

网络层设备性能测试方法概述

李兆斌 夏 潇 刘 倩 马 宇
(北京电子科技学院 北京 100070)

摘 要 网络层设备的性能关系到整个通信子网的运行控制,并直接影响到整个网络的通信质量。因此,对网络层设备性能进行测试是整个网络测试中必不可少的组成部分。介绍了衡量网络层设备性能的几个通用指标,详细阐述了这些指标的测试方法,并利用介绍的测试方法进行实际操作,得出测试结果。

关键词 网络层设备,性能指标,测试方法,测试结果

中图法分类号 TP393 文献标识码 A

Test Method of Performance of Network Layer Device

LI Zhao-bin XIA Xiao LIU Qian MA Yu

(Beijing Electronic Science and Technology Institute, Beijing 100070, China)

Abstract The performance of the network layer device is related to the operational control of the subnet, and directly affects the communication quality of the entire network. Therefore, testing performed on the performance of network layer device is essential. This paper introduced several general index which can measure the performance of the network layer device, and stated the methodology of these index in detail. Then we used the test method to practice in reality environment and obtained the testing reports.

Keywords Network layer device, Index of the performance, Test method, Testing report

OSI 参考模型^[1]是介于数据链路层和传输层之间的一层,称为网络层,它在数据链路层提供的两个相邻端点之间的数据帧的传送功能上,进一步管理网络中的数据通信,将数据设法从源端经过若干个中间节点传送到目的端,从而向运输层提供最基本的端到端的数据传送服务^[2]。

网络层的设备有很多,如路由器、网关、防火墙等。在网络信息不断膨胀的今天,网络结构和网络拓扑日趋复杂,网络安全问题越来越严重,人们对网络层设备的需求也越来越大,生产网络层设备的厂商也随之增多,用户选择性能满足要求的网络层设备也十分不易。而且,用户很难判断选取的网络层设备的性能是否与生产厂商所表明的一致。由此,对网络层设备的性能进行标准、权威、高效的测试显得格外有意义。本文根据目前业界较为公认的网络层设备性能测试标准 RFC 2544^[3]文档规定的相关内容作为测试依据,提出网络层设备主要性能指标的测试方法,并用思博伦公司的测试仪表 Spirent Test Center 加以实现,得到的测试结果满足对性能测试的要求。

1 网络层设备性能测试相关 RFC 文档

目前来说,很多网络设备生产厂商按照自己的测试方法来测试其生产的设备。但是,在对网络层设备进行测试的过程中,很多因素会对测试的结果产生影响,比如测试参数的定义、用来测试的包的大小、测试时的负载、测试持续的时间、测

试点的数量和分布、抽样算法和频率等,所用的测试标准和测试方法不同,测试的数据就很难有较强的说服力。因此测试方法的标准化至关重要。

为此,国际互联网工程任务组(IETF)组织成立了基准方法学工作组,以 RFC 文档^[4]的形式提出了有关网络测试的相关建议,以规范对各类网络互连技术的性能测试。就第三层网络性能测试而言,目前业界较广泛认可的 RFC 标准包括 RFC 1242、RFC 2544、RFC 2285 等。其中, RFC 2544 通常被称为网络测试的“圣经”,不仅适用于目前几乎所有的 2—3 层设备和网络的测试,如交换机、路由器、VPN 等,也适用于各种类型和拓扑的网络。RFC 2544 的核心内容分为测试设置、帧格式与长度和基准测试 3 大部分,最主要的内容是基准测试,从测试目标、测试过程和测试报告格式等方面详细描述了丢包率、吞吐量、延时、背对背等性能的基准测试^[5]。

2 测试指标及其测试的基本方法

RFC 2544 描述了网络层设备 6 种性能指标的测试方法,这 6 个性能指标包括:吞吐量、延迟、丢包率、背对背、重新启动和系统恢复。在实际的测试过程中,可以根据测试仪器、测试要求、测试目的等实际因素,选取符合被测设备特点性能的指标进行测试,无需对每个性能指标都进行测试。当然,在特定的情况下,根据测试的特殊需要,也可以对 RFC 2544 文档规定以外的指标进行测试。丢包率、吞吐量、时延和背对背这

李兆斌(1977—),男,副研究员,主要研究方向为网络安全、通信设备、测试方向;夏 潇(1988—),男,硕士生,主要研究方向为通信设备、芯片设计与测试方向;刘 倩(1991—),女,硕士生,主要研究方向为通信设备、芯片设计与测试;马 宇(1990—),女,硕士生,主要研究方向为通信设备、测试方向。

