

IS-IS 路由协议的研究与仿真^①

熊建辉

(福建师范大学 协和学院, 福州 350117)
通讯作者: 熊建辉, E-mail: 1114136574@qq.com

摘要: IS-IS 是一种链路状态路由协议, 相比 OSPF 更高效而稳定的特性被从 OSI 引入到 TCP/IP 协议栈, 其既支持 CLNP 也支持 IP 路由. 在对 IS-IS 协议 NSAP 地址、区域类型、报文类型及工作原理等深入研究的基础上, 设计了一种多区域多网络类型的 IS-IS 实验网络模型, 并通过 Dynamips 仿真平台实现. 结合抓包及对 IS-IS LSDB 等等表分析, 仿真结果验证了 IS-IS 协议机制和原理, 为在实际网络中的部署提供了参考, 并且该实例可直接迁移到实际网络中.

关键词: IS-IS; 链路状态路由协议; TCP/IP; Dynamips

引用格式: 熊建辉. IS-IS 路由协议的研究与仿真. 计算机系统应用, 2018, 27(12): 240-245. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6719.html>

Research and Simulation of IS-IS Routing Protocol

XIONG Jian-Hui

(Concord University College, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China)

Abstract: IS-IS is a link state routing protocol, which is introduced into the TCP/IP protocol stack because of its high efficient and stable features from the OSI protocol stack. IS-IS supports both the CLNP and the IP routing. On the basis of the in-depth study of IS-IS protocol by NSAP address, area type, message analysis and working principle, an IS-IS experimental network model of multi-region and multi-network is designed, and it is successfully realized through the Dynamips simulation platform. The simulation results verify the mechanism and principle of IS-IS protocol with the analysis of packet capture and neighbor table, topology table, and LSDB, which can provide reference for deployment in the actual network, and the instance can be migrated to the actual network seamlessly.

Key words: IS-IS; link state routing protocol; TCP/IP; Dynamips

互联网经济蓬勃发展及万物互联, 数据流量越来越大, 运营商网络不断升级扩大、骨干网络路由器承载的路由条目越来越多、路由压力不断增大, 路由的快速收敛和稳定性非常重要. 中间系统到中间系统 (Intermediate System-to-Intermediate System, IS-IS) 作为 ISO 定义的路由协议标准 (ISO/IEC 10589) 并一开始就应用在运营商网络中. 并且 IS-IS 稳定性和可扩展性好, 在巨量路由条目的情况下, IS-IS 比

OSPF 更有效率, 更适合网络运营商部署^[1], 其巨大的吸引力也促使其成为了骨干网络中路由协议的研究和应用热点.

本文重点是研究 IS-IS 路由协议的技术框架、原理, 并基于 Dynamips 和思科 unzip-c7200-js-mz.124-12.bin 的 IOS 仿真设计并实现了一个多区域多网络类型的集成 IS-IS 仿真实例网络, 验证了 IS-IS 协议工作机制, 仿真设计方案还可直接移植到实际的网络中.

① 基金项目: 福建省本科高校教育教学改革研究项目 (FBJG20170289); 福建省中青年教师科研项目 (JAT170865; JAT170868)

Foundation item: Undergraduate Teaching Reform Program of Higher Education in Fujian Province (FBJG20170289); Mid-aged and Young Faculties Research Program of Fujian Province (JAT170865, JAT170868)

收稿时间: 2018-06-26; 修改时间: 2018-07-27; 采用时间: 2018-08-08; csa 在线出版时间: 2018-12-03

1 IS-IS 概述及地址

因互联网的开放性而包含了丰富的协议栈,最著名的当属 ISO/OSI RM 和 TCP/IP. 并且 OSI RM 作为 ISO 标准,但随着技术的发展, TCP/IP 成了事实上的标准. IS-IS 与 CLNP、ES-IS 作为 OSI RM 中网络层的三大协议,并且相互独立,均直接封装在链路层帧内、效率高. IS-IS 协议开发之初就是应用在运营商 (ISP) 网络,为基于 Dijkstra 的 SPF 算法的一种链路状态路由协议. 根据 ISO/IEC 10589 标准,最初 IS-IS 仅支持 OSI 中的 CLNP 路由^[2],但由于 IP 的发展壮大及 IS-IS 优良特性,后来 IETF 对 IS-IS 进行了兼容性改造,形成了 RFC1195,才同时支持 OSI 和 TCP/IP 协议栈,也即“集成”或“双栈”IS-IS^[3]. 考虑到 TCP/IP 占主导地位,本文中讨论的为集成 IS-IS,为了讨论的方便以下描述中直接用 IS-IS 代替集成 IS-IS.

