

IP 数据包传输稳定性测试技术与开发

刘怡文 王 岩 程朝辉
(61569 部队, 北京 100072)

摘 要: 针对 IP 数据包在大型网络上传输可能遇到的数据包时延、数据包重复、数据包丢弃、数据包顺序偏移、数据包错误等多种损伤或情况,研究了 IP 数据包传输稳定性测试技术,提出了适用于网络设备 IP 数据包传输稳定性测试的测试用例设计方法并进行测试用例设计,开发了传输稳定性测试工具,运用该工具对网络设备 IP 数据包传输稳定性进行了测试。

关键词: 软件测试; 测试用例; 稳定性; 仿真/模拟测试
中图分类号: TP393

引 言

随着计算机网络的飞速发展以及路由器、交换机等网络设备的广泛使用,对网络设备通信质量的要求也越来越高。需要加强对网络设备通信质量的测评,将其在设计、实现和运行中发生的质量问题和隐患控制到最小程度。目前,国内外网络设备主要是采用美国 SPIRENT 公司的网络测试仪 SmartBits 进行性能测试,SmartBits 已成为网络设备性能测试的标准测量仪器,它主要是依据《RFC 1242 Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices》^[1]和《RFC 2544 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices》^[2]研制的。RFC 1242 和 RFC 2544 已成为事实上的国际标准。然而,SmartBits 主要测试网络设备的时间特性和资源利用特性,不支持网络设备的数据包传输稳定性测试。

由于网络设备的数据包在大型网络上传输可能会遇到数据包时延、数据包重复、数据包丢弃、数据包顺序偏移、数据包错误等多种损伤或情况,会造成传输稳定性差的问题,因此需要研究 IP 数据包传输稳定性测试技术,开发传输稳定性测试工具,以加强对网络设备传输稳定性的测试,保证网络设备的通信质量。传输稳定性是指网络设备在有数据包

传输损伤的环境下能够正常工作的程度。本文从软件测试理论与技术^[3-5]出发,研究并提出了适用于传输稳定性测试的测试用例的设计方法:错误推测法;提出了 IP 数据包网络损伤模拟与传输稳定性测试技术;开发了传输稳定性测试工具,实现了传输稳定性测试的自动化;并运用该工具对路由器、交换机等网络设备的数据包传输稳定性进行了测试。

1 IP 数据包传输稳定性测试用例设计技术与方法

目前,软件测试理论已逐渐完善化和体系化,其测试用例设计、测试的自动化等都可用于指导传输稳定性测试。在测试用例的设计方面,等价类划分法、边界值分析法、因果图法等黑盒方法均可用于传输稳定性测试用例设计。针对 IP 数据包在大型网络上传输可能遇到的多种损伤或情况,本文研究并提出了适用于传输稳定性测试用例的设计方法:错误推测法。

1.1 错误推测法

所谓错误推测法,就是依靠经验和直觉推测设备中可能存在的各种错误或问题,从而有针对性地设计测试这些错误或问题的用例。错误推测法的基本思想是:列举出设备中所有可能的错误和容易发生错误的特殊情况,根据它们选择测试用例。在大型网络上数据传输可能会遇到多种情况,会出现数据包时延、丢弃、重复、偏移、错误等多种问题,需要利用错误推测法来设计测试用例。利用错误推测法,直接模拟出 IP 数据包在网络传输中可能出现的多种损伤或问题,作为输入流量数据,测试网络设备

收稿日期: 2007-03-28

基金项目: 总装项目(2004-146)

第一作者: 女,1966 年生,高级工程师,博士

E-mail: lywlyw @163.com

的传输稳定性。

1.2 IP 数据包网络损伤模拟技术

在测试实验室环境,为检验网络设备的实际运行性能和稳定性,需要模拟出在大型网络上通信可能遇到的主要情况,模拟出实际网络中出现的数据包时延、数据包重复、数据包丢弃、数据包顺序偏移、数据包错误等多种损伤或情况。这就需要研究数据包网络损伤模拟技术,运用概率统计方法,提出多种模拟情况模型,既要模拟出实际情况的多样性,又要模拟出实际情况的突发性和无规律性。

