	190	0	1	1	
28	y	6	2	3	4	3	190	193	190	193	0	1	1	
29								工期	193			1=yes		
30												0=no		
31								工时	1145					

图 2 风险评估电子表格

●H 列为假设单元格, 分别为对应活动的历时, 本文中均设为三角分布;

●D 列为资源数量, 在 IT 项目中主要是工时资源;

●N 列识别活动是否在关键路径上, 若为关键活动, 显示为 1, 否则显示为 0; 经多次抽样, 可将活动成为关键活动的可能性输出到 O 列;

●L29 为预测单元格, 对应项目模拟工期, 即关键路径长度, 根据它可以绘制出工期分布图, 从宏观角度判定各工期下项目完成的可能性;

●L31 为项目总工时, 对其加以限制将会对已经抽取到的不满足资源约束条件的活动历时随机数进行剔除, 避免影响判断。

设置模拟次数为 100,000 次, 资源约束条件设总工时上限为 1150, 对模拟得到的项目工期数据进行剔除后剩下 40,901 组数据, 统计结果如表 3 所示。

表 3 模拟统计结果

Mean	Variance	Skewness	Coeff.of Variability	Min	Max
194	16	-0.0221	0.0208	172	210

可知最大模拟工期为 210 天, 最小模拟工期为 172 天, 模拟工期均值为 194 天, 方差为 16. 在单位区段上, 工期频率分布如图 3.

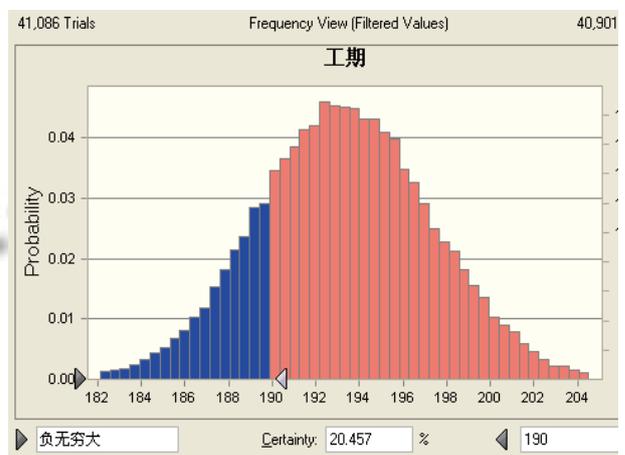


图 3 资源约束条件下工期频率分布图

由图 3 分析, 可得出结论, 在资源约束条件下, 项目在 190 天内完成的概率为 20.457%, 以 90% 的概率完成需要 200 天, 由此可见, 190 天内完成项目的风险太大, 200 天基本能保证项目的完成, 因此做决策时项目经理必须适当修改项目计划或加强风险管理才能保证项目顺利实施. 但是如何修改计划和进行风险管理, 还需要知

道哪些关键活动影响工期, 才能采取针对性的措施. 因此, 需要进一步分析项目活动对工期的影响程度.

灵敏度图(图 4)给出了各个假设单元格(即活动历时)及该单元格与预测单元格(项目工期)的相关系数, 相关系数显示了活动历时与项目工期之间的依存关系的强度.

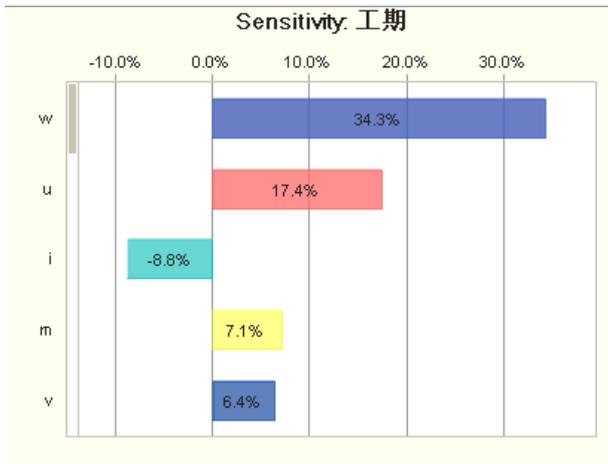


图 4 灵敏度图

由上图可知, 活动 w 的历时变化比其他的任何一个活动历时都有相对较高的相关系数, 所以在活动 w 上的任何延迟都会推迟项目的工期. 而统计数据也说明了活动 w 是最容易变化的, 它的最可能时间与悲观估计时间相差 5 天, 所以超过最可能时间的较长延迟也会经常发生. 因此, 缩减项目工期的最好方法是关注于引起活动 w 历时变化的深层次因素.