IS(Intermediate System)即中间系统,即路由器,与之相对应的有 ES(End System)端系统,如计算机. NSAP(Network Service Access Point)即网络服务访问点,作为 OSI 中网络层的地址,代表整个节点(而非节点的某个接口)即一个 IS,其结构如图 1 所示,长度介于 8 字节到 20 字节字节,分为 IDP(域的初始部分)和 DSP(域的特定部分); IDP 用来标识域,相当于 IP 地址中的主网络号,又分为 AFI(授权和格式标识符)和 IDI(初始域标识符),AFI 表示地址分配机构和地址格式(如 AFI 为 49 是 RFC1618 中预留的私有地址),IDI 用来标识域; DSP 相当于 IP 地址中的子网号和主机地址,其中 High Order Dsp 和 IDP 的 AFI、IDI 一起构成 Area 字段,作为域的区域地址; System ID 即系统地址固定长度为 6 字节,标识区域中的路由器 (IS),在每个区域中要保持唯一性; NSEL 即选择位,标识 IS 上的进程(端口),把 NSEL 为 0x00 的 NSAP 地址称为 NET 地址. 即使 IS-IS 工作在纯 IP 网络中时,也需要 NSAP 地址,并且思科公司把 NSAP 地址从右向左分别区分为 1 个字节 NSEL、6 个字节的系统 ID 和其余至少 3 个字节的区域地址等三个部分.



图 1 NSAP 地址格式

SNAP(Subnet point of Attachment)子网接入点,为

链路层地址,类似与以太网中的 MAC 地址. 电路地址是路由器 (IS) 上标识不同接口的,在点到点网络中用 SNAP 表示. 在以太网中用 6 字节的系统 ID 加 1 字节的接口编号表示电路地址,并且在思科公司设备中用 hostname 代替系统 ID. 一个路由器 (IS) 由于有多条链路因此需要多个 SNAP 地址,但只有一个 NSAP 地址.

2 IS-IS 路由协议原理

2.1 IS-IS 基本术语

IS-IS PDU: IS-IS 为了形成邻接表、得到 LSDB、生成拓扑表等,引入了 IS-IS PDU(协议数据单元), IS-IS PDU 是直接封装在数据链路层中而非 IP 或 CLNP 的首部之后. IS-IS PDU 主要为 Hello、LSP、PSNP 及 CSNP 等四类报文,报文格式如表 1 所示,其中:附加头部字段与 TLV 字段均为 8 位的整数倍,具体长度与 PDU 报文类型有关. 特别值得说的是 TLV 字段,其包括 Type(8 位)、Length(8 位,表示 Value 值的长度)和 Value(值),IETF 可根据需要新定义 Type 值向后兼容,从而可以拓展 IS-IS 协议的应用领域.

表 1 IS-IS PDU 报文格式

域内路由协议鉴别符	PDU 首部长度	Version==1	系统 ID 长度	32 位
PDU 类型	Version2==1	Reserved	Max.Areas	32 位
附加首部字段	附加首部字段	变长
TLV 字段	TLV 字段	变长

IS-IS 网络类型: IS-IS 支持多路访问广播网络 (BMA) 和点到点网络 (P2P) 两种网络类型.

IS-IS 区域类型: 为了支持大规模的路由网络, IS-IS 域 (Domain) 划分成两层结构,即骨干区域、非骨干区域. 非骨干区域有区域地址,骨干区域为逻辑区域没有区域地址. 区域中的路由器角色分 Level-1、Level-2、Level-1-2 三种. 骨干区域由连续 Level-2 路由器和 Level-1-2 路由器组成,负责传递交换不同区域间 LSP,骨干区域如图 2 所示. 骨干区域中的 Level-2 路由器必须是物理连续的,以保证骨干区域的连续性. 每台路由器只能属于一个区域,区域边界在链路上.

