

Petri 网标记语言

胡晓静^{1,2}, 胡敏¹, 刘士喜²

(1. 合肥工业大学 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009;

2. 滁州学院 计算机系, 安徽 滁州 239000)

摘要: Petri 网标记语言 (PNML) 是一种基于 XML 语言的 Petri 网文件交换标准, 用于实现 Petri 网工具的互操作性。综合介绍了 PNML 标准化进程和 PNML 的核心支撑技术, 详细阐述了 PNML 体系结构各个组成部分及元模型中各个组成对象, 借助 PNK 工具实现一个 P/T 网模型实例, 根据元模型分析对应的 PNML 文件中的库所、变迁和弧等对象标签的含义, 最后分析了 PNML 在 workflow 模型与矢量图转换等领域的研究状况, 指出了下一步研究方向。

关键词: Petri 网; PNML 文件; 元模型

中图分类号: TP301.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)12-0066-04

Petri Net Markup Language

HU Xiao-jing^{1,2}, HU Min¹, LIU Shi-xi²

(1. College of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Department of Computer Science, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China)

Abstract: The Petri Net Markup Language (PNML) is an XML-based interchange format for Petri nets. PNML provide a way to exchange information among the Petri Net tools. Review the concept and structure of the PNML and describe the object of meta model. Building a P/T net model by PNK tool, then analyses the PNML object and labels of PNML file. Finally, outline the research in transformation from PNML to vector graph and workflow area.

Key words: Petri nets; PNML file; meta model

0 引言

Petri 网是描述分布式系统的建模和分析工具, 已被广泛应用于各个领域。Petri 网类型和建模工具非常丰富, 使用的文件格式也不统一, 致使不同 Petri 网工具之间无法交换信息。如何实现 Petri 网工具文件格式的统一, 并尽量保持可读性和广泛兼容性, 是需要解决的。2000 年在 Petri 网理论和应用国际会议上提出了制定基于 XML 的文件交换标准, PNML (Petri Net Markup Language) 是其中一个解决方案^[1]。

PNML 是独立于任何工具和平台的 Petri 网文件交换标准, 支持多种 Petri 网类型, 可以用 PNTD (Petri Net Type Definition) 定义某种具体 Petri 网类型的合法标签。PNML 的标准化进程是法国的 LIP6 实验室开始, 目前通过的标准是 ISO/IEC-15909-2。ISO/IEC 15909-2 标准包括 3 个部分, 第 1 部分是 P/T 网、高级

网 (High-level Petri Nets Graphs, HLPNG) 和对称网 (Symmetric Nets) 的正式定义和国际标准, 第 2 部分定义了 PNML 交换格式和支持工具, 第 3 部分是还在研究中, 主要关注如何定义新的网类型、结点和弧, 如何扩展 PNML 交换格式^[2]。

1 PNML 结构和内容

PNML^[3] 的设计原则是灵活性、兼容性和无歧义性。灵活性要求 PNML 能够表示出任何 Petri 网独有的特征和扩展性质, 因此 PNML 把一个 Petri 网看成一个贴了标签的有向图, 所有的外部数据能被储存到网、网的节点和弧的标签中。兼容性要求 PNML 在不同 Petri 网工具间交换数据时能保留尽可能多的信息, PNML 通过协议文档 (Conventions Document) 保证其兼容性。无歧义性要求 PNML 能够清楚的表示不同类型的 Petri 网, 使用 PNTD 定义某种具体 Petri 网类型的合法标签。

图 1 给出了 PNML 的体系结构。元模型定义了 PNML 的基本结构, 类型定义接口定义了符合元模型的 Petri 网类型, 特征定义接口定义了 Petri 网的新特

收稿日期: 2011-04-19; 修回日期: 2011-07-25

基金项目: 安徽省教育自然科学基金资助项目 (KJ2011B116); 滁州学院自然科学基金资助项目 (2010kj016B)

