

基于 XML 的 OSPFv3 一致性测试研究^{*}

李华 张涛 叶新铭 郭怡静 李元平 白瑞峰

(内蒙古大学计算机学院 呼和浩特 010021)

摘要 协议测试是检测协议实现与协议说明相一致的有效手段。本文针对开放最短路径协议 OSPFv3 进行了一致性测试研究,分析了 OSPFv2 和 OSPFv3 的不同,给出了用 XML 来描述 OSPFv3 测试套的测试模板,并对 OSPFv3 协议在 Linux 下的实现进行了一致性测试,列举了部分测试结果,对测试结果进行了分析,发现了被测实现存在与协议说明不一致的地方。

关键词 路由协议,协议测试,测试方法,OSPFv3

Conformance Test Research on OSPFv3 Based on XML

LI Hua ZHANG Tao YE Xin-Ming GUO Yi-Jing LI Yuan-Ping BAI Rui-Feng

(College of Computer Science, Neimongol University, Hohhot 010021)

Abstract Protocol Testing is an effective method to check the performance of protocol implementation. In this paper, the characters of Open Shortest Path Protocol (OSPFv3) are analyzed, and the differences between OSPFv2 and OSPFv3 are compared. Moreover a novel test suit description that is based on the notion of XML Protocol Templates of OSPFv3, is present. An implementation of OSPFv3 distributed under Linux is tested. The test result indicates that there were some inconsistent with RFC2740.

Keywords Routing protocols, Protocol testing, Test method, OSPFv3

1 引言

随着 IPv6^[1] 在全球的部署,域内路由协议将从支持 IPv4 的 OSPF^[2] (Open Shortest Path First) 换成支持 IPv6 的 OSPFv3^[3]。高效稳定的路由协议成为保障网络性能的重要因素。由于各个生产厂商对路由协议的理解不同,因此协议实现也各不相同,需要进行协议的一致性测试。目前已有许多科研机构在从事路由协议的一致性测试研究工作,也发表了一些有关这方面的文章。在文[4]中,作者针对路由协议的特点,给出了路由协议的测试模式。在对 BGP4 协议进行测试的过程中,他们采用 TTCN 形式化与非形式化的思想描述了测试套并对 BGP4 进行了测试。在文[5]中,作者实现了一个协议集成测试系统 PITS,其中采用 TTCN 标准来描述测试套。在文[6]中,作者实现了一个可扩展的路由协议测试系统,在测试系统中采用工具命令语言 TCL (Tool Command Language) 来描述测试套。在文[7]中,通过多端口有限状态机为 IP 路由协议建模,并且自定义了测试脚本来描述测试套,实现了并行分布式的测试器。文[8]中,在介绍 OSPFv3 协议的基础上,设计并实现了该协议一致性测试系统。

在对 OSPFv3 的测试中,我们采用 XML 保存测试套,符合国际标准,易于测试套的长久保存以及重用。本文组织如下:第 2 部分介绍 OSPFv3 的基本原理,给出了 OSPFv3 相对于 OSPFv2 的改进之处。第 3 部分基于测试问题选择了测试方法。第 4 部分主要给出用 XML 来描述 OSPFv3 测试套的模板。第 5 部分针对 OSPFv3 的实现——Linux 下的路由软

件 Zebra 进行了一致性测试,列举了部分测试例执行的测试结果,并对测试结果进行了分析。最后给出结论。

2 OSPFv3 协议的基本原理

OSPFv3 是域内链路状态协议,域内各节点包含整个网络拓扑的信息,并根据这些信息由 Dijkstra 算法计算最短路径,进行路由选择。OSPFv3 可以分为 3 大协议:Hello 协议、交换协议和扩散协议。其中,Hello 协议主要用来确认邻居路由器是否正常运作,并且在广播型网络或者非广播型网络上用于选举指派路由器 (Designed Router) 及其备份指派路由器 (Backup Designed Router); 交换协议主要用于邻居路由器之间的数据库同步;扩散协议主要利用洪泛机制,传播网络中链路状态的变化信息,从而保持各个路由器之间链路状态数据库的一致性。OSPFv3 与 OSPFv2 相比,有一些改进之处,见表 1。

