

Petri 网图形建模仿真系统的研究与开发

张建朝 刘振娟 李宏光

(北京化工大学信息科学与技术学院,北京 100029)

摘要: 将面向对象思想引入 Petri 网建模、仿真系统的研究和开发,设计了基于图形界面的普通 Petri 网建模仿真工具软件,构造了相关的普通 Petri 网核心类,给出了普通 Petri 网点火机制的计算机实现方法,通过可视化开发工具 Delphi 实现了该建模仿真工具,通过该工具,可以以人机交互的方式建立、编辑、分析、仿真普通 Petri 网模型。

关键词: 面向对象; Petri 网; 建模仿真; Delphi

中图分类号: TP391.9

Petri 网(PN)是一种描述具有分布、并发、异步特征系统的图形工具^[1],在计算机、通信、电子、机械等许多领域得到了深入研究和广泛应用。在使用 Petri 网进行系统分析时,如果系统的状态变量数很大,就需要借助于软件工具^[2]。目前存在的 Petri 网工具一般采用编写程序的方式来完成网络的描述,如美国 Duke 大学开发的随机 Petri 网软件包(SP-NP)的使用界面是 C 语言形式的 SPN 描述语言^[3],没有友好直观的人机界面,无法方便地建立、检验、修改模型。国内的 Petri 网软件工具的开发目前尚处于开始阶段,工具少且功能不完善^[4]。本文讨论了将面向对象的思想与 Petri 网基本理论相结合^[5],建立基于图形界面的 Petri 网建模仿真系统的开发思路,并使用该系统进行了一个实例仿真分析。

文中开发的系统采用 Windows 可视化开发工具 Delphi 进行开发。开发的系统不仅拥有良好的人机界面,可以以图形的方式直观地进行 Petri 网模型的建立、编辑、仿真,同时采用面向对象的思想描述模型,与其他基于状态转移矩阵的仿真方法相比,更符合人类的认知过程。

1 Petri 网定义和性质

Petri 网模型是一个六元组 (P, T, F, K, W, M_0) ,其中 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 是有限库所(Place)集; $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ 为有限变迁(Transition)集; $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ 为有向弧集; $K: P \rightarrow \mathbf{N}^+$

$\{ \}$, 库所容量函数, $K(P) = \infty$ 表示 P 的容量为无穷, $\mathbf{N}^+ = \{1, 2, \dots\}$; $W: F \rightarrow \mathbf{N}^+$, 弧权值; $M_0: P \rightarrow \mathbf{N}$, 初始标识。Petri 网的状态由标识 M 来表示,网标识可以用标识向量来定义。Petri 网的动态行为是通过标识变化反映出来的,标识变化遵循一定的规则——点火规则:(1)一个变迁,如果它的每一个输入库所都包含至少一个托肯,则这个变迁是使能的;(2)一个使能变迁的激发,将引起其每个输入库所中托肯减少,而每个输出库所中增加托肯^[6]。

如果在一个 Petri 网中所有有向弧的权值为 1 则称该网为普通网,在制造系统中一般使用普通网,这也是本文的研究对象。

2 Petri 网图形建模仿真系统的开发

2.1 软件功能及组成

软件实现了 Petri 模型的建立、编辑修改、存储、分析和动态运行仿真功能,为此软件设计了四个模块,软件结构如图 1 所示。

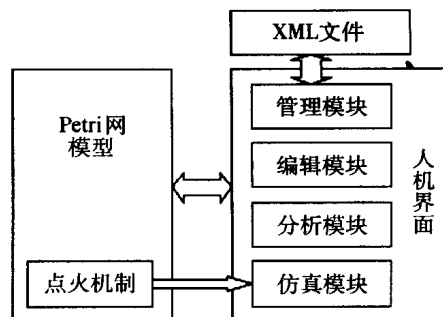


图 1 软件结构图

Fig. 1 Program structure

1) Petri 网模型描述模块 实现 Petri 网模型的绘制、编辑功能;

收稿日期: 2003-07-03

第一作者: 男, 1978 年生, 硕士生

E-mail: jian.chao@163.net

2) Petri 网模型分析模块 分析 Petri 网模型的性质如关联矩阵、可达树;

3) Petri 网仿真模块 动态显示 Petri 网模型在给定初始条件下托肯的流动,系统状态的变化;

4) 管理模块 打开、存储模型相关的信息文件。

2.2 核心类的设计

Petri 网由结点和弧线组成,可以抽象出 TNode (结点类)和 TArc (弧线类)两个类。结点有库所和变迁两种,所以在 TNode 类基础上继承出 TPlace (库所类)和 TTrans (变迁类)。这些类不仅要能准确地描述出 Petri 网模型的拓扑结构,还要实现在窗口中显示模型的功能。下面是 TNode 类的定义

