

利用着色 Petri 网检测小灵通双振铃与游子归家的话务循环问题^{*}

梁汝昭, 陆以勤, 吕 锦

(华南理工大学电子与信息学院, 广东 广州 510640)

摘 要: 提出了一种可在建模和仿真阶段进行业务冲突检测的着色 Petri 网模型, 为了克服 Petri 网的状态爆炸问题, 引入了使用实例驱动法, 即以引发序列仿真系统的典型行为, 有针对性地检测业务冲突的发生。最后, 以一个真实的案例说明模型的应用。本方法适用于着色 Petri 网的仿真工具 CPN Tools。

关键词: 着色 Petri 网; 业务冲突; 使用实例

中图分类号: TN915.02 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S1-0145-04

增值业务被认为是电信行业新的经济增长点。在剧烈的竞争中, 运营商意识到, 目前国内虽然语音业务比重仍占最大, 但以后运营商的经济增长点, 在于语音以外的补充业务, 即增值业务。特别近年来我国的智能网建设取得了较大的发展, 可以高效地向用户提供各种增值业务, 缩短新业务的开发周期, 因此, 电信增值业务得到迅速增长。但是, 随着网上业务的不断增加, 业务之间出现交互的可能性越来越大^[1,2]。

事实上, 一些较为严重的业务冲突已经在网上出现。例如, 小灵通业务的双振铃功能与移动电话的呼叫前转就会产生冲突: 如果小灵通设置了与移动电话同振, 而该移动电话又设置了呼叫前转到这部小灵通, 则呼叫就会在小灵通与移动电话之间形成死循环, 容易把中继电路占满, 甚至导致瘫局。类似发生的其它的业务冲突, 如小灵通双振与手机呼转、WAC (广域汇线通) 与手机来电显示等, 给电信网络的安全带来了极大的隐患, 应尽可能在业务投入使用前发现^[3]。

自 20 世纪 80 年代末, 贝尔实验室的研究人员就对业务交互问题进行了初步研究^[4], 此后受到广泛的关注。从 1992 年至今已举办了 6 期关于 FI 的研讨会^[5], 从研讨会的情况看, 到会的大部分是工业界的研发人员, 也有部分高校的科研人员, 有些科研机构还成立了 FI 的研究小组, 如瑞典 Uppsala 大学计算机系统系的 FI 研究小组, 加拿大渥太华

大学信息技术与工程学院的电信软件工程研究小组, 关于 FI 的研究小组的名单, 可参考文献 [5]。

对于电信运用商、电信设备厂家、电信业务提供商来说, 现有的防止业务冲突的手段非常有限, 主要还是依靠开发人员的经验在业务设计阶段尽量避免, 或者由测试人员在设计测试案例时尽可能考虑各种情况的组合。这都受到技术人员的经验限制, 因此, 迫切需要一种技术手段, 能够对新开发的业务进行自动的检测, 及早发现新业务与现网上存在的业务特征是否存在冲突。

本文在作者的研究成果“使用实例驱动的业务冲突检测的着色 Petri 网 (colored Petri net) 检测模型”的基础上^[6-11], 以上文小灵通双振铃与游子归家业务的冲突为案例, 介绍如何利用着色 Petri 网这个适合电信系统的图形和数学工具, 通过为电信业务的运行状态建模, 在仿真环境中检测业务冲突。

1 使用实例驱动的业务冲突检测的着色 Petri 网模型

根据业务开发的生命周期, 包括需求分析、设计、实施和维护几个步骤, 而且, 这几个步骤是可以螺旋升级的。需求分析的描述, 分为形式描述和非形式描述。形式描述可以简单理解为在需求分析的驱动下对系统建模, 系统建模的技术和水平, 直接影响到设计步骤。在业务开发的整个过程, 都可

^{*} 收稿日期: 2004-03-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60372069); 广东省自然科学基金资助项目 (020828); 广东省科技计划资助项目 (2003B11609)

作者简介: 梁汝昭 (1978 年生) 男, 硕士研究生; 通讯联系人: 陆以勤, E-mail: eevglu@scut.edu.cn

以进行业务冲突的检测,而且,越在开发的前期进行检测,检测的代价就越低,业务冲突带来的损失就越少。

目前应用于电信业务冲突的形式化描述工具主要有 SDL、UML、LOTOS、CSP 及着色 Petri 网。着色 Petri 网 (Colored Petri Net, 简称 CPN) 是在 Petri 网基础上发展起来的一种描述异步并发现象的系统模型,它可以图形化地直观描述系统的功能结构,同时又具有严格的数学定义。但 Petri 网本身也有局限,如 Petri 网在分析时会遇到所谓“状态爆炸”(state explosion)问题。为了克服这个问题,我们引入了“使用实例驱动法”。

