

# PPP 一致性测试研究

胡 宇, 吴建平, 赵邑新

(清华大学计算机科学与技术系网络实验室, 北京 100084)

**摘要:** PPP协议(Point to Point Protocol)作为目前Internet上所广泛采用协议,它在单机入网和路由器之间互连具有非常重要的作用.在这样的背景下,就需要一种手段来检验和保证各种互连设备中的PPP模块实现的正确性.本文在扼要地介绍PPP协议的基础上,分析了PPP的测试组织、测试方法和测试集的设计,提出了适合于PPP一致性测试的测试结构,并对实际的路由器进行了PPP一致性测试.

**关键词:** PPP协议; 一致性测试; 树表结合表示方法(TTCN)

**中图分类号:** TP393      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112(2002)08-1242-04

## PPP Conformance Testing Research

HU Yu, WU Jiar ping, ZHAO Yr xin

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** As a widely used protocol on the current internet, Point to Point Protocol(PPP) is very important to the computer's connection with the network and interconnection between routers. In this background, a method is needed to test and guarantee the rightness of the PPP modules in the interconnecting devices. Based on the brief introduction of PPP, this paper analyzes the test organization, test method and the design of test suite on PPP. It proposes the test structure suitable for the PPP conformance testing. Furthermore, it does the PPP conformance testing on the real router.

**Key words:** PPP Protocol; Conformance Testing; Tree and Tabular Combined Notation(TTCN)

## 1 引言

TCP/IP协议族的Internet已经成为全球信息发展和交流的基础构架.因此,TCP/IP产品的可靠性对于未来信息高速公路的发展至关重要.为了准确地发现协议实现中的错误,对其进行一致性测试是非常必要的;一致性测试是协议测试的三个层次中最基本的,是互操作性测试和性能测试的基础.

PPP协议(Point to Point Protocol)作为目前Internet上所广泛采用的协议,它在单机入网和路由器之间互连具有非常重要的作用.PPP协议支持多协议传输机制,在PPP连接上既可运行TCP/IP,也可运行IPX等其他多种通信协议;PPP的灵活的配置协商,使PPP协议具有了广泛的适应性;PPP的动态地址协商机制和认证机制,为客户提供了大规模拨号上网的解决方案.在这样的背景下,就需要一种手段来检验和保证各种互连设备中的PPP模块实现的正确性.基于此目的,我们依托于本实验室所开发出来的一套协议集成系统——PIIS(Protocol Integrated Testing System),对PPP协议进行了一致性测试研究.

本文将首先介绍PPP协议的主要内容,然后介绍协议的测试组织和测试实现,最后介绍相关的测试情况.

## 2 PPP协议简介

PPP协议提供了一种在点到点链路上传输多协议数据报的标准方法.它由三个主要部分组成:

- (1)封装多协议数据报的方法;
- (2)用于建立、配置以及检测数据链路连接的链路控制协议(Link Control Protocol,简称LCP);
- (3)一族用于建立和配置不同网络协议的网络控制协议(Network Control Protocol,简称NCP).目前普遍使用的是IP的NCP协议(IP Control Protocol,简称IPCP).

PPP是一个有严格状态变迁的协议(见图1),它的建链过程主要包括三个阶段:链路层协商阶段(LCP),认证阶段(Authenticate Protocol,简称AP),网络层协商阶段(NCP).

PPP是自成体系的一个协议族,它的主协议是RFC1661<sup>[1]</sup>,其中描述了PPP协议中LCP阶段的主要行为和状态变迁,AP阶段的行为由RFC1334<sup>[2]</sup>和RFC1994<sup>[3]</sup>协议描述,包括PAP和CHAP两种认证方式.NCP阶段由一系列的网络传输控制协议分别描述,包括IPCP(RFC1332<sup>[4]</sup>),IPXCP(RFC1552)等.此外,还有提高传输效率的一系列压缩协议(RFC1967等),充分利用多链路同时传输数据的多链路协议

