

一种基于模糊综合评判的软件可靠性模型选择方法

田涛¹, 张凤鸣¹, 王昕²

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军装备部, 北京 100843)

摘要:软件可靠性模型是软件可靠性工程的一个重要方面。如何在缺乏可靠性数据的情况下,选择合适的软件可靠性模型是对软件可靠性进行量化分析的关键。在对影响软件可靠性模型的因素进行分析的基础上,采用模糊数学的理论,提出了一种基于模糊综合评判的软件可靠性模型选择方法。

关键词:软件可靠性;可靠性模型;模糊综合评判

中图分类号:TP30 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)02-0056-04

软件质量是软件产品中能够满足给定需求的各种特性的总和。其中,软件可靠性作为软件质量的固有特性,具有涉及面广,容易量化的特点,且与其它软件质量特性有着密切的联系,已经成为衡量软件质量的重要因素^[1-2]。在对软件可靠性进行控制与评估时,必须借助于软件可靠性模型来进行。从20世纪70年代初,出现第一个软件可靠性模型开始,到目前已经发表了上百种的模型,但是还没有一个软件可靠性被证明是简单实用又具有广泛的可应用性。对软件技术人员来说,在缺乏软件可靠性数据的情况下,面对众多的模型,如何选择合适的模型才能够更好地保证软件的可靠性,保证软件的质量、费用、进度的协调统一,是一个令人头痛的问题。本文在对影响软件可靠性模型的因素分析的基础上,采用模糊数学的理论方法对该问题进行探讨。

1 软件可靠性模型概述

软件可靠性模型是随机过程的一种表示,通过这一表示,可以将软件可靠性或与软件可靠性直接相关的量,如平均无故障时间或故障率表示成时间以及软件产品的特性,或者开发过程的函数^[3]。软件可靠性模型描述了软件可靠性对上述变量的一种依赖关系。软件可靠性模型可应用于软件的模块、子系统、系统。软件可靠性模型可适用于软件设计阶段、软件测试阶段和软件确认阶段,其目的在于定量估计和预测软件可靠性行为。

一个软件可靠性模型通常(但不是绝对)由模型假设、性能度量、参数估计方法、数据要求四部分组成^[2]。

软件可靠性模型可以按照不同的准则,如建模对象、模型假设、模型适用性、数学方法等加以分类。通常按照建模对象进行划分,所谓建模对象是指软件可靠性数据及软件的其它有关信息,如与时间有关的信息(数据),与时间无关的信息(数据)等。基于建模对象的模型分类及各类模型在软件开发过程各阶段的适用性,如表1所示^[2]。

目前常用的软件可靠性模型主要有 Jelinski - Moranda 模型、Halstead 模型、Littlewood - Verrall 模型、Musa 执行时间模型、Nelson 模型、Goel—Okumoto NHPP 模型、LNHPP 模型、超几何模型等,模型的特点及比较详见参考文献[4]。

收稿日期:2001-10-10

作者简介:田涛(1975-),男,安徽砀山人,博士生,主要从事装备管理仿真建模与软件可靠性研究。

张凤鸣(1963-),男,重庆梁平人,教授,博士生导师,主要从事装备管理、C⁴ISR等复杂系统仿真建模与软件工程研究。

表1 各类软件可靠性模型的适用性

	静态模型				动态模型	
	缺陷播种模型	数据域模型	经验模型	微模型	宏模型	
					失效时间模型	失效计数模型
需求分析			√			
概要设计			√			
详细设计			√			
实现			√			
测试	√			√	√	√
确认	√	√			√	√

2 影响软件可靠性模型因素

软件可靠性模型是对软件可靠性行为的一种描述,而软件的可靠性行为具有随机的、不确定的性质,总是建立在某些理想的假设基础之上,并且软件可靠性作为软件工程实践中的一个组成部分必然受到软件工程其它方面因素的制约,所以在软件可靠性模型的构建与应用过程中,必须考虑各种外部和内部因素的影响,如模型假设、模型的类型和适用阶段、运行剖面、时间基准、测试方法、失效的分类、人为参与、以及数据的收集、转换与调整等。具体如下:

2.1 预测的有效性

即模型根据现在和过去的故障行为(故障数据),预测将来的故障行为的能力。可以通过预测的准确性;预测的偏倚性;预测的趋向一致性;预测结果的平滑性等四个方面进行评价。

2.2 模型的能力

即模型在软件项目开发规划制定过程及软件项目开发过程中,对要求的量以令人满意的精确度进行估计的能力。可以通过能否估计出软件系统当前的可靠性、平均无故障时间(MTTF)或故障密度;能否估计出软件系统达到一规定的软件可靠性目标的日期或故障密度目标的日期;能否估计出软件系统在达到目标时与规定目标有关的人力和计算机资源以及成本要求等三个方面进行评价。