3 测试方法的选择

我们把 OSPFv3 的一致性测试过程大致划分为 4 个阶段。第一阶段是根据协议文本得到一个独立于所有协议实现的一致性抽象测试套,称之为“一致性测试生成”。第二阶段是实现特定一致性测试套的执行方法组成,称作“一致性测试实现”。第三个阶段为“一致性测试执行”,运行已经具体化的一致性测试例。第四阶段为“测试判定”,对 IUT 的输入输出进行观察,判定测试结果是否与协议说明相一致,并将测试执行的结果记录在 OSPFv3 协议一致性测试报告中,进而对测

^{*} 国家自然科学基金项目(60263002)、内蒙古科技攻关项目(2002061002)、内蒙古自然科学基金项目(200308020213)。李华 副教授,硕士生导师,研究方向为协议测试及计算机网络应用;张涛 硕士研究生,主要研究方向为协议一致性测试;叶新铭 教授,博士生导师,主要从事计算机网络和分布式系统方面的研究。

试结果进行分析对比,图 1 是 OSPFv3 一致性测试过程的示意图。

表 1 OSPFv3 相对 OSPFv2 的改进

协议 \ 不同点	OSPFv2	OSPFv3
双协议的处理	基于网络和子网的协议	基于链路的协议
地址语义	存在	不存在
洪泛范围	域内部	本地链路、域、自治系统内部
一条链路运行多个实例	不支持	支持
链路本地地址	不使用	使用
认证	支持	依赖于 IP 头部的认证
数据包格式	带有地址、认证字段等	无地址、认证字段,增加了实例 ID
LSA 格式	带有地址,7 种 LSA	无地址,重命名和新增了一些 LSA
未知 LSA 类型的处理	丢弃	存储或洪泛
Stub 域	不允许未知 LSA 进入	允许未知 LSA 进入
识别邻居	通过接口地址或路由器 ID	路由器 ID
IPv6 封装	无	OSPF 分组直接被 IPv6 分组封装

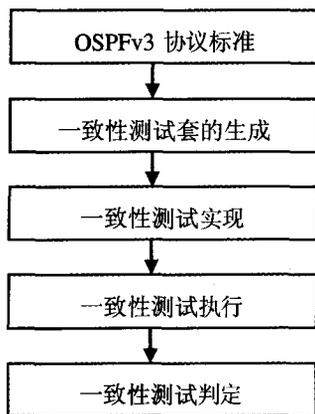


图 1 OSPFv3 一致性测试过程示意图

ISO/IEC-9646-2^[9]根据不同的控制观察点定义了不同的抽象测试方法。现有的端系统抽象测试方法基本上可以分为 4 类,即本地测试法(local test)、协调式测试法(coordinated test)、分布式测试法(distributed test)和远程测试法(remote test)。由于远程测试法的主要特点是并不要求能访问被测协议实现的上边界,也不要求显式的测试协调过程,而是依赖被测协议来实现被测协议,实现和下测试器间的同步。远程测试法的一个假设就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做出的。由于路由协议不需要为上层的协议提供服务,因此在路由协议的测试中不需要上测试器的存在,所以我们在对 OSPFv3 路由协议的测试中采用远程测试法,如图 2 所示。

