

基于架构的软件可靠性分配模型及优化研究^①

Study on Architecture-Based Software Reliability Allocation Modeling and Optimization

陈未如 李可明 (沈阳化工学院 计算机科学与技术学院 辽宁 沈阳 110142)

摘要: 本文根据软件可靠性分配的相关理论,提出了基于架构的软件可靠性分配模型,克服了在系统设计完成后,要提高软件的可靠性需要花费巨大成本的困难。首先,提出了基于架构的软件可靠性分配思想和可靠性成本预估函数,然后以可靠性预估成本最小为目标函数建立非线性规划模型,给出求解步骤,得到组件可靠性与成本之间的优化结合。通过算例表明通过该模型进行软件可靠性分配是可行的。

关键词: 软件可靠性分配模型 软件架构 费用函数

1 引言

软件可靠性是影响软件质量的关键因素,一个软件系统如果没有好的可靠性,对软件系统后期使用以及维护的影响有时会是难以弥补的。而软件架构是在一个抽象的层次上对软件整体结果的抽象,为开发人员提供了更好的方法来理解软件以及构建更大、更复杂的软件系统。虽然好的架构并不一定能保证可以获得高可靠性的软件产品,但可以肯定,建立在不良架构基础上的软件不可能获得较高的可靠性。由于架构的不合理使得软件达不到预期可靠性目标而进行结构修改的代价是相当高的。因此,在软件开发初期,对基于架构的软件系统进行可靠性分配是保证软件产品质量、减少开发费用的一个重要方法。因此,本文参考软件可靠性分配相关理论,提出一种基于架构的软件可靠性分配模型,以可靠性预估成本最小为目标建立非线性规划模型,通过求解得到组成系统架构的各个构件的成本与可靠性之间的最优匹配^[1]。

软件可靠性和费用之间的分配与权衡问题已经成为软件工程领域的重要研究内容,受到越来越多研究者的关注。如 Poore, Mills 和 Mutchler^[2]使用电子表格方法,实现了软件构件可靠性分配的多种策略。Zahedi 和 Ashrafi^[3]采用 AHP 方法,以费用为约束,对软件系统结构进行建模,给出了实现系统可靠性最大化模型。Boehm 等人^[4]提出用 COCOMO 模型对

软件项目开发费用进行估计。Huang 和 Lyu^[5,6]在软件可靠性增长测试中,运用 LTE(logistic testing effort) 函数,实现可靠性测试费用的最优化分配。并且,还有一些文献^[7,8]对有关最佳软件发布时间问题中的费用和可靠性间的权衡进行了讨论。

2 软件可靠性分配模型

软件可靠性成本的发生是为了保证软件系统的质量。因此,在软件开发过程中要努力达到其两者之间的最优化结合。本文根据这种思想,提出了构件可靠性与成本之间的费用函数。

2.1 相关定义

软件可靠性分配是软件系统开发过程中一个重要的可靠性工作项目^[9]。目标是将系统可靠性指标转换为每一个构件的可靠性指标,用以指导分系统的开发。进而,在一定的资源约束条件下寻求一种最佳的设计实施方案,使系统获得较高的可靠性。一般通过建立某一目标最优条件下的非线性规划模型,来指导软件开发中构件的可靠性分配,这就需要建立开发成本与各个构件之间的费用函数关系。

2.1.1 软件可靠性

要对软件可靠性进行分配,首先引入软件可靠性的定义。软件可靠性定义为^[10]:在一段时间内,软件无失效运行的概率。这里假设一个软件系统是由若干

① 收稿时间:2008-10-14

个组件连接而成,而每个组件的可靠性是已知的或可以测得的。

2.1.2 可靠性预估成本

定义可靠性预估成本如下:在软件架构设计完成之后,对基于此架构的软件系统进行开发,预计满足系统可靠性要求的软件所需可能的成本总和。具体可以根据基于架构的软件可靠性相关理论,分析系统架构,从中抽取出我们需要的简单结构,进行成本估计,然后在进行系统整合,从而得到对整个系统架构的成本预计。

