

IS-IS 路由协议互操作性测试的研究

赵玉兰 张弘宇 冀超 雷厉霆 朱洋洋 蒋凤仙

(内蒙古大学计算机学院 呼和浩特 010021)

摘要 网络已经成为人们生活中不可或缺的一部分,高效稳定的路由协议变得日益重要。IS-IS路由协议是一种主流的内部网关协议,在一些大型网络当中得到了越来越多的应用。对IS-IS协议互操作性测试进行了研究,使用扩展的Petri网建立了分层的IS-IS协议互操作性测试的交互模型。然后使用可达图对Petri网模型进行分析,根据测试目的,生成测试序列,编写测试例,并手工抽取一些必要的测试例,作为对测试集的补充。最后,搭建测试平台,进行互操作性测试,并对实验结果进行分析。

关键词 IS-IS协议,互操作性测试, Petri网, GNS3 模拟器

Research on IS-IS Interoperability Testing

ZHAO Yu-lan ZHANG Hong-yu JI Chao LEI Li-ting ZHU Yang-yang JIANG Feng-xian

(School of Computer Science, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China)

Abstract Internet has become an integral part of our life, and it is important to have routing protocols that are effective and stable. IS-IS is a major interior gateway protocol which is applied in some large networks widely. We researched the IS-IS interoperability testing, and established a layered IS-IS protocol interoperability testing interactive model based on the Extended Petri Net. Then we analyzed the Petri net model by using the reachability graph. According to test purpose and generated test sequences, we programed test cases and took some necessary test cases manually as a complement of the test set. Finally, we built the test platform for interoperability testing, and analyzed the test results.

Keywords IS-IS, Interoperability testing, Petri net, GNS3

1 引言

信息化已成为当今社会发展的大趋势,相应地,作为网络核心部分的协议,发展速度也很快。然而,协议规范通常采用自然语言进行描述,可能存在一些二义性,使得不同的人对其产生不同的理解。为了保证各网络产品能够正常使用,需要对其进行测试,即协议测试。协议测试包括一致性测试、互操作性测试、性能测试和鲁棒测试。一致性测试的目的是检测协议实现与协议说明之间是否相一致,这是协议测试的最基本工作。互操作性测试的目的主要是,检测两个或者多个协议实现之间能否进行正确的通信和交互。互操作性测试是在一致性测试基础上发展起来的。早期对互操作性测试的研究,很多都是将一致性测试的方法移植到互操作性测试当中。然而,互操作性测试本身的一些特点使得一致性测试的方法不能完全适用于互操作性测试当中。文献[1]对一致性测试和互操作性测试的关系和区别进行了研究。目前,对互操作性测试的研究越来越被重视,一些大的组织机构,例如 ETSI、ITU-T、ISO 等均已开展相应的工作,并取得了一些成果^[2-4]。

目前,国内外对互操作测试的研究主要集中在测试框架和方法、形式化建模、测试生成等方面。日本的TAHI项目对IPv6协议的一致性测试和互操作性测试进行了长期的研究,对DHCP、BGP、RIPng等协议进行了测试,并在其网

站上公布了相应的研究结果。欧洲的ETSI对一致性测试和互操作性测试的关系进行了分析,强调了互操作性测试的重要性,并免费公开了ETSI互操作性测试方法、测试标准以及部分测试套。美国新罕布什尔大学互操作实验室IOL也对互操作性测试进行了深入的研究,对OSPF、BGP、RIPng、LDP等协议进行了互操作性测试,在其官网上免费公布了部分的测试套。国内的清华大学在协议测试领域处于领先地位,在协议一致性测试和互操作性测试方面都做了大量卓有成效的工作,开发了协议集成测试系统PITS,并对多家厂商的路由产品进行了测试。另外,中科院计算所开发了一个通用的完整的协议测试平台,其涵盖了35个RFC,599个测试套,可对IPv6协议进行一致性测试。中国科技大学、上海交通大学、兰州大学、内蒙古大学等高校,也都在协议一致性测试和互操作性测试领域取得了一定的成果。由电信研究院、华为、中兴公司参与起草、工信部颁布的中国通信行业标准,也对多个协议的互操作测试过程进行了规定。

