

用 Petri 网对点击拨号业务的建模

朱晓民^① 廖建新^① 王鹏^② 王剑斌^③

^①(北京邮电大学网络与交换国家重点实验室 北京 100876)

^②(天津市通信公司网管维护中心 天津 300052)

^③(中国网络通信有限公司 北京 100032)

摘要 该文提出一种将协议转换方法学和 Petri 网理论相结合来研究应用层协议转换的新方法。按照协议转换方法学的流程,对 IIN(Internet Intelligent Network)模型中的点击拨号(CTD)业务进行分析。在用 Petri 网对 CTD 业务的建模过程中提炼出通用的 Petri 网模型协议转换耦合原则,丰富了协议转换方法学的内容。利用 Petri 网的分析能力分析了 CTD 业务协议转换模型的特性,达到了检错纠错的目的。在该方法的指导下开发了业务控制网关(SCGF)和 CTD 业务,证明了这种新方法的可行性和适用性。

关键词 协议转换方法学, Petri 网, 点击拨号业务, 智能网, 互通

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5869(2006)03-0551-06

Modeling Click-to-Dial Service with Petri Nets

Zhu Xiao-min^① Liao Jian-xin^① Wang Peng^② Wang Jian-bin^③

^①(State Key Lab of Networking and Switching, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

^②(Network Management and Maintenance Center, Tianjin Communications Corporation, Tianjin 300052, China)

^③(China Netcom Corporation Ltd., Beijing 100032, China)

Abstract A new method combining the protocol conversion methodology and the Petri nets theory is proposed to study application layer protocol conversion. According to the procedure proposed by the protocol conversion methodology, the Click-To-Dial (CTD) service in the Internet Intelligent Network (IIN) model is analyzed. From the modeling experiences of CTD service with Petri nets, universal coupling criteria of Petri nets model of protocol conversion are abstracted, which enrich the protocol conversion methodology. Protocol conversion model of CTD service is analyzed with analysis techniques of Petri nets and its errors are checked and corrected. A Service Control Gateway Function (SCGF) and CTD service have been developed under the guide of this new method, which is proved viable and applicable.

Key words Protocol conversion methodology, Petri nets, Click-To-Dial (CTD) service, Intelligent network, Interworking

1 引言

关于网络互联和协议转换已有很多的研究。在智能网与 Internet 互通的环境中也同样涉及到网关中协议转换的问题。Green 曾提出了一个较为完整的协议转换方法学^[1, 2], 可以作为框架性的指导, 同时也有很多的形式化描述技术如 Petri 网^[3, 4]可用于协议及协议转换的描述。本文的主要工作就是以在基于智能网与 Internet 互通的 IIN(Internet Intelligent Network)模型^[5]中实现的点击拨号(Click-To-Dial, CTD)业务为例, 采取将 Petri 网和协议转换方法学两者相结

合的新思路进行应用层协议转换研究, 提出了通用的 Petri 网模型协议转换耦合原则, 并通过严格的数学手段来分析模型的特性。文献[6]的工作也是用 Petri 网对一个网关进行建模分析, 但该项工作不是针对应用层的协议转换, 也没有与协议转换方法学相结合。

2 应用背景

本文所指的 CTD 业务是一种由 Internet 域发起, 由 IIN(Intelligent Network)域执行的 PINT(PSTN/Internet

2004-07-07 收到, 2004-12-08 改回

高等学校博士学科点专项科研基金(20030013006), 国家移动通信产品研究开发专项基金(下一代移动智能网络系统的开发及应用)和电子信息产业发展基金(移动通信增值服务平台及应用系统)资助课题

