

# YD

# 中华人民共和国通信行业标准

YD/T 1381-2005

---

## IP 网络技术要求——网络性能测量方法

IP network technical requirements  
—— network performance testing methods

2005-09-01 发布

2005-12-01 实施

---

中华人民共和国信息产业部 发布

## 目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 定义和缩略语	1
4 测量参数要求	3
5 测量中度量单位的要求	4
6 性能参数的合成	5
7 单体测量的基本要求	5
8 抽样测量的基本要求	6
9 测量中的时钟要求	8
10 测量安全性的基本要求	9
11 测量的不确定性与误差分析	10
12 测量结果的统计方法	10
13 性能参数的测量方法与样例	11
附录 A (资料性附录) 测量方法的类型	18
附录 B (资料性附录) 泊松抽样的产生	20

## 前 言

本标准是“IP 网络技术要求”系列标准之一，该系列标准的结构及名称如下：

1. YD/T 1149-2001 IP 网络技术要求——计费；
2. YD/T 1170-2001 IP 网络技术要求——网络总体；
3. YD/T 1171-2001 IP 网络技术要求——网络性能参数与指标；
4. YD/T 1317-2004 IP 网络技术要求——IP 网与 PSTN、ATM、移动网互通；
5. YD/T 1381-2005 IP 网络技术要求——网络性能测量方法；
6. YD/T 1382-2005 IP 网络技术要求——流量控制。

本标准修改采用了 IETF RFC2330《IP 网络性能度量框架》，与其主要差异如下：

1. 在参数定义中增加了 ITU I.350 中有关的参数定义；
2. 增加了对测量安全性的基本要求；
3. 增加了性能参数的测量方法与样例。

附录 A 和附录 B 都是资料性附录。

本标准由中国通信标准化协会提出并归口。

本标准主要起草单位：信息产业部电信研究院

本标准主要起草人：高 巍 何宝宏 田 辉 马 科 魏 亮

# IP 网络技术要求——网络性能测量方法

## 1 范围

本标准规定了 IP 网络性能测量方法，包括单体测量，抽样测量，测量方法中的单位要求、时钟要求、安全性要求、不确定性和误差分析、结果的统计方法等，并规定了具体性能参数的测量方法和列举了部分测量样例。

本标准适用于采用 IPv4 网络性能的测量。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

YD/T 1171-2001	IP 网络技术要求——网络性能参数与指标
ITU-T I.350 (1993)	数字网 QoS 和网络性能的总体要求
IETF RFC2330 (1998)	IP 网络性能度量框架
IETF RFC2678 (1999)	IPPM 度量：可用性
IETF RFC2679 (1999)	IPPM 度量：单向时延
IETF RFC2680 (1999)	IPPM 度量：单向 IP 包丢失率
IETF RFC2681 (1999)	IPPM 度量：双向时延
IETF RFC3148 (2001)	大批量传输能力度量定义框架
IETF RFC3393 (2002)	IPPM 度量：IP 包时延变化
IETF RFC3432 (2002)	周期性数据流的网络性能测量

## 3 定义和缩略语

下列定义和缩略语适用于本标准。

### 3.1 定义

#### 1) P 类型包 (Packet of TYPE-P)

许多 IP 网络性能参数的值取决于测量用的 IP 包类型，因此测量参数的名称也应包含特定的包类型，在本标准中用具有一般性的“P 类型包”代替各种具体的 IP 包类型。

#### 2) 主机 (host)

能够使用 IP 协议进行通信的计算机，包括路由器。

#### 3) 路由器 (router)

通过转发 IP 包使网络中的主机能够在网络层上进行通信的一种主机。

#### 4) 源主机 (source host—SRC)

能够产生端到端通信的 IP 数据包并具有完整 IP 地址的主机。

#### 5) 宿主机 (destination host—DST)

能够终结端到端通信的 IP 数据包并具有完整 IP 地址的主机。

6) 链路 (link)

在一对主机之间传送 IP 数据包的点到点 (物理或虚拟的) 连接。

7) 电路段 (circuit section—CS)

电路段有两种形式: 源主机或宿主机与相邻主机 (路由器, 其管辖权可能属于其他网络) 的链路连接; 一个网络段中的路由器与另一个网络段中的路由器的链路连接。

8) 网络段 (network section—NS)

同一管辖权的网络中的一组主机以及连接它们的链路构成一个网络段 (也叫网络云)。网络段在源主机和宿主机之间提供部分 IP 数据包的传送业务。当网络段包含源主机或宿主机时, 它又称为源网络段和宿网络段。

9) 路径 (Path)

型如  $\langle h_0, l_0, h_1, \dots, l_n, h_n \rangle$  的一个序列, 这里  $n \geq 0$ , 每个  $h_i$  是一台主机, 每个  $l_i$  是位于  $h_{i-1}$  和  $h_i$  之间的一条链路, 每个  $h_i \dots h_{n-1}$  是一台路由器。一对  $\langle l_i, h_i \rangle$  被称为一“跳”。在合理的操作配置中, 路径中的链路和路由器能够完成从  $h_0$  到  $h_n$  的网络层的包通信。这里路径是一个没有方向性的概念。

10) 子路径 (SubPath)

给定一条路径, 子路径是给定路径的任何子顺序, 其本身也是一条路径 (这样, 子路径的第一个和最后一个实体都是一台主机)。

11) 云 (Cloud)

是一个无向图式的结构, 其顶点是路由器, 其边是连接路由器的链路。

12) 交换点 (Exchange)

是一种特殊的链路, 它将主机和云直接相连, 或把云与另一个云直接相连。

13) 测量点 (Measurement Point, MP)

能够观察和测量性能参考事件的主机和与之相邻链路的边界。利用 MP 可以界定一些基本段 (basic section), 它们可以是一个 CS、一个 NS、一个 SRC 或是一个 DST。

14) 入口测量点 (ingress MP)

IP 数据包进入 CS 和 NS 时经过的一组 MP。

15) 出口测量点 (egress MP)

IP 数据包离开 CS 和 NS 时经过的一组 MP。

16) 包序列号 (sequence number)

一个序号数值, 用于惟一标识包传输的顺序, 可以是数据包在 SRC 的发送时刻, 也可以是按发送顺序递增的消息号或者字节流的序号, 包序列号只能是递增的。

17) 下一期望包序号 (Next Expected Packet Number, NextExp)

为前一个正常收到的包序列号加 1, 保存在目的端, 用于对包的顺序进行判断, 每一个新的按顺序到达的包都将使“下一期望包序号”值增加。

3.2 缩略语

CS	Circuit Section	电路段
DoS	Denial of Service	拒绝服务
DST	Destination Host	目的主机
EDF	Empirical Distribution Function	经验分布函数

