

FTP协议的测试及分析

孙韩林¹, 金跃辉¹, 高雪松², 张健²

(1. 北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室, 北京 100876; 2. 华为技术有限公司, 北京 100085)

摘要: 基于实验网中的一组测试数据, 分析网络背景流量、服务器 CPU 负载和文件大小对 FTP 协议性能的影响。实验结果显示, 网络带宽、背景流量从根本上限制了 FTP 协议的性能, CPU 负载在较高水平时才会影响 FTP 协议性能, 文件大小与占用的网络、服务器资源有关, 也会影响 FTP 协议性能。

关键词: FTP 协议; 性能测试; 时延; CPU 负载

Measurement and Analysis of FTP Protocol

SUN Han-lin¹, JIN Yue-hui¹, GAO Xue-song², ZHANG Jian²

(1. State Key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Post and Telecommunications, Beijing 100876;
2. Huawei Technologies Co. Ltd., Beijing 100085)

【Abstract】 Based on the measuring data collected on experimental network, this paper analyzes the effect of background traffic, server CPU load and file size upon the performance of FTP protocol. The results show that bandwidth and background traffic fundamentally constraint on FTP performance, CPU load impacts FTP performance only when it is relative heavy, and file size may affect FTP performance since it is related to the occupied network and server resource.

【Key words】 FTP protocol; performance measurement; delay; CPU load

FTP协议是TCP/IP协议栈中最重要的应用层协议之一, 提供了远程文件存取服务, 其流量在互联网流量中占据了重要的地位。为了分析网络背景流量、服务器CPU负载和文件大小等因素对FTP协议性能的影响, 本文在实验网上进行了一组测试, 并根据测试结果分析了响应、认证、控制、数据传输时延等性能指标^[1]受各种因素的影响程度。

1 测试环境及测试方法

1.1 测试环境

实验网络的拓扑如图1所示, 由3个自治域组成, 域间使用BGP路由协议, 域内使用OSPF路由协议。路由器是Cisco28或Juniper M7i系列, 链路或网络带宽均是100 Mb/s。实验网中还部署了由北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室宽带网研究中心研发的网络监测系统, 用于测量网络的时延、丢包率等性能参数, 作为分析测试数据的参考。测量设备连接在FTP服务器和客户机所在的网络。测试服务器和客户机配置见表1。

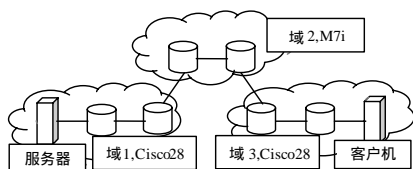


图1 网络拓扑

表1 测试服务器、客户机配置

项目	服务器	客户机
CPU	Xeon 3.0 GHz	P4 3.0 GHz
内存	1 GB	512 MB
网卡/(Mb·s ⁻¹)	100	100
操作系统	Windows Server 2003	Windows XP
程序	Microsoft IIS 6.0	Perl 程序

网络模拟背景流量用 Ixia 流量发生器生成, 从服务器所在网络注入实验网, 经过了4跳路由器。

1.2 测试方法及过程

FTP协议的测试流程如图2所示^[2]。实验中使用标准模式测试文件下载服务, 即服务器发起数据连接。客户端和服务端程序记录了响应、认证、控制和数据传输时延等参数, 各时延的起止时间见图2。

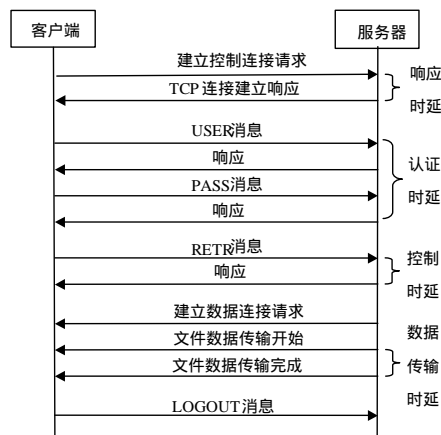


图2 测试流程

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目“面向自组织网络的安全接入、认证、服务质量控制和监测技术研究”(2006AA01Z235); 华为合作开发典型高层应用协议测试基金资助项目(YBIP2006001)

作者简介: 孙韩林(1980-), 男, 硕士研究生, 主研方向: 互联网测量技术, 自组织网络性能监测; 金跃辉, 副教授; 高雪松、张健, 工程师

收稿日期: 2008-01-20 **E-mail:** sunhanlin@gmail.com

本文主要分析网络背景流量、服务器 CPU 负载和文件大小等因素对上述时延的影响。背景流量、CPU 负载和文件大小的分类及取值见表 2。测试用例包括 27 种，分别是上列因素各取值的组合。约定用 N 表示网络，S 表示服务器，H 表示高负载，M 表示中负载，L 表示低负载。测试的样本规模为 1 000 次。