作者简介: 胡晓静 (1985-), 女, 助教, 研究方向为 Petri 网及 Web 服务组合。

征。协议文档定义了所有 Petri 网符合 XML 语法的标签。PNTD 根据协议文档中的标签库定义某种具体 Petri 网类型的合法标签。

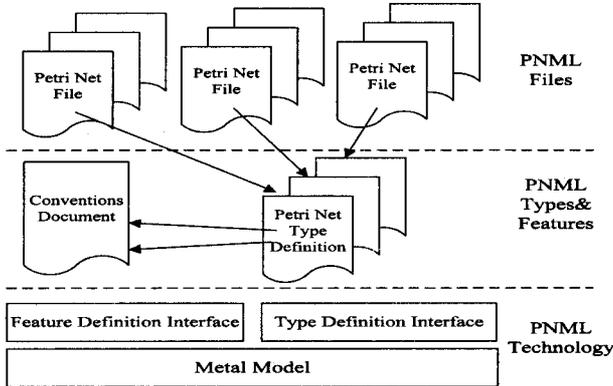


图 1 PNML 结构

1.1 协议文档 (Conventions Document)

协议文档定义了所有 Petri 网符合 XML 语言规范的预定义标签库,保证了不同 Petri 网类型的兼容性。协议文档为 Petri 网类型定义提供合法的预定义标签,利用协议文档可以保证同一标签在所有 Petri 网中具有相同的含义。

1.2 Petri 网类型定义 (PNTD)

PNTD 定义了某种具体 Petri 网类型的符合 XML 语言规范的标签。PNTD 中的标签来源于协议文档中定义的合法标签,而用 PNTD 中定义的合法标签描述的 Petri 网文件就是 PNML 文件。例如在位 P/T 网中,网和库所需要名称说明标签 (<name>),库所需要初始标记 (<initialMarking>) 和库所容量标签 (<capacity>),弧需要说明标签 (<inscription>),每个标签都表达了特定的含义并具有取值范围。图 1 说明了协议文档、PNTD 和 PNML 文件三者之间的关系。

1.3 元模型 (Meta Model)

元模型定义了 PNML 文件基本结构。图 2 是元模

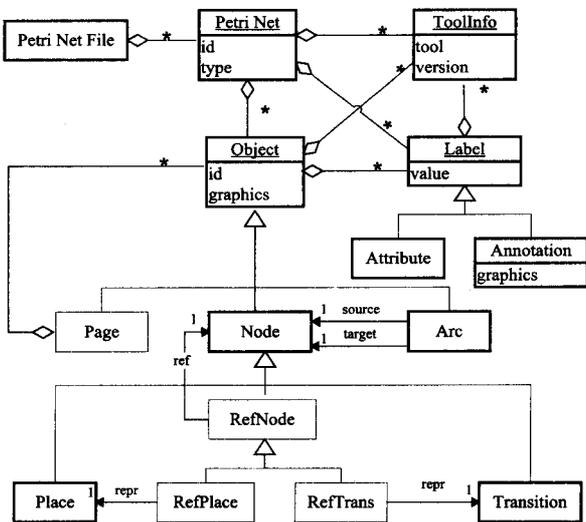


图 2 PNML 元模型

型各个组成对象及关系。

Petri 网文件 (PetriNetFile) 和对象 (Object)。Petri 网文件即 PNML 文件,是符合 PNML 元模型规范的文件。在一个 PNML 文件中可以包含多个 Petri 网,每个 Petri 网包含多个对象,每个对象使用唯一的 ID 进行标识。对象中还包含位置、大小、颜色和形状等图形信息。在基本的 PNML 文件中,对象是库所、变迁或弧,在多页的 PNML 文件中对象还包括页、引用库所和引用变迁。

