



基于 LACP 的链路聚合测试方法研究和实践

郭 亮

(中国电信股份有限公司广东研究院 广州 510630)

摘 要:基于 LACP 的链路聚合技术在电信运营商现网部署中被广泛应用,其不仅是一种廉价且有效增加链路带宽的方法,同时也是提高网络稳定性的一种方案。首先简要介绍了 LACP 的原理,分析了常见应用场景,提出了 LACP 实验室的验证解决方案,列举了关键参数和测试要点,最后运用网络测试仪进行协议和流量的模拟验证。

关键词:LACP;链路聚合;收敛时间

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.08.029

Study and Practice on Test Methodology of Link Aggregation Based on LACP

Guo Liang

(Guangdong Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China)

Abstract: LACP is a link aggregation technologies which has been widely deployed in network architecture, it is considered as a low cost but effective way to increase bandwidth and improve stability of network as well. LACP technologies were introduced, common cases in real network were analyzed, and a solution on LACP validation in lab environment was put forward. Key points on LACP functional and performance validation were provided, and these were implemented in lab environment by using Ixia tester to emulate protocols and traffics over LACP.

Key words: LACP, link aggregation, convergence time

1 引言

随着网络应用的快速发展和流量的指数级增长,对网络带宽的需求不断提高,运营商最直接的网络带宽扩充方式,是将低速率端口替换成高速率端口,如 1 Gbit/s 上行端口扩展成 10 Gbit/s,但带来的数据设备、传输设备的更新成本巨大;而链路聚合可以将多条物理链路逻辑上聚合一条带宽更高的逻辑链路,提供所聚合物理链路带宽之和的带宽。

同时,链路聚合也能实现所聚合的多条物理链路之间的相互动态备份,当其中一条物理链路出现故障时,其他链路接管故障链路所承载的业务和流量,从而提高网络的稳定性。

IEEE 802.3ad 定义了链路聚合的标准,而其中主要内容链路聚合协议(link aggregation control protocol,LACP)是实现链路动态聚合的协议之一。LACP 也是目前各个厂商广泛遵从的链路聚合协议,在现网实践中,不同厂商设备可以通过 LACP 实现捆绑链路的互通。

在现网部署中,常见的部署方式如图 1 所示。图中 3 条物理链路聚合成一条捆绑链路,该链路逻辑上是个整体,内部处理叠加在 LACP 上的各种接入协议、路由协议的协议状态机以及进行流量转发时,都将这条链路作为一个整体来处理。

在上述捆绑链路两端的路由器或交换机上,会各自定义一条捆绑链路(LACP),并定义其 3 个成员端口,这 3 个成员端口各自需要与对端端口物理参数协商一致,包括物



图1 链路捆绑示意

理接口速率、双工方式、协商模式等。双方设备间通过发送 LACPDU(link aggregation control protocol data unit, 链路汇聚协议数据单元)向对方通告本方的系统优先级、系统 MAC 地址、接口优先级、接口号、key 值信息等, 实现协商交互。

现网中 LACP 的应用主要出于对于增加链路带宽和链路稳定性的考虑, 图2是一种常见的现网部署 LACP 场景, 当边缘路由器到汇聚交换机或 DSLAM 或 OLT 之间链路发生拥塞时, 运营商优选使用两台设备上的空闲端口增加一条链路, 并与原有链路组成 LACP 捆绑端口, 这样做对现有协议的改变最小, 实现单归双上行。当两条链路中一条出现故障时, 另一条自动协管, 无须干预, 实现动态的冗余备份。

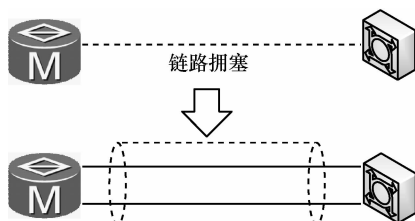


图2 常见现网部署场景

LACP 对于核心路由器, 除了实现扩展带宽外, 还具有更为重要的意义。核心路由器维护大量路由信息, 并且相互间进行路由通告, 当发生大规模路由收敛时, 会严重威胁到网络骨干的安全。因此在骨干侧部署 LACP, 进行链路捆绑后, 当链路故障发生时能够有效维护路由协议状态机的稳定性, 从而避免危及网络核心。

2 端口捆绑技术关键测试参数

基于 LACP 在现网的广泛应用, 在进行路由设备选型和实际部署前, 需要根据其在现网中可能部署的位置、承载的业务进行测试, 充分模拟现网中可能发生的链路切换情况, 从而保证设备上线后的业务可靠性和稳定性。

2.1 应用场景实验室模拟及测试方法

(1) LACP 互通性验证

图3展示了 LACP 的互通性验证。现网中设备厂商众多, 首先需要验证的是 LACP 本身的互通性。在实验室, 可以使用第三方测试仪表模拟 LACP 成员端口, 与被测试设