所谓使用实例 (use case),即系统的典型使用过程。使用实例最早是“面向对象软件工程”的发明人(也是 UML 的三个发明人之一) Jacobson 提出的^[12],后来成为 UML 的基本概念。使用实例体现了如下的观点:详尽地研究一个系统是不可能的,现实的方法是通过研究系统的典型行为(包括异常行为)反映系统的性质。所以,使用实例驱动法可以避免遍历“可达树”(reachability tree,可认为是状态转移图)导致的状态爆炸。

在本文中,使用实例用着色 Petri 网的引发序列来表示。由于篇幅限制,本节仅介绍基本的概念,详细的描述见文献 [6]。

定义 1 (着色 Petri 网,简称 CP 网) 一个着色 Petri 网是一个五元组 $N = \langle P, T, C, I_-, I_+ \rangle$,其中, P 和 T 是互不相交的非空有限集,其元素分别称为位置和变迁; C 称为定义在 $P \cup T$ 上的颜色函数, $\forall p \in P, C(p)$ 称为令牌色集而 $\forall t \in T, C(t)$ 称为事件色集; I_- / I_+ 称为 $P \times T$ 上的负 / 正关联函数, $\forall p \in P, \forall t \in T$, 函数值 $I_-(p, t) / I_+(p, t)$ 本身也是一个函数 $C(t)_{MS} \rightarrow C(p)_{MS}$; 不存在孤立的位置或变迁。

定义 2 (CP 网的步骤、单一步骤) CP 网的一个步骤 (step) 是它的矩阵 N 中 T 上的函数 X 满足 $\forall t \in T, S(t) \in C(t)_{MS}$ 。CP 网 N 的单一步骤 (simple step) 是一个步骤 X 满足: $\exists t_1 \in T, S(t_1) \neq 0$; for $t \neq t_1, S(t) = 0$ 。单一步骤 S 经常记为 $(t_1, S(t_1))$ 。

定义 3 (可引发, CP 网的引发) CP 网的步骤 S 称为在标识 M 可引发 (firable, 也称使能的 enabled) 当且仅当 $I_- * S \leq M$, i. e. $\forall p \in P, \sum_{t \in T} I_-(p, t) (X(t)) \leq M(p)$ 。一个在 M 可引发的步骤 S 可以引发 (fire) 并把标识从 M 改为 M' , 其中 $M' = (M - I_- * S) + I_+ * S$ 。 S 的引发记为 $M[S > M']$ 。当 S 是

一个简单步骤且 $S(t_1) \neq 0$ 时,在不至于引起混淆的情况下,我们也可把“引发 S ”简单地称为“引发 t_1 ”。

以上定义称为 CP 网的引发规则 (firing rule)。

定义 4 (CP 网的引发序列) CP 网的一个步骤序列 $\sigma = S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \dots \rightarrow S_i \rightarrow \dots S_n (n \in N)$ 称为在标识 M_0 的引发序列 (firing sequence) 当且仅当存在一个标识序列 $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow \dots M_i \rightarrow \dots M_n$ 满足: $\forall i: M_{i-1}[S_i > M_i (1 \leq i \leq n)$ 。 σ 的引发记为 $M_0[\sigma > M_n$ 。 σ 的 n 次反复引发记为 $n' \sigma$ 。

电信业务的建模及业务冲突的检测方法如下:

- (1) 基本电话系统 (POTS) 及其业务分别用着色 Petri 网 (CP 网) N 和 N_i 表示,其使用实例是 N 或 N_i 的引发序列;
- (2) 两个业务的集成通过把它们 CP 网 N_1 和 N_2 组合为一个大网 $N_{1,2}$ 来模拟。
- (3) 当一个业务加入系统时,其 CP 网 N_i 被嵌入 N ;
- (4) 业务冲突时通过把 $N_{1,2}$ 嵌入 N , 观察 N 使用实例是否引起异常进行。

2 对小灵通双振铃与游子归家业务冲突的检测

游子归家属于智能网的业务,其业务触发点是智能网的 CS-1 的基本呼叫状态模型 BCSM (Basic Call State Model) 的“分析信息”检测点 (Detecting Point) (见图 1),即 DP3。双振铃业务主要由 IGW (Internetworking Gateway) 提供,属于交换网的业务。