中间系统-中间系统(Intermediate System to Intermediate System, IS-IS)路由协议,与RIP、OSPF等协议一样,是一种主流的内部网关协议。IS-IS协议最早是由国际标准化组织ISO定义的,用于实现OSI七层网络模型中无连接的网络路由功能。IP协议的应用远比OSI开放系统应用广泛,发展迅猛,而IS-IS协议由于其自身简单、快速收敛等特性得到了广

本文受内蒙古自然科学基金(2010MS0914)资助。

赵玉兰(1963-),副教授,主要研究方向为网络协议测试, E-mail:cszyl@imu.edu.cn.

泛的应用,因此,IETF工作组对 IS-IS 协议进行了改进,使其能够同时运行在 OSI 和 TCP/IP 两种网络环境中。IS-IS 协议具有分层的网络路由、可扩展性强、收敛速度快、稳定性好等特点,特别适合于大型网络,在大型网络当中,其性能要比 OSPF 协议好。因此,在一些大型网络当中,IS-IS 路由协议得到了越来越多的应用。许多厂商,例如思科、华为、中兴等,都推出了支持 IS-IS 协议的网络产品。然而,相对于 RIP、BGP、OSPF 等协议,对 IS-IS 协议的研究还是相对较少。国内外对 IS-IS 协议测试的研究,也多集中于一致性测试当中。美国新罕布什尔大学互操作实验室 IOL 在其网站上公布了 IS-IS 协议一致性测试的相关测试套标准,但是尚未给出 IS-IS 互操作性测试套。因此,需要对 IS-IS 协议进行互操作性测试的研究。

本文的主要工作如下:

首先,对 Petri 网进行必要的扩展,根据协议说明中对协议各个部分的描述,采用扩展的 Petri 建立 IS-IS 协议互操作性测试的模型。

其次,对 Petri 网模型进行分析,并生成测试序列。然后结合测试目的,手工抽取一些必要的测试例,作为对测试集的补充。

最后,搭建测试平台,利用得到的测试例对 IS-IS 协议进行互操作性测试,并对结果进行分析。

2 IS-IS 路由协议概述

IS-IS 协议是一种得到广泛应用的、功能强大的路由选择协议。IS-IS 协议最早是由国际标准化组织 ISO 定义^[5]的, IETF 工作组对 IS-IS 协议进行了改进,使其能够同时运行在 OSI 和 TCP/IP 两种网络环境中^[6]。IS-IS 协议支持分层路由,以便在大型网络中管理选路和实现可扩展路由选择^[7,8]。一个运行 IS-IS 协议的路由域被分成 Level1 (L1)层和 Level2 (L2)层。同一 L1 区域内使用 L1 路由,不同区域间使用 L2 (L1/L2)路由器相连,只有同一层次的相邻路由器才有可能形成邻接关系^[9,10]。相应地,路由器被分成 3 种类型:L1 路由器、L2 路由器和 L1/L2 路由器。IS-IS 协议数据包分为 3 大类,共 9 种。其中,Hello 数据包用于路由器建立和维护 IS-IS 邻居的邻接关系。链路状态数据包 LSP 用于在 IS-IS 路由器间发布路由选择信息。序列号数据包 (Sequence Number PDU, SNP)用于控制链路状态数据包的发布,提供 IS-IS 路由域内所有路由器的分布式链路状态数据库的同步机制。序列号数据包又分为完全序列号数据包 (Complete Sequence Number PDU, CSNP)和部分序列号数据包 (Partial Sequence Number PDU, PSNP)。IS-IS 协议路由层的功能主要分为 2 类:子网相关功能和子网独立功能。子网相关功能负责与数据链路层相兼容,在各种类型的链路上检测、形成和维护路由器的邻接关系。子网独立功能提供路由选择及相关控制信息的管理和交换。子网独立功能是 IS-IS 协议的核心功能。