iNTerworking)业务, IN 中的业务控制点利用第三方控制能力负责将两个话机接续起来。更具体的业务描述可参见 3.2 节。图 1 表示了与 CTD 业务相关的部分网络实体及其相互关系。IIN 模型的整体系统结构可参见文献[5]。图中重叠的椭圆表示两个逻辑实体部署在同一个物理实体中。SCGF(Service Control Gateway Function)处于智能网域和 Internet 域之间,作为网络网络接口(NNI)。用户网络接口(UNI)则可能是模拟电话线接口,也可能是基于 TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)的 PINT^[7]接口或者 HTTP(Hyper Text Transfer Protocol)接口。我们将 SCGF 与 SCF(Service Control Function)间的接口定为 IF3(InterFace 3),而将 SCGF/PINT 客户机与 PINT 服务器间的接口定为 IF1。实际上 SCGF 还有一些与其他实体之间的接口,但在后续章节中只讨论与 CTD 业务相关的 IF1 和 IF3。图 1 中, WWW, SDF, SSF 和 CCF 的全称分别为 World Wide Web, Service Data Function, Service Switch Function 和 Call Control Function。图中细实线表示信令信息,粗实线表示用户信息。由此可知,在 SCGF 中存在 INAP(Intelligent Network Application Part)与 PINT 协议间的协议转换需求。按照协议转换方法学^[1, 2]的思路,我们可以对 SCGF 中的协议转换提出如下整套系统的解决方案。

3 基于协议转换方法学的方案

3.1 系统结构需求分析

在 IIN 模型中,智能网与 Internet 之间增加了新的节点 SCGF,用于业务控制信令协议的转换,SCGF 的接口如图 1 所示。IF1 的应用层协议是 PINT 协议^[7],IF3 的应用层协议是在 ITU-T 智能网 CS-2(Capability Set)的基础之上进行修改扩充的 INAP 协议^[8]。根据执行协议转换的协议层的“上层协议相同,下层协议不同”的原则^[9, 10],IF1 与 IF3 之间的协议转换只能在应用层进行。

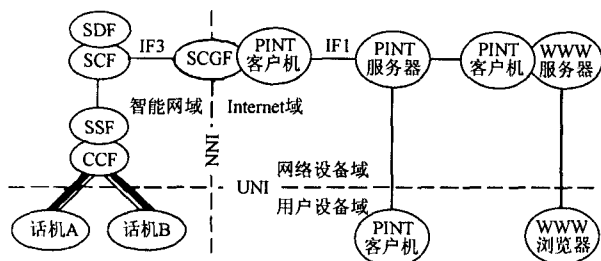


图1 CTD业务相关的网络实体

3.2 应用需求分析

我们选择 CTD 业务作为研究的目标业务,这也就是本文要满足的应用需求。下面是 CTD 业务的流程描述:

(1) 上网用户用 WWW 浏览器访问某个提供了 CTD 业务的 WWW 服务器时,用户可以点击该业务的链接项,此时在用户计算机屏幕上会弹出一个对话框,要求用户输入一个电话号码,该号码所对应的话机一般应该在上网用户附近,在后续的论述中认为是主叫号码。填写完成之后用户将主叫号码发送给 WWW 服务器。

(2) 当 WWW 服务器接收到主叫号码之后就会要求与它驻留在一起的 PINT 客户机用 PINT 协议与 SCGF 通信,将主叫号码和预先在 WWW 服务器中设置好的被叫号码一起发送给 SCGF,两者之间的通信可以通过多个 PINT 服务器的中继来实现,也可以建立直接连接。

(3) 得到主被叫号码之后 SCGF 就可以向智能网域的 SCF 发出 CTD 业务请求,消息参数中包含业务接入码和主被叫号码。

(4) SCF 激活相应的 CTD 业务逻辑,命令 SSF 先建立与被叫话机之间的连接。

(5) 当 SSF 与被叫话机之间建立连接并且 SSF 将这一事件报告给 SCF 以后,SCF 向 SCGF 返回成功消息,同时 SCF 命令 SSF 建立与主叫话机之间的连接。如果被叫话机忙、无应答或路由选择失败,SCF 向 SCGF 返回对应的 3 种失败消息,同时跳过建立 SSF 与主叫话机之间的连接的过程,SCF 结束业务逻辑。

(6) SCGF 通过 PINT 服务器或直接向 WWW 服务器中的 PINT 客户机返回成功或失败的消息,PINT 会话结束。

(7) 如果主叫应答,则 SCF 命令 SSF 将主被叫接续起来,开始通话,否则结束业务逻辑。

以上流程的第(1)步和第(2)步有一个替代方案,即由图 1 的用户设备域中的 PINT 客户机通过若干个 PINT 服务器或者直接与 SCGF 中的 PINT 客户机建立一个 PINT 会话,将主被叫号码发送给 SCGF。