GPS	Global Position System	全球定位系统
ICMP	Internet Control Messages Protocol	Internet 控制报文协议
IETF	Internet Engineering Task Force	因特网工程任务组
IP	Internet Protocol	因特网协议
IPDV	IP Packet Delay Variation	IP 包时延变化
IPER	IP Packet Error Ratio	IP 包误差率
IPLR	IP Packet Loss Ratio	IP 包丢失率
IPPM	IP Performance Metrics	IP 性能度量参数工作组
IPTD	IP Packet Transfer Delay	IP 包传输时延
ITU	International Telecommunications Union	国际电信联盟
MIB	Management Information Base	管理信息库
MP	Measurement Point	测量点
NextExp	Next Expected Packet Number	下一期望包序号
NS	Network Section	网络段
NSE	Network Section Ensemble	网络段集合
NTP	Network Time Protocol	网络时间协议
QoS	Quality of Service	服务质量
SLA	Service Level Agreement	服务等级协定
SNMP	Simple Network Management Protocol	简单网管协议
SRC	SouRce host	源主机
TCP	Transmission Control Protocol	传输控制协议
TOS	Type Of Service	服务类型
TTL	Time To Live	生存时间
UDP	User Datagram Protocol	用户数据报协议
UTC	Universal Time Code	世界时间代码

## 4 测量参数要求

### 4.1 参数选取准则

为了从端到端的角度反映网络的实际运行情况，IP 网络性能测量参数的制定应遵循以下准则：

- 参数必须是具体而明确的；
- 参数本身可以对高层应用产生影响，且用户可以感知；
- 参数的定义不依赖于具体的网络技术与拓扑，并用与具体网络无关的术语进行描述；
- 参数的测量具有可重复性，在相同条件下测量多次应得到相同的测量结果；
- 参数的测量结果对于采用相同技术的网络不应该表现出差异性，对采用不同技术的网络应该表现出差异性；
- 参数的选择应避免引入人为的性能目标。

### 4.2 IP 网络性能参数

根据以上准则，本标准中选取了下列性能参数。

1) IP 可用性 (IP Availability)

即网络层的可用性,代表被测网络两个 MP 之间网络层的通信能力,为一布尔类型值。IP 可用性的基础是包丢失率性能的门限值  $c_1$ ,在实际测量中  $c_1$  值可根据情况进行设定,如  $c_1$  值可设定为 0.75。在 SRC 和 DST 之间发送 P 类型测量包,若在规定时间间隔内 IP 包丢失率低于  $c_1$ ,则 IP 可用性值为“真”,否则其值为“假”。

2) IP 包传输时延 (IP Packet Transmission Delay, IPTD)

IP 包传输时延定义为穿过一个基本段或 NSE 传送 IP 包所经历的时间,与该 IP 包传送成功与否无关,IP 包传输时延包括 IP 包单向传输时延 (One-Way IPTD) 和 IP 包往返传输时延 (Round-Trip IPTD)。IP 包单向传输时延指在被测网络的两个 MP 之间发送 P 类型测量包, DST 收到测量包的线路时间与 SRC 发送测量包的线路时间的差值; IP 包往返传输时延指在被测网络的两个 MP 之间发送 P 类型测量包, DST 收到测量包之后立即回送, SRC 收到回送测量包的线路时间与 SRC 发送测量包的线路时间的差值。

3) IP 包时延变化 (IP Packet Delay Variation, IPDV)

即成功传送的 IP 包在网络中传输时时延值 (包括单向传输时延和往返传输时延) 的变化。对于单个 IP 包来说,可以表示为该 IP 包的时延值与数据流中所有 IP 包平均时延值的差值;对于数据流来说,可以表示为该数据流中所有 IP 包时延的均方差值;也可以采用其他能够反映时延变化特性的统计计算值。

4) IP 包丢失率 (IP Packet Loss Rate, IPLR)

为丢失 IP 包数与所有发送的 IP 包数的比值,即 IP 包在从 SRC 到 DST 的传输过程中发生丢失的比率。

5) IP 包误差率 (IP Packet Error Rate, IPER)

为错误 IP 包数与成功传送 IP 包数和错误 IP 包数之和的比值。即当 DST 接收到 IP 包时,头部字段或载荷部分发生错误的 IP 包数占所有收到的 IP 包数的比率。

6) 路径吞吐量 (Path Throughput)

指从 SRC 到 DST 的端到端路径上的数据包传送能力。理论上是指在 SRC 端以很高的速率向 DST 发送数据,此时在 DST 端所能接收到的最大数据速率。

7) IP 包错序 (Packet Reordering)

当 SRC 为每个发送的数据包分配一个单调递增的包序号,在 DST 端保存与接收包序号相关的“下一期望包序号 (NextExp)”,如果到达数据包的包序号小于 NextExp,则发生了 IP 包错序,即 IP 包错序值为“真”,否则为“假”。

下面是对性能参数的说明:

— 在每个参数的说明中,性能测量点 (MP) 都是指 SRC 和 DST,且入口测量点为 SRC、出口测量点为 DST。其中,双向传输时延的入口测量点和出口测量点均为 SRC。

— 在 IP 包丢失率的说明中,数据包的丢失是指数据包在传输过程中被丢弃或传输时延 (包括单向传输时延和双向传输时延) 大于 MP 上所规定的超时值。如可在 SRC 端将双向传输时延的超时值设为 5s,则往返测量包的时延 > 5s 即视为丢失。

## 5 测量中度量单位的要求

每个测量参数都应使用国际公制单位,并应符合以下要求:

— 当使用单独的计量单位时,应使用国际标准单位制的千进制单位,例如距离可以 m (米) 为单位,也允许使用 km (千米) 和 mm (毫米);时间以 s (秒) 为单位,也允许使用 ms (毫秒) 或  $\mu$ s (微秒) 来计时。

— 当使用组合单位时，可以使用国际标准单位制的千进制单位，但这个千进制单位必须位于组合单位的开始处，例如，可以使用 km/s（千米/秒），但不能使用 m/ms（米/毫秒）。

— 信息量的单位是比特（bit）。

在本标准中，当使用比特或包含比特的组合单位时，为简化测量结果的计算，避免产生混淆，千进制的含义与公制单位中相同，即指十进制中的 1000，而不是在计算机领域惯用的 1024。

## 6 性能参数的合成

根据实际的需要，当对某些性能参数难以在某一空间范围内或某段时间范围上进行端到端的测量时，这些性能参数可以以合成的方式来表征。这种合成可分为空间合成和时间合成。

### 6.1 性能参数的空间合成

某些性能参数可以通过空间合成的方式来表征，即该参数可以通过对路径上各个子路径的性能进行叠加来得到整个路径上的参数值。如一条从主机  $h_0$  至主机  $h_n$  的链路  $P$ ， $P$  可表示为一个集合： $\langle h_0, e_1, C_1, \dots, e_n, h_n \rangle$ ，其中  $e_i$  表示交换点， $C_i$  表示云，则路径  $P$  上的时延参数可以用路径上各个元素所产生的时延之和来近似表示。

### 6.2 性能参数的时间合成

某些性能参数可以通过时间合成的方式来表征，即由某时刻  $T$  及  $T$  之前的  $n$  个时刻  $t_0 < t_1 < \dots < t_n < T$ ， $T$  时刻的性能参数可以由  $t_0, t_1, \dots, t_n$  时刻的值推导出来。

### 6.3 性能参数合成的条件

在对性能参数进行空间合成和时间合成之前，必须对合成的可行性进行分析。

对于空间合成，性能参数首先要满足或近似满足一种在空间上的分段线性特性，即可以在空间上进行分段的线性叠加。如果性能参数不满足空间上的分段线性特性，则不能进行空间上的合成。如吞吐量参数，其特性主要由网络中某一瓶颈处的性能决定，不满足空间上的线性特性，不能进行空间合成。