表 2 影响因素分类及取值

因素	高	中	低
背景流量/(Mb·s ⁻¹)	70±10	50±10	20±10
CPU 负载	70±5%	50±5%	20±5%
文件大小	10 MB	1 MB	100 KB

背景流量数据包的长度为 64 Byte~1 518 Byte，且其比例符合重尾分布，以更真实地模拟网络流量。

服务器 CPU 负载由负载程序控制。负载程序执行循环操作，通过控制循环次数调整 CPU 使用率。

为了保证服务器端有并发请求，客户端配有多台 PC，每台 PC 运行多个测试程序。

不同测试设备记录的数据需要在时间上同步，测试中使用 NTP(Network Time Protocol)服务实现。

2 测试结果及分析

2.1 网络背景流量的影响

随着网络流量的增加，数据包在网络中经历更长排队时间的概率增大，通过网络的平均时延也会增大。网络流量与同向的单向网络时延变化趋势相同，流量越大，单向网络时延越大；而单向时延越大，也可推断网络流量越大。

测试中背景流量和文件传输的流量均从服务器流向客户机，反方向的流量几乎没有，因此，双向网络时延的变化与从服务器到客户机方向的单向网络时延相同，也反映了从服务器到客户机方向网络流量的变化。后文所提及的网络时延均指双向网络时延。图 3 是测试时的双向网络时延均值曲线。可以看出，随着文件的增大，网络时延均值也在增大，表明传输大文件给网络引入了更大流量；随着背景流量的增大，网络层时延也在增大，表明网络总流量更大了。特别是在背景流量高的情况下，1 MB、10 MB 文件对应的网络时延均值趋于相同。

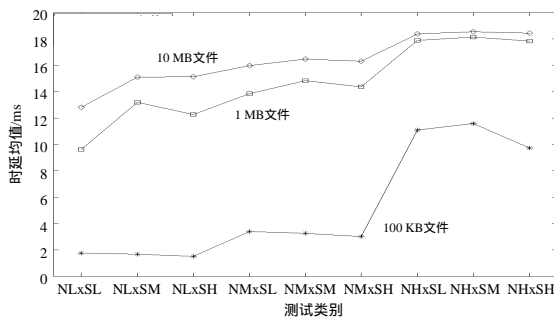


图 3 网络时延均值

网络剩余带宽决定了文件传输速度的上限及文件传输引入网络的流量上限。如果剩余带宽足够，文件越大，TCP 慢启动中所能达到的传输速度越大，文件传输的平均速度也越大，从而引入网络的流量越大；如果剩余带宽有限，文件大小超出一定范围后，TCP 慢启动过程在整个传输中所占的比例很小，平均传输速度近似于剩余带宽，文件传输引入网络的流量一定^[3]。1 MB、10 MB 文件背景流量大时的情况对应于剩余带宽有限的情形，它们给网络引入的流量基本相同；其

他情况则对应剩余带宽从足够过渡到有限的情形。

在图 3 中，网络流量相同时的网络时延均值不一定相等，这是受样本空间的影响。例如，1 MB、10 MB 文件在背景流量高时的测试时间长，时延样本数多，其均值几乎相等。另外，背景流量一定时，网络时延基本不随 CPU 负载的增加而变化，即文件传输引入网络的流量没有显著变化，因此，CPU 负载对文件传输速度的影响可以忽略。

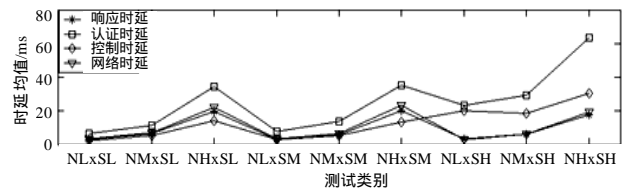
分析响应、认证、控制时延数据时发现，95% 以上的时延值在 100 ms 以下，但部分时延值却达到 1 000 ms 以上。经统计，100 KB 文件测试中几乎没有这类时延；1 MB、10 MB 文件测试中，随着网络流量的增加，大于 1 000 ms 的时延数目明显增加了，如表 3 所示。

