

上海大学出版社

2005年上海大学博士学位论文 88



基于 UML statecharts 测试方法的研究

- 作者：占学德
- 专业：控制理论与控制工程
- 导师：缪淮扣



6643/142

001280746

上海大学出版社

2005年上海大学博士学位论文 88



基于 UML statecharts 测试方法的研究

- 作者：占学德
- 专业：控制理论与控制工程
- 导师：缪淮和



贵阳学院图书馆



GYXY1280746

图书在版编目(CIP)数据

2005 年上海大学博士学位论文. 第 2 辑/博士论文编辑部编. —上海: 上海大学出版社, 2009. 6

ISBN 978-7-81118-367-2

I. 2… II. 博… III. 博士—学位论文—汇编—上海市—2005 IV. G643.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 180878 号

2005 年上海大学博士学位论文

——第 2 辑

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200444)

(<http://www.shangdapress.com> 发行热线 66135110)

出版人: 姚铁军

*

南京展望文化发展有限公司排版

上海华业装潢印刷厂印刷 各地新华书店经销

开本 890×1240 1/32 印张 274.25 字数 7641 千

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1~400

ISBN 978-7-81118-367-2/G·490 定价: 980.00 元(49 册)

Shanghai University Doctoral Dissertation (2005)

Research of Testing method Based on UML statecharts

Candidate: Zhan xuede

Major: Control Theory and Control Engineering

Supervisor: Miao huaikou

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查,确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单:

主任: 钱乐秋	教授, 复旦大学计算机系	200433
委员: 陈涵生	研究员, 华东计算所	200233
虞慧群	教授, 华东理工大学计算机系	200237
吴耿锋	教授, 上海大学计算机学院	200072
童维勤	教授, 上海大学计算机学院	200072
导师: 缪淮扣	教授, 上海大学计算机学院	200072

评阅人名单:

郑国梁	教授, 南京大学计算机系	210093
钱乐秋	教授, 复旦大学计算机系	200433
陈涵生	研究员, 华东计算所	200233

评议人名单:

宋国新	教授, 华东理工大学计算机系	200237
李明禄	教授, 上海交通大学计算机系	200030
刘宗田	教授, 上海大学计算机学院	200072
郁松年	教授, 上海大学计算机学院	200072

答辩委员会对论文的评语

论文结合软件形式化方法和已被业界广泛接受的 UML 建模技术,对基于 UML 状态图的测试方法进行了深入的研究和探讨,选题有理论意义和应用价值。

论文提出了基于 UML 状态图的测试框架。该框架将 UML 状态图转换成 FREE 模型,并根据不同的测试充分性准则产生测试用例;论文用 Z 规格说明语言定义了 UML statecharts 的形式化语法和语义,不仅有助于验证软件设计的一致性,而且也便于软件测试用例的生成。

按照不完全归纳法的思想,论文提出了 ZOT 循环覆盖和全 ZOT 路径覆盖准则,使状态图中的循环迁移得到更充分的测试。

论文对 A. J. Offutt 给出的全谓词公式覆盖和迁移对覆盖两条测试准则进行了扩充,提出了由 FREE 模型产生有限迁移序列的三个算法。

设计并部分实现了基于 UML statecharts 的测试用例生成系统 UMLSTG。

论文结构合理,内容翔实,论述清楚。作者有坚实宽广的基础理论和系统深入的专门知识,科研能力强。占学德在答辩过程中,叙述清楚,回答问题正确。

答辩委员会表决结果

经答辩委员会表决,全票同意通过占学德同学的博士学位论文答辩,建议授予工学博士学位。

答辩委员会主席: **钱乐秋**

2005年8月23日

摘 要

统一建模语言(Unified Modeling Language, UML)是一种描述能力强大且含义直观的可视化建模语言,它提供多种图元从不同角度和应用层次刻画系统特性以及复杂的运行环境。基于 UML 的软件开发过程和建模环境已被工业界广泛接受,其中包括航天、国防、汽车等许多安全攸关领域。如何保证和提高软件质量成为软件界最为关心的问题之一。软件测试作为保证软件质量的关键技术之一,能够有效地发现软件中的故障。因而,基于 UML 软件测试成为软件工程的一个重要研究方向。软件测试的关键是测试用例的产生。本文对基于 UML statecharts 图的测试用例生成方法进行了研究和探讨。

