

# 利用 UML 映射工具实现系统可靠性建模

Title: Using UML mapping tool to System reliability modeling

(成都信息工程学院)林晓帆 杜斌

LIN XIAOFAN DU BIN

**摘要:**许多可靠性建模技术是基于可靠性框图、故障树、Markov 链等表示方法,但系统架构师、产品经理和软件开发者往往对这些表示方法不太熟悉,他们通常使用统一建模语言(UML)来对系统进行描述,因此系统设计者不得不面对设计过程与可靠性建模间的缺陷。为了弥补这一缺陷,本文提出了一个利用 UML 映射工具实现可靠性建模的方法,同时以实际的例子演示了该方法的可行性。

**关键词:**UML;可靠性建模;故障树;Markov 链

**中图分类号:**TP311.5 **文献标识码:**A

**Abstract:**Most reliability modeling techniques are based on reliability block diagrams, fault trees, Markov chains and various other elements. Such formalisms may not be familiar to system architects, product managers and software developers. They normally use Unified Modeling Language (UML) to describe systems. Consequently, there is inevitably a gap between the design process and reliability modeling that system designers are facing. This paper proposes a method which adopt UML mapping tool to fill the gap. The feasibility of our method will demonstrate by an example.

**Key words:**UML, reliability modeling, fault trees, Markov chains

技术创新

## 1 前言

计算机系统在现代得到了广泛应用,但是系统故障也造成了灾难性的后果,如系统瘫痪、经济损失、甚至人员伤亡等,因此系统的可靠性已成为评估计算机系统的重要指标。系统的可靠性用系统的平均故障时间(MTTF)来衡量,给定系统的可靠性函数  $R(t)$ , MTTF 可以计算为:  $MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt$ 。

许多可靠性建模方法是基于统计方法,例如可靠性框图、故障树、Markov 链,著名的可靠性建模工具 SHARPE,就是基于上述方法。而另一方面计算机领域又是采用标准建模语言 UML 来描述系统的行为。很多软件架构师、产品经理和软件开发者经常使用 UML 来描述他们的软件设计和彼此交流。他们有可能对基于统计方法的可靠性建模不熟悉,这种局面会造成设计过程和可靠性建模过程的脱节。

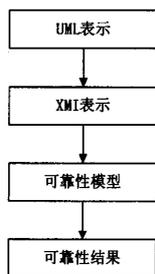


图1 UML映射工具进行可靠性建模的框架

为了弥补这一缺陷,本文提出了一种利用 UML 映射工具实现可靠性建模的方法。首先采用 UML 对一个二层计算机系统使用部署视图进行建模,在部署视图中对每个组件指定故障率和维修率,然后利用我们开发的 UML 映射工具-Model Mapping

林晓帆:讲师 硕士

对 UML 模型产生的输出文件进行处理。Model Mapping 利用 UML 模型输出信息构建故障树和 Markov 链模型,最后使用 SHARPE 工具来计算系统的可靠性。

图1描述了我们提出的基于 UML 映射工具进行可靠性建模的过程。步骤(1):使用 UML 模型图对系统设计和组件级的可靠性信息进行描述;(采用版型来描述组件的可靠性);步骤(2):从步骤1得到的 UML 模型图中获取等价的 XMI 表示;步骤(3):映射模型成统计可靠性模型;步骤(4):计算系统的可靠性;

本文在第2部分描述了怎样使用 UML 来对系统的可靠性进行表示;第3部分描述了从 UML 到 SHARPE 工具的信息传递;第4和5部分描述了 Model Mapping 映射工具构造故障树和 Markov 链模型的过程。

## 2 UML 对系统的可靠性的表示

我们采用 UML 对二层计算机系统的可靠性进行表示。所谓二层系统是指前端和后端系统两部分,例如在线电子商务系统,前端系统是指处理用户请求的 Web 服务器,后端系统用于处理商业逻辑和数据存储。针对示例系统,我们作出了如下假定:(1)系统中的每个组件独立工作,一个组件的故障不会引起另一个组件的故障;(2)只考虑每个节点的硬件故障;