2.2 IS-IS 工作过程

IS-IS 作为一种链路状态的路由协议,每个路由器均形成一个邻接表,建立邻居关系后维护一个信息一致的链路状态数据库 (LSDB),进而形成整个网络的拓扑图 (拓扑表),在利用 Dijkstra 的 SPF 算法计算出 IS-

IS 路由条目, 最终路由器根据管理距离值 (AD) 选择是否放入路由表。

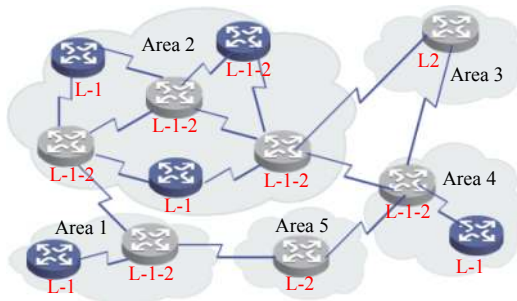


图2 IS-IS 骨干区域

(1) 建立邻接关系

通过发送 Hello 报文用来建立和维护邻接关系形成邻接表, Hello 报文有 ESH、ISH 及 IHH 等三种, 其中 ESH 与 ISH 是发生在 ES 与 IS 之间的; IHH 即 IS-IS Hello, 由 IS 定期发给邻居 IS 以建立并维持邻接关系。Level-1 路由器只与同区域 Level-1 和 Level-1-2 路由器形成邻居关系, Level-2 路由器可与同区域或者其它区域 Level-2 和 Level-1-2 路由器形成邻居关系。同时属于 Level-1 和 Level-2 的路由器称为 Level-1-2 路由器, 可与同区域的 Level-1 和 Level-1-2 路由器形成 Level-1 邻居关系, 也可与同区域或者其他区域的 Level-2 和 Level-1-2 路由器形成 Level-2 的邻居关系。

(2) 维护 LSDB 形成拓扑表

形成邻接关系的 IS 之间会发送 LSP(链路状态 PDU), 用来交换链路状态信息实现 LSDB 同步。在 BMA 网络中 IS-IS 选举一个路由器作为 DIS(Designated Intermediate System)。DIS 负责创建和更新伪节点(Pseudonodes), 并生成伪节点的链路状态协议数据单元 LSP。伪节点是用来模拟广播网络的一个虚拟节点, 伪节点通过 DIS 的 System ID 和一个字节的 Circuit ID(非 0 值) 来标识。使用伪节点可简化网络拓扑, 使路由器产生的 LSP 长度较小, 当网络发生变化时, 需要产生的 LSP 数量也会较少, 减少 SPF 的资源消耗使 SPF 计算更快。Level-1 和 Level-2 的 DIS 分别选举, 用户可以为不同级别的 DIS 选举设置不同的优先级。DIS 优先级数值最大的被选为 DIS。如果优先级相同, 则其中 MAC 地址最大的路由器会被选中。MBA 网络中 IS-IS PDU 报文通过组播方式传递, Level-1 的组播地位为 01:80:c2:00:00:14, Level-2 的组播地址为 01:80:c2:00:00:15。P2P 网络中不选举 DIS, IS-IS

PDU 通过单播方式传递。

CSNP(完全序列号 PDU), 用来发布 IS 上完整的链路状态数据库, PSNP(部分序列号 PDU) 用来确认和请求链路状态信息。PSNP 在 P2P 网络中, 用于对接收到的 LSP 进行确认; 在 BMA 网络中用于请求所缺少的 LSP。CSNP 在 BMA 网络中由 DIS 周期性发送, 以保证 LSDB 的准确性; 在 P2P 网络中仅在建立邻接时使用。

(3) 计算路由条目

IS-IS 网络中路由器均拥有一致的链路状态数据库并得到拓扑图后, 将根据 Dijkstra 的 SPF 算法计算并创建路由条目^[4]。IS-IS 根据路径 Metric 值来选择到目的网络的最佳路径, 接口缺省的 Metric 值为 10, 链路 Metric 值等于路径所经过出接口 Metric 之和。