2.3 模型假设的质量

即模型的假设能否保证模型被正确应用。可以通过能否对该模型进行测试;能否对模型的真实程度进行判断;能否对假设的明确性和显然成立的程度进行判断等三个方面进行评价。

2.4 可应用性

即模型在应用过程中,对具体的软件运行环境(剖面)、测试策略、故障数据等的适应能力。可以通过是否适用于不同(规模、结构)的软件;是否适用于不同运行剖面下的软件;是否适用于不同开发环境下的软件;是否适用于不同测试策略下的软件;是否适用于不完善的软件可靠性数据等五个方面进行评价。

2.5 简捷性

即模型在应用过程中对软件开发人员、软件管理人员能力素质的要求程度,以及对故障数据收集难易程度的反映。可以通过软件可靠性数据的收集是否简单、经济;模型在概念上是否简单易懂;模型的参数是否易于理解;模型的参数数目是否合理;模型是否易于用程序实现等五个方面进行评价。

3 软件可靠性模型选择策略

3.1 软件可靠性模型选择的一般方法

软件可靠性模型选择是一个反复的过程,难以一次确定,一般采用以下几个步骤^[3]:

- 1) 研究软件可靠性数据,分析其特征或变化趋势。
- 2) 根据分析结果和经验,初步选定现有的一个模型。
- 3) 估计模型参数、获得拟合模型。
- 4) 对拟合模型进行假设检验,判断其是否可以接受。
- 5) 如果拟合模型可以接受,则模型选定,可获得性能并用于管理决策。

6) 否则可有三种选择:① 收集更多的数据,自步骤 1)开始重复以上步骤;② 另选一个现有模型,自步骤 2)开始重复以上步骤;③ 开发一个新模型,自步骤 3)开始重复以上步骤。

在模型选择过程中,根据软件计划对可靠性的具体要求和供选择软件可靠性模型进行对比,可以淘汰一部分不适用的模型,初步得到一些可接受的模型。此时,必须在可接受的模型中选择一个作为软件计划规定的可靠性模型,但由于缺乏软件可靠性的数据,影响软件可靠性模型选择的因素难以量化,只能依赖一些专家与工程人员的实际经验,而模糊数学的理论与方法比较适合此类问题。

3.2 基于模糊综合评判的软件可靠性模型选择

模糊综合评判是利用模糊集理论对受到多种因素制约的事物和现象在模糊环境下作出一个总体综合评价。此方法提供了解决决策过程中模糊信息的定量处理问题的方法,目前在软科学研究领域及工程设计中得到广泛应用。模糊综合评判的模型可以分为单级模型和多级模型:单级模型适用于比较简单的问题;对于复杂的问题,由于需要考虑的因素很多,常常采用多级模型,以便在较小的范围内比较方便地确定较少量因素的相对重要性,提高准确度^[5]。由于软件可靠性模型选择过程中涉及的因素较多,本文采用的模糊综合评判模型为多级模型,其步骤如下:

3.2.1 建立因素集

按照第 2 部分(影响软件可靠性模型因素)的分析,建立基本因素集 $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$,将 u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 进一步划分,可以得到下一级因素集: $u_1 = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}\}$, $u_2 = \{u_{21}, u_{22}, u_{23}\}$, $u_3 = \{u_{31}, u_{32}, u_{33}\}$, $u_4 = \{u_{41}, u_{42}, u_{43}, u_{44}, u_{45}\}$, $u_5 = \{u_{51}, u_{52}, u_{53}, u_{54}, u_{55}\}$ 。其中各因素的含义对应于第 2 部分的叙述。

3.2.2 建立评价集

设定软件可靠性模型选择的评价集为 $V = \{\text{好, 较好, 一般, 差}\}$ 。

3.2.3 建立权重集

采用专家评分法确定权重。设由 m 位专家组成评定组,第 i 位专家对第 j 项因素评定的权重为 a_{ij} ,则第 j 项因素的权重为

$$a_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_{ij}, \quad i=1 \cdots m, \quad j=1 \cdots 5 \quad (1)$$

依次评定出每项因素的权重后,得到与 $u, u_1, u_2, u_3, u_4, u_5$ 对应的权重集 $A, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ 。

