

软件可靠性测试用例的复用度量^①

卜国峰 朱小冬 王毅刚 孙志刚 (军械工程学院 装备指挥与管理系 河北 石家庄 050003)

摘要: 针对目前基于复用的软件可靠性测试缺少对测试用例复用度量的现实问题, 在构建测试用例复用模型的基础上, 首先应用特征分析法求解测试用例各复用资源的权重, 然后再分别计算它们在测试中的复用度, 最后求解得到测试用例的平均复用度。从定量的角度解决了测试用例的复用度量问题。

关键词: 测试用例; 软件度量; 可靠性测试用例复用度量; 资源复用模型; 平均复用度

Metrics of Software Reliability Test Case Based on Reuse

BU Guo-Feng, ZHU Xiao-Dong, WANG Yi-Gang, SUN Zhi-Gang

(Department of Equipment Command & Management, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: The reuse metrics of the test case is a realistic problem during software reliability test based on reuse, at the present time. Based on the designing of the test case reuse model, we use the feature analysis method to account the weight of reuse resource firstly, secondly we calculate the reuse metrics of the resource in the test case, at last we get the average reuse metrics based on the formula. We solved the problem of reuse metrics from quantitative angle in this paper.

Keywords: test case; software metrics; reliability test case reuse measure; resource reuse model; average reuse metrics

在软件飞速发展的今天, 由复用技术引发的软件可靠性测试用例复用研究已逐渐成为软件可靠性测试工程研究的重点。在基于复用的软件可靠性测试过程中, 对测试用例的复用实施度量, 不但可以帮助测试人员合理控制、安排可靠性测试的进程, 而且有助于测试人员依据信息对测试用例加以改善, 在保证测试用例质量的同时进一步提升了软件可靠性测试的复用潜力和预期收益。

1 软件复用度量的相关概念

IEEE 在“Standard for Software Quality Metrics Methodology”, IEEE Std.1061—1992, 1993 中对度量给出了明确的定义^[1]: “度量(Metrics)是一个函数, 它的输入是软件数据, 输出是单一是数值, 能用以解释软件所具有的一个给定属性对软件质量影响的程度。软件度量是对影响软件质量的属性所进行的定量测量。”

软件度量是贯穿整个软件开发生命周期的, 从需求分析、系统设计、程序设计、编程、测试到系统维护各个阶段^[2]。其软件度量活动主要分为三类: 软件产品度量、软件项目度量和软件过程度量。

软件复用度量是在传统的度量准则和方法的基础上, 结合软件复用本身特性, 构造适当的度量模型来评价软件开发过程中与复用相关活动的行为^[3]。

2 软件可靠性测试用例复用度量

2.1 软件可靠性测试用例的复用

系统的进行软件复用的概念很简单, 即开发大小合适的构件系统并复用它们。大量研究实践都表明, 合理的复用能够有效的减少项目开发的成本。Graham 认为软件复用策略至少能减少 20% 的开发成本^[4]。复用可用于软件生命期的各个阶段, Jones^[5]指出在软件开发过程中所包含的多个可复用部分。具体内容可参见表 1:

① 收稿时间:2010-03-11;收到修改稿时间:2010-04-11

表 1 软件项目中可复用的部分

1. 结构 (Architecture)	6. 模板 (Template)
2. 源代码 (Source code)	7. 人机界面 (Interface)
3. 数据 (Data)	8. 计划 (Plan)
4. 设计 (Design)	9. 需求 (Requirement)
5. 文档 (Document)	10. 测试用例 (Test case)

很显然，作为软件测试核心内容的测试用例也是可以复用的，而且它的复用可以有效节约测试时间，大大提高测试效率，对于软件测试工作起着至关重要的作用。

在开展的软件可靠性测试工作中，基于复用的测试用例设计与传统的测试用例设计存在着很大的不同：基于复用的测试用例设计不需要从头开始，它可以充分利用现有的资源，实现减少测试成本，提高测试效率的目的。

在基于复用的软件可靠性测试中，我们把基于复用的测试用例设计阶段分为两部分：一是可复用测试用例的生成阶段；二是基于复用的测试用例生成阶段。在这两个阶段中要涉及到可复用测试用例的识别、生产、查找、理解、扩展和组装等新的开发过程，同时还要在利用复用技术开发新的基于复用的测试用例之前通过适当的度量方法对它们的复用进行有针对性效益分析。基于复用的测试用例与传统测试用例在设计方法上的不同及其对度量的影响，导致了新的测试用例复用度量模型的需求，测试用例复用度量理论研究及实践也便成为了软件工程研究的热点。

