BGP4 + 协议一致性测试系统设计与实现*

翟 鹏[1,2], 王旸旸[2], 李登道[1], 毕经平[2]
(1. 山东科技大学, 山东 青岛 266510; 2. 中国科学院 计算技术研究所, 北京 100080)

摘 要: BGP4 + 是一种在自治系统间运行的动态路由协议, 其功能是在自治系统间交换网络层可达信息。IPv6 协议作为下一代互联网最有竞争力的核心协议成为研究热点。BGP4 + 是 IPv6 最重要的路由协议, 已经在路由器等网络设备中得到广泛实现。如何保证各网络设备协议实现的一致性, 是保证各设备可以互连、互操作的关键。在介绍 BGP4 + 的基础上, 设计并实现了 BGP4 + 的协议一致性测试系统, 并对一基于 FreeBSD 平台的 BGP4 + 一致性测试实现的结果进行了分析。

关键词: 协议一致性测试; BGP4 +; IPv6; 测试方法
中图法分类号: TP393.06 **文献标识码**: A **文章编号**: 1001-3695(2006)05-0202-03

BGP4 + Protocol Conformance Test System Design and Implementation

ZHAI Peng[1,2], WANG Yang-yang[2], LI Deng-dao[1], BI Jing-ping[2]
(1. Shandong University of Science & Technology, Qingdao Shandong 266510, China; 2. Institute of Computing Technology, Chinese Academic of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: BGP4 + is a dynamic routing protocol which runs between autonomous systems to exchange NLRI between them. IPv6, as one of kernel protocols of next generation Internet, has become the hotspot of research. BGP4 + is one of the most important routing protocol has been implemented in many network equipments, especially in router. How to guarantee the conformance of protocol implementation in these network equipments is the key point of interconnection and interoperation among them. This paper described BGP4 + Protocol Conformance Test Design and implementation on the base of BGP4 + protocol, and discussed BGP4 + protocol test results for a Linux platform.

Key words: Protocol Conformance Test; BGP4 +; IPv6; Test Method

Internet 是由不同的自治系统(Autonomous System, AS)[1]构成。所谓的自治系统就是一组相对独立的路由器, 它拥有同一路由策略, 处于同一部门的管理之下。在外界看来, 整个自治系统是一个单一的实体。自治系统间是通过公共网络访问点(Public Network Access Points, NAP)和外部网关协议(Exterior Gateway Protocols, EGP)[2]来交换路由信息的, 在自治系统内部则是通过内部网关协议(Interior Gateway Protocols, IGP)进行内部路由计算的, 如 OSPF, IS-IS 和 RIP 等。网络路由协议实现的正确性将直接影响 Internet 的互操作性、稳定性和性能。协议测试是验证协议实现是否符合协议标准的有效手段。

随着 Internet 规模的不断扩大, IPv4 在地址空间、安全、性能等问题越来越显示出其局限性。IPv6 由于其近乎无限的地址空间、层次化的地址结构、高速的路由、更强的安全性、对移动性和服务质量的更好支持等特性, 被认为是替代 IPv4 协议, 解决目前 Internet 面临的困境, 为下一代 Internet 提供更好的服务和发展的最佳协议。当前支持 IPv6 的较为成熟的路由协议有 RIPng, OSPFv3 和 BGP4 +。随着支持 IPv6 的网络产品的日渐增多, 各 IPv6 设备必须实现与协议标准相一致的路由协议才能保证各设备的顺利转发数据包, 因此 IPv6 路由协议实现与协议标准的一致性问题也越来越重要, 对 IPv6 路由协议进行一致性测试的需求也越来越强烈。

目前日本 TAHI 工程, 美国新罕布什尔大学等从事协议一致性测试的机构已公布的 BGP4 协议测试系统在进行 BGP4 协议测试时都会产生大量的空表项, 从而造成产生的测试文件非常庞大, 测试执行时间长, 动态测试效率低。他们的测试系统只能在 IPv4 网络上运行。本文的创新之处在于设计改进了 BGP4 一致性测试系统, 使它能在 IPv6 上顺利运行, 采用改进的远程测试法, 通过虚拟测试, 利用测试序列包中的地址字段和其他特征字段, 仅用一台测试器就搭建了一种逻辑测试结构, 实现了多台虚拟测试器的测试拓扑。

1 BGP4 + 协议

边界网关协议(Border Gateway Protocols, BGP)是为 TCP/IP 网络设计的用于自治系统之间的路由协议, 其基本目标是在自治系统之间交换网络可达信息。BGP 使用 TCP 作为它的传输协议(端口是 179)。这样就保证了所有传输的可靠性都是由 TCP 来实现而无须在 BGP 中实现, 从而简化了设计可靠性所带来的协议的复杂度。为了节省带宽和处理资源, BGP 在交换路由时使用了“递增式”机制。这种机制是: 只有在 BGP 对等体建立时才交换完整的路由信息, 在连接完全建立后, 只有在路由发生变化时, 才会由相应的路由器通过 UPDATE 报文向其所有对等体通告有关的路由更新信息。

