

IPv4/IPv6 转换网关性能指标的研究

孙红兵^{1,2}, 钟 声², 陈 沫¹, 李忠诚¹

(1. 中国科学院计算技术研究所网络测试实验室, 北京 100080; 2. 信息工程大学, 郑州 450002)

摘要: 参照通用网络设备的测试标准及方法, 结合 IPv4/IPv6 转换网关自身的特点, 提出了一套适用于转换网关的性能测试指标。针对网络混合流应用环境, 提出了 3 项综合评价网络性能的性能测试指标: 双向平均延迟, 混合平均延迟和加权混合延迟。这 3 个指标更能体现用户的感受。基于所提出的测试指标, 给出了相应的测试方法和测试实例, 对测试结果进行分析。

关键词: IPv4/IPv6; 转换网关; 性能指标; 混合平均延迟; 加权混合延迟

Research on Performance Metrics of IPv4/IPv6 Transition Gateway

SUN Hongbing^{1,2}, ZHONG Sheng², CHEN Mo¹, LI Zhongcheng¹

(1. Network Testing Laboratory, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080;

2. Information Engineering University, Zhengzhou 450002)

【Abstract】 An IPv4/IPv6 transition gateway has to pass a performance test before it puts to practice. This paper presents a set of performance metrics, which can describe performance characteristics of a transition gateway, including bi-directional latency, commix latency and weighed commix latency. It presents some benchmarks for IPv4/IPv6 transition gateway testing, and gives a test example to show the methodology.

【Key words】 IPv4/IPv6; Transition gateway; Performance metric; Commix latency; Weighed commix latency

依照惯例, 一个网络设备进入实用之前, 首先要进行功能测试和性能测试。目前国际上还没有形成专门针对 IPv4/IPv6 转换网关的测试标准。本文在通用网络设备测试标准的基础上^[1,2], 结合转换网关的特点, 创新性地提出了一套转换网关性能测试指标。转换网关不同于通常的网络设备只对数据包进行存储转发, 它要根据数据包的协议类型进行有针对性的处理^[3]。不同协议类型数据包处理方法和复杂度差别比较大, 导致转换网关对不同协议类型的数据包处理延迟会有所不同。因此本文还提出了双向平均延迟、混合平均延迟和加权混合延迟这几种指标以综合评价转换网关在延迟方面的性能。

1 性能测试指标

1.1 基准测试指标

IPv4/IPv6 转换网关的性能测试是指在一定的软硬件环境下, 按照统一的度量标准, 测试转换网关的包延迟、吞吐量等性能指标, 给出公正、可靠的性能评价。本节是根据国际上通用网络设备性能指标的规定并结合转换网关的特性, 提出针对 IPv4/IPv6 转换网关的性能测试指标。

吞吐量(Throughput): 测试网络设备的包转发能力。通常指被测设备在不丢包条件下转发数据的能力, 一般以所能达到的线速的百分比(或称通过率)来表示。

延迟(Latency): 测试网络设备在吞吐量范围内从收到包到转发出该包的时间间隔。

丢包率(Packet loss rate): 测试网络设备在不同负荷下丢弃包占收到包的比例。不同负荷通常指从吞吐量测试到线速(线路上传输包的最高速率), 步长一般使用线速的 10%。

背对背帧数(Back-to-back frame): 测试网络设备在接收到以最小包间隔传输时不丢包条件下所能处理的最大包数。

系统恢复时间(System recovery): 测试网络设备在过载后恢复正常工作的时间。如果网络设备具备线速能力, 则该测试没有意义。

系统复位(Reset): 测试网络设备从软件复位或关电重启到正常工作的时间间隔。正常工作指能以吞吐量转发数据。

另外参考路由器和防火墙的测试指标, 并结合转换网关的特点, 制定如下基准测试指标:

MAC 表容量: 测试转换网关用于记录 MAC 地址的表大小。

NAPT 表容量: 测试转换网关用于记录 IPv4、IPv6 带端口扩展的地址映射表的大小。

最大并发连接数: 穿过转换网关的主机之间或主机与转换网关之间能同时建立的最大连接数(RFC2647)。

1.2 计算性能指标

下面提出的 3 项指标都是在上面延迟指标测试的基础上, 通过计算得出的, 因此命名为计算性能指标。

1.2.1 双向平均延迟

数据包从 IPv4 到 IPv6 或从 IPv6 到 IPv4 经转换网关进行的是不对称转换, 因此这两个转换方向的延迟就不一定相同。由此提出了双向平均延迟指标, 即

$$\bar{t}_b = (t_{v4} + t_{v6}) / 2 \quad (2)$$

其中, t_{v4} 表示从 IPv4 到 IPv6 方向的延迟, t_{v6} 则表示从 IPv6 到

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60273021)

