

# 有色 petri 网在并行测试建模中的应用

李金奎, 刘久富, 娄坚波, 王 伟

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

**摘 要:**并行测试技术对推动科学的发展起着重要作用,如今科学技术的发展和工程问题的解决都离不开并行处理技术。传统的串行测试方法和串行任务调度方法日益体现出了它的局限性。文中将并行测试调度与建模方法作为主要研究内容,以并行任务调度算法为基础,依据有色 petri 网的建模理论与方法,建立了基于实例的并行测试系统有色 Petri 网模型,用有色 Petri 网的可达树方法分析验证所建立模型的有界性、活性、公平性。验证结果证明了所建模型的正确性,解决了并行测试建模难的问题,提出了一种新的对复杂系统的建模方法。

**关键词:**有色 petri 网;并行测试;可达树

**中图分类号:**TP311

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2011)01-0009-03

## Application of Coloured Petri Nets in Parallel Test

LI Jin-kui, LIU Jiu-fu, LOU Jian-bo, WANG Wei

(College of Automation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:**Parallel test technologies plays an important role for advancing the development of science, now science and technology development and solution the problem of engineering, which can not be separated by parallel processing technology. Traditional method of serial testing and serial scheduling method increasingly reflect its limitations. Make parallel test scheduling and modeling method as main contents, base on parallel task scheduling algorithm and colored petri net, set up a parallel test model on case. At last the model's character such as boundedness, liveness, fairness was verified by colored petri net reachability tree. Test results prove that it is correct to set up that model, the method solves the difficult problem of parallel test model, give a new method of modeling complex systems.

**Key words:**petri nets; concurrent testing; reachability tree

## 0 引 言

当代科学技术的发展与工业问题的解决离不开并行处理技术。而并行处理技术的发展离不开并行任务调度算法,因此对并行调度算法的深入研究有利于提高自动测试系统的综合性能。并行处理技术包括三种形式:时间并行、空间并行、时间并行+空间并行<sup>[1]</sup>,第三种形式指时间重叠与资源重复的综合应用,采用时间并行与空间并行相结合,这种并行技术具有高速率、高效益特征,是未来测试技术的发展方向,也是自动化测试系统的发展核心技术之一<sup>[2]</sup>。遵循不同的技术途径,采用不同的并行措施,在不同的层次上实现并行性的过程,反映了计算机体系结构向高性能发展的自然趋势。因此文中对并行测试系统进行研究与分析具有重要意义。

国内对并行测试技术的研究基本与国外同步,已取得了不少成果。文中首先对并行处理技术,有色 petri 网进行了研究与分析。

## 1 并行处理技术

1)并行测试:在某一测试系统中有  $N$  个测试任务,若对于这  $N$  个测试任务分别在  $N$  个不同的测试系统上同时异步测试的结果等同于把它们按照所有可能的任意顺序排列后测试的结果,则称这  $N$  个测试任务是可并行测试的<sup>[1]</sup>。

2)控制相关:设 A、B 为一测试应用系统中的两个不同测试任务,如果 B 能否被测试完全由 A 决定,也就是 A 测试完成后才能测试 B,称 B 控制相关于 A;否则,称之为控制无关。

控制相关:

A: TEST A

IF TestResult == success

Then

B: TEST B

Else

收稿日期:2010-04-26;修回日期:2010-07-04

基金项目:南京航空航天大学青年科学创新基金(NS2010069)

作者简介:李金奎(1985-),男,甘肃庆阳人,硕士研究生,研究方向为并行测试;刘久富,博士,研究方向为计算机科学与软件测试技术。

### C: TEST C

其中 B、C 能否被测试完全由 A 决定, 所以 B 与 C 都控制相关于 A<sup>[3,4]</sup>。

并行处理技术中经常使用的算法有三种:

(1) 分治法: 把多个任务分解到多个处理器或多个计算机中, 然后按照拓扑结构进行求解。

(2) 排序法: 分别采用静态或动态的指令词度方法。

(3) 显式/隐式并行结合法: 显式指的是并行语言通过编译形成并行程序, 隐式指的是串行语言通过编译形成并行程序, 显式/隐式并行结合的关键就在于并行编译, 而并行编译涉及到语句、程序段、进程以及各线程之间的并行性<sup>[5]</sup>。

## 2 有色 Petri 网

Petri 网是对离散并行系统的数学表示, 适合于描述异步的、并发的计算机系统模型。Petri 网既有严格的数学表示方法, 也有直观的图形表示方法; 既有丰富的系统描述手段和系统行为分析技术, 又为计算机科学提供坚实的概念基础<sup>[6]</sup>。

高级 petri 网包括有色 petri 网, 时间 petri 网, 层次 petri 网。有色 Petri 网就是在同类的个体染上同一种颜色, 不同类则以不同的颜色对其进行区分。不同颜色代表具有各种属性的对象以及建模对象的具体特征。经典 petri 网有它一定的局限性<sup>[7]</sup>, 没有测试库所中无令牌的能力, 模型容易变得庞大, 模型不能反映时间方面的内容, 不支持构造大规模模型, 随着 petri 网的不断发展, 高级 petri 网突破了传统 petri 网的局限性, 解决了这些问题, 而有色 petri 网适合于构造大规模模型<sup>[8,9]</sup>, 能够以一种紧凑的、简化的模型来描述一个复杂系统, 它主要由库所、变迁和有向弧组成。

一个流程的状态是由在场所中的令牌建模的, 状态的变迁是由变迁建模的。令牌表示事物信息, 条件, 或对象的状态; 库所代表库所, 通道或地理位置; 库所中的托肯代表不同的对象属性, 变迁代表事件, 转化或传输<sup>[10]</sup>。

## 3 有色 Petri 网的性质

对有色 petri 网的性质描述, 国内外定义很多, 下边就对其关键性质进行描述:

1) 公平性: 系统的各个部件在利用共享资源时不会出现分配不均现象, 有同等的机会享用资源, 一个网系统中两个变迁公平是指两个变迁有同等发生的机会, 不可能出现一个变迁发生若干次而另一个变迁不发生<sup>[11]</sup>。

2) 活性: 活性说明系统的运行是正常的, 不会出

现死锁现象, 活性与死锁是完全不同的两个概念, 活性的要求比无死锁更高, 无死锁是活性的必要条件, 而非充分条件。

3) 可达性: 顾名思义可否到达目的地, 在有色 petri 网中对其定义即在建立的可达标识集中, 从初始标识开始, 按照变迁的触发规则可到达标识集的所有标识<sup>[10]</sup>, 并且到达的步数是有限的。

4) 安全性: 系统在运行过程当中对资源变量的需求不会产生溢出现象<sup>[12]</sup>, 在实际的工业系统设计当中, 要把网络中的每个库所在任何状态下的标识数目设计的小于库所的容量, 这样就不会出现溢出现象。

5) 可逆性: 系统在运行中可返回到初始标识, 可以周而复始的运行。可逆性表明了设计的系统模型运行的循环性。

## 4 一个实例的研究

测试任务集  $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8\}$ , 测试资源集  $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6\}$ , 测试任务与资源的占有情况为:  $t_1 \langle r_6 \rangle t_2 \langle r_3, r_6 \rangle t_3 \langle r_1, r_6 \rangle t_4 \langle r_1, r_2 \rangle t_5 \langle r_3 \rangle t_6 \langle r_2, r_3 \rangle t_7 \langle r_2, r_4 \rangle t_8 \langle r_2, r_5 \rangle$ , 且  $t_6$  控制相关于  $t_1, t_2$  的输出数据是  $t_3$  的输入数据。

### 4.1 建立并行测试序列

若对于给出的任务集和资源集相互独立, 每个任务只占有一个资源, 可以对其建立串行测试序列, 其建立过程比较简单, 若各个任务和资源如以上所示, 某一个测试任务集占有多个资源, 并且资源重复利用, 情况比较复杂。