3 IS-IS 路由协议互操作性测试模型的建立

3.1 扩展 Petri 网介绍

Petri 网的概念,最早是在 1962 年,由德国科学家 Carl

Adam Petri 在他的博士论文"Communication with Automaton"中提出的。

在本文中,针对 IS-IS 协议既支持点对点网络链接,又支持广播网络的特点,为了更加便于描述 IS-IS 协议的互操作过程,特别是有关数据包发送和接收的活动,采用了文献[11, 12]的部分思想对 Petri 网进行了一些扩展:

用——表示发包变迁,该类变迁表示路由器在某一状态下发送数据包发生的变迁。

用——表示收包变迁,该类变迁表示路由器在某一状态下接收到数据包发生的变迁。

用——►表示点对点网络下发生变迁所对应的弧。

用——►表示广播网络下发生变迁所对应的弧。

采用上述的扩展方法,区分发包变迁和收包变迁的目的,是为了更清晰地描述数据包的传递过程,即确定哪一方是发送端,哪一方是接收端,这有利于互操作性测试的研究,从 Petri 网模型的图形表示上看也更加直观。区分实线弧和虚线弧,是出于以下原因:由于建模时广播网和点对点网络融合在一起,用不同的弧表示,可减少遍历时的无效路径。

在建模时,一个必须考虑的问题是模型粒度的大小。不同的粒度大小,对于模型的建立有着很大的影响。以本文的研究为例,如果建模时粒度大,库所代表的是某一路由器的状态,那么对于点对点网络和广播网络所对应的弧,可以不区分实线、虚线,因为一台路由器可能有多个接口同时运行 IS-IS 协议。某些接口的链路是广播型的,某些接口的链路是点对点类型的,多个路由器同时运行时,一台路由器既是点对点网络中的路由器,又是广播网络中的路由器,无论是点对点网络还是广播网络所对应的变迁,都有可能被点火。可以用这样的模型描述系统的并发,例如某路由器的两个接口 A 和 B 分别连接的是点对点网络和广播网络,同时由一个库所经过一个变迁到达另外一个库所,接口 A 和 B 分别对应的是点对点网络和广播网络下的变迁。但是,如果建模粒度小,库所代表的是路由器特定接口的状态,那就要区分实线虚线。因为针对某一特定接口来说,链路类型是固定的,或者广播,或者点对点,如果不区分不同网络环境下发生某一变迁所对应的弧,就可能存在如下问题:某一个库所 A 经过一个广播网络下的变迁 T1 到达状态 B,然后又经过一个点对点网络下的变迁 T2 到达状态 C,但是实际中 T1T2 这样的变迁序列是不存在的,所以 T1T2 对应的测试序列我们也认为是无效序列。为了避免这一问题,采用区分实线虚线的办法。为了直观地解释上述问题,用图 1 描述了上述的场景。

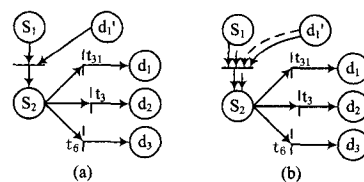


图 1 区分实线、虚线弧前后的 Petri 网模型的对比

图 1(a)所示的是未区分广播网络和点对点网络所对应的弧的一个 Petri 网模型。其中,变迁 t_2 在点对点网络和广播网络中都能发生,变迁 t_3 只能在点对点网络下发生,变迁 t_6 和变迁 t_{31} 只能在广播网络下发生。假设在点对点网络环

境下,库所 S_1 经过变迁 t_2 到达库所 S_2 后,由于无法区分变迁 t_2 是在点对点网络下还是在广播网络下发生的,因此变迁 t_3, t_6, t_{31} 均有可能被点火。然而,实际上只有序列 $t_2 t_3$ 是正确的,序列 $t_2 t_6$ 和序列 $t_2 t_{31}$ 都是无效序列。这样在建模时,人为地引入一些无效的变迁序列,可能导致模型的状态空间发生爆炸,并且对下一步抽取测试序列产生影响,在测试集中加入了一些无效的测试序列。

图 1(b)所示的是改进后的 Petri 网模型,虚线弧对应的是点对点网络,实线弧代表的是广播网络。如果上一步经过虚线弧对应的变迁到达一个库所,则下一步只能经过虚线弧对应的变迁到达下一个库所。例如在点对点网络环境下,库所 S_1 经过变迁 t_2 到达库所 S_2 ,只能经过变迁 t_3 到达库所 d_2 ,不能对变迁 t_6 和 t_{31} 进行点火。

