

基于音频的多媒体网络性能测试分析

杜晓军, 邢岳林, 王德政, 冯磊, 冯静颖

(山东大学信息科学与工程学院, 济南 250100)

摘要: 时间同步是测试中的一个难点, 现有的测试方法大多都是测试往返时延, 以避开时间同步, 但得到的抖动误差很大, 所以对单向时延的精确测量是获取网络抖动的前提。该文通过测试发送端和接收端的往返时延, 结合 RTP 协议和数学公式的推导, 给出通过测得的往返时延计算出单向时延的方法, 并对实际的多媒体网络性能进行了测试。

关键词: 单向时延; 往返时延; 抖动; 丢包率; 吞吐量

Performance Analysis for Multimedia Network Based on Audio Criterion

DU Xiao-jun, XING Yue-lin, WANG De-zheng, FENG Lei, FENG Jing-ying

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100)

【Abstract】 Synchronization is a difficulty in performance testing. Previous tests use round-trip delay to avoid the synchronization problem, but the jitter error can not be neglected. So precise testing one-way delay is very important. The paper provides a way, using round-trip delay to compute one-way delay, through transmitting and accepting delay. Based on this method, it tests a real multimedia network.

【Key words】 one-way delay; round-trip delay; jitter; packet loss rate; throughput

对多媒体网络性能有效测试引起了从事各种实时业务的运营商的高度重视, 测试为网络研究人员了解网络和改善网络质量提供了可靠依据。

本文分析现有的互联网测试方法, 结合多媒体网络采用的 RTP 协议, 由往返时延推导出单向时延, 提高了测试抖动的精度。该方法在避免时间同步的同时, 对多媒体网络对称与否未知情况下的网络性能测试有一定的参考价值。

1 网络性能测试的相关参数

ITU的SG13 工作组和互联网工程任务组 (the Internet engineering task force, IETF)的 IPPM WG(IP performance metric working group)工作组分别对网络性能参数进行了定义^[1]。本文结合二者给出多媒体网络的测量参数:

(1)单向时延(one-way delay): 指包到达的时刻与发送时刻的时间差;

(2)往返时延(round-trip delay): 在时间 T , P 类型包的第 1 个比特从源端向目的端发送, 目的端收到后, 立即将 P 类型包返回到源端, 源端在时间 $(T+dT)$ 收到 P 类型包的最后 1 个比特, dT 就是往返时延;

(3)时延变化(Ipdv): 同一数据流中的 2 个包的单向延迟之差;

(4)丢包率(packet loss rate): 如果一个包未在合理的时间内到达目的端, 就认为发生丢包, 这个合理的时间段依赖于测量得到的单向延迟。

2 多媒体网络性能测试方法

2.1 传输协议的选取

IETF制定了专门为交互式音频、视频、仿真数据等实时媒体应用而设计的实时传输协议(real time transmission protocol, RTP), RTP数据通常采用UDP、IP封装^[2]。

RTP 数据包由头部(前 12B 的含义是固定的)和负载(音频或者视频数据)组成。头部结构如下:

1	2	3	8	9	16bit
V	P	X	CSRC Count	M	Payload Type
Sequence number			Timestamp		
SSRC			CSRC(variable 0~15 items 32bits each)		

RTCP 是用来监视 RTP 传输质量的一个伴随协议。在 RFC1889 中定义了许多 RTP 分组, 分别承担不同的控制功能: (1)SR: 发送方报告; (2)RR: 接收方报告; (3)SDS: 源描述包; (4)BYE: 站点离开系统的报告包; (5)APP: 特殊应用包。

2.2 数据抽样的标准

目前常用的抽样方法是周期抽样、随机附加抽样和泊松抽样^[3]。RFC2330 推荐泊松抽样, 其优点是: 能够实现对测量结果的无偏估计, 测量结果不可预测, 不会产生同步现象。由于指数函数是无界的, 泊松抽样有可能产生很长的抽样间隔, 因此测试限制在 2 次 RTCP 数据包发送间隔内, 以加速抽样过程的收敛。

2.3 数据包大小的选取及数据包的间隔

RTP 协议本身对数据包的大小不作要求, 但要受下层协议的制约。对于局域网, IEEE802.3 标准规定 MAC 帧的 MAC 客户数据(46B~1 500B); 对于广域网, IP 数据包的长度受最大传送单元(maximum transfer unit, MTU)的限制。MTU 的默认值是 1 500B^[4]。对于大于 14 600B(减掉 IP 层首部 20B~60B, UDP 首部 8B, RTP 首部 12B, 如图 1 所示)的包, 要分片。测

作者简介: 杜晓军(1981 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 多媒体网络通信; 邢岳林, 副教授; 王德政, 硕士研究生; 冯磊、冯静颖, 本科