(Multilink PPP, RFC1990<sup>[5]</sup>), 链路中的 QoS 控制——LQM( Link Quality Monitoring, RFC1989<sup>[6]</sup>) 等等。

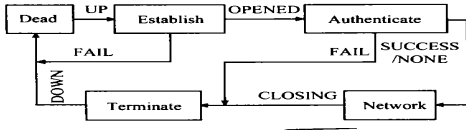


图 1 PPP 的阶段图

PPP 数据帧的格式如下:

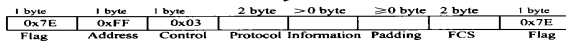


图 1 PPP 的阶段图

PPP 数据帧的格式如下:

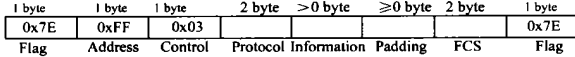


图 2 PPP 数据帧格式

在建链协商阶段, 两端 PPP 实体发出的数据包中携带的主要是各种 AVP (Attribute Value Pair), 来完成上层协议数据传输中所需要的各种参数的配置协商; 如果协商顺利完成, 上层协议的数据包即可封装在 PPP 中进行传输, 传输完毕后断开连接. 这即是 PPP 协议传输的一般过程。

### 3 测试组织

一致性测试<sup>[7]</sup>起源于软件测试, 是一种“黑盒测试”, 只关心被测试方的外部行为. 对于协议的一致性测试, 首先需要选择测试方法, 确定测试结构; 然后严格按照协议标准进行测试集的设计; 最后是在测试系统中实现该协议的一致性测试. 由于我们的一致性测试是基于本实验室所开发的协议集成测试系统 PITS (Protocol Integrated Testing System) 所进行的, 下面首先对 PITS 系统的结构作一个简要的介绍。

#### 3.1 PITS 系统简介

我们的协议集成测试系统 PITS<sup>[8]</sup>提供了协议测试的通用平台, 测试集生成、测试组织和管理、测试执行、测试判决都在这个平台上完成. 在不同协议的测试中, 只需要编写相应协议的测试集, 设计相应的参考实现 (即测试通道), 就可以完成测试活动。

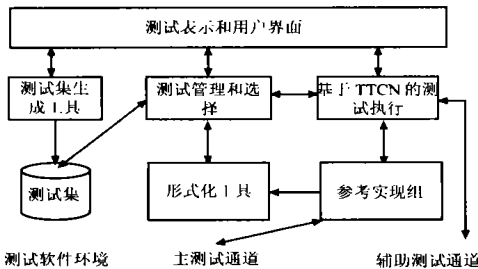


图 3 协议集系统 PITS 总体结构

#### 3.2 测试方法

抽象测试方法 ATM (Abstract Test Method) 中定义了下测试器, 上测试器, 测试协调过程, 以及它们与被测系统 IUT 的关系. 抽象测试方法描述了测试结构, 根据协议内容确定测试方法的同时, 也就得到了测试结构. 目前基本的测试方法有四种: 本地测试法、远程法、分布式测试法和协调测试法. 后三种

测试方法由于与被测试系统不在同一台机器上, 所以又统称为外部测试方法。

在本测试中, 由于被测试的 PPP 模块位于路由器中, 无法对它从上层进行控制, 只能考虑采用远程测试法. 不过因为 PPP 自成体系, 只需要通过底层数据包交互就可以对 PPP 实体的状态进行控制, 所以采用远程测试法基本不会受到测试范围的限制. 测试结构图如图 4 所示。

在测试中, Tester 与 IUT 之间通过下层协议的支持进行交互, 测试判决通过观察点 SAP 给出。

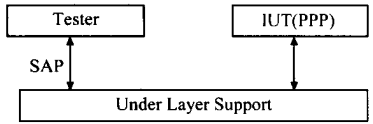


图 4 PPP 一致性测试结构

#### 3.3 测试集设计

##### 3.3.1 测试集表示方法

在本测试中, 采用了 ISO/OSI 9646 3<sup>[9]</sup> 中定义的树表结合表示方法 (Tree and Tabular Combined Notation, 简称 TTCN) 来描述测试集。