可进行时间合成的参数应满足或近似满足在时间上的因果性或其变化表现出规律性，如吞吐量参数。性能参数的时间合成在实际使用中有很多限制，性能参数在时间上所表现出的关系也比较复杂，因此在利用性能参数的时间合成特性之前要充分分析其可行性。

## 7 单体测量的基本要求

### 7.1 单体测量

单体测量是对某个性能参数一次独立的、有效的测量行为，具有独立性和有效性，同时单体测量具有“原子性”，即是一次单独进行的测量。其独立性是指单体测量的过程和结果的统计并不依赖于其他的测量行为；其有效性是指单体测量的过程和结果的统计是科学的、标准化的，能够满足特定测量的要求，并进行了适当的误差分析。在本标准中，可将单体测量视为抽样测量的一个实例。

### 7.2 单体测量中测量包的基本要求

#### 1) 测量包的基本构成

测量中所用的测量包均应该满足下列要求。

- 长度等于 IP 头的大小加上净荷的大小。
- 包括一个有效的 IP 头：版本字段值为 4；头长度  $\geq 5$ ；校验和是正确的。
- 不是 IP 分片。



- 源地址与目的地址和主机相对应。
- 如果 TTL 每经过一跳减 1，则包从源传送到目的地需要足够的 TTL；或者它有 255 的 TTL 最大值。
- 不包含 IP 选项。
- 如果出现传输层包头，它应包含有效的校验值和其他有效域。
- 允许设置服务类型字段的值。

## 2) 测量包长度的要求

测量中所选用的测量包长度应采用在最小 IP 包长与被测网络段中路径 MTU 之间的数值。因此在进行性能测量之前应先测定被测网络段的 MTU。

实际测量时，可在最小包长至 MTU 之间以平均间隔选取  $N$  个包长值进行测量，也可以根据所进行业务测量的特性选取若干包长值作为测量包长。

## 7.3 单体测量中的地址表述

测量中对测量点以及其他测量中需要使用的主机地址进行表述时，必须使用 IPv4 地址，而不能使用域名。

## 8 抽样测量的基本要求

### 8.1 抽样测量

抽样测量是指从特定的单体测量中依据一定的抽样（分布）原则抽取多个不同的实例，结合起来导出的测量方法。测量中的抽样分为两个方面：一是测量过程中的抽样（采样），二是对测量结果的抽样统计。对于后者，将在“测量结果的统计方法”一节中叙述，本节主要说明测量过程中的抽样。

在抽样测量中，同样应该满足单体测量中对测量包的要求。

### 8.2 抽样的基本原则

在 IP 网络性能的测量中，不论是主动测量还是被动测量，都是一个抽样的过程。对于主动测量，其抽样是指发送测量数据包的过程；对于被动测量来说，抽样则是指从业务流量中采集测量数据的过程。抽样也称采样，其特性是由抽样过程所服从分布的分布函数  $G(t)$  所决定的。抽样的方法是多种多样的，对于不同的业务或不同的测量目的也会有不同的抽样方法。

测量中抽样方法的合理性由两个方面决定：

- 抽样间隔的大小；
- 抽样间隔的分布。

#### 8.2.1 抽样间隔的大小

在抽样过程中，抽样间隔的大小关系到测量结果的准确性和有效性。抽样间隔越小，即抽样频率越高，测量结果的准确性也越高；同时，抽样频率越高无论是对测量系统还是被测系统都会产生越大的影响。在实际测量中，抽样间隔应该根据测量所针对的业务或网络的特性来进行选取。对于不同特性的业务，抽样间隔的选取应遵循不同的原则，如对恒定比特率业务，抽样间隔可在满足统计结果所需数据量的基础上适当增长，降低采样频率，这样既可以满足测量的要求，也可以减轻测量系统及被测网络的负担；而对于突发业务，则应在业务突发的时间段内适当减小抽样间隔，增加采样频率，以完整的体现网络对业务的支持能力。对于网络来说，在忙时应增大抽样间隔，以减小网络的压力；在流量较小的时候则可适当提高抽样的频率。抽样的间隔应满足如下一些要求：

- 能够在所测量的流量中抽取合适比例的样本；
- 抽样的间隔应适合测量所针对的业务；
- 要保证每个测量间隔内,网络的性能具有一定程度的稳定性(这样才可区别出性能较差的时间段,否则会把性能较差的时段隐藏在一个较长的测量时间间隔中)；
- 在这个时间间隔中,要能够保证测量的正确操作,即在测量间隔中测量系统能够正确处理测量中出现的问题。

### 8.2.2 抽样间隔的分布

抽样间隔的分布,即其服从的抽样函数  $G(t)$  是另一个重要的问题。在因特网性能的测量中,抽样间隔由于测量目的的不同可以采用多种分布方式,但仅就针对网络层性能的测量来说,抽样间隔的分布应尽量满足非周期性和不可预测性两个要求,这是因为:

- 如果被测网络的特性自身具有周期性,而抽样的周期正好与抽样周期一致(或一个的周期是另外一个周期的若干倍),那么就存在抽样过程只观测到网络的部分周期特性的可能性。另外,周期性的测量行为会干扰被测网络,并有可能导致网络进入一种同步状态,把本来是很细小的一些影响放大。
- 如果抽样间隔具有很强的可预测性,而同时被测网络也以相同的周期暂时改变其网络特性,这种可预测的抽样就很容易受到干扰,从而使抽样的结果只是显示了网络已经改变了的特性。

### 8.3 抽样方法举例

在这里选取两种典型的抽样方法来对测量中的抽样进行说明。在实际的测量中,抽样方法可以根据测量的目的来进行选取,并不限定于这两种抽样方法。

#### 8.3.1 周期抽样

周期抽样,即抽样间隔的分布函数为:

$$G(t) = T$$

其中,  $T$  为常数,即抽样的周期,每隔时间  $T$  产生一次抽样。

周期抽样具有很强的周期性和可预测性,因此在对网络层性能进行测量时不推荐采用。但由于某些特定的业务,如恒定比特率(CBR)业务或近似恒定比特率业务,其流量特征本身在业务运行期间就是周期性的或近似周期性的,因此,利用周期抽样来对这些业务进行仿真,并测量网络对业务的支持能力是非常适合的。同时,由于周期抽样原理和实现上的简单性,在对测量过程要求不是很高的情况下也可以采用。

在采用周期抽样时,为尽量克服其缺点,可采用以下两个方法:首先,在测量中可以采用一个随机产生的开始时间,这样就可以部分的消除抽样的可预测性;其次,采用较短的测量时间,这样就可以尽量避免由于周期性的测量行为对网络的干扰。

#### 8.3.2 泊松抽样

泊松抽样的抽样间隔分布函数为:

$$G(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

即  $G(t)$  是参数为  $\lambda$  的指数分布,由于指数函数的无界性,新抽样的到达是不可预测的(即抽样是无偏的)。另外,即使抽样影响了网络状态,这种影响也是渐进趋于零的。泊松抽样通常不会产生同步情况。