使用部署视图来描述系统的可靠性。我们使用 Gentleware 公司的 Poseidon for UML V5.0 工具来产生 UML 模型,模型中采用标记值的方式来指定每个节点的故障率和维修率。



图2 一个二层系统的部署视图

图2描述了一个系统包含两个服务器和四个计算节点,服务器命名为 server1,server2,计算节点命名为 node1,node2等。服务器和计算节点通过交换机连接。每个节点的故障率和维修率通过标记值对(name-value)来表示,例如,定义一个服务器的故障率为0.01%,采用标记值对定义为:name=failure rate,value=0.01。

一旦这个模型被保存,Posidon生成一个 Zip 格式的文件,在这个文件里包含了一个对 UML 模型进行描述的 XMI 文件。

### 3 可靠性信息解析

完成了系统的建模工作后,可以得到一个 XMI 文件,每个节点的故障率、维修率以及节点间的关系都包含在这个文件里。通过对这个文件解析,这些信息将会被进一步处理。图3描述了从 UML 模型获取系统可靠性的工作流程。

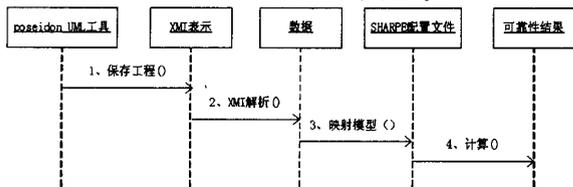


图3 UML模型转换工作流程

采用这种方法,从 XMI 文件中获取的节点名、故障率/维修率、依赖关系将被转换成 SHARPE 工具的配置文件。系统设计者然后使用可靠性建模工具 SHARPE 来计算系统的可靠性。我们开发的 UML 映射工具-Model Mapping 能够支持从一个 XMI 文件生成 SHARPE 工具的配置文件。目前 Model Mapping 软件支持 UML 模型与两种可靠性模型间的映射,一种是故障树,另外一种 Markov 链。在下面部分,我们将描述这两种建模方法和映射算法。

### 4 构建故障树模型

故障树是一个基于非状态空间的可靠性建模方法,表示了系统可能出现故障的概率。它采用布尔门来表示整个系统的可靠性与其组件可靠性的依赖关系。系统故障时间分布函数  $F_G(t)$  表示为:

$$F_G(t) = \begin{cases} \prod_{i=1}^n F_i(t) & \text{与门} \\ 1 - \prod_{i=1}^n F_i(t) & \text{或门} \end{cases}$$

$F_i(t)$ 是组件 i 的故障时间分布函数,相应每个组件的可靠性时间分布函数  $R(t)=1-F(t)$ 。Model Mapping 软件采用直接的方法实现了 UML 模型与故障树模型间的映射。假定整个系统仍然能够提供服务的最低条件是至少保证一台服务器和一个节点正常工作,因此前端的服务器限定于故障树模型的“与门”组,后端的计算节点限定于另一个“与门”组,最后服务器和节点的门限定于一个“或门”,这个或门的可靠性就是整个系统的可靠性。图4描述了根据前面图1的例子从 UML 模型到故障树模型的映射。

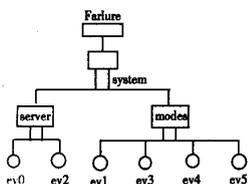


图4 故障树模型

一旦生成了故障树配置文件,SHARPE 工具就可以打开这个文件。如果需要建立一个更精确的可靠性模型,可以在 SHARPE 提供的 GUI 环境中对故障树视图进行任意修改。假定每个节点的故障率是 0.001/小时,SHARPE 根据故障树模型计算出系统的可靠:经过 1000 小时为 50.456%。