由此可见,区分点对点网络和广播网络下变迁所对应的弧,可以有效地减少建模过程中可能引入的无效测试序列。

本文中对 Petri 网扩展,只是针对 IS-IS 协议本身的特点而采用的,对于其他协议是否有效,尚未进行验证。

3.2 基于 Petri 网的 IS-IS 互操作性测试的交互模型的建立

在建立 Petri 网的互操作测试交互模型时,只考虑两台路由器一对一的情况。为了区分两台路由器 IS_1 和 IS_2,用状态库所 S 代表路由器 IS_1 的状态,用数据库所 d 代表路由器 IS_1 发出的数据包;用库所 S' 代表路由器 IS_2 的状态,用库所 d' 代表路由器 IS_2 发出的数据包。变迁 t 表示路由器 IS_1 对应的变迁,变迁 t' 表示路由器 IS_2 对应的变迁。在广播网络下,我们假设路由器 IS_2 最终被选举为 DIS。

另外,为了减少 Petri 网模型的复杂度,在不影响模型的基础上,对其进行了化简。例如,省略一些变迁,比如所有状态库所都可以因为超时变迁而到达表示状态 Down 的变迁。这些变迁对应的测试序列,在后期可以通过手工查找进行补充。还有在广播网络下,某个路由器发送 PSNP 数据包请求缺失的或者更新的 LSP、DIS 或者相应的 IS 路由器在收到请求报文后,都可以向该路由器发送被请求的 LSP。在建模时,只考虑 DIS 发送被请求的 LSP 的情况,另外一种情况对应的测试序列也可以通过手工查找进行补充。

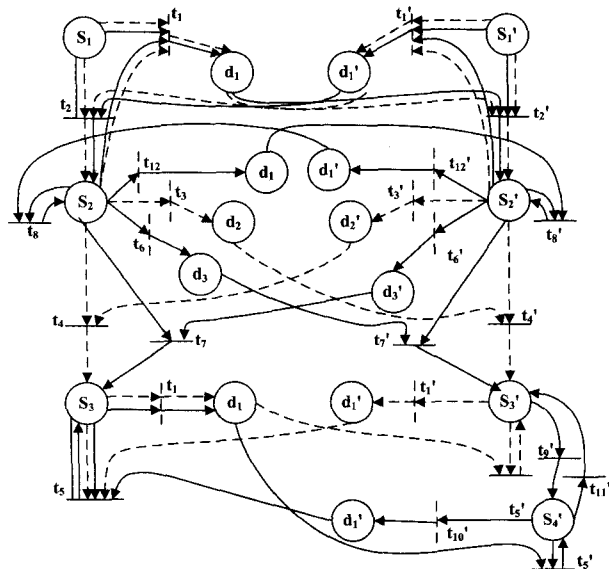


图 2 IS-IS 协议子网相关的 Petri 网交互模型

考虑到 IS-IS 协议的复杂性以及互操作性测试研究的目的,本文中仅对 IS-IS 协议子网相关部分进行建模。根据文献[6]可以得到 IS-IS 协议的有限状态机,然后将 FSM 模型中的状态转换为 Petri 网当中的库所;将 FSM 模型中的边转换为 Petri 网当中的变迁;将 FSM 模型中边上标识的输入数据转换为 Petri 网当中的输入库所;将 FSM 模型中边上标识的输出数据转换为 Petri 网当中的输出库所。这样即可得到相应的 Petri 网模型。

图 2 是 IS-IS 协议子网相关的 Petri 网交互模型。

表 1 列出了图 2 中各库所的符号和名称。库所 S 表示状态库所, d 表示数据库所。

表 1 IS-IS 协议的 Petri 网交互模型库所表

库所	库所名	库所	库所名
S_1, S_1'	Down	d_1, d_1'	Hello 包
S_2, S_2'	Init	d_2, d_2'	回应 Hello 包
S_3, S_3'	Up	d_3, d_3'	后续 Hello 包
S_4'	DIS		