需要注意的是,指数函数是无界的,利用指数分布有可能产生很长的抽样间隔,因此,实际应用中可以将最长的抽样间隔值限定为一个最大值  $dT$ ,以加速抽样过程的收敛,即分布函数为:

$$G(t) = \text{Unif}(0, dT)$$

抽样间隔服从在  $0 \sim dT$  的均匀分布。当然,采用这种抽样时,若在一个接近  $dT$  的间隔内没有抽样

的话，抽样的可预测性将大大提高。

理想情况下应以独立的、指数分布的间隔进行泊松抽样，并在每个间隔后采集一个测量值，但这种方法的缺点是抽样过程不易收敛。已经证明，若从时间  $T$  开始，在  $dT$  时间内进行泊松抽样，在此期间得到了  $N$  个采样值，那么这些测量值将服从  $(T, T + dT)$  内的均匀分布，此命题的逆命题也同时成立。因此，产生泊松分布的另一种方法是选择  $N$  和  $dT$ ，在间隔  $(T, T + dT)$  内均匀产生  $N$  个随机抽样值。这种  $N/dT$  方法的优点在于处理固定的  $N$  和  $dT$  值要比处理固定的  $\lambda$  但却要在变长的抽样间隔上进行不定数量的抽样简单，其缺点是抽样的不可预测性将减弱。

## 9 测量中的时钟要求

时钟在网络性能的测量中是一个十分重要的问题，对时钟的要求包括两个方面：

- 在测量点上观察测量包行为时的时钟要求；
- 在测量点间进行时钟同步的要求。

### 9.1 线路时间

网络性能的测量主要是针对网络层的，但在实际的测量中，因为使用因特网中的主机自身进行测量而使问题变得复杂化了。这些主机会引入额外的时延，并且硬件和操作系统会引入与需要测量的网络行为无关的因素，当记录时间的时戳是由高层产生时，这个问题将变得尤其严重。

为了规定在测量点 (MP) 上标识测量包行为发生时间的方法，这里引入两个“线路时间”的概念：

- 对于特定的 P 类型测量包 P，P 在 MP 上沿着 L 链路的“线路到达时间”是指 P 的任何比特第一次出现在 MP 上 L 链路的时间。
- 对于特定的 P 类型测量包 P，P 在 MP 上沿着 L 链路的“线路离开时间”是指 P 的所有比特第一次出现在 MP 上 L 链路的时间。

在测量时，记录每个测量包的行为的时间应该根据线路时间来定义，以便将主机产生的时延和网络产生的时延区分开来。由于分片的包在记录线路时间时会遇到很大的问题，因此在测量中应该发送标准格式的 IP 测量包，即非分片的包。

### 9.2 测量点间的时钟同步

为了规定测量点间时钟同步的要求，首先说明几个概念。

— 时钟“偏移”(offset)：指时钟在某一时刻所报告的时间与 UTC 所定义的“真实”时间之差。如果该时钟报告的时间为  $T_c$ ，实际时间为  $T_t$ ，则该时钟的偏移为  $|T_c - T_t|$ 。

— 时钟“准确性”(accuracy)：指在某一时刻时钟的偏移为“0”，而在一般情况下是指时钟偏移的值非常逼近于 0。

— 时钟“扭曲”(skew)：指某一时刻该时钟与准确时间之间的频率差（即相对于准确时间的偏移的一阶导数）。

— 时钟“精度”(resolution)：指时钟刷新的最小时间单位。它表示了该时钟不确定性的下限（有时时钟的精度可以很高，但其准确性却可能很差）。精度以“s”为单位定义。一个时钟的精度通常很少会发生变化，除非硬件更新而导致时钟精度的改变。

在网络测量中，许多参数的测量方法都需要比较两个不同时钟所返回的时间来计算时间差。例如，测量单向时延时，通过比较测量包在其路径上的一个测量点的时钟（即进入这个路径时的线路时间）和另一个测量点的时钟（即离开这个路径时的线路时间），可以计算出测量包在网络中的时延。时间差的计

算过程可以消除由于时钟相对于真实时间的不准确性所带来的误差。此时，主要需要关心的是两个测量点间时钟的同步问题，而不是测量点时钟的准确性。因此，在测量开始之前应首先保证测量主机间的时钟同步。所谓时钟的“同步”是指两个时钟相对的“准确”（它们的相对时钟偏移为 0 或近似于 0）。时钟可以高度同步，但同时就它们所报告的时间来说却不一定是绝对准确的。在许多因特网性能测量中，时钟之间的同步性比它们的准确性要重要得多。

对于时钟的扭曲也有相似的情况：在每个时钟的绝对扭曲不是很大时，两个时钟间小的相对扭曲更为重要，因为此时在对两个时钟所产生的时戳进行对比时会导致结果产生较大的偏差。下面是一个在两个主机进行单向传输的例子：跨洲的两个主机间的实际传输延迟一般为 50ms 的数量级，如果两个主机间的相对时钟扭曲是 0.01%，10min 后监测到的测量误差将为 60ms，如果不进行校正的话，这个 60ms 的误差将足以完全抵消测量单向传输延迟时的准确性。

总之，测量开始时，应该首先确认两个时钟是否同步，并使时钟的扭曲和漂移最小化。保证上述条件以及时钟准确性的一个有效方法是使用外部时钟源，而不是机器自身的时钟，因为后者可能引起更大的误差。

当前时钟同步所采用的方法主要有网络时间协议（NTP, Network Time Protocol）和 GPS（Global Position System, 全球定位系统）。由于 NTP 在同步中的准确性很大程度上依赖于网络的性能（如时延），因此在设计测量方法时推荐采用 GPS 进行测量点间的同步以及获得准确的时钟。如测量的精度允许或网络条件较好的情况下，也可以采用 NTP 进行同步。

在对测量结果进行统计时，很多时候需要对网络性能进行实时统计，并根据时间段进行网络性能的统计，此时也需要保证各测量点时钟的绝对准确性在某一可接受范围内。

## 10 测量安全性的基本要求

测量安全性包括两个方面：

- 测量活动对网络安全性的影响；
- 网络中攻击行为对测量活动的影响。

下面分别说明这两个方面的要求。

### 10.1 网络对测量方法的安全性要求

本标准中主要讨论的是主动测量方法，因为需要将测量流量注入网络，所以不可避免会对网络造成影响。首先，这种测量流量如果过大，则有可能会影响网络的拥塞情况，甚至导致网络中正常的业务无法顺利进行，因此要谨慎地控制所用的测量流量，避免因测量而引起网络拥塞。其次，要避免主动测量技术被滥用，在主动测量中一定要保证测量流量是从测量主机到测量主机，如果将测量流量发往网络中的其他主机，那么事实上就造成了对该主机的攻击行为，如果这种测量流量过大，甚至可能造成拒绝服务（Denial of Service, DoS）攻击。

对于被动测量技术，由于需要采集网络上的数据包，因此会将用户数据暴露给无意识的接收者，对网络服务的客户造成潜在的安全问题。所以，在进行被动测量的时候，要尽量避免对用户数据的载荷部分进行分析，并适当降低采样速率，以最大限度的保护用户数据。

### 10.2 测量方法自身的安全性要求

在网络中，测量活动也可以看作是网络所提供的一种特殊的“业务”，因此也要防止网络中的破坏行为对测量主机的攻击，保证测量活动自身的安全性。其中最主要的就是伪造地址攻击。有目的的破坏者

