

基于模糊数学的工程造价动态快速估算方法

于 靖^{1,2}, 刘建民¹, 张 贺³

(1 西北工业大学 力学与土木建筑学院, 陕西 西安 710072 2 中国航天科技集团四院, 陕西 西安 710025
3 武汉铁路局襄樊铁路房建实业公司, 湖北 襄樊 441003)

摘要: 基于模糊数学分析法, 研究已建典型工程与拟建工程相似程度, 列出 8 个工程造价的影响因素, 采用模糊数学方法计算拟建工程各特征函数的隶属度函数和贴近度, 根据择近原则原理和已建工程的造价, 动态准确地计算出拟建工程的造价。
关键词: 模糊理论; 工程造价; 拟建工程
中图分类号: TB115 文献标识码: A 文章编号: 1007-7162(2007)02-0107-04

工程造价的构成因素和影响因素中存在着大量无法采用精确数学解决的问题, 而对于建设单位和施工企业双方来说, 工程造价决定着建设工程的投资效益. 如何适应建筑市场的各种变化和要求, 快速而又准确地估算出拟建工程的造价或作出工料分析, 在竞争日益激烈的今天, 是我们共同面临的课题, 如果引入模糊集合和模糊系统就可以很好地解决这个问题. 本文介绍一种基于模糊数学的工程造价动态快速估算方法.

1 动态快速估算方法应用的计算步骤

1.1 动态快速估算方法数学模型的建立

已知选取的类似已建工程为 n 个, 分别为 $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$, 其中 $i=1, \dots, n$. 将每一个工程分解为 m 个特征, 分别为 $T_1, T_2, \dots, T_j, \dots, T_m$, 其中 $j=1, \dots, m$, $T = \{\text{层高层数, 基础, 墙体, 内装修, 外装修, 楼地面, 门窗, 屋面} \dots \dots \}$ ^[1], A_i 为 T 上的模糊子集合, 由查德表示方法如下^[2]

$$A = t_{11} / T_1 + t_{12} / T_2 + \dots + t_{1m} / T_m. \tag{1}$$

1.2 数据库的建立

工程造价原始资料数据库的建立十分重要, 首先要收集大量的已建工程资料, 并把它们按用途进行分类, 按工程分类进行相应的编码工作, 对工程造价的数据进行收集、整理和输入, 建立资料数据库. 当对某一拟建工程进行估算时, 通过输入编码在计算机中按照工程的主要特征码, 从数据库中调出一定数量的类似已建工程的造价资料.

1.3 计算各工程特征的隶属度

1.3.1 隶属度

论域 X 上的模糊集合 H 定义为 $H = \{x, \mu_H(x) | x \in X\}$, 其中 $\mu_H(x)$ 称之为隶属函数, 它满足 $H: M \rightarrow [0, 1]$, 隶属空间为区间 $[0, 1]$, 隶属函数值 $\mu_H(x)$ 用于刻画元素 x 对模糊集合 H 的隶属程度, 即隶属度 $\mu_H(x)$ 的值越大, x 的隶属程度越高.

1.3.2 计算权重值和优先关系

所选用的工程按其特征计算优先关系, 如表 1

表 1 工程特征及权重值和优先关系

工程编号	层高层数	墙体	基础	内装修	外装修	楼地面	门窗	屋面
	说明 ca_i	说明 ca_i	说明 ca_i	说明 ca_i	说明 ca_i	说明 ca_i	说明 ca_i	说明 ca_i
A_1								
A_2								
...								
A_n								

表 1 中 ca_i 的计算为
$$ca_i = \frac{\text{本工程该特征费用} - \text{最低费用}}{\text{最高费用} - \text{最低费用}}. \tag{2}$$

工程项目的特征值计算如式 (3), 计算结果见表 2
$$\mu_{A_i} = 1/n[1 + (n - 1)ca_i] \quad (i = 1, \dots, n). \tag{3}$$

1.3.3 计算各特征隶属函数值

表 2 某一特征的隶属函数表

工程代号	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	$\mu_A(x)$
A_1	1	ca_1						ca_1	
A_2	ca_2	1						ca_2	
...									
A_n	ca_n	ca_n						1	

表 3 隶属函数汇总表

工程代号	层高层数	墙体	基础	内装修	外装修	楼地面	门窗	屋面	模糊关系 Aa_i	每平方米造价
A_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}		
A_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	a_{28}		
...	...	...	...	...	...	...	...	...		
A_n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	a_{n4}	a_{n5}	a_{n6}	a_{n7}	a_{n8}		

1 4 确定相似已建工程模糊集合

利用模糊数学的基本原理, 将拟建工程与已建工程的相似程度定量化, 计算各工程的模糊集合距离或贴近度.