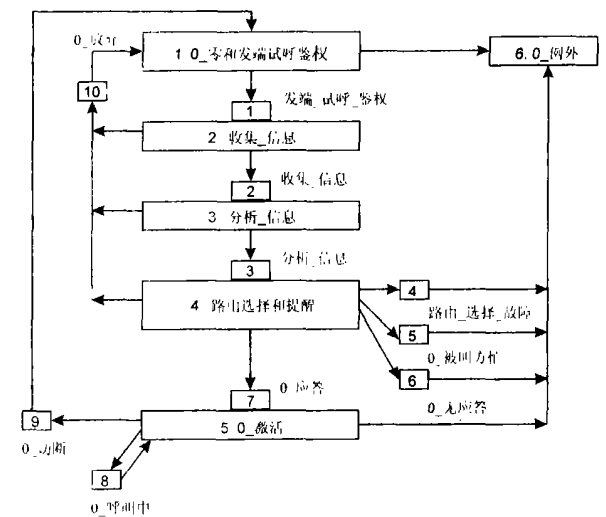


图 1 智能网 CS-1 发端 BCSM

Fig 1 Originating BCSM of INCS-1

用着色 Petri 网对两个业务特性的设计进行建模,假设设计方案如图 2 所示。图中,空心圆点代表固话号码 a,实心圆点代表移动号码 b,半实心

圆点代表小灵通号码 c。

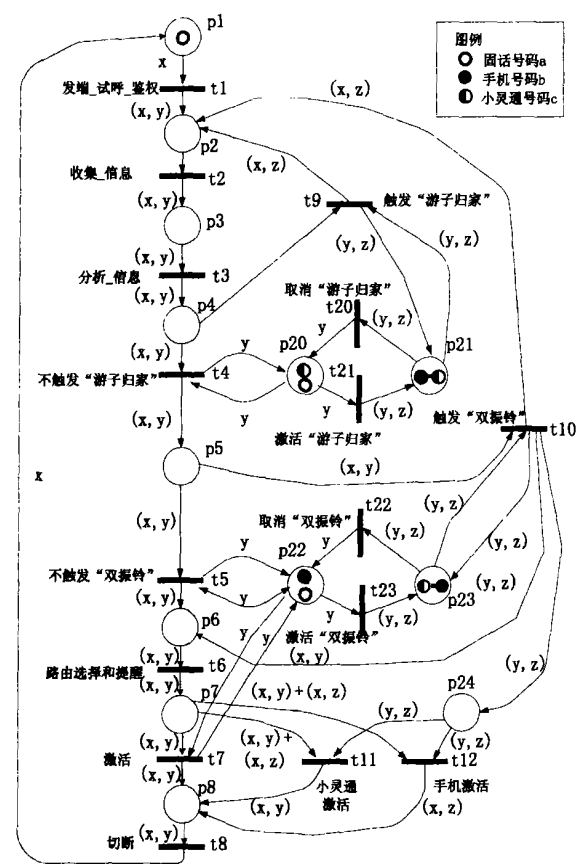


图 2 游子归家和双振铃的着色 Petri 网模型

Fig. 2 The CPM model of integration of services of doth-ring and traveler-go-home

图 2 中, 位置 P_1 代表零 (挂机) 状态, t_1 代表“发端试呼鉴权”PIC, P_2 代表“发端试呼鉴权”DP, t_2 代表“收集信息”PIC, P_3 代表“已收集信息”DP, t_3 代表“分析信息”PIC, P_6 代表“已分析信息”DP, t_6 代表“路由选择和振铃”PIC, P_7 代表“O 应答”DP, t_7 代表“O 激活”PIC, P_8 代表“切断”DP, t_8 代表“切断”动作。可见, 由 BCSM 可以很容易建立着色 Petri 网的模型。

在系统的初始状态, 代表固话 a 的空心小圆点 (令牌) 在代表“零”的呼叫初始位置 P_1 上, 代表固话号码 a 处于挂机状态。在位置 P_{20} 上, 存在两个小圆点令牌, 一个是空心小圆点, 代表手机固话号码 a; 另一个是半实心小圆点, 代表小灵通号码 c。这两个小圆点在位置 P_{20} 上, 表示固话号码 a 和小灵通号码 c 都没有激活“游子归家”业务。在位置 P_{21} 上, 存在一对小圆点组成的令牌: 实心圆点代表手机号码 b, 半实心小圆点代表小灵通号码 c, 两者之间连着一个横线。这个令牌代表手机 b 已

