

基于 Petri 网建模的 Web 型 MIS 系统的研究

冷 明, 孙凌宇, 郭恺强, 朱 平
(井冈山大学 计算机科学系, 江西 吉安 343009)

摘 要: 文中提出了基于 MVC 架构的 Web 型信息管理流程模型, 并通过定义模型五元组来描述各层之间数据传递的关系和结果. 给出了基于 MVC 架构的 Web 型 MIS 系统 Petri 网建模基本步骤, 为 Web 型 MIS 系统的业务流程的分析、验证与优化提供了理论依据. 以井冈山大学科研管理信息系统为例, 讨论了 Petri 网理论在建模中的应用, 实验结果表明采用 Petri 网理论对科研管理信息系统建模是可行且有效的.

关键词: Petri 网; 管理信息系统; 建模

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)11-0044-04

Research of Petri Net Modeling for Web Management Information System

LENG Ming, SUN Ling-yu, GUO Kai-qiang, ZHU Ping

(Department of Computer Science, Jinggangshan University, Ji'an 343009, China)

Abstract: We propose the process model of web MIS based on MVC architecture, which can be used to describe the relationship and consequence of data transfer in different layers of MVC architecture. We also give the Petri net modeling steps of web MIS based on MVC architecture, which provides theoretical basis for analyzing, verifying and optimizing the business process of web MIS. Furthermore, we discuss the application of Petri net in system modeling, taking scientific research MIS of Jinggangshan University as an example. The experiment and the analysis show that the Petri net modeling is feasible and effective on scientific research MIS.

Key words: Petri net; management information system (MIS); modeling

1 引言

MIS 系统是一个由人、计算机及其他外围设备等组成的, 能进行信息的收集、传递、存贮、加工、维护和使用, 具备高度复杂性、多元性和综合性的人机系统. 它的主要任务是最大限度地利用现代计算机技术来加强信息管理, 建立正确的数据, 加工处理并编制成各种信息资料及时提供给管理人员, 以便支持组织的运行、管理和决策. Web 型 MIS 系统则是对传统型 MIS 系统概念上的扩展, 通过用户的实名登录或匿名登录, 以及相应的权限控制, 可以在浏览器中实现对 MIS 系统的浏览、查询、控制和审阅.

近年来, 对 MIS 系统的建模、分析及优化等方面取得了很大的进展, 开发了很多较好的建模技术^[1]. Petri 网的数学理论基础使其可以深入分析 MIS 系统的行为和性质. 文献[2]结合 Petri 网理论和机务段业务流程的特点, 提出了机务段业务流程模型, 从而将 Petri 网建模技术应用于机务段信息化系统的开发过程中. 文献[3]提出了相应的 Petri 网模型和建模方法, 从而为 Web 服务系统的验证分析提供了有效工具. 闫春钢等人还针对复杂而异构的医疗环境, 构建了基于 Petri 网的医疗信息系统工作流模型, 为医疗服务信息系统工作流的分析、验证与优化提供了理论基础^[4]. 在文献[2-4]的启发

收稿日期: 2011-01-19; **修回日期:** 2011-02-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(61063007); 江西省自然科学基金项目(2009GQS0060); 江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ10201, GJJ09590)

下,结合 Petri 网理论和 Web 型 MIS 系统的业务流程特点,文中提出了基于 MVC 架构的 Web 型信息管理流程模型,通过定义的模型五元组来描述各层之间数据传递的关系和结果。

2 Petri 网的基本概念及相关定义

定义 1 对于 Petri 网表示为六元组 $\Sigma = (S, T; F, K, W, M_0)$, 其中 S 和 T 分别称为 Σ 的库所集和变迁集 ($|S| = m, |T| = n$); F 称为 Σ 的流关系集合, 表示资源在 Σ 中的流动; $K: S \rightarrow N \cup \{\omega\}$ 称为 Σ 上的容量函数; $W: F \rightarrow N$ 称为 Σ 上的权函数; $M: S \rightarrow N_0$ 且 $\forall s \in S: M(s) \leq K(s)$ 称为 Σ 上的一个标识; M_0 称为 Σ 上的初始标识; 当且仅当:

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

其中, $\text{dom}(F) = \{x \mid \exists y: (x, y) \in F\}$ 为 Σ 的流的前集的集合, $\text{cod}(F) = \{y \mid \exists x: (x, y) \in F\}$ 为 Σ 的流的后集的集合。

