

基于模糊工期的关键链缓冲区设置方法研究

仲 刚, 乞建勋, 苏志雄

(华北电力大学 电力管理与优化决策研究所, 北京 102206)

摘 要: 本文从主观的不确定性角度出发, 用简单的三角模糊数描述项目活动工期的不确定性, 利用一致指数法将项目中各活动的模糊工期转化为确定工期, 并在此基础上结合关键路径法对项目进行缓冲区设置, 同时对接驳缓冲区尺寸进行了修正。本文提出的缓冲区估计方法考虑了项目网络结构的特点, 使得缓冲区的设置更加科学、合理。

关键词: 关键链; 缓冲区; 关键路径法; 模糊工期; 自由时差; 一致指数

中图分类号: F224. 33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002 - 980X(2009)07 - 0048 - 03

1 项目计划技术的发展和关键链技术

从 20 世纪 60 年代开始, CPM (critical path method) 和 PERT (project evaluation and review technique) 快速发展, 并在项目管理领域发挥着重要的作用。特别是 CPM 中关键路线的思想, 使项目管理者找到了项目管理的关键因素, 项目管理水平得到了大幅度提高。但是 CPM 没有考虑到项目管理过程中存在的不确定性因素, 而 PERT 虽然考虑了活动工期的不确定性, 但是却没能提供一种有效的管理方法, 这使得 CPM 和 PERT 的应用在很大程度上受到限制。不过, CPM 中很多关于机动时间的新发现^[1]对于项目计划管理具有重要的启发作用。

1997 年 Goldratt 博士首先提出关键链法, 关键链为项目进行中存在的不确定因素的管理提供了一种很好的工具——缓冲区 (buffer), 它首先剥离了单个活动中的安全时间, 然后通过设置缓冲区来吸收不确定性带来的工期波动。基于上述优点, 关键链成为项目管理者青睐的管理工具, 同时也引起了众多学者的广泛关注。关键链技术研究中一个非常重要的研究方向就是关于缓冲区尺寸的确定。对于缓冲区大小的估计, 绝大部分学者所进行的研究都是基于概率的缓冲区估计方法, 目前主要有 Newbold^[2]提出的“剪切 - 粘贴”法和“根方差法”以及基于两种方法的改进方法^[3-6]。

在实际项目管理中, 人们对于工期的估计倾向于凭借经验或历史数据, 基于经验的模糊工期估计

更符合项目管理的实际。而在工期估计和缓冲区的研究中, 学者们侧重于从客观角度关注项目管理中的不确定性, 对于主观上的不确定性却很少关注。模糊数学理论就是一个处理主观不确定性的很好的工具。韩文民等^[7]通过将模糊综合决策和 Shannon 熵结合, 并综合了“专家”和“一线工人”两方面对项目的信息, 使得所提的方法更具针对性, 从而使得关键链缓冲数量设置适当, 能够较好地应对项目管理中的不确定性。Luong 和 Ario^[8]提出运用一种模糊关键链方法的项目调度来处理资源有限情况下的不确定性, 并通过计算模糊数确定缓冲区大小。Zhao 等^[9]提出了一种模糊关键链项目调度方法, 通过改进的遗传算法解决资源受限项目调度问题。

本文采用模糊工期从主观角度来描述项目工期的不确定性, 通过一致指数法进行估计工期, 并在此基础上结合 CPM 对项目进行缓冲区设置, 同时对接驳缓冲区尺寸进行了修正。

2 基于一致指数的模糊工期估计

2.1 所用符号及表达式说明

本文所用网络图为双代号网络图: 图中箭线表示活动; 节点表示活动的开始与结束。其他所用符号说明如下:

(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) , 三角模糊数, 用来描述模糊工期;
 (i, j) , 表示项目中的活动或任务; t_{ij}^h , 表示是在一致性水平为 h 的活动 (i, j) 工期估计; AI , 表示一致指数; ES_i , 表示节点 (i) 的最早开始时间; LF_i , 表示节点 (i) 的最迟结束时间; ES_{ij} , 表示活动 $(i,$