Type

```

TNode = class
protected
  Fcanvas Tcanvas;    窗口画布,结点在其上进行绘制
  Rgn HRGN;    结点所包含的区域
  Firstp, Endp Tpoint;    记录结点的位置信息
  Inputlist, Outputlist Tlist;    记录输入输出结点的列表
  Inarcs, Outarcs Tlist;    记录输入弧线和输出弧线的列表
public
  constructor Create (clientform: TForm; point1: Tpoint); virtual;    构造过程
  destructor Destroy; virtual;    析构过程
  procedure Drawself; virtual;    在指定窗口上绘制结点
  function IsInRgn (point: Tpoint): boolean; virtual; abstract;    判断鼠标是否落在结点区域内
  procedure Addinput (element: TNode); virtual; abstract;    增加结点的输入结点
  procedure Delinput (index: integer); virtual; abstract;    删除结点的指定输入
  procedure Addoutput (element: TNode); virtual; abstract;
  procedure Deloutput (index: integer); virtual; abstract;
  procedure Addinline (line: TArc); virtual;
增加结点的输入弧线
  procedure Addoutline (line: TArc); virtual;

```

增加结点的输出弧线

end.

TNode 类使用了 Delphi 提供的通用列表类 TList,创建了输入、输出结点和输入、输出弧线的容器,可以用来方便地实现插入、删除结点和弧线的操作。TPlace 类和 TTrans 类具体实现了 TNode 类中的各虚拟函数,TPlace 类还增加了属性 Tokens 记录库所中的托肯数,Capacity 记录库所的容量。

类是一切面向对象软件设计的基础,类和接口的设计在面向对象软件设计中占据核心地位。TNode 类将面向对象的思想 and Petri 网的基本性质比较好地融合在了一起,不仅能够真实地描述 Petri 网结点的性质,还解决了在窗口客户区绘制、编辑 Petri 网模型的问题,为下边的软件设计打下了比较好的基础,进一步扩充,还可以用于进行时间 Petri 网、混合 Petri 网等设计。

2.3 主界面及模块设计

程序主界面如图 2 所示,工具条上分别是新建模型、打开模型文件、存储模型、生成库所、生成变迁(有横竖两种形状)、连接库所和变迁(弧线)、删除结点、增加托肯、减少托肯按钮。客户区显示即为一编辑好的 Petri 网模型。

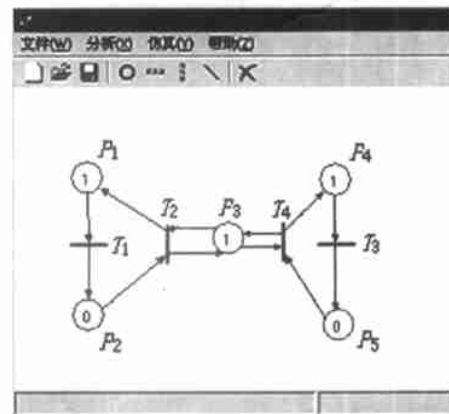


图 2 程序主界面

Fig. 2 Main interface

主要模块功能的实现。

1) 仿真模块,根据 Petri 的点火机制,设计 Petri 网运行算法如下:

```

while true do begin
  for i = 1 to 变迁总数 do begin
    if (变迁使能) then 将该变迁放入使能变迁列表;

```

```

end;
if (没有可以触发的变迁) then exit;
for i:= 1 to 使能变迁总数 do begin
if (变迁不和其他变迁冲突) then 触发该变迁;
if (存在冲突变迁) then 根据规则排除冲突;
end;
end;

```

2) 编辑模块,在主窗口的鼠标消息响应过程中,根据当前进行的操作类型进行生成、连接、移动和删除结点的操作;在主窗口重画消息响应过程中,依次调用模型中各结点和弧线对象的 DrawSelf 过程,实现在客户区编辑绘制模型的功能。

3) 分析模块,根据模型中各结点之间的输入输出关系得到关联矩阵;根据模型的初始标识,采用深度优先算法搜索模型可能到达的状态,从而生成可达树,软件中使用 Delphi 中的树型控件来显示可达树。生成可达树的算法如下:

```

将根结点设为当前结点;
while true do begin
if (根结点的状态为已处理) then exit;
if (在已有结点中存在当前结点) then begin
将当前结点的状态设置为已处理;
在其兄弟结点或祖先结点中寻找未处理的结点
设为当前结点;
continue; end;
根据当前结点的状态生成其子结点;
if (当前结点有子结点) then begin
将其第一个未处理的子结点设为当前结点;
continue; end;
if (当前结点无子结点) and (是其父结点的最后
一个字节点) then begin
将当前结点的状态设置为已处理;
将祖先结点中符合条件的结点(最后一个子结
点已处理)设置为已处理;
在其兄弟结点或祖先结点中寻找未处理的结点
设为当前结点;
continue; end;
if (当前结点无子结点) then begin
将当前结点的状态设置为已处理;
在其兄弟结点或祖先结点中寻找未处理的结点
设为当前结点;
continue; end;
end.