BGP 系统中使用四种报文进行会话, 即 OPEN 报文、

收稿日期: 2005-04-14; 修返日期: 2005-06-18
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60273070, 60403031)

KEEPLIVE 报文、UPDATE 报文和 NOTIFICATION 报文。 GP 对等体在完全建立连接之前经历了不同的阶段。这些状态包括: Idle 状态、Active 状态、Connect 状态、OpenSent 状态、OpenConfirm 状态和 Establish 状态。为了使 BGP 支持更多的网络层协议, IETF 的 Inter Domain Routing 工作组在 2000 年制定了 RFC2858(Multiprotocol Extensions for BGP- 4, 即 BGP4 +)[3], BGP4 + 在 BGP4 的基础上引进了两个新属性, 即 Multiprotocol Reachable NLRI (MP_REACH_NLRI) 和 Multiprotocol Unreachable NLRI (MP_UNREACH_NLRI) 。MP_REACH_NLRI 主要功能是允许路由器通告通往某个目的地址所要经过的下一跳的网络层地址, 而 MP_UNREACH_NLRI 被用来撤销一个或多个不可用路由。

2　协议一致性测试介绍

协议测试是网络设备研究、开发和生产中非常重要的一个阶段。网络设备通过协议测试来保证其一致性、互操作性以及性能等[4]。协议测试是一种黑盒测试, 它依据协议标准来控制观察被测试协议实现的外部行为, 对被测协议实现进行测试[5]。协议测试主要有四种: 一致性测试(Conformance Testing) 、互操作性测试(Interoperability Testing) 、性能测试(Performance Testing) 和强健性测试(Robustness Testing) 。协议测试中的一致性测试是一种 "功能测试"[6], 它依据一个协议的描述对协议的某个实现进行测试, 判别一个协议的实现与所对应的协议标准是否相一致。在一致性测试中, 只对协议实现的外部可观察行为进行测试, 而不涉及协议实现的内部结构。协议一致性测试一直是国内外研究的重点之一。20 世纪 90 年代, 国际化标准组织 ISO 专门制定了一套标准——ISO/IEC 9646(协议的一致性测试方法和框架) , 它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。

随着支持 IPv6 产品的增多, 国内外有关 IPv6 的协议测试研究小组也越来越多。目前著名的 IPv6 协议一致性测试研究项目组有日本由东京大学、Yokogawa 计算机公司及电气公司组织的 TAHI、德国的国家科教部及电信局的 JOIN、美国新罕布什尔大学(University of New Hampshire) 的 IOL 实验室等。因为路由协议的复杂性, 特别是 BGP4 协议的复杂性, 这些项目目前都没有涉及 BGP4 + 路由协议的一致性测试。作为最基本和重要的域间路由协议, 测试 BGP4 + 协议实现的一致性具有重要的现实意义。

目前 TCP/IP 协议族的一致性测试系统基本上实现方法为: 测试设备通过唯一的接口和被测实现 IUT(Implementation Under Test) 相连, 通过发送和接收协议数据单元(PDU) 来判断协议实现的一致性。为了避免环路的出现, 路由协议不会把路由信息在转发到收到该消息的端口, 所以单端口不能满足路由器协议一致性测试的需求。另外, 路由协议本身的复杂性使得它难以用一般的形式化语言(如 TTCN) 进行描述。并且在用 TTCN 来实现协议的形式化描述并编译执行的时候需要额外的编译器, 一旦修改了测试数据, 就需要对整个测试集重新编译处理。因此如何设计测试例描述语言, 对于 BGP4 + 一致性测试系统的实现也是至关重要的。

3　BGP4 + 协议一致性测试系统设计与实现

3.1　测试方法

ISO9646 定义了四种抽象测试法: 本地测试法、分布式测试法、协调测试法和远程测试法。BGP4 一致性测试一般采用远程测试法。如图 1 所示, 下测试器和被测协议实现是对等实体, 它们之间通过提供 N - 1 层服务的底层协议实现来连接。不要求能访问被测协议实现的上边界, 不定义上测试器, 也不需要显式地测试协调过程。这种方法依赖于被测协议来实现与下测试器间的同步, 远程测试法所采用的一个假设是被测协议实现的状态可由下测试器通过(N - 1) 层服务与之交换 N 层 PDU 来确定, 测试判决则是由基于下测试器对被测协议实现提供的激励以及下测试器所观察到的被测协议实现的响应作出的。