标签 (Label)。标签用来表达对象的辅助信息,包含属性和注释两种类型。PNML 使用标签描述 Petri 网对象信息,例如描述节点的名称、库所的 token、弧的权值和 Petri 网本身的描述信息等。不同的 Petri 网包含的标签内容也不同,例如在在高级 Petri 网的 PNML 文件中会包含弧函数和变量等标签内容。

图形信息 (Graphics)。由于 Petri 网的图形化特征,其对应的 PNML 文件应包含图形信息。对于库所或变迁,图形信息描述了它的位置和图形大小等信息;对于弧,图形信息描述了弧线段中间点的位置和弧的类型等信息;对于标签,图形信息描述了它们与对象本身的相对位置。在 PNML 文件中图形信息的内容写在 <graphics> 元素内。

工具信息 (ToolInfo)。对于一些 Petri 网工具,储存特定工具信息是必需的。为了储存这些信息,对象和标签需要添加特定的工具信息。PNML 在添加该信息时提供一个机制能将工具信息、名字和版本一起添加。PNML 将工具名称和版本等信息写在 <toolspecific> 元素内以保留特定的工具信息,不同的建模工具在交换 PNML 文件时能够忽略工具信息并且会影响 Petri 网文件。

页 (Page) 和引用节点 (RefNode)。Petri 网在对大型复杂系统建模时,建模的结果需要保存在不同的页中。PNML 中引入了多页的概念,通过引用节点将不同页中的 Petri 网连接起来。引用节点包含引用库所和引用变迁两种类型,一个引用节点指向 Petri 网模型中的一个库所或变迁并禁止循环引用。基本的 PNML 文件没有页或引用节点对象。

PNML 文件还支持模块化思想,模块化的 PNML 使得 Petri 网的接口定义和具体实现完全分离。一个模块一旦定义就可以重复地使用,模块实例构建 Petri 网变得容易。

2 Petri 网及 PNML 文件实例

2.1 Petri 网介绍

满足下列条件的三元组 $N = (P, T; F)$ 称为一个 Petri 网^[4]。

- 1) $P \cup T \neq \varnothing$
- 2) $P \cap T = \varnothing$
- 3) $F \subseteq ((P \times T) \cup (T \times P))$
- 4) $\text{dom}(F) \cup \text{cod}(F) = P \cup T$

其中: $\text{dom}(F) = \{x \in P \cup T \mid \exists y \in P \cup T: (x, y) \in F\}$

$\text{cod}(F) = \{x \in P \cup T \mid \exists y \in P \cup T: (y, x) \in F\}$

P 和 T 是两个不相交的集合(一般情况下可假定它们为有限集), 分别称为网 N 的库所集和变迁集, P 的元素称为库所 (place), T 的元素称为变迁 (transition)。 F 是网 N 的流关系。

一个网可以用一个有向二分图来表示: 库所用小圆圈来表示, 变迁画成小矩形, 对 $x, y \in P \cup T$, 若 $(x, y) \in F$, 则从 x 到 y 画一条有向弧。显然, 有向弧只存在于小圆圈和小矩形之间, 任意两个小圆圈之间或任意两个小矩形之间都无有向弧连接。

2.2 PNML 文件实例

目前已经出现很多支持 PNML 文件格式的 Petri 网建模工具, 如 PNK^[5]、Renew、PEP 和 WoPeD 等。其中 PNK 的出现大大促进了 PNML 的发展。PNK 目前支持高级 Petri 网、库所/变迁网、时延 Petri 网、基本 Petri 网等网系统的建模。PNK 实现了 PNML 文件中页的概念, 可以在不同的页中绘制多个 Petri 网。

