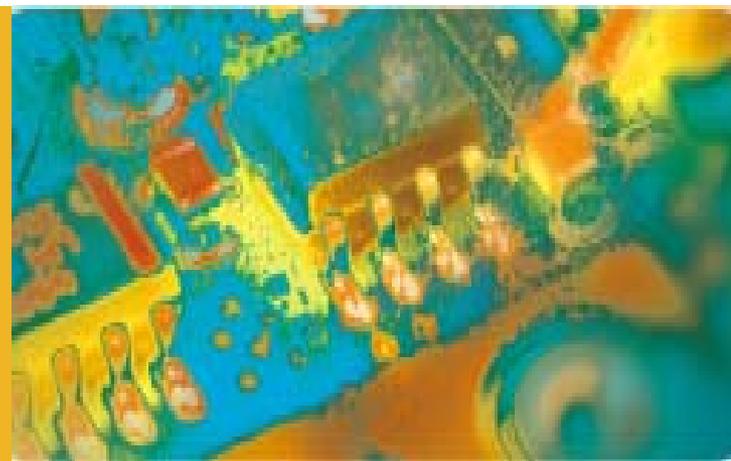




温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

# 网络性能测试与分析



<http://network.wzu.edu.cn>

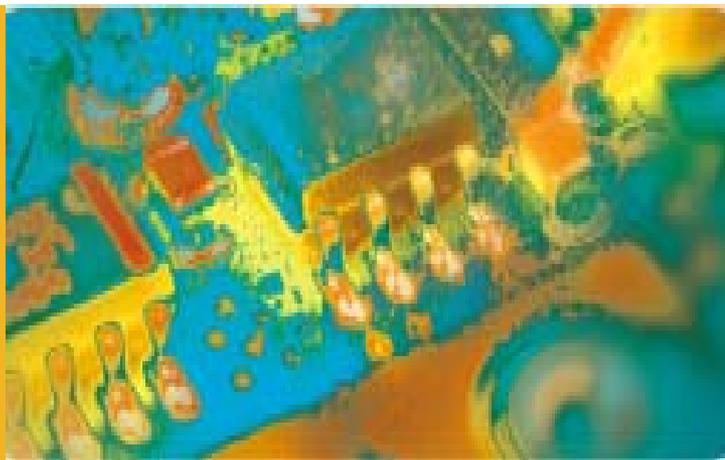
<http://www.spirent.com>

[beetleking@163.com](mailto:beetleking@163.com)



温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

# 第五章 第4~7层 网络性能测试



<http://network.wzu.edu.cn>

<http://www.spirent.com>

[beetleking@163.com](mailto:beetleking@163.com)

# 本章教学提要

## ■教学目标:

- ✓了解第4~7层测试的必要性
- ✓掌握TCP/IP模型中传输层和应用层协议
- ✓掌握第4~7层测试的主要技术指标
- ✓了解第4~7层测试的RFC文档
- ✓掌握第4~7层测试方法学;