TTCN 是 ISO 和 CCITT 推荐的一种用来描述抽象测试集的形式化方法. 该方法不依赖于被测实现和协议, 具有很好的通用性. TTCN 提供了两种不同的格式: GR 格式和 MP 格式. TTCN.GR 是一种图形化的格式, 它用一组表格来表示抽象测试集, 所以适合人阅读. TTCN.MP 是机读格式, 它用特定的 TTCN.MP 关键字来区分对抽象测试例不同部分的描述. 这种格式适合在不同的机器之间传递 TTCN 的描述, 同时也适于作为其他自动处理过程的输入. 这两种格式是完全等价的, 并且可以互相推导。

TTCN 结构的层次为测试集 (test suite)、测试组 (test group)、测试例 (test case) 和测试事件 (test event), 其中测试例是最重要的层次, 它由一系列测试事件组成, 具有具体的测试目的, 可以单独运行并得到一个测试结果 (PASS、FAIL 或者 INCONCLUSIVE)。

##### 3.3.2 测试集结构

我们的测试范围覆盖了 PPP 协议中的 LCP, AP, NCP 三个阶段, 其中 AP 包括 PAP 和 CHAP, NCP 部分主要是对 IPCP 的测试. 此外, 还包括了 Multilink 部分和 LQM 部分的测试, 覆盖了 PPP 协议族中的大部分协议. 测试集主要包括以下几个测试组:

(1) LCP 功能测试组 本组测试例测试 PPP 模块中的 LCP 建链过程, 这是 PPP 模块中最基本也最重要的部分. 本组测试例覆盖了 RFC1661 中的状态变迁表, 全面测试了 IUT 的建立连接, 协商选项的能力. 本组测试例共计 96 个, 覆盖了状态变迁表中的 8 个状态 (Closed, Stopped, Closing, Stopping, Req Sent, Ack Rcvd, Ack Sent, Opened) 的几乎所有变迁. Initial 和 Starting 除外, 因为它们仅存在于线路断开时, 对外部测试来说不可观察。

(2) AP 功能测试组 AP 阶段 (Authenticate Phase) 在 PPP 中是可选阶段, 需要时, 它通过 LCP 中的选项进行协商. 在这一测试组中, 我们对常用的两种 PPP 认证方式 PAP 和 CHAP 进行了测试. 本组测试例基于 RFC1334 和 RFC1994. 本组测试

例共计 24 个。

(3) NCP 功能测试组 这一组选择了最常用的 NCP—IPCP 来进行测试。对 IPCP 中的选项以及建链过程进行了比较完备的测试。本组测试例基于 RFC1332。本组测试例共计 20 个。

(4) Multilink 功能测试组 这一组测试的是 PPP 中的高级功能——多链路 PPP。在有些时候,为了充分利用已有的多条物理线路(譬如说 ISDN 中的多个信道)来加快数据传输过程,就需要采用 Multilink PPP,在多条物理链路上同时传输数据。本组测试例基于 RFC1990,目前测试例仅基于链路数目为 1 的情况进行测试。本组测试例共计 24 个。

(5) LQM 功能测试组 这一组测试的是 PPP 中的 QoS 功能。PPP 中采用 LQR(Link Quality Report)来报告链路传输质量,两端的 PPP 实体则可根据链路情况来作出相应决策(例如,当链路状况太差时关闭本条链路)。本组测试例基于 RFC1989。本组测试例共计 15 个。

## 4 测试实现

### 4.1 参考实现设计

在测试过程中,需要与对方的 PPP 模块进行互通,这就需要寻找相关的接口。由于 PPP 是数据链路层协议,所以需要物理层一级的接口来进行传输。在本地将 PPP 帧封装后发送出去,在路由器端再将其解开。鉴于我们的主测试仪是 Sun SPAC 工作站,操作系统为 Solaris,现阶段我们的解决方案是将工作站的串口与路由器的 AUX 口(auxiliary port, 等同于异步串口)进行异步互联,如图 5 所示。