收稿日期: 2009 - 05 - 23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (70671040) 资助

作者简介: 仲刚 (1983 -), 男, 黑龙江双鸭山人, 华北电力大学工商管理学院硕士研究生, 研究方向: 项目进度计划管理; 乞建勋 (1946 -), 男, 河北邢台人, 华北电力大学工商管理学院教授, 电力管理与优化决策研究所所长, 博士生导师, 研究方向: 项目进度计划管理, 中国技术经济研究会会员, 登记号: I030100536S; 苏志雄 (1983 -), 男, 山西朔州人, 华北电力大学工商管理学院博士研究生, 研究方向: 项目进度计划管理。

j) 的最早开始时间; EF_{ij} , 表示活动 (i, j) 的最早结束时间; TF_{ij} , 表示活动 (i, j) 的总时差; FF_{ij} , 表示活动 (i, j) 的自由时差; μ^∇ , 表示项目计划中的关键链; μ , 表示接入关键链的非关键链。

2.2 三角模糊数

PERT 在项目管理中的应用给人们留下了深刻的印象, 在实际项目管理中人们习惯于使用 PERT 方法中的 3 点估计, 所以本文采用与 3 点估计相似而且比较简单的三角模糊数 (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) 来描述工期。三角模糊数 (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) 的隶属函数如下:

$$\mu(t_{ij}) = \begin{cases} \frac{(t_{ij} - a_{ij})}{(b_{ij} - a_{ij})}, & t_{ij} \in [a_{ij}, b_{ij}] \\ \frac{(c_{ij} - t_{ij})}{(c_{ij} - b_{ij})}, & t_{ij} \in [b_{ij}, c_{ij}] \\ 0, & t_{ij} \notin [a_{ij}, c_{ij}] \end{cases} \quad (1)$$

隶属函数 $\mu(t_{ij})$ 主要是靠专家或者项目经理根据项目特点、项目人员技能的综合判断来确定的, 活动 (i, j) 的工期不会小于 a_{ij} 也不会大于 c_{ij} , 而 b_{ij} 则是项目管理者心目中的理想工期。当活动 (i, j) 的工期等于 b_{ij} 时, 则隶属函数值达到峰值 $\mu(t_{ij}) = 1$, 其分布函数可用图 1 表示。

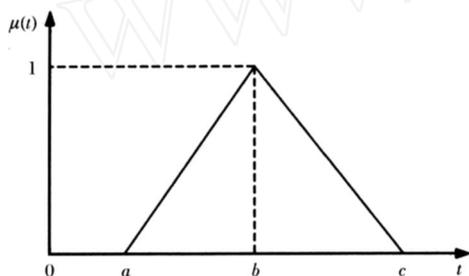


图 1 三角模糊数函数分布图

2.3 一致指数

一致指数(AI)是衡量两个模糊事件一致性的指标, 最早由 Kaufman 和 Gupta^[10] 提出。AI 的定义如下:

$$AI(A, B) = \frac{Area(A \cap B)}{Area(A)} \quad (2)$$

其中, $Area(A \cap B) = \int \mu_A \wedge \mu_B(t) dt$, $Area(A) = \int \mu_A(t) dt$ 。

一致指数的含义是指模糊事件 (A) 有多少比例在模糊事件 (B) 中, 也表示事件 (A) 相对于事件 (B) 的满足水平。一般情况下 AI 小于 1, 当事件 (A) 与事件 (B) 完全一致时, $AI(A, B) = 1$, 但是一致指数并不具备对称性, 即当 $AI(A, B) = 1$ 时, 并不能得出 $AI(B, A) = 1$ 的结论。本文正是利用一致指数方法将模糊工期网络计划转化为具有一定一致水平的一般网络计划。

2.4 可靠工期与一致指数

为了保证一个带有模糊工期的活动能够按时完成, 我们用在一定的一致性水平下的可靠工期作为网络的工期估计值。我们令基准比较工期为 $(0, t_{ij}^h, t_{ij}^h)$, 参照梯形分布的一致指数表达式^[18] 给出基于三角模糊数的一致指数表达式:

$$AI(A, B) = \frac{(c_{ij} - a_{ij}) - \frac{(c_{ij} - t_{ij}^h)^2}{(c_{ij} - b_{ij})}}{(c_{ij} - a_{ij})}, \quad (3)$$

