

文章编号:1001-9081(2007)01-0027-03

## 基于 MSTP 协议的一致性测试设计

何 强,张祖平

(中南大学 信息科学与工程学院,湖南 长沙 410083)

(mailheqiang@gmail.com; zpzhang@mail.csu.edu.cn)

**摘 要:** MSTP 协议是针对 STP 收敛速度慢, RSTP 不能进行基于 802.1Q 的流量分担等情况下提出的一种新的多域生成树协议。在扼要介绍此协议的实现原理的基础上,设计了针对此协议一致性的测试方法和测试组织,并应用于交换机的实际测试中,同时,给出了具体的测试实例,并对测试结果进行了分析。

**关键词:** 多生成树协议;一致性测试;性能分析仪

**中图分类号:** TP393.06 **文献标识码:** A

## Design of conformance testing based on MSTP protocol

HE Qiang, ZHANG Zu-ping

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

**Abstract:** Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP) was designed to solve the problem of the slow astringency speed in Spanning Tree Protocol (STP) and no 802.1Q VLAN sharing in Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP). This paper introduced the implementation technology of MSTP and discussed the design of the test method and test organization. A test instance and test result were also analyzed.

**Key words:** MSTP (Multiple Spanning Tree Protocol); conformance testing; performance analysis system

### 0 引言

交换机、路由器等网络设备在网络的构造中已经被广泛使用。为了冗余备份功能的实现,交换机之间往往要形成环路,而随之引入的问题是广播风暴。802.1D 协议规定的 STP 协议,能够有效阻止网络风暴的产生,但是 STP 存在收敛速度慢的缺点,而且网络之中任意一节点发生变动,STP 将重新进行计算,导致网络动荡,严重降低网络性能。随后推出的 802.1W RSTP 协议很好地解决了网络收敛速度慢的问题。但是 RSTP 没有充分考虑到基于 802.1Q 的 VLAN 的情况,不能实现基于 VLAN 的流量均衡和冗余备份。基于这种情况,再后推出的 802.1S MSTP 协议不仅继承了 RSTP 协议的所有优点,而且在基于 VLAN 的流量分担,冗余备份方面有了很大的改进。

一致性测试就是验证协议实现 IUT (Implementation Under Test) 是否与相应的协议标准相一致。被测系统是一个完全的黑盒子,测试者只能根据被测系统对输入的响应来分析判断其一致性程度。协议只有保证它的实现与标准的一致,才能进行下一步的互操作性测试和性能测试。文献[1] ISO/IEC 9646 为协议的一致性测试提供了基本方法和框架,为测试集制定了设计步骤和描述方法,并为测试系统的实现提供了指导,但是针对每个不同的网络协议,我们需要根据此协议的特点来设计不同的测试方法。

在一致性测试研究中,主要解决两个问题:

测试组织:即测试方法的研究与测试系统的建立;

测试集:即如何从理论和方法上研究并产生高质量的测试集。

协议一致性测试系统是实现协议一致性测试的基础,一

个好的测试系统可以极大地简化测试序列的设计,使得测试能方便、自动、高效地进行。本文研究的就是测试方法设计和测试组织问题,即测试系统的建立。

### 1 MSTP 协议特点

MSTP 协议和 STP, RSTP 一样,通过桥(桥就是支持 MSTP 协议的交换机和路由器)之间交互 BPDU (Bridge Protocol Data Unit) 报文将实际网络中的图状拓扑结构协商计算成树状结构,确保任何一点到每个目的地只有一条路径,达到解除逻辑环路,抑制广播风暴,提供链路之间的冗余备份的作用。MSTP 协议同时支持基于 802.1Q 的 VLAN 之间流量的分担和不同域 (Region) 之间数据的隔离。

MSTP 可以把多个 VLAN 映射到一个 Spanning Tree 的实例 (MSTI) 中<sup>[3]</sup>,并且使这些 VLAN 形成简单的,无回路的连接。相比与 Cisco 提出的私有的 PVST (Per VLAN Spanning Tree) 协议,这样设计的好处是可以减少 Spanning tree 实例的个数,尤其是在 VLAN 特别多的时候,能够极大地减少 BPDU 报文的数量,并且节约 CPU 占用率<sup>[3]</sup>。在域内,可以把多个 VLAN 映射到一个 MSTI 实例上。使用多个 MSTI,合理地选择每个 MSTI 的根,就可以在域内达到负载均衡的目的。

在域外, MSTI 相当于 STP CST (Common Spanning Tree) 模式下的一个桥。将 MSTP 使用在主干网上,可以降低 STP 模块的 CPU 占用率,降低 STP 协议传输的带宽,同时能够和 STP, RSTP, MSTP 的桥自适应连接。