图 3 显示了借助 PNK 绘制的一个简单的库所/变迁网。

所对应的 PNML 文件片段如表 1 所示。

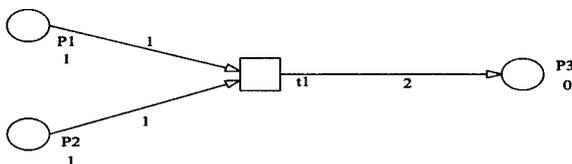


图 3 一个 Petri 网模型实例

下面根据 PNML 元模型分析此文件的各个组成部分。 <pnml></pnml> 标签分别表示 PNML 文件的开始和结束。一个 PNML 文件可以包含多个网结构, 每个网用 id 属性唯一标识。本文件包含一个 P/T 网, 以 <net></net> 标签表示。 <net> 标签中的 type 属性取值是具体的 Petri 网类型, 例如 PTNet。图 3 中的 Petri 网模型包含三个库所、一个变迁和三条弧对象, 分别用 <place>、<transition> 和 <arc> 标签表示, 每个对象使用 id 属性唯一标识。 <arc> 标签包含了弧指向的源对象和目标对象信息, 分别由 source 属性和 target 属性指定。PNML 文件中还会有一些附加信息, 如工具信息 <tool-specific> 等。

PNML 文件中描述库所 p1 的代码如表 2 所示, <graphics> 标签描述库所 p1 的图形信息。 <position> 标签采用笛卡尔坐标系描述库所 p1 的绝对坐标, x 方向

是从左至右, y 方向是从上至下。 <marking> 标签描述库所的 token 信息, <value> 标签描述了 token 值和库所名称。 <name> 标签描述了库所的名称。 <offset> 标签描述了 token 值和库所名称相对于库所本身坐标的偏移位置。

表 1 PNML 文件片段

```
<pnml>
<net id="n1" type="PTNet">
<place id="p1">... </place>
<place id="p2">... </place>
<transition id="t1">... </transition>
<place id="p3">... </place>
<arc id="a1" source="p1" target="t1">
...
</arc>
<arc id="a2" source="p2" target="t1">
...
</arc>
<arc id="a3" source="t1" target="p3">
...
</arc>
<toolspecific> ... </toolspecific>
</net>
</pnml>
```

表 2 Place 对象的 PNML 表示

```
<place id="p1">
<graphics>
<position page="1" x="111" y="167" />
</graphics>
<marking>
<graphics>
<offset page="1" x="20" y="18" />
</graphics>
<value>1</value>
</marking>
<name>
<graphics>
<offset page="1" x="20" y="0" />
</graphics>
<value>p1</value>
</name>
</place>
```

PNML 文件描述变迁 t1 的代码如表 3 所示, <graphics> 标签描述变迁 t1 的图形信息。 <position> 标签描述的是变迁 t1 的绝对坐标。 <name> 标签描述变迁的名称信息, <offset> 是变迁名称相对于变迁本身坐标的偏移位置。

图 3 中的 P/T 网模型有三条弧, 下面以库所 p1 指向变迁 t1 的弧为例分析其 PNML 文件, 如表 4 所示。 <graphics> 标签描述弧 a1 的图形信息。由于弧是一条由连续点组成的有向线段, <position> 标签中的坐标值表示的是弧线段中间点的绝对坐标。 <inscription> 标

签描述弧上的权值,<offset>是权值相对于弧中间点坐标的偏移位置。

表 3 Transition 对象的 PNML 表示

```
<transition id="1">
<graphics>
<position page="1" x="231" y="216" />
</graphics>
<name>
<graphics>
<offset page="1" x="20" y="0" /> </graphics>
<value>t1</value>
</name>
</transition>
```

表 4 Arc 对象的 PNML 表示

```
<arc id="a1" source="p1" target="t1">
<graphics>
<position page="1" x="174" y="189" />
</graphics>
<inscription>
<graphics>
<offset page="1" x="10" y="0" />
</graphics>
<value>1</value>
</inscription>
</arc>
```