经变换得:

$$t_{ij}^h = c_{ij} - \sqrt{(c_{ij} - a_{ij})(c_{ij} - b_{ij}) - AI(A, B)(c_{ij} - a_{ij})(c_{ij} - b_{ij})}. \quad (4)$$

式(4)中, t_{ij}^h 表示是一致水平为 h 的工期估计, 通过确定 AI 就可以求出活动 (i, j) 的可靠工期 t_{ij}^h 。对于一个带有模糊工期的项目计划, 设定每个活动的一致指数值, 我们就可以得到相应的一致性水平下的可靠工期估计。这样一个模糊网络计划就可以转化为确定的网络计划了。

3 关键链识别和缓冲区设置

3.1 关键链识别

在忽略资源约束的条件下关键链就是项目计划中的关键路线。总时差为零的活动组成的路线或由节点时差为零的节点组成的路线为关键链^[11]。关键链识别是项目应用关键链管理的重要步骤: 第一, 识别出关键链就求出了项目的总工期; 第二, 识别出关键链和关键活动可以求出项目缓冲的大小; 第三, 识别出关键链和关键节点就可以确定接驳缓冲区的插入位置, 同时也为缓冲区大小的修正提供参考。

3.2 缓冲区估计

我们这里采用根方差法对活动工期的不确定性进行处理。我们分别采用两种不同的一致性对模糊工期估计, 则缓冲区大小为

$$Buffer\ size = \sqrt{\sum_{\mu} (t_{ij}^{\mu_1} - t_{ij}^{\mu_2})^2}, \quad (5)$$

其中 μ 为任意路线。

则项目缓冲

$$PB = \sqrt{\sum_{\mu^\nabla} (t_{ij}^{\mu_1} - t_{ij}^{\mu_2})^2}, \quad (6)$$

接驳缓冲

$$FB = \sqrt{\sum_{\mu} (t_{ij}^{\mu_1} - t_{ij}^{\mu_2})^2}. \quad (7)$$

3.3 缓冲区设置步骤

Step1: 工期估计。首先根据式(4)按照一定的一致性水平对项目计划中的每个活动进行工期估计, 本文采用 50% 和 90% 的一致性对活动工期进行估计。

Step2: 识别关键链。求解网络中的时间参数。在不考虑资源约束条件下, 关键链即为项目计划中

的关键路径,找出网络计划中机动时间为零的活动组成的路线即为关键链。

Step3:插入缓冲区。在项目的结尾插入项目缓冲 PB , $PB = \sqrt{\sum_{j \in \mu} (t_{ij}^{0.9} - t_{ij}^{0.5})^2}$,在非关键链接入关键节点的活动的结尾插入接驳缓冲 FB , $FB = \sqrt{\sum_{j \in \mu} (t_{ij}^{0.9} - t_{ij}^{0.5})^2}$ 。

Step4:接驳插入缓冲区检验与修正。接驳缓冲的大小并不完全取决于式(7),接驳缓冲尺寸要满足条件 $FB \leq FF_{uv}$ 。若 $FB > FF_{uv}$,则令 $FB = FF_{uv}$,其中 FF_{uv} 是 (u, v) 表示非关键链接入关键链的最后一个活动的自由时差。

Step4 的正确性证明如下:

自由时差 FF_{uv} 的计算公式为 $FF_{uv} = ES_v - EF_{uv}$,所以 $ES_v = FF_{uv} + EF_{uv}$ 。

因为 (v) 是项目计划中的关键节点,又因为 (v) 是活动 (u, v) 的结束节点,所以当 $FB > FF_{uv}$ 时, $EF_{uv} + FB > EF_{uv} + FF_{uv}$, $ES_v > ES_v$ 。所以,当活动 (u, v) 使用缓冲区超过 FF_{uv} 时,关键链上的活动将被推迟,项目工期都将延长,缓冲区设置的最大量只能为接入链的最后一个活动的自由时差。证毕。