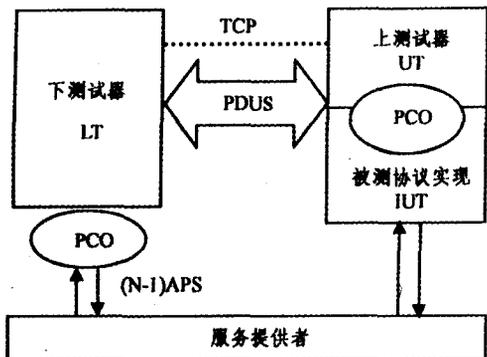


图 2 远程测试法

4 用 XML 描述和保存测试套

测试套是描述协议一致性测试数据的,它在整个一致性测试过程中起着极其重要的作用。有许多方法可以用来描述测试套,例如 TTCN (Tree and Tabular Combined Notation)、TCL(Tools Command Language)、树型表示法和表型表示法等等。这些方法有着各自的优缺点,例如 TTCN 是一种专门描述测试套的半形式化的描述语言,具有标准化以及通用性等优点,但是其标准定义极其繁琐。在我们的测试中,采用 XML 来描述和保存 OSPFv3 的测试套,所有的描述都遵循统一的形式化规则。XML 是一种把数据表示为文本字符串的语言,它是一种跨平台的语言,可以使用任何文本编辑工具来编辑 XML 文件。XML 在阅读、修改和共享方面有着其它方法所不具有的优越性。

4.1 用 XML 描述 OSPFv3 测试套的层次结构

我们在分析 OSPFv3 测试套的功能之后,将用 XML 描述的 OSPFv3 测试套分为 4 个层次:测试套、测试组、测试例和测试步。如图 3 所示,其中每个测试层次都有自己的测试目的,并根据 IUT 的响应对其被测的行为做出判决,得出测试结果。

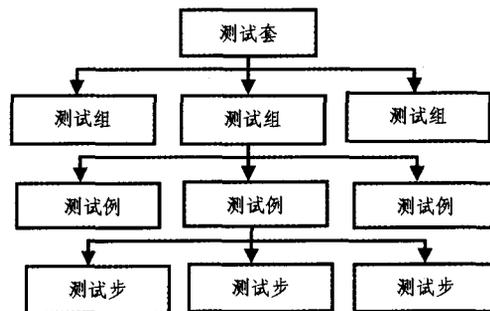


图 3 测试套的层次结构

对一个测试套的形式化描述分为 4 个部分:测试套描述、测试组描述、测试例描述、测试步行为描述。

- 测试套描述:对应于一个协议,如 OSPFv3 (RFC2740)。包括测试套名称、测试套相关信息、所包含的测试组的名称及内容。

- 测试组描述:对应于此协议的一个子协议,或称一个测试目标。一个测试套中可以包含多个测试组。该描述包括测

测试组名称、测试组信息、所包含的测试例的名称及内容。

• 测试例描述:对应于一个标准协议的某一项功能描述,如 RFC2740 中关于 Hello 消息发送的时间间隔、DR 和 BDR 的选举等。一个测试组由一个以上的测试例组成。该描述包括测试例名称、测试目的、测试例相关信息、所包含的测试数据包名称及内容、测试例的动态行为描述(发送、接收、比较、等待等测试步)。

• 测试步描述:该描述包括测试状态初始化、发包、收包等等,每一个动作就是一个测试步。测试步是测试套中最小的单位。一个测试例包含一个以上的测试步。

4.2 用于描述 OSPFv3 测试套的 XML 标记

我们用 XML 定义了一套 OSPFv3 的测试套模板。主要有如下元素。其中,TestSuite 为根元素,用来表示测试套元素。

- <TestSuite> /<TestSuite> 表示测试套元素 TestSuite;
- <TestSuiteDes> /<TestSuiteDes> 表示测试套描述元素 TestSuiteDes;
- <TestGroup> /<testGroup> 表示测试套描述元素 TestGroup;
- <TestCase> /<TestCase> 表示测试例元素 TestCase;
- <TestGoal> /<TestGoal> 表示测试目的的元素 TestGoal;
- <TestStepNum> /<TestStepNum> 表示测试例中包含测试步的个数的元素 TestStepNum;
- <TestStep> /<TestStep> 表示测试步元素 TestStep;
- <SendPacket> /<SendPacket> 表示测试步中要发送的数据包元素 SendPacket;
- <RecePacket> /<RecePacket> 表示测试步中要接收的数据包元素 RecePacket;
- <ExpectReceive> /<ExpectReceive> 表示该测试步成功时应接收到的数据包元素 ExpectReceive;
- <PCO> /<PCO> 表示描述测试仪的相关信息的元素 PCO;
- <DUT> /<DUT> 表示描述被测实现的相关信息的元素 DUT。