3.3 各接口原有的原子协议功能

按照 ITU-T 建议,INAP 操作可分为 4 种类型,第 1 类要求响应方返回操作执行结果或者错误,第 2 类只要求响应方返回操作执行错误,第 3 类只要求响应方返回操作执行结果,第 4 类则不要求响应方返回任何消息(结果或差错)。由于 ITU-T 并没有对 IN 与 Internet 互通模型形成正式建议,只有那些 CS-2 中 SCF 与 SSF 之间的 INAP 操作^[8]可以沿用到这个接口中来,因此,IF3 接口包括如下一些 INAP 操作及其对应的原子协议功能,如表 1 所示。

表 1 IF3 的原子协议功能

原子协议功能	INAP 操作	操作类型
业务初始化	InitialDP	2
计费请求	ApplyCharging	2
计费报告	ApplyChargingReport	2
连接	Connect	2
请求报告 BCSM 事件	RequestReportBCSMEvent	2
BCSM 事件报告	EventReportBCSM	4
释放呼叫	ReleaseCall	4
其它原子协议功能	其它 CS-2 SCF-SSF 之间的 INAP 操作	1, 2, 3, 4

接口 IF1 有如下一些请求消息: INVITE; ACK; BYE; CANCEL ; REGISTER ; OPTIONS ; SUBSCRIBE ; UNSUBSCRIBE; NOTIFY 等。接口 IF1 的响应消息有 6 种, 在此不再赘述。PINT 事务^[7]与 INAP 操作类似, 它把业务控制信令的交互过程分隔为一个个相对独立的有一定功能的部分。PINT 协议^[7]目前提供的原子协议功能如表 2 所示。

3.4 原子协议功能的公共子集

上一节根据 INAP 协议的操作或 PINT 协议的事务中得出了两个接口的原子协议功能。由于 CTD 业务用不到表 1 所列的任何一个原子协议功能, 从语义上判断, 表 1 和表 2 的公共子集为空集 ϕ 。

3.5 判断公共子集是否满足应用需求

既然公共子集为空集, 属于硬性不匹配^[1, 2], 显然不能满足本文讨论的应用需求。因此, 下面将进行大量的协议补充^[1, 2]。

3.6 协议补充

就 CTD 业务而言, 表 2 所列的接口 IF1 的原子协议功能只有“会话建立_成功”, “会话建立_失败”和“会话释放”

是必需的, 需要在接口 IF3 一侧增加相应的原子协议功能, 如表 3 所示。表 3 中提到的 INAP 操作都是新增的操作。表 3 中的原子协议功能都是 CTD 业务需要使用的, 与表 2 中 CTD 业务用到的 3 个原子协议功能有一个对应关系, 如表 4 所示。

3.7 协议补充后的原子协议功能公共子集

至此, 我们就得到了原子协议功能公共子集, 如表 4 所示。由于我们在进行协议补充时就是以应用需求为基础的, 因此目前的原子协议功能公共子集已能满足应用需求。

3.8 转换方式确定

由于在 SCGF 的协议转换过程中只涉及 INAP 和 PINT 两种协议, 而采用以 OSI(Open System Interconnection)协议为中间协议的间接协议转换在多种协议间互相转换的情况下才具有优势, 因此我们决定采用直接转换。下面我们就可以利用 Petri 网这个数学工具对协议转换进行形式化描述, 并利用它的各种分析技术验证转换模型的各种性质, 达到严格意义上的错误排查和纠正。

表 2 IF1 的原子协议功能

原子协议功能		PINT 事务包含的请求消息
会话建立	成功	INVITE, ACK
	失败	INVITE, ACK
会话释放		BYE
状态查询		SUBSCRIBE, NOTIFY
取消状态查询		UNSUBSCRIBE
用户登记	登记	REGISTER
	去登记	
能力查询		OPTIONS

表 3 IF3 上补充的原子协议功能

原子协议功能		包含的 INAP 操作	操作类型
业务 请求	成功	ServiceRequest	2
		ServiceRequestReport	2
	失败	ServiceRequest	2
		ServiceRequestReport	2
结束业务		EndService	4