维护 Level-1 级的 LSDB 仅包含本区域的路由信息, 维护 Level-2 级的 LSDB 包含区域间的路由信息。同时维护 Level-1 级和 Level-2 级的两个 LSDB 时, Level-1 级的 LSDB 用于区域内路由, Level-2 级的 LSDB 用于区域间路由。

2.3 IS-IS 路由优化

路由器默认为 Level-1-2, 需要同时维护 2 个 LSDB 及发送 2 种类型的 LSP。为提高路由效率建议做如下优化: 区域内路由器设置为 Level-1, 区域间路由器设置为 Level-2, 区域边界路由器默认为 Level-1-2 不变。优化后 Level-1 路由器会添加一条指向 Level-1-2 并且 ATT 位置 1 的路由器的默认路由。同时默认情况下, Level-1 级的路由不含 Level-2 级的路由, 为了提高可靠性或路由策略, 可以根据需要把(部分)Level-2 级的路由发布到 Level-1 级^[5], 这优化称为路由泄漏。

3 IS-IS 网络设计与虚拟仿真

本实验基于 Dynamips 和思科 unzip-c7200-js-mz.1 24-12.bin 型号的 IOS 仿真了一个包含 5 台路由器^[6]的多区域含两种网络类型的 IS-IS 网络, R1、R2、R3 通过 BMA 网络(Ethernet)相连同处于区域 49.0001, R4、R5 分别处于区域 49.0004、49.0005, 该网络设备间连接及接口信息等情况如图 3 所示。实验过程中根据需要设置抓包并分析所抓数据包、邻居表、LSDB、路由表等。

3.1 网络基本配置

按表 2, 分别配置路由器 R1~R5 各端口的 IP 地址和子网掩码等信息, 其中 Lo0 为环回网卡, 测试用。

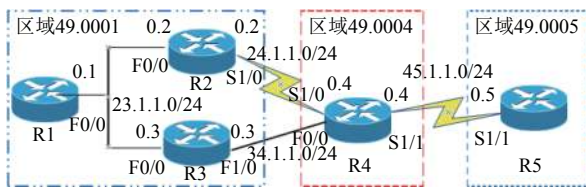


图3 IS-IS网络拓扑

表2 基本配置表

路由器	接口	IP地址	子网掩码
R1	F0/0	123.1.1.1	255.255.255.0
	Lo0	1.1.1.1	255.255.255.0
R2	F0/0	123.1.1.2	255.255.255.0
	S0/0	24.1.1.2	255.255.255.0
R3	F0/0	123.1.1.3	255.255.255.0
	F1/0	34.1.1.3	255.255.255.0
R4	Lo0	3.3.3.3	255.255.255.0
	S1/0	24.1.1.4	255.255.255.0
	F0/0	34.1.1.4	255.255.255.0
	S1/1	45.1.1.4	255.255.255.0
R5	Lo0	4.4.4.4	255.255.255.0
	S1/1	45.1.1.5	255.255.255.0
	Lo0	5.5.5.5	255.255.255.0

3.2 IS-IS 配置

按照表3, 分别配置路由器R1~R5的NET地址, 其中Level类型为默认值, 所有路由器及接口均启用IS-IS.

表3 IS-IS配置表

路由器	默认Level	NET地址
R1	Level-1-2	49.0001.1111.1111.1111.00
R2	Level-1-2	49.0001.2222.2222.2222.00
R3	Level-1-2	49.0001.3333.3333.3333.00
R4	Level-1-2	49.0004.4444.4444.4444.00
R5	Level-1-2	49.0005.5555.5555.5555.00

3.3 测试结果分析

在R1上查看邻居表、拓扑图及LSDB表如图4所示, 可以看出与R2、R3通过f0/0口建立了Level-1-2类型的邻居关系, 路由器默认为Level-1-2, 因此含有Level-1和Level-2的LSDB. 同样在R2、R3、R4、R5上也可以看到类似的表项.

在R1上测试到R5上lo0端口的可达性, 如图5所示, 测试成功.

