

文章编号: 1673-9469(2011)02-0068-03

模糊网络计划的工作时差计算方法研究

李万庆¹, 陈慕杰¹, 孟文清²

(1. 河北工程大学 经济管理学院, 河北 邯郸 056038; 2. 河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 将三角模糊数引入到网络计划的时参计算中, 应用三角模糊数加法运算定理计算模糊最早时间, 应用 Minkowski 模糊减法运算定理计算模糊最迟时间和模糊时差。将模糊分布理论与线性规划理论相结合, 建立求解模糊时差的线性规划模型, 以克服时差计算中可能出现的模糊数为负值或模糊分布为非凸模糊数等无意义问题。与基于分层线性规划理论及模糊时差修正理论的计算方法相比较, 该模型得到的模糊时差始终为正值, 模糊分布为凸模糊数, 并且计算量小。

关键词: 模糊网络计划; 三角模糊数; 时差; Minkowski 减法; 线性规划

中图分类号: C931.1

文献标识码: A

Study of calculation method of working float time in fuzzy network planning

LI Wan-qing¹, CHEN Mu-jie¹, MENG Wen-qing²

(1. School of Economic and Management, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: The triangular fuzzy number was introduced into the calculation of the network planning, then the fuzzy early time was calculated by the theorem of triangular fuzzy number addition, the fuzzy late time and float time were calculated by the Minkowski subtraction. The fuzzy linear programming calculation model is proposed by fuzzy distribution theory and linear programming theory to overcome the non-frivolous issues, such as the negative number of fuzzy, the non-convex fuzzy distribution. By comparing the model based on hierarchical linear programming and the correction theory, the calculation results of the theory model show that the float time of fuzzy is positive, the fuzzy distribution is convex and the computation is smaller.

Key words: fuzzy network planning; triangular fuzzy number; float time; Minkowski subtraction; linear programming

网络计划技术是一种科学的计划管理方法。以网络图为基础的计划模型, 包括关键线路法(critical path method, CPM)和计划评审法(program evaluation and review technique, PERT)^[1]。在现代复杂的系统工程建设中, 工作的持续时间往往难以确定, 具有模糊性, 而传统的 CPM 法和 PERT 法都不能准确地描述这类系统的行为和特性^[2-3]。近年来各国学者相继开展了模糊环境下的网络计划理论研究, 文献[4]对模糊网络中的4种操作运算进行了分析比较, 所提出的算法可以计算网络

中工作最早时间参数, 但关于最迟时间参数和时差问题没有得到令人满意的结果^[5]。在基于对模糊网络计算方法的研究中, 修正的 Minkowski 减法的应用避免了反向迭代中模糊时间参数出现负值, 为网络参数的计算提出了一种新方法^[6], 但该方法所得时差有可能影响到总工期, 不符合现实意义。在此基础上, 模糊网络时间最迟时间和时差参数分层线性规划方法的提出^[7], 使模糊网络时间参数正向迭代和反向迭代形式得到了统一, 保证了有意义的网络时间参数, 但是由于该理

收稿日期: 2010-11-17

作者简介: 李万庆(1954-), 男, 河北临漳人, 教授, 从事工程管理方面的研究。

论模型在计算模糊时差时需要建立三个线性规划方程, 计算量较大。本文针对上述文献中计算模糊时差存在的问题, 提出一种新的模糊网络计划计算方法, 即采用 Minkowski 减法计算工作模糊时差, 当所得结果无意义时, 采用新的线性规划模型计算。

1 三角模糊数原理

工作时间的模糊分布有以下 2 个特点: (1) 在模糊区间 $[a, b]$ 内, 模糊分布始终是正值; (2) 在模糊区间 $[a, b]$ 上, 模糊分布曲线呈单峰状态。而选用三角形完工隶属函数表示工作持续时间不仅在理论上符合模糊分布的特点, 同时也符合人们对工期的理解。

设工作 $i-j$ 的模糊持续时间为 $t_{i-j} = (\underline{a}, a, \bar{a})$, 其中 a 为模值, \underline{a}, \bar{a} 分别为工作 $i-j$ 的两个阈值, 且有 $\underline{a} \leq a \leq \bar{a}$, 而 $\Delta \underline{a}, \Delta \bar{a}$ 则分别为 t_{i-j} 的左、右展宽, $\Delta \underline{a} = a - \underline{a}, \Delta \bar{a} = \bar{a} - a$ 。三角形完工隶属函数如式(1)所示, 其模糊分布如图 1 所示^[8]。

$$\mu_M(t) = \begin{cases} 0 & x < \underline{a} \\ \frac{x - \underline{a}}{a - \underline{a}} & \underline{a} \leq x \leq a \\ \frac{a - x}{a - \bar{a}} & a < x \leq \bar{a} \\ 0 & x > \bar{a} \end{cases} \quad (1)$$