我们的参考实现直接操作工作站的串口,从测试系统接收指令,通过系统调用 `ioctl`, `read`, `write`<sup>[10]</sup> 等完成读包发包动作。工作站的串口通过一个转换头与路由器的 AUX 口相连接,测试之前需要对路由器 AUX 口进行 PPP 的相关配置,以保证互通。

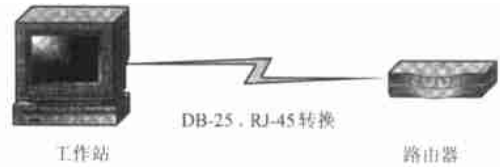


图 5 测试连线

### 4.2 测试例举例

下面是 LCP 中关于 OPENED 状态的一个测试例,以它为例说明测试例的编写。该测试例所测试的是 RFC1661 中 LCP 状态变迁表中 OPENED(状态 9) 状态在事件 RTA(Receive Terminate Ack, 接收到连接终止请求确认)发生时所采取的动作(`tld,scr/6`),即发送 `configure request` 包,并回到初始状态 Req Sent(状态 6)。在接收被测系统 IUT 的数据包时,为了防止无休止的等待,在本地启动一个时钟 CONF\_TIMER,通过该时钟来限制等待时间。如果时钟超时仍未收到包,或收到的包错误,均认为 IUT 行为有误,给出 FAIL 判决;反之,如果 IUT 能完成所有指定动作,则给出 PASS 判决。

表 1

Behaviour	Description	Lable Constraint Reference	Verdict	Comment
+ TR9				
T! TERM_REQ		L_TERM_ACK		
	START CONF_TIMER			
T? CONF_TYPE		R_CONF_REQ	PASS	
T? OTHERWISE			FAIL	
? TIMEOUT CONF_TIMER			FAIL	

表 1 测试例中,TR9 是一个前导测试步(Preamble),其目的是为了把 IUT 从初始状态(Req Sent)引导到被测状态(Opened, 状态 9),它的内容如表 2:

表 2

Behaviour	Description	Lable	Constraint Reference	Verdict	Comment
	START CONF_TIMER				
T? CONF_TYPE(ID:=CONF_TYPE.ID,AC)			R_CONF_REQ		
CM:=CONF_TYPE.ACCM,MAGIC:=CONF_TYPE.MAGIC					
T! CONF_TYPE(CONF_TYPE.ID:=ID,C)			R_CONF_ACK		
CONF_TYPE.ACCM:=ACCM,CONF_TYPE.MAGIC:=MAGIC					
T! CONF_TYPE			L_CONF_REQ		
START CONF_TIMER					
T? CONF_TYPE			L_CONF_ACK		
T? OTHERWISE				FAIL	
? TIMEOUT CONF_TIMER				FAIL	
T? OTHERWISE				FAIL	
? TIMEOUT CONF_TIMER				FAIL	

由于测试完成后,IUT 已经返回到初始状态,所以本测试例不需要后导测试步(Postamble)。

### 4.3 实际测试结构

实际测试结构如图 6 所示:

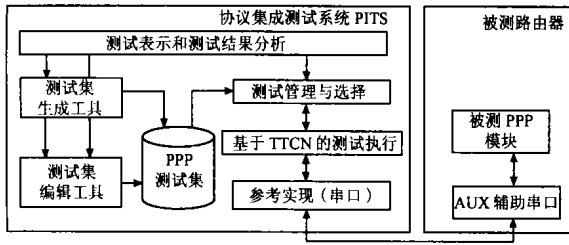


图 6 实际测试结构图

#### 4.4 测试情况

我们选用了某国外著名路由器作为被测对象, 测试结果如下所示:

表 3

测试组	LCP	AP	NCP	Multilink	LQM
采用测试例数目	78	24	20	24	15
通过测试例数目	56	24	20	22	14
合格率	71.8%	100%	100%	91.7%	93.3%