```

4) 存储模块:软件使用 XML (eXtensible Markup Language 可扩展标志语言) 文件格式来存储模型。下面的一个 XML 文件就描述了一个包含一个库所、变迁和弧线的 Petri 网模型。

```

? xml version = " 1.0 " encoding = " GB2312 "?
普通 Petri 网
库所 起点 = " 268 ; 89 " 名称 P1 / 名称 托
肯 1 / 托肯 / 库所
变迁 起点 = " 269 ; 140 " 名称 T1 / 名称 终
点 299 ; 150 / 终点 / 变迁
弧线 起点 = " 232 ; 319 " 经过 / 经过 终
点 271 ; 100 / 终点 / 弧线
/ 普通 Petri 网

```

使用 Delphi6 提供的 TXMLDocument 控件可以很方便地读写 XML 文件,存储模型时按照格式将库所、变迁和弧线的信息存入文件,打开文件时先读入库所和变迁的位置信息,然后在相应位置生成库所和变迁,生成弧线时要将弧线两端的结点连接起来,这样就实现了模型的存储、打开功能。

3 一个维修系统的仿真分析

图 2 所示为一个维修系统的 Petri 网模型,由两个相同部件和一名修理工组成。各库所和变迁含义如下

- | | |
|-----------------|-------------------|
| P_1 : 部件 1 正常 | T_1 : 部件 1 发生故障 |
| P_2 : 部件 1 故障 | T_2 : 修复部件 1 |
| P_3 : 修理工 | T_3 : 修复部件 2 |
| P_4 : 部件 2 正常 | T_4 : 部件 2 发生故障 |
| P_5 : 部件 2 故障 | |

模型的关联矩阵如图 3 所示。当初始标识 M_0 为 (1, 0, 1, 1, 0) 时可以得到模型的可达树(见图 4)。



图 3 关联矩阵

Fig. 3 I/O matrix

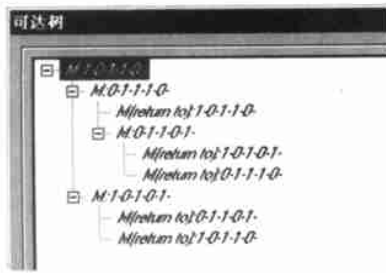


图 4 可达树

Fig. 4 Reachability tree

运行仿真模型可以观察到各变迁的使能和系统状态的变化。根据可达树和状态变化图可以得到系统的标识图(见图 5),从标识图可以看出,该模型是有界的、活性、没有死锁的。

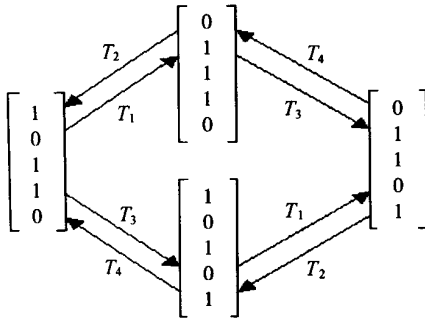


图 5 标识图

Fig. 5 State figure

4 结束语

本文所介绍的 Petri 网图形建模仿真系统将面向对象设计思想和 Delphi 开发 Windows 应用程序的优点应用到普通 Petri 网建模、仿真研究开发,初步探讨了基于图形界面的普通 Petri 网建模及仿真。下一步的工作是继续研究 Petri 网的内在属性和运行机制,对 Petri 网核心类进行扩充,将其应用到其他类型的 Petri 网建模仿真研究中。

参 考 文 献

- [1] 袁崇义. Petri 网原理[M]. 北京:电子工业出版社, 1998
- [2] 丁彩虹. Petri 网建模工具的面向对象设计[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(8): 88 - 89
- [3] 曾小伟, 向华, 陈吉红, 等. Petri 网可视化工具的设计与实现[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(6): 43 - 45
- [4] 吴维敏, 曾建潮, 苏宏业, 等. 一种面向对象的混合动态系统的仿真环境[J]. 系统仿真学报, 2000, 12(3): 178 - 180
- [5] 乐晓波, 汪琳. 面向对象的 Petri 网建模技术的研究[J]. 计算机工程, 2002, 28(5): 26 - 88
- [6] 大卫·R, 奥兰·H. 佩特利网和逻辑控制器图形表示工具(GRAFNET)[M]. 北京:机械工业出版社, 1994

A study and development of Petri Nets modeling and simulation system

Zhang Jian-chao Liu Zhen-juan Li Hong-guang

(College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Development of a Petri Nets modeling and simulation system is an important part of Petri Net study. In this paper, the object-oriented concepts were introduced into development of a Petri Nets modeling and simulation system. A PN modeling and simulation tool with GUI was developed by using Delphi. The core class of PN was designed. This tool is useful in the establishing, editing and analyzing of Petri Nets.

Key words: object-oriented; Petri Nets; modeling and simulation; Delphi

(责任编辑 刘同帅)