4项性能在网络层设备测试过程中经常被考虑在内,本文将结合 RFC2544 文档介绍这 4 项基本性能指标,并运用测试实例对每一项指标的测试方法进行详细描述。

2.1 吞吐量

吞吐量是指被测设备在不丢失任何需要转发的数据包的状态下转发数据包的最快速率。吞吐量的定义主要强调的是,测量正确的吞吐量必须是在没有丢失数据包的前提下进行,即从设备输入端口进去的数据包必须从设备的输出端口转发出去,在此条件下得到的被测设备的最快转发速率才称为吞吐量。可以说,测量吞吐量的唯一先决条件就是没有数据包丢失。但在实际测量过程中,不同的业务对需要转发的数据包的转发率要求不同,在测试不同功能的设备时可根据实际情况获得在特定丢包率下的最大转发速率作为被测设备吞吐量的参考信息。该项性能指标一般被当作判断网络层设备性能好坏的基本参数而写入设备性能测试文档和使用说明书中。

2.1.1 吞吐量的基本测试方法

吞吐量的测试方法有很多,RFC 2544 给出的测试过程及方法为:在每一轮吞吐量测试中,发送数据包的端口在特定的速率下向被测试设备发送一定数量的数据包,同时在接收数据包的端口统计被测试设备转发的并且能够准确到接收端口的数据包的数量,如果发送端口发送的数据包数量等于接收端口接收的数据包数量,则增加数据包的发送速率并按照上面的操作再次进行测试;如果接收数据包端口统计的数据包数量小于发送数据包端口发送的数据包的数量,就减小发送数据包的速率并按照上面的操作再次进行测试,直到得出测试结果为止。

二分法是 RFC 2544 给出吞吐量测试方法的很好体现,也是目前大多测试仪表采用的测试方法。利用二分法测试,一般只需要把开始测试时发送数据包的速率、测试过程中能够接受的最小和最大的数据包发送速率以及计算过程中的精确度这 4 个参数设置好,在后面的测试过程中,下一轮测试所用到的发送速率都会按照上一轮测试得到的结果以及精确度自动计算得出。具体的计算过程如下:如果上一轮测试中丢包率不为零,则下轮测试所用到的速率为当前测试结果中无丢包的最大帧速率与上一轮用到的帧速率的中间值,否则下一轮用到的帧速率为当前测试结果中丢包率不为零的最小帧速率与上一轮用到的帧速率的中间值;如果前一轮测试与本轮测试的帧速率的差值小于或等于测试时所设置的精确度,则测试结束。由于吞吐量的大小与帧的长度有关,因此在对三层网络设备吞吐量测试的过程中,我们按照 RFC 2544 给出的建议,选取 64 比特、128 比特、256 比特、512 比特、1024 比特、1280 比特和 1518 比特 7 种长度不同的帧进行测试。如果要用单个数值来表示某设备的吞吐量,一般建议采用最小帧长度下测试所得到的值。此外,因为包的丢失是一个随机的过程,所以为了使得测试的结果更加准确,必须经过多轮测试,且每轮测试的时间必须足够长。RFC 2544 建议吞吐量的测试轮数不少于 20 次,且每次测试时间持续 60 s 以上。

目前业界较为通用的测试仪表 Spirent Test Center 很好地集成了 RFC 2544 相关指标测试的方法,利用设置向导进行相应的参数配置,操作简单方便。本文利用该测试仪表测试 3 层网络设备路由器的吞吐量,测试方法选择二分法,参数

配置按照 RFC 2544 给出的建议值,测试报告由测试仪表自动生成,由柱状图和表格两部分组成。这里选取部分测试数据,如表 1 所列。

表 1 吞吐量测试结果

Frame Size(bytes)	Intended Load(%)	Offered Load(%)	Throughput (%)
64	837.5	837.5	806.5
128	100	100	909.7
256	100	100	926.3
512	100	100	931.2
1024	100	100	967.8
1280	100	100	955.3
1518	100	100	960.2