经激活了游子归家业务, 并把手机转移到了小灵通号码 c。在位置 P_{22} 上, 存在两个小圆点令牌, 一个是空心小圆点, 代表手机固话号码 a; 另一个是实心小圆点, 代表手机号码 b。这两个小圆点在位置 P_{22} 上, 表示固话号码 a 和手机号码 b 都没有激活“双振铃”业务。在位置 P_{23} 上, 也存在一对小圆点组成的令牌: 半实心小圆点代表小灵通号码 c, 实心圆点代表手机号码 b, 两者之间连着一个横线。这个令牌代表小灵通 c 已经激活了双振铃业务, 并把手机转移到了小灵通号码 c。可见, 这个双振铃的设计实际上是多产生了一个由 a 到 b 的呼叫, 并把这个呼叫重新放到位置 P_2 上, 即 BCSM 的“发端试户鉴权”呼叫点 (Point in Call) 上。这时, 变量 $x = a, y = c, z = b$, 符号 (x, y) 代表由 x 到 y 的呼叫, 即 x 为主叫, y 为被叫。

为了检测业务冲突, 可把上述 CP 网放于 CPN 的仿真平台 CPN TOOLS^[13], 观察如下使用实例: $\sigma_1 = (t_1, (a, b)) \rightarrow m' \sigma_2$ 。其中 $\sigma_2 = (t_2, (a, b)) \rightarrow (t_3, (a, b)) \rightarrow (t_9, (a, b, c)) \rightarrow (t_2, (a, c)) \rightarrow (t_3, (a, c)) \rightarrow (t_4, (a, c)) \rightarrow (t_{10}, (a, c, b))$ 表示了游子归家和双振铃业务构成的循环就结构, 使用实例 σ_1 表示了 σ_2 出现了 m 次循环。在仿真过程中, P_6 的令牌 (a, c) 会不断累加, 出现满足不了有界性 (boundness) 的现象。这就是上面所说的话路循环。这会大幅度增加交换机的负担。可见, 这种设计是十分有害的, 如果不作系统分析, 就进入系统实现的环节, 会导致不可知的故障。要解决这个问题, 可根据问题产生的原因, 改变设计的方案。如图 3 所示的方案就可以避免死循环。

对比图 3 和图 2, 可见看出, 代表激活“双振铃”的变迁 t_{10} , 在图 3 中, 双振铃增加的新呼叫 (a, b) 返回 P_6 (代表“已分析信息”DP), 同时, 令牌 (c, b) 从 P_{23} (代表“双振铃未被触发”) 移到 P_{24} (代表“双振铃已被触发”), 由于 P_{23} 没有了令牌 (c, b) , 双振铃不能再次被触发, 避免了令牌的无限增加 (保证了有界性)。直至双振铃后, 小灵通或手机应答 (分别引发 t_{11} 和 t_{12}), 令牌 (c, b) 才回到 P_{23} 。通过观察使用实例 $\sigma_3 = (t_1, (a, b)) \rightarrow (t_2, (a, b)) \rightarrow (t_3, (a, b)) \rightarrow (t_9, (a, b, c)) \rightarrow (t_2, (a, c)) \rightarrow (t_3, (a, c)) \rightarrow (t_4, (a, c)) \rightarrow (t_{10}, (a, c, b)) \rightarrow (t_6, (a, c) + (a, b)) \rightarrow (t_{11}, (a, c)) \rightarrow (t_8, (a, c))$, 可以看出, 在整个使用过程中, 没有出现异常情况。