直接从含有层次和并发结构的 UML statecharts 图产生类的测试用例是比较困难的,本文提出了基于 UML statecharts 图的测试框架:先利用现有的 UML 工具(如 ArgoUML 等)画出 UML statecharts 图,并产生它的 XMI(XML Metadata Interchange)格式的规格说明文件;然后根据 UML statecharts 图的语义,层次和并发结构被展平,UML statecharts 图的规格说明 XML 文件转换成 FREE(Flattened Regular Expression)模型的规格说明信息;最后根据 FREE 模型的规格说明信息,按照不同的充分性测试准则,分别产生测试用例集。

UML statecharts 图是一种图形符号,描述了 UML 框架的行为,它是 UML 语言的一个重要组成部分。然而,UML statecharts 图缺乏精确的语法和语义。本文用 Z 语言定义了 UML statecharts 图的形式化语法和语义。按照这个精确语义,UML statecharts 图被转换成了 FREE 模型。这个 FREE

模型不仅有助于确定软件设计是否是一致的、无歧义的和完整的,而且也有利于软件测试。

测试充分性准则是整个软件测试的核心,它直接决定了测试用例的生成。目前基于 UML 状态图生成测试用例的充分性准则:状态覆盖准则、迁移覆盖准则、全谓词公式覆盖准则和迁移对覆盖准则,它们没有解决测试循环的问题。在测试时,循环被执行一次是很不充分的,按照不完全归纳法的思想,本文提出了 ZOT 循环覆盖准则,也就是使循环分别执行 0 次、1 次、2 次;针对 A. J. Offutt 等人给出的覆盖准则“完全序列准则”(complete sequence level),由于它的操作性极弱,无法在工具中实现,在此基础上结合 ZOT 循环覆盖准则,本文还提出了全 ZOT 路径覆盖准则,并给出了状态覆盖、迁移覆盖、全谓词公式覆盖、迁移对覆盖、ZOT 循环覆盖和全 ZOT 路径覆盖这 6 条覆盖准则的应用,还讨论了这些覆盖准则之间的包含关系。

A. J. Offutt 给出的两条测试准则(全谓词公式覆盖和迁移对覆盖)产生测试用例的算法只适用于以下情况:一方面只对使能迁移产生测试,另一方面它需要所有的变量都是布尔型的。本文针对这两个方面的问题进行了扩充,不仅可以测试使能迁移,还能测试非法迁移,变量也不再要求它是布尔型的,而提出了由 FREE 模型根据全谓词公式覆盖准则和迁移对覆盖准则分别产生有限的迁移序列的两个算法。本文还提出了由 FREE 模型根据全 ZOT 路径覆盖准则分别产生有限的迁移序列的算法。

最后,给出了本文所提出的基于 UML statecharts 图的测试用例生成方法的 UMLSTG 系统设计及实现技术。这个系统,从读入 UML statecharts 图的规格说明 XML 文件,到最后按照不同的测试覆盖准则可以分别产生出相应的测试用例文件。

关键词 UML statecharts, 形式化语义, FREE 模型, 基于规格说明的软件测试, 测试准则, 测试用例自动生成

Abstract

Unified Modeling Language (UML) is a graphical modeling language with powerful ability and intuitionistic meaning. It provides various diagrams to depict system characteristics and complex environment from different viewpoints and different application layers. UML-based software developing process and modeling environments have been widely accepted in the industrial community, which includes the safety areas such as spaceflight, national defense, and automobile, etc. How to guarantee and improve the software quality becomes the main concerned point in the field. As one of the key techniques of guaranteeing software quality, software testing can effectively detect the faults in the system. Thus, software testing based on UML has become an important research direction of software engineering. The key of software testing is to generate test cases. This paper discusses an approach to generating test cases from UML statecharts.