2.2 基于复用的软件可靠性测试用例度量

可度量性是一个学科成熟与否的重要标志。基于复用的可靠性测试用例度量使软件可靠性测试复用工作逐渐趋向专业化、标准化和科学化。尽管许多人觉得度量难于操作，主观因素影响大，缺乏坚实的理论基础，对其怀疑态度，但是这些都不能否定度量对软件可靠性测试复用所起的作用。其中测试用例复用所起到的主要作用包括：

- (1)通过测试用例的复用度量，可以增加测试人员对于软件可靠性测试复用活动的理解。度量结果可以以数值的形式直观反映出软件复用技术在提高软件可靠性测试效率和保证被测软件质量等方面的重要作用，使人们看到可靠性测试复用研究的价值；
- (2)通过测试用例的复用度量，可以方便测试人员

对存储在可复用库中的测试用例实施管理；

(3)通过测试用例的复用度量，可以帮助测试人员评估软件可靠性测试在某段时期内的效益；

(4)通过测试用例的复用度量，可以帮助测试人员改善软件可靠性测试活动的进程。

对可靠性测试用例的复用度量从定性和定量两方面展开。定性度量主要是指根据一定的度量指标进一步分析、评判测试用例在测试过程中被复用的能力。定量度量主要以数值的形式反映测试用例被复用的程度。它包括测试用例平均复用度 (average reuse metries)和复用频数(reuse frequency)两方面内容。本文主要描述的是可靠性测试用例平均复用度的确定过程。

3 软件可靠性测试用例的平均复用度

文中，我们将可复用测试用例的平均复用度定义为测试用例在一段时间内(多次复用)复用度的平均值；将可复用测试用例的复用度(reuse metries)定义为测试用例在一次测试复用中被复用的程度。由定义可以看出，复用度说明的只是测试用例一次被复用的程度，它的产生具有很大的偶然性和随机性，是一个变动很大的数值，研究的意义不大。而平均复用度则说明了可复用测试用例在一段时间内发生多次复用时的平均复用程度，它不仅综合了测试用例多次被复用的情况，科学反映出测试用例复用性的好坏，而且对将来测试用例的复用设计也具有很好的指导意义。

3.1 软件可靠性测试用例复用度计算

软件可靠性测试用例复用度的求解过程为：

(1) 构建可靠性测试用例的复用模型

测试用例的复用是通过测试用例所包含可复用资源的复用来实现的，表 2 中给出了可复用测试用例中可能被复用的资源并作了简要的说明。

表 2 中给出的是测试用例复用资源的一部分，是测试用例中被主要复用的资源。根据这些资源我们可以构建出测试用例的七元组复用模型：

$$RTC = \{DI, DR, UTC, TD, TR, CN, DC\}$$

其中 RTC 表示可靠性测试用例；DI 表示可靠性测试用例的设计思想；DR 表示可靠性测试用例的设计规则；UTC 表示可靠性测试用例中所包含的元测试用例；TD 表示可靠性测试用例中包含的测试数据；DC

表2 可靠性测试用例的可复用资源

资源名称	资源类型	说明	权重
设计语言	Design_language	TR 可靠性测试用例的可复用资源, 包括设计方法、设计语言、设计过程	高
设计规则	Design_rule	TR 可靠性测试用例的可复用资源, 包括设计规则和标准	高
测试用例	Test_case	TR 可靠性测试用例的可复用资源, 包括测试用例和测试数据	中
测试数据	Test_data	TR 可靠性测试用例的可复用资源, 包括测试用例和测试数据	中
描述	Description	TR 可靠性测试用例的可复用资源, 包括测试用例和测试数据	中
测试结果	Test_result	TR 可靠性测试用例的可复用资源, 包括测试用例和测试数据	中
测试过程	Test_process	TR 可靠性测试用例的可复用资源, 包括测试用例和测试数据	中

表示用户描述可靠性测试用例的方式, 包括描述语言、描述结构等; TR 可靠性测试用例在测试中执行完成后的结果; CN 表示可靠性测试用例中测试步骤的执行顺序及方式。

(2) 计算复用模型中资源权重

复用资源的权重直接关系到复用度量结果的合理性, 人为给定的权重会使得度量结果主观影响因素过大而最终导致度量结果缺乏说服力。所以, 在对测试用例可复用进行度量的过程中, 应该采用科学的权重算法。本文选用特征分析法来计算复用模型中资源在测试用例中所占的权重值。