备之间建立 LACP。通过测试仪表模拟被测试设备对端的物理端口类型、速率及协商模式、双工方式, 模拟 MAC 地址、接口优先级、LACPDU 发送频率, 超时时间 LACP 活动状态(主动、被动)。并通过测试仪端口, 在 LACP 运行过程中, 呈现通过报文交互所学习到的被测试设备捆绑端口、端口成员的状态信息。

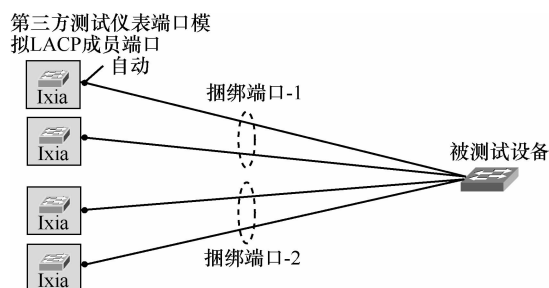


图3 互通性验证

(2) 测试链路流量负载

LACP 在链路分担上有两种模式：主备模式和负载分担模式。在实验室可以通过测试仪表模拟测试这两种方式, 如图4和图5所示。

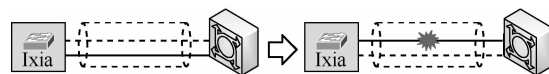


图4 主备模式

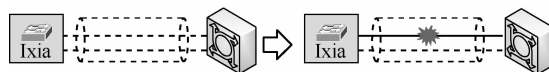


图5 负载分担模式

通过测试仪可以在物理端口上读取流量信息, 对于主备方式工作的 LACP 链路, 当主链路出现故障时, 可以从端口实时计数器上读取链路流量信息, 观察流量是否全部切换到备用链路, 同时通过实时分组丢失计数器读取切换过程中的分组丢失; 通过分组丢失时长计数器, 可以读取到链路故障时间。关于分组丢失时长的测试方法, 在下文中将进行详细阐述。

同样的, 对于负载分担模式的 LACP, 通常被测试设备通过散列算法进行计算流量均衡, 可以通过测试仪端口实时计数查看其负载分担是否均匀, 链路出现故障时, 可以通过端口实时计数器读取切换过程中分组丢失和分组丢失时长, 从而评估对网络的影响。

(3) 运行在捆绑端口上的协议支持情况

在现网中运行的 LACP 并非简单地实现链路互联, 而是需要在捆绑端口上叠加其他路由协议。比如上文提到



的,在骨干网中通过 LACP 保护骨干路由表稳定性,通常会在 LACP 捆绑端口上运行路由协议,如 MPLS VPN/BGP/ISIS 等协议,如图 6 所示。这些协议都有各自的路由表, LACP 的意义在于在某条链路发生故障的情况下,协议报文的传递不会受影响,状态机仍然能够被维护,从而避免了核心侧路由表的频繁震荡,带来设备稳定性问题。

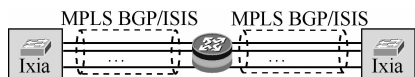


图 6 Protocol over LACP 模拟

对此场景,需要验证故障发生后叠加在 LACP 上的协议状态机是否能正常工作,路由协议报文,如路由更新消息、链路状态通告等能否正常传递,并被被测设备正确处理,流量负载是否正常等。

而对于运行在 MSE 设备的用户接入协议,在验证时除了关注上文所述的流量负载情况外,还需要关注接入协议状态机运行情况,即故障发生后用户是否能正常保活,各用户发送和接收流量是否正常,分组丢失数和分组丢失时长;同样的对于网络侧,也需要关注路由协议状态机运行情况。

(4)链路故障及收敛时间

特别的,针对上文提到的链路故障情况,在现网实践中,可能遇到单根光纤故障的情况。

当发生设备收光光纤故障时,如图 7 所示,设备的 LACP 状态机会由于端口上报 down 事件,立即感知故障,将该成员端口标记为非活动状态,将流量切换到其他端口成员进行转发;而对端设备端口由于始终处于链路层 up 状态,需要等待保活超时才能将成员端口置为非活动,这段时间内可能产生分组丢失。