收稿日期: 2006-11-02 **E-mail:** dxj811207@sina.com

试包大小的范围是 50B~1 496B。

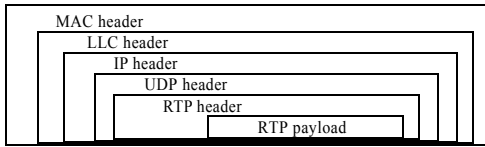


图1 MAC层数据包结构

2.4 发送速率及发送时间间隔

根据链路吞吐量理论极限值^[5]、数据包长度和包间隔共同确定需要发送数据包的数目，例如百兆网 512B数据包数目为 $100000000/(512*8)=24414$ 个。测试中，发送间隔=取整{ $1000 \times 8 \times$ 包大小/吞吐量}，单位为ms，吞吐量的单位是b/s。

2.5 单向时延及抖动的测试方法

2.5.1 往返时延的测试方法

基于RTP协议的多媒体网络，往返时延可以从发送端与接收端的数据包中获得^[6]。发送端RTP数据包中时间戳(timestamp)记录了发送包的时间，该时间戳将出现在接收端收到该包后发回的RR类型的RTCP数据包的时间戳字段。这样，记录发送端收到该回复数据包时刻值，它与时间戳字段的差值就是发送端的往返时延。

2.5.2 单向时延的测试方法

当前，测试微机端与端的时间同步最精确的方法是使用GPS定位系统，但其费用高，对一般测试并不适用。下面给出一种基于往返时延获取单向时延的方法(图2)，避开了测试端时间同步。

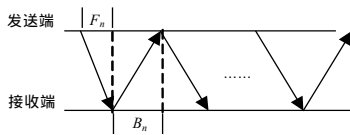


图2 流的单向时延

设发送端时钟为 t_s ；接收端时钟为 t_r ；两端时钟偏差为 t_{sr} ；相对于发送端时钟，发送第 n 个包发送时间为 S_n ；相对于接收端时钟，发送第 n 个包接收时间为 R_n ；相对于 t_s ，第 n 个包到达接收端的时间为 G_n ；相对于 t_s ，第 n 个包前向时延为 F_n ；相对于 t_s ，第 n 个包反向时延为 B_n ；相对于 t_s ，第 $n-1$ 个包往返时延为 $RTT(s,n)$ ；相对于 t_r ，第 $n-1$ 个包往返时延为 $RTT(r,n)$ 。

由图2得到下式：

$$\text{对发送端} \quad RTT(s,n+1)=F_{n+1}+B_{n+1} \quad (1)$$

$$\text{对接收端} \quad RTT(r,n)=F_{n+1}+B_n \quad (2)$$

由式(1)、式(2)得到式(3)：

$$RTT(s,n+1)-RTT(r,n)=B_{n+1}-B_n \quad (3)$$

由式(3)中 n 的取值从1到 n 得到：

$$RTT(s,2)-RTT(r,1)=B_2-B_1$$

$$RTT(s,3)-RTT(r,2)=B_3-B_2$$

$$RTT(s,4)-RTT(r,3)=B_4-B_3$$

...

$$RTT(s,n+1)-RTT(r,n)=B_{n+1}-B_n$$

将上面所有式子两边求和得到：

$$\sum RTT(s,i+1)-\sum RTT(r,i)=B_{n+1}-B_1 \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (4)$$

由式(1)可知：

$$B_{n+1}=RTT(s,n+1)-F_{n+1}; B_1=RTT(s,1)-F_1$$

$$B_{n+1}-B_1=\sum RTT(s,i+1)-\sum RTT(r,i)$$

$$=RTT(s,n+1)-F_{n+1}-RTT(s,1)+F_1$$

那么，

$$F_{n+1}=F_1-\sum [RTT(s,i)-RTT(r,i)] \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (5)$$

式(5)就是测试前向单向时延的式子； $RTT(s,i)$ 由2.5.1节中的方法可以测得； $RTT(r,i)$ 由发送端接收相邻2次接收端发回的RR类型的RTCP数据包时间戳字段的差值测得。

F_1 选择方法：

设 $d=F_n-B_n$ ，当 $d>0$ 时，

$$2F_1 > RTT(s,1) > 2B_1 \quad (6)$$

$$F_2 = F_1 - RTT(s,1) + RTT(r,1) \quad (7)$$

$$RTT(s,2) = F_2 + B_2 \quad (8)$$

有理由认为 B_1, B_2 之间的变化不会太大，即 $RTT(s,1) > 2B_1$ 时， $RTT(s,1) > 2B_2$ 。那么就由式(6)~式(8)得到：

$$RTT(s,2) = F_1 - RTT(s,1) + RTT(r,1) + B_2$$

因为 $B_2 = RTT(s,2) + RTT(s,1) - RTT(r,1) - F_1 < RTT(s,1)/2$ ，所以 $F_1 > RTT(s,1)/2 + RTT(s,2) - RTT(r,1)$ ，得到 $RTT(s,1)/2 + RTT(s,2) - RTT(r,1) < F_1 < RTT(s,1)$ 。类似得到当 $d < 0$ 时， $0 < F_1 < RTT(s,1)/2 + RTT(s,2) - RTT(r,1)$ ；当 $d = 0$ 时，前向时延等于后向时延 $F_1 = B_1 = RTT(s,1)/2$ 。