定义 2 设 $x \in S \cup T$ 为 Σ 上的任一元素

① $\cdot x = \{y \in S \cup T \mid (y, x) \in F\}$ 称为 x 的前集或输入集

② $x \cdot = \{z \in S \cup T \mid (x, z) \in F\}$ 称为 x 的后集或输出集

变迁发生条件: 变迁 $t \in T$ 在标识 M 下有发生权, 当且仅当 $\forall s \in \cdot t: M(s) \geq W(s, t)$ 并且 $\forall s \in t \cdot: M(s) + W(t, s) \leq K(s)$, 记作 $M[t >$, 即在标识 M 下使能的变迁 t 可以引发, 引发后得到的后续标识 $M' = M + A$, 记作 $M[t > M'$, 称标识 M' 为从标识 M 直接可达的。

定理 1 如果存在变迁序列 $\sigma = (t_1, t_2, \dots, t_k)$ 和标识序列 $M_0 M_1 M_2 \dots M_k$, 使得 $M_0 t_1 M_1 t_2 M_2 \dots t_k M_k$ 并且 $\forall i: 0 < i \leq k: M_{i-1}[t_i > M_i$, 则 $M_k \in [M_0 >$, 并且称标识 M_k 为从标识 M_0 可达的。

定义 3 对于变迁 $t \in T$, 若对任意可达标识 $M \in [M_0 >$, 均有从 M 可达的标识 $M' \in [M >$, 使得 $M'[t >$, 则称变迁 t 是活的。若所有 $t \in T$ 都是活的, 则称 Σ 是活的。

Petri 网图形^[5-6]中有两类基本元素: 变迁结点用矩形框表示, 对应于系统事件; 库所结点用圆圈表示, 对应于系统事件处理的条件。由两类结点组成的有序偶用有向弧表示; 对于某个库所结点 s 的 $M(s)$, 即标记或托肯, 用实心圆点表示。

3 基于 MVC 架构的 Web 型 MIS 系统的 Petri 网模型

随着计算机网络的发展, 以 WWW 为基础架构的各种 Web 型 MIS 系统因其具有易用性、通用性和良好的可扩展性等优点而发展迅速, 逐渐成为 MIS 系统应用的主流方式。然而, 由于系统规模和复杂程度的不断增大, 使得 Web 型 MIS 系统的开发存在一些不足。例如: 用户显示界面和业务逻辑没有完全分离, 程序代码耦合度增大; 代码的可维护性、应用框架及组件的可重用性等都在降低。为了开发具有高性能、易维护、强扩展性的 Web 型 MIS 系统, 文中采用模型 (Model)、视图 (View)、控制器 (Controller) 的 MVC 架构, 将业务逻辑处理从上层的用户界面表示和底层的数据访问中分离出来, 形成独立的业务逻辑层, 以满足日益复杂的 Web 型 MIS 系统设计需求。

3.1 基于 MVC 架构的 Web 型 MIS 系统与 Petri 网的映射

一个 Web 型 MIS 系统可能包含数十、数百甚至更多的网页, 把每个 Web 页面看作是一个离散、并发、可控系统的子功能系统, 转化为相应的 Petri 子网模型; 然后按照网页间链接关系蕴含的数据流方向及传递条件, 对已生成的 Petri 子网模型依次合成, 最终得到整个系统的 Petri 网模型。

在 Petri 网理论的基础上, 针对基于 MVC 架构的 Web 型 MIS 系统的业务流程特点进行扩展, 提出了基于 MVC 架构的 Web 型信息管理流程模型 $\Sigma = (S, T; F, W, M_0)$, 二者之间的映射关系如表 1 所示。在该模型 Σ 中, S 为库所集, 表示数据所处的状态, 代表处理数据的位置和层次; T 为变迁集, 表示数据的传递, 代表信息管理业务流程中的调用; F 为流关系集合, 表示数据的传递方向, 代表数据 Σ 在中的流动; W 为权函数, 表示数据传递条件, 代表数据在 Σ 中流动所需的条件; M 为 Σ 上的标识, 在 MVC 架构引发业务流程调用的活动可映射为 Petri 网中的托肯; M_0 称为 Σ 上的初始标识。

