

航天运输系统中 软件复杂性度量与控制

Software Complexity Measurement and Control in Space
Transportation System

北京旋极信息技术有限公司 张 琨



张 琨

主要从事软件测试工具使用研究。
软件测试工具涵盖代码走查、静态度量
和单元（集成）测试。

伴随着空间运载系统取得的巨大进步,人们对未来的航天运输系统也提出了更高的要求:航天运输系统需要具备快速进入空间、在轨灵活机动、在轨飞行持续时间长、能自由再入返回等特点。为了确保中国航天运载器的可持续发展,我国也开展了先进概念的航天运输系统的研究和开发工作,在这种大环境下,航天

用软件度量学的方法来科学地评估软件质量,能够更有力地对软件开发过程进行控制和管理,合理地组织和分配资源,制定切实可行的软件开发计划,从而获得高质量的软件。

运输软件质量的重要性越来越为人们所认同。自软件危机至今的近10年来,软件的质量研究一直是软件研究发展较快的课题和研究较多的方向,人们通过大量的实践和经验,概括、总结并抽象出该课题的一系列概念和模型,并给出了影响软件质量的因素及其控制方法。用软件度量学的方法来科学地评估软件质量,能够更有力地对软件开发过程进行控制和管理,合理地组织和分配资源,制定切实可行的软件开发计划,从而获得高质量的软件。

航天运输系统中软件产品 质量评估的特点

(1)更加注重对软件复杂性的定量分析与控制。减少由于软件设计方法和技巧使用不当而带来的复杂性,可以更好地对软件开发过程进行控制,进而提高软件生产率和软件

产品的质量。另一方面,软件复杂性的度量结果可以用来估算出软件中存在的错误数量及软件开发需要的工作量和开发成本,也可以用来比较2个不同设计或者2种不同算法的优劣,更可以作为衡量软件中模块规模的精确量度。

(2)更加注重分析技术和测试技术在产品验证中的作用。对于软件复杂性的研究已有几十年的历史,到目前为止,人们从不同的角度提出了许多度量方法和标准,发展较为成熟并被广泛应用的程序复杂程度算法有两种:基于控制流的度量方法(如McCabe方法)和基于程序体积的度量方法(如Halstead方法)。它们虽然存在一定的不足,缺乏完整统一的理论根据,但都在一定程度上从不同的侧面反映了软件的复杂性,并已成功运用于软件开发过程中,取得了显著的效益。

(3) 软件复杂性度量的主要方法。根据软件的生命周期, Halstead 复杂性度量和 McCabe 圈复杂度度量都属于可以应用在软件测试阶段的度量技术, 有助于进行软件产品的定量评估。

1 Halstead 复杂性度量

在基于程序体积的复杂性度量算法中, 最具影响力的是 20 世纪 70 年代由 Halstead 提出的软件科学度量理论。Halstead 从统计学和心理学的角度研究软件复杂性, 把程序看成由可执行的代码行词汇(操作符和操作数)组成的符号序列。Halstead 在其度量理论中采用一些基本的度量值来确定软件开发中的一些定量规律, 这些度量值通常在程序产生之后得出, 或者在设计完成之后算出。Halstead 的重要结论之一是: 程序实际的 Halstead 长度值 N 可以由代码行词汇 n 算出。

2 McCabe 圈复杂度度量

MCCabe 于 1976 年指出: 应用程序流图的圈数 (Cyclomatic number) 来测量程序的复杂性, 并基于程序控制论和图论提出了经典的 McCabe 圈复杂度度量理论。McCabe 控制流图是一种简化的程序流程图, 如果把流程图中的每个基本框抽象为一个点, 略去每个框的具体信息, 就产生一个由结点和弧(或称为分支)组成的图, 称为控制流图。控制流图是有向图, 可用 $G = \langle V, E \rangle$ 表示, 其中, V 表示结点集合, 代表程序流程图中的基本框; E 表示有向边, 代表程序流程图中的控制方向。下图表示了一个典型程序及其相应的流程图:

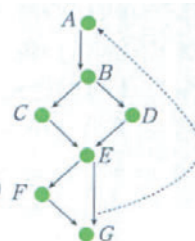
为了方便讨论, 下

文给出图论中的几个术语定义: (1) 强连通图: 在有向图 G 中, 任意两个结点 x 和 y 都有一条从 x 到 y 的路

径, 反之亦然。(2) 回路: 指开始和终止于相同结点的路径。(3) 圈: 指一个回路, 其中所有结点(不包括开始结点)最多只出现一次。(4) 线性独立集: 如果在一个集合中, 任何一条路径都不是其他路径的线性组合, 则称该集合为线性独立集。(5) 圈的基集: 即圈的最大线性独立集。在含有 e 条边和 n 个结点的图中, 基集有 $e - n + 1$ 个圈。

如果能够合理地编写程序, 则总

```
A: InPut(Score);
B: If Score < 45
C: Then Print( 'Fail,')
D: Else Print( 'Pass')
E: If Score > 80
F: Then Print( 'withdistinction')
G: End
```



程序及其流程图

能够使控制流图中存在从开始结点(如上图中的结点 A)到达图中的其他每个结点的路径。一般来说, 控制

能刃磨群钻的多功能 钻头(刀具)磨床

专利号: 96233100.7 01214097.X

MZW 型系列多功能钻头(刀具)磨床能刃磨 $\phi 3-100\text{mm}$ 之间的各型群钻, 其中 MZW6330B、MZW6340P、6360C、63100C 型机床配特殊附件, 还能刃磨立铣刀、盘铣刀、球面铣刀、机夹刀片、焊接车(刨)刀等多种刀具。刃磨后的钻尖定心, 分屑好, 对称度可达 0.02mm , 在一定工艺条件和范围内, 可提高孔位精度、孔径精度、钻孔效率和钻头的耐用度, 是用机械化取代手工刃磨钻尖的实用经济型设备。