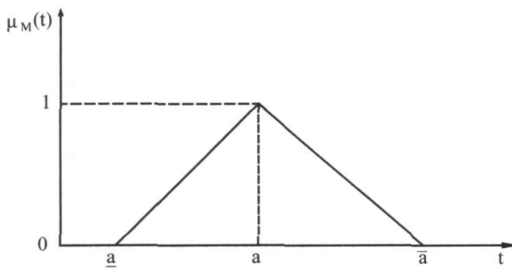


图1 三角模糊分布

Fig.1 Triangular fuzzy distribution

对于三角模糊数 $M = (\underline{a}, a, \bar{a})$ 和 $N = (\underline{b}, b, \bar{b})$, 由 Dubois 的 LR 型模糊数加法运算规则^[9]可定义

$$M + N = (\underline{a} + \underline{b}, a + b, \bar{a} + \bar{b}) \quad (2)$$

$$M - N = (\underline{a} - \bar{b}, a - b, \bar{a} - \underline{b}) \quad (3)$$

模糊极大和模糊极小运算^[10]为

$$\max(M, N) = ((\underline{a} \vee \underline{b}), (a \vee b), (\bar{a} \vee \bar{b})) \quad (4)$$

$$\min(M, N) = ((\underline{a} \wedge \underline{b}), (a \wedge b), (\bar{a} \wedge \bar{b})) \quad (5)$$

2 模糊网络工作时间参数计算

2.1 最早模糊时间计算

以 $J = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ 表示工程网络节点集合, $P(i)$ 表示节点 i 的紧前工作, $E(j)$ 表示节点 j 的紧后工作, ES_{i-j}, EF_{i-j} 分别表示工作 $i-j$ 的最早开始、最早结束时间。工作最早模糊时间参数计算从网络计划的起始节点开始, 顺着箭线方向依次逐项计算, 公式如下

$$ES_{i-j} = \begin{cases} [0, 0, 0] & P(i) = \phi \\ \max\{ES_{h-i} + t_{h-i}\} & P(i) \neq \phi \end{cases} \quad (6)$$

$$EF_{i-j} = \begin{cases} ES_{i-j} + t_{i-j} & E(j) \neq \phi \\ \max\{EF_{i-n}\} & E(j) = \phi \end{cases} \quad (7)$$

式中, $i, j, h \in J, ES_{h-i}$ —工作 $i-j$ 的各项紧前工作 $h-i$ 的模糊最早开始时间, t_{h-i} —工作 $i-j$ 的紧前工作 $h-i$ 的模糊持续时间, EF_{i-n} —工作 $i-n$ 的模糊最早结束时间。

2.2 最迟模糊时间计算

工作 $i-j$ 的最迟开始和最迟结束时间分别用 LS_{i-j}, LF_{i-j} 表示, 工作最迟模糊时间参数计算从网络计划的终点节点开始, 逆着箭线方向依次逐项计算, 公式如下

$$LF_{i-j} = \begin{cases} \max\{EF_{i-n}\} & E(j) = \phi \\ \min\{LF_{i-k}\} - t_{j-k} & E(j) \neq \phi \end{cases} \quad (8)$$

$$LS_{i-j} = LF_{i-j} - t_{i-j} \quad (9)$$

式中, LF_{i-k} —工作 $i-j$ 的各项紧后工作 $j-k$ 的模糊最迟完成时间, t_{j-k} —工作 $i-j$ 的各项紧后工作的模糊持续时间。

2.3 模糊时差计算

由式(8)和式(9)可以计算工作 $i-j$ 的总时差 TF_{i-j} 及自由时差 EF_{i-j}

$$TF_{i-j} = LF_{i-j} - EF_{i-j} \quad (10)$$

$$FF_{i-j} = ES_{j-k} - EF_{i-j} \quad (11)$$

由式(3)可知模糊数运算规则不同于实数运算, 三角形模糊数减法并不是模糊数加法的逆运算, 即 $(M + N) - N = (\underline{a} + \underline{b} - \bar{b}, a + b - \bar{b}, \bar{a} + \bar{b} - \underline{b}) \neq M$ 。因此, 如果将式(3)直接应用到工作模糊最迟时间及模糊时差计算中, 一是会使工作时间越来越模糊, 二是可能产生负的无意义的时间参数, 这是没有理论与现实意义的。而 Minkowski 减法^[11]