3 结 论

由此可见, 通过对着色 Petri 网模型的分析,

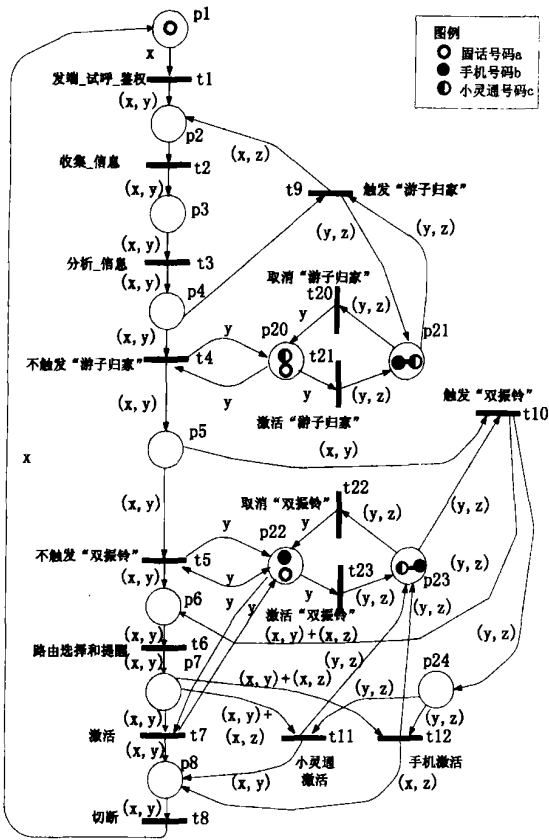


图 3 可避免死循环的“游子归家”和“双振铃”业务冲突的设计

Fig. 3 The live-lock free design of the integration of services of doth ring and traveler go home

参考文献:

[1] 陆以勤, 韦岗. 电信系统的业务交互[J]. 电信科学, 1996, 12(12): 8— 11.

[2] 徐九韵, 扬放春. 业务冲突的研究现状与发展[J]. 电信科学, 2002, 9(9): 16— 19.[3] 温木奇. ZXPCS 小灵通安全运行研究[J]. 通信世界, 2003, (12): 34— 35.

[4] BOWEN T F, DWORACK F S, CHOW C H, et al. The feature interaction problem in telecommunications systems [A]. In: Proceedings of the 7th International Conference on Software Engineering for Telecommunication Switching Systems[J]. 1989, 59— 62.

[5] <http://www.docu.uu.se/docs/fi/>, 2004— 06— 04/2004— 06— 04.

[6] LU Y Q, WEI G. A temporal colored Petri nets model for feature integration in telecommunications systems[J]. Journal of South China University of Technology, 2002, 30(1): 26— 33.

[7] LU Y Q, WEI G, CHEUNG T Y. Managing feature interactions in telecommunications systems by temporal colored Petri nets[A]. In: Sten F A, Michael G H, and Jeff O, eds. Proceedings of 7th IEEE International Conference on Engineering of Complex Computer Systems[C], Skovde: IEEE Computer Society, 2001: 260— 270.

[8] 陆以勤, 韦岗, 欧阳景正. 基于着色 Petri 网的电信业务特性集成模型[J]. 通信学报, 1999, 20(6): 69— 76.

[9] 陆以勤, 韦岗, 贺前华. 用着色 Petri 网不变量守恒变换检测和处理电信系统业务特性交互作用[J]. 通信学报. 1999, 20(7): 54— 58.

[10] LU Y Q, CHEUNG T Y. Feature interactions of the livelock type in IN: a detailed example[A]. In: Proceeding of 7th IEEE Intelligent Network Workshop[C]. Bordeaux: IEEE Computer Society, 1998: 175— 184.

[11] CHEUNG T Y, LU Y Q. Detecting and resolving the interaction between telephone features terminating call screening and call forwarding by colored Petri nets[A]. In: Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vancouver: IEEE SMC Society, 1995: 2245— 2250.

[12] JACOBSON I. Object-oriented software engineering[M]. ACM Press, 1993.

[13] KURT J. An Introduction to the Practical Use of Coloured Petri Nets [EB/OL]. <http://www.daimi.aau.dk/~kjensen/>, 2004— 06— 04/2004— 06— 04.

可在系统分析阶段检测异常情况, 尽早修改设计方案。避免实现后的故障或不可知异常情况的发生。从软件工程的角度看, 这是十分必要的, 可惜, 目前电信系统业务生成环境, 由于历史原因, 缺乏这方面的工具。

本文提出了用于检测电信业务冲突的基于着色 Petri 网的建模和仿真的方法, 由于采用了使用实例驱动法, 可以有效地避免 Petri 网分析的状态爆炸问题。本方法可借助 CP 网的仿真工具 CPN TOOLS 进行仿真。本文以一个真实的案例作了说明。

Detecting the Interaction of Doth Ring and Traveler Go Home Service by Colored Petri Nets

LIANG Ru zhao, LU Yi qin, LU Jin

(College of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: A color Petri net based model is proposed, which can detect feature interaction during the modeling and simulation stage. To solve the state explosion problem in Petri net analysis, the use case driven approach is employed to detect the interaction. A use case is represented as a firing sequencing in this model. A detailed case is presented to show how to use this approach. The simulation tool of CPN Tools is recommended to use for detection.

Key words: colored Petri net; feature interaction; use case