有可能向测量主机发送数据包，并把数据包中的源地址伪造成其他合法测量主机的地址，这样就会破坏测量的结果，甚至可以以这种方法对测量主机本身进行攻击。对于这种情况，一种解决方案是对测量数据包进行加密和认证，以排除外界的人为干扰。

## 11 测量的不确定性与误差分析

对于一个完整的测量方法来说，应该包括对测量过程和测量结果的不确定性和误差分析。

对于测量方法来说最重要的就是准确可靠，因此在设计测量方法或测量工具之前应该尽量避免进行假设，尤其是带有不确定性的假设。例如，假设测量中的时钟是准确的或假设测量包的发送严格服从泊松分布等等，因为实际中这些假设有可能不成立，这样就会导致测量结果不准确。但是进行这类假设往往是不可避免的，因此需要有一套方法来对测量工具自身对测量要求的满足程度做一个检查，这个检查的过程就是测量的自一致性检查，这种检查同时适合于测量结果和测量过程本身。对测量方法的自一致性检查经常可以与其自身的误差分析结合起来。

对结果进行误差分析的一个主要方式就是分析结果中的不合理值。检查测量结果的一个简单例子是检查计算出的往返时延是否是负数，因为负的时间间隔是没有意义的。如果出现了负数，则应立即发出告警。而且作为一个可靠的测量方法，还必须分析这个错误，并确定错误发生的位置。例如，必须探究往返时延为负数是因为在测量的同步过程中将时钟进行了错误的调整，还是因为测量程序在计算时存取了未初始化的内存，导致了一个错误的计算结果。一旦发现错误的原因，就可以立即将其排除。

检查测量过程自一致性的一个例子是对抽样分布的检查。前面提出的泊松抽样技术基于指数分布来产生的抽样间隔，对于一个测量工具来说一定要检查其所产生的间隔是否真的服从指数分布，更为严格的要求是还要同时分析它们之间是否有相关性。

对于实际中的一个测量方法或工具来说，主机或软件所导致的误差使得对泊松抽样的自一致性检查往往不能得到完全符合的结果，这时就存在一个拟合优度（Goodness of Fit）的问题，即测量方法本身在多大程度上符合测量的要求，或满足其事先的假设。

拟合优度的检查是基于统计学的观点，进行拟合优度的检查首先需要确定一个“显著性等级”，这个“显著性等级”就是可以接受的拟合失败的概率，也就是说对一组测量结果或测量参数做一致性检验，若其中失败的情况高于这个显著性等级，则表示未通过拟合优度的检查；反之则表示其在该显著性等级之上满足测量的要求。

一般情况下，拟合优度检查采用 5% 的显著性，这表示在 100 个抽样中，如果出现 5 个抽样未通过一致性检查，那么也可以说抽样是满足要求的。如果未通过测量的抽样数超过这个显著性值，就不能假设测量方法或测量结果是正确的。

## 12 测量结果的统计方法

对测量结果的统计分为两个方面：一是统计的方式，二是统计的方法。

对结果的统计方式，实际上就是对结果进行抽样的方式。按照统计方式来划分，对测量结果的统计可以分为按时间方式和按空间方式。按时间方式即把测量的结果按时间的分布进行统计（抽样），得到一个时间段上网络性能的分布和变化情况。对网络的测量一般来说是一种长时间的测量，因为网络在不同时间段，如在忙时和闲时，其流量是不同的，其性能也将表现出不同的特点，因此对网络的测量应充分考虑网络中业务和流量在时间上的分布情况，选择合适的时间段和测量时长。按空间方式就是把测量的

结果按测量点在网络中所处的空间位置进行统计(抽样),以得到网络性能在空间上的分布。对于网络性能测量,一种常见的方法是在网络的多个端点设置测量点,并按照一定的目的设计测量包的发送端和接收端,使测量流量以所期望的拓扑结构在网络中传输,然后分析不同链路上得到的性能结果。这种统计的结果对网络的设计和优化是非常有价值的。

对测量结果的统计方法,就是对测量结果进行统计的不同算法以及对结果的表示方法。由于网络性能的测量一般来说周期将会很长,因此将会得到海量的数据,但单纯的罗列数据意义并不大,必须对结果进行统计计算,即在大量的数据中找到其相互间的关联,得到有意义的分析数据,以清楚地反映网络某一方面的性能。

对测量(采样)值的表示可以采用统计分布方法,在不严格的情况下也可以用百分点的方法。统计分布方法是基于对“经验分布函数(Empirical Distribution Function, EDF)”的计算。

首先给出经验分布函数的概念:经验分布函数  $F(x)$  是一组梯状分布的值,  $F(x)$  的值等于在一个集合中小于  $x$  的值所占的比例。如果  $x$  小于集合中的最小值,那么  $F(x)$  是 0; 如果  $x$  大于或等于集合中的最大值,那么  $F(x)$  是 1。

如给定 6 次测量,其值分别为: -2, 7, 7, 4, 18, -5。其函数图形如图 1 所示。

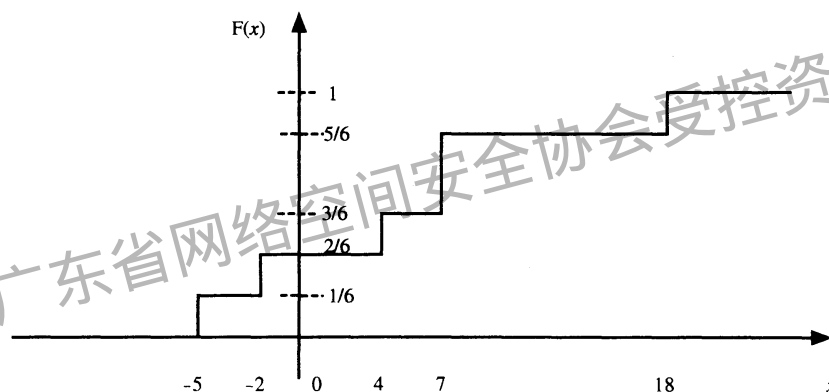


图 1 经验分布函数示例

则  $F(-8) = 0$ ,  $F(-5) = 1/6$ ,  $F(-5.0001) = 0$ ,  $F(-4.999) = 1/6$ ,  $F(7) = 5/6$ ,  $F(18) = 1$ ,  $F(239) = 1$ 。

对于 EDF, 可以从  $F(x)$  中恢复出每一个被测值以及每个值所发生的次数, 而不会丢失被测值的范围信息。

### 13 性能参数的测量方法与样例

本章将对最具代表性和实际意义的参数的具体测量方法做一些说明或规定, 并提出具有可操作性的测量样例。测量方法中以泊松分布产生测量时间间隔的方法见附录 B。本章中的测量样例均采用主动测量方法, 关于主动测量方法和被动测量方法见附录 A。

在测量中要注意根据可能采用的链路层技术避免测量包的载荷中出现有意义的比特组合(如以太网中的“01111110”), 以免因二层插入的比特而改变性能的测量结果。

本章中假设测量包的选取均满足 7.2 节的要求。

## 13.1 IP 可用性

在这里，IP 可用性是由 IP 包丢失率参数导出的度量参数。对 IP 业务可用性的测量应基于所有 IP 包的传送情况，因此，对测量的结果不应以包长进行区分，但测量中仍然要发送各种不同包长的 IP 包，以充分测量网络的性能。在测量的过程中，需要根据实际情况确定 IP 可用性的 IP 包丢失率门限值  $c$ 。