### 5 构建时域连续的 Markov 链模型

非状态空间可靠性建模方法(例如故障树)假定系统的组件间是随机独立的,而这种方法不能充分表示复杂系统内部的依赖性。时域连续的 Markov 链可以用于处理这类系统的依赖性。

Model Mapping 软件实现从 UML 模型到时域连续的 Markov 链映射过程:我们假定(1)节点间相互依赖,一个节点的故障会引起另外一个节点的故障;(2)一旦系统处于故障状态,系统不会引起更多的故障。基于上述假设,Markov 链的整体状态是由服务器和计算节点的状态混合决定。我们把服务器作为状态转移矩阵的列,把计算节点作为状态转移矩阵的行,因此可用节点数量是由行和列决定。S 表示服务器的数量,n 表示计算节点的数量,那么转移状态的第一行是  $(s,n), (s,n-1), \dots, (s,0)$ , 第二行是  $(s-1,n), (s-1,n-1), \dots, (s-1,1)$ , 最后一行是  $(0,n), (0,n-1), \dots, (0,1)$ 。图5表示了以前的例子映射成 Markov 链状态图的情况。

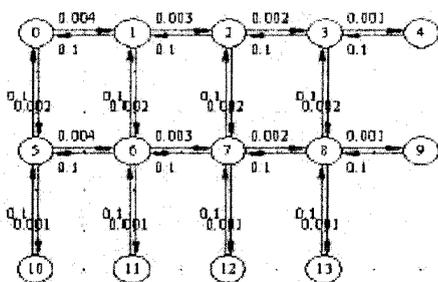


图5 Markov链模型

一旦 Model Mapping 软件生成了配置文件,SHARPE 工具就可以打开这个文件并计算出系统的可靠性。假定从前面例子的 UML 模型中,读出每个节点的故障率和维修率分别是 0.001/小时,0.1/小时,SHARPE 工具计算出:经过 1000 小时,系统的可靠性是 99.98%。

### 6 结论

通过使用 UML 对一个二层系统进行建模,然后利用开发的 Model Mapping 软件把 UML 模型映射成可靠性模型,最后使用 SHARPE 工具成功地计算出系统的可靠性,这一过程清楚地表明了我们的可靠性建模方法的可行性,这对逾越长期存在的系统设计和可靠性设计的鸿沟将起到重要作用。

本文作者创新点:本文提出了一个利用 UML 映射工具实现可靠性建模的方法,弥补了系统设计者不得不面对设计过程与可靠性建模间的缺陷。

参考文献:

[1]Zarras and V. Issarny. Assessing Software Reliability at the Architecture Level. Proceedings of the 4th International Software Architecture Workshop, Limerick,Ireland, June 2003.

(下转第 249 页)

的可能,并优化并行 I/O 数据调度的响应时间。

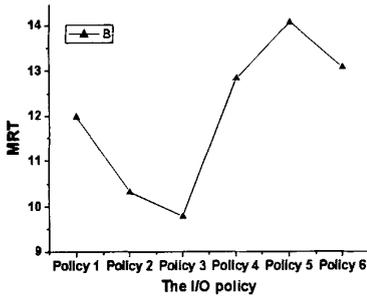


图 2 六种调度策略性能比较

## 5 结论及进一步的研究方向

分布式系统中的 I/O 调度策略是分布式数据处理中的一个基础性研究课题,它对于提高分布式系统的性能起着至关重要的作用。由于分布式计算系统在科学计算及多媒体信息处理中的日渐广泛应用,I/O 瓶颈问题逐渐受到研究人员的关注。虽然目前已经有多种算法,但由于并行与分布式处理中的复杂性,要求一种算法适应各种不同的应用环境是不现实的,因此,研究、开发新的并行 I/O 调度算法具有重要意义。