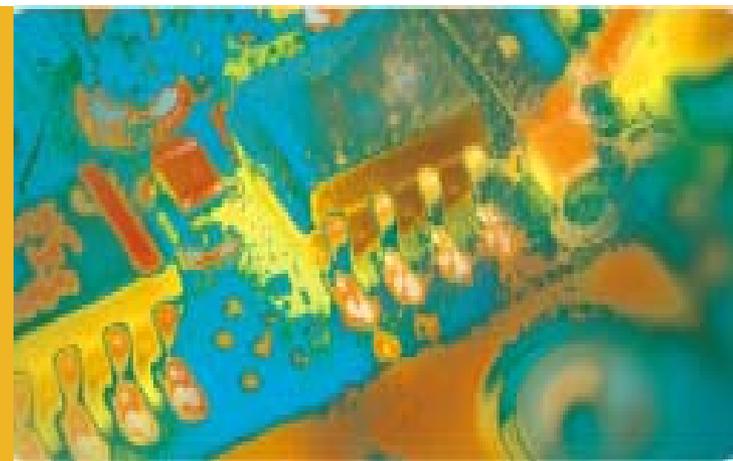
●**教学难点/重点:** 第4~7层测试的主要技术指标、第4~7层测试方法学

●**教学时数:** 理论6学时



温州大學  
WENZHOU UNIVERSITY

# 第一节 第4~7层网络 测试的必要性



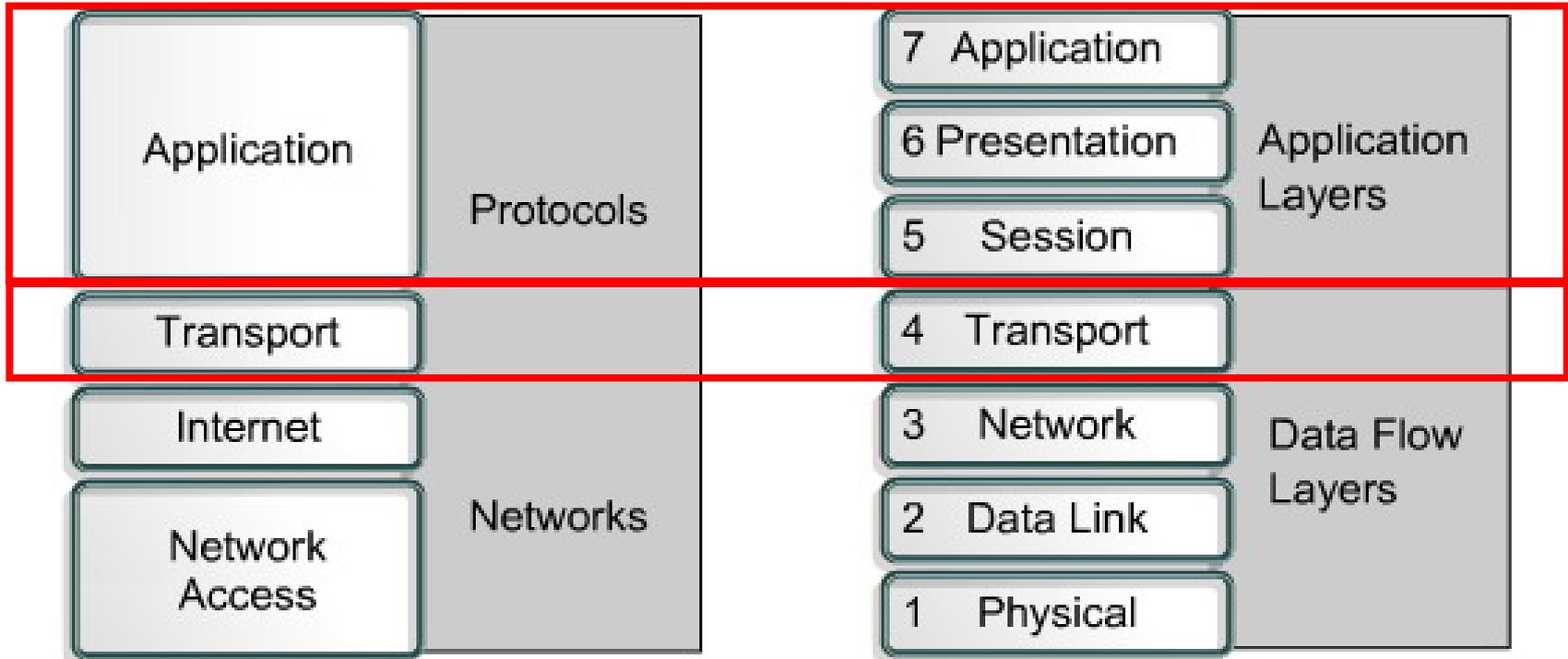
# 本节关注问题

- 网络第4~7层的概念
- 为什么要进行第4~7层测试

# 1、网络第4~7层的概念

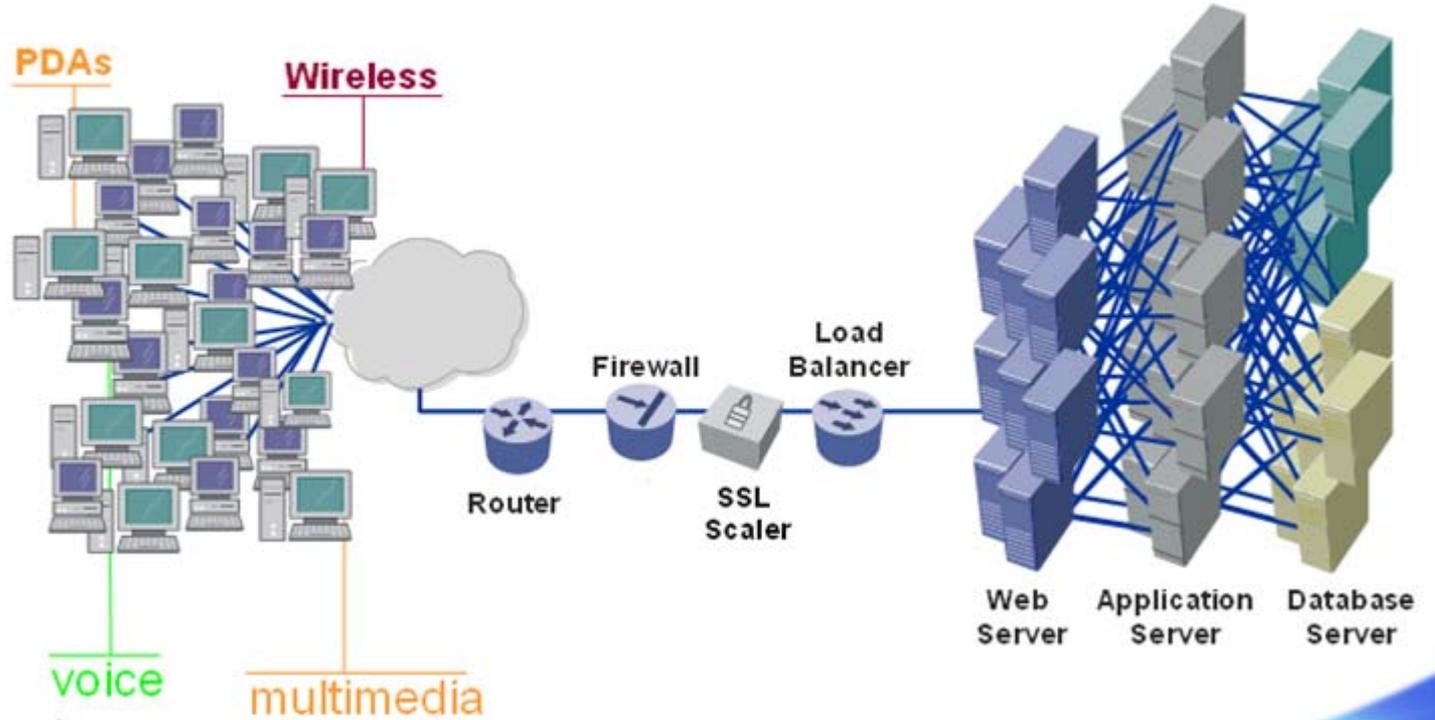
TCP/IP Model

OSI Model



## 2、第4~7层测试的重要性

- 1、网络体系结构和网络基础设施日趋复杂
- 2、应用部署越来越丰富，多业务融合带来了新的复杂性



## 2、第4~7层测试的重要性

3、几个具体的例子

1) 北京奥运门票销售系统

2) 高考（CET-4、6）查分系统

3) 黑色星期五、Christmas流量

4) 你遇到了什么类似的情况？

4、上述问题有哪些解决方案？

5、防范是有必要的，遇到的困难也是有方法可以解决的，关键在于，如何提前预知？

——应该进行第4~7层的测试

### 3、第4~7层测试关注什么？

- 1、你的Web应用业务是否已经准备好防范黑色星期五？Christmas流量会不会让你的网站崩溃？
- 2、你的网络安全措施是否完备？能应付DoS攻击吗？
- 3、面对融合了语音、视频和数据流量的新型流量时，你的网络容量还足够吗？会不会影响到上层的应用？
- 4、前期的规划中已经考虑充分的网络基础设施，在面对长时间的应用业务流量，是否会有潜在的问题出现？