2.2 可靠性预估成本函数

工程中定义费用函数表示可靠性与开发成本之间的关系,即达到软件可靠性要求所需花费的各种人力、物力、财力、时间等的总和,最初称其为努力函数(effort function)。由于很难获得各软件元素费用与可靠度之间的统计数据,无法建立经验关系式^[11],1986年 Dale 和 Winterbottom 提出了费用函数必须满足的一些性质,克服了这一问题:

假设对于任意组件 i 的可靠性 R_i , 存在 $0 \leq R_i(1) \leq R_i(2) \leq 1$, 记 $c(R_i(1), R_i(2))$ 表示将的可靠性 R_i 从 $R_i(1)$ 提高到 $R_i(2)$ 所花费的努力, 则:

$$\textcircled{1} c(R_i(1), R_i(2)) \geq 0, 0 \leq R_i(1) \leq R_i(2) \leq 1$$

$$\textcircled{2} c(R_i(1), R_i(3)) = c(R_i(1), R_i(2)) + c(R_i(2), R_i(3)),$$

$$0 \leq R_i(1) \leq R_i(2) \leq R_i(3) \leq 1$$

$$\textcircled{3} c(R_i) \text{ 可微}$$

$$\textcircled{4} \frac{\partial^2 c(R_i)}{\partial p^2} \geq 0, 0 \leq R_i \leq 1$$

$\textcircled{5}$ 对任意固定的 $R_i(1)$, $0 \leq R_i(1) < 1$, 若 $R_i(2)$ 趋近于 1, 则 $c(R_i(1), R_i(2))$ 趋近于 ∞

$$\textcircled{6} c(R_i) \text{ 是单调增函数}$$

本文从这些性质出发,假设基于架构的软件系统的失效率完全依赖组成其本身的组件;而组件的失效率与其本身的规模成正比,然后根据失效率与可靠性之间的指数关系建立了软件可靠性与开发成本之间的费用函数—可靠性预估成本函数,用于基于架构的软件可靠性分配。函数关系如下:

$$C(r_i) = \frac{-f_i}{\ln r_i} + B_i \quad (1)$$

其中, i 表示组成软件架构的任意一个组件; $C(r_i)$ 表示组件 i 的可靠性预估成本; f_i 表示组件 i 的可靠性提高的费用系数(简称系数),与组件的规模、性质等参数有

关, $f_i > 0$; r_i 表示组件 i 的初始可靠性; B_i 表示组件的可靠性预估成本的基值,即组件 i 的最低可靠性预估成本。组件可靠性与成本之间费用函数如图 1 所示:

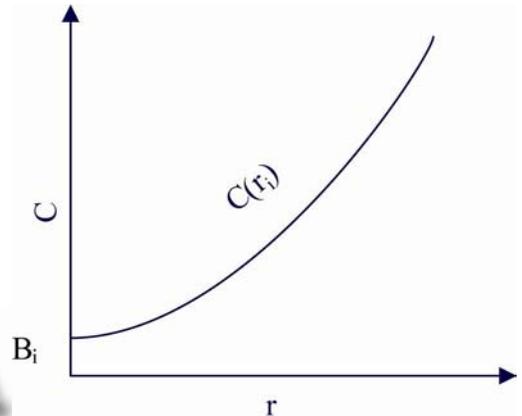


图 1 组件 i 的可靠性预估成本

2.3 可靠性分配思想

基于架构的软件可靠性分配的定义为:在保证系统可靠性目标的前提下,对组成软件架构的成分做出分析,分离为一个个的基本软件元素,并由此对基于架构的各个软件元素进行可靠性目标的分配,以达到在可靠性预估成本一定的情况下,开发得到的软件可靠性最大,或在系统可靠性目标一定的情况下,可靠性预估成本最小。因此,基于架构的软件可靠性分配可以为系统的可靠性研究提供依据,具有重要的实际意义。其中,软件元素被定义为诸如操作、子架构、组件、对象或者是其它能够用于可靠性分配的实体。

