一种基于模糊评估分层模型的构件可测试性评价方法

刘 哲 张为群 肖魏娜

(西南大学计算机与信息科学学院 重庆 400715) (重庆市智能软件与软件工程重点实验室 重庆 400715)

摘 要 分析了构件可测试性研究的情况,提出了一个基于模糊评估分层模型的构件可测试性评价方法。该方法按照模糊综合评价的原理建立指标集和评价集,并且提出了AHP,SCTFCE和MCTFCE 3个算法,以对构件的可测试性作出一个较准确的评估结果。仿真实验表明,这是一种有效的评价方法。

关键词 构件,可测试性,模糊综合评价

Method Based on Fuzzy Evaluation Model of Layered Component Testability Evaluation

LIU Zhe ZHANG Wei-qun XIAO Wei-na

(College of Computer and Information Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)[1]

(Intelligent Software and Software Engineering Research Institution, Chongqing 400715, China)[2]

Abstract This paper analyzed the component testability research situation, proposed a layered model based on fuzzy evaluation component testability assessment method. This method according to the fuzzy comprehensive evaluation principle, set up the index set and evaluation sets, and put forward the AHP, SCTFCE and MCTFCE algorithm to make a more accurate evaluation results for the component testability. Simulation results showed that it was an effective evaluation method.

Keywords Component, Testability, Fuzzy comprehensive evaluation

随着软件产业的迅猛发展,软件逐步成为构件组装的集合体,未来的软件将会是由不同的构件组装而成的集合体。这样,每个构件质量的好坏将直接影响软件的整体质量。对于测试人员来说,可测试性的评估结果可以看作一个反馈,使他们知道哪些构件的可测试性较差,从而相应地增加和改进针对这些构件的测试用例。构件可测试性的评估结果还有助于构件测试人员和用户确定测试过程是否是一个有效的过程以及它什么时候可以结束。所以,在构件测试的开始阶段评估构件的可测试性是十分重要的。目前对构件可测试性的研究已经成为软件测试领域的一个热点。构件可测试性自身具有模糊性,目前主流的构件可测试性模型是Jerry Gao等人提出的通过透视图法分析构件的可测试性的模型[1],但是这个模型并没有考虑到构件可测试性的模糊性。如何度量模糊的可测试性特性,并且使用这些模糊性度量构件可测试性,也是构件可测试性度量有待解决的一个重要问题。

模糊综合评价适用于多因素、多层次的复杂问题的评判。当一个系统面临的对象过于复杂,用精确的描述几乎是不可能的或不必要的,且每个对象又是模糊的、没有确切的界限,一些因素的确定必须依靠专家的判断,模糊评估就为这样的系统控制或预测提供了工具。故本文引入模糊综合评价方法对构件的可测试性进行评价。

1 相关定义

定义1(构件可测试性指标集)

$$U=\{U_1,U_2,U_3,U_4,U_5\}$$

式中,U是构件可测试性指标的集合,包括U_1(可观察性指标集)$=\{U_{11},U_{12},U_{13},U_{14}\}$;$U_2$(可跟踪性指标集)$=\{U_{21},U_{22}\}$;$U_3$(可控制性指标集)$=\{U_{31},U_{32},U_{33},U_{34}\}$;$U_4$(易理解性指标集)$=\{U_{41},U_{42},U_{43}\}$;$U_5$(测试能力指标集)$=\{U_{51},U_{52},U_{53}\}$。详细描述如表1所列。

表1 构件可测试性指标集

一级指标	二级指标
可观察性(U_1)	GUI可观察性(U_{11})
	功能可观察性(U_{12})
	外部交互可观察性(U_{13})
	信息流转可观察性(U_{14})
可跟踪性(U_2)	行为跟踪(U_{21})
	跟踪可控制性(U_{22})
可控制性(U_3)	行为控制(U_{31})
	特性定制(U_{32})
	执行控制(U_{33})
	内部功能控制(U_{34})
易理解性(U_4)	文档易理解性(U_{41})
	程序资源易理解性(U_{42})
	质量信息易理解性(U_{43})
测试能力(U_5)	测试生成(U_{51})
	测试覆盖分析(U_{52})
	测试执行能力(U_{53})

定义2(构件单影响因素评价函数)

