

基于贝叶斯网络的复杂工程 项目进度风险 Monte-Carlo 模拟

李蒙, 张云波

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 从分析复杂工程项目的风险特征入手, 为更好地控制其进度风险, 引入基于贝叶斯网络(BN)的复杂工程项目进度 Monte-Carlo 模拟方法, 构建了进度风险分析的仿真模型, 并结合一电力工程项目进行仿真实验和分析, 结果发现通过反向追溯研究可以找到影响复杂项目进度的相关风险因素的影响程度, 并采取针对性的控制措施。

关键词: 贝叶斯网络; 项目进度风险; 蒙特卡洛模拟

中图分类号: TP39 **文献标志码:** A

Monte-Carlo simulation on schedule risk in complex construction project using Bayesian networks

LI Meng, ZHANG Yun-bo

(School of Civil Eng. Huaqiao Univ. Xiamen 361021, China)

Abstract: Based on the analysis of the risk characteristics of complex projects, Monte-Carlo simulation on schedule risk using Bayesian networks was introduced and schedule risk model was built. An power project as an example is simulated and analyzed. The results showed that the reverse retrospective study can find affect extent of the risk factors related to complex projects, and targeted control methods can be adopted.

Key words: Bayesian networks(BN); project schedule risk; Monte-Carlo simulation

0 引言

近年来, 各地对基础设施的投资力度逐步增大, 工程项目逐步向大型化、复杂化方向发展。以海峡西岸经济区为例, 国务院在 2009 年明确发文指出应加大现代化基础设施建设的投资, 而这些基础设施项目是以能源、交通等为主的复杂工程项目。这些项目周期长、规模大、涉及行业领域范围广、利益

相关人众多, 在项目实施过程中, 会面临着许多不确定因素, 其中进度的延迟发生率极高。据调查, 仅在福建省内建成的项目中, 约 60% 的项目发生延迟。A. Al-Momani^[1] 指出复杂工程项目比一般工程更易发生工期延迟, 平均延迟率高约 20%。如果对这些关乎民生的复杂工程项目风险的管控不当, 使其工期延迟, 则可能造成一系列不良后果, 严重的甚至会导致公共安全事件。

收稿日期: 2011 - 11 - 10

基金项目: 国务院侨办基金项目(06Q0052); 华侨大学高层次引进人才基金项目(11BS415); 华侨大学“侨办”科研课题(11QZR06)

作者简介: 李蒙(1984—), 男, 湖北省武汉市人, 华侨大学讲师, 博士, 主要研究方向为土木工程施工与管理。

目前国内外关于项目风险度量的方法有很多,但这些方法大多建立在传统概率方法的基础上,如敏感性分析、概率分析、模糊逻辑技术、影响图以及 AHP 方法等^[2]. 这些方法没有清晰全面地表达项目工程与项目风险间的相互作用关系. 对于复杂工程项目而言,影响工程进度的风险因素众多且关系复杂,忽略这些风险之间的相互作用关系,则不可能准确地度量进度风险发生的概率,就会造成研究结果失真. 而当前对于风险的依赖关系方面的研究还不是很深入,主要集中在基于概率的计算方法,贝叶斯网络 BN(Bayesian networks) 却少见于风险依赖的文献之中. C. F. Fan 等^[3]首次将 BN 整合到风险管理决策支持系统之中,但是文献的重点是研究为什么给项目提供更多的资源活动能够降低风险. 文献[4-5]指出应用 BN 来建模的最重要优势在于:BN 模型具有非对称性,数据可以在任意一个节点输入,其他剩下的节点可以自动被重新计算. BN 一旦被建立,模型的逻辑结构从各个方面都不会受到限制. 可以发现,利用 BN 研究复杂工程项目的进度风险非常合适.

然而,通过 BN 方法只能得到进度风险发生的概率却无法计算出工程的进度,也无法知道究竟是哪些项目活动影响了项目的工期,这将对复杂工程施工的管控造成影响. 因此,本文在 BN 模型的基础上,整合 Monte-Carlo 模拟方法在进度的计算中,使风险事件以及受影响的活动能够直观反映.