本文研究并提出了一种二次调度自主维护负载均衡的动态 I/O 调度算法(DIO\_TSMB),在实现时,主要是 I/O 调度器首先进行第一次 I/O 请求调度,然后不同的 I/O 服务器在执行任务时再进行第二次负载均衡调度,最后通过模拟试验对算法的性能进行了分析,表明了 DIO\_TSMB 算法的有效性。

在以后的研究工作中,根据实际情况,还可以考虑以下几点:

- (1) I/O 数据调度功能的分散,以避免瓶颈和单点失效问题。
- (2) 进行 I/O 调度时,可以考虑区分不同任务的优先级。
- (3) 调度任务时,可以考虑结合数据存储的规律来进行数据访问与调度,从而减少磁头的移动,加快响应时间。
- (4) I/O 调度前,可分析正要分配的任务和待分配任务队列中其它任务的关系,从而可应用如集中 I/O 等策略来提高 I/O 的效率。

### 参考文献

- [1] Rajkumar Buyya. High Performance Cluster Computing: Architectures and Systems (Volume 1)[M]. NJ, USA: Prentice Hall PTR, 1999.
- [2] Florin Isaila, Walter F. View I/O: improving the performance of non-contiguous I/O[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER'03) [A], 2003: 336-343.
- [3] 迟学斌,张林波,莫则尧.2003 年高性能计算培训讲义[EB/OL]. <http://lssc.cc.ac.cn/training2003>.
- [4] F.Chen and S.Majumdar. Performance of Parallel I/O Scheduling Strategies on Networks of Workstations[C]. In Proc. ICPADS [A], 2001: 157-164.
- [5] Brodawekar R, Del Rosario J M, Chounhary A. Improved parallel I/O via a two-phase runtime access strategy[C]. In: Proc of Workshop Input/Output Parallel Computer System[A], 1993: 56-70.
- [6] 陈国良.并行计算-结构、算法、编程[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [7] 李群,靖捷,谢立.基于工作站网络的并行文件系统[J].软件学报(增刊),1997: 386-391.
- [8] 卢凯,金士尧.并行科学计算应用的动态 I/O 模式分析[J].国防科技大学学报,1999(4):75-78.

[9] Jose Maria Perez, Felix Garcia, Jesus Carretero, Alejandro Calderon, Luis Miguel Sanchez. Data Allocation and Load Balancing for Heterogeneous Cluster Storage Systems[C]. Proceedings of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid(CCGRID'03)[A], 2003:718-723.

[10] 朱长武,刘智.一种基于网络地址转换的负载均衡算法[J].微计算机信息,2006(3):75-76,10.

作者简介:邓会敏(1976-),女(汉族),湖南湖南衡阳人,湖南工学院讲师,硕士,主要从事网络计算、数据库技术;曾碧卿(1969-),男(汉族),华南师范大学副教授,博士,主要从事网络计算与分布式处理、P2P 计算、并行 I/O。

**Biography:** Deng Hui-min (1976-), female (the Han nationality), HuNan, Department of Computer Engineering, HuNan Institute of Technology, instructor, master. Her research area includes network computing, database technology; ZENG Bi-qing (1969-), male (the Han nationality), Guangdong, Department of Computer Engineering, NanHai Campus, South China Normal University, associate professor, PhD. His research area includes network & distributed processing, P2P computing and parallel I/O.

(421008 湖南衡阳 湖南工学院 计算机科学系) 邓会敏

(528225 广东南海 华南师范大学 南海校区 计算机工程系)

曾碧卿

通讯地址:(528081 广东佛山 南海狮山 华南师范大学 南海校区 计算机系) 曾碧卿

(收稿日期:2007.2.3)(修稿日期:2007.3.5)

(上接第 251 页)

[2] K. S. Trivedi, R. Sahner "Reliability Modeling using SHARPE" IEEE Transactions on Reliability, Vol.R-36, No.2, June 2003, pp186-193.

[3] G. Booch, J. Rumbaugh, I. Jacobson. The Unified Modeling Language User Guide. Addison-Wesley. 1999.