表 3 大于 1 000 ms 时延的数目统计

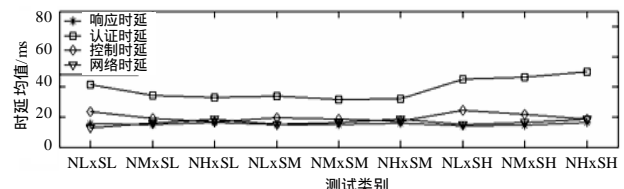
	时延类别								
	响应			认证			控制		
	100 KB	1 MB	10 MB	100 KB	1 MB	10 MB	100 KB	1 MB	10 MB
NLxSL	0	0	0	0	2	2	0	1	1
NLxSM	0	2	1	0	0	2	0	1	2
NLxSH	0	0	0	0	2	6	0	2	1
NMxSL	0	2	4	0	4	6	0	2	4
NMxSM	0	0	3	0	11	8	0	2	3
NMxSH	0	2	5	0	2	5	0	7	2
NHxSL	1	20	26	0	23	41	2	19	27
NHxSM	0	25	29	0	35	42	1	18	24
NHxSH	0	17	35	0	30	48	1	19	24

随着网络背景流量的动态变化，剩余带宽也在变化，文件传输流量可能随之调整。这个过程可能导致网络拥塞丢包，引起重传，重传数据包的时延会增大。背景流量越大，这种现象越严重。从表 3 看出，大时延值主要分布在网络流量高的情况下，以此推断，大时延值是由丢包重传引起的(认证过程包括 2 次交互，大时延则更多)。

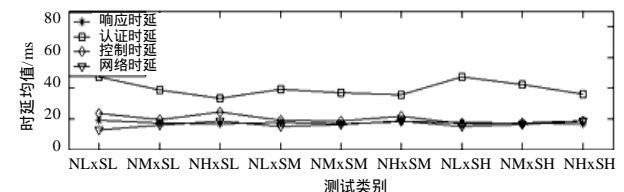
在 1 000 次样本空间中，这部分大时延对平均值的影响很大，且与分析背景流量或 CPU 负载等因素无关，所以在分析中剔除大于 1 000 ms 的时延值，即修正。图 4 是 100 KB、1 MB、10 MB 文件修正后的各类时延均值曲线图。



(a) 100 KB 文件各时延均值



(b) 1 MB 文件各时延均值



(c) 10 MB 文件各时延均值

图 4 背景流量对比的实验结果

响应时延主要有TCP连接建立时延。在Windows Server 2003 中, TCP连接请求由操作系统内核响应^[4], 服务器处理引起的时延很小, 因此, 响应时延主要是网络时延。

根据图 4, 100 KB 文件的响应时延均值几乎与网络时延均值相等; 1 MB, 10 MB 文件的响应时延均值与网络时延均值有一定的差别。这是因为 1 MB, 10 MB 文件测试时服务器需发送大量数据, 产生了大量网络 I/O 中断, 占用了更多的内核时间, 另一方面也由于样本空间小。当 CPU 负载一定时, 100 KB 文件的认证时延均值随网络流量的增加而增加。各种背景流量下, 100 KB 文件传输给网络引入的流量相同(剩余带宽足够), 因此, 服务器处理的数据量相同, 在同等 CPU 负载下, 服务器处理引起的时延也相同, 认证时延的变化基本等于网络时延的变化。图 4(b)、图 4(c)显示 1 MB, 10 MB 文件认证时延均值的变化趋势随网络流量的增加而减小。由图 3 知, 1 MB, 10 MB 文件测试时的网络流量大于 100 KB 文件在背景流量大时的网络流量, 后者在 70 Mb/s 以上。据此可以推断, 背景流量的增加程度大于网络总流量的增加, 即背景流量增加时, 文件传输流量减小了。因此, 服务器处理的数据量减少了, 它引起的时延也减小了。当服务器处理时延的减小程度超过网络时延的增加时, 总时延减小。1 MB 文件在 CPU 负载高时的现象是个例外, 它是由样本空间小所造成的。控制时延均值的变化与认证时延均值相同, 差别在于认证时延比控制时延大, 这也是由认证的 2 次交互引起的。