设评价集为$CL=\{CL_1,CL_2,CL_3,CL_4\}$,那么在等级$CL_1,CL_2,CL_3,CL_4$上的隶属度函数分别为

到稿日期:2010-06-02 返修日期:2010-09-17 本文受重庆市自然基金项目(CSTC,2006BA2003)资助。

刘 哲(1985-),女,硕士生,主要研究方向为软件工程、软件测试等,E-mail:liuzhe@swu.edu.cn;张为群(1950-),男,教授,主要研究方向为软件工程、形式语言、软件测试等(通信作者);肖魏娜(1985-),女,硕士生,主要研究方向为软件工程等。

$$A_1(c)=\begin{cases}1, & c_1\leqslant c\leqslant c_2\\ \dfrac{c-d_2}{c_2-d_2}, & c_2<c\leqslant d_2\\ 0, & \text{其他}\end{cases}\quad(1)$$

$$A_2(c)=\begin{cases}1, & c_2\leqslant c\leqslant c_3\\ \dfrac{c-d_1}{c_2-d_1}, & d_1\leqslant c<c_2\\ \dfrac{c-d_3}{c_3-d_3}, & c_3<c\leqslant d_3\\ 0, & \text{其他}\end{cases}\quad(2)$$

$$A_3(c)=\begin{cases}1, & c_3\leqslant c\leqslant c_4\\ \dfrac{c-d_2}{c_3-d_2}, & d_2<c<c_3\\ \dfrac{c-d_4}{c_4-d_4}, & c_4<c\leqslant d_4\\ 0, & \text{其他}\end{cases}\quad(3)$$

$$A_4(c)=\begin{cases}1, & c_4\leqslant c\leqslant c_5\\ \dfrac{c-d_3}{c_4-d_3}, & c_3<c<d_4\\ 0, & \text{其他}\end{cases}\quad(4)$$

式中，d_1,d_2,d_3,d_4 分别是区间$(c_1,c_2),(c_2,c_3),(c_3,c_4),(c_4,c_5)$的中心值。

那么 $f(i)=(A_1(i),A_2(i),A_3(i),A_4(i))$，其中 i 可以是二级指标(或一级指标)中任一个指标的度量值，$f(i)$表示此指标的单因素影响评价向量。

定义 3(构件的单因素模糊评价)

设 T_i 对应为 U_i 的评价结果，T_{ij} 对应为 U_{ij} 的度量值，那么可以得到

$$T_i=W_i*\begin{pmatrix}f(T_{i1})\\ f(T_{i2})\\ \cdots\\ f(T_{in})\end{pmatrix}*CF^{\mathrm{T}}$$

式中，$W_i=(w_{i1}\quad w_{i2}\quad\cdots\quad w_{in})$，$n$ 为指标集 U_i 所包括的二级指标的个数，且$\sum_{k=1}^{n}w_{ik}=1$。CF 是量化后的评价集 CL。

3 基于模糊评估分层模型的构件可测试性评价

构件可测试性评价可分为以下几个步骤：建立构件可测试性评价指标集和评价集；运用 AHP 确定权重；依次进行分层次的模糊评价[5-7]。

3.1 构件可测试性评价集

构件可测试性评价集就是对构件可测试性达到何种程度的划分。根据各个构件可测试性的指标和元素的特点将其分为 4 个等级，建立如下构件可测试性评价集[8-10]：$CL=\{CL_1$(Poor)，CL_2(Average)，CL_3(Good)，CL_4(Excellent)$\}$，然后得出构件可测试性评价指标等级量化标准，如表 2 所列。

表 2 构件可测试性评价等级量化标准

等级	Poor	Average	Good	Excellent
指标分值	0～59	60～79	80～89	90～100

3.2 判断矩阵 A

对于某个一级指标(假设是U_1)，请 m 个专家采用 9 标度法对其相对重要性两两比较，得到判断矩阵 A 为

$$A=\begin{pmatrix}a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n}\\ a_{12} & a_{22} & \cdots & a_{2n}\\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots\\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn}\end{pmatrix}$$

式中，$a_{ij}(i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,n)$表示第 i 个指标对第 j 个指标的重要程度，并且 $a_{ij}=\frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m}a_{ijk}$，$a_{ijk}$ 表示第 k 个专家得出的 a_{ij} 的值。n 是这个一级指标所包括的二级指标的个数。

3.3 AHP 算法

AHP(Analytic Hierarchy Process)中 A'是一个 $n\times n$ 的矩阵(n 是所求权重的个数)，a 描述具体指标的权重值，a_{ij} 表示第 i 个指标对第 j 个指标的重要程度，A 是根据第 3.2 节的方法求出的比较判断矩阵，δ 是算法最终求得的该指标的权重向量，CR 是判断比较矩阵一致性的标志值。