在模拟过程中, 可以看到关键路径随活动历时的变化而变化. 在模拟运行结束时, 单代号网络图所显示的数据为各活动成为关键路径上活动概率. 结合灵敏度图可知活动 w 对项目工期的影响极大, 在关键路径上的概率几乎为 100%; 活动 u 成为关键路径上活动的概率为 94%, 与工期的相关系数为 17.4%; 同时我们可以看到活动 b、c 成为关键路径上活动的可能性为 0, 活动 f 出现在关键路径上的可能性仅为 6%.

综合以上分析, 活动 w、u 等均以较高的概率出现在关键路径上, 同时由灵敏度图可知两个活动历时和项目工期相互关系系数较大, 因此对于此类活动应该高度关注.

5 结语

本文针对 IT 项目进度风险评估的准确性问题, 探

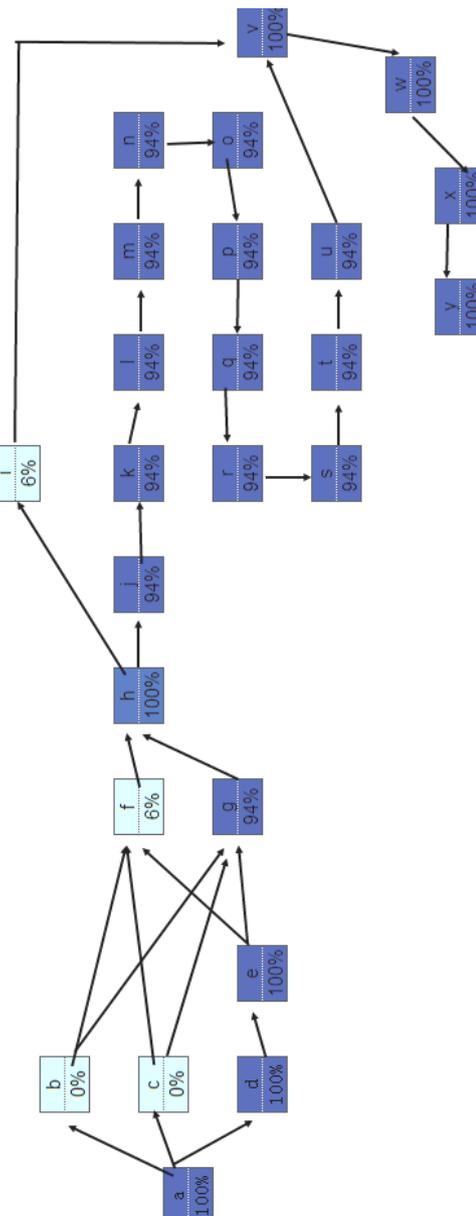


图 5 网络图关键路径

索了在资源约束条件下对项目工期因活动历时的随机波动而带来的变化进行研究, 形成了一种资源约束条件下基于蒙特卡洛模拟的 IT 项目进度风险量化评估方法, 该方法能够为 IT 项目进度关键路径的识别和基线定义提供一种有效实用的手段, 辅助项目决策, 提高风险管理质量.