[4] SHARP Online document. <http://www.ee.duke.edu/~chirel/>

[5] UML Online document. <http://www.omg.org/uml/>

[6] XMI Online Document. <http://www.omg.org/xml/>

[7] <http://www.gentleware.com/>

[8] 王建军. UML 建模: 实例分析[J]. 微计算机信息, 2002(05): 54-56

[9] 唐伟, 李希, 吴国兵. 基于 UML 的临床路径诊治系统的分析建模[J]. 微计算机信息, 2006.22(21): 42-44.

作者简介: 林晓帆(1968 年-), 男, 四川成都, 讲师、硕士、主要研究方向: 计算机网络、软件工程; 杜斌(1960 年-), 男, 四川成都, 教授、主要研究方向: 计算机网络、软件工程。

**Biography:** LIN Xiao-fan (1968-), male (the Han nationality), Chengdu of SiChuan Province, Department of software engineering, Chengdu university of information technology, instructor, master, Major research area: computer network, software engineering; DU Bin (1960-), male (the Han nationality), Chengdu of SiChuan Province, Department of software engineering, Chengdu university of information technology, professor, Major research area: computer network, software engineering.

(610225 四川成都 成都信息工程学院 软件工程系) 林晓帆

通讯地址:(100038 北京 北京市复兴路 2 号 C 座 604)

林晓帆(王丽收转)

(收稿日期:2007.2.3)(修稿日期:2007.3.5)

# 利用UML映射工具实现系统可靠性建模

作者: [林晓帆](#), [杜斌](#), [LIN XIAOFAN](#), [DU BIN](#)  
 作者单位: [610225, 四川成都, 成都信息工程学院, 软件工程系](#)  
 刊名: [微计算机信息](#) PKU  
 英文刊名: [CONTROL & MANAGEMENT](#)  
 年, 卷(期): 2007, 23(9)  
 引用次数: 1次

## 参考文献(9条)

1. [Zarras, V. Issarny](#) [Assessing Software Reliability at the Architecture Level](#) 2003
2. [K. S. Trivedi, R. Sahner](#) [Reliability Modeling using SHARPE](#) 2003(2)
3. [G. Booch, J. Rumbaugh, I. Jacobson](#) [The Unified Modeling Language User Guide](#) 1999
4. [SHARP Online document](#)
5. [UML Online document](#)
6. [XMI Online Document](#)
7. [查看详情](#)
8. [王建军](#) [UML建模:实例分析](#)[期刊论文]-[微计算机信息\(测控仪表自动化\)](#) 2002(5)
9. [唐伟, 李希, 吴国兵](#) [基于UML的临床路径诊治系统的分析建模](#)[期刊论文]-[微计算机信息](#) 2006(21)