对于以上八个任务集和六个资源集, 根据并行测试概念和调度算法, 由于  $t_2$  的输出数据是  $t_3$  的输入数据, 所以  $t_2$  测试在  $t_3$  之前,  $t_1$  测试资源集  $r_6$  也是  $t_2$  测试所要占有的资源集,  $t_2$  还多占有一个资源集  $r_3$  与  $t_1$  并无关系, 因此可安排  $t_1$  在  $t_2$  测试之前,  $t_3$  和  $t_4$  共同占有资源集  $r_1$ , 可安排  $t_3$  在  $t_4$  测试之前。  $t_5$  与  $t_2$  共同占有资源集  $r_3$ , 并且  $t_5$  和  $t_1$  占有资源集各不相同, 所以可以安排  $t_5$  在  $t_2$  测试之前,  $t_5$  和  $t_1$  并行测试, 由于  $t_2$  和  $t_6$  共同占有资源集  $r_3$ , 且  $t_3$  和  $t_6$  所占有的资源集各不相同,  $t_4$  和  $t_6$  共同占有资源集  $r_2$ ,  $t_6$  控制相关于  $t_1$ , 所以可安排  $t_6$  在  $t_2$  测试之后,  $t_3$  和  $t_6$  并行测试,  $t_6$  在  $t_4$  测试之前。  $t_7$  和  $t_8$  共同占有资源集  $r_2$ ,  $t_8$  和  $t_6$  共同占有资源集  $r_2$ ,  $t_7$  与  $t_5$  和  $t_1$  占有资源各不相同,  $t_8$  和  $t_2$  占有资源各不相同, 所以可安排:  $t_7$  与  $t_5$  和  $t_1$  并行测试,  $t_8$  和  $t_2$  并行测试,  $t_7$  在  $t_8$  测试之前,  $t_8$  在  $t_6$  测试之前, 生成序列如图 1 所示。图 1 表示首先执行  $t_1, t_5, t_7$  并行测试, 其次  $t_2, t_8$  并行测试,  $t_3, t_6$  并行测试, 最后测试  $t_4$ 。

### 4.2 建立并行测试序列的有色 petri 网模型

建立了并行测试序列, 但图 1 不能很好的说明测



```

if (! pSucceeded) return E_INVALID_ARGUMENT;
* pSucceeded = m_page->goBack();
return NOERROR;
}

```

这个函数的主要作用是实现网页向后的功能。其中的 `m_page` 是 `WebCore::Page *` 类型。函数调用 `WebCore` 中的 `Page` 所提供的功能。其中的 `Ecode` 是 `Elastos` 平台的类型,在参数表中的 `out` 是说明这个参数的属性。其中调用的 `goBack()` 函数在 `WebCore` 中的 `page` 目录下的 `page.cpp` 文件中的 `goBack` 函数。

在实现完相应的接口文件后,移植 `WebKit` 还需对 `WebKit` 所依赖的库进行移植<sup>[12]</sup>。比如 `WebKit` 所依赖的二维图形库 `cairo`, `curl` 网络库等。我们已成功将 `cairo` 和 `curl` 等 `WebKit` 所依赖库移植到了 `Elastos` 平台上,并实现了 `cairo` 和 `Elasto` 图形系统的无缝配合。

#### 4 试验结果

将移植结果在主频为 1.66GHz 的 Intel 双核处理器,内存为 1G 的 PC 机中运行,可以正确显示网页。

#### 5 结束语

分析了 `Elastos` 的相关技术和 `WebKit` 的核心技术,并针对 `Elastos` 平台,对 `WebKit` 做了相应的改动,实现了相应的接口。通过实验表明,可以正确地显示网页。基于 `Elastos` 平台的 `WebKit` 嵌入式浏览器可以广泛地应用于多种嵌入式设备中,比如智能手机、PDA 等,该浏览器有着极大的应用前景。

(上接第 11 页)