### 2 MSTP 协议测试结构和测试环境构造

#### 2.1 测试方法及其原理

在传统的测试方法中,抽象测试方法根据不同控制观察

收稿日期:2006-07-14;修订日期:2006-12-07

作者简介:何强(1982-),男,山西晋中人,硕士研究生,主要研究方向:网络协议测试、自动化测试; 张祖平(1966-),男,湖南湘乡人,教授,博士,主要研究方向:网络理论与优化、大型数据库、参数计算。

点 PCO(Point of Control and Observation)的设置,分别定义了本地测试和外部测试。外部测试又进一步分成分布式、协调式和远程式。在实际测试中,通常使用分布测试法或远程测试法(如图 1(a)与图 1(b))。使用分布测试法,需要 UT(上测试器),对于 MSTP 协议,上层协议即为 IP 层的一些协议,所以可以采用类似于分布测试法的方法。MSTP 协议作为一个二层中维护链路状态的协议,其主要特点是具有分布式系统的特性。在测试中,需要多个 IUT,构造复杂的组网环境。由于 MSTP 协议的主要任务是反映 IUT 本身状态改变对网络拓扑变化的影响,对 MSTP 的测试应作为一个整体来测试,所以,比较理想的方法是模拟真实的应用环境,一方面通过性能分析仪来模拟实际网路环境中的流量,另一方面通过 TCL 脚本来对 IUT 的状态进行不断改变,然后通过观察性能分析仪的结果来验证协议运行的状态。

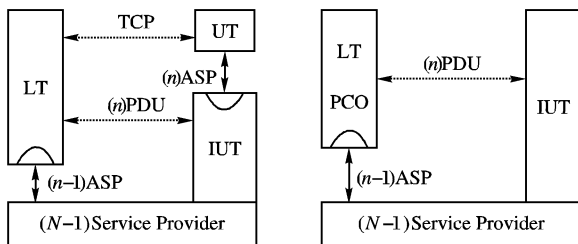


图 1 协议典型测试方法

## 2.2 测试环境的实现

测试环境的实现主要包括测试设备的组织,测试用例的生成,测试执行,测试选择的等几部分。MSTP 协议测试需要三至四台支持 MSTP 协议的设备,同时需要专门的测试仪来进行流量的发送。在这里,我们采用了思博伦公司(Spirent Communications)的 Smartbits 6000 网络性能分析仪,配以专业的测试软件 Smart Application。由于 Smartbits 6000 是采用硬件发报文的原理,因此使用 Smart bits 发出各种流量来可以模拟实际网络中设备运行时遇到的状况。下面分析测试用例生成和测试执行部分。

一个测试用例一般和协议的一个功能点相关。在 MSTP 协议的测试用例设计中,首先要分析出 MSTP 协议的功能点,然后对每个功能点编写测试例。一个测试用例由前测试步、测试体、后测试步组成。每个测试步都是由一组有序的测试步和测试事件组成的,每个测试事件表示发送或接收一个帧或一个消息。前测试步把 IUT 置到测试体所需的初始测试状态,在该协议的测试中,前测试步是通过串口或者 Telnet 连接到 IUT,完成发送配置命令。测试体是在一个测试组中,为达到测试目的所必需的一组测试步骤,在该测试中测试体是完成对 IUT 配置。一个测试判定用通过(Pass)、失败(Fail),或无结论(Inconclusive)指出所测试的功能点的实现情况。后测试步是把 IUT 从结束状态置回到一个稳定的空闲状态,该测试系统中后测试步通过配置命令恢复 IUT 到初始状态。在执行测试例的过程中,测试体通过 PCO 对 IUT 的输入和输出进行控制和观察,并分析得到的输出是否与测试例预先规定的输出相一致,从而得到测试结论。根据所有测试用例的执行结果,得出有关被测系统是否具有一致性的结论。

MSTP 协议的一致性测试主要判断此协议状态机的变迁和 IUT 端口状态变化是否按照期望的形式和时间进行变换。在这里,主要的测试用例有:

- (1) 桥选举转换测试:测试在不同的域或者相同的域共存时,对 MSTI 中, CIST, IST 等根桥的选举和转换是否正常。
- (2) MSTP 协议参数设置:验证 MSTP 协议中各种时间参