It's difficult to generate test cases of class directly from the UML statecharts diagrams that contain hierarchical and concurrent structure. This paper presents test framework based on UML statecharts; The first, UML statechart diagram is drawn using existing UML tools (such as ArgoUML etc.), and, its specification document of XMI

(XML Metadata Interchange) format is generated. Afterward, according to precise semantics of UML statechart, the specification XML document of UML statechart diagram can be transformed into the specification information of FREE model. The hierarchical and concurrent structure of states is flattened in the resulting FREE state model. Finally, according to the specification information of FREE model, test case set of class is generated based on different coverage criterion.

UML statechart diagram is a notation for describing behaviours in the framework of UML. UML statechart diagram is an important part of the standard UML language. However, UML statecharts lack precisely defined syntax and semantics. This paper provides a method of formalizing syntax and semantics of UML statecharts with Z. According to this precise semantics, UML statecharts are transformed into FREE (Flattened Regular Expression) state models. Not only the model helps to determine whether the software design is consistent, unambiguous and complete, but also it is beneficial to software testing.

The core of software testing is test adequacy criteria. The generating test cases are directly determined test adequacy criteria. This paper presents these adequacy criteria that are generated test cases based on UML diagram. They are state coverage criterion, transition coverage criterion, full predicate coverage criterion and transition-pair coverage criterion. It isn't very complete that a loop is executed only one time while testing. According to thought of incomplete

induction, this paper proposes ZOT loop coverage criteria, namely a loop is executed zero, one and two times. Aim at the coverage criterion “complete sequence level” that was given A.J. Offutt is unable to implement in tools, because of the operation capability of this coverage criterion are vulnerability. The full ZOT path coverage criteria is proposed. The applications of these coverage criteria are given and the subsumption relationships of coverage criteria are discussed.

The full predicate coverage and transition-pair coverage were given A.J. Offutt have two aspects of limitations. The one is tests were derived from enabled transitions; the another tool requires all variables to be Boolean. Aim at these limitations, this paper extends his research. Tests could be derived from invalid transitions. Our tool doesn't require variable to be Boolean. This paper presents three algorithms that generate transition sequence separately based difference test criteria from a FREE model.

Finally, this paper builds a system UMLSTG that implements above testing techniques. The system has implemented automatization, from reading XML document of UML statechart diagram to generating test case documents separately based difference test criteria.

Key words UML statecharts, formal semantics, FREE model, specification based software testing, test criteria, automatic generation of test case

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究的现状及不足	3
1.3 本文的主要工作	7
1.4 本文组织安排	9
第二章 UML、Z 语言与软件测试	10
2.1 UML 基础	10
2.2 形式规格说明语言 Z	16
2.3 软件测试基础	19
2.4 小结	25
第三章 UML statecharts 的形式化语义	26
3.1 UML statecharts 概述	26
3.2 UML statecharts 的形式化语法	29
3.3 UML statecharts 的形式化语义	34
3.4 小结	45
第四章 基于 UML 状态图的测试准则	46
4.1 测试充分性准则	46
4.2 基于 UML 状态图的测试充分性准则	48
4.3 基于 UML 状态图测试准则的应用	59
4.4 测试准则之间的包含关系	64
4.5 小结	66

第五章 基于 UML statecharts 的测试用例生成	67
5.1 基于 UML statecharts 的测试用例推导	67
5.2 基于迁移覆盖的测试用例生成	72
5.3 基于全谓词公式覆盖的测试用例生成	77
5.4 基于迁移对覆盖的测试用例生成	87
5.5 基于全 ZOT 路径覆盖的测试用例生成	90
5.6 小结	94
第六章 系统的设计及实现	96
6.1 系统设计	96
6.2 数据结构与类	97
6.3 UMLSTG 系统的界面	106
6.4 小结	109
第七章 结束语	110
7.1 本文主要贡献	110
7.2 未来的工作	112
参考文献	113
致谢	121
附录一: 咖啡出售机的 XML 文件	122
附录二: 迁移覆盖的测试用例	124
附录三: 三种测试准则的迁移序列	130
附录四: 测试用例规格说明语言的语法	134
附录五: 迁移覆盖的测试用例文件	136
攻读博士学位期间发表的论文	143
攻读博士学位期间参与的科研项目	144