库所 p1、p2 和弧 a2、a3 的 PNML 表示与表 2 和表 4 中的描述类似,不再重复列举。

3 PNML 应用研究

PNML 文件交换标准在很多领域已经应用。文献[6]讨论了 PNML 到 SVG 矢量图的转换机制,实现了 Petri 网模型的网络化传输,拓展了 PNML 的应用领域。文献[7]描述了 PNML 在业务流程领域的应用潜力和局限,是 PNML 在工作流领域的应用尝试。文献[8,9]通过实例说明了如何使用 PNML 描述工作流模型。文献[10]讨论了 UML 活动图模型转换为 PNML 的方法,从而借助 Petri 网对 UML 模型进行分析验证。文献[11]讨论了 Petri 网的关联矩阵和 PNML 文件格式之间的转换及其实现的技术细节。文献[12]讨论了 WF-net 模型到 PNML 的转换,为解决工作流网和其他 Petri 网互操作性问题做出探索。

4 结束语

文中详细介绍了 PNML 的结构及元模型,结合实例分析 PNML 文件中对象及标签的含义,最后介绍了 PNML 的最新应用领域。PNML 从 2000 年提出至今已经有十余年,目前仍处于发展阶段。PNML 已经通过的标准是 ISO/IEC-15909-2,未来的发展方向是如何定义新的网类型和扩展 PNML 交换格式。

参考文献:

- [1] Bastide R, Billington J, Kindler E, et al. XML/SGML Based Interchange Formats for Petri Nets [R]. [s. l.]: [s. n.], 2000.
- [2] Kindle E. Concepts, Status, and Future Directions [R]. Germany: Entwurf Komplexer Automatisierungssysteme, 2006; 35-55.
- [3] Billington J, Christensen S, van Hee K. The Petri Net Markup Language: Concepts, Technology, and Tools [C]//In: Application and Theory of Petri Nets 2003, 24th International Conference. Berlin: Springer, 2003: 483-505.
- [4] 吴哲辉. Petri 网导论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [5] Kindler E, Weber M. The Petri Net Kernel—an infrastructure for building Petri net tools [J]. Software Tools for Technology Transfer (STTT), 2001, 3(4): 486-497.
- [6] Stehno C. Petri Net Markup Language: Implementation and Application [C]//In: Promise 2002. [s. l.]: [s. n.], 2002: 18-30.
- [7] Kindler E. Using the petri net markup language for exchanging business process models potential and limitations [C]//In: Proceedings of the 1st GI Workshop. Modellierung, Marburg: [s. n.], 2004: 43-60.
- [8] 陈传波, 谢文君. 一种基于 PNML 的工作流模型的实现 [J]. 华中科技大学学报, 2004, 32(10): 89-90.
- [9] 霍金健, 黄雨, 屈婉玲, 等. 工作流分层模型的 PNML 表示 [J]. 南京大学学报(自然科学), 2005, 41(5): 538-543.
- [10] 邢冠男. UML 活动图到 PNML 转换的研究与实现 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2009.
- [11] 吴振寰, 王鹏伟. Petri 网关联矩阵与 PNML 描述之间的转换 [J]. 计算机工程与应用, 2006(21): 32-34.
- [12] 周建涛, 边晓军. WF-net 模型到 PNML 的转换方法研究与实现 [J]. 计算机科学, 2010, 37(12): 96-98.

(上接第 65 页)

- namc networks [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2002, 3(1): 60-74.
- [8] 余惠芳. 图的遍历的分析与算法设计 [J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2005(5): 54-59.
 - [9] 余云, 邹奇梅. 数据结构中图的遍历算法 [J]. 电脑知识与技术, 2008(17): 1516-1518.
 - [10] 杨智明. 图的广度优先搜索遍历算法的分析与实现 [J]. 农

业网络信息, 2009(12): 136-137.

- [11] 刘萍, 冯桂莲. 图的深度优先搜索遍历算法分析及其应用 [J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2007(3): 41-44.
- [12] 黄豫丽, 张伟. 图的全遍历方法的研究及实现 [J]. 天津纺织科技, 2005, 43(3): 56-59.