实际测试时可以在时钟有偏差的情况下根据发送时间间隔发送音频数据包。在接收端记下第1个包到达的时间(相对接收端时钟)，它与流中第1个RTP包时间戳的差值即为 F_1 的偏差值，测试几组前向时延与相对发送端时钟的往返时延，由此观察 d 的变化趋势： $=F_n/RTT(s,n+1)$ 。设 $1 > \alpha > \beta > 0$ ，取 $\alpha = 0.6, \beta = 0.4$ ，那么

(1)当 $d > \alpha$ ，取中值作为 F_1 ：

$$F_1 = 3RTT(s,1)/4 + RTT(s,2)/2 - RTT(r,1)/2$$

(2)当 $d < \beta$ ，取中值作为 F_1 ：

$$F_1 = RTT(s,1)/4 + RTT(s,2)/2 - RTT(r,1)/2$$

(3)当 $\alpha > d > \beta$ ：

$$F_1 = B_1 = RTT(s,1)/2$$

2.5.3 抖动的测试方法和抖动缓存的大小

抖动即时延变化，先测一段时间内网络的单向时延，根据所测得的单向时延值计算出该时间间隔内的抖动。根据经验，抖动一般为几十毫秒。

根据抖动的范围，测试中可以定义抖动缓存的大小，一般设置为1KB。

2.6 丢包率的测试方法

分析发送方报告(SR)类型RTCP数据包，很容易得到丢包率。包格式如图3所示^[7]。

V	P	RC	PT=SR=200	lengthh(长度)
发送方SSRC				
NTP时间戳，字的高位部分				
NTP时间戳，字的低位部分				
RTP时间戳				
发送方数据包计数				
发送方负载字节计数				
SSNC_1(第一个数据源的SSRC)				
短时丢包率 累计丢包率				
扩展的最大序列号				
包间到达延时抖动				
上一个SR的时间戳				
上一个SR以来的延迟				
SSNC_2(第2个数据源的SSRC)				
.....				
由特定用文件的扩展				

图3 SR类型的RTCP数据包格式

根据接收方报告块，可由短时丢包率字段获取自发出上一个发送方报告后丢失的包数除以期望得到的包数的丢包率。另外累计丢包数记录了接收开始后的丢失包总数，它等于期望得到的包数（包括迟到和重复的），即收到的最大序列号减去初始序列号，所以丢失有可能是负数。

3 测试工具及具体的测试结果

利用主动测试与被动测试相结合，可以更好地获取网络性能。

测试选用 GIPS IP WorkBench(如图 4)，该测试工具依据 RTP 协议，可以按照指定的数据包大小和时间间隔发送探测针，在接收端，可以观测接收数据包的情况。

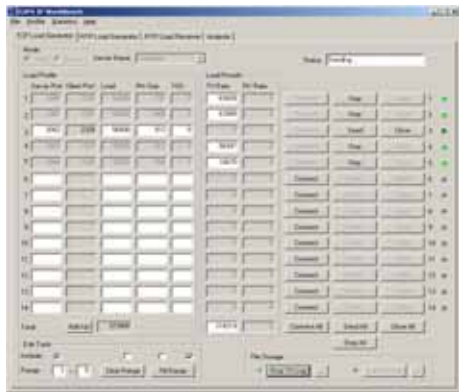


图 4 测试软件

视频帧在网络中传输一般都要分片，因此不作为测试探针^[8]。测试探针参考音频标准，常见的音频编码有 G.711, G.726, G.723, G.7231, G.729。比特率分别 64Kb/s, 16Kb/s, 6.4Kb/s, 5.3Kb/s, 8Kb/s。

根据常用的音频标准，设定如表 1 所示的测试包大小和发送间隔。

表 1 测试选用的数据包

发送速率/(Kb · s ⁻¹)	测试包/B		
	t ₁	t ₂	t ₃
64	160	320	480
48	120	240	360
32	80	160	240
16	40	80	120
8	20	40	60

注：t₁、t₂、t₃分别表示时间间隔为 20ms、40ms、60ms。

基于实际多媒体网络，选取网络中 2 台服务器作为测试点，依据上文提出的测试方法，在网络中传送不同类型的数据包，经过近一个月的测试，得到图 5~图 7 的实验结果。