1 复杂工程项目进度的 Monte-Carlo 与 BN 整合模型

复杂工程项目由许多项目活动组成,正是这些活动完成时间影响着工程项目的总工期或总进度,而风险事件是通过影响电力工程项目的各个项目活动来间接影响项目的总工期. 风险因素对项目的总进度是间接作用关系,而对于项目活动则是直接作用关系. 因此,可以利用工作分解结构(WBS)对复杂工程项目中的各项活动进行分解.

1.1 BN 模型

BN 是表示变量间概率依赖关系的有向无环图. 该有向无环图可以表示为 $G = \langle N, A, \theta \rangle$, 其中 G (graph) 表示有向无环图; N 表示图中的各个节点, 本文定义每个节点都为领域变量; A 表示变量之间的概率依赖关系,同时每个节点都对应着一个

条件概率分布表,用于表明该变量与母节点之间的概率依赖关系; θ 表示条件概率分布表的参数. BN 的一个关键特征是它提供了一种把联合概率分布分解为局部分布的方法,换句话说,BN 的图形结构编码了变量之间的概率依赖关系,具有清晰的语义特征. 这种独立性的语义说明了如何组合这些局部分布来计算变量之间的联合分布.

在 BN 的定量部分给出变量之间不确定性的数值度量. 本文用字母 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ 表示节点或者领域变量,用字母 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 表示变量的取值,可以将 BN 的联合概率分布表示为

$$p(x) = \prod_i p(x_i | \text{parent}(x_i)) \quad (1)$$

当变量数目很大时,运用联合概率分布进行计算通常是不可行的,概率数目是变量数目的指数幂,计算量难以承受. BN 利用独立因果影响关系解决了这个难题. BN 中的 3 种独立关系分别是:条件独立、上下文独立及因果影响独立. 3 种独立关系旨在把联合概率分布分解成更小的因式,从而达到节省存储空间、简化知识获取和领域建模过程、降低推理过程中计算复杂性的目的,因此可以说独立关系是 BN 的灵魂.

1.2 Monte-Carlo 与 BN 整合模型

Monte-Carlo 与 BN 仿真相结合,并利用复杂工程项目进度计算中所得出的关键路径来分析项目的进度是可行的. 一方面,BN 提供了一种解决风险事件之间相关性的方法,同时,BN 也能够将复杂工程项目的定性特征整合到进度风险的分析之中. 另一方面, Monte-Carlo 技术也具有许多优势. 它既可以得到一些对复杂工程项目进度的研究十分有用的信息,例如复杂工程项目活动的关键度和关键路径选取的问题,又可以利用 Monte-Carlo 模拟所得出的概率分布来描述风险事件导致项目活动的不确定性.

图 1 清晰地反映了基于 BN 的风险因素是如何影响着复杂工程的项目网络图. 假设整个进度-风险系统仅由 3 个 BN(BN_1, BN_2 和 BN_3) 以及 1 个独立的风险事件组成. BN 将具有相互作用关系的风险事件整合起来,作为一个整体来影响复杂工程项目的项目活动.