特征分析法是采用自调节方式来求解权重的, 在对它进行求解时, 首先建立比较矩阵, 然后计算求得最优传递矩阵, 再将最优传递矩阵转化为一致性判断矩阵, 通过求解一致性判断矩阵的特征根来最终获取权重。该方法不需要进行一致性检验, 可以使资源权重的确定更趋向于简单化和可行化。

下面, 先是对利用该方法求解权重过程的介绍:

假设测试用例中共有 n 个复用资源, 它们分别为 $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$, 对应的权重分别是 $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$, 且满足 $W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n = 1$ 。

Step 1: 首先, 将研究对象两两比较, 使用三标度法得到 C_{ij} 的取值, 然后将这些取值构造研究对象的比较矩阵 C :

$$C_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{指标 } U_i \text{ 比指标 } U_j \text{ 重要} \\ 0 & \text{指标 } U_i \text{ 与指标 } U_j \text{ 同等重要} \\ -1 & \text{指标 } U_i \text{ 没有指标 } U_j \text{ 重要} \end{cases} \quad 1 \leq i, j \leq n$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & c_{ij} & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nm} \end{bmatrix} = (c_{ij})_{nm}$$

Step 2: 求解比较矩阵的最优传递矩阵 D :

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & d_{3n} & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nm} \end{bmatrix} = (d_{ij})_{nm}$$

其中, $d_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (c_{ik} + c_{kj})$ (1)

Step 3: 将最优矩阵转化为一致性判断矩阵 E :

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2n} \\ \dots & \dots & e_{ij} & \dots \\ e_{n1} & e_{n2} & \dots & e_{nm} \end{bmatrix} = (e_{ij})_{nm}$$

其中, $e_{ij} = \exp(d_{ij})$ (2)

Step 4: 选用近似解法计算研究对象各自的权重, 即根据一致性判断矩阵, 求出矩阵的最大特征根所对应的特征向量, 所求出的特征向量即为评价资源的重要性排序, 也就是权重的分配。过程如下:

第一步: 计算一致性判断矩阵每一行元素的乘积 M

$$M_i = \prod_{j=1}^n e_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m)$$

第二步: 计算 M_i 的 n 次方根 K_i

$$K_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (3)$$

第三步: 对向量 $K = (K_1, K_2, K_3, \dots, K_n)^T$ 归一化处

$$w_i = K_i / \sum_{j=1}^n K_j \quad (4)$$

则 $w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$ 为最大特征根所对应的特征向量, 也就是我们所要求的权重。

总结起来, 软件可靠性测试用例复用资源权重的计算过程为: 首先, 由若干个经验丰富的可靠性测试领域专家对模型中复用资源的复用效能进行客观评价, 构造出复用资源的比较矩阵 C ; 其次求解比较矩阵的传递矩阵 D 和一致性判断矩阵; 最后, 根据近似解法的“根法”得到复用资源在可靠性测试用例中的权重。

(3) 计算复用模型中资源复用度

资源复用度是指测试用例复用模型中所包含的可复用资源,在测试用例执行一次复用时被复用的程度。下面定义资源复用度求解的公式:

定义 1. 资源复用度(resource reuse degree, 缩写为 RRD)公式:

$$\text{资源复用度} = \frac{\text{测试用例模型中某类资源被复用的个数}}{\text{测试用例模型中包含该资源的总数}} \quad (5)$$

$$\text{即: } RRD = \frac{R'}{R}$$

其中, RRD 表示资源复用度, R' 表示模型中某类资源被复用的个数, R 表示模型中该资源的总数。

(4) 计算测试用例的复用度

测试用例的复用度是指测试用例在一次测试复中被复用的程度。它的求解公式定义为:

定义 2. 测试用例复用度(Test case reuse degree, 缩写为 TCRD)公式:

测试用例复用度=资源 1 的复用度×资源 1 的权重+资源 2 的复用度×资源 2 的权重+……+资源 n 的复用度×资源 n 的权重 (1 ≤ n ≤ 7)

$$\text{即: } TCRD = \sum_{i=1}^n (RRD_i * W_i) \quad (1 \leq n \leq 7) \quad (6)$$

其中, TCRD 表示测试用例复用度, RRD_i 表示测试用例中某类被复用资源的复用度, W_i 表示被复用资源在测试用例中所占的权重。

前面已经完成了对测试用例复用模型中复用资源的权重计算以及在一次测试用例复用中测试资源复用度的求解工作,将二者的数值代入公式 6 后,求解得出的就是测试用例在一次复用时的复用程度,即测试用例的复用度。