表 2 列出了图 2 中各变迁的符号和名称。

表 2 IS-IS 协议的 Petri 网交互模型变迁表

变迁	变迁名	变迁	变迁名
t_1, t_1'	发送 Hello 包	t_7, t_7'	收到后续的 Hello 包确认二步通信,邻接关系计时器重置,建立起邻居关系
t_2, t_2'	接收 Hello 包	t_8, t_8'	路由器收到后续 Hello 包,但是未确认二步通信,仍为一步通信,邻居关系未建立
t_3, t_3'	发送回应 Hello 包	t_9'	路由器被选举为 DIS
t_4, t_4'	接收新的 Hello 包	t_{10}'	DIS 发送 Hello 包,发送频率是其他路由器的 3 倍
t_5, t_5'	IIHPPDUdrop	t_{11}'	DIS 失效
t_6, t_6'	发送后续 Hello 包,发送方源 SysID 在接收方邻接关系数据库中	t_{12}, t_{12}'	发送一步 Hello 包,发送方源 SysID 不在接收方邻接关系数据库中

4 IS-IS 互操作测试序列生成

4.1 基于 Petri 网的 IS-IS 互操作性测试序列生成

采用 Petri 网建模的一个很重要的原因就是可以借助一系列的分析工具,例如,可达树、矩阵方程、可达图等对 Petri 网进行分析。其中,可达图在分析 Petri 网的可达性、活性等方面比可达树更有优势^[13],因此本文采用可达图作为 Petri 网的分析工具。

文献[14]介绍了一种从 Petri 网可达图生成测试序列的算法。文献[15]提出了一种在复合有限状态机的有向转换图 G 上生成完全覆盖的互操作测试序列的方法。在此基础上,文献[16]对其进行了改进,提出了一种基于有向图的最小完全覆盖互操作测试序列生成算法。Petri 网可达图本身即为一个有向图,因此可以采用文献[16]的思想。本文的研究结合文献[15,16]的部分思想,使用如下的算法得到 IS-IS 协议互操作测试序列:

算法 1

1) 首先对 Petri 网可达图进行分析,根据不同的测试目的,区分互操作转换序列和本地转换序列;

2) 用表示最短的本地转换序列的边(超边)代替所有的本地转换序列,生成一个新的有向图(Petri 网可达图);

从图 4 可知,表 3 中 TR1 和 IUT 之间形成了点对点连接(P2P),其中 TR1 的 System-ID 为 0000.0000.0001,IUT 的 System-ID 为 0000.0000.0002。IUT 和 TR1 都周期性地发送 Hello 包,时间间隔为 10s,holdtime 为 30s。

图 5 中,通过路由器的 console port 端口,可以对路由器进行配置,并可以观察路由器邻接关系数据库。图中路由器 R1 为 IUT,其邻接关系数据库的 holdtime 时间在每隔 10s 收到 R2(TR1)发送的 Hello 包后重置。

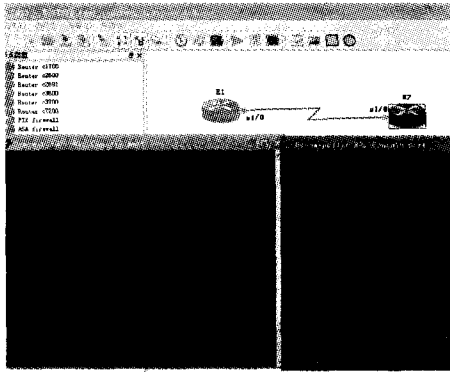


图 5 表 3 所列的实验中路由器的连接邻接关系计时器重置过程

测试结果符合测试预期,该测试通过。

在本文的研究中,对得到的测试例,在 GNS3 下模拟的 Cisco 路由器上进行测试。通过测试发现,大部分测试例通过了测试,但仍有一小部分测试例没有通过测试,其主要原因是路由器并未实现相关功能,或者是对协议说明当中不确定的描述,选取了不同实现方式。另外,还有一部分测试例,因为测试条件不满足,如测试设备不符合要求、内部活动不可观察等原因,无法进行测试。表 4 给出了测试结果。