图 1 的下半部分实际上是项目活动的网络进度图,它表示活动与活动之间的先后关系,而风险事

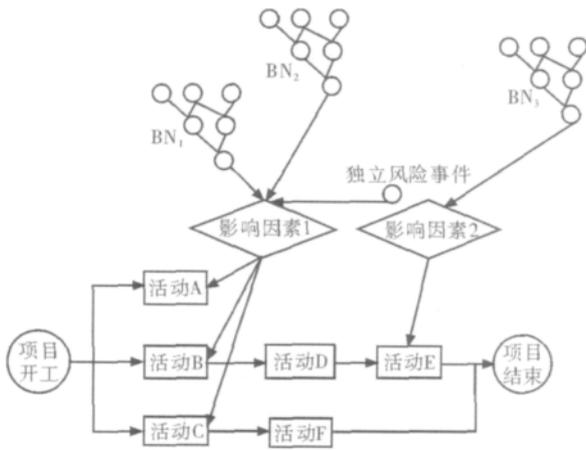


图1 Monte-Carlo与BN整合模型图

件对这些项目活动产生着影响,当风险事件真的发生了,根据专家意见对活动造成的影响值进行赋值.例如在图1中,如果独立的风险事件发生了,通过专家调查,认为它对活动A、活动B以及活动C都会产生影响,影响程度用 Monte-Carlo 方法来模拟,如模拟结果为活动延迟 2 d,那么项目的总工期就会发生相应的变化.根据风险事件与项目活动之间的风险传导,通过 Monte-Carlo 模拟技术就可以度量延迟风险对工程总工期的影响程度,亦可直观表示进度的变化情况.

2 仿真实验与分析

基于 BN 的 Monte-Carlo 仿真建模有 3 个阶段,即识别风险事件关联阶段、建立条件概率函数值阶段以及 Monte-Carlo 仿真实验阶段.本文以电力工程项目(作为复杂工程的一种)为例来阐述仿真实验的详细过程.

2.1 识别风险事件关联

本文采用的是非概率抽样,为了识别出主要延迟风险因素,参考了均值和信度系数 a . 均值表示风险事件的重要性程度,信度系数则表示测量的可靠性和稳定性.当均值和信度系数同时大于 3.5 和 0.8 时,风险因素被视为主要因素,表 1 排序是按照均值排序.

在表 1 的 12 种主要风险的基础上,利用 BN 的推理建立了有向无环图,得出了 14 对因果关系(见图 2). 其中,表 1 中所识别的 12 种主要风险依次对应为 A1, A2, …, A12, 而 A 表示的是电力工程项目的延迟风险. 调查表为风险因素之间的相互作用关系图,它是根据对 88 名电力工程专家的调查汇总后

表 1 主要进度风险因素

延迟风险	均值	a	排序
电力承包商偿还困难	4.25	0.85	1
项目时间计划过紧	4.12	0.87	2
政府审批程序过繁	4.01	0.81	3
项目甲方资金问题	3.97	0.83	4
项目计划安排不当	3.94	0.86	5
项目经理能力有限	3.88	0.81	6
天气状况恶劣	3.80	0.84	7
标的价格过低	3.73	0.82	8
技术工种能力低	3.70	0.84	9
供应商不能按时供货	3.67	0.81	10
物价波动	3.54	0.86	11
缺乏先进设备仪器	3.52	0.83	12

的结果. 调查表是一个矩阵表格,表格的左方(因)和上方(果)分别对应着 12 种主要风险. 要求专家对表中的因果关系进行打分. 其中 4 分表示“具有很强的因果关系”, 3 分表示“具有因果关系”, 2 分表示“具有一定的因果关系”, 1 分表示“有微弱因果关系”, 0 分表示“没有因果关系”. 该问卷是通过电话及电子邮件的方式, 88 份问卷都得到了回复, 回复率为 100%. 本文取均值超过 3.00 作为依赖关系的选择依据.

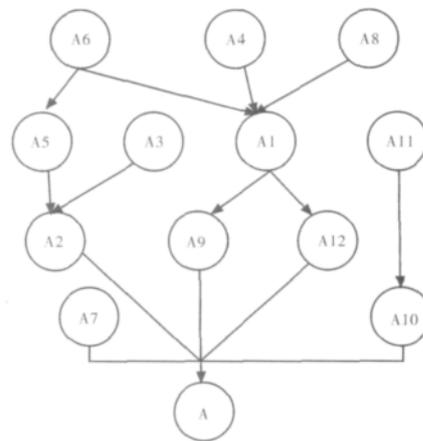


图2 风险因素之间作用关系

2.2 模型的构建

基于识别出的 12 种主要风险以及 14 对因果关系,可以构建出 BN. 假定每个风险因素只有 2 种状态,即风险因素会“发生”和“不发生”. 根据已知的各个风险因素的连带关系,由公式①可以得出各个主要风险发生的条件概率(如图 3 所示),而最终求得的延迟风险(A)发生的概率约为 0.65.