3.2.4 单因素评判

采取专家打分的方法建立软件可靠性选择模糊关系矩阵 $R(r_{ij})$ 。综合所有专家对某可接受模型的打分,分级计算因素集中各因素对评价集中各因素的隶属度 r_{ij} ,得到与 u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 对应的单因素评判矩阵 R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 。

$$r_{ij} = \frac{\text{对 } U \text{ 中第 } i \text{ 个元素,专家划分为 } V \text{ 中第 } j \text{ 档次的人数}}{\text{评审专家人数}} \quad (2)$$

3.2.5 模糊综合评判

综合评判向量 B 可由下式计算:

$$B = A \circ R = A \circ \begin{bmatrix} A_1 \circ R_1 \\ A_2 \circ R_2 \\ A_3 \circ R_3 \\ A_4 \circ R_4 \\ A_5 \circ R_5 \end{bmatrix} = (b_1, b_2, b_3, b_4) \quad (3)$$

公式(3)中矩阵的乘法运算均按照模糊矩阵乘法运算规则进行。

3.2.6 最终评定

对 B 进行归一化处理,得到向量 $B = (b_1, b_2, b_3, b_4)$,其中

$$b_i = b_i / \sum_{i=1}^n b_i \quad i=1 \cdots 4 \quad (4)$$

相应地把 5 分,4 分,3 分,1 分,分别表示为 4 个档次。有

$$u = (5, 4, 3, 1)^T \quad (5)$$

则综合评分为

$$Y = B \cdot u = (b_1, b_2, b_3, b_4) \cdot (5, 4, 3, 1)^T \quad (6)$$

将可接受模型分别按照上述步骤进行计算,最后比较所得到的值,可从中选择一个模型作为软件计划规定的软件可靠性模型。

3.3 实例验证

由于目前国内软件可靠性工程实践开展得不够,软件可靠性数据收集不充分,因此,我们采用国外一个经过分析的实例进行验证。该实例来自于一个实时指令控制系统,是 John Musa 于 20 世纪 70 年代中期在贝尔实验室收集的^[1]。验证采用 JM 模型, LV 模型和 LNHP 模型作为可接受模型,确定权重时选择了 7 个专家打分,评判时选择了 10 个专家打分,最后选择 LNHP 模型作为该软件实例的软件可靠性模型,与原分析结果一致。详细过程见参考文献。

4 结束语

通过以上分析可知,在软件可靠性模型选择过程中,当可靠性数据缺乏时,采用模糊综合评判的方法可以借助专家与工程人员的实践经验,从可接受模型中初步确定一个有效的软件可靠性模型。但是,常规的模糊综合评判方法中,还存在着一些不令人满意的缺陷,需要进行改进。如权重模糊向量与单因素评判矩阵进行模糊矩阵合成时采用取小、取大运算(\wedge, \vee),虽然突出了主要因素和评判对象对备择元素的隶属程度,但也丢失大量有价值的信息,以致达不到任何有意义的评判结果;权重分配目前多采用专家打分法或统计的方法,专家打分法受到专家自身偏好的制约,而统计的方法则需要大量的数据,因此,可以采用人工神经网络的方法来确定,将以往的经验数据作为样本对人工神经网络进行训练,不断提高模型的能力,就可以兼顾已经积累的经验 and 现实的合理性^[6]。

参考文献:

- [1] MUSA J D, IANNINO A, OKUMOTO K. Software Reliability: Measurement, Prediction, Application [M]. New York: McGraw - Hill, 1987.
- [2] 蔡开元. 软件可靠性工程基础 [M]. 北京:清华大学出版社,1995.
- [3] 徐仁佐. 软件可靠性模型及应用 [M]. 北京:清华大学出版社.
- [4] 王 昕. 软件可靠性模型选择研究 [D]. 西安:空军工程大学工程学院,2001.
- [5] 杨松林. 工程模糊论方法及其应用 [M]. 北京:国防工业出版社,1996.
- [6] 张立明. 人工神经网络的模型及其应用 [M]. 上海:复旦大学出版社,1993.

(编辑:姚树峰)

An Approach to Software Reliability Model Option Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation

TIAN Tao¹, ZHANG Feng - ming¹, WANG Xin²

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Air Force Department of Equipment, Beijing 100843, China)

Abstract: Software reliability model is an important aspect of software reliability engineering and choosing an appropriate model in the case of lacking software reliability data is the key of software reliability quantitative analysis. On the basis of the analysis of the factors affecting software reliability model, this paper presents a fuzzy comprehensive Evaluation - based approach to software reliability model option by means of fuzzy mathematics theory.

Keywords: software reliability; reliability model; fuzzy comprehensive evaluation