3.4 优化IS-IS及结果分析

根据上文IS-IS优化原理及本网络拓扑, 分别对路由器R1、R4、R5的Level类型优化设置为Level-1、Level-2、Level-2. 优化后R1的ISIS邻居表不变, 但

ISIS拓扑表和LSDB如图6所示, 表项优化率高达70%. 同样, 在R4、R5上也会优化率达30%. 优化后R1上会自动添加了一条默认路由(*标记), 如图7所示.

```
R1#show clns neighbors
SystemId Interface SNPA State Holdtime Type Protocol
R2 Fa0/0 ca01.0864.0000 Up 27 L1L2 IS-IS
R3 Fa0/0 ca02.0864.0000 Up 9 L1L2 IS-IS
R1#show isis topology
IS-IS paths to level-1 routers
System Id Metric Next-Hop Interface SNPA
R1 --
R2 10 R2 Fa0/0 ca01.0864.0000 |
R3 10 R3 Fa0/0 ca02.0864.0000
IS-IS paths to level-2 routers
System Id Metric Next-Hop Interface SNPA
R1 --
R2 10 R2 Fa0/0 ca01.0864.0000
R3 10 R3 Fa0/0 ca02.0864.0000
R4 20 R2 Fa0/0 ca01.0864.0000
R3 Fa0/0 ca02.0864.0000
R5 30 R2 Fa0/0 ca01.0864.0000
R3 Fa0/0 ca02.0864.0000
R1#show isis database
IS-IS Level-1 Link State Database:
LSPID LSP Seq Num LSP Checksum LSP Holdtime ATT/P/OL
R1.00-00 * 0x00000009 0xA8A0 815 1/0/0
R2.00-00 0x00000009 0x1E0A 760 1/0/0
R3.00-00 0x00000009 0x9D11 982 1/0/0
R3.01-00 0x00000005 0xFB30 684 0/0/0
IS-IS Level-2 Link State Database:
LSPID LSP Seq Num LSP Checksum LSP Holdtime ATT/P/OL
R1.00-00 * 0x0000000A 0x7EF8 813 0/0/0
R2.00-00 0x0000000C 0xBA29 710 0/0/0
R3.00-00 0x0000000A 0x2059 867 0/0/0
```

图4 R1的邻居表、拓扑表及LSDB

```
R1#ping 5.5.5.5 source 1.1.1.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 5.5.5.5, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 1.1.1.1
!!!!
Success rate is 100percent(5/5), round-trip min/avg/max=100/108/116ms
```

图5 R1到R5的可达性测试

```
R1#show isis topology
IS-IS paths to level-1 routers
System Id Metric Next-Hop Interface SNPA
R1 --
R2 10 R2 Fa0/0 ca01.0864.0000
R3 10 R3 Fa0/0 ca02.0864.0000
R1#show isis database
IS-IS Level-1 Link State Database:
LSPID LSP Seq Num LSP Checksum LSP Holdtime ATT/P/OL
R1.00-00 * 0x00000010 0x90BB 816 0/0/0
R2.00-00 0x00000010 0x1011 1111 1/0/0
R2.01-00 0x00000001 0x919E 0(121) 0/0/0
R3.00-00 0x00000010 0xBD18 962 1/0/0
R3.01-00 0x0000000B 0xEF36 840 0/0/0
```

图6 优化后R1的拓扑表和LSDB

```
*L1 0.0.0.0/0 [115/10] via 123.1.1.3, FastEthernet0/0
[115/10] via 123.1.1.2, FastEthernet0/0
```

图7 优化后增加的默认路由

进一步, 当需要提高49.0001区域内部到达

45.1.1.0/24 的可靠性或需要让该区域内拥有该路由条目,可在 R3 上泄漏 45.1.1.0/24 路由到 Level-1, 泄漏后 R1 上的路由表如图 8 所示。

3.5 IS-IS 报文分析

为更进一步验证,分别在 R1 的 f0/0、R2 的 s1/0、R3 的 f1/0 及 R5 的 s1/1 口抓包。R1 f0/0 端口抓到周期性的 Level-1、Level-2 Hello 包 (IIH, BMA 网络) 分别如图 9、图 10 所示。

```

C 123.1.1.0 is directly connected, FastEthernet0/0
  45.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
  ia 45.1.1.0 [115/158] via 123.1.1.3, FastEthernet0/0
  *L1 0.0.0.0/0 [115/10] via 123.1.1.3, FastEthernet0/0