2.2 丢包率

丢包率是指被测设备在某个特定的负载下,在转发数据包过程中丢失的数据包占需要被转发的数据包总数的百分比。一般情况下,负载越小,丢包率就越小,当负载小于或等于被测设备吞吐量的时候,丢包率为零。导致被测设备产生丢包现象的原因有很多,比如在负载过大的状态下设备存储容量小、设备端口堵塞等。所以,丢包率能够很好地反映被测试设备在负载过大的状态下对需要转发的数据包的处理性能。

2.2.1 丢包率的测试方法

丢包率测试主要考虑的是被测设备在负载过大状态下的异常行为,测试的主要目的是反映在特定帧长度和特定发送速率的状态下,被测设备转发数据包的过程中数据包的丢失程度。具体的测试方法是:在一段足够长的时间内,数据包的发送端口以一定的发送速率向被测设备发送一定帧长的数据包,在接收数据包端口统计被设备成功转发并到达接收口的数据包的总数,则在该发送速率下该长度的数据帧的丢包率为((发送数据包总量—接收数据包总量) * 100%) / 发送数据包总量。

发送数据包的长度以及发送数据包的速率都直接影响到丢包率的大小,RFC 2544 建议在进行丢包率测试时,数据包的发送速率在最大发包率和吞吐量之间有规律地取值,并且需要测试的数据包长度最好包含 64 比特、128 比特、256 比特、512 比特、1024 比特、1280 比特和 1518 比特 7 种。也就是说,在被测设备吞吐量已知的前提下,用于测试的最低速率应该设置为吞吐量的值,在此基础上按照测试需求有规律地增加测试速率,以测试被测设备的丢包率。当然,很多时候并不知道吞吐量的具体数值,在这种情况下可以将测试速率从高到低依次减少直到出现零丢包时测试结束。第一轮以与数据包长度相对应 100% 的最大速率发送一定量的数据包,计算该状态下的丢包率后,以最大速率的 90% 的速率进行测试,依次递减,直到丢包率连续两次为零停止。递减值根据具体情况制定,建议不大于 10%。在传输过程中数据包的丢失带有一定的偶然性,所以每轮测试的时间必须足够长,一般不低于 60s,并且最好多次测试取平均值。

丢包率的测量仍然选择 Spirent Test Center 作为测试仪表,参数按照 RFC 2544 的建议进行设置。测试仪表提供的带宽为 1000Mhz,所以负载从最大带宽的 50% 开始,以 3 层网络路由器作为被测设备,观察测试结果,部分数据如表 2 所列。

表 2 丢包率测试报告

Frame Size(bytes)	Load (%)	Total Tx Frames	Total Rx Frames	Frames Loss(%)
64	80	1190476200	1175836437	1.23
64	100	1488095240	1131211185	23.983
128	80	675675680	674996714	0.1
128	100	844504600	841110570	0.413
512	80	187969940	187969884	0
512	100	234962420	234962376	0
1024	80	95785400	95785366	0
1024	100	119731820	119731761	0
1518	80	65019520	65019491	0
1518	100	81274400	81274400	0

2.3 延迟

延迟是指被测设备处理数据转发过程中所消耗的时间,即数据包从进入被测设备到出被测设备所花费的时间。导致数据包在转发过程中产生延迟的原因主要有两个:1)被测设备需要一定时间计算被转发数据包的路径、解析地址等;2)在负载比较大的时候,设备转发数据包的速度满足不了需要转发的数据包的要求,造成在被测设备的输入输出端口出现数据包排队等候转发的情况。

2.3.1 延迟的测试方法

延迟测试的目的是衡量被测设备转发数据帧需要的时间。根据延迟的定义,延迟的测试是以报文为单位的,一般用 LIFO(先进后出)和 FIFO(先进先出)两种方法计算得出^[6]。由于网络层设备一般都带有存储转发功能,因此测试延迟时一般采用 LIFO,即用数据帧第一比特离开被测设备的时间点减去最后一比特进入被测设备的时间点。然而在实际的测试过程中,上面计算用到的参数很难测量。在实际的测试工作中通常采用在报文的特定位置设置一定的标记的方法测量延迟的具体值,这必须保证数据的转发的过程中设置有标记的数据帧不能丢失。

RFC 2544 给出延迟的具体测试流程如下:将发送特定长度数据帧的速率设置在该长度数据帧的吞吐量以下,以避免被测设备产生丢包的现象。数据流的发送时间应该不低于 120s。选取数据流发送 60s 之后的某个时间点 T_1 为发送的数据帧设置接收端能够识别且不影响数据正常传输的标记,将接收端接收到该带有标识的数据帧的时间点记做 T_2 ,则时延的具体值为 $T_2 - T_1$ 。但是考虑到在测试的过程中可能会出现抖动影响测试结果,建议采用多次测量取平均值的方法进行测试,建议测试的次数不少于 20 次。