1.2.1 数据包时延模拟 数据包时延模拟是指数据包捕获后并不立即转发,而是等待一个时间段后再转发。变化的或恒定的时延施加到所选择的数据包上,来模拟广域网中出现的各种时延。数据包时延分为固定、抖动、高斯模型三种方式。

(1) 固定方式 首先系统提供用户选择包时延量 1~1000 ms,并建立一个数据包临时缓冲区,然后给每个 IP 数据包设置一个时间为包时延量的计时器,将数据包和计时器放入临时缓冲区,同时计时器根据系统时钟进行递减运算,当计时器减至零时计时器向系统发出信号,系统将该数据包从临时缓冲区取出并进行转发。

(2) 抖动方式 每个数据包均使用不同的包时延量,第一个数据包时延 1 ms,后面每发送一个数据包时延增加 1 ms,当时延增加到 1000 ms 后,重新设置为 1 ms,仍然逐包增加 1 ms。

(3) 高斯模型方式 采用高斯分布函数产生一个 1~1000 ms 之间的随机数作为要转发的数据包的包时延量,该随机数具有高斯分布 $N(0,1)$ 的特征。给每个 IP 数据包设置一个时间为包时延量的计时器,建立一个临时缓冲区,将数据包和计时器放入这个临时缓冲区。在计时器减至零后把数据从临时缓冲区取出并进行转发。

1.2.2 数据包重复模拟 数据包重复可使数据包重复占用网络带宽,造成网络传输瓶颈。包重复损伤模拟通过复制选择的数据包来模拟路由器的重发动作。采用固定和随机两种方式来模拟数据包重复的动作。

(1) 固定方式 系统提供从 1%到 100%比例作为数据包重复的百分比供用户选择,包重复线程根据用户所选的比例选择要重复的数据包,并将数据包进行复制。

(2) 随机方式 系统产生一个 0.01 到 1 的随机

数作为一条流中数据包重复的百分比,包重复线程根据比例选择要重复的数据包,并将数据包进行复制。

1.2.3 数据包丢弃模拟 包丢弃传输损伤模拟路由缓冲区或网络中丢包的情况,造成发送端因得不到响应而重发数据包,引起数据传输效率下降,可对网络传输造成一定压力。数据包可按照固定间隔方式、高斯模型方式和突发方式进行丢弃。

(1) 固定间隔方式 系统提供从 1%到 100%的比例作为数据包丢弃的百分比供用户选择固定的间隔比例,每隔这个间隔比例,系统就对所捕获的数据包作丢弃动作,然后继续其它数据包的正常转发动作。

(2) 高斯模型方式 系统通过高斯分布函数产生一个 1 到 100 个包之间的随机间隔,在这个随机间隔后,系统把捕获的当前数据包作丢弃动作,然后继续进行其它数据包的正常转发。

(3) 突发方式 系统产生一个 1 到 100 个包之间的随机间隔,并产生一个丢弃数据包数量的随机数 N (N 为 1 到 20 的整数),在这个间隔后系统设置一个数量为 N 的计数器,并对捕获的 N 个数据包均作丢弃动作,每丢弃一个数据包就对计数器进行减 1 运算,当计数器减至零后,系统恢复正常转发状态,并在下一个随机间隔到达时重复上述包丢弃动作。

1.2.4 数据包顺序偏移模拟 当数据包由不同的路径通过网关时,可能会发生失序现象,即一个包可能先于以前发送的包到达目的地。包顺序偏移损伤模拟可改变所选包的顺序,将先捕获的数据包迟于后捕获的数据包发送。可以通过固定和随机两种方式对数据包进行顺序偏移处理。

