

# 运用模糊综合评判理论评价软件质量<sup>①</sup>

## Applying Fuzzy Theory to Software Quality Evaluation

朱 锐 王成良 (重庆大学 软件学院 重庆 400044)

**摘要:** 为了对软件开发的质量进行有效的识别和评价,可以通过对软件开发中质量特性的分析和归纳,建立模糊层次综合特性评价模型,运用层次分析法确立软件质量的各因素的权重,得到评价矩阵并对其做模糊化处理,然后通过运算得到综合评价结果。本文对有些情况下单层模糊综合评判得不出评判结果最大隶属度的问题,可以采取双层模糊综合评判来得出最大隶属度的问题进行讨论,从而为软件质量控制以及评价提供了科学依据。

**关键词:** 软件开发 质量特性 单层模糊综合评价 双层模糊综合评判

### 1 问题的提出

质量是影响软件开发过程管理的重要因素之一。一个重要的环节就是对产品质量的各个因素、生产过程的各个环节、各个阶段不断地进行评价、验证和审核。也就是说,只有对软件的质量状态进行客观的度量 and 评价,才能对软件生产实施高效的质量控制。积极把握软件的质量状况才能够科学促进软件质量的提高以及对软件质量进行有效的评价。

在软件工程领域,不少人对软件质量的评估进行探索与实践,提出了有关软件质量的一些定义、度量方法、评价体系与标准。文献[1]提出了质量因子评估模型;文献[2,3]开发和发布了 FURPS 评估模型及 ISO9126 / 14598 软件质量模型标准。然而,由于软件特性和质量因子等大都具有模糊特性,很多因子不能用确定的数值来表示,只能进行主观测度,难以直接用经典数学方法进行精确度量。另外,软件质量的特性还受多个因子影响,需要由多个质量因子进行综合评估。所以建立合理的软件质量定量评估模型显得尤为重要。

模糊数学是描述模糊现象的数学,近年来在国内受到极大关注,将模糊数学理论应用于工程实践,具有很高的实用价值,产生了巨大的经济效益。而软件质量评价本身就是一个模糊的概念,没有一个精确的指标数值,传统的精确定量测量无法对软件质量进

行正确评价,所以可以用模糊数学里的综合评判理论来评估软件开发质量。本文就是将探讨如何运用模糊集理论实现软件质量的有效与合理评估。

### 2 软件质量评价指标

ISO / IEC9126 系列标准定义了软件产品质量模型, ISO / IEC14598 系列标准定义了软件质量评价过程模型。这 2 套标准为软件质量的评价提供了依据,如图 1 所示。

### 3 模糊综合评判理论

#### 3.1 模糊关系矩阵的确定

定义第  $i$  个因素的单因素评定为  $U \rightarrow R (u_i) = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{ij}, \dots, r_{im})$   $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$  式中:  $R (U_i)$  为因素  $U_i$  的评语模糊向量;  $r_{ij}$  为第  $i$  个因素的评定对于第  $j$  个等级的隶属度,即关于  $U_i$  具有  $v_j$  评语的程度。根据得到的模糊关系矩阵,建立单因素综合评定关系矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} = (r_{ij})_{n \times m}$$