计算,可以使模糊加法和模糊减法互为可逆,降低了工作时间的模糊性,并可以反向迭代计算工作模糊最迟时间参数与模糊时差。公式如下:

$$M - N = (\underline{a} - \underline{b}, a - b, \overline{a} - \overline{b}) \quad (12)$$

但由于网络计划的自身特点及 Minkowski 减法的特点,计算模糊时差时有可能得到一非凸模糊数,则需要对该减法做修正。

设 x 表示模糊时差的模值, x_1, x_2 分别表示模糊时差的两个左右阈值。对于 Minkowski 减法所得的解,必须保证其左、右展宽为正值(即为一凸模糊数)即 $x - x_1 \geq 0, x - x_2 \leq 0$,同时还要求左、右阈值 x_1, x_2 在 Minkowski 减法所得到左、右展宽的范围内变动即 $x_1 \geq x - |(a - b) - (\underline{a} - \underline{b})|, x_2 \leq x + |(\overline{a} - \overline{b}) - (a - b)|$,这样才具有理论意义。而为保证所得结果具有现实意义,即要求 $x_1 > 0, x_2 > 0, x_3 > 0$,同时其结果不影响到后续工作,则 $(x_1, x, x_2) \leq (\underline{a} - \underline{b}, a - b, \overline{a} - \overline{b})$ 。因此,本文建立如下的模糊线性规划模型,既保证了时差的模糊分布为凸模糊数,而且得到的结果不影响后续工作的最早和最迟模糊时间参数。

$$\begin{aligned} \max f &= \frac{x}{x_2 - x_1} \\ \text{st.} &\begin{cases} x - x_1 \geq 0 \\ x - x_2 \leq 0 \\ x_2 - x_1 > 0 \\ x_1 \geq x - |(a - b) - (\underline{a} - \underline{b})| \\ x_2 \leq x + |(\overline{a} - \overline{b}) - (a - b)| \\ (x_1, x, x_2) \leq (\underline{a} - \underline{b}, a - b, \overline{a} - \overline{b}) \\ x_1 > 0, x_2 > 0, x_3 > 0 \end{cases} \quad (13) \end{aligned}$$

3 算例分析

采用文献[7]中的模糊网络计划为例,模糊网络计划如图2所示。通过正向迭代,由式(6)、(7)

计算工作模糊最早时间参数和模糊工期,采用式(12)的方法计算工作模糊最迟时间参数与模糊时差,当计算结果出现非凸模糊数时,采用式(13)方法计算,模糊网络时间参数计算结果如见1。

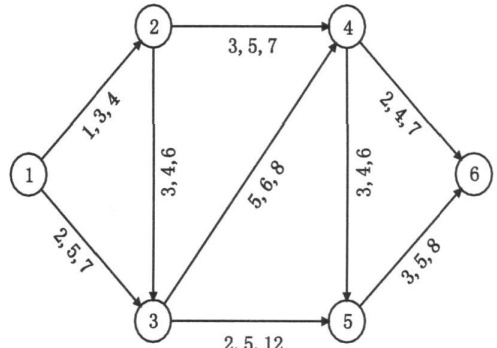


图2 某模糊网络计划图

Fig.2 Fuzzy network planning diagram

表1所得到的结果均符合三角形模糊分布,并且具有现实意义。以工作3-5为例,若采用 Minkowski 模糊减法得到总时差 $TF_{3-5} = (6, 5, 2)$,左右展宽分别为-1和-3,该结果是一非凸模糊数,不符合三角形模糊分布。若采用文献[6]中的修正方法,计算结果为 $TF_{3-5} = (4, 5, 8)$,由于 $TF_{3-5} + EF_{3-5} > LF_{3-5}$,工作的实际进度将会被拖延,不具有现实意义。文献[7]采用分层线性规划计算的结果为 $TF_{3-5} = (2, 2, 2)$,该模糊时差具有理论与现实意义,但是该方法在计算反向迭代时要将参数计算统一成加法迭代形式,并且在计算模糊时参时,需要建立三个线性规划模型,计算量大。采用本文的计算模型得到总时差 $TF_{3-5} = (1, 2, 2)$,不需要统一加法迭代形式,且只需要建立一个线性规划模型即可计算出模糊时间参数,计算量大大减少,计算结果较好的反映了工作时间模糊性特点。