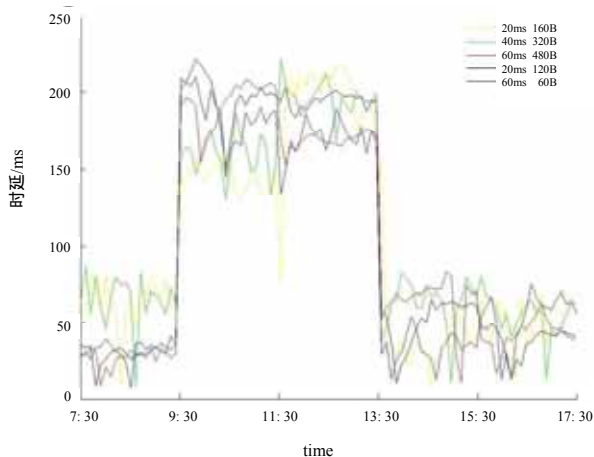


图 5 月平均单向时延

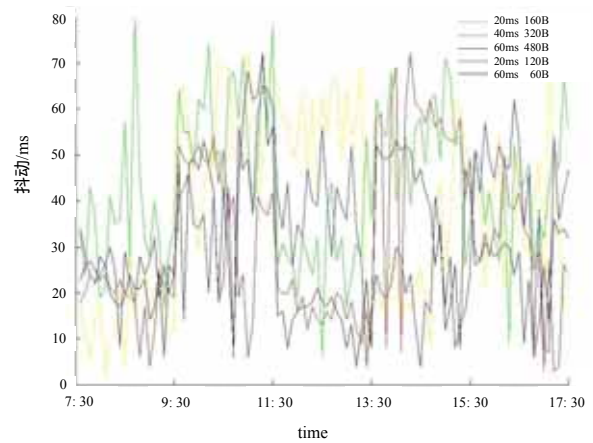


图 6 月平均抖动

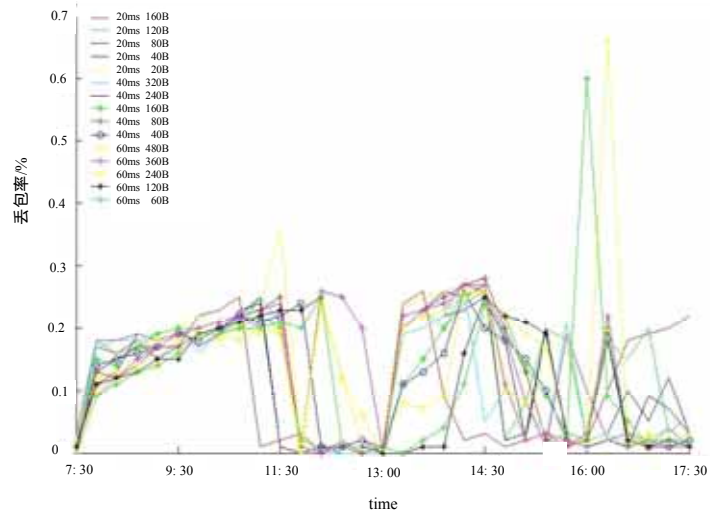


图 7 月平均丢包率

3.1 月单向时延分析

从 1 月的时延图中，可以看到网络在 9:30~13:30 内，接入网络的客户端多、网络负荷重，探测包在网络中传输时间和路径也相应增加，单向时延都高于 100ms。其他的时间段内，网络的单向时延都小于 100ms，对多媒体数据传输而言，这时的网络状况良好。另外，每种类型的数据包变化趋势相似，说明测试用的探测包对于网络真实流量可忽略不计。对比软件测试出的往返时延的 1/2 根据公式计算所得的单向时延偏大，可知网络是不对称的，且前向时延大于逆向时延。

3.2 月抖动分析

从图 6 中可以看到，大部分的时间里，网络的抖动都超过 30ms，说明该网络实际传输多媒体数据时，接收端可能出现不连续现象，视频可能出现停顿缓冲。不同大小的数据包以不同的间隔发送，其抖动无相似趋势。因此，不能通过建立模型仿真或包大小和抖动之间的函数去测试实际网络。

3.3 月丢包率分析

测试中通过软件记录测试时间段内的发送包数和发送序号，分析接收端数据包序号的丢失个数，确定每个时间段的丢包率。从图 7 可以看出，上午的丢包率多半超过 5%；中午到下午 3:00，丢包率多半在 5%以内。可能是上午工作时上网人数多，而午饭及休息时上网人数少，因此网络负荷小，丢包率比上午小。3:00~5:00，丢包率出现高峰。

(下转第 220 页)