基于架构的软件可靠性分配受很多因素的影响,诸如:组件的可靠性、组件间的关系、架构结构、架构风格等。因此,要通过改变组件的可靠性、组件间的关系结构、架构风格等方法来提高系统可靠性,首先要给出它与组件、组件分布、架构风格等因素间的关系,然后根据系统可靠性目标、软件架构和组件关系,结合可靠性成本费用函数,为组件分配满足要求的,并且使基于架构的系统预估可靠性成本相对较小的可靠性值。若每个组件均达到了可靠性要求,则系统肯定能够达到其可靠性目标。

2.4 优化模型及求解

在软件设计阶段,对于由 n 个构件组成的软件架构,根据基于架构的软件可靠性评估理论^[12],得出系统的可靠性。此时,要提高软件系统的可靠性指标到

R_{obj} , 系统的可靠性预估成本显然要增加。并且, 可靠性提高的幅度越大, 所需要的成本越高, 它们之间呈非线性关系。怎样分配各个组件的可靠性, 使系统开发所需可靠性预估成本最低, 问题可描述为一个非线性规划问题:

假设要使系统架构的可靠性由 R 提高到 R_{obj} 的总成本为 $\sum_{i=1}^n C(r_i)$ ($i=1,2,3 \dots$), 我们希望在为其为最小值的情况下将可靠性分配给各个构件, 则:

$$\text{目标函数为: } \min(\sum_{i=1}^n C(r_i)) \quad (2)$$

$$\text{约束函数为: } R \geq R_{obj} \quad (i=1,2 \dots n)$$

其中: n - 构件的个数

R - 基于架构的系统可靠性

R_{obj} - 系统的可靠性指标 $0 < R_s < 1$

$C(r_i)$ - 软件元素 i 的可靠性预估成本

求解这一问题, 首先要获得基于架构的软件可靠性评估函数, 建立软件可靠性分配模型, 然后根据可靠性预估成本函数, 在软件系统可靠性目标给定的约束条件下, 通过动态规划进行分配, 达到最小开发预估成本与最高可靠性目标之间的优化组合。综上, 给出利用基于架构的软件可靠性分配模型, 进行软件可靠性分配的流程:

步骤 1: 评估 根据基于架构的软件可靠性评估理论评估对系统架构进行可靠性评估, 建立软件可靠性分配模型。

步骤 2: 计算 根据可靠性预估成本函数, 分别计算每个组件由初始可靠性到最高可靠性所需要的开发成本与成本基值的差。

步骤 3: 分析 根据动态规划原理, 进行基于架构软件可靠性分配, 得到系统可靠性提高与所需可靠性预估成本之间的最优匹配。

3 算例分析

设某系统架构由三个独立的构件串联组成, 系统可靠性指标为 $R_{obj}=0.95$ 。其中, 构件 1 的可靠性 $R_1=0.93$, 费用系数 $f_1=0.9$, 成本基值 $B_1=10$; 构件 2 的可靠性 $R_2=0.95$, 费用系数 $f_2=0.95$, 成本基值 $B_1=18$; 构件 3 的可靠性 $R_3=0.96$, 费用系数 $f_3=1$, 成本基值 $B_3=25$ 。试在软件可靠性预估成本最小的约束条件下, 将软件可靠性指标分配给各个构件。

首先, 本例由三个元素串联而成, 则:

$$R=R_1 * R_2 * R_3 \quad (3)$$

其次, 根据公式(1)分别计算每个构件由初始可靠性到最高可靠性的预估开发成本, 如表 1, 2, 3 所示;

然后, 将公式(1)、(3)代入(2)中, 建立模型, 根据动态规划方法, 进行组合, 得到满足软件可靠性要求的构件可靠性组合^[13]。

$$\text{目标函数: } \min C = \sum_{i=1}^3 (\frac{-f_i}{\ln r_i} + B_i)$$

$$\text{约束条件: } R_1 * R_2 * R_3 = R$$

$$R \geq R_{obj} \quad (i=1,2,3)$$

根据排列组合方法, 要使软件可靠性满足可靠性指标 R_{obj} , 有很多种组合, 这样一个一个的算很麻烦, 因此采用动态规划法。首先, 将 R_1 与 R_2 进行组合, 舍弃小于 0.95 的方案, 同时舍弃那些可靠性低而花费较大的方案, 然后将得到的方案与 R_3 进行组合, 得到 $R_1 * R_2 * R_3 \geq R_{obj}$ 且费用较小的组合, 把最后的结果进行比较, 即得到了可靠性满足要求, 且可靠性预估成本最低的方案。结果为: $R_1=0.98$, $R_2=0.99$, $R_3=0.98$, 总成本 $G=190$ 。