4 算例

本文以一个简单的算例来说明非确定条件下利用模糊方法对项目进行缓冲区设定。图 2 为某项目的模糊工期网络计划图。这里假设不存在资源约束,图中箭头线下面的数字表示模糊工期。

图 2 中,活动(9,10)为虚工序,虚工序不占用时间和资源,只是表示工序之间的前后关系。

1)通过一致指数把模糊工期转化为确定工期,分别以 50%和 90%的一致性水平计算各活动的工期,同时以 50%一致性水平时的工期为基准工期,求出网络计划的时间参数,见表 1。

表 1 某项目工期及网络计划的时间参数表

活动 (i, j)	模糊工期	μ_5	μ_9	ES_i	LF_j	TF_{ij}
(1,2)	(2 3 5)	3.27	4.23	0	24.06	20.79
(1,3)	(4 6 8)	6.00	7.11	0	6	0
(1,4)	(2 4 5)	3.78	4.45	0	18.77	14.99
(2,5)	(6 8 10)	8.00	9.11	3.27	32.06	20.79
(3,6)	(8 10 15)	10.82	13.13	6.00	16.82	0
(4,7)	(8 16 24)	16.00	20.42	3.78	34.77	14.99
(5,8)	(5 8 10)	7.76	9.00	11.27	39.82	20.79
(6,9)	(10 20 30)	20.00	25.53	16.82	36.82	0
(7,10)	(5 8 9)	7.59	8.37	19.78	42.36	14.99
(9,10)	(0 0 0)	0	0	36.82	41.36	5
(8,11)	(4 6 10)	6.54	8.45	19.03	46.36	20.79
(9,11)	(5 10 13)	9.54	11.45	36.82	46.36	0
(10,11)	(3 5 7)	5.00	6.11	36.82	46.36	4.54

2)找出机动时间为零的链路即为关键链:(1,

3),(3,6),(6,9),(9,11)。

3)计算缓冲区。 $PB = 6.39$; $FB_{8,11} = 2.71$; $FB_{10,11} = 4.67$ 。

4)接驳缓冲检验与修正。 $FF_{8,11} = 20.79$, $FB_{8,11} < FF_{8,11}$,所以 $FB_{8,11} = 2.71$; $FF_{10,11} = 4.54$, $FB_{10,11} > FF_{10,11}$,所以需要修正缓冲区 $FB_{10,11}$ 进行修正,即 $FB_{10,11} = FF_{10,11} = 4.54$ 。