参考文献

1 张珞玲, 李师贤. 软件项目风险管理方法比较和研究. 计算机

(下转第 38 页)

满意结果。由上述分析可知,两种优化 BP 算法的预报精度和收敛速度都较标准 BP 算法有较大的提高。

表 2 三种 BP 算法的比较

比较项目	标准 BP 算法	L-M 算法	遗传算法
训练次数	20000	915	254
学习时间	0:01:47	0:00:12	0:00:10
预报精度	0.0181	0.00105	0.001008
合格率	78.26%	100%	100%
确定性系数	0.7483	0.9958	0.9985
绝对误差和	1836.60	77.7771	3.0200
相对误差和	0.0106	0.00291	0.00097

4 结论

人工神经网络在洪水预报中应用前景广阔,但是从众多的神经网络中选取最适合建立洪水预报模型的算法很困难。本文以四川省达州市州河流域的洪水为研究对象,采用基于 L-M 算法和遗传算法优化的 BP 神经网络建立洪水预报模型,并与普通 BP 算法的预报结果进行了比较。从预报结果分析,两种优化后的 BP 算法收敛速度和预测精度均比标准 BP 算法有较大的提高,能够有效的避免 BP 网络陷入局部极小点,而遗传算法的收敛速度在三种算法之中是最快的,预测精度也是最高的,因此,遗传算法是最适合于建立洪水预报模型。

参考文献

1 Coulibaly P, Baldwin CK. Nonstationary hydrological time

(上接第 18 页)

- 工程,2003,(3):91-94.
- 2 Premachandra IM. An approximation of the activity duration in PERT. *Computers & Operations Research*, 2001, 28(5): 443-452.
- 3 钟登华,刘奎建,杨晓刚.施工进度计划柔性网络仿真的不确定性研究. *系统工程理论与实践*,2005(2):107-112.
- 4 王仁超,欧阳斌,王琳,褚春超.工程项目计划“关键性”问题拓展研究. *系统工程与电子技术*,2004-7,26(7):914-923.
- 5 王祖和,亓霞.多资源均衡的权重优选法. *管理工程学报*, 2002,16(3):91-93.
- 6 李平,顾新一.PERT 网络工程风险计算方法的研究. *统计与*

series forecasting using nonlinear dynamic methods. *J. Hydrol*, 2005, 307: 164-174.

- 7 赵玉庆.模糊神经网络及遗传算法在实时洪水预报中的应用研究[硕士学位论文].大连:大连理工大学,2012.
- 8 范睿.基于遗传算法的神经网络洪水预报研究与应用[硕士学位论文].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2005.
- 9 金保明.BP 神经网络在闽江十里庵流量预测中的应用. *水电能源科学*,2010,28(9):12-14.
- 10 文雨松,李整,邹希云等.基于桥墩历史水痕与气象预报的中小桥水害预测. *铁道学报*,2010,32(2):141-144.
- 11 王艳君,金生.河网水情预测的三种 BP 神经网络方法比较. *水电能源科学*,2010,28(2):19-21.
- 12 朱全银,戴峻峰.洪泽湖水位预测模型的研究. *计算机仿真*,2009,26(4):113-115.
- 13 阎平凡,张长水. *人工神经网络与模拟进化计算*.北京:清华大学出版社.2000:26-27.
- 14 隋彩虹,徐宗学.GABP 模型在渭河下游洪水预报中的应用. *人民黄河*,2007,(4).
- 15 殷峻逞,陈守煌,邱菊.基于遗传与 BP 混合算法神经网络预测模型及应用. *大连理工大学学报*,2002,42(5):594-595.
- 16 百度百科.渠江. <http://baike.baidu.com/view/746730.htm>, 2012,9.
- 17 飞思科技产品研发中心. *神经网络理论与 MATLAB7 实现*.北京:电子工业出版社.2005.
- 18 中华人民共和国水利部.SL250-2000 水文情报预报规范.北京:中国水利水电出版社.2000.
- 19 决策,2004(5):16-17.
- 20 王伟,蔡晨.在两资源约束项目环境中的关键链管理. *中国管理科学*,2003-10,11:4-8.
- 21 马国丰,屠梅曾,史占中,吴伟.基于关键链技术的项目进度管理系统设计与实现. *上海交通大学学报*,2004(3):377-381.
- 22 陈魁. *应用概率统计*.北京:清华大学出版社.2000.
- 23 曹成军,别朝红,王锡凡.蒙特卡洛法全周期抽样的研究. *西安交通大学学报*,2002,(4):344-352.
- 24 唐爱国,王如龙.基于贝叶斯网络的软件项目风险评估模型. *计算机工程*,2008,(22):91-93.