我们在试验中采用了改进的穿越测试法。把原有远程测试方法的多个下测试器集成在一起, 实现远程测试, 克服了原有测试方法中两个系统的同步和协调问题(图 2) 。

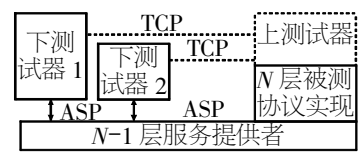

图 1　远程测试法结构图

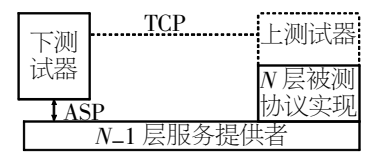

图 2　改进的远程测试法结构图

3.2　BGP4 + 一致性测试系统的设计

BGP4 + 测试系统结构如图 3 所示, 主要包括图形用户接口、系统控制模块以及控制观察点模块。

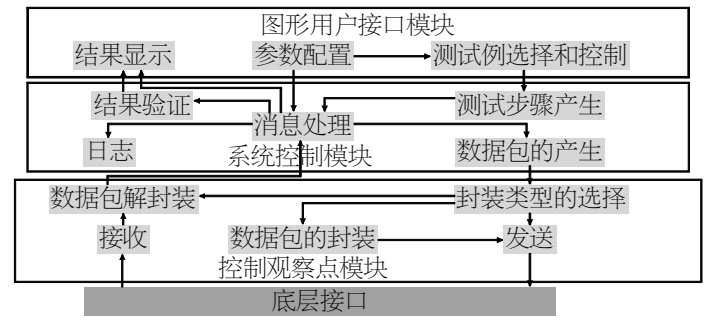

图 3　BGP 系统结构

BGP4 + 采用两个进程实现, 图形用户接口和下面两层分开, 避免由上层显示给测试例执行带来额外的负载, 保证测试的高效执行。系统实现使用了 TCL/TK 与 C 结合的方式。图形界面采用 TCL/TK 来实现, 系统控制和执行用 C 语言来实现。C 语言提供了丰富的库函数, 易于实现控制循环, 在测试例实现上提供了很大的灵活性, 可以准确地控制复杂路由协议的各种状态变迁。图形用户接口模块的主要功能如下:

(1) 参数配置, 包括接口的选择、被测路由器的相关参数以及某一具体协议实现的 PICS 和 PIXIT 的编辑与存储。

(2) 测试例选择, 可以根据测试需要选择不同测试例。

(3) 测试结果的显示, 其中包括数据包交互显示, 简单的解包功能以及测试结果的显示。

(4) 给下层模块传递必要参数和控制信息。

其他两个模块为系统控制模块和控制观察点模块, 也是系统最主要的模块, 其主要功能如下:

(1) 从图形用户模块获得测试例执行的必要信息, 完成每个测试例中的协议数据单元的编码和解码工作。

(2) 根据不同的接口选择, 对数据单元进行相应的封装和

解封装。

(3) 对(IUT) 被测实现的响应作出判断,给出测试结果。

(4) 记录每个测试例的全部过程并把相关的数据传给图形界面显示。

测试系统运行时,首先启动图形用户进程,并由该进程启动系统控制和执行进程。要执行测试例,首先要进行相应的参数配置以及测试例的选择。测试例可以单选或者多选,系统会依次自动执行每个测试例。当运行测试例的时候,图形用户模块首先会把相应的参数,如 MAC 地址、路由参数、接口参数等,传给系统控制模块。系统控制模块首先会根据不同的测试例产生相应的测试步骤,并把相应的消息传给消息处理子模块。消息处理子模块则根据不同的消息负责调度相应的子模块实现相应的功能,如数据包的产生、数据包的发送和接收以及结果的验证等。控制观察点模块主要根据不同的接口类型对数据包进行相应的封装和解封装,并负责与底层通信。

4 测试实验与测试例分析

测试实验的运行环境为 CPU(Intel Pentium 4 2.0GHz), Memory(256MB), Hard Disk(40GB), NIC(3COM 3c905b-TX Fast EtherLinkXL); OS.: FreeBSD 4.5。路由软件为 zebra-0.92a-3。实验网络图如图 4 所示。

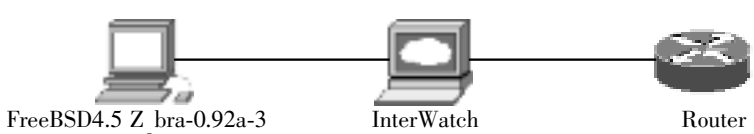

图 4 测试连接图

根据 BGP4 + 协议及相关草案,我们设计了七个测试组: Connecting Capability, Update Message Format, Update Message Processing, Routing Processing, Error Processing, Route Reflect, Community Attribute Processing,一共有 93 个测试例。通过测试,发现 BGP4 + 基本实现了协议。在 FreeBSD 上测试了上述 93 个测试例,所有测试例发送包的过程完全正确。其中有八个测试例未通过(测试判决为失败)。按照协议规定,当条件不满足时,测试例不应该通过,测试判决应该为失败。由于篇幅有限,选取了部分测试例如表 1 所示。