在项目计划中插入缓冲,输出项目计划如图 3 所示,图 3 中箭头线下面的数字表示活动工期。项目总工期为:46.36 + 6.39 = 52.75 天。

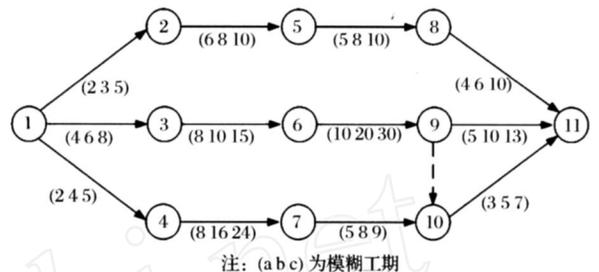


图 2 某项目模糊工期分布的网络计划图

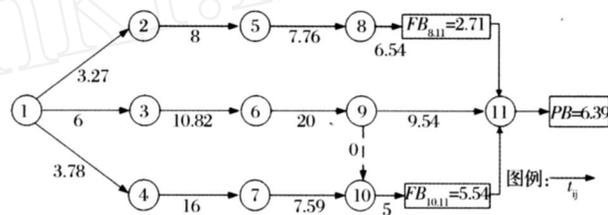


图 3 插入缓冲区后的网络计划图

5 结论

本文研究了基于模糊工期的关键链缓冲区的设置方法。首先以一致指数为工具将模糊工期转化为确定工期,从而使模糊的项目计划转化为确定的计划;在此基础上,对项目缓冲和接驳缓冲区设置方法进行了研究,同时对接驳缓冲区的尺寸进行了修正。本文提出的缓冲区估计方法考虑了项目网络结构的特点,使得缓冲区的设置更加科学、合理,而且该方法操作简单、易于实现,对实际项目管理有一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] 乞建勋,张立辉,李星梅.网络计划管理中的机动时间特性理论及其应用[M].北京:科学出版社,2009.
- [2] NEWBOLD R C. Project Management in the Fast Lane: Applying the Theory of Constraints[M]. St. Lucie Press, New York,1998.
- [3] ASHTIANIB J,ALALI GR,ARYANEZHAD MB,et al. A New Approach for Buffer Sizing in Critical Chain Scheduling[C]// IIEEM2007, 2007 IEEE International

(下转第 66 页)

Analysis on Total Factor Productivity of Livestock Industry in China and Its Influence factors During 1978—2007

Cao Jia ,Xiao Haifeng ,Yang Guang

(College of Economics & Management ,China Agricultural University ,Beijing 100083 ,China)

Abstract : This paper studies total factor productivity (TFP) of livestock industry in China during 1978-2007 and its influence factors by using extended Solow model and Cobb-Douglas production function. The result shows that the average annual growth of TFP of livestock in China is 4.71% ;on the whole ,the production of China's livestock industry belongs to increasing returns scale ,and the main factors influencing the change of TFP of livestock industry in China are livestock policy ,worker s education level ,scalization development and fund investment in livestock science and technology.

Key words : livestock industry ;total factor productivity ;influence factor

(上接第 50 页)

- Conference on Industrial Engineering and Engineering Management ,Piscataway :Computer Society ,2007 :1037-1041.
- [4] 王伟,蔡晨. 基于 PERT/ CPM 的关键链管理[J]. 中国管理科学,2003(6) :35-39.
- [5] YANG L X, FU Y, LI S Q, et al. A Buffer Sizing Approach in Critical Chain Scheduling with Attributes Dependent[C]// Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008 International Conference on Wireless Communications, Piscataway :Computer Society, 2008 :1-4.
- [6] 褚春超. 缓冲估计与关键链项目管理[J]. 计算机集成制造系统,2008,14(5) :1029-1035.
- [7] 韩文民,龚俏巧,刘智勇. 基于模糊综合决策及 Shannon 熵的关键链缓冲确定方法[J]. 江苏科技大学学报,2009, 23(1) :75-78.
- [8] LUONG D L, ARIO O. Fuzzy Critical Chain Method for Project Scheduling Under Resource Constraints and Uncertainty[J]. International Journal of Project Management, 2008, 26:688-698.
- [9] ZHAO Z Y, YOU W Y, LV Q L. Applications of Fuzzy Critical Chain Method in Project Scheduling[C]// Natural Computation, ICNC '08, Proceedings-4th International Conference on Natural Computation, ICNC 2008, Piscataway :Computer Society, 2008, 6:473-477.
- [10] KAUFMAN A, GUPTA M M. Introduction to Fuzzy Theory and Application[J]. Van Nostrand Reinhold, 1985, 351 :264-278.
- [11] 王晶. 关键链管理中关键链识别和缓冲区设置新方法研究[D]. 北京:华北电力大学,2008.

Study on Method for Buffer Placing in Critical Chain Management with Fuzzy Duration

Zhong Gang ,Qi Jianxun ,Su Zhixiong

(Institute of Electric Power Management and Decision-making Optimization ,North China Electric Power University ,Beijing 102206 ,China)

Abstract : In this paper ,fuzzy duration is adopted to describe the uncertainty of project duration from a subjective point of view. Triangular fuzzy numbers are adopted ,and the activity duration is determined by agreement index method. Then time buffers are placed based on Critical Path Method ,and the feeding buffer size are corrected. The method proposed for estimating time buffer in this paper ,takes into account the characteristics of project network structure so that the buffer can be placed more scientifically and rationally.

Key words : critical chain ;buffer ;critical path method ;fuzzy duration ;free float ;agreement index