## 13.1.1 测量方法

IP 可用性测量方法见表 1。

表 1 IP 可用性测量方法

参数名称	IP 可用性
输入量	源主机 SRC; 目的主机 DST; 测量包类型 P; 包长值 $L$ (字节, 包含 IP 包头部字段); 业务可用性门限值 $c$ ; 测量间隔均值 $1/\lambda$ (s); 测量持续时间 $T$ (s)
输出量	IP 可用性 $A$
测量过程	以 $\lambda$ 为参数产生泊松抽样间隔, 以 SRC 为源地址, DST 为目的地址, 发送包长为 $L$ 的 IP 包 (类型为 P), 测量持续时间为 $T$ , 并按 13.4 中的方法对所有长度的 IP 包计算 IP 包丢失率 $LR$ 。
结果统计	对单体测量中 IP 包丢失结果为 1 的出现次数进行统计, 并计算得到 $LR$ , 计算公式如下: $LR = LOSS/N \times 100\%$ 其中 $LOSS$ 为总丢包数, $N$ 为发包总数。 If $LR \leq c$ Then $A = 1$ ; Else $A = 0$
备注	

## 13.1.2 测量样例

下面是一次测量的具体样例。

测量输入量:

SRC = 202.112.10.3;

DST = 202.112.12.231;

P = ICMP (type = 8; code = 0);

L1 = 512bit, L2 = 1 024bit, L3 = 2 048bit, L4 = 4 096bit, L5 = 8 192bit, L6 = 12 144bit, L7 = 12 000bit;

$c = 0.75$ ;

$1/\lambda = 30s$ ;

$T = 300s$ 。

测量过程:

从 SRC 向 DST 发送长度为 L1 ~ L7 的 ICMP 报文, 测量持续时间到后, 计算总丢包数和 IP 包丢失

率，并与丢包门限值进行比较。

### 13.2 IP 包传输时延

在时延的测量中，包长是一个重要的参数。大致来说，包长越长则时延越大，但网络设备（如路由器）对不同包长的 IP 包的处理能力通常是不同的，因此时延并不是随着包长的变化而线性变化的。对于往返时延的测量，“Ping”方法可以成为一种“天然”的测量方法，但普通的“Ping”方法并不能提供科学的抽样和统计方法，因此需要进一步改进。同时，利用其他协议报文（如 UDP）也可以进行时延的测量。

在下面测量方法和测量样例中给出的是 IP 包往返时延的测量，对于单向时延可以采用类似的测量过程和统计方法。

#### 13.2.1 测量方法

IP 包传输时延见表 2。

表 2 IP 包传输时延测量方法

参数名称	IP 包传输时延
输入量	源主机 SRC; 目的主机 DST; 测量包类型 P; 包长值 $L$ (字节, 包含 IP 包头部字段); 测量间隔均值 $1/\lambda$ (s); 测量持续时间 $T$ (s)
输出量	平均时延 $\overline{D}_l$ (s), $l$ 为包长值
测量过程	以 $\lambda$ 为参数产生泊松抽样间隔, 以 SRC 为源地址、DST 为目的地址, 发送包长为 $L$ 的 IP 包 (类型为 P), 测量持续时间为 $T$
结果统计	按不同包长分别统计时延的均值 $\overline{D}_l$ (只计算 IP 包成功传送的情况, 丢包的情况不计算在内), 计算公式如下: $\overline{D} = \sum_{i=1}^N D_{l_i} / N$ $N$ 为包长为 $l$ 的 IP 包的总数
备注	

#### 13.2.2 测量样例

下面是一次测量的具体样例:

测量输入量:

SRC = 202.112.10.3;

DST = 202.112.12.231;

P = ICMP (type = 8; code = 0);

L = 512bit;

$1/\lambda = 30$ s;



$T = 3\ 600s$ 。

测量过程：

从 SRC 向 DST 发送长度为 512bit 的 ICMP 报文，并记录发送时间；当收到 DST 回送的测量数据包即记录接收时间，并计算时延值。测量持续时间到，即可计算出平均时延。

### 13.3 IP 包时延变化

IP 包时延变化是由 IP 包时延导出的参数，其值可由 IP 包时延的测量结果根据一定的统计方法计算得到。这里取 IP 包时延的均方差值为 IP 包时延变化的值。

在下面测量方法和测量样例中给出的 IP 包时延变化是根据 IP 包往返时延值计算得出，对于单向时延可以采用类似的测量过程和统计方法。

#### 13.3.1 测量方法

IP 包时延变化测量方法见表 3。

表 3 IP 包时延变化测量方法

参数名称	IP 包时延变化
输入量	源主机 SRC； 目的主机 DST； 测量包类型 P； 包长值 $L$ （字节，包含 IP 包头部字段）； 测量间隔均值 $1/\lambda$ （s）； 测量持续时间 $T$ （s）
输出量	IP 包时延变化 IPDV（s）
测量过程	以 $\lambda$ 为参数产生泊松抽样间隔，以 SRC 为源地址、DST 为目的地址，发送包长为 $L$ 的 IP 包（类型为 P），测量持续时间为 $T$ ，并按 13.2 中的方法计算 IP 包时延的平均值
结果统计	按 IP 包时延的均值 $\bar{D}_l$ 计算 IPDV，计算公式如下： $IPDV = \sqrt{\sum_{i=1}^N (D_{li} - \bar{D})^2 / N}$ 其中， $N$ 为包长为 $l$ 的 IP 包的总数
备注	

#### 13.3.2 测量样例

下面是一次测量的具体样例。

测量输入量：

SRC = 202.112.10.3；

DST = 202.112.12.231；

P = ICMP（type = 8；code = 0）；

L = 12 000bit；

$1/\lambda = 30s$ ；

$T = 36\ 000s$ 。

测量过程：

从 SRC 向 DST 发送长度为 12 000bit 的 ICMP 报文，并记录发送时间；当收到 DST 回送的测量数据包即记录接收时间，并计算时延值。测量持续时间到，即可根据平均时延值和单个 IP 包的时延值计算出 IPDV。

### 13.4 IP 包丢失率

对于 IP 包丢失率来说，包长也是一个重要的参数。在测量中可根据实际需要进行配置。此外，还需规定一个时延的门限值，时延超过门限值则作为丢包处理。

#### 13.4.1 测量方法

IP 包丢失率测量方法见表 4。

表 4 IP 包丢失率测量方法

参数名称	IP 包丢失率
输入量	源主机 SRC； 目的主机 DST； 测量包类型 P； 包长值 $L$ （字节，包含 IP 包头部字段）； 测量间隔均值 $1/\lambda$ （s）； 时延门限 $D_s$ ； 测量持续时间 $T$ （s）
输出量	IP 包丢失率 $LR$ （%）
测量过程	以 $\lambda$ 为参数产生泊松抽样间隔，以 SRC 为源地址、DST 为目的地址，发送包长为 $L$ 的 IP 包（类型为 P），测量持续时间为 $T$ ，若 IP 包的时延大于门限值 $D_s$ ，则其 IP 包丢失结果为 1
结果统计	按包长值对单体测量中 IP 包丢失结果为 1 的出现次数进行统计，并计算得到 LR，计算公式如下： $LR_l = \text{LOSS}_l / N \times 100\%$ 其中 $\text{LOSS}_l$ 为包长为 $l$ 的 IP 包的包丢失数， $N$ 为包长为 $l$ 的 IP 包的总发送数
备注	