同样道理,如果是设备发光光纤出现故障时,如图 8 所示,设备仍然会在故障发生后,控制面通过保活报文得

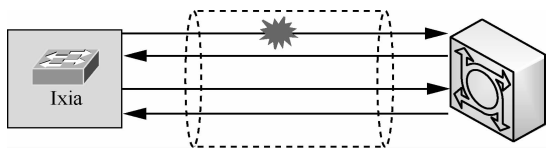


图 7 被测试设备收光光纤故障

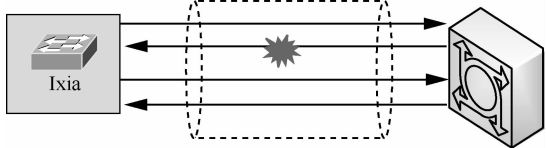


图 8 被测设备发光光纤故障

知故障并将成员端口置为非活动之前,仍然向故障端口转发数据,并期待从故障端口接收数据。

在某些极端的情况下,现网中可能发生设备出现故障的情形,在链路层观察,收光、发光都正常,由于设备故障, LACP 已经无法运行。这种情况可以归类到发光光纤故障的情况进行处理,被测设备需要通过协议保活交互来感知到故障存在,将成员端口去活动,流量切换到其他成员继续转发。

综合考虑上述场景,可以通过测试仪进行模拟,实现对分组丢失时长和收敛时间的精确测量。

在实验室通过模拟插拔光纤或剪光纤的方式来模拟现网故障时,通过测试仪来精确计算分组丢失时间,其原理是:可以通过测试仪对端口流量进行监控,当流量发生下降事件时,测试仪对该事件记录时间戳;当流量恢复时再记录时间戳,将两者进行相减计算,从而得到精确的分组丢失时间。分组丢失时间测量如图 9 所示。

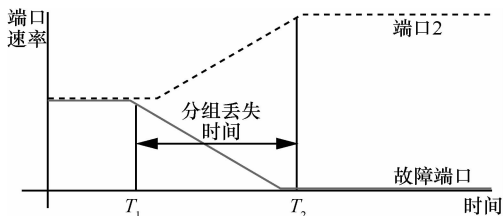


图 9 分组丢失时间测量

也可以通过测试仪来模拟捆绑端口成员的故障,这种方式下,测试仪控制面和数据面联动,实现精确的协议收敛时间计算。

在图 10 所示的测试中,测试人员在仪表上发起 LACP 成员端口的去活动或不响应 LACPDU 等操作,模拟现网中可能发生的链路故障或路由器故障,此时测试仪需要记录该事件下发的时间 T_1 ,当对方端口感知到故障时间发生做出一系列响应,最终完成流量倒换,并恢复整个 LACP 捆绑端口流量时,测试仪记录流量恢复时间 T_2 ,通过 $T_2 - T_1$,计算得出 LACP 在该被测设备上的协议收敛时间。

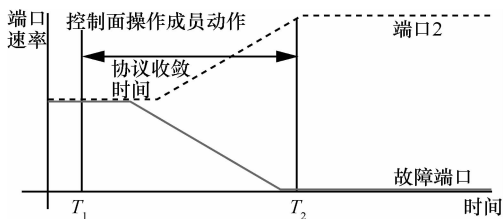


图 10 协议收敛时间测量

2.2 关键评价参数

综合上述考虑，在 LACP 测试过程中，首先要对 LACP 的协议一致性进行一定的验证，这是保证互联互通的基础；其次，要对 LACP 功能进行验证，如倒换、负载分担、LACP 上承载其他协议能力；最后需要对 LACP 的性能进行验证，如大用户量、大路由、大流量下的多条物理链路组成捆绑链路负载分担、链路故障后倒换能力（包括 LACP 上承载的其他协议的倒换情况）、倒换对业务的影响性评估（协议收敛时间测试、分组丢失时长测试）。

3 测试实践

通过 Ixia 公司 XM12 测试仪构建试验环境，如图 11 所示。这里选取典型的业务边缘设备作为被测设备，既可以模拟用户接入，也可以模拟路由。

通过 Ixia 测试仪在被测设备两端各模拟 2 条物理端

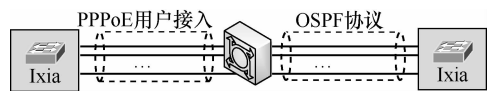


图 11 LACP 实验室测试环境

口组成 LACP 捆绑端口，并在一端模拟用户侧，运行 PPPoE 模拟用户接入，在另一端模拟网络侧，运行 OSPF 路由协议。

首先通过测试仪配置 LACP 捆绑端口，如图 12 所示。

Ixia 测试仪提供 LACP key 值、优先级等各参数可供配置，实现与被测设备对接；配置完成后可通过测试仪验证与被测设备的对接情况，当测试仪端口与被测设备 LACP 协商成功，如图 13 所示，加入端口组后，测试仪会显示 aggregated 状态，在统计视图中显示为 up；如果某个端口链路出现故障或其他原因为非活动状态，则测试仪会显示为 not aggregated，统计视图中显示为 down。