表 4 IF1 与 IF3 间的 CTD 业务需要的原子协议功能对应关系

IF1 的原子协议功能		IF3 的原子协议功能	
会话建立	成功	业务请求	成功
	失败		失败
会话释放		结束业务	

4 Petri 网描述

我们采用 Visual Object Net++^[11]来构造协议的 Petri 网模型. 我们从 CTD 业务的业务流程导出 CTD 业务的信令 MSC(Message Sequence Chart)图, 在信令 MSC 图的基础上, 我们就可以得出图 2 的 Petri 网模型. 图 2 由两个子图和 3 个作为这两个子图间耦合点的库所及与这 3 个库所相连的 6 条有向弧组成. 每个变迁的名字前面的“+”表示接收到

PDU(Protocol Data Unit), “-”表示发送相应的 PDU.

子图 2(a)是对 CTD 业务的 IF3 进行建模的情形. 图中右侧上下两个圆角的矩形框内部的变迁及其可能的变迁序列的集合分别代表原子协议功能: 业务请求_成功和结束业务. 子图 2(a)中部的 3 个库所(P3, P6, P9)代表的是 SCF 与 SCGF 之间的外部通道的状态元素. 子图 2(b)是对 CTD 业务的 IF1 进行建模的情形. 图中左侧上下两个圆角的矩形框内部的变迁及其可能的变迁序列的集合分别代表原子协议功能: 会话建立_成功和会话释放. 为了简化, 给 CTD 业务建模时没考虑会话建立_失败的情形. 同理, 子图 2(b)中间一列共 9 个库所(P18~P26)代表 SCGF 与 PINT 服务器之间的外部通道的状态元素. 根据表 4, 我们可以将子图 2(a)和子图 2(b)合并成一个 CTD 业务的 Petri 网协议转换模型, 即图 2. 其中 P10, P11, P12, 3 个库所代表 SCGF 的内部通道的状态元素. 从图 2 的建模过程中, 我们总结出如下的通用 Petri 网模型协议转换耦合原则:

- (1) 用新增库所代表网关内部通道的状态元素^[12]. 如 P10, P11 和 P12.
- (2) 只有具有对应关系的原子协议功能之间才会有通信

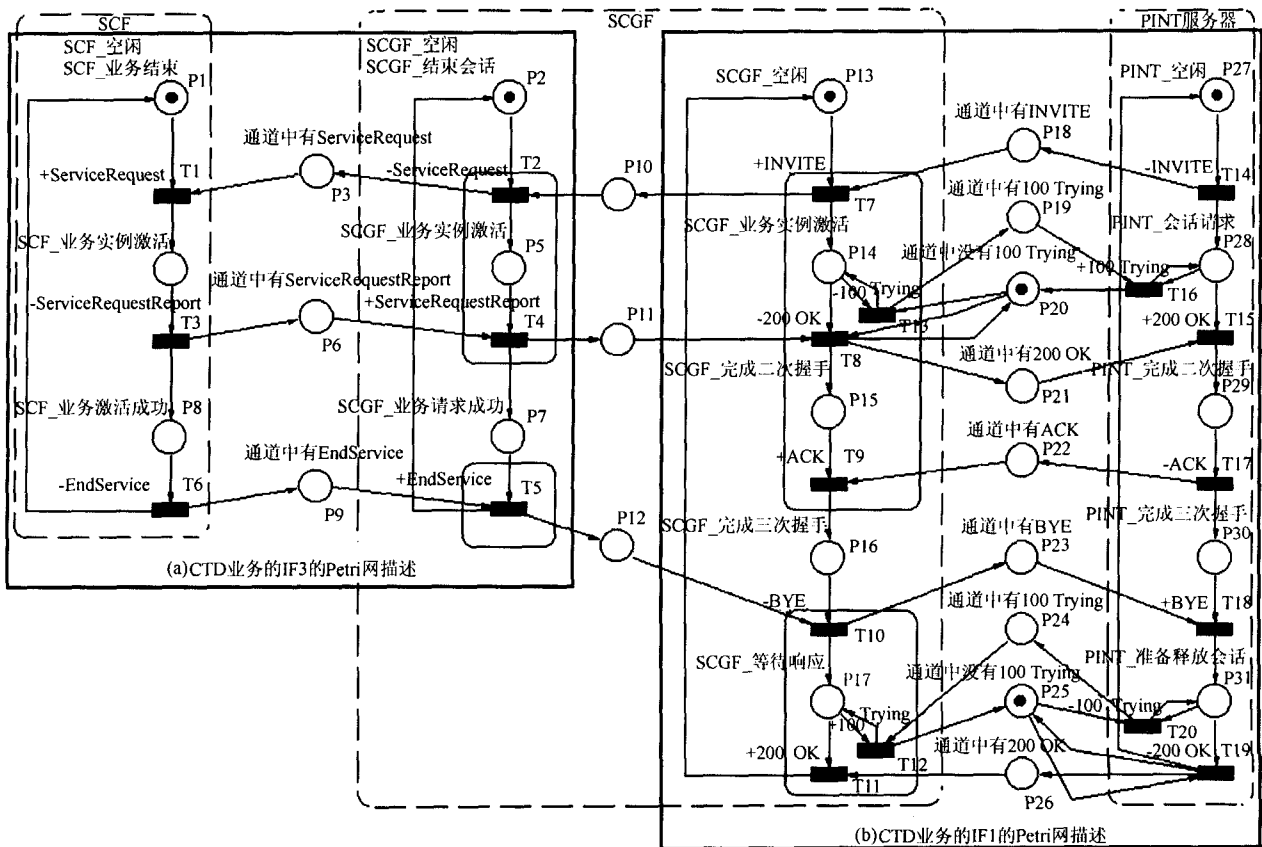


图 2 CTD 业务的 Petri 网协议转换模型

关系。如“业务请求_成功”与“会话建立_成功”,“结束业务”与“会话释放”。

(3) 通信关系通过前集的基数和后集的基数均为 1 的代表内部通道状态元素的库所来传递,这些库所充当耦合点的角色;

(4) 某个原子协议功能的一个变迁的发生可能会导致与之对应的原子协议功能的某个变迁获得发生权,但不是必然的,这要根据业务的要求来决定。如 T7 的发生导致了 T2 获得发生权,但 T9 的发生却不会影响到 T2 或 T4 的发生。

5 转换模型特性分析

我们将与 CTD 业务有关的 Petri 网协议转换模型构造出来仅仅是第一步,更重要的工作是利用 Petri 网对这个模型进行特性分析,保证下一步按照这个模型开发出来的实际系统符合预先的设计要求并且不会有重大缺陷。模型的编辑和仿真工作由 Visual Object Net++来完成,模型的分析则由 PN-tools^[13]来完成。限于篇幅,此处省去了 PN-tools 的输出结果。

从模型的结构属性(即静态属性)的分析结果可知:CTD 业务的协议转换模型是一个简单网,但不是单纯网。从状态机可覆盖这一特点导出这个 Petri 网模型满足有界性。

从模型的行为属性(即动态属性)的分析结果可知:该 Petri 网模型是安全的,即 1-有界的,而且是活的。存在 4 个冲突,即在可达标识 $M_{10}(P_7=P_8=P_{11}=P_{14}=P_{20}=P_{25}=P_{28}=1, \text{其余库所中的 token 数为 } 0)$, 可达标识 $M_{13}(P_1=P_7=P_9=P_{11}=P_{14}=P_{20}=P_{25}=P_{28}=1, \text{其余库所中的 token 数为 } 0)$ 和可达标识 $M_{17}(P_1=P_2=P_{11}=P_{12}=P_{14}=P_{20}=P_{25}=P_{28}=1, \text{其余库所中的 token 数为 } 0)$ 情况下, T8 和 T13 冲突,在可达标识 $M_{32}(P_1=P_2=P_{17}=P_{20}=P_{25}=P_{31}=1, \text{其余库所中的 token 数为 } 0)$ 情况下 T19 和 T20 冲突。在 M_{10} , M_{13} 和 M_{17} 这 3 种可达标识下, SCGF 同时满足向 PINT 服务器发送 PINT 响应 200 OK 和 100 Trying 的条件,而 T8 和 T13 正是分别代表发送 200 OK 和 100 Trying 的变迁。可达标识 M_{32} 代表 PINT 服务器从 SCGF 收到 PINT 请求 BYE 后准备释放会话的状态,此时 PINT 服务器可以向 SCGF 发送 PINT 响应 200 OK 或者 100 Trying,而 T19 和 T20 正是分别代表发送 200 OK 和 100 Trying 的变迁。分析可知,这 4 个冲突都是由于模型对问题进行简化而出现的,其实只要在模型中增加一个 P11 的补库所 p'_{11} ,令 p'_{11} 的初始 token 数为 1,并且将 p'_{11} 作为 T13 的一个伴随库所即可避免前 3