#### 13.4.2 测量样例

下面是一次测量的具体样例。

测量输入量：

SRC = 202.112.10.3；

DST = 202.112.12.231；

P = ICMP（type = 8；code = 0）；

L = 2 048bit；

$D_s = 1s$ ；

$1/\lambda = 30s$ ；

$T = 3\ 600s$ 。

测量过程：

从 SRC 向 DST 发送长度为 2 048bit 的 ICMP 报文，并记录发送时间；当收到 DST 回送的测量数据包即记录接收时间，并计算时延值。若时延 > 1s，则记录其 IP 包丢失结果为 1。测量持续时间到，即可计算出 IP 包丢失率。

### 13.5 IP 包误差率

IP 包误差率的计算是统计所有收到的测量 IP 包并从中计算发生错误的 IP 包的比率，丢失的 IP 包不计算在内。

#### 13.5.1 测量方法

IP 包误差率测量方法见表 5。

表 5 IP 包误差率测量方法

参数名称	IP 包误差率
输入量	源主机 SRC； 目的主机 DST； 测量包类型 P； 包长值 L（字节，包含 IP 包头部字段）； 测量间隔均值 $1/\lambda$ （s）； 测量持续时间 T（s）
输出量	IP 包误差率 ER（%）
测量过程	以 $\lambda$ 为参数产生泊松抽样间隔，以 SRC 为源地址、DST 为目的地址，发送包长为 L 的 IP 包（类型为 P），测量持续时间为 T，若接收的 IP 包头部字段错误或负载内容与发送端不符，则其 IP 包错误结果为 1
结果统计	按包长值对单体测量中 IP 包错误结果为 1 的出现次数进行统计，并计算得到 ER，计算公式如下： $ER_i = \text{ERROR}_i / \text{RECV}_i \times 100\%$ 其中 $\text{ERROR}_i$ 为 DST 出现的错误包数， $\text{RECV}_i$ 为 DST 接收的包长为 1 的总 IP 包数，包括成功与错误的情况
备注	

#### 13.5.2 测量样例

下面是一次测量的具体样例。

测量输入量：

SRC = 202.112.10.3；

DST = 202.112.12.231；

P = UDP；

L = 2 048bit；

$1/\lambda = 30\text{s}$ ；

T = 3 600s。

测量过程：

从 SRC 向 DST 发送长度为 2 048bit 的 UDP 报文，在接收端检查所有接收到的测量包，并统计  $\text{ERROR}_i$  值，在 3 600s 后计算 IP 包误差率 ER。

### 13.6 路径吞吐量

对路径吞吐量的测量目前有一些算法可供选用，主要是利用单向丢包率来进行计算，但总的来说其计算方法还不太成熟，有待进一步研究。

### 13.7 IP 包错序

#### 13.7.1 测量方法

IP 包错序测量方法见表 6。

表 6 IP 包错序测量方法

参数名称	IP 包错序
输入量	源主机 SRC; 目的主机 DST; 测量包类型 P; 包长值 $L$ (字节, 包含 IP 包头部字段); 测量间隔均值 $1/\lambda$ (s); 测量持续时间 $T$ (s); 发送包序号 $S$ ; 下一期望包序号 $N$
输出量	IP 包错序 $W$
测量过程	以 $\lambda$ 为参数产生泊松抽样间隔, 以 SRC 为源地址、DST 为目的地址, 发送包长为 $L$ 的 IP 包 (类型为 P), 每个 IP 包带有单调递增的包序号 $S$ , 测量持续时间为 $T$ , 在接收端比较接收 IP 包的包序号 $S$ 与“下一期望包序号” $N$ 。若 $S \geq N$ , 则 $W=0$ ; 若 $S < N$ , 则 $W=1$ 。在每收到一个按序到达的 IP 包后, 相应修改“下一期望包序号”
结果统计	按包长值对单体测量中 IP 包错序结果为 1 的出现次数进行统计
备注	

#### 13.7.2 测量样例

下面是一次测量的具体样例。

测量输入量:

SRC = 202.112.10.3;

DST = 202.112.12.231;

P = UDP;

L = 2 048bit;

$1/\lambda = 30$ s;

T = 6 000s。

测量过程:

从 SRC 向 DST 发送长度为 2 048bit 的 UDP 报文, 在接收端检查所有接收到的测量包, 在 6 000s 内统计  $W$  值为 1 的次数。

**附录 A**  
**( 资料性附录 )**  
**测量方法的类型**

### A.1 主动测量

主动测量是在选定的测量点上利用测量工具有目的地主动产生测量流量注入网络，并根据测量数据流的传送情况分析网络的性能。

主动测量在性能参数的测量中应用十分广泛，因为它可以任何希望的数据类型在所选定的网络端点间进行端到端性能参数的测量。最为常见的主动测量工具就是“Ping”，它可以测量双向时延，IP 包丢失率以及提供其他一些信息，如主机的可达性等。主动测量可以测量端到端的 IP 网络可用性、延迟和吞吐量等。由于一次主动测量只是查验了瞬时的网络质量，因此有必要重复多次，用统计的方法获得更准确的数据。

对一个网络进行主动测量，需要一个面向网络的测量系统。这种主动测量系统应包括以下几个部分：

— 测量节点。它们分布在网络的不同端点上，进行测量数据包的发送和接收。若要进行单向性能的测量，则它们之间应进行严格的时钟同步。

— 中心服务器。它与各个测量节点通信，进行整个测量的控制以及测量节点的配置工作。

— 中心数据库。用来存储各个节点所收集的测量数据。

— 分析服务器。它通过对中心数据库中的数据进行分析，得到网络整体的或具体节点间的性能状况。

在实际中，中心服务器、中心数据库和分析服务器可能位于同一台主机中。

主动测量法依赖于向网络注入测量包，利用这些包测量网络的性能，因此这种方法肯定会产生额外的流量。另一方面，测量中所使用的流量大小以及其他参数都是可调的。主动测量法能够明确地控制测量中所产生的流量的特征，如流量的大小、抽样方法、发包频率、测量包大小和类型（以仿真各种应用）等，并且实际上利用很小的流量就可以获得很有意义的测量结果。主动测量意味着测量可以按测量者的意图进行，容易进行场景的仿真，检验网络是否满足 QoS 或 SLA 非常简单明了。

总之，主动测量的优点在于可以主动发送测量数据，对测量过程的可控制性比较高，比较灵活机动，并易于对端到端的性能进行直观的统计；其缺点是注入测量流量本身就改变了网络的运行情况，即改变了被测对象本身，使得测量的结果与实际情况存在一定的偏差，而且注入网络的测量流量还可能会增加网络的负担。