<sup>①</sup> 收稿时间:2008-09-05

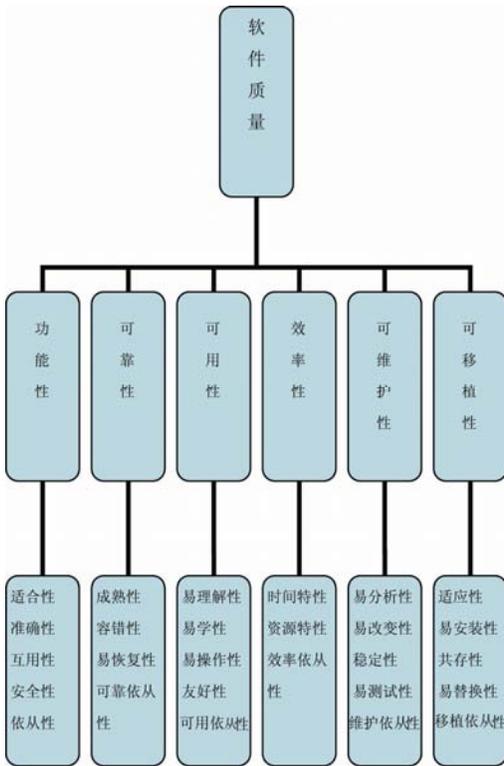


图 1 软件质量评价指标

### 3.2 权重

据统计方法或专家评分等方法，建立各因素之间的权重分配，对各因素进行统一权衡。权系数矩阵表示为：

$$M=(m_1, m_2, \dots, m_i) m_i \geq 0, \text{ 且 } \sum_{i=1}^n m_i = 1$$

### 3.3 最大隶属原则

设论域  $U$  上的  $n$  个模糊子集  $A_1, A_2, \dots, A_n$  构成一个标准模型库，若对任一元素  $u_0 \in U$  有  $\mu_{A_i}(u_0) = \max\{\mu_{A_1}(u_0), \mu_{A_2}(u_0), \dots, \mu_{A_n}(u_0)\}$  则认为  $u_0$  相对隶属于  $A_i$ 。

### 3.4 模糊变换

#### 3.4.1 模糊乘积

设  $Q=(q_{ik})_{m \times l}$ 、 $R=(r_{kj})_{l \times n}$  分别为  $U \times V$  与  $V \times W$  上的两个模糊关系，则  $Q$  与  $R$  合成  $Q \circ R = S=(s_{ij})_{m \times n}$  其中  $s_{ij} = \bigwedge (q_{ik} \vee r_{kj}) (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, l)$  则为矩阵的合成或模糊矩阵乘积或模糊乘积。

#### 3.4.2 模糊变换

一个有限模糊子集  $A$  可以用模糊向量  $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$  表示，论域  $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ ， $a_i$  是相应的隶属度  $\mu_A(u_i) (i=1, 2, \dots, n)$ 。模糊向量可以

看成只有一行的模糊矩阵。

给定一个模糊矩阵

$$R=(r_{ij})_{n \times m} \quad (0 \leq r_{ij} \leq 1)$$

和一个模糊向量

$$A=(a_1, a_2, \dots, a_n) \quad 0 \leq a_i \leq 1 (i=1, 2, \dots, n)$$

则称  $A \circ R = B=(b_1, b_2, \dots, b_m)$  为模糊变换。算符  $\circ$  是按“最大最小”原则也就是上面的模糊乘积来计算。

### 3.5 模糊综合评判的运算模型

#### 3.5.1 单层模糊综合评判

##### ① 模糊变换法

以  $R$  表示模糊评判矩阵， $A$  表示加权向量，要求的各个元素和等于 1 即  $\sum a_i = 1$ 。通过模糊变换方式即最大最小原则获得评价结果向量计算公式为：

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

此时无论  $r_{ij}$  的值如何， $a_i \wedge r_{ij}$  的结果都不能大于实际上没有起到加权的作用而是起到“过滤”、“限制”的作用。在下一步运算中通过取大，在  $n$  个  $a_i \wedge r_{ij}$  中只取一个最大值，淘汰了其他因素，故这种运算类型又称为主元素决定型<sup>[4,5]</sup>。

##### ② 以“乘”代替“取小”

计算公式为：

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i r_{ij}) \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