表 1 基于 MVC 架构的 Web 型 MIS 系统与 Petri 网之间的映射关系

信息管理流程模型 Σ	Web 型 MIS 系统	注解
S(库所集)	数据的状态	代表处理数据的位置(例如客户机、服务器等)和层次(例如用户界面层、业务逻辑层、数据访问层等)
T(变迁集)	数据的传递	代表信息管理业务流程中的调用
F(流关系集)	数据的传递方向	代表数据在 Σ 中的流动
W(权函数)	数据的传递条件	代表数据在 Σ 中流动所需的条件

3.2 基于 MVC 架构的 Web 型 MIS 系统的 Petri 网建模

文中基于 MVC 架构进行 Web 型 MIS 系统建模时,采用自顶向下、逐步求精的方法. 首先按照功能聚合原则,给出系统抽象的逻辑模型及功能子系统的划分;然后依据 MVC 架构的“依赖性下行,数据上行”原则,利用 Petri 网理论描述功能子系统的动态特征,并通过 Petri 网分析方法对其进行分析优化;最后把各功能子系统的 Petri 子网模型依次合成,得到整个系统的 Petri 网模型. 基于 MVC 架构的 Web 型 MIS 系统 Petri 网建模的基本步骤如下:

步骤 1:正确理解系统的需求分析,按照功能聚合原则把系统分解为几个功能子系统. 对于较复杂的功能子系统,对其进一步分解直至达到要求为止,最终恰当地确定系统的抽象模型;

步骤 2:基于 MVC 架构的用户界面层(User Interface, UI)、业务逻辑层(Business Logic Layer, BLL)、数据访问层(Data Access Layer, DBA)的分层模型,给出各功能子系统的 Petri 子网模型;

步骤 2.1: UI 的 Petri 网模型: UI 位于用户和 BLL 之间,负责用户与整个系统的交互,即接受用户输入的数据,调用 BLL 层提供的业务;接收 BLL 层被调用业务返回的数据,向用户展示结果;

步骤 2.2: BLL 的 Petri 网模型: BLL 位于 UI 和 DBA 之间,负责提供业务逻辑的实现,即传递 UI 的数据请求到 DBA 层,并接收 DBA 层返回的数据,供 UI 访问;

步骤 2.3: DBA 的 Petri 网模型: DBA 位于 BLL 和数据库之间,负责数据库的访问,即接收 BLL 层的调用,实现对数据表的增、删、改、查询等操作,并接收数据库返回的数据,供 BLL 访问;

步骤 3:利用 Petri 网的分析工具(如可达树分析等),对各功能子系统的 Petri 网模型进行分析优化;

步骤 4:按照网页间链接关系蕴含的数据流方向及传递条件,对已生成的 Petri 子网模型依次合成,从而得到整个系统的 Petri 网模型.

在构造基于 MVC 架构的 Web 型 MIS 系统 Petri 网模型时,始终面临着两个关键问题:①何时出现数据的传递. 即在用户、UI、BLL、DBA 及数据库之间,数据传递条件如何决定数据传递事件是否能发生. ②数据传递的结果是什么. 即在用户、UI、BLL、DBA 及数据库之间发生的数据传递事件,如何改变系统的状态和条件.

3.3 构建部分 Web 型科研管理信息系统的 Petri 网子网模型

文中以井冈山大学自然科学研究项目“科研管理信息系统”为例,该项目采用 ASP. NET、ADO. NET 技术和 SQL Server 数据库,设计并实现基于 MVC 架构的 Web 型井冈山大学科研管理信息系统. 基于 MVC 架构的 Web 型 MIS 系统用户登录功能子系统的 Petri 网子网模型如图 1 所示.

通过构建 Petri 网模型可以非常清晰地表现出,系统数据在用户、Web 网页、UI、BLL、DBA 及数据库之间,网页与网页之间,客户机与服务器之间的传递关系和传递结果,既降低了各功能子系统之间的耦合,又具有清晰的层次结构,使得各个层次各司其职,从而能有效缩短系统的设计与实现周期,并有助于系统的后期维护和性能扩展.