个冲突。如此一来就确保了 SCGF 在满足发送 200 OK 的条件下不会再选择发送 100 Trying。第 4 个冲突也是由于忽略了定时器及 200 OK 响应准备就绪等条件而出现的,如果采用时间 Petri 网并引入禁止弧和静态测试弧。则该冲突就不再存在,在定时器超时时发送 100 Trying,否则发送 200 OK,但此时的模型会比较复杂。该模型中有活锁的存在,但不包含变迁 T13 和 T16 的活锁或者不包含 T12 和 T20 的活锁都是因为模型忽略了定时器和计时器,导致 PINT 临时响应 100 Trying 失去了原来的意义,如果模型考虑了这些细节,则活锁自然消失。其实这一点正体现了 Petri 网在设计系统时的作用,即用 Petri 网检查设计的模型是否有冲突,活锁等不期望的属性,若有则设法避免它,减少了今后实现的系统的错误。由 T12, T13, T16, T20 组成的活锁在协议转换模型中是有意义的,其实就是一个业务实例的完整执行,只不过在这个实例中没有任何 PINT 临时响应的收发过程。该模型具有回归性,没有死变迁,是一个无冲撞系统。

从 S_- 不变量的计算结果可知:输出结果中编号为 2, 3, 8, 9 的 S_- 不变量是 4 个非负 S_- 不变量, 2 号不变量($P_2=P_5=P_7=1$, 其余库所的权为 0)对应 SCGF 中处理 INAP 协议的部分, 3 号不变量($P_1=P_4=P_8=1$, 其余库所的权为 0)对应 SCF, 8 号不变量($P_{19}=P_{20}=1$, 其余库所的权为 0)和 9 号不变量($P_{24}=P_{25}=1$, 其余库所的权为 0)与用于判断通道中是否有 100 Trying 消息的机制对应,符合预先设想。由于计算出来的只是 S_- 不变量的基,由这些 S_- 不变量的线性组合还可构成其它的 S_- 不变量。

从 T_- 不变量的计算结果可知:一共有 3 个非负 T_- 不变量。1 号不变量($T_{13}=T_{16}=1$, 其余变迁的权为 0)和 2 号不变量($T_{12}=T_{20}=1$, 其余变迁的权为 0)代表了 PINT 临时响应的收发。号不变量($T_{12}=T_{13}=T_{16}=T_{20}=0$, 其余变迁的权为 1)代表了一次没有 PINT 临时响应的 CTD 业务实例的完整执行。这 3 个 T_- 不变量覆盖了该模型的所有变迁,从结构上保证了模型的回归性。

对两个 S_- 向量进行测试,以检验这两个 S_- 向量是否是 S_- 不变量。1 号 S_- 向量($P_{27}=P_{28}=P_{29}=P_{30}=P_{31}=1$, 其余库所的权为 0)代表 PINT 服务器, 2 号 S_- 向量($P_{13}=P_{14}=P_{15}=P_{16}=P_{17}=1$, 其余库所的权为 0)代表 SCGF 中处理 PINT 协议的部分。测试结果表明,这两个 S_- 向量都是 S_- 不变量,符合设计要求。

