

# 软件质量灰色定量评价模式研究

冯建湘<sup>1</sup>, 唐 嵘<sup>2</sup>, 王双维<sup>1</sup>, 李章兵<sup>1</sup>

(1. 湖南科技大学 计算机科学与工程学院, 湖南 湘潭 411201, E-mail: jianxiang\_f@yahoo.com.cn;

2. 国防科技大学 炮兵学院, 湖南 长沙 410112)

**摘 要:** 分析了国内外软件质量定量评价方法的研究成果和不足之处;提出了基于灰色系统理论的软件质量定量评价模式,即通过工程化方法筛选软件质量评价因子,确定因子权重值,计算各因子与参考基准的灰色关联度;通过应用实例,得出四个软件系统质量的实际评价结果,并与其它评价方法进行比较;提出了进一步研究的方向. 研究表明,该模式符合灰色系统理论的应用特点和软件工程的发展方向,理论上先进,技术上可行,在软件工程领域具有推广、应用价值.

**关键词:** 软件质量评价;灰色关联分析;灰色评价模式

**中图分类号:** TP311, O159

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0367-6234(2005)05-0639-03

## Study on software quality grey quantitative evaluation mode

FENG Jian-xiang<sup>1</sup>, TANG Rong<sup>2</sup>, WANG Shuang-wei<sup>1</sup>, LI Zhang-bing<sup>1</sup>

(1. College of Computer Science and Engineering, Hunan University of Science and technology, Xiangtan 411201, China, E-mail: jianxiang\_f@yahoo.com.cn; 2. Artillery College of National University of Defence Technology, Changsha 410112, China)

**Abstract:** Summarizing the achievement and drawbacks of the software quality quantities evaluation methods home and abroad, proposes a new mode of software quality quantitative evaluation based on grey system theory, i. e. selecting software quality evaluation factors through engineering method, and determining the weight set of quality factors, hence computing grey relavance degress between quality factors and perfect reference datum. A example is given, in which the quality evaluation results of 4 software systems is concluded, results of existed method is compared with it, and then future work is proposed. The results shows that the mode fits the application characters of grey system theory and developing direction of software engineering. It is an advanced theory and practical technology, which can be generalized and applied in software engineering field.

**Key words:** software quality evaluation; grey relavance analysis; grey evaluation mode

软件质量定量评价分析在软件工程领域尚属难题. 近年来,灰色系统理论<sup>[1]</sup>广泛应用于诸多领域的系统分析、建模、预测和决策中,并取得了一批实用化成果<sup>[2]</sup>. 将灰色系统理论应用于软件工程领域,形成软件质量的定量评价模式,对软件产业的发展具有重要意义.

软件质量是软件项目各方共同关注的目标. 对软件质量给出一个客观、科学的定义并予以量化,对评价和控制软件产品十分必要. 文献[3]关于软件质量定义表明:1) 软件需求是度量软件质量的基础;2) 工程化的开发准则是软件质量的保

证;3) 隐含需求的满足是软件质量的前提.

软件质量评价体系组成为:1) 因子系统  $S1 = (Q, R)$ , 其中  $Q$  是体现软件质量属性的被度量因子的集合,  $R = \{R1, \dots, Rn\}$  是  $Q$  上的关系; 2) 关系系统  $S2 = (N, P)$ ,  $N$  是软件质量因子量化值的集合,  $P = \{P1, \dots, Pn\}$  是  $N$  上的关系; 3) 评价系统  $S3 = (E, T)$ ,  $E$  是软件质量评价结果的集合,  $T = \{T1, \dots, Tn\}$  是  $N$  上的关系; 4) 映射  $M1: S1 \rightarrow S2$ , 将质量属性映射成量化因子; 5) 映射  $M2: S2 \rightarrow S3$ , 将量化因子值映射成评价结果.

软件质量评价体系存在的明显不足是:1) 软件质量属性的拓展幅度与现代软件工程技术、管理的发展不同步,如能力成熟度<sup>[4]</sup>、过程净室程度<sup>[5]</sup>、软件工程监理措施<sup>[6]</sup>、构件化程度等对软

收稿日期: 2003-09-09.

基金项目: 湖南省科技厅计划基金资助项目(湘科计[2001]87).

作者简介: 冯建湘(1965-),男,硕士,讲师.