```

图 8 R1 上路由泄漏后的路由

```

IEEE 802.3 Ethernet
  Destination: ISIS-all-level-1-IS's (01:80:c2:00:00:14)
  Source: ca:02:08:64:00:00 (ca:02:08:64:00:00)
  Length: 1500
Logical-Link Control
ISO 10589 ISIS InTRA Domain Routeing Information Exchange Protocol
  Intra Domain Routing Protocol Discriminator: ISIS (0x83)
  PDU Header Length: 27
  Version (==1): 1
  System ID Length: 0
  PDU Type : L1 HELLO (R:000)

```

图 9 R1 的 f0/0 抓获的 Level-1 Hello 包 (IIH)

```

IEEE 802.3 Ethernet
  Destination: ISIS-all-level-2-IS's (01:80:c2:00:00:15)
  Source: ca:01:08:64:00:00 (ca:01:08:64:00:00)
  Length: 1500
Logical-Link Control
ISO 10589 ISIS InTRA Domain Routeing Information Exchange Protocol
  Intra Domain Routing Protocol Discriminator: ISIS (0x83)
  PDU Header Length: 27
  Version (==1): 1
  System ID Length: 0
  PDU Type : L2 HELLO (R:000)

```

图 10 R1 的 f0/0 抓获的 Level-2 Hello 包 (IIH)

优化 IS-IS 后 R1 后在 f0/0 端口抓到周期性的 Level-1Hello 包 (IIH, BMA 网络)、同样 R2 s1/0 端口抓到周期性的 Level-2 Hello 包 (IIH, P2P 网络), 分别如图 11、图 12 所示。

```

ISIS HELLO
  Circuit type : Level 1 only, reserved(0x00 == 0)
  System-ID (Sender of PDU): 1111.1111.1111
  Holding timer: 30
  PDU length: 1497
  Priority : 64, reserved(0x00 == 0)
  System-ID (Designated IS): 3333.3333.3333.01
  Protocols Supported (1)
    NLPID(s): IP (0xcc)
  Area address(es) (4)
    Area address (3): 49.0001

```

图 11 R1 的 f0/0 抓获的 Level-1 Hello 包 (IIH)

```

Cisco HDLC
  Address: Multicast (0xf)
  Protocol: OSI (0xfefe)
  CLNS Padding: 0x03
ISO 10589 ISIS InTRA Domain Routeing Information Exchange Protocol
  Intra Domain Routing Protocol Discriminator: ISIS (0x83)
  PDU Header Length: 20
  Version (==1): 1
  System ID Length: 0
  PDU Type : P2P HELLO (R:000)
  Version2 (==1): 1
  Reserved (==0): 0
  Max. AREAs: (0==3): 0
ISIS HELLO
  Circuit type : Level 2 only, reserved(0x00 == 0)
  System-ID (Sender of PDU): 4444.4444.4444

```

图 12 R2 的 s1/0 抓获的 Level-2 Hello 包 (IIH)

在 R3 的 f1/0 端口抓获的 L2 CSNP 包 (周期性发自 R4, BMA 网络中), 如图 13 所示。P2P 网络中的 CSNP 包就不再一一列举了。

```

IEEE 802.3 Ethernet
  Destination: ISIS-all-level-2-IS's (01:80:c2:00:00:15)
  Source: ca:03:08:64:00:00 (ca:03:08:64:00:00)
  Length: 1500
Logical-Link Control
ISO 10589 ISIS InTRA Domain Routeing Information Exchange Protocol
  Intra Domain Routing Protocol Discriminator: ISIS (0x83)
  PDU Header Length: 33
  Version (==1): 1
  System ID Length: 0
  PDU Type : L2 CSNP (R:000)
  Version2 (==1): 1
  Reserved (==0): 0
  Max. AREAs: (0==3): 0
ISO 10589 ISIS Complete Sequence Numbers Protocol Data Unit
  PDU length: 147
  Source-ID: 4444.4444.4444.00