图 3 风险因素的条件概率值

2.3 Monte-Carlo 仿真实验

对于此电力工程项目,项目承建方运用 Repast 仿真软件结合 Monte-Carlo 模拟随机发生器对电力工程项目活动进行赋值.这个过程循环了 500 次,通过对应其影响作用的电力工程项目活动,得到了电力工程项目工期的变化仿真曲线,如图 4 所示.

针对分析的 12 种主要风险事件的影响,该电力工程项目的工期或者进度变化在 750 d 到 850 d 之间变化(计划周期为 789 d).在这 100 次仿真实验中,有 63 次的工期值超过了 789 d,则该工程延迟概率为 63%.电力工程项目的进度风险很大,需要对其进行有效的控制.

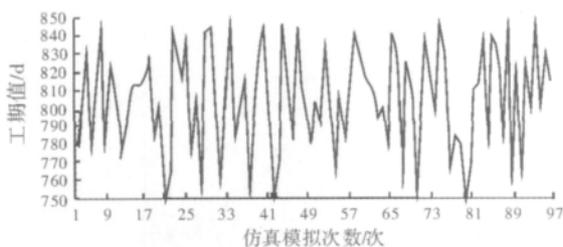


图 4 仿真实验结果

2.4 实验分析

由累积概率曲线反向追溯电力工程项目的工期完成的具体情况,并根据仿真模型找到影响电力工程项目工期的具体进度风险事件,作出影响程度分析.因此,通过进一步研究风险因素对工期的影响,得出了表 2 所示的影响程度表.

从表 2 中可以看出,“项目甲方资金问题”和“电力承包商偿还困难”对电力工程项目进度的影响程度较大,分别达到了 0.56 和 0.53.这也从一个

表 2 进度风险事件的影响程度表

序号	主要风险事件	影响程度
1	电力承包商偿还困难	0.53
2	项目时间计划过紧	0.47
3	政府审批程序过繁	0.27
4	项目甲方资金问题	0.56
5	项目计划安排不当	0.33
6	项目经理能力弱	0.43
7	天气状况恶劣	0.27
8	标的价格过低	0.45
9	技术工种能力低	0.29
10	供应商不能按时供货	0.27
11	物价波动	0.12
12	缺乏先进设备仪器	0.21

侧面说明资金问题是影响该电力工程项目进度的主要问题.因此,要想保证该项目的进度,首先就要确保用于该项目的资金充足.

另外,“项目时间计划过紧”、“标的价格过低”、“项目经理能力弱”以及“项目计划安排不当”对电力工程项目进度的影响也不容忽视.而这些问题,需要项目承建方自身来克服,如聘请更有经验的项目经理等.

3 结论

在复杂项目的工程施工中,进度的风险控制非常重要.本文利用基于 BN 的复杂工程项目进度的 Monte-Carlo 模拟将项目的进度变化清晰直观地表示出来,并通过反向追溯可以找到影响复杂项目进度的相关风险因素的影响程度,采取有针对性的控制方法,以促进电力工程项目顺利进行.

参考文献:

[1] Al-Momani A. Construction delay: a quantitative analysis [J]. Int J of Project Mana 2000, 18(1): 87.
 [2] 李良, 戎凯. 基于风险网络的大型工程项目风险度量方法研究[J]. 数学的实践与认识 2010, 40(22): 107.
 [3] Fan C F, Yu Y C. BBN-based software project risk management [J]. J of Syst and Software 2004, 73(2): 193.
 [4] Zou P X W, Zhang G, Wang J Y. Identifying key risks in construction projects: life cycle and stakeholder perspectives [C] // Proc 12th Pacific Rim Real Estate Society Conf, Auckland [s. n.] 2007.
 [5] 董立岩. 贝叶斯网络应用基础研究 [D]. 吉林: 吉林大学 2007.