有了它, 用户可以根据需要选择和刃磨符合自己工艺要求的钻型, 优化技术参数, 改进孔加工工艺, 从而达到提高产品质量、降低生产成本的目的, 该机适用于一切机械加工工厂, 特别适合与数控机床、加工中心配套使用。



MZW63300B



MZW6323T



MZW6323TII



MZW6323P

广告索引号 08-069

资阳市蓝华工业科技有限公司 地址: 四川省资阳市和平北路81号(雁江区人大楼)(841500) 电话: 0832-6224578 6216050 传真: 0832-6224578 E-mail: yihua@zyyihua.com http://www.zyyihua.com

流图不是强连通的,因为不可能从其较低的一些结点到达较高的一些结点;但是,如果程序结构中有一个包含整个程序的外循环,则存在一条从其中任意结点到开始结点的“出口→入口”弧(如上图中的弧GA),该弧使控制流图变成强连通的,因为从开始结点能够到达程序图中的任意结点,而且从任意结点经“出口→入口”弧均可回到开始结点。

McCabe的圈复杂度度量就是考虑控制流图的圈的基集,因为在原始流图中加了一条边,所以如果一个流图为G的程序模块有e条边和n个结点,那么该程序模块的圈复杂度为: $v(G)=e-n+2$ 。假设d是G中的判定结点数,则 $v(G)=d+1$ 。

软件工程的实践人员和研究人员一致认为:模块的圈数,即模块复杂度,与模块中所存在的软件错误数或缺陷数,以及为了发现并改正它们所需的时间之间存在着明显的联系。

基于 McCabe 圈复杂度的软件复杂性控制技术

在软件工程活动中,McCabe圈复杂度度量有以下3种使用方式:

1 作为测试的辅助工具

McCabe圈复杂度度量的结果等于通过一个子程序的路径数,因而需要设计同样多的测试用例以覆盖所有的路径。如果测试用例数小于复杂度数值,则说明需要进行下列3个后继操作中的一个:

- (1) 需要更多的测试;
- (2) 某些判断点可以去掉;
- (3) 某些判断点可用插入式代码替换。

2 作为程序设计和指南

McCabe圈复杂度度量以一种简单的方式指出可能引起问题的子程序,一种简单、通用的方法是设置一个长度限制,例如50行或2页。这实际上是在缺乏简明、有效的测试

方法时一种无可奈何的替代方法。不少人认为McCabe圈复杂度度量就是这样一种简明性度量。需要注意的是,度量数大的程序,不见得结构化不好,例如Case语句是良结构的,但可能有很大的度量数(依赖于语句中的分支数),这可能是由问题和解决方案所固有的复杂性决定的,用户应该自己决定如何使用该度量提供的信息。

3 作为网络复杂度度量的一种方法

Hall和Preiser提出了一种组合网络复杂度度量,其组合度量公式可用于度量可能由多个程序员按模块化原则建立的复杂大型软件系统。

McCabe圈复杂度既可用于度量各个模块的复杂性,也可用于度量网络复杂性。

McCabe 圈复杂度应用方向

1 作为程序质量标尺

McCabe曾经指出:根据以往的经验,当一个模块的v(圈复杂度)超过10时,这个模块可能就会出问题。Grady和他的研究小组关于v的结论是:模块中允许的最大圈数为15。Channel Tunnel铁路系统中的软件质量保证规格要求为:如果模块的圈数超过20,则该模块不合格。

2 降低程序复杂度

对于同一算法,可以编写出不同复杂度的程序。显然,低复杂度程序不仅可以降低程序设计难度,还能增强程序的可读性,所以应尽量编写低复杂度的程序。例如,大量使用嵌套的条件语句会使程序复杂度提高,如果将嵌套的条件语句变成一般的赋值语句,则可以降低程序复杂度。

3 指导控制流测试

控制流测试法是基于程序控制流图,通过分析控制结构的环路复杂性,导出基本可执行路径集合,从而设计测试用例的方法。一般分为以下4个流程:

- (1) 绘制程序控制流图。程序

控制流图是描述程序控制流的一种图示方法;

(2) 计算程序圈复杂度。从程序的圈复杂度数值可推导出程序基本路径集合中的独立路径条数,这是确定程序中每条可执行语句至少执行一次所必须测试用例数的上界;

(3) 导出测试用例。根据圈复杂度和程序结构,设计用例输入数据和预期结果。

(4) 准备测试用例。确保基本路径集合中的每一条路径的执行。

设计的测试用例要保证在测试过程中程序的每条可执行语句至少执行一次。在这种测试中,分析程序的圈复杂度数值即独立线性路径数量,作为一种分析方法和测试辅助方法起到了很大的作用。

在测试完全部路径后,保留所有的测试用例和测试结果,即可完成对程序中的每一种逻辑处理方式的测试。同理,也可以反过来对已存在的测试用例进行验证。如果经过控制流图分析圈复杂度,得出当前测试有不足或重复的情况,则可以及时发现问题。

结束语

实践证明,应用McCabe圈复杂度可以控制和改进软件程序的复杂度,提高测试效率,达到航天运输系统软件测试可靠性的要求。软件的整个开发过程中都需要注重产品的质量量化工作,以提高产品的可靠性。而要提高软件可靠性并进行全面准确的度量,关键在于保证与失效事件相关的错误、故障历史数据的准确性。因此,软件开发和测试过程中的所有历史数据都应保存完好,并对这些数据进行失效分析、故障分析和错误分析,在软件可靠性度量的实践过程中不断完善软件可靠性度量体系,使软件可靠性度量更为实用化。

(责编 淡蓝)