5 结论

协议是互联网络非常重要的组成部分,路由协议在网络中是数据包顺利转发的基础。随着下一代互联网技术的发展,支持 IPv6 的不同路由设备的研发和需求也越来越多。本文介绍了支持 IPv6 的路由协议 BGP4 + 的协议一致性测试系统的设计与实现,提出了新的测试例实现方法和测试方法,并用所实现的测试系统对开放源码的路由协议软件包 Zebra 进行了测试。测试取得了较好的效果,该软件包在 BGP4 + 实现上与 RFC1771 基本一致。

路由协议是一种非常复杂的协议,对路由协议性能测试和互操作性测试也是非常重要的。进一步的工作包括继续完善 BGP4 + 的协议一致性测试,增加有关性能方面的测试,建立完整的 IPv6 路由器测试系统。

表 1 测试例

测试例编号	测试例内容描述	测试结果(Zebra)
TC_17_1_2	Ensure the NUT can establish BGP4 + connecting on its own	PASS
TC_17_2_3	Ensure that DUT Could correctly handle UPDATE message with AS_PATH field (32B)	PASS
TC_17_2_8	Ensure that the received UPDATE message is foreign to the order of the Path_Attribute	PASS
TC_17_4_3	Ensure that NUT can delete routes correctly	PASS
TC_17_4_7	Ensure that NUT can distribute routes correctly	PASS
TC_17_6_2	To verify when NUT receives an update message from a client peer, it should reflect it to all other client peers a non-client peers	PASS
TC_17_7_10	Ensure the DUT could correctly handle the COMMUNITY attribute when aggregating route	FAIL

参考文献:

[1] alabi S, McPherson D. Internet Routing Architectures(2nd Ed.) [M]. US: Cisco Press, 2000. 98-110.

[2] Rekhter Y, Li T. A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4) [S]. RFC1771, IETF, 1995.

[3] Bates T, Rekhter Y. Multiprotocol Extensions for BGP-4 [S]. RFC2858, IETF, 2000.

[4] Y Zhao, J WU, X Yin. From Active to Passive-Progress in Testing Internet Routing Protocols [J]. Compute Science & Technology, 2002, 17(3): 264-283.

[5] B Sarikaya. Principles of Protocol Engineering and Conformance Testing[C]. Ellis Horwood: Series in Computer Communications and Networking, 1993.

[6] D Sidhu, T Leung. Formal Method for Protocol Testing: A Detailed Study[J]. IEEE Trans. on Software Engineering, 1989, 15(4).

作者简介:

翟鹏(1978-),男,山东邹城人,硕士生,研究方向为网络性能分析及测量;王旸旸(1979-),男,安徽淮北人,硕士生,研究方向为网络测试与测量;李登道(1952-)男,山东聊城人,研究员,研究方向为网络工程与管理信息系统技术;毕经平(1974-),女,山东肥城人,副研究员,博士,研究方向为网络监控与管理。

(上接第 201 页)

[5] rank K Hwang, Dana S Richards, Pawel Winter. The Steiner Tree Problem[R]. North-Holland, 1992. 121-142.

[6] S Saroiu, P Krishna Gummadi, S D Gribble. A Measurement Study of Peer-to-Peer Sharing Systems[C]. Proceedings of Multimedia Computing and Networking 2002 (MMCN '02), San Jose, CA, 2002. 361-382.

[7] S Nouyan. Agent-based Approach to Dynamic Task Allocation[A]. M Dorigo, G Di Caro, M Sampels. Ant Algorithms: The 3rd International Workshop, ANTS 2002, volume 2463/2002 of Lecture Notes in Computer Science[C]. Heidelberg: Springer-Verlag, 2002. 282-290.

[8] D B Shmoys, E Tardos, K Aardal. Approximation Algorithms for Facility Location Problems[C]. The 29th ACM Symposium on Theory of Computing, 1997. 265-274.

[9] H Louren_co, D Serra. Adaptive Search Heuristics for the Generalized Assignment Problem[J]. Mathware and Soft Computing, 2002, 9(2-3): 209-234.

作者简介:

曹怀虎(1977-),男,博士研究生,研究方向为新一代网络体系结构、网格技术、Overlay Network、工业控制网;余镇危(1942-),男,博导,主要研究方向为网络体系结构、计算机系统结构、覆盖网络、ATM 核心技术等;潘耘(1974-),女,博士,研究方向为覆盖网络、网络性能评价。