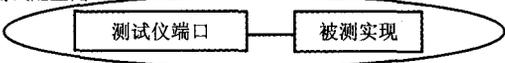
4.3 XML 与 TTCN 测试套描述方法比较

- (1)XML 和 TTCN 一样,都采用了层次结构来描述测试套;
- (2)XML 书写的测试套文件结构简单、完整,处理起来比较容易;而 TTCN 文件结构复杂,处理起来非常困难;
- (3)XML 是可以扩展的,允许定义自己的标记以及文档结构,用 XML 语言书写的测试套文件比同样用 TTCN 书写的测试套文件占用存储空间小,而且格式简单、直观;
- (4)XML 通用性好,可以在任何支持 XML 的编辑器和浏览器中编辑和显示测试套,而且从浏览器中可以清楚地看到测试套的层次结构;而用 TTCN 书写的测试套文件需要专用工具来编辑,在浏览器中无法看出测试套的层次结构;
- (5)保存测试套的 XML 文件结构简单,可以直接在 XML 文件中修改测试套的内容;而保存同样测试套的 TTCN 文件由于其结构复杂而且内容相互关联,直接修改非常困难,容易出错,必须借助相应的软件工具来修改。

5 OSPFv3 协议的测试实例

通过以上定义的 XML 模板,我们对 OSPFv3 的测试例进行描述,并运用远程测试法,在 Linux 下对 OSPFv3 的实现进行测试。在这里列举一个 Hello 协议测试组的测试例,测试例说明如表 2。

表 2 TestCase 1-1 说明

测试例编号: TestCase X
测试项目: DUT 在 Init 状态下收到 2-way Hello 消息, BDR 设为测试仪端口时的处理
测试目的: DUT 在 Init 状态下收到 2-way Hello 消息, BDR 设为测试仪端口时, 状态应转为 ExStart。
测试配置图 
预测结果: DUT 应转入 ExStart 状态, 并发出空的 DD 消息, Initialize、More 和 Master 字节设为 1。
判定原则: 测试结果必须与预期结果相符, 否则不符合要求。

用 XML 描述并保存该测试例如下:

```

<TestSuit>
  <TestSuitNam> testsuit_ospfv3</TestSuitNam>
  <TestSuiteDes> OSPFv3 消息处理的一致性测试</TestSuiteDes>
  <TestGroup>
    <TestGroupNam> TestGroup_Hello</TestGroupNam>
    <TestGroupDes> OSPFv3 Hello 消息响应的一致性测试</TestGroupDes>
  <TestCase>
    <TestCaseNo> TestCase1-1</TestCaseNo>
    <TestCaseCfg>
      <PCO>
        <AreaNo> area0. 0. 0. 0</AreaNo>
      <IPv6Addr> fe80::2e0:4cff:fe3d:4037</IPv6Addr>
      </PCO>
      <IUT>
        <AreaNo> area0. 0. 0. 0</AreaNo>
      <IPv6Addr> fe80::2e0:4cff:fe3d:3a59</IPv6Addr>
      </IUT>
    </TestSuiteCfg>
    <TestGoal> DUT 在 Init 状态下收到 2-way Hello 消息, BDR 设为测试仪端口时, 状态应转为 ExStart。
    </TestGoal>
  </TestSuiteDes>
  <NOofTestStep> 3</NOofTestStep>
  <teststep>
    <sendpacket>
      {0x24000103, 0x099dcfca, 0x00000000, 0x0000cf04,
      0x03000000, 0x13000003, 0x28000a00, 0x00000000,
      0x00000000};
    </sendpacket>
  </teststep>
  <teststep>
    <sendpacket>
      {0x28000103, 0x099dcfca, 0x00000000, 0x00001b35,
      0x03000000, 0x13000003, 0x28000a00, 0x00000000,
      0x099dcfca, 0x029dcfca};
    </sendpacket>
    <ExpectReceive>
      {0x1c000203, 0x029dcfca, 0x00000000, 0x00009fba,
      0x13000000, 0x0700dc05, 0x84732343}
    </ExpectReceive>
  </teststep>
  <teststep>
    <recepaket> buffrece[ ]</recepaket>
  </teststep>
</TestSuite>
  </TestGroup>
</TestSuit>