作者简介: 孙红兵(1973 -), 女, 博士生、讲师, 主研方向: 下一代互联网络, 嵌入式开发; 钟 声, 硕士、讲师; 陈 沫, 博士生; 李忠诚, 研究员、博导

收稿日期: 2006-05-08 **E-mail:** shb@ict.ac.cn

IPv4 方向的延迟。

1.2.2 混合平均延迟

目前,多数 IPv4/IPv6 转换网关支持的数据包包括: HTTP, FTP, TELNET, DNS, ICMP 等。通常不同厂商的产品对各种协议转换的设计各不相同。因此各种转换设备对同样的数据包产生的延迟可能会不一样。为了对不同数据类型经转换网关转换导致的延迟做统一的评价,本文提出一个新的测试指标——混合平均延迟。

假设转换网关可以处理的数据包类型有 n 种类型,第 i 种数据包经过转换处理产生的双向平均延迟为 \bar{t}_{bi} ,则该转换网关针对这些数据包产生的混合平均延迟为

$$T_{com} = \frac{\bar{t}_{b1} + \bar{t}_{b2} + \dots + \bar{t}_{bn}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{t}_{bi}}{n} \quad (2)$$

1.2.3 加权混合延迟

事实上各种类型的数据包在实际网络中所占比例相差很大。混合平均延迟指标考虑到了经过转换网关转换的数据包类型的不同,但是忽略了这些不同类型数据包在网络中所占比例。例如产生 IP 包的 HTTP 应用,网络用户几乎每天都在用。而产生 ICMP 包的 ping 程序,用户只有在测试网络连通性或其它特殊情况下才会使用。用户对于那些常用的应用,会要求响应的时间尽可能短些,而对于不常用的应用则相对就能忍受差一些的服务质量。因此本节提出一个考虑到网络数据包流量比例的延迟指标——混合延迟指标。

假设:某一段时间内到达转换网关进行处理的分组数 n ,对于 i 类型的数据包,其到达的概率为 p_i ,转换网关处理导致的延迟为 \bar{t}_{bi} ,则加权混合延迟为

$$T_{wcom} = p_1 * \bar{t}_{b1} + p_2 * \bar{t}_{b2} + \dots + p_n * \bar{t}_{bn} \\ = \sum_{i=1}^n p_i * \bar{t}_{bi} \quad (3)$$

其中, $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$ 。

以一个基于网络处理器平台实现的转换网关为例。假设某一段时间内到达的分组数 n ,一部分数据包被交给微处理器进行转换,一部分数据包被交给处理速度相对较慢的 CPU 进行转换。假设经微处理器转换带来数据包的双向平均延迟为 t_1 ,经 CPU 转换的数据包的双向平均延迟为 t_2 ,其中 $t_2 = t_1 + \Delta t, \Delta t > 0$ 。这 n 个分组中微处理器处理的包比例为 p ,CPU 处理的为 $1-p$ 。将这些条件代入式(3),则得到该网关的加权混合延迟为

$$T_{wcom} = p * t_1 + (1-p) * t_2 = p * t_1 + (1-p) * (t_1 + \Delta t) \\ = t_1 + (1-p) * \Delta t \quad (4)$$

在 Δt 固定的前提下, $1-p$ 的值越小,混合平均延迟越小。因此基于网络处理器平台实现的转换网关在设计中应尽量用微处理器处理数据包,实现数据包的快速转换和发送。在微处理器处理能力不足的情况下,可以将占网络中流量比例较少的类型数据包送给 CPU 处理,以便得到尽可能小的加权混合延迟。该指标比前面的延迟指标更能体现用户的感受,其定义对转换网关的设计具有一定的指导意义。

2 指标测试方法

2.1 测试环境设置

理想的测试环境是用测试仪表的两个端口进行收发包并执行一系列的测试,参见图 1(a)。图 1(a)的设置,要求测试仪表同时提供对 IPv4、IPv6 两种协议的支持,例如 SmartBits

6000。一些旧版本的测试仪表通常不提供对 IPv6 协议的支持,在测试中可以采用图 1(b)的两台设备联测法进行设置。这种方法可用在 SmartBits 2000 测试两台设备的吞吐量和延迟等指标,但是测得结果只能是两台 DUT 在某种指标方面的混合值。

本文的测试数据都是采用图 1(a)中方案进行设置测得,被测设备为一台基于 Intel 网络处理器平台实现的 NAT-PT 转换器,测试仪表选用 SmartBits 6000。