表1 工作模糊时间参数

Tab.1 Working fuzzy time parameters

$i-j$	t_{i-j}	ES_{i-j}	EF_{i-j}	LS_{i-j}	LF_{i-j}	TF_{i-j}	FF_{i-j}
1-2	1, 3, 4	0, 0, 0	1, 3, 4	0, 0, 0	1, 3, 4	0, 0, 0	0, 0, 0
1-3	2, 5, 7	0, 0, 0	2, 5, 7	2, 2, 3	4, 7, 10	2, 2, 3	2, 2, 3
2-3	3, 4, 6	1, 3, 4	4, 7, 10	1, 3, 4	4, 7, 10	0, 0, 0	0, 0, 0
2-4	3, 5, 7	1, 3, 4	4, 8, 11	6, 8, 11	9, 13, 18	5, 5, 7	5, 5, 7
3-4	5, 6, 8	4, 7, 10	9, 13, 18	4, 7, 10	9, 13, 18	0, 0, 0	0, 0, 0
3-5	2, 5, 12	4, 7, 10	6, 12, 22	10, 12, 12	12, 17, 24	1, 2, 2	1, 2, 2
4-5	3, 4, 6	9, 13, 18	12, 17, 24	9, 13, 18	12, 17, 24	0, 0, 0	0, 0, 0
4-6	2, 4, 7	9, 13, 18	11, 17, 25	13, 18, 25	15, 22, 32	4, 5, 7	4, 5, 7
5-6	3, 5, 8	12, 17, 24	15, 22, 32	12, 17, 24	15, 22, 32	0, 0, 0	0, 0, 0

- genetic characterization of avian influenza viruses and a Newcastle disease virus from wild birds in Barbados; 2003–2004 [J]. *Avian Dis*, 2008, 51(3): 781–787.
- [2] QIN Z M, TAN L T, XU H Y, et al. Pathotypical characterization and molecular epidemiology of Newcastle disease virus isolates from different hosts in China from 1996 to 2005 [J]. *J Clin Microbiol*, 2009, 46(2): 601–11
- [3] CHIH F K, CHENG C C, CHIOU F L, et al. Abrogation of streptococcal pyrogenic exotoxin B-mediated suppression of phagocytosis in U937 cells by *Cordyceps sinensis* mycelium via production of cytokines [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2007(45): 278–285.
- [4] CHIH F K, CHENG C C, Yueh H L, et al. *Cordyceps sinensis* mycelium protects mice from group A streptococcal infection [J]. *Journal of Medical Microbiology*, 2005(54): 795–802.
- [5] OHTA Y, LEE J B, HAYASHI K, et al. In vivo anti-influenza virus activity of an immunomodulatory acidic polysaccharide isolated from *Cordyceps militaris* grown on germinated soybeans [J]. *J Agric Food*, 2007, 55(25): 10194–10199.
- [6] 秦雪. 冬虫夏草水提物抗人巨细胞病毒研究[D]. 南宁: 广西医科大学, 2009.

(责任编辑 马立)

(上接第70页)

4 结论

1) 利用模糊线性规划模型求解模糊时差, 计算量较小, 得到的模糊时差始终为正值并且是凸模糊数, 具有理论意义。

2) 模糊时差的中的模值与阈值均不影响后续工作, 为求解模糊时间参数开辟了一条新的途径。

参考文献:

- [1] 李万庆, 孟文清. 工程网络计划技术[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] MCMAHON C S. Using PERT as an approximation of fuzzy projection network analysis [J]. *IEEE Transaction on Engineering Management*, 1993, 40(2): 146–153.
- [3] 李若刚, 王国祥, 李跃. 基于网络计划模型中的时间不确定性的讨论[J]. *系统工程与电子技术*, 1997, 19(8): 40–45.
- [4] KANMOHAMMADI S, RABIMI F, SHARIFIAN M B. Analysis of different fuzzy CPM network planning procedures [C]. *Proceedings of the 2003 10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems*. Sharjah, United Arab Emirates, 2003: 1074–1077.
- [5] 褚春超, 郑丕谔, 王德东. 复杂工序关系的模糊网络计划分析与建模[J]. *天津大学学报*, 2006, 39(5): 631–636.
- [6] 张海涛, 何亚伯. 一种新的模糊网络计算方法[J]. *四川建筑科学研究*, 2007, 33(2): 204–206.
- [7] 胡劲松. 模糊环境下大型工程项目网络计划方法研究[J]. *工程学报*, 2002, 16(1): 15–17.
- [8] 胡宝清. 模糊理论基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- [9] DUBOIS D, PARADE H. Possibility theory: An approach to computerized processing of uncertainty[M]. New York: Plenum, 1988.
- [10] ROMMELANGER H J. Network Analysis and information flows in fuzzy environment [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1994, 67(1): 119–128.
- [11] 刘新旺, 达庆利. 模糊关键线路的近似算法[J]. *东南大学学报*, 1997, 27(5): 119–122.

(责任编辑 马立)