(1) 固定方式 首先选择发生顺序偏移的数据包间隔数量 1~100 个包,并选择数据包的偏移量 1~100 个包,然后根据选择的数据包间隔数量把需要改变顺序的数据包放入临时缓冲区,并设置一个值为数据包偏移量的计数器,每捕获一个数据包计数器就减 1,待计数器减至零时将临时缓冲区中的数据包的进行转发。

(2) 随机方式 首先产生两个随机数分别作为数据包间隔数量和偏移量,然后根据选择的数据包间隔数量把需要改变顺序的数据包放入临时缓冲区,并设置一个值为数据包偏移量的计数器,每捕获一个数据包计数器就减 1,待计数器减至零时将临

时缓冲区中的数据包进行转发。

1.2.5 数据包错误模拟 数据包错误损伤模拟允许用户向所选择的数据包注入错误字节,来模拟因路由器错误而产生的数据包传输错误。系统根据用户设定的错误字节类型和数据包错误的比例,将错误施加在数据包上。首先选择错误字节的类型(有 0x55、0xFF 和随机三种)和错误数据包所占的比例(1%~100%),根据这个比例选择需要加载错误的数据包,并产生一个随机数 N (N 为 1 到 100 的整数)作为错误字节的数量,将 N 个错误字节与数据包的 N 个字节数据依次做按位模 2 加运算,使这些字节发生错误,并将错误的数据包转发。突发错误可被注入到数据包内的多个连续比特上。

2 传输稳定性测试技术与开发

采用仿真/模拟测试技术,进行传输稳定性测试。即,模拟网络设备在大型网络上通信可能遇到的数据包的多种损伤,测试在损伤状况下,网络设备的运行及反应是否稳定。传输稳定性测试的基本思想为:首先,对稳定性反应进行等级划分;然后,开发自动化测试流程。

2.1 传输稳定性等级划分

参考第 28 届容错计算国际会议文献[6]对健壮性的分类,并根据网络设备的具体实现,把稳定性反应划分为 4 个等级,包括:灾难性、异常终止、错误、通过。其中

灾难性(catastrophic):引起整个系统崩溃,或操作系统重启;

异常终止(abort):任务执行过程中发生异常终止;

错误(hindering):系统发生错误,返回或未返回相应的错误编号;

通过(pass):系统反应正常。

以上前 3 个是系统的非稳定性反应,其危害程度依次从高到低。这样划分也是为了便于传输稳定性的自动化测试。

2.2 自动化测试流程

传输稳定性的自动化测试流程如图 1 所示。

传输稳定性的自动化测试流程描述如下:依据网络设备的具体设计或进行相应的配置,在发送端网络设备选择需要反馈信息的 ICMP 数据包,通过网络发往接收端网络设备;从连接发送端网络设备与接收端网络设备二者的网络上捕获 IP 数据包,在

对数据包的协议类型、包长、目标 IP 等进行分析后,对数据包加载时延、重复、丢弃、顺序偏移、错误等 5 种网络损伤模拟,每种损伤模拟设一个计数器,记录所施加损伤模拟的数量、大小、时间、偏移量等信息,并作数据统计;将施加过网络传输损伤的数据包转发到接收端网络设备;进行逆向捕获与分析,捕获接收端网络设备向发送端网络设备发送的请求或应答等反馈信息,对反馈信息进行过滤与分析,测试网络设备对所模拟的网络损伤的反应,并依据稳定性反应等级对稳定性作出判断。