得到了很好的表现,另一方面也能够利用有色 petri 网所具有的丰富分析技术来对并行测试进行分析、验证。

#### 参考文献:

- [1] Zhu X P, Xiao M Q. The TPS Development of Parallel Automatic Test Systems [C]//Proc of AUTOTEST 2004 IEEE Systems Readiness Technology Conference. Xi'an, China: [s. n.], 2004:248-253.
- [2] 陈国良. 并行算法的设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社,1995.
- [3] Hu Z, Shatz S M. Mapping UML Diagrams to a Petri Net Notation for System Simulation [C]//Proceedings of the International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering. Banffshire: [s. n.], 2004:213-219.
- [4] 肖明清,朱小平,夏锐. 并行测试技术综述[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2005,6(3):22-25.
- [5] 董威,王戟,齐治昌. 并发程序的切片模型检验方法[J]. 计算机学报,2003,26(3):266-274.

#### 参考文献:

- [1] Grosskurth A, Godfrey M W. Architecture and evolution of the modern web browser [M]//David R. Canada: Cheriton School of Computer Science, University of Waterloo, 2006.
- [2] 周正勇,阳富民,胡贯荣. 一种嵌入式浏览器的核心技术及特色[J]. 计算机工程与设计,2003,24(3):21-23.
- [3] Kortide. CAR's Manual [EB/OL]. 2009-07. <http://www.kortide.com.cn>.
- [4] 郑炜. CAR 构件编程技术中的自描述特性[J]. 计算机工程与应用,2005(9):95-98.
- [5] Box D. Essential COM [EB/OL]. 1997. <http://download.cs-dn.net/source/1598215>.
- [6] 周平东,陈榕. CAR 构件的四种运行时形态[J]. 计算机技术与发展,2010,20(4):1-4.
- [7] The WebKit Open Source Project [EB/OL]. 2008. <http://webkit.org>.
- [8] JavaScriptCore Framework Reference [EB/OL]. 2008-10. [http://developer.apple.com/documentation/Carbon/Reference/WebKit\\_JavaScriptCore\\_Ref/index.html#/apple\\_ref/doc/uid/TP40004754](http://developer.apple.com/documentation/Carbon/Reference/WebKit_JavaScriptCore_Ref/index.html#/apple_ref/doc/uid/TP40004754). Apple Inc, October 2008.
- [9] 蒋章概,陈榕. 基于 CAR 构件的 WebKit 本地扩展策略[J]. 计算机应用,2009,29(增刊):195-197.
- [10] 杨向科,陈榕. 基于 `Elastos` 的构件化驱动编程模型的研究[J]. 计算机技术与发展,2008,18(11):220-222.
- [11] 李辉. 一种新型的编程模型——CAR 事件编程模型[J]. 计算机工程与应用,2005(10):86-90.
- [12] 朱剑民,陈榕,倪光南. 和欣操作系统的浏览器设计模型[J]. 计算机工程与应用,2003(13):13-15.

- [6] Grolleau E, Choquet-Geniet A. Off-Line Computation of real-Time schedules using Petri nets [J]. Discrete Event Dynamic Systems, 2002, 12(3):311-333.
- [7] 周维,王明哲. UML 和着色 Petri 网在物资采购建模中的应用[J]. 计算机系统应用,2002(3):25-28.
- [8] 姚绍文,周明天. CPN 原理及其在人工智能中的应用[J]. 计算机科学,2001,28(1):65-69.
- [9] 田保军. UML 类图到 CPN 转化方法的研究[J]. 系统仿真学报,2007(5):67-70.
- [10] 罗雪山. petri 网在 C[4] ISR 系统建模、仿真与分析中的应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2007.
- [11] 方贤文,赵艳,殷志祥. 基于 Petri 网软件测试分析[J]. 计算机技术与发展,2007,17(2):96-99.
- [12] 袁崇义. Petri 网原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [13] Kazuhiro S. Robust design of flexible manufacturing systems using colored Petri net and genetic algorithm [J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2002, 13(5):339-351.