数是否按照默认值进行运算,并且针对改变能否做出响应。

(3) 端口状态转换测试:测试在各个实例中的端口能否在规定的时间内根据网络拓扑的转变来进行端口角色的变化,同时在其他实例中此端口的状态不受影响。

(4) MSTP 域之内各个实例之间流量分担:在一个 MSTP 域中的不同实例之间需要进行流量分担和负载均衡的验证。

(5) MSTP 协议的后向兼容性:在 MSTP、STP、RSTP 协议共存的环境中, MSTP 协议中的 IUT 能否进行正常的桥选举和端口状态切换。

按照以上分析,我们一共设计了 80 个测试用例,在某种交换机上的测试结果如表 1 所示。

表 1 在某种交换机上的测试结果

测试类型	测试用例数目	通过的测试用例	未通过的测试用例
MSTP 基本功能测试	7	7	0
MSTP 协议参数测试	8	8	0
桥、端口状态选举测试(单个 MST 域)	15	15	0
MSTP 与 RSTP, STP 多域兼容性测试	33	28	5
MSTP 协议域内流量分担测试	17	14	3

## 2.3 一个测试用例的实现

下面以一个 MSTP 域之内各个实例流量分担的测试用例来说明测试的执行过程。测试拓扑如图 2。

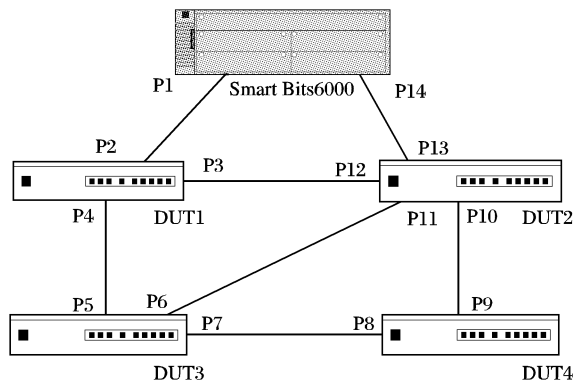


图 2 验证同一域内流量分担网络拓扑

测试过程为:

(1) 向 IUT 发送命令,启动 MSTP 协议,并且使得 IUT 和其他三个交换机处于同一个域中;

(2) 在域中创建两个实例,使得实例 1 的通路为: P1 -> P2 -> P3 -> P12 -> P13 -> P14, 实例 2 的通路为: P1 -> P2 -> P4 -> P5 -> P7 -> P8 -> P9 -> P10 -> P13 -> P14, 并且使各个交换机的这些端口都属于两个实例映射的 VLAN 中;

(3) 对实例 1 的流打一个标签值,这样可以在 P14 接收端区分两个数据流;

(4) 通过 Smart Application 从 SmartBits P1 端口发送数据报文,速度控制在每秒 2000 个。从 P14 端口查看 P1 发来的数据流的接收情况。在正常情况下,我们可以观察到设标签的数据流的值会以每秒 1000 个报文的速度在增长。从这里我们可以证明在 MSTP 域内,在不同实例之间流量是可以进行分担的;

接下来,我们对 IUT 的状态进行改变,然后观察协议状态转换正确性以及性能;

(5) 对 IUT 执行命令,将端口 P3 禁用,这样会使得所有数据流走实例 2 的方向。然后观察 P14 端口流量统计,结果

如图3所示。

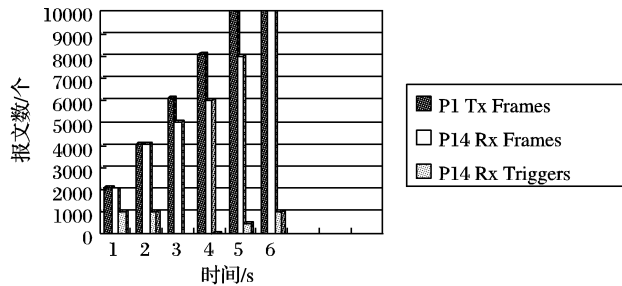


图3 端口收发包统计

从图3中可以看到在0s到2s之内流量总数的增长是带标签数据流的增长的2倍;在3s的时间点,将端口P3禁用,那么在3s到4s时间段,收到的报文的的增长只是发送报文的一半,带标签的报文全部丢失。经过2s左右时间(在5s到6s之间),可以观察到每秒2000个数据报文的的速度可以恢复。在这里,时间稍长于2s(在5s的时候收到带标签的报文只有500个左右),是因为在测试拓扑中,P9端口在实例1中是ALT(替代端口)(Discarding)状态的,此时P9可以接收从其他端口发来的BPDU报文,但是对收到的BPDU报文是不进行学习 and 转发的。当实例1的网络拓扑改变之后,此端口虽然可以在2s之内完成端口状态向Desi(指定端口)(Forwarding)的转换,但是由于转发芯片本身处理存在时延,导致时长稍长于2s。

在测试结果中,设计的80个测试用例中最终通过了72个,通过率90%,表明我们设计的测试用例与协议定义一致性比较高。对于未通过的测试用例,我们也通过分析交换机发出的数据包等方式找到了原因。例如,在MSTP协议域内