### A.2 被动测量

被动测量是指在链路或设备（如路由器和交换机等）上对网络进行监测，而不需要产生流量的测量方法。

被动测量利用测量设备监视经过它的流量。这些设备可以是专用的（如 Sniffer），也可以是嵌入在其他设备（如路由器、防火墙、交换机和主机）之中的，如 RMON、SNMP 和 netflow 使能设备等。控制者周期性地轮询被动监测设备并采集信息（在 SNMP 方式时，从 MIB 中采集），以判断网络性能和状态。

被动测量主要有 3 种方式：

— 通过 SNMP 协议采集网络上的数据信息，并提交至服务器进行处理。

— 在一条指定的链路上进行数据监测，此时数据的采集和分析是两个独立的处理过程。这种方法的

问题是 OC48 (2.5Gbit/s) 以上的链路速度超过了 PCI 总线 (64bit, 33MHz) 的能力, 因此对这些高速链路的数据采集只能采用数据压缩、聚合等方式, 这样会损失一定的准确性。

一 在一台主机上有选择性的进行数据的采集和分析。这种工具只是用来采集分析网络上数据包的内容特性, 并不能进行性能参数的测量, 如 Ethereal 等工具。

被动测量非常适合用来测量和统计链路或设备上的流量, 但它并不是一个真正的 QoS 参数, 因为流量只是当前网络 (设备) 上负载情况的一个反映, 通过它并不能得到网络实际的性能情况。如果要通过被动测量的方法得到终端用户所关心的时延、丢包、时延抖动等性能参数, 只能采用在被测路径的两个端点上同时进行被动测量, 并进行数据分析。但这种分析将是十分复杂的, 并且由于网络上数据流量特征的不确定性, 这种分析在一定程度上也是不够准确的。只有链路带宽这个流量参数可以通过被动测量估算出来。

被动测量法在测量时并不增加网络上的流量, 测量的是网络上的实际业务流量, 理论上说不会增加网络的负担。但是被动测量设备需要用轮询的方法采集数据、陷阱 (trap) 和告警 (利用 SNMP 时), 所有这些都会产生网络流量, 因此实际测量中产生的流量开销可能并不小。

另外, 在做流分析或试图对所有包捕捉信息时, 所采集的数据可能会非常大。被动测量的方法在网络排错时特别有价值, 但在仿真网络故障或隔离确切的故障位置时其作用会受到限制。

总之, 被动测量的优点在于理论上它不产生流量, 不会增加网络的负担; 其缺点在于被动测量基本上是基于对单个设备的监测, 很难对网络端到端的性能进行分析, 并且可能实时采集的数据量过大, 且存在用户数据泄漏等安全性问题。

### A.3 两种测量方法的结合

主动测量与被动测量各有其优缺点, 而且对于不同的参数来说, 主动测量和被动测量也都有其各自的用途。对于端到端的时延、丢包和时延变化等参数比较适合采用主动测量; 而对于路径吞吐量等流量参数来说, 被动测量更适用。因此, 对网络性能进行全面的测量需要主动测量与被动测量相结合, 并对两种测量结果进行对比和分析, 以获得更为全面科学的结论。

**附录 B**  
**( 资料性附录 )**  
**泊松抽样的产生**

为了产生泊松分布抽样间隔,首先需要决定抽样的参数 $\lambda$ ,例如平均抽样间隔是 30s,时间单位为“s”,那么 $\lambda = 30$ ,  $\theta = 1/30$ 。然后产生一系列指数分布的(伪)随机数 $E_1, E_2 \dots E_n \dots$ 第一次抽样的时刻为 $E_1$ ,第二次抽样的时刻为 $E_1 + E_2$ 等等,依此类推。

一种生成指数分布的(伪)随机数 $E_i$ 的方法:在 0 和 1 之间产生均匀分布的 $U_1, U_2 \dots U_n \dots$ (伪)随机数,利用这些 $U_i$ 值,产生所需要的 $E_i$ 值:

$$E_i = -\lg(U_i) / \theta$$

其中 $\lg(U_i)$ 是 $U_i$ 的自然对数。

有 3 种方法可以实现近似的泊松抽样,分别编号为方法 1、方法 2 和方法 3。方法 1 最容易实现,但误差最大;方法 3 最难实现,但潜在的误差最少。实现细节如下:

1) 方法 1

具体过程如下:

产生 $E_1$ ,并等待 $E_1$ 长时间;

测量一次;

产生 $E_2$ ,并等待 $E_2$ 长时间;

测量一次;

产生 $E_3$ ,并等待 $E_3$ 长时间;

测量一次;

.....

该方法的问题在于执行一次测量需要花费一定的时间,所以抽样时刻不是在 $E_1, E_1+E_2 \dots$ 而是在 $E_1, E_1+E_2+M_1 \dots$ 其中 $M_i$ 是第 $i$ 次测量花费的时间。如果 $M_i$ 相对于 $1/\theta$ 非常小,那么这种方法造成的误差会很小;但当 $M_i$ 相对于 $1/\theta$ 不能忽略时,就会影响测量的准确性。

2) 方法 2

考虑到进行测量需要一定的时间,方法 2 对方法 1 中的误差进行了修正,调整相应等待间隔,具体方法如下:

产生 $E_1$ ,并等待 $E_1$ 长时间;

测量一次,并记录本次测量所花费的时间 $M_1$ ;

产生 $E_2$ ,并等待 $E_2 - M_1$ 长的时间;

测量一次,并记录本次测量所花费的时间 $M_2$ ;

.....

该方法正常工作的条件是 $E_{i+1} \geq M_i$ ,如果 $E_{i+1} \leq M_i$ ,即每一次测量所耗费的时间过长的话,就不可能等待恰当的时间再进行测量,这时可能需要同时进行两次测量。

3) 方法 3

具体过程如下:

按泊松分布函数产生一个抽样间隔时间表： $E_1, E_2 \dots E_n \dots$ ;

计算抽样时刻： $T_1, T_2 \dots T_n$ ，这里  $T_i = E_1 + E_2 + \dots + E_i$ ;

在时刻  $T_1, T_2 \dots T_n \dots$  时刻分别进行一次抽样;

相比前两种方法，方法 3 更为科学，因为它避开对测量时间的处理；但若测量的处理时间过长而使相邻的两次抽样互相之间造成了干扰（因为其抽样时间是预先设定的）那么方法 3 可能会出现更差的结果。

如果  $M_i$  比  $1/\theta$  小很多，上述 3 种方法都可以采用；如果  $M_i$  比  $1/\theta$  小，但不是小很多，那么方法 2 优于方法 1；如果同时测量不干扰另一次测量，那么方法 3 最好，虽然实现方法 3 比较困难。

---

广东省网络空间安全协会受控资料



广东省网络空间安全协会受控资料

中华人民共和国  
通信行业标准

IP 网络技术要求——网络性能测量方法

YD/T 1381-2005

\*

人民邮电出版社出版发行  
北京市崇文区夕照寺街 14 号 A 座

邮政编码：100061

电话：68372878

北京地质印刷厂印刷

版权所有 不得翻印

\*

开本：880×1230 1/16

2005 年 11 月第 1 版

印张：1.75

2005 年 11 月北京第 1 次印刷

字数：48 千字

ISBN 7 - 115 - 1174/05 - 148

定价：15.00 元

本书如有印装质量问题，请与本社联系 电话：(010)68372878