```

这个测试例描述文件主要包含以下内容:测试套的名称和相关描述信息、测试组和测试组的描述信息、测试例的编号、测试例的配置(包括测试设备 PCO 和被测 IUT 的相关配置)、测试例的测试目的、测试步的数目、测试步(发包和收包)。测试步骤如下:

- (1) 向 DUT 发送 one-way 的 Hello 包,从而使 DUT 达

到 Init 状态。

(2)向 DUT 发送 2-way Hello 消息,BDR 设为测试仪端口,DR 为被测端口。

(3)接收 DUT 发送的 DD(数据库描述包),将其存入数组 buffrece[]中。这样就可以将 buffrece 中的数据与 ExpectReceive 中的进行对比。如果相同,则为 PASS,否则为 FAIL。经过验证,这个测试例能够在 Linux 环境下正确执行,执行结果与预期结果相符。

6 测试例分析

根据 OSPFv3 协议模块,我们抽象出一个测试套,即 TestSuit_OSPFv3;8 个测试组分别是:(1)接口状态机部分的测试;(2)Hello 消息的测试组;(3)数据库交换协议测试组;(4)扩散协议测试组;(5)OSPF 头部处理测试组;(6)IPv6 头部处理测试组数据包格式;(7)数据包格式测试组;(8)路由计算测试组。每个测试组中又抽象出不同数目的测试例。

使用这些测试例,我们对 Linux RedHat 9.0 中的路由协议软件包 Zebra 进行了一致性测试。在这里我们以扩散协议为例,给出部分测试例列表及其结果。扩散协议主要利用洪泛机制,建立邻接关系的路由器之间的数据库同步,部分测试例列表如表 3。

表 3 OSPFv3 扩散协议测试例及其测试结果

测试例编号	测试项目	测试结果
Testcase4-1	当 DUT 收到一个包含比 DUT 数据库更新的实例的路由器 LSA 时,并且接收端口是 DR 而 LSA 的发送方不是 BDR 时,洪泛该 LSA	PASS
Testcase4-2	DUT 在 FULL 状态下收到它自己生成的 LSA 的更新的实例时,DUT 应将收到的 LSA 序列号加 1 后,发还给发送方。	PASS
Testcase4-3	DUT 对收到的自己洪泛出去的 LSA 时,不进行确认	PASS
Testcase4-4	当 DUT 收到一个更新的 LSA 并且该 LSA 没有从接收端口洪泛出去时,如果 DUT 是 BDR 并且 LSA 来自 DR,那么 DUT 应发送一个延迟的确认。	PASS
Testcase4-5	DUT 在进入 Exchange 状态之前应丢弃收到的 LSA。	PASS
Testcase4-6	当作为 DR 时,DUT 应对来自于 BDR 的新的 LSA 发送延迟的确认。	PASS
Testcase4-7	DUT 收到自己生成的序号为 0x7FFFFFFF 的 LSA 时,应冲掉该 LSA 的现有实例。	FAIL

(上接第 27 页)

- Buttyán L, Hubaux J P. Stimulating cooperation in self-organizing mobile Ad Hoc networks [J]. Mobile Networks and Applications, 2003, 8 (5): 579~592
- Zhong Sheng, Chen Jiang, Yang Y R. Sprite: A simple, cheat-proof, credit-based system for mobile ad-hoc networks. In: The 22nd Annual Joint Conf. IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2003), San Francisco, CA, 2003
- Wang Yongwei, Giruka V C, Singhal M. A Fair Distributed Solution for Selfish Nodes Problem in Wireless Ad Hoc Networks. In: Ad-Hoc Mobile, and Wireless Networks: Third International Conference, ADHOCNOW 2004, Vancouver, Canada, July 22-24, 2004. 211~224
- Marti S, Giuli T J, Lai Kevin, et al. Mitigating routing misbehavior in mobile Ad hoc networks [A]. In: Proc of the Sixth International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom2000) [C]. Boston, August, 2000. 255~265
- Buchegger S, Le Boudec J Y. Performance analysis of the CON-