##### 测试情况分析:

在测试例的覆盖率方面, 我们的 LCP 测试组覆盖了所有的状态变迁, AP 测试组也包括了 PAP 和 CHAP 的全部认证行为, NCP 部分测试了 IPCP 部分的全部 option(已废除的 IP-Addresses 选项除外)。不过由于物理设备的限制和系统对并发性的支持不足, 我们的 Multilink 测试组仅测试了  $n=1$  的情况; 在 LQM 部分, 由于 RFC 仅规定了对链路质量计数的 mechanism 部分, 而对决策的 policy 部分未作要求, 所以也只对其中的帧格式和相关参数的协商进行了测试。

在 LCP 部分测试时, 由于不存在可单独作用于其中 PPP 模块、触发其 OPEN/ CLOSE 事件的相关配置命令, 导致 CLOSED/ CLOSING 两个状态不可测, 因此所选用的测试例不包含这两个状态的测试例。

由测试结果可见, 路由器在 LCP 阶段 FAIL 的测试例较多。经研究发现, 路由器的实现并不是严格按照 RFC1661, 它对状态变迁进行了特殊的处理。该路由器中的模块不存在稳定的 STOPPING/ STOPPED 状态, 一旦遇到结束连接的数据包, 它总是很快从结束的过渡状态迅速转换为初始状态(即是在该路由器中, 没有稳定的结束状态存在), 并且对于一些重要的 reject 包(譬如说对于 LCP 的 Protocol Reject)并不做相应的状态变迁。这一特点导致了与 STOPPING/ STOPPED 状态以及需要通过发送 reject 包来完成状态变迁的相关测试例全部 FAIL。这尽管与协议不符, 但不会影响它的正常行为。

在测试 Multilink 和 LQM 时, 尽管通过的测试例很多, 但是我们发现, 测试系统发送的某种特殊选项顺序的数据包将导致该路由器的重新启动, 显然这就是一个比较严重的错误了。

## 5 总结

在本文中, 介绍了 PPP 一致性测试方法的实现。针对路由器中 PPP 模块的测试需求, 开发了基于 TTCN 格式的 PPP 一致性测试集, 对路由器中的 PPP 模块进行了比较完备的测试, 对 PPP 模块错误定位和修正起到了重要作用。我们将继续努力扩大 PPP 一致性测试的覆盖范围, 对更多的网络互连设备提供一致性测试服务。

### 参考文献:

- [1] W Simpson. The Point to Point Protocol(PPP) [S]. RFC1661, 1994.
- [2] B Lloyd. PPP Authentication Protocols [S]. RFC1334, 1992.
- [3] W Simpson. PPP Challenge Handshake Authentication Protocol (CHAP) [S]. RFC1994, 1996.
- [4] G McGregor. The PPP Internet Protocol Control Protocol (IPCP) [S]. RFC1332, 1992.
- [5] K Sklower. The PPP Multilink Protocol (MP) [S]. RFC1990, 1996.
- [6] W Simpson. PPP Link Quality Monitoring [S]. RFC1989, 1996.
- [7] 吴建平. 形式化的协议一致性测试研究 [D]. 北京: 清华大学, 1996.
- [8] 吴建平, 等. 基于形式化技术的协议集成测试系统——PIFS [J]. 清华大学学报, 1998, 38(S1): 26-29.
- [9] ISO. Information Technology; Open System Interconnection; Conformance Testing Methodology and Framework. ISO-9646 Part 3-The Tree and Tabular Combined Notation [S]. ISO, 1996.
- [10] 朱三元, 等. 网络通信软件设计指南 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.

### 作者简介:



胡宇男, 1977年12月生于四川省名山, 硕士研究生, 主要研究领域为计算机网络体系结构, 网络协议测试。Email: huyu@csnet1.cs.tsinghua.edu.cn.

吴建平 男, 1953年10月生于山西省太原市, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为计算机网络体系结构, 网络协议测试。