件质量产生直接影响的因子在上述模型和准则中均未得到描述;2)文献[7]提出的理论模型在工程化应用中的可操作性尚待提高。

根据文献[8]可得:

**定义1**  $G$ 是论域  $U$  上的一个灰子集是指给出了从  $U$  到闭区间  $[0,1]$  的两个映射

$$\bar{\mu}_G: U \rightarrow [0,1], u \mapsto \bar{\mu}_G(u) \in [0,1]$$

$$\underline{\mu}_G: U \rightarrow [0,1], u \mapsto \underline{\mu}_G(u) \in [0,1].$$

式中:  $\bar{\mu}_G \geq \underline{\mu}_G$ ,  $\bar{\mu}_G$  与  $\underline{\mu}_G$  分别称为  $G$  的上隶属函数和下隶属函数,  $\bar{\mu}_G(u)$  与  $\underline{\mu}_G(u)$  分别称为元素  $u$  相对于  $G$  的上隶属度和下隶属度. 灰集合未知信息的未知程度用灰度表示,  $\forall G|_{\bar{\mu}}^{\underline{\mu}} \in G(U), u \in U, G|_{\bar{\mu}}^{\underline{\mu}}$  在区间  $[a,b]$  上的灰度  $d_{G[a,b]}$  为

$$d_{G[a,b]} = \left[ \int_a^b \bar{\mu}_G(u) du - \int_a^b \underline{\mu}_G(u) du \right] / (b-a) \\ = \int_a^b [\bar{\mu}_G(u) - \underline{\mu}_G(u)] du / (b-a).$$

**定义2** 设论域  $U = R$ , 则定义1中的灰集合  $G|_{\bar{\mu}(x)}^{\underline{\mu}(x)}, x \in R, \bar{\mu}(x), \underline{\mu}(x) \in [0,1]$  为灰数, 记为  $G$ .

灰数的白化值是指区间上隶属度(权)最大的实值, 该值可等价代表灰数. 灰数白化方法见文献[8]. 定义1、2表明: 1) 灰集合是指以上、下隶属函数图像及其间带形区域(灰带)为原像的元素所构成的集合. 当  $\bar{\mu}_G = \underline{\mu}_G$  时, 灰带退化成一条曲线, 成为模糊集合的像; 当  $\bar{\mu}_G = \underline{\mu}_G = 1$  或  $\bar{\mu}_G = \underline{\mu}_G = 0$  时, 曲线退化成直线, 成为 Cantor 集合的像. 故此, 灰集合是对模糊集合和 Cantor 集合的扩展, 模糊集合和 Cantor 集合是灰集合的特例; 2) 对灰数白化值处理等价于对灰数的处理。

## 1 软件质量灰色评价模式

灰色关联分析是灰色系统理论的重要信息加工技术之一, 它从系统离乱、随机的行为特征量中确定因子间关联程度, 根据诸因子行为的观测序列, 分析和确定因子间的影响程度或因子对主目标的贡献测度, 实现对系统动态发展势态的量化比较分析. 软件系统属性因子对质量的影响是离乱的, 具有明显的灰性. 因此, 对软件质量属性因子进行灰色关联分析能有效实现不同软件系统质量的比较评价. 基本过程如下:

1) 质量评价因子筛选与量化. 软件质量评价因子由 6~10 位具有实际经验的软件专家从软件质量属性<sup>[3]</sup>中筛选并通过建立度量工作表(检查表)实现量化(见文献[4]).

2) 确定软件质量最优参考数据  $x_0$ . 不同软件的质量目标侧重点不同. 软件质量最优参考数据万方数据

$x_0$  是评价软件质量的理想参考基准.  $x_0 = [x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)]$ , 其中,  $x_0(k)$  为软件质量最优参考数据的第  $k$  个因子.

3) 计算灰色关联度. 与软件质量最优参考数据  $x_0$  进行比较的数据列为  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ .

$$x_1 = [x_1(1), x_1(2), x_1(3), \dots, x_1(n)],$$

$$x_2 = [x_2(1), x_2(2), x_2(3), \dots, x_2(n)],$$

$$x_3 = [x_3(1), x_3(2), x_3(3), \dots, x_3(n)],$$

...