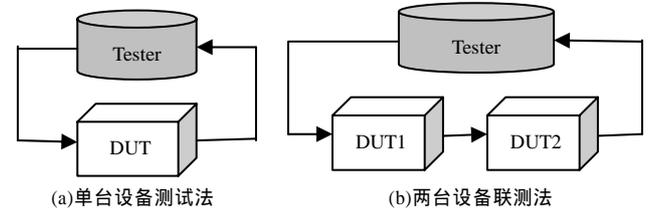


图 1 两种转换网关测试拓扑结构

2.2 测试用例

为了比较各种延迟指标的特点,本测试包含了两种数据包:普通 IP 包和 DNS 数据包。普通 IP 包用例数据包报头格式见表 1 和表 2。DNS 包报头格式见表 3 和表 4。其中每个包通过 0bit 填充来实现负载长度的变化。由于任何需要转换的包经过转换网关以后,包长会发生变化。所以在测试中 IPv4 端的最大测试包长度定为 1498B,IPv6 端的最小测试包长度定为 84B。

表 1 普通 IP 包 IPv4 端报头格式

DLC Header:	00 90 D7 00 17 53 00 01 02 93 8A 7808 00
IP Header:	45 00 00 2E 0C 08 00 00 80 11 A0 C5 C0 A8 06 32 C0 A8 06 6F
UDP Header:	05 DC 05 DC 00 1A 66 10

表 2 普通 IP 包 IPv6 端报头格式

DLC Header:	00 90 D7 00 17 52 00 01 02 93 8A 78 86 DD
IP Header:	65 11 11 11 00 14 11 FF 20 01 02 50 F0 07 00 01 00 00 00 00 00 00 12 20 01 02 50 F0 07 00 06 00 00 00 00 C0 A8 06 32
UDP Header:	02 30 01 23 00 14 01 61

表 3 DNS 包 IPv4 端报头格式

DLC Header:	00 90 D7 00 17 53 BC 00 01 FE BA BE 08 00
IP Header:	45 00 00 42 00 00 40 00 3F 11 AD B9 C0 A8 06 32 C0 A8 06 6F
UDP Header:	00 C8 00 35 00 2E 7F 68
DNS Payload:	5E F1 01 00 00 01 00 00 00 00 00 03 77 77 77 03 69 63 74 02 61 63 02 63 6E 00 00 01 00 01 00 90 D7 00 17 53 BC

表 4 DNS 包 IPv6 端报头格式

DLC Header:	00 90 D7 00 17 52 00 01 02 93 8A 78 86 DD
IP Header:	60 00 00 00 00 27 11 40 20 01 02 50 F0 07 00 01 00 00 00 00 00 00 12 20 01 02 50 F0 07 00 06 00 00 00 00 C0 A8 06 32
UDPHeader:	80 01 00 35 00 27 02 DB
DNS Payload:	27 20 01 00 00 01 00 00 00 00 00 03 77 77 77 03 69 63 74 02 61 63 02 63 6E 00 00 1C 00 01 FF

2.3 测试步骤

测试仪表采用 Smart Bits 6000C,测试软件为 SmartWindow7.10。在指定的帧大小下,以被测设备的吞吐量发送一组帧。这组帧持续 120s 左右。发送 60s 以后,一个显著 tag 被标记在帧中,此时记录为 timestamp A。测试仪表的接收端能够识别这个带有 tag 标记的帧,然后记录它的到达时间为 timestamp B。被测设备的延迟就是 B 减去 A。帧长从最小帧长到最大帧长。在每种帧大小下,重复测试 20 次,取得平均值。

2.4 测试结果

图 2(a)是普通 IP 包从 v4->v6 和 v6->v4 两个方向的延迟。图 2 中同时给出的还有双向平均延迟 T_{bi} 值。图 2(b)是 DNS 包延迟测试结果。图 2(a)与图 2(b)进行比较,显然交给 CPU 处理的 DNS 包的延迟比交给微处理器处理的普通 IP 包的延

迟要大得多。在这种情况下，计算得到混合平均延迟见图 2(c)。由于交给 CPU 处理的应用数据的延迟比普通 IP 包大得多，因此得到的混合平均延迟主要还是受 DNS 包影响大。

根据文献[4]中广域网络由 DNS 产生的数据包占全部网络流量的 8%，如果按照比特来计量 DNS 占网络流量不超过 5%。假设混合流包含的普通 IP 包占 92%，DNS 包占 8%，根据上面测试得到的普通 IP 包和 DNS 包的双向平均延迟，代入式(4)，得到加权混合延迟结果如图 2(d)所示。