算法 1 AHP

输入：矩阵 A'

输出：δ

Step1 初始化矩阵 A'。

Step2 对于 $\forall a\in A$，按照第 3.2 节中的方法求得判断矩阵 A。

Step3 计算 $\delta=\sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n}a_{ij}}\ (i=1,2,\cdots,n)$，得到 $\delta=(\delta_1,\delta_2,\cdots,\delta_n)^{\mathrm{T}}$。

Step4 计算 $\delta_i=\frac{\delta_i}{\sum_{i=1}^{n}\delta_i}(i=1,2,\cdots,n)$，得到 $\delta=(\delta_1,\delta_2,\cdots,\delta_n)^{\mathrm{T}}$。

Step5 计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{(A\delta)_i}{\delta_i}\right]$。

Step6 计算 $CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}$和 $CR=\frac{CI}{RI}$。当 $CR<0.1$ 时，比较矩阵满足一致性；否则，比较矩阵不满足一致性，转 Step2。

Step7 输出 δ。

3.4 单层构件可测试性的模糊综合评价算法

SCTFCE(Single Fuzzy Comprehensive Evaluation of Component testability)中 u_i 是输入的第 i 个指标的度量结果且 $u_i\in[0,1]$，U 描述定义的构件可测试性的指标集，R_i'代表了用隶属函数求得的单影响因素评价集，W 是对应的权重矩阵，CF 是量化后的评价集 CL。

算法 2 SCTFCE

输入：某一指标下所有因素度量的结果集 U 以及相对应的权重矩阵 W

输出：这个指标的模糊评价结果 t

Step 1 对于 $\forall u_i\in U$，根据式(1)－式(4)求得 R'_i。

Step 2 组成评价矩阵 $R=\begin{pmatrix}R_1'\\ R_2'\\ \cdots\\ R_i'\end{pmatrix}$。

Step 3 计算 $B'=W*R$，并对于 $\forall b_i'\in B'$根据 $b_i=\frac{b_i'}{\sum_{j=1}^{n}b_j'}$求得 B。

Step 4 求得 $t=B*CF^{\mathrm{T}}$

Step 5 输出 t。

其中 t 是求得的该指标的最终评价值。

3.5 多层构件可测试性的模糊综合评价算法

对于每个构件可测试性指标，将它用一个五元组表示，即 $ct=(N,V,W,M,FN)$，其中 N 表示此指标的唯一标识名；V 是这个指标的评价值；W 代表这个指标所占的权重值；M 是这个指标所在的层次；FN 是包含这个指标的上层指标的标识名。

MCTFCE(Multi-layer Fuzzy Comprehensive Evaluation of Component testability)中 k 表示指标集的层数减 1，$CT=\{ct_1, ct_2, \cdots, ct_n\}$，$n$ 是指标集中指标的总个数。

算法 3 MCTFCE

输入：指标集 CT 和 k

输出：最终评价值 v

Step 1 若 $k=0$，转 Step5；否则

Step 2 $\forall ct$，将所有 $m=k$ 并且 fn 相同的指标分别调用算法 SCTFCE 计算出 $T=\{t_{fn_1}, t_{fn_2}, \cdots, t_{fn_l}\}$。

Step 3 $\forall t_{fn}$，令标识为 fn_i 的指标的 $v_i=t_{fn_i}$。

Step 4 标记 $k=k-1$，转 Step1。

Step 5 $\forall ct$，将 $m=1$ 的节点的评价值 v 输出。

综上所述，基于模糊综合评价的构件可测试性评价的流程如图 1 所示。

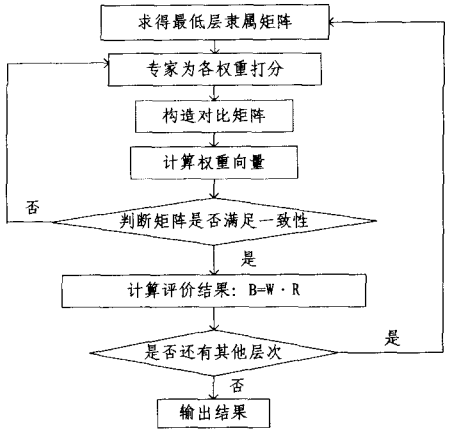

图 1 基于模糊综合的构件可测试性评价流程图

4 仿真实验

应用上述方法度量一个模拟银行客户账户的构件(banks)的可测试性，度量过程中考虑了构件可测试性的 5 个测试性特性。首先请有经验的构件及测试专家对这个构件的 16 个可测试性指标进行度量评价，如表 3 所列。