第一章 绪 论

本章主要讨论了立题的背景与意义,还介绍了本文的组织安排及主要工作。本课题受国家自然科学基金项目课题“基于软件形式规格说明的软件测试自动化方法研究”(编号:60173030)和“面向对象软件规格说明的形式化验证与确认”(编号:60373072)的资助,同时还得到了国家 973 项目课题“网构软件形式化理论与方法研究”(编号:2002CB312001)的资助。

1.1 研究背景

随着信息技术的飞速发展,计算机正不断地成为人们生活中不可缺少的部分,计算机软件已广泛地应用于国民经济和国防建设中的许多领域。在航天、金融、医疗、国防等许多重要领域所使用的计算机软件对安全可靠性的要求是相当高的。即使是很小的软件错误也可能导致整个系统的崩溃,造成极大的损失。如:1996 年 6 月阿里亚娜火箭发射失败,就是因为软件故障而造成的,使欧共体蒙受了 25 亿美元的损失。软件质量已成为制约计算机应用的主要因素之一。

针对软件以及软件质量的重要性和迫切性,人们提出了各种方法和技术:形式方法、面向对象方法、软件测试技术等。形式方法作为改进软件开发过程提高软件质量的重要手段在工业界日益受到青睐。工业界现在要求人们能应用形式规格说明语言来开发软件,推荐的形式规格说明语言有:Z^[1,2]、VDM^[3]、Larch^[4]和 OBJ^[5]等。像欧洲的 Esprit 项目 Large correct System 等就是用形式方法来描述的。精确的软件形式规格说明不仅可以作为设计和开发人员开发软

件的依据,也为软件开发人员和维护人员提供了测试的来源。

面向对象的研究主要集中于面向对象的需求分析、对象的开发方法和规范语言。国际对象管理组织 OMG (Object Management Group) 认可的标准建模语言 UML (Unified Modeling Language)^[6] 是近年来软件工程领域的重要成果。它推动了面向对象软件开发的标准化进程,拓宽了研制与开发软件系统的适用范围。UML 是一种描述能力强大且含义直观的可视化建模语言,它提供多种图元从不同角度和应用层次刻画系统特性以及复杂的运行环境。基于 UML 的软件开发过程和建模环境已被工业界广泛接受,其中包括航天、国防、汽车等许多安全攸关领域。用 UML 进行面向对象软件的分析 and 设计建模,可以提高软件质量,却不能保证软件的正确性,如何保证和提高软件质量成为软件界最为关心的问题之一。软件测试作为保证软件质量的关键技术之一,能够有效地发现软件中的故障。目前,对基于 UML 所描述软件的测试的研究还处于起步阶段,现有测试技术的研究还存在许多的不足,需要对其进行深入的研究,以推动面向对象测试技术的实际应用。UML statecharts 图是一种图形符号,描述了 UML 框架的行为,它是 UML 语言的一个重要组成部分。基于 UML 软件测试成为软件工程的一个重要研究方向,软件测试的关键是测试用例的产生,因而,对基于 UML statecharts 图的测试用例生成方法的研究是一个值得探讨的课题。

软件测试是保证软件的安全可靠性的关键技术之一。软件测试在软件开发中花费了相当大的成本,大量统计资料表明,软件测试阶段投入的成本和工作量往往占软件开发总成本和总工作量的 40% 到 50% 甚至更多^[7]。随着软件规模的不断扩大,软件测试在整个软件开发周期中所占比重日益增大。对于某些安全关键的软件,其测试费用甚至高达所有其他软件工程阶段费用总和的三到五倍。因而,提高软件测试的有效性和测试效率,同时降低软件开发成本已成为软件工程师迫切需要解决的任务之一。

尽管如此,软件测试技术仍然一直落后于人们对它的期望。到