$$x_m = [x_m(1), x_m(2), x_m(3), \dots, x_m(n)].$$

其中,  $x_i = [x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)]$  为软件  $i$  各量化的质量评价因子值. 由文献[1]可知, 关联度是曲线间几何形状的差别, 故软件  $x_i$  与软件质量最优参考数据  $x_0$  的第  $k$  个质量评价因子的点关联系数<sup>[2]</sup> 为

$$\zeta_i(k) = \gamma(x_0(k), x_i(k)) = [\min_{i \in m} \min_{k \in n} |x_0(k) - x_i(k)| + \eta \max_{i \in m} \max_{k \in n} |x_0(k) - x_i(k)|] / [|\min_{i \in m} \min_{k \in n} |x_0(k) - x_i(k)| + \eta \max_{i \in m} \max_{k \in n} |x_0(k) - x_i(k)|]. \quad (1)$$

其中,  $\max_{i \in m} \max_{k \in n} |x_0(k) - x_i(k)|$  和  $\min_{i \in m} \min_{k \in n} |x_0(k) - x_i(k)|$  分别称为两级的最小差和最大差,  $\eta$  为分辨系数, 一般取  $\eta = 0.5$ .

依灰关联空间<sup>[2]</sup>所述,  $x_i$  对  $x_0$  均权灰关联度为

$$\gamma_i = \gamma(x_0, x_i) = 1/n \cdot \sum_{k=1}^n \gamma(\gamma_0(k), x_i(k)) = 1/n \cdot \sum_{k=1}^n \zeta_i(k). \quad (2)$$

4) 确定权重集. 上述计算未考虑各评价因子的权重因素, 但在实际应用中, 必须体现软件质量指标的权重差异. 软件质量评价因子  $x(k)$  的权重值在理论上可用区间灰数  $\otimes \beta_k$  表示,  $\beta_k$  为区间灰数  $\otimes \beta_k$  的白化值. 在工程实际中为便于计算, 权重值可直接赋予其白化值  $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ , 且有

$$\sum_{k=1}^n \beta_k = 1 (\forall \beta_k \in [0,1]). \quad (3)$$

式(2)则可以加权形式表示为

$$\gamma_i = \gamma(x_0, x_i) = \sum_{k=1}^n \beta_k \cdot \gamma(x_0(k), x_i(k)) = \sum_{k=1}^n \beta_k \cdot \zeta_i(k). \quad (4)$$

5) 分析计算结果. 通过式(4)计算, 得到不同软件质量评价因子对最优参考数据  $x_0$  的灰色关联度  $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m)$ , 对不同软件而言, 关联度  $\gamma_i$  越大的软件其实际质量与软件质量理想参考基准越接近.

2 应用实例

2.1 实例数据及结果

实例参考 McCall 质量模型,以软件的可靠性、可维护性、正确性、可使用性、效率、可移植性、能力成熟度和监理水平等作为质量评价因子进行分析. 质量评价因子集可表示为  $Q = \{Re, Ma, Co, Us, Ef, Po, CM, SL\}$ . 依据文献[4],4 个被评价软件(用 A、B、C、D 表示)各质量评价因子量化后的白化值见表 1.

表 1 软件质量评价因子白化值

| 软件    | 因子   |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | Re   | Ma   | Co   | Us   | Ef   | Po   | CM   | SL   |
| A(x1) | 0.93 | 0.79 | 0.91 | 0.76 | 0.78 | 0.83 | 0.80 | 0.83 |
| B(x2) | 0.89 | 0.86 | 0.87 | 0.81 | 0.84 | 0.90 | 0.87 | 0.89 |
| C(x3) | 0.86 | 0.84 | 0.93 | 0.78 | 0.75 | 0.87 | 0.76 | 0.78 |
| D(x4) | 0.89 | 0.87 | 0.78 | 0.82 | 0.85 | 0.89 | 0.82 | 0.79 |

对 4 个被评价软件而言,各质量因子值均越大越好(若引入成本因子,该因子值就越小越好,最优参考因子值则取为 0),故软件质量最优参考数据  $x_0$  可取为  $x_0 = (1,1,1,1,1,1,1,1)$ .

由式(1) 计算得两级最小差为 0.07,两级最大差为 0.25,取分辨系数  $\eta = 0.5$ ,则各因子点关联系数  $\zeta_i(k)$  如表 2 所示.