3.2 软件可靠性测试用例平均复用度计算

选取一个测试用例在某一段时间内的多个复用度,求取它们的复用度平均值即测试用例的平均复用度(Test case average reuse metries, 缩写为 TCARM)。下面,我们将测试用例平均复用度的求解公式定义为:

$$\text{测试用例平均复用度} = \frac{\text{一段时间内测试用例复用度之和}}{\text{一段时间内测试用例被复用的次数}}$$

$$\text{即: } TCARM = \frac{\sum_{j=1}^m RTCRD}{T_1} \quad (7)$$

其中 T₁ 表示选取的这段时间内,测试用例被复用的次数,且 T₁ ≥ 2 m ≥ 1

带入数值后我们就得到了测试用例的平均复用度,由此也就对某个测试用例的复用情况有了较为科学的评判。

4 实例应用

以可复用测试用例库中的某一可复用测试用例为例:

第一步:求解复用资源的权重。

由 10 位以上的测试领域专家组成评价小组,对测试用例模型中复用资源的重要性作出定性的评价,结果为:该测试用例“设计思想”要比“设计规则”重要;“设计规则”要比元测试用例重要;“元测试用例”要比“测试数据”重要;“测试数据”要比“描述”重要;“描述”没有“测试结果”重要;“测试结果”要比“约束”重要。得出比较矩阵:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

根据公式 1、2、3、4 获得可复用资源的权重为:

$$W = (0.2874, 0.2160, 0.1627, 0.1220, 0.0518, 0.0917, 0.0689)$$

第二步:求解测试用例模型中复用资源各自的复用度。

该测试用例模型中共有 14 个元测试用例,20 个测试数据,1 种描述,测试结果有 1 种情况,有 10 种约束,测试人员统计测试用例复用模型中资源在测试用例在被执行时一次复用的情况如下:该模型中共有 7 个元测试用例,12 个测试数据,0 种描述,1 个测试结果和 6 种约束关系被复用。测试用例此次复用中,模型包含的测试用例“设计思想”与“设计规则”被完全复用,显然两者的复用度被标记为“1”。根据公式 5,可以分别求出这 7 类资源各自的权重:

表 3 测试用例资源复用度

资源名称	英文表示 (缩写)	测试用例资源复用度
设计思想	DI	1
设计规则	DR	1
元测试用例	UTC	1/2
测试数据	TD	3/5
描述	DC	0
测试结果	TR	1
约束	CN	3/5

表 3 给出了测试用例模型中各复用资源的复用度, 为下一步的测试用例复用度的计算奠定了基础。

第三步计算测试用例复用度。

将求得的资源权重与各自复用度的值代入公式 6, 得到: $TCRD = \sum_{i=1}^n (RRD_i * W_i)$
 $= 10.2874 + 10.2874 + 0.50.1627 + 0.60.1220 + 0$
 $+ 10.0917 + 0.60.0689 = 0.86239$

即: 在研究这次测试用例复用时, 该测试用例的复用度为 0.86239

同理, 我们可以根据上述步骤, 求解得出该测试用例在最近 5 次复用中的复用度分别为: 0.86239、0.32165、0.54221、0.58931、0.55274。则将求得的 5 次复用度代入公式 7, 得到测试用例的平均复

用度为 0.57366。求得的数值说明该测试用例在这段时间内所表现出的复用性一般。

5 结束语

本文首先对软件可靠性测试用例的复用度量在概念上进行了分析, 然后构建出测试用例的复用模型, 在此基础上对测试用例的平均复用度计算展开重点研究, 并通过实例对模型进行了说明和论证, 为科学评判测试用例的复用效能提供了一定的参考作用。

参考文献

- 1 IEEE STD 1061-1992. IEEE Standard for a software quality metrics methodology. Institute of Electrical Engineers. New York: IEEE Computer Society, 1993.
- 2 朱少民. 软件质量保证和管理. 北京: 清华大学出版社, 2007.1.
- 3 钱乐秋, 张涌. 软件复用度量综述. 计算机应用与软件, 2002, 19: 1-4.
- 4 Graham I. Object-Oriented Methods. Addison-Wesley, Wokingham, UK. 1991.
- 5 Jones C. Software return on investment preliminary analysis. Software Productivity Research, Inc, 1993.