1 4 1 距离公式度量模糊集合

当选用距离公式时, 优先选用加权海明距离公式, 而没有必要选用计算复杂的欧几里得或明可夫斯基距离公式.

加权海明距离公式为^[23]

$$d_M(A, B) = \left[\sum_{i=1}^n \omega(x_i) \right] |A(x_i) - B(x_i)|, \quad (5)$$

其中 $\omega(x_i)$ 是加于工程特征上的权重, 且 $\sum_{i=1}^m \omega(x_i) = 1, 0 \leq \omega(x_i) \leq 1$

1 4 2 格贴近度度量模糊集合

当进行手工计算时, 优先选用格贴近度. 格贴近度的计算方法如下.

设论域 X 上定义集合 $G(x) = \{s | ker \neq 0 \text{ 且 } \sup s \neq x\}$, $G(x)$ 的元素均为模糊集合, 令 $A, B \in G(x)$, 则有

$$A \cdot B = \bigvee_{x \in X} (A(x_i) \wedge B(x_i)) \text{ (先取小后取大)}, \quad (6)$$

$$A \odot B = \bigwedge_{x \in X} (A(x_i) \vee B(x_i)) \text{ (先取大后取小)}, \quad (7)$$

$$\text{贴近度 } \sigma(B, A_i) = 1/2[B \times A_i + 1 - B \odot A_i] \\ (i = 1, \dots, n), \quad (8)$$

其中: $\vee$ 表示比较后取大, $\wedge$ 表示比较后取小. $A \cdot B$ 称为 A 与 B 的内积, $A \odot B$ 称为 A 与 B 的外积^[2].

通过上述公式求出拟建工程与已建工程的贴近度, 从而将拟建工程的相似程度定量化, 将计算出来的拟建工程与每一个已建工程的贴近度从大到小排序: $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$. 按照择近原则, 取前三个加权海明距离近或贴近度大的工程的造价, 加权海明距离越近或贴近度越大, 说明两个模糊子集相似程度越好.

1 3 4 计算隶属函数值

按照表 2 计算各个特征的隶属函数, 并汇总如表 3

表 3 中模糊关系系数 Aa_i 的计算式为

$$Aa_i = 1/8(a_{i1} + a_{i2} + \dots + a_{in}) \quad (i = 1, \dots, n). \quad (4)$$

1 5 应用模糊数学的动态估算公式求出拟建工程的造价

1 5 1 工程造价数学估算公式

建立工程造价估算公式^[4]:

$$E'_x = \gamma E_x, \quad (9)$$

其中:

$$E_x = l \left[E_1 \sigma_1 + E_2(1 - \sigma_1) \sigma_2 + E_3(1 - \sigma_1)(1 - \sigma_2) \sigma_3 + \right. \\ \left. \frac{1}{3}(E_1 + E_2 + E_3)(1 - \sigma_1)(1 - \sigma_2)(1 - \sigma_3) \right], \quad (10)$$

为调整系数, 经验公式为

$$l = 1 + 1/m \left[1/8(B_a/A_{\sigma 1} - 1) + 0.8(B_a/A_{\sigma 2} - 1) + 0.4(B_a/A_{\sigma 3} - 1) \right], \quad (11)$$

m 为特征元素的个数 (本文为 8), B_a 为拟建工程的模糊关系系数.

$$B_a = 1/8(b_1 + b_2 + \dots + b_8). \quad (12)$$

$A_{\sigma 1}, A_{\sigma 2}, A_{\sigma 3}$ 为已建工程的模糊关系系数; γ 为动态系数, 由经验得出; E'_x 为所要计算的动态工程估价^[3,4].

1 5 2 确定动态系数

由于数据库中的已建工程造价是由其建造年份的价格和费用构成, 价格和费用及相关政策是随建造年份不同而动态变化的, 而且其建造结构和构造也不尽相同, 应考虑这种资金时间价值因素. 另外, 考虑到投标企业自身施工管理能力和技术资质等级的不同, 则要引入动态系数 γ 对工程造价计算结果进行修正, 使建立的模型为动态的, 其结果会更加准确. 动态系数 γ 的确定, 要结合本地区的实际情况, 由建筑企业工程技术人员和预算人员共同决定, 具体根据各施工工程单方造价的经验而确定, 经验取值一般为 $0.8 \sim 1.6$ ^[5].