表 2 点关联系数  $\zeta_i(k)$

| $\zeta_i$ | k    |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | Re/1 | Ma/2 | Co/3 | Us/4 | Ef/5 | Po/6 | CM/7 | SL/8 |
| $\zeta_1$ | 1.0  | 0.58 | 0.91 | 0.53 | 0.57 | 0.66 | 0.6  | 0.66 |
| $\zeta_2$ | 0.83 | 0.74 | 0.76 | 0.62 | 0.68 | 0.87 | 0.76 | 0.83 |
| $\zeta_3$ | 0.74 | 0.68 | 1.0  | 0.57 | 0.52 | 0.76 | 0.53 | 0.57 |
| $\zeta_4$ | 0.83 | 0.76 | 0.57 | 0.64 | 0.71 | 0.83 | 0.64 | 0.58 |

实际评价时,评价组侧重于软件的可靠性、正确性、可使用性、效率等指标,其他指标相对次要,故评价组依式(3) 给权重集  $\beta$  的白化值赋为  $\beta = (0.18,0.1,0.15,0.15,0.2,0.07,0.1,0.05)$ .

由式(4)得评价结果为:  
 $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4) = (0.7072, 0.7448, 0.6754, 0.7)$ .

结果表明:4 个被评价对象(软件 A、B、C、D)以  $Q = \{Re, Ma, Co, Us, Ef, Po, CM, SL\}$  作为质量评价因子集,以  $\beta$  为权重集进行评价时,质量优劣排序为:  $B \rightarrow A \rightarrow D \rightarrow C$ .

2.2 不同方法对比分析

1) 实例数据以文献[3~4] 因子加权累加法得到的软件质量定量评价结果为  $F = (f_A, f_B, f_C, f_D) = (0.8335, 0.8552, 0.8292, 0.8410)$ , 质量优劣排序为:  $B \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow C$ . 两结果基本吻合,但

存在局部差异,原因是因子加权累加法基于累加后综合结果的单点比较,灰色评价模式基于各质量因子与理想基准的多点比较,后者比较域明显 > 前者,故能更整体地反映软件质量.

2) 实例数据以文献[9] 中基于模糊逻辑的方法进行评价,四个软件的质量评价结果如表 3 所示. 其中带下划线数据为质量评价结果对评价等级的最大隶属度. 据此质量优劣排序为:  $B \rightarrow A \rightarrow D \rightarrow C$ ,与灰色评价结果一致. 其主要不足是:  
① 评价过程<sup>[9]</sup> 较复杂;② 评价结果直观性较低.

表 3 基于模糊逻辑的软件质量评价结果

| 软件 | 优秀   | 良好   | 中    | 一般   | 差    |
|----|------|------|------|------|------|
| A  | 0.2  | 0.22 | 0.2  | 0.18 | 0.11 |
| B  | 0.18 | 0.24 | 0.19 | 0.16 | 0.10 |
| C  | 0.17 | 0.20 | 0.21 | 0.20 | 0.14 |
| D  | 0.18 | 0.21 | 0.23 | 0.20 | 0.12 |

3 结 论

1) 该模式符合灰色系统理论的应用特点和软件工程的发展方向,理论上先进,技术上可行,与传统评价方法相比,具有更高的整体性和精确性,在软件工程领域具有推广、应用价值;

2) 为提高评价结果的准确性和过程的可操作性,以下问题尚待探究:

- ① 软件质量评价因子的筛选优化机制;
- ② 质量因子极端值对评价结果的影响机理;
- ③ M1、M2 映射过程的形式化方法等.

参考文献:

[1] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社,1999.

[2] 罗佑新,张龙庭,李敏. 灰色系统理论及其在机械中的应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社,2001.

[3] 齐治昌,谭庆平,宁 洪. 软件工程[M]. 北京: 高等教育出版社,2001.

[4] 郑人杰,殷人昆,陶永雷. 实用软件工程[M]. 北京: 清华大学出版社,2002.

[5] [美] Stacy J. Prowell. 净室软件工程: 技术与过程[M]. 北京: 电子工业出版社,2001.

[6] 冯建湘,刘 定,冯 洗. 软件工程项目监理模式研究[J]. 长沙铁道学院学报, 2003,4(1-2): 121-124.

[7] PRESSMAN R S. Software Engineering: A Practioer's Approach[M]. McGraw - Hill, 1997.

[8] 王清印,王峰松,左其亭,等. 灰色数学基础[M]. 武汉: 华中理工大学出版社,1996.

[9] 冯建湘,唐 嵘,高 利. 基于模糊逻辑的软件质量评价方法[J]. 安徽理工大学学报,2003,23(4): 40-42.

(编辑 王小唯)