我们发现 Testcase3~7 的测试结果与协议不符。在该测试例中,在把 LSA 的 Sequence Number 置为=0x7ffffff时,即置为最大,按照 RFC2328 及 RFC2740 所述,被测应向测试仪发送 LSA,其中的序列号设为 0x7FFFFFFF, Age 设为 MaxAge。但实际测试过程中,我们发现被测会认为这是一个无符号数,而给它增加序列号,再返回到测试仪,导致测试结果与协议说明不符。

结论 随着下一代互联网技术的部署,支持 IPv6 的不同路由设备的研发和需求也越来越多。本文对于下一代域内路由协议 OSPFv3 进行了一致性测试研究,分析了 OSPFv2 与 OSPFv3 的异同点,并根据需要选定了远程测试方法作为 OSPFv3 的测试方法。文中使用 XML 定义了协议测试套的描述模板,并用该模板实现了对 OSPFv3 测试套的描述。通过对 Linux 下的 OSPFv3 的协议实现进行一致性测试,发现了被测实现上的一些不一致问题。进一步的工作包括继续完善 OSPFv3 的协议一致性测试工作,建立完整的 OSPFv3 协议测试系统,同时将针对测试中发现的不一致的地方对被测实现进行分析。

参考文献

- Deering S, Hinden R. Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification. RFC2460, December 1998 (Status: DRAFT STANDARD)
- Moy J. RFC 2328 OSPF Version 2 [S]. April 1998
- Coltun R, Ferguson D, Moy J. RFC 2740 OSPF for IPv6 [S]. December 1999
- 赵邑新,吴建平,韩博.路由协议测试研究——边界网关路由协议 BGP-4 测试.通信学报,2001, 22(9):91~98
- 吴建平,陈修环,郝瑞兵,等.基于形式化技术的协议集成测试系统—PITS.清华大学学报,1998,38(S1): 26~29
- 李建,周颖,赵保华.路由协议一致性测试系统研究及实现.计算机工程与应用,2005,16:119~123
- Wu Jianping, Li Zhongjie, Yin Xia. Towards Modeling and Testing of IP Routing Protocols. TestCom, 2003. 49~62
- 杨建华,王俊峰,谢高岗. OSPFv3 协议一致性测试系统设计与实现. 计算机应用, 2003, 23 (7)
- ISO/IEC 9646-2. Information Processing Systems, Open System Interconnection, OSI Conformance Testing Methodology and Framework. Part 2; Abstract test suite specification. 1991
- FIDANT protocol: Cooperation of nodes2fairness in distributed Ad-hoc networks [A]. In: Proc of IEEE/ ACM Workshop on Mobile Ad hoc Networking and Computing (MobiHOC2002) [C]. EPFL Lausanne, Switzerland, 2002. 226~236
- Buchegger S, Le Boudec J Y. Nodes Bearing Grudges: Towards Routing Security, Fairness, and Robustness in Mobile Ad Hoc Networks. In: 10th Euromicro Workshop on Parallel, Distributed and Network-based Processing. Canary Islands, Spain, January 2002. 403~410
- Michiardi P, Molva R. Core: A collaborative reputation mechanism to enforce node cooperation in Mobile Ad Hoc Networks [A]. In: Sixth IFIP conference on security communications and multimedia (CMS2002) [C]. Portoroz, Slovenia, 2002. 107~121
- Bansal S, Baker M. Observation-based Cooperation Enforcement in Ad hoc Networks: [Research Report]. cs. NI/0307012. Stanford University, 2003
- Hu Jiangyi. Cooperation in Mobile Ad Hoc Networks. http://www.cs.fsu.edu/research/reports/TR-050111.pdf. January 11, 2005