由以上分析可知,图 2 所示的 CTD 业务的 Petri 网协议转换模型存在一些问题,但都被检查发现并得到了深入的原

因分析,同时提出了相应的解决方案。纠错后的模型将是进一步系统开发的基础。

6 结束语

我们按照协议转换方法学的步骤,从系统结构需求分析开始,到应用需求分析,再到原子协议功能,原子协议功能公共子集,最后到协议补充,对 IIN 模型中的 SCGF 进行了一系列连贯的系统化步骤。在此过程中,总结出 INAP 协议和 PINT 协议的原子协议功能,建立它们之间的对应关系。着,将 Petri 网用于描述 SCGF 中的 INAP 协议与 PINT 协议的转换,在用 Petri 网对 CTD 业务的建模实践中提炼出一般化方法,得出通用的 Petri 网模型协议转换耦合原则,进一步丰富了协议转换方法学的内容。

SCGF 应用层协议转换的例子一方面是协议转换方法学与 Petri 网理论结合解决问题的初始目的,另一方面我们根据这种新方法开发的 SCGF,也是这种新方法正确性和可用性的有力证明。这种新方法还可以进一步推广使用,如在 NGN(Next Generation Network)网络领域,软交换是一个支持多协议的实体,需要支持 ISUP(ISDN User Part),BICC(Bearer Independent Call Control),SIP(Session Initiation Protocol),SIP-T(SIP for Telephones),H.323,H.248,MGCP(Media Gateway Control Protocol)等种类繁多的协议,并且这些协议间有很多相互转换,相互协作,相互配合的需求,情况比 SCGF 还复杂。情况越复杂,新的方法的作用也将越突出。

参 考 文 献

- [1] Green Jr P E. Protocol conversion [J]. Network Interconnection and Protocol Conversion, Selected Reprint Series. New York: IEEE Press, 1988: 2-13. (see also: *IEEE Trans. on Commun.*, 1986, COM-34 (3): 257-268).
- [2] Green Jr P E. introduction to protocol conversion [A]. Proc. of Pacific Computer Communications Symposium'85 [C], Seoul, 1985: 57-62.
- [3] 袁崇义. Petri 网原理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998, 第 1-4 章.
- [4] R·大卫, H·奥兰著. 黄建文, 赵不贻译. 佩特利网和逻辑控制器图形表示工具(GRAFCET) [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [5] Zhu Xiaomin, Liao Jianxin, Chen Junliang. IIN model: Modifications and case study [J]. *Computer Networks*, 2001, 35(5): 507-519.
- [6] Pan Li, Gu Shangjie, Zhu Hongwen. A formal model of OSI X.25/FR gateway based on high level Petri net [J]. *High Technology Letters*, 2001, 7(3): 33-36.
- [7] Petrack S, Conroy L. The PINT service protocol: Extensions to SIP and SDP for IP access to telephone call services [S]. RFC2848, IETF, June 2000.
- [8] Intelligent network CS-2 [S], Q.122x series, ITU-T, 1997.
- [9] Cerf V G, Kirstein P T. Issues in packet-network interconnection [J]. Network Interconnection and Protocol Conversion, Selected Reprint Series. New York: IEEE Press, 1988: 25-47. see also: *Proc. IEEE*, 1978, 66(11): 1386-1408.
- [10] 曾家智, 吴凌威, 易勇. 网络互连技术辨析 [J]. 计算机应用, 1998, 18(8): 4-5.
- [11] Visual Object Net++ Homepage [DB/OL], http://www.systemtec-hnik.tu-ilmenau.de/~drath/visual_E.htm, Jun. 2003.
- [12] 黄晨炜, 沈金龙. Petri 网在帧中继与 X.25 协议转换中的应用 [J]. 南京邮电学院学报, 1997, 17(4): 8-13.
- [13] Zbigniew Suraj. PN-tools: Environment for the design and analysis of Petri nets [J]. *Control and Cybernetics, Systems Research Institute of the Polish Academy of Sciences*, 1995, 24(2): 199-222.

朱晓民: 男, 1974 年生, 博士, 讲师, 研究方向为智能网、下一代业务网络、协议工程. 已在国内外学术期刊及会议上发表论文 60 余篇.

廖建新: 男, 1965 年生, 教授, 主要研究方向是智能网、下一代网络、3G 移动通信.

王 鹏: 男, 1972 年生, 工程师, 主要研究方向为网络管理系统集成、下一代网络.

王剑斌: 男, 1973 年生, 工程师, 主要研究方向为 IP 网络.