1 5 3 进行计算结果的校验

将所求出的拟建工程造价作为已知, 列入数据

库的已建工程中, 重复计算步骤求出其中典型工程的造价, 校验计算精度.

2 实例

以上说明了模糊数学的工程造价动态快速估算方法, 现结合实例加以具体说明.

- 1)建立工程造价原始资料数据库
- 2)计算权重值和优先关系

按照从数据库中调出的 6个工程的特征和造价数据, 采用公式 (2)计算出的 ca 如表 4(表中 A_1-A_6 的单方造价分别为: 537.18元, 816.96元, 501.92元, 756.46元, 627.35元, 486.35元):

表 4 工程特征优先关系表 (ca_i)

工程 编号	层高	墙体	基础	内装 修	外装 修	楼地 面	门窗	屋面
A_1	1	0	1	0.96	1	0.43	0	0.85
A_2	0.5	0.45	0.53	1	0.6	0.23	0.79	0.41
A_3	1	0.67	1	0	0.83	0	0.82	0.98
A_4	0.8	1	0.76	1	0.88	0.37	0	1
A_5	0	0.83	0.85	0.81	0.5	0.79	1	0.69
A_6	1	0.46	0	0.93	0	0.35	0.87	0

- 3)计算隶属函数值
- 根据表 4计算的隶属函数数据汇总如表 5

表 5 工程特征隶属函数表

工程 代号	层高 层数	墙体	基础	内装修	外装修	楼地面	门窗	屋面	模糊关系 Aa_i	造价 / (元 · m ⁻²)
A_1	1	0.167	1	0.967	1	0.53	0.167	0.875	0.712	816.96
A_2	0.583	0.542	0.608	1	0.667	0.358	0.825	0.508	0.164	537.18
A_3	1	0.725	1	0.167	0.858	0.167	0.85	0.983	0.719	501.92
A_4	0.823	1	0.8	1	0.9	0.614	0.167	1	0.789	756.46
A_5	0.167	0.858	0.875	0.842	0.583	0.825	1	0.742	0.737	627.35
A_6	1	0.55	0.167	0.942	0.167	0.458	0.892	0.167	0.543	486.35

4)格贴近度度量模糊集合

拟建工程的设计方案已经确定, 根据已经确定的设计方案可以得出各特征因素的参数, 通过每一个特征参数与数据库中相应的工程特征参数和隶属函数值的变化曲线来确定该参数的隶属函数值, 即可以得到拟建工程的 8个特征参数的隶属函数值分别为 $b_1 = 1$, $b_2 = 0.84$, $b_3 = 0.63$, $b_4 = 0.70$, $b_5 = 0.53$, $b_6 = 0.89$, $b_7 = 0.55$, $b_8 = 0.67$

(1)拟建工程与 A_1 的贴近度计算

根据公式 (6)、(7), 得

$$A_1 \bullet B = \bigvee_{x \in X} (A_1(x_i) \wedge B(x_i)) = (1 \wedge 1) \vee (0.84 \wedge 0.167) \vee (0.63 \wedge 1) \vee (0.7 \wedge 0.967) \vee (0.53 \wedge 1) \vee (0.89 \wedge 0.53) \vee (0.55 \wedge 0.167) \vee (0.67 \wedge 0.875) = 1$$

$$A_1 \oplus B = \bigwedge_{x \in X} (A_1(x_i) \vee B(x_i)) = (1 \vee 1) \wedge (0.84 \vee 0.167) \wedge (0.63 \vee 1) \wedge (0.7 \vee 0.967) \wedge (0.53 \vee 1) \wedge (0.89 \vee 0.53) \wedge (0.55 \vee 0.167) \wedge (0.67 \vee 0.875) = 0.55$$

则根据公式 (8)得

$$\text{贴近度 } \sigma_1(B, A_1) = 0.725$$

(2)拟建工程与 A_2-A_6 的贴近度计算

同理, 贴近度 $\sigma_2(B, A_2) = 0.535$

$$\text{贴近度 } \sigma_3(B, A_3) = 0.65$$

$$\text{贴近度 } \sigma_4(B, A_4) = 0.645$$

$$\text{贴近度 } \sigma_5(B, A_5) = 0.629$$

$$\text{贴近度 } \sigma_6(B, A_6) = 0.735$$

通过上述公式求出拟建工程与已建工程的贴近度, 从大到小排序为: $\sigma_6 > \sigma_1 > \sigma_3$. 按照择近原则, 取前 3个贴近度大的工程 A_6, A_1, A_3 , 单方工程造价分别为: $A_6 = 486.35$ 元, $A_1 = 816.96$ 元, $A_3 = 501.92$ 元.