通过 Ixia 测试仪的协议配置向导，分别配置 PPPoE 叠加在 LACP 捆绑端口上，和 OSPF 协议叠加在 LACP 捆绑端口上，并运行这两个协议。

等协议运行完成后，可以通过 Ixia 测试仪的统计视图（如图 14 所示），查看 PPPoE 上线情况和 OSPF 协议运行情况、发布路由情况。

此时可以通过构造流量来验证运行在 LACP 上的 OSPF 协议和 PPPoE 协议是否运行正常。同时，通过观察物理端口上的流量，很容易观察到端口负载情况。

Update Link Parameters									
	Port	Enable	Administrative Key	Actor System ID	Actor System Priority	Actor Key	Actor Port Number	Actor Port Priority	
1	10.200.134.42:08:01-Ethernet	☒	100	00 00 00 00 00 01	111	1	1	1	1
2	10.200.134.42:08:02-Ethernet	☒	100	00 00 00 00 00 01	111	1	1	1	1

图 12 LACP 配置参数

Diagram

Ports

Links

Global Learned Info

Port learned info records: 2

Refresh

Sort by

☒ Port

☐ LAG

Summary

Total Number of user-defined LAGs : 1

Total Number of operational LAGs : 1

Link Learned Info

	Port	LAG Name	Other LAG Member Count	Details	Link Aggregation Status
1	10.200.134.42:08:01-Ethernet	LAG-0001	1	08:02	Aggregated
2	10.200.134.42:08:02-Ethernet	LAG-0001	1	08:01	Aggregated

图 13 检查与被测设备 LACP 协商状态



LACP Aggregated Statistics		PPP General Statistics		PPP Setup Statistics - All Ports	
Port Name	Sessions Succeeded	Sessions Failed	Sessions Teardown Succeeded	Sessions Teardown Failed	
7 Ethernet - 001	1 000	0	0	0	
8 Ethernet - 002	1 000	0	0	0	

图 14 检查协议运行情况

Select Views...		Traffic Item Statistics		Port Statistics			
Traffic Item	Tx Frames	Rx Frames	Frames Delta	Loss	Packet Loss Duration (ms)	Tx Frame Rate	Rx Frame Rate
1 Traffic Item 1	17 472 609	17 406 417	66 192	0.379%	476.582	128 149.000	128 029.500

图 15 用户侧分组丢失时长测试

DP Above Threshold Timestamp	DP Below Threshold Timestamp	Service Int Time
00:44:23.183	00:44:22.401	00:00:00.782
00:44:23.183	00:44:22.401	00:00:00.782
00:44:23.183	00:44:22.402	00:00:00.781
00:44:23.183	00:44:22.402	00:00:00.781
00:44:23.184	00:44:22.402	00:00:00.781
00:44:23.183	00:44:22.402	00:00:00.781
00:44:23.183	00:44:22.402	00:00:00.781

图 16 网络侧收敛时间测试

此时模拟链路出现故障。Ixia 测试仪可以通过模拟端口 down 事件直接模拟 LACP 故障；如果通过外部模拟链路故障，如剪断光纤，测试仪也能够得到通过 TrueView Convergence 技术得到相应的统计。

通过对 traffic item statistics 计数的观察，可以得到链路故障到 LACP 完成切换之间的分组丢失数、分组丢失时长以及收敛时间等关键数据。从图 15 中也可以发现，通过图 9 所示的测试方法得到的分组丢失时长更为真实，传统通过分组丢失数除以端口速率所得到的分组丢失时长会由于接口或系统缓存的因素而偏低。

网络侧收敛时间测试如图 16 所示。

观察 PPPoE 统计视图和 OSPF 统计视图，可以得到 PPPoE 是否有用户掉线、OSPF 是否邻居状态异常等统计结果，验证叠加在 LACP 之上的其他协议运行状况。

4 结束语

随着 LACP 的广泛部署，捆绑链路成员端口数量不断增加，承载在捆绑端口上的路由及接入协议日趋丰富，有必要对这个协议进行全面的验证测试。本文通过分析现网中常见的 LACP 应用场景，设计实验室模拟测试方案，并

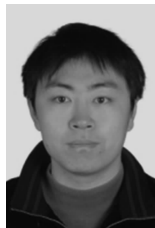
通过 Ixia 测试仪进行模拟测试。

笔者发现，在实验室对路由和接入协议叠加在 LACP 上使用测试仪模拟十分必要，通过测试仪与被测设备直接对接，可以方便地测试到各协议的收敛时间；同时可以灵活模拟叠加在 LACP 上的各个协议性能，如大规格用户接入速率、转发时延等，为设备选型和现网部署提供具有参考意义的数据。

参考文献

- 1 郑涛. 基于 LACP 的链路聚合状态机模块的实现. 计算机系统应用, 2010, 19(5)
- 2 陈才. 链路聚合中成员端口快速倒换的实现. 中国新通信, 2012(22)

[作者简介]



郭亮,男,现就职于中国电信股份有限公司广东研究院,主要研究方向为 NGN、IP 网络及下一代互联网技术与网络规划。

(收稿日期:2013-06-25)