这时的  $a_i$  不再是起过滤限制的作用确实是在加权但下一步仍是取大运算  $A$  仍未能全部进入主因素的作用仍然突出。

##### ③ 以“加”代替“取大”

计算公式为：

$$b_j = \sum_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

这时的仍然起过滤限制作用但以求和代替取大各个因素都有参加作用的机会主因素的作用不再那么突出了。

##### ④ 加权平均

计算公式为：

$$b_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

在加权平均算法中按普通矩阵乘法计算权向量与评价矩阵的乘积。这种算法在评价结果向量中包括所有因素的共同作用，真正体现了“综合”。

### 3.5.2 多层模糊综合评判

在复杂的系统中，因素很多，如果权重的分配比较均衡，由于权重重要满足  $\sum a_i = 1$ ，当因素数  $n > 10$ ，其中会有多数  $a_i < 0.1$ ，在使用模糊变换等一类突出主因素方法时，在“取小”运算后，微小的权数会“淹没”多数评价因素值，这样就无法求出解答。

对这类问题，可以把因素按特点分成几层，先对每一层内进行综合评判，再对评判结果进行高层次的综合评判<sup>[6,7]</sup>。

记主特性因素集为：

$$U = (U_1, U_2, \dots, U_n)$$

子特性因素集为：

$$U_i = (u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ik}) \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

先对每个  $U_i$  的  $k$  个因素做综合评判，有

$$B_i = A_i \circ R_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

再做总的综合评判得：

$$B = A \circ R$$

其中  $A$  为新的权重向量， $R$  为总的评价矩阵，有

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_n \end{bmatrix}$$

最后的  $B$  是对所有因素的综合评判结果。

## 4 模糊综合评判理论在软件质量评价中的应用

在对软件质量进行质量评价时，可用正确性、可靠性、易用性、可移植性、可维护性、效率等 6 个质量特性为评价基础，建立评价软件的质量因素集，即  $U = \{\text{正确性, 可靠性, 易用性, 可移植性, 可维护性, 效率}\}$ ；软件质量评价一般采用如下方法：首先确定评价标准，将软件质量划分为 4 个等级（优秀、良好、一般、差），通过专家经验法确定各个等级上的值（ $v_1, v_2, \dots, v_5$ ），当度量值在（ $v_1, v_2$ ）上时软件质量为优秀，在（ $v_2, v_3$ ）上时软件质量为良好，依次类推，从而依据这些度量值建立评价矩阵。根据该软件实际

应用特点，评价者对各种因素的重视程度，也就是给出各质量因素的权重。最后利用模糊数学综合评价中的模糊变换得到综合评判结果<sup>[8]</sup>。

本文以重庆某科技公司管理信息系统为例，来进行评价。首先利用单层模糊综合评判。

### 4.1 单层模糊综合评判

①软件质量因素集：

软件因素集是根据软件实际开发中的 6 个主特性因素，来构成质量特性评价指标体系的因素集：

$U = \{\text{正确性、可靠性、易用性、可移植性、可维护性、效率}\}$

②软件质量评判集：

评价等级通常可分为优秀、良好、一般和差

$V = \{\text{优秀, 良好, 一般, 差}\}$

③权重向量

权重向量是评价者对各种因素的重视程度，即各元素的权评价，可以看成是软件质量因素集  $U$  的模糊子集。该评价小组给出的权重向量为：

$A = (0.2, 0.2, 0.2, 0.1, 0.1, 0.2)$ ，由此可看出专家强调软件系统的正确性、可靠性、易用性。

④评价矩阵

由有实际经验的软件专家，直接评价此软件系统的质量要素，建立评价矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 0.36 & 0.24 & 0.13 & 0.27 \\ 0.20 & 0.32 & 0.25 & 0.23 \\ 0.40 & 0.22 & 0.26 & 0.12 \\ 0.30 & 0.28 & 0.24 & 0.18 \\ 0.26 & 0.36 & 0.12 & 0.20 \\ 0.22 & 0.42 & 0.16 & 0.10 \end{bmatrix}$$