(3)拟建工程单方造价估算

根据公式 (11)、(12)分别计算得出:

$$B_a = 1/8(1 + 0.84 + 0.63 + 0.7 + 0.53 + 0.69 + 0.55 + 0.67) = 0.726$$

$$l = 1 + 1/8[1.8 \times (0.726/0.543 - 1) + 0.8 \times (0.726/0.719 - 1) + 0.4 \times (0.726/0.712 - 1)] = 1.078$$

根据公式 (9)、(10)分别计算得出:

$$E_x = 1.078 \times [486.35 \times 0.735 + 816.96 \times (1 - 0.735) \times 0.725 + 501.92 \times (1 - 0.735) \times (1 - 0.725) \times 0.65 + 1/3(486.35 + 501.92 + 816.96) \times (1 - 0.735) \times (1 - 0.725) \times (1 - 0.65)] = 596.74$$

取 $\gamma = 1.2$ 则 $E'_x = \gamma E_x = 1.2 \times 596.74 = 716.09$ 即拟建工程的单方造价估算值为 716.09元.

(4)计算结果的校验

将所求出的拟建单方工程造价 716.09元作为

已知, 列入数据库的已建工程中, 按照上述步骤对 A_1 的单方造价进行估算. 得出 A_1 的单方造价为 526.45 元, 已知 A_1 的单方造价为 537.18 元, 误差为 $(537.18 - 526.45) / 537.18 \times 100\% = 2\% < 5\%$, 因此采用本文的方法进行工程造价估算是可行的.

3 结论

这种方法适用于有共同特征的相似工程项目, 可以快速估算出拟建工程的造价. 该方法在计算中有大量重复的步骤, 电算程序可以简捷快速求出所要的结果. 值得加强的是数据库的建立, 这需要大量的前期基础工作, 数据库的资料不够数量和准确, 再好的计算方法也无济于事. 再则, 动态系数的测定也十分重要, 如何将该系数建立在一个科学的基础上, 客观地反映出资金的时间价值, 有待我们进一步完善.

模糊集合度量公式, 无论采用距离公式还是贴近度, 都只能在一定程度上反应两个模糊集合之间的差异, 到目前为止, 尚无一种完美无缺的模糊集合度量公式, 所以在这方面还有待进一步研究.

参考文献:

- [1] 蒋泽军. 模糊数学教程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [2] 张伟, 王亚平, 林杰. 工程合理成本的模糊估测模型及应用研究 [J]. 铁道学报, 1998, 20(3): 19-24.
- [3] 郑周练, 邓绍江, 高师嫫. 建筑工程造价的模糊确定 [J]. 重庆大学学报, 2001, 24(1): 55-58.
- [4] 谢贤平. 土建工程造价估算的模糊数学方法 [J]. 有色金属设计, 1996(1): 67-71.
- [5] 王桢显. 土木建筑工程管理中的模糊数学方法 [M]. 长沙: 湖南大学出版社, 2000.

The Fast Dynamic Algorithm of the Cost of Construction Based on Fuzzy Mathematics

YU Jing^{1,2}, LU Jian-min¹, ZHANG He³

(1. Department of Civil Engineering and Architecture, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

2. The Fourth Academy of Aerospace Science & Technology Corporation, Xi'an 710025, China

3. Building Industry Company of Xiangfan of Wuhan Railway Bureau, Xiangfan 441003, China)

Abstract Based on the method of fuzzy mathematics, the similarity of the projects completely built and to be built is studied, and eight factors affecting the cost of the project have been proposed. All the eigenfunctions and the approaches of the project completely built are calculated in this paper. According to the fabrication cost of the project being built, the fabrication cost of the project to be built can be determined accurately and rapidly.

Key words fuzzy theory; cost of construction; project to be built