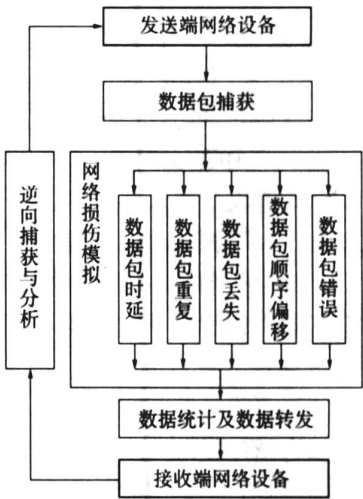


图 1 传输稳定性的自动化测试流程图

Fig. 1 The automatic test flow of transmission stability

基于该自动化测试流程,在 WindowsXP 操作系统下利用 Visual Studio.net 开发了传输稳定性的自动化测试工具。在测试实验室环境,运用该工具对路由器、交换机等网络设备的 IP 数据包传输稳定性进行了测试。其中,对某 Cisco 路由器的测试数据及结果如表 1 所示。

表 1 对 Cisco 路由器的测试数据及结果

Table 1 The testing data and results to a Cisco router

模拟损伤类型	损伤方式	数量或比例	突发量或偏移量	稳定性反应
包时延	固定方式	10 ms		通过
包重复	随机方式	20 %		通过
包丢弃	间隔方式	10 %		通过
顺序偏移	固定方式	20	10	通过
包错误	0x55	10 %		错误

在实验过程中,还用普通 PC 机(其配置为:P4 CPU 2.4 GHz,256 M 内存,10 G 硬盘,双网卡)模拟网络设备,其测试数据及结果如表 2 所示。

表 2 对模拟网络设备的测试数据及结果
Table 2 The testing data and results to a network
interconnection device

模拟损伤 类型	损伤方式	数量或 比例	突发量或 偏移量	稳定性 反应
包时延	高斯方式	100 ms		通过
包重复	固定方式	50 %		通过
包丢弃	突发方式	60 %	10	灾难性
顺序偏移	随机方式	40	5	通过
包错误	0xFF	50 %		异常终止

3 结束语

本文研究了适用于传输稳定性测试的测试用例的设计方法,提出了 IP 数据包网络损伤模拟与传输稳定性测试技术,开发了传输稳定性的自动化测试工具。该工具能模拟网络设备在大型网络上通信可能遇到的数据包时延、数据包重复、数据包丢弃、数据包顺序偏移、数据包错误等多种损伤或情况,对网络设备的 IP 数据包传输稳定性进行测试。在测试实验室环境,运用该工具对路由器、交换机等网络设备的 IP 数据包传输稳定性进行了测试,取得了良好的实用效果。它还可推广应用于 IP 层网络协议攻

击模拟与测试,模拟对协议数据包的重放、丢弃、篡改等攻击,对协议进行攻击测试。当然,随着应用需求的增加,还需不断扩充测试用例,以确保对网络设备的性能进行全面的测试。

参考文献:

- [1] BRADNER S. RFC 1242 Benchmarking terminology for network interconnection devices[J/OL]. [http: www. china-pub. com](http://www.china-pub.com), 2001.
- [2] BRADNER S, MCQUAID J. RFC 2544 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices[J/OL]. [http: www. china-pub. com](http://www.china-pub.com), 1999.
- [3] WHITTAKER J A. 实用软件测试指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [4] KANER C, NGUYEN H Q, FALK J. Testing Computer Software [M]. 2nd ed. USA: John Wiley & Sons, 1999.
- [5] 郑人杰. 计算机软件测试技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.
- [6] NATHAN P K, PHILIP J K, DANIEL P S. Automated robustness testing of off-the-shelf software components [C]. Twenty-Eighth Annual International Symposium on Fault-Tolerant Computing, 1998: 230 - 239.

The study and development of IP packet transmission stability test technology

LIU YiWen WANG Yan CHENG ZhaoHui

(Military 61569, Beijing 100072, China)

Abstract: The technology of transmission stability test is studied, and a method for test case design is proposed to address the IP packet transmission problems in large networks, such as packet delay, packet replay, packet loss, packet sequence excursion, and packet errors. Using this technology and method, an automatic tool for transmission stability test is developed, and is used to test the IP packet transmission stability of network interconnection devices.

Key words: software testing; test cases; stability; simulation testing