表 4 IS-IS 协议互操作性测试结果

测试组	测试例数目	通过	未通过	条件不足
子网相关功能	点对点网络 8 个	7	0	1
	广播网络 16 个	13	0	3

结束语 本文对 IS-IS 协议互操作性测试进行研究,建立了 IS-IS 协议互操作性测试的 Petri 网模型。对 Petri 网模型进行分析,并生成测试序列;然后结合测试目的,手工抽取一些必要的测试例,作为对测试集的补充;最后,搭建测试环境进行测试并分析结果。下一步的研究工作,可以对建立的互操作性模型进行优化。一是在不影响已有覆盖度的前提下,研究如何减少模型的复杂度;二是模型没有描述的功能,对其进行补充,使其能够覆盖更多的协议功能。

参考文献

[1] Kang S. Relating interoperability testing with conformance testing[C] // Proc of Global Telecommunications Conference. USA: IEEE Computer Society Press, 1998: 3768-3773

[2] ETSI. Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON) Release 4; Interoperability test methods and approaches; Part 1; Generic approach to interoperability testing-V4. 1. 1[S]. France, TS, 102 237-1. 2003-12-1

[3] ETSI Methods for Testing and Specification (MTS); Internet Protocol Testing (IPT); Generic approach to interoperability testing-V1. 1. 2[S]. France, EG, 202 237. 2007-04

[4] ETSI. Title Methods for Testing and Specification (MTS); Internet Protocol Testing (IPT); IPv6 Core Protocol; Interoperability Test Suite (ITS)-V2. 0. 1[S]. France, TS, 102 517. 2008-01

[5] Network Working Group. Intermediate System to Intermediate System Intra-Domain Routing Exchange Protocol for use in Conjunction with the Protocol for Providing the Connectionless-Mode Network Service[S]. ISO 8473. 1990

[6] Callon R. Use of OSI IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments[R]. Network Working Group, RFC 1195. 1990

[7] 赵玉兰,刘莹泽,萨仁高娃,等. 基于 TTCN-3 的 IS-IS 协议一致性测试的研究[J]. 计算机科学, 2009, 36(8 专刊): 47-49

[8] Zhao Yu-lan, Liu Ying-ze, Hai Chun-mei, et al. Research on the Conformance Testing of the IS-IS Routing Protocol on TTCN-3 [J]. Computational Intelligence and Software Engineering (CISE), 2009, 5363911

[9] Zhao Yu-lan, Jia Ya-zhe, Zhang Hong-yu. The Design and Implement of Protocol Test Cases Automatically Generating System Based on TTCN-3[C] // International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC). Wuhan, 2010

[10] Zhao Yu-lan, Liu Ying-ze, Guo Xiao-qing, et al. Conformance Testing for IS-IS Protocol Based on E-LOTOS[C] // IEEE International Conference on Information Theory and Information Security (ICITIS). Beijing, 2010

[11] 郭希民,吴哲辉,孙锐. 基于带抑止弧时间 Petri 网的 IEEE802. 2 LLC3 型协议的建模[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(35): 45-48

[12] Zheng Xiao, Qin Feng. Automatic test case generation of protocols based on Petri nets[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Nature Science Edition, 2006, 34(3): 25-28

[13] 周建涛,叶新铭. Petri 网的可达图与可达树的比较[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2000, 31(1): 117-120

[14] 杭成宝. OSPFv3 协议的互操作性测试研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2009

[15] Hao Rui-bing. Integrated system interoperability testing with applications to VoIP[C] // the IFIP TC6 WG6, Conf. FORTE XIII/PSTV XX. Netherlands, Kluwer, 2000: 69-84

[16] 林华辉,赵保华,屈玉贵. 基于有向图的最小完全覆盖互操作测试序列生成算法[J]. 中国科学技术大学学报, 2006, 36(2): 225-229

[17] University of New Hampshire InterOperability Laboratory. Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) Operations Test Suite Revision 4. 4[M]. Durham, 2006

[18] 石右康,魏亮,袁琦. YD/T1521-2006 路由协议互操作性测试方法[S]. 中华人民共和国信息产业部, 2006