流量分担测试部分,当取消某些VLAN对实例映射时出现了实例内根桥选举错误的情况。后来通过获取交换机Debug信息得知,取消某些VLAN映射后BPDU报文能够发出,但是此报文不再上报CPU进行处理。据此可以推断在取消VLAN映射处理部分对交换芯片寄存器的设置部分存在问题。

### 3 结语

在整个MSTP协议一致性测试的过程中,本文采用上述测试方法,并且结合TCL脚本,对此模块的各个功能都进行了比较彻底的验证。实践证明,采用如上的方法,能够很好地对MSTP模块的协议一致性方面进行验证,对模块设计中出现的问题都能够及时发现,对此模块的迅速稳定也起到了很好的作用。进一步的工作将主要集中于利用TCL脚本实现性能和功能方面的自动化测试以及和其他模块的交互性测试等方面。

#### 参考文献:

- [1] ISO. Conformance Testing Methodology and Framework [S]. IS29646. ISO, 1991. CCITT. 290- X. 294.
- [2] HOLZMANN GJ. Design and validation of computer protocols[ M]. PRENTICE2HALL, 1991.
- [3] IEEE 802.1S/D7. Draft supplement to Virtual Bridged Local Area Networks: Multiple Spanning Tree[ S]. IEEE standard for local and metropolitan area networks, 2000.
- [4] 尹霞, 吴建平. 一种路由协议测试框架研究[ J]. 清华大学学报(自然科学版), 2001, 41(1): 81-84.
- [5] 杨晶, 赵保华, 屈玉贵. 基于层次结构的OSPF一致性测试[ J]. 通信学报, 2002, 23(8).
- [6] 张世海. MSTP中的以太环网技术和应用[ J]. 邮电设计技术, 2004, (1): 24-27.

(上接第26页)

示,由图4可知,有2个任务错过了任务启动时间,即任务错过率为16.7%。

#### 2) 反馈任务运行测试

将任务通过闭环反馈调度器进行调度并执行,测试结果如图5所示,由图5可知,所有任务都在任务截止期内完成,任务错过率为0。

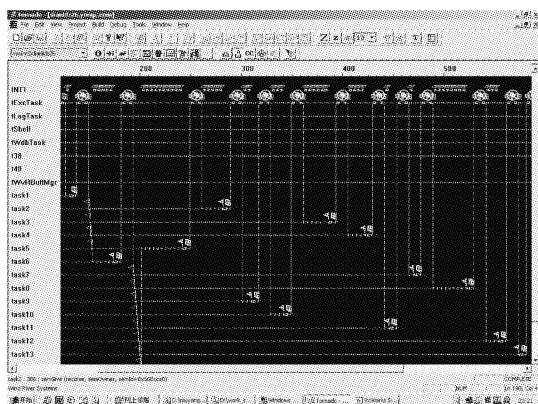


图5 有反馈任务运行测试

### 4 结语

针对目前列车网络检测与控制节点封闭、专用这一现状,在分析列车网络检测与控制节点功能及性能需求的基础上,在节点硬件设计时:①采用模块化设计,即电源板模块、处理器板模块、网络通信板模块、通用数字量I/O板模块、通用模拟量I/O板模块等。②采用国际标准,采用国际列车总线标

准MVB作为网络通信的总线。③采用标准嵌入式计算机,为节点单元的通用性与智能化提供处理核心。在软件设计时采用软件闭环反馈检测与控制方法进行了节点的软件设计,从而实现了列车网络节点检测与控制的通用性、智能化和单元化。此研究成果不仅可以节约列车网络的开发成本,而且极大的减少列车网络的开发时间及开发难度。实验结果验证了所研究成果的正确性。

#### 参考文献:

- [1] IEC 61375-1[ S]. Electric railway equipment-train bus part I: train communication network, 1999.
- [2] ADTRANZ. MVBC01 Multifunction vehicle bus controller data sheet [ Z]. Switzerland: adtranz, 1999.
- [3] SCHIFERS C, HANS G. IEC 61375-1 and UIC 556 - international standard for train communication[ A]. Vehicular Technology Conference Proceedings[ C]. 2000.
- [4] EDWARDS S, LAVAGO L, LEE EA. Design of embedded systems: formal models, validation, and synthesis[ J]. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(3): 366-390.
- [5] KIRRMANN H. The IEC true communication network[ A]. 16th conference on transportation systems[ C]. 1996.
- [6] GMICHELL R, GUPTA K. Hardware/software co-design of embedded systems[ J]. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(3): 349-365.
- [7] BATE L, LIU S. Real-time embedded systems[ J]. Computing & Programming, 1999, (2): 21-25.
- [8] KIM YJ. The present state of technology development in high speed trains[ A]. KIEE summer conference[ C]. 1998.
- [9] ADTRANZ. Control & communication system technical description [ Z]. Switzerland: adtranz, 1999.