3.4 基于 MVC 架构的 Web 型 MIS 系统的 Petri 网分析和验证

通过利用 Petri 网,可以对基于 MVC 架构的 Web 型 MIS 系统进行以下分析和验证工作:(1) 可达树分析:基于 Petri 网的可达性、活性、有界性等定义,运用可达树分析法,求解所有可达状态并验证其满足活性、安全性、守恒性、覆盖性和有界性等,从而对系统的动态特性和运行机理进行深入地理解和分析;(2) 正确性:通过模拟和仿真系统运行,测试所设计的功能子系统是否能够达到预期的目标,及

早发现可能存在的问题并验证其逻辑上的正确性;
(3) 组合和集成:不仅可以分析和验证单个功能子系统的 Petri 网子网模型,而且可以把各功能子系

统有机结合起来,得到整个系统的 Petri 网模型进行分析和验证,包括数据的状态和传递、系统交互正确性等。

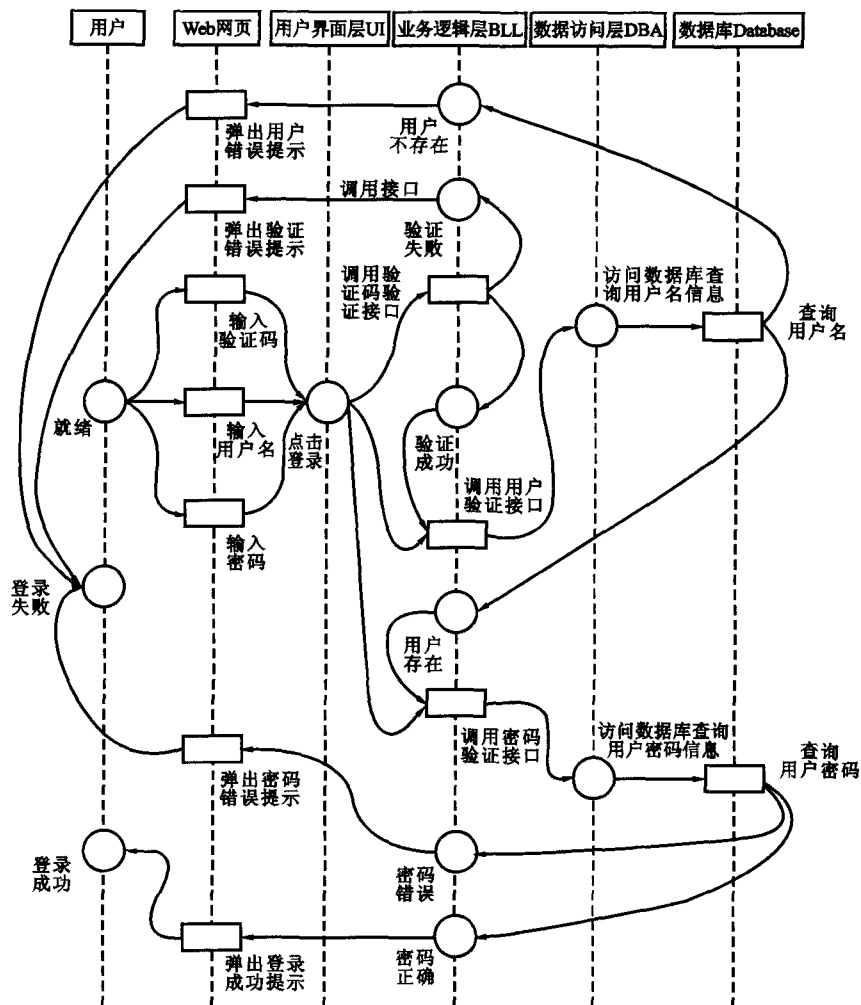


图1 基于 MVC 架构的 Web 型 MIS 系统用户登录功能子系统的 Petri 网子网模型

4 结束语

文中将 Petri 网建模技术应用于 Web 型 MIS 系统的开发中,并结合 Petri 网理论和基于 MVC 架构的 MIS 系统的业务流程特点,提出了基于 MVC 架构的 Web 型信息管理流程模型。实验结果表明,采用 Petri 网理论对科研管理信息系统建模是可行且有效的,降低了层与层之间的耦合度,使得系统具有更好的可维护性和可扩充性。随着系统规模的扩大,状态空间的组合爆炸使可达树分析等 Petri 网分析方法的时间复杂度呈指数倍提高。今后将针对大型复杂的 Web 型 MIS 系统 Petri 网模型中状态空间的复杂性问题的引入层次化模型技术和分块模拟逐步抽象综合技术等 Petri 网模型化简技术,

达到缩减状态空间和简化分析的目的。

参考文献:

- [1] 文静华, 张梅, 李祥. 基于对象 Petri 网的信息系统建模技术[J]. 计算机工程与应用, 2004(25):208-210.
- [2] 田娥, 李毅, 莫易敏. 基于 Petri 网建模的机务段管理信息系统的研究与实现[J]. 武汉理工大学学报, 2009, 33(6):1068-1071.
- [3] 闫春钢, 蒋昌俊, 李启炎. 基于 Petri 网的 Web 服务组合与分析[J]. 计算机科学, 2007, 34(2):100-103.
- [4] 闫春钢, 蒋昌俊, 史有群, 等. 基于 Petri 网的医疗信息整合工作流建模与分析[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(6):1696-1699.
- [5] 蒋昌俊. 离散事件动态系统的 PN 机理论[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

(下转第 52 页)

及使错误区域化的方面有显著的效用^[3]. 断言增加了可观测性,减少了调试的时间,提高了验证效率.

传统覆盖分析要专门为覆盖分析而写大量的代码,而断言的覆盖分析可以直接使用在协议检查或者事件描述中用到的那些时序表达式,因此编码会更加灵活、简洁.

在 bus_arbiter 的设计中,将 bus_arbiter 的一系列属性转换成断言,这些断言在功能模拟中不断地被监视. 当该断言违反时,则自动显示错误和位置,十分方便调试. 针对每个属性定义的断言是否被正确监视,可以从日志中可以查看到. 图 11 为断言覆盖率情况,这些定义的断言都被正确监视了.

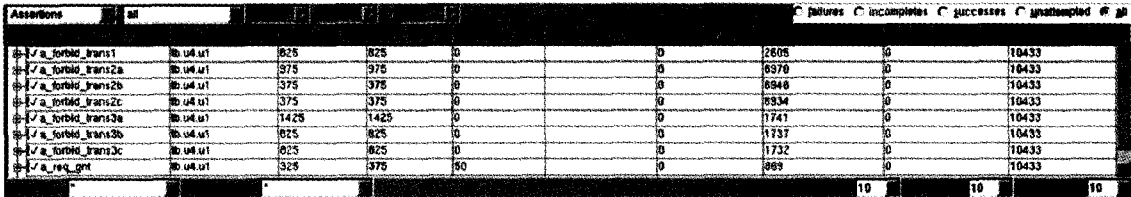


图 11 bus_arbiter 模块断言覆盖率情况

4 结束语

文中分析了 SoC 总线架构,以总线仲裁器验证为例,对其结构覆盖率、功能覆盖率、断言覆盖率等多种覆盖率进行了详细分析,然后根据这些覆盖率分析结果反馈到 RTL 设计代码和测试激励进行修正,直到验证的完整性满足设计的要求. 以此表明覆盖率数据成为验证工程师判定 SoC 验证完整程度的定性度量,为 SoC 验证完全性提供了保障. 随着在 SoC 系统中集成了越来越多的 VIP,可以将这些覆盖率评估总则编写成 IP,作为控制验证质量的方法总则,确保与相关协议的所有被测设计都能完全验证.

参考文献:

[1] 罗登富,赵建明. 基于覆盖率的集成电路验证[J]. 现代电子技术,2009(13):115-119.
[2] 徐盛,章玮,金钊. 基于断言的验证方法在总线协议验证中的应用[J]. 电子设计应用,2006(11):89-92.
[3] 褚晓滨,陆铁军,宗宇. 结合断言与覆盖率为导向的验证方法[J]. 微电子学与计算机,2008,25(11):139-142.

作者简介:

朱车壮 男,(1985-),硕士研究生. 研究方向为 SoC 系统设计与验证.
陈 岚 女,(1968-),博士生导师. 研究方向为超深亚微米芯片设计方法学及计算机系统机构.
冯 燕 女,(1980-),助理研究员. 研究方向为 SoC 系统设计与验证.

(上接第 47 页)

[6] Petri C A. Kommunikation mit automaten [D]. Bonn, Germany: Institut für Instrumentelle Mathematik, 1962.

作者简介:

冷 明 男,(1975-),博士,副教授. 研究方向为 Petri 网理论、组合分析与优化等.

孙凌宇 女,(1976-),硕士,副教授. 研究方向为 Petri 网理论、组合算法等.
郭恺强 男,(1978-),硕士,讲师. 研究方向为 Petri 网理论等.
朱 平 男,(1955-),硕士,教授. 研究方向为算法分析与设计等.