表 3 构件 banks 可测试性度量结果

编号	结果	编号	结果	编号	结果	编号	结果
U_{11}	0.82	U_{21}	0.75	U_{33}	0.94	U_{43}	0.69
U_{12}	0.91	U_{22}	0.85	U_{34}	0.74	U_{51}	0.79
U_{13}	0.78	U_{31}	0.73	U_{41}	0.65	U_{52}	0.72
U_{14}	0.68	U_{32}	0.88	U_{42}	0.68	U_{53}	0.74

根据表 2 确定 $CF=\{1.00, 0.90, 0.80, 0\}$，确定 $c_1=0, c_2=0.6, c_3=0.8, c_4=0.9, c_5=1$，由此可以确定 $d_1=0.3, d_2=0.7, d_3=0.85, d_4=0.95$，这样就得到了式(1)－式(4)。

接着先度量构件易理解性(U_4)。可观察性的影响因素主要包括文档的易理解性(U_{41})、构件程序资源的易理解性(U_{42})、构件质量信息的易理解性(U_{43})。将这 3 个因素的度量值分别代入式 A_1-A_4，得到评价矩阵 R。

按照第 3.2 节的方法请专家分别为 U_4 中各指标权重打分，得到如下判断矩阵

$$A=\begin{pmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1/4 \\ 1/3 & 4 & 1 \end{pmatrix}$$

接着求得 $\delta=(0.6267, 0.0937, 0.2796)^{\mathrm{T}}$。然后计算 A 的最大特征根为

$$\lambda_{\max}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{(A\delta)_i}{\delta_i}\right]$$
$$=\frac{1}{3}\left(\frac{1.934}{0.6267}+\frac{0.2889}{0.0937}+\frac{0.8633}{0.2796}\right)$$
$$=3.0857$$

因此可认为判断矩阵 A 满足一致性 $CR=\frac{CI}{RI}=0.074<0.1$，得到的权重比较合理。最后计算

$$T_4=W_4*\begin{pmatrix} f(T_{41}) \\ f(T_{42}) \\ f(T_{43}) \end{pmatrix}*CF^{\mathrm{T}}=(0.6267\ 0.0937\ 0.2796)$$
$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0.0314 \\ 0 & 0.8503 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0.65 & 0.09 \end{pmatrix}*CF^{\mathrm{T}}=0.6078$$

同理可求出此构件可测试性的其他指标的评价值，最终得出评价结果。

针对构件 banks 的实验可以看出，提出的基于模糊评估分层模型的构件可测试评价方法是可行的。

结束语 构件可测试性评估是一个复杂的过程，对其进行评价是很难做到全面、准确、定量的。本文提出了运用多级模糊综合评估分层模型对其整个指标体系进行评估，并给出了整个评价过程。采用分层评价的方法，分别评价每一层指标因素，综合考虑了各种因素的影响，减少了评价过程中的主观性，很好地保证了评价的准确性和可靠性。本文提出了构件可测试性评估的一个实例应用，初步论证了方法的可行性，并且进行了仿真实验。

参 考 文 献

[1] Gao J. Component Testability and Component Testing Challenges(CA 95192-0180) [R/OL]. Washington: San Jose State University, 2005. http: // www. engr. sjsu. Edu/gaojerry/techreport/, 2007

[2] Roy S F. Testability of Software Components [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1991, 17(6): 4-5

[3] Gao J, Zhu You-jin. Tracking Software Components [R]. Washington: San Jose StateUniversity, 1999: 2-3

[4] Voas J M, Miller K W. Software Testability: The New Verification [J]. IEEE Software, 1995, 12(3): 17-18

[5] 陈守煜. 复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用[M]. 吉林：吉林大学出版社，2002

[6] KLR Consulting. Inc. Project Management Mattlerity Model [J]. Managing Business & Technology Solutions, 2002(6): 89

[7] 涂玲，周彦晖，张为群，等. 基于模糊推理的软件测试度量方法[J]. 计算机科学，2009，36(7)：141-144

[8] 李士勇. 工程模糊数学及应用[M]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2004：96-108

[9] 陈晓利，祁生文，叶洪. 基于 GIS 的地震滑坡危险性的模糊综合评价研究[J]. 北京大学学报：自然科学版，2007(2)：1-6

[10] 付剑平，陆民燕. 基于模糊综合评价的软件测试行度量[J]. 计算机工程与应用，2009，45(27)：69-71