工程中采用此算例进行计算, 得到了类似的实验结果^[14], 因此, 利用基于架构的软件可靠性成本分配模型, 在软件开发早期开发成本最小的约束条件下进行可靠性分配具有一定的可行性。但是, 模型仍然具有一定的约束性: 模型仅适用于系统组件仍在设计阶段的新系统。改进的模型的相关研究正在继续, 以后的工作是主要针对组件可靠性可以改进的基于架构的软件系统可靠性分配。

4 结论

本文给出了一种基于架构的软件可靠性分配模型, 描述了模型的建立以及求解的步骤。所给模型不依赖于测试数据, 通过软件可靠性与开发成本之间的费用函数—可靠性成本预估函数—计算组件可靠性提高所需要的开发成本, 通过动态规划进行可靠性分配, 利于开发人员在软件开发初期阶段, 采用这种分配方法有计划的分配构件的可靠性和成本。最后, 通过算例进行分析, 表明利用该模型对基于架构的软件可靠性进行分配是可行的。

表 1 组件 1 的可靠性欲估成本函数

R_1	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
C_1	17.65	22.5	30.0	45.0	90.0

表 2 组件 2 的可靠性欲估成本函数

R_2	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
C_2	18.63	23.75	31.67	47.5	95.0

表 3 组件 3 的可靠性欲估成本函数

R_3	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
C_3	19.61	25.0	33.3	50.0	100.0

参考文献

- 1 Bass L, Clements P, Kazman R. 软件构架实践, 北京: 清华大学出版社, 2003.
- 2 Poore JH, Mills HD, Mutchler D. Planning and Certifying Software System Reliability. IEEE Software, 1993,10(1):88-99.
- 3 Zahedi F, Ashrafi N. Software Reliability Allocation Based on Structure, Utility, Price and Cost. IEEE Trans. Software Eng, 1991,17(4):345-356.
- 4 Boehm B, Valerdi R, Lane JA, et al. COCOMO Suite Methodology and Evolution. CrossTalk, 2005,4:20-25.
- 5 Huang CY, Lo JH, Kuo SY, et al. Optimal Allocation of Testing-resource Considering Cost, Reliability, and Testing-Effort. Proceedings 2004 Pacific-Rim Dependable Computing, French Polynesia, 2004: 103-112.
- 6 Kuo SY, Huang CY, Lyu MR. A Framework for Modeling Software Reliability, Using Various Testing-Efforts and Fault-Detection Rates. IEEE Transactions on Reliability, 2001,50(3):310-320.
- 7 Kitchenham BA. Empirical Studies of Assumptions that Underlie Software Cost-estimation Models. Information and Software Technology, 1992,34(4):211-218.
- 8 Leung YW. Optimal Reliability Allocation for Modular Software Systems Designed for Multiple Customers. IEICE Trans. Information and Systems, 1996, E79 - D(12):1655-1662.
- 9 高建华, 韩冰青. 软件可靠性分配的模式框架研究. 第十届全国容错计算学术会议.
- 10 Musa JD. Software Reliability Engineering. US: McGraw Hill, 1999.
- 11 刘飞, 张为华. 基于费用函数的系统可靠性优化分配方法. 机械设计与制造, 2005,11:11-12.
- 12 王炜, 陈未如. 软件架构切片在软件可靠性评估中的应用. 微计算机信息, 2008,24:1-3.
- 13 沈雪石, 陈英武. 软件构件可靠性与费用分配最优模型. 国防科技大学学报, 2007,29(2):81-84.
- 14 张晓桂, 徐卫杰. 串联系统可靠度分配和最小花费之间的关系. 佳木斯工学院学报, 1997,15(1).