## 相似文献(7条)

1. 期刊论文 [罗云锋, 贲可荣, 普杰, LUO Yun-feng, BEN Ke-rong, PU Jie](#) [基于场景的软件早期可靠性模型](#) -[计算机工程与科学](#)2008, 30(11)  
 本文从场景的角度研究软件早期可靠性建模方法,给出了基于用例图确定场景运行剖面的方法,利用简化通信图确定可靠性模型中的参数,模型与UML图无缝集成,可应用于软件开发生命周期早期.用个人登录控制系统(PACS)实例介绍了模型的应用.与已有方法相比,该模型简单且各易工实现.
2. 学位论文 [安金朝](#) [应急响应过程可靠性建模及调度方法研究](#) 2007  
 在当今社会,突发事件不断以新的形式出现,爆发的频度和强度也不断上升,突发事件应急响应系统受到越来越多的关注.为了保证社会稳定和持续的发展,迫切需要完善针对突发事件的应急响应系统.以反应迅速、可靠、高效为特征的应急响应系统,其自身的可靠性应予以优先考虑,应急响应系统本身可靠性是应急响应任务成功完成的基础,其响应速度是任务成功完成的保障.应急响应系统的可靠性和调度研究,对建立功能完善的突发事件处理机制有重要的现实意义.本文通过研究应急响应过程的可靠性和调度方法,为建设高效的应急响应系统提供技术支持. 本文首先研究利用统一建模语言(UML)建立应急响应过程活动网络模型的方法,并提供将UML模型转化为Petri网模型的具体方法.在此基础上分析应急响应过程的结构和功能特点,给出应急限制期条件下的应急响应过程可靠性定义,研究建立应急响应过程可靠性仿真模型的方法.然后提出利用Petri网可达性来寻找最优调度计划的方法,给出影响活动优先级的四种主要因素,并利用启发式搜索算法解决可达图维数灾难问题.最后综合运用上述研究成果,进行了实证分析.
3. 期刊论文 [安金朝, 付跃强, 刘卫东, AN Jin-zhao, FU Yue-qiang, LIU Wei-dong](#) [限制期条件下的应急过程可靠性建模及仿真](#) -[计算机技术与发展](#)2007, 17(5)  
 应急过程本身可靠性是应急任务完成的基础,过程的不同任务阶段必须在相应的应急限制期内启动.利用UML建立限制期条件下的应急过程模型,并建立了应急过程可靠性模型,提供了将UML模型转化为Petri网可靠性仿真模型的具体方法,最后对实例通过计算机仿真进行了大量的计算,对仿真结果进行了分析.
4. 期刊论文 [袁福庆, 肖波平, YUAN FUQING, XIAO BOPING](#) [基于RUP可靠性评估软件设计](#) -[微计算机信息](#)2007, 23(25)  
 利用RUP方法、面向对象思想设计可靠性评估软件.根据RUP方法先进行需求分析,识别出本系统的可靠性数据收集、可靠性评估、可靠性建模等六个用例,然后设计系统的体系结构以及利用UML语言建立类之间结构关系模型,对可靠性评估类、数据库接口类、数据导入导出类三个关键类进行详细设计,给出关键类的重要函数与属性.采用分层设计思想,实行三层设计,将显示和业务逻辑、数据存储分开.采用模块化设计,各模块之间实现高内聚、低耦合.
5. 期刊论文 [文斌, WEN Bin](#) [基于UML的软件可靠性建模](#) -[湖北民族学院学报\(自然科学版\)](#)2006, 24(2)  
 标准的UML方法对软件质量部分如何建模是缺乏的,由此本文研究了针对软件可靠性建模和评估的UML剖面,它是基于标准UML元模型的扩展,能对系统中影响软件可靠性的因素建模;同时研究了此模型应用于传统的可靠性评估技术中的一些结论;此模型有助于贯穿软件生命期的软件可靠性工程,以提高待开发软件的可靠性指标.
6. 期刊论文 [文斌, WEN Bin](#) [软件可靠性的UML建模研究与设计](#) -[电脑知识与技术\(学术交流\)](#)2006(5)  
 本文提出了一个针对软件可靠性建模和评估的UML剖面,标识了这个剖面的主要组成包并且给出了需要包括在这些包中的基本元素的详细定义.
7. 会议论文 [罗云锋, 贲可荣, 普杰](#) [基于场景的软件早期可靠性模型](#) 2008  
 本文从场景的角度研究软件早期可靠性建模方法,给出了基于用例图确定场景运行剖面的方法,利用简化通信图确定可靠性模型中的参数,模型与UML图无缝集成,可应用于软件开发生命周期早期.用个人登录控制系统(PACS)实例介绍了模型的应用.与已有方法相比,该模型简单且各易工实现.

## 引证文献(1条)

1. 王满敬, 杨学增 基于数据库的UML一致性检查 [期刊论文]-微计算机信息 2008 (36)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjsjxx200709100.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjsjxx200709100.aspx)

下载时间: 2009年12月14日