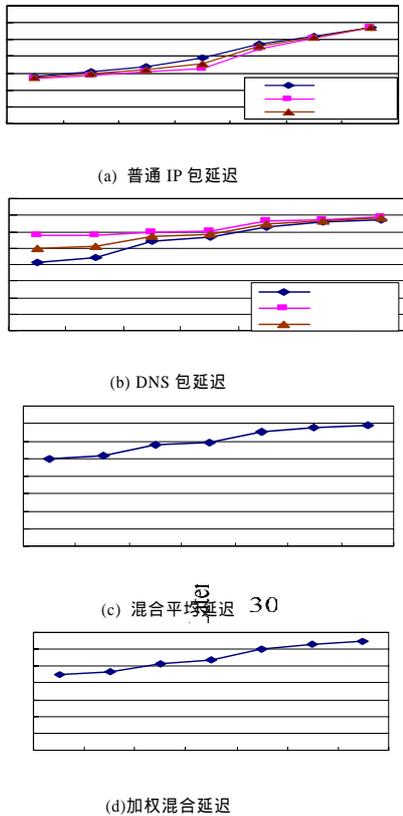


图 2 各种延迟测试结果

为了证明加权混合延迟更能体现用户的感受，参考语音服务质量的主观评价标准(Mean Objective Score, MOS)^[5],

(上接第 115 页)

(a) $p_{38}(t) = 0.98$ 时

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΔK_t	56 211	56 066	55 706	56 628	55 992	56 500	55 768	56 658	56 432	56 246

(b) $p_{46}(t) = 0.995$ 时

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΔK_t	61 321	61 518	60 698	61 237	60 856	60 392	61 123	60 841	60 632	60 675

相同差率的参照差统计结果(2)比统计结果(1)分布均匀，改进后的乱数序列的任意值对密钥低位比特的变化都非常敏感，说明分割攻击对改进后的 OCMLC 算法已经无效。

4 结论

本文较为详细地分析了 OCMLC 算法，发现该算法的加密乱数序列的前若干值对密钥低位比特变化不敏感，定量刻画了该算法的信息泄漏规律，提出了对该算法的分割攻击方

定义一个 Tr-MOS 等级，见表 5。

表 5 Tr-MOS 评分

等级	通过转换与不转换相比
3	好 感觉不到延迟增加
2	中等 有延迟但是不明显
1	差 延迟明显

测试用户在 IPv6 网络内部通过转换网关访问一些 Internet 上的知名 Web 站点，并和从 IPv4 网络内部访问同样的这些 Internet 上的 Web 站点进行比较。测试 1：访问 Web 站点的过程包括域名解析和 HTTP 过程，这个过程可以模拟实际 Internet 上的混合流量特性。测试经过转换访问 Internet 得到的评分达到 2.5 左右。测试 2：单纯的 DNS 解析延迟测试。由于测试得到的延迟达到 1~3.5ms，用户明显感到延迟的增加，其评分值在 1.5 左右。测试 3：不通过 DNS 解析，直接通过 IP 地址访问这些 Web 站点，得到的评分在 2.8 左右。说明混合流情况下的用户感受更接近于直接 IP 地址的访问。图 2(d)中的加权混合延迟与图 2(a)中普通 IP 转换延迟结果更接近，因此图 2(d)中的加权混合延迟指标更能代表大多数情况下用户的感受。

3 结束语

本文参照通用网络设备测试标准，提出了针对 IPv4/IPv6 转换网关的一套性能指标。文中虽然只给出了延迟指标的测试例，但其它指标的测试也可以通过参考本文中的方法进行。

参考文献

- Bradner S, McQuaid J. Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices[S]. RFC 2544, 1999. <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2544.htm>.
- Newman D. Benchmarking Terminology for Network Performance[S]. RFC 2647, 1999. <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2647.htm>.
- Tsirtsis P S. Network Address Translation-Protocol Translation[S]. RFC 2766, 2000. <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2766.htm>.
- Danzig, Obraczka K, Kumar A. An Analysis of Wide-Area Name Server Traffic[C]//Proc. of ACM Comp. Commun. Review. 1992.
- ITU-T P800 1996 Subjective Performance Assessment of Telephone-band and Wideband Digital Codecs[S]. 1996.

案，并分析了攻击方案的成功率和计算复杂性。然后针对该算法存在的弱点提出了使该算法抵抗分割攻击的改进措施，分析发现改进措施是有效的。

参考文献

- Wang Shihong, Li Jinyu, Liang, Lu, Sun, et al. Chaos-Packet Size Communications in a Large Community[J]. Physical Review E, 2002, 66(6).
- 金晨辉, 高海英. 对两个基于混沌的序列密码算法的分析[J]. 电子学报, 2004, 34(7): 1066-1070.
- 周红, 罗杰, 凌雯. 混沌非线性反馈密码序列的理论和有限精度实现[J]. 电子学报, 1997, 25(10): 57-60.
- 金晨辉. 一个基于混沌的分组密码算法的分析[J]. 中国工程科学, 2001, 3(6): 75-80.
- 李树钧, 牟轩沁, 纪震, 等. 一类混沌流密码的分析[J]. 电子与信息学报, 2003, 25(4): 473-478.