⑤模糊变换：

$$B = A \times R = (0.2, 0.2, 0.2, 0.2)$$

用模糊变换的方法得出，无论是优秀，良好，一般，差的隶属度都是 0.2，对这个具体问题而言模糊变换无法给出答案。可以再采用双层模糊综合评判。

### 4.2 双层模糊综合评判

①软件质量因素集：

按照软件因素集是根据软件实际开发中的 6 个主特性因素，来构成软件系统质量特性评价指标体系的因素集：

$$U = \{U_1, U_2, U_3\} \text{ 其中}$$

$U_1 = \{\text{正确性、可靠性、易用性}\}$

$U_2 = \{\text{可移植性、可维护性、效率}\}$

② 软件系统质量评判集:

$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$

其中  $v_1$ :优秀;  $v_2$ :良好;  $v_3$ :一般;  $v_4$ :差

③ 权重向量

第一层权重向量:

根据该软件系统实际应用特点, 给出质量要素的权重

$A_1 = (0.3, 0.42, 0.28)$

$A_2 = (0.20, 0.50, 0.30)$

④ 评价矩阵

由有实际经验的软件专家, 直接评价此软件系统的质量要素, 建立评价矩阵为

第一层评价矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.36 & 0.24 & 0.13 & 0.27 \\ 0.20 & 0.32 & 0.25 & 0.23 \\ 0.40 & 0.22 & 0.26 & 0.12 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.28 & 0.24 & 0.18 \\ 0.26 & 0.36 & 0.12 & 0.20 \\ 0.22 & 0.42 & 0.16 & 0.10 \end{bmatrix}$$

第一层评判, 使用模糊变换, 有

$B_1 = A_1 \times R_1 = (0.30, 0.32, 0.26, 0.27)$

$B_2 = A_2 \times R_2 = (0.26, 0.36, 0.20, 0.20)$

第二层评判矩阵。

将一级评判结果组合起来形成二级评判矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.32 & 0.26 & 0.27 \\ 0.26 & 0.36 & 0.20 & 0.20 \end{bmatrix}$$

第二层权重分配。

对因素集  $U = \{U_1, U_2, U_3\}$  的权重分配为  $A = (0.30, 0.70)$

第二层评判。

仍然使用模糊变换, 有

$B = A \times R = (0.30, 0.36, 0.26, 0.27)$

按最大隶属度原则, 即取隶属度最大的那个结果作为最终评价的结果, 因此对该软件的综合评价为“良好”。

## 5 结束语

该评价结果与实际运行结果相符, 该单位使用人员反映, 由于该软件过分强调其功能实现和易用性, 而在其它方面做得不够, 如移植性、可维护性、效率等方面, 经常出现运行效率不高、维护难等现象。

模糊综合评价模型为软件质量控制及评价提供了科学依据。在实施评价的过程中, 可以不断完善, 以紧跟软件行业的发展步伐, 充实完善评价指标体系, 为寻找理想的软件质量的评价方法的研究积累有益的经验。

## 参考文献

- 1 Cavano JB, McCall JA. A framework for the measurement of software quality. Proc. ACM Software Quality Assurance Workshop NewYork:ACM,1987: 133 - 139.
- 2 ISO / IEC JTCl / SC7 / WG6, ISO / IEC 9126.1: Information technology-software quality characteristics and metrics-Part1:Quality model, 2001.
- 3 ISO/IEC JTCH SC7/WG6,ISO/IEC 14598 Pa-l- Part 6: 2001.Information technology-evaluation of software product, 2001.
- 4 曹炳元.应用模糊数学与系统.北京:科学出版社,2005.
- 5 李鸿基.模糊数学基础与实用算法.北京:科学出版社,2005.
- 6 Roger S. PRESSMAN 软件工程.实践者之路.北京:清华大学出版社, 2004.
- 7 许树柏.层次分析法原理.天津:天津大学出版社, 1988.
- 8 秦寿康.综合评价原理与应用.北京:电子工业出版社, 2003.