```

图 13 R3 的 f1/0 抓获的 L2 CSNP 包

在 R5 的 s1/1 口抓获的 L2 PSNP 包 (R5 回应, P2P 网络) 如图 14 所示, 上框是 PDU 首部 (部分), 中间框是附字段表示的是 LSP 入口, Type 值为 0x09, Value 加首部字段 (PSNP 首部), 下框是 TLV 字段 (该 TLV 值长度为 16 字节, Value 值为 0x04 ab 33 33 33 33 33 33 01 00 00 00 00 0a 0a 98), 功能是对 R3 发来的 LSP 的回复。R3 发来的 LSP 报文与本报文摘要及顺序如图 15 所示。BMA 网络中的 PSNP 包就不再一一列举。

以上验证: 在 IS-IS 路由协议中不论是 BMA 还是 P2P 网络中均通过周期性 IIH(Hello) 包建立保持邻接关系; PSNP 在 P2P 网络中用于对接收到的 LSP 进行确认, 在 BMA 网络中用于请求所缺少的 LSP; CSNP 在 BMA 网络中由 DIS 周期性发送以保证 LSDB 的准确性, 在 P2P 网络中仅在建立邻接时发送一次。

```

PDU Type : L2 PSNP (R:000)
Version2 (==1): 1
Reserved (==0): 0
Max. AREAs: (0==3): 0
ISO 10589 ISIS Partial Sequence Numbers Protocol Data Unit
  PDU length: 35
  Source-ID: 5555.5555.5555.00
  LSP-ID: 3333.3333.3333.01-00, Sequence: 0x0000000a, Lifetime: 1195s, Checksum: 0x0a98
  0f 00 fe 08 83 11 01 00 1b 01 00 00 00 23 55 .....HU
  10 55 55 55 55 00 f9 10 04 ab 33 33 33 33 33 33 .....333333
  20 01 00 00 00 00 0a 0a 98

```

图 14 R5 的 s1/1 抓获的 L2 PSNP 包

```

ISIS          L2 LSP, LSP-ID: 3333.3333.3333.01-00, Sequence: 0x0000000a, Lifetime: 1197s
SLARP        Line keepalive, outgoing sequence 586, returned sequence 587
ISIS          L2 PSNP, Source-ID: 5555.5555.5555.00

```

图 15 R5 的 s1/1 观察到 LSP 及 PSNP 包

通过以上仿真实验,结合 NSAP 地址、邻居表、拓扑表、路由表及 LSDB 表及抓获的 Hello、LSP、PSNP、CSNP 等信息分析了 IS-IS 协议的工作原理并解析了各种表及 IIIH、LSP 信息的转发的过程,验证了 IS-IS 路由协议整个技术框架和原理。

4 结论

IS-IS 协议既支持 CLNP 路由也支持 IP 路由,还可通过 TLV 拓展 IS-IS PDU 实现向后兼容 IPv6、MPLS-TE^[7]等,工作原理复杂。通过 Dynamips 平台及 unzip-c7200-js-mz.124-12.bin IOS 仿真设计并实现了一个 IS-IS 实例网络,并基于对邻接表、LSDB、拓扑表等相关信息和抓获的报文的分析,清晰验证了 IS-IS 路由协议技术原理和特性。并且该仿真设计方案可直接移植到实际网络中,对指导实际网络的应用有一定应用价值。

参考文献

1 李彦刚, 邓文平, 王宏, 等. 域内路由协议 OSPF 与 IS-IS 差

异性的研究与分析. 计算机科学, 2015, 42(S1): 256-259.

2 ISO/IEC 10589: 2002(E) Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Intermediate System to Intermediate System intra-domain routeing information exchange protocol for use in conjunction with the protocol for providing the connectionless-mode network service (ISO 8473). Switzerland, 2002. 11-15.

3 Callon RW. RFC1195 Use of OSI IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments, 1990. 12.

4 马素刚. 路由协议 OSPF 的研究与仿真. 计算机系统应用, 2016, 25(5): 228-231.

5 Li T, Przygienda T, Smit H. RFC5302 Domain-wide prefix distribution with two-level IS-IS. United States: RFC Editor, 2008. 10.

6 熊建辉. BGP/MPLS VPN 技术研究及在 Dynamips 中的仿真实现. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2018, 33(1): 29-34.

7 赵玉兰, 张弘宇, 冀超, 等. IS-IS 路由协议互操作性测试的研究. 计算机科学, 2012, 39(S1): 146-150.