网络背景流量对数据传输时延的影响显而易见。背景流量越大, 可用于数据传输的带宽越小, 数据传输时延越大。数据传输时延均值如图 5 所示。

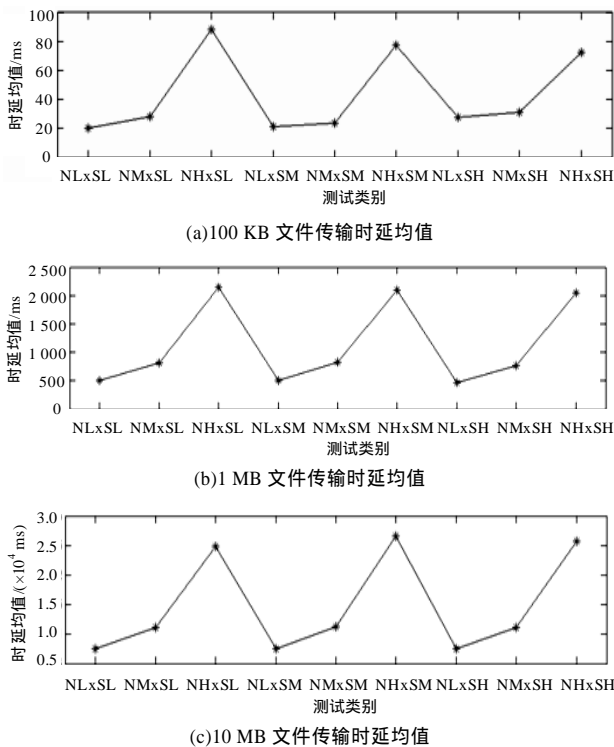


图 5 传输时延均值

2.2 服务器 CPU 负载的影响

服务器 CPU 负载越高, 一定时间内 FTP 服务程序获得的 CPU 资源越少, 因此, 服务器处理引起的时延越大。

图 6 是各类时延均值随服务器 CPU 负载变化的曲线。其中, 响应时延不受用户态程序占用 CPU 的影响。可以看出,

当背景流量一定时, 100 KB 文件的认证、控制时延均值在 CPU 轻、中负载时基本相同, 重负载时有明显增加。这显示 CPU 轻、中负载时, 服务程序可以及时获得 CPU 资源处理请求, 负载增加引起的时延增加很小; 而重负载时需等待更长时间, 导致时延明显增加。1 MB, 10 MB 文件的认证、控制时延变化大致与 100 KB 文件相同。但 CPU 轻、中负载时认证、控制时延均值的差别比 100 KB 文件大, 这是因为时延绝对值较大而样本空间小。

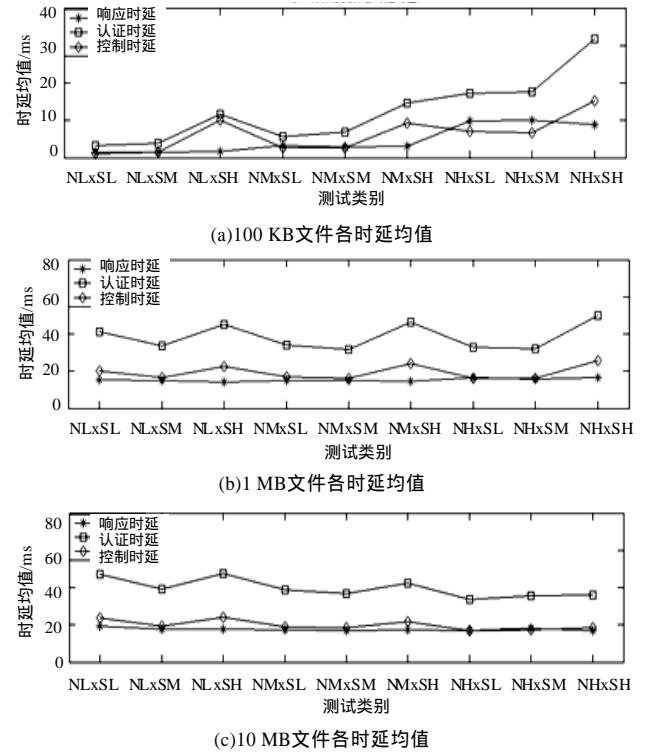


图 6 CPU 负载对比实验结果

2.3 文件大小的影响

图 7 是响应、认证和控制时延在文件大小方面的对比。

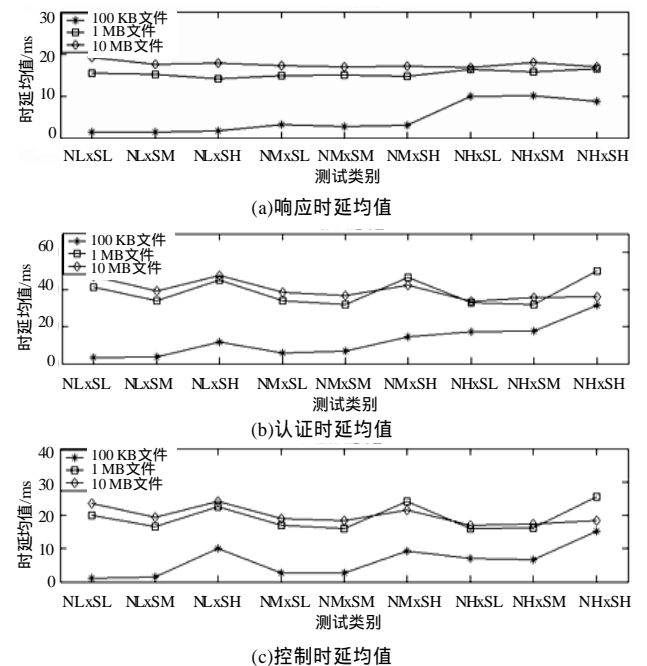


图 7 文件大小对比实验结果

(下转第 138 页)