本文中延迟的测量仍然选择 Spirent Test Center 作为测试仪表,参数按照 RFC 2544 的建议进行设置,测试帧长选取 64 比特、1280 比特和 1518 比特 3 个,以 3 层网络路由器作为被测设备,选取部分数据观察测试结果,如表 3 所列。测试结果由测试仪表自动生成。

表 3 延迟测试报告

FrameSize (bytes)	Load (%)	Min Latency (uSec)	Max Latency (uSec)	Latency Type
64	80	30.67	102041.05	LIFO
64	100	32.5	119594.07	LIFO
1280	80	1044.81	24914730.6	LIFO
1280	100	902.93	2509841155	LIFO
1518	80	206.03	207.22	LIFO
1518	100	206.06	208.27	LIFO

2.4 背对背

背对背是指在没引起丢包的状态下,以最大转发速率

发送报文时,被测设备可以接收的以最小的数据包间隙发送的数据包的数量。按照规定,数据包间最小的间距一般为 96 比特。该项指标考察的是被测设备对于突发数据的缓存能力。伴随着网络拓扑的日趋复杂,网络规模的不断增大,大量的数据可能会使网络流量突增,转发设备需要先将需要转发的数据缓存起来后再发送,因此背对背的性能越来越得到重视。

2.4.1 背对背测试方法

背对背测试一般采用的方法是用数据包的发送端口以最大的传输速率向被测设备发送一定数量的特定数据包,将该数据包之间的间隙设置为最小(一般为 96 比特),并计算丢包率。如果该条件下的丢包率为零,则需要增加发送数据包的数量继续测试,否则就减少发送数据包的数量继续测试。持续以上的测试过程直到找到零丢包时的最大帧数为止。对于测试背对背的算法,RFC2544 并没有做出明确的规定,但在实际的测试过程中,通常采用与测量吞吐量时使用的二分法相似的二分搜索法^[5]。只需要把开始测试时发送数据包的速率、测试过程中能够接受的最小和最大的数据包发送速率以及计算过程中的精确度这 4 个参数设置好即可,搜索过程和吞吐量二分搜索法相似。同时,为了保证测试结果的可靠性,RFC 2544 建议采取多次测试取平均值的方式进行测试,测试轮数不低于 50 次,每次发送数据包的时间不少于 2s。

为了观察利用上述方法进行测试的测试结果,选择 Spirent Test Center 作为测试仪表,参数按照 RFC 2544 的建议进行设置,选取 64 比特、128 比特、512 比特、1024 比特、1518 比特 5 种帧长的数据进行测试,以 3 层网络路由器作为被测设备,得出测试结果部分数据如表 4 所列。

表 4 背对背测试报告

Frame Size (bytes)	Back-to-Back Burst(frames)	Back-to-Back Time(sec)	Intended Load(%)
64	5952308	2	100
128	3378380	2	100
512	1093821	2	100
1024	562217	2	100
1518	325098	2	100

结束语 随着信息技术的发展,网络信息量不断膨胀,网络结构也越来越复杂,3 层网络互连设备的性能也越来越被关注。为了了解设备的性能,给设备研发部门提供改进依据,为购买者提供购买依据,对设备性能进行测试是必不可少的。本文针对衡量 3 层网络设备性能较为常用的几个性能指标,介绍了测试这些指标的方法,并用介绍的方法进行测试,得到测试结果。虽然,由于 3 层网络设备提供的具体功能有所不同,对性能的要求也不同,但对性能的测试方法可以是一样的。

参考文献

- [1] 张曾科,吉吟东. 计算机网络(第 3 版)[M]. 北京:清华大学出版社,2009
- [2] 王凤仙,杨晓辉. 计算机网络[M]. 北京:中国铁道出版社,2003
- [3] RFC 2544 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices [OL]. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2544.txt>
- [4] 王盛邦,田海博. RFC 在网络协议教学中的应用[J]. 现代计算机,2013,23(8):35-39
- [5] 林川,施晓秋,胡波. 网络性能测试与分析[M]. 北京:高等教育出版社,2009
- [6] 朱宗岷. 防火墙性能测试综述[J]. 电信网技术,2007(11)