## 4、第4~7层测试与第2、3层测试的区别

1、第2、3层测试关注的是：

带宽、丢包率、时延等

需要关注数据的具体含义吗？

第2、3层的流量称之为“无状态”流量

2、第4~7层测试关注用户的服务体验和服务质量

能容纳多少用户同时上线？

用户可以流畅地观看视频吗？

数据的具体含义很重要（FTP文件传输的例子）

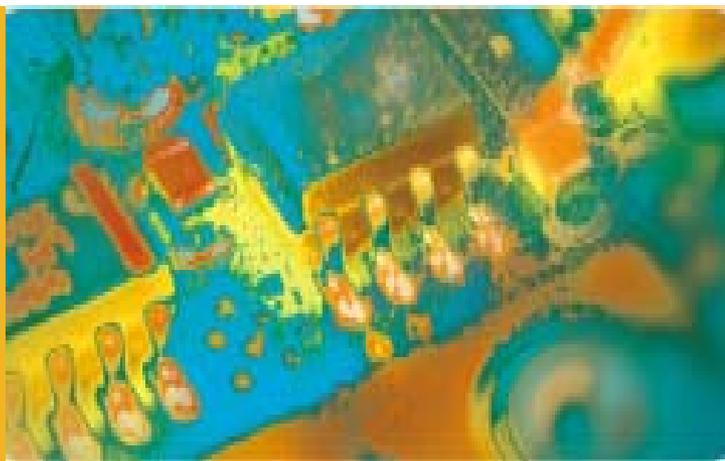
第4~7层的流量称之为“有状态”流量

——如何进行第4~7层测试



温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

## 第二节 第4~7层 主要技术概述



# 1、第4~7层所对应的TCP/IP模型

## 1、TCP/IP传输层

### 1) TCP协议

端到端的可靠传输协议

三次握手建立连接

三次握手关闭连接和四次握手关闭连接

Reset方式终止连接

——概念讨论：什么是TCP连接(Connection)?

### 2) UDP协议，不做详细讨论



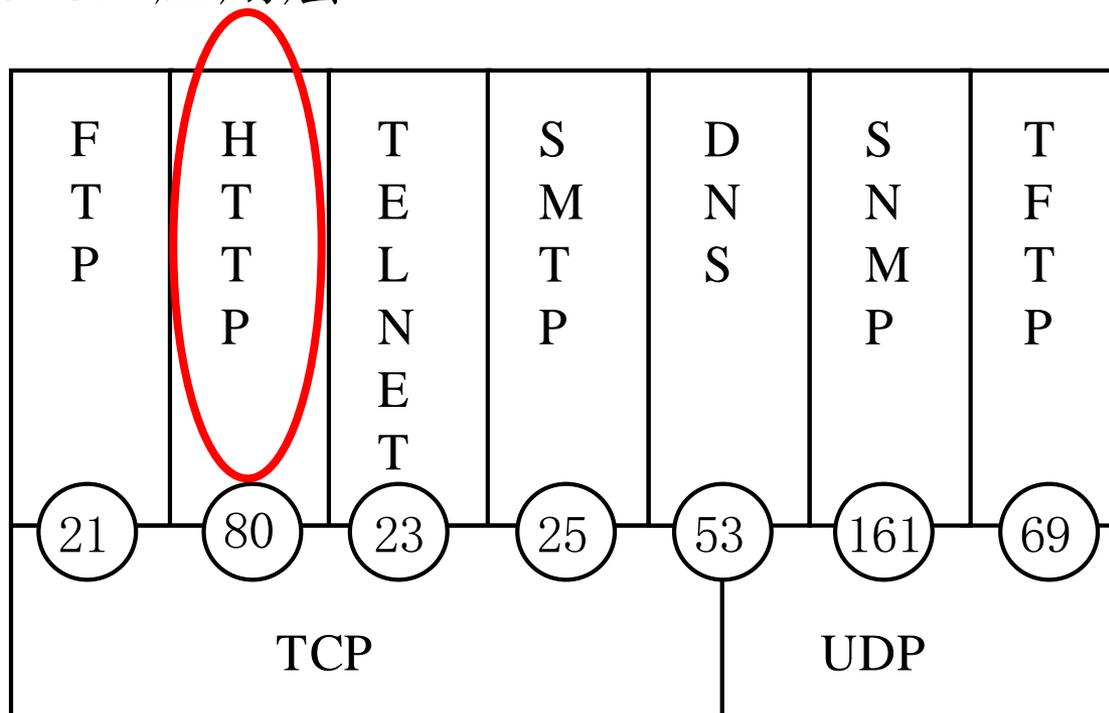
Filter: (ip.addr eq 192.168.81.20 and ip.addr eq 192.168.82.10) and (tcp.port eq 2) + Expression... Clear Apply



No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
12	0.062990	10.1.1.20	192.168.1.10	HTTP	GET / HTTP/1.1
13	0.062990	192.168.1.10	10.1.1.20	HTTP	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
14	0.261960	10.1.1.20	192.168.1.10	TCP	58441 > http [ACK] Seq=239 Ack=248 win=32768 Len=0
15	0.262960	192.168.1.10	10.1.1.20	TCP	http > 58441 [RST, ACK] Seq=248 Ack=239 win=32768 Len=0
16	0.262960	10.1.1.20	192.168.1.10	TCP	58443 > http [SYN] Seq=0 Ack=0 win=32768 Len=0 MSS=1460
17	0.263960	192.168.1.10	10.1.1.20	TCP	http > 58443 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 win=32768 Len=0 MSS=
18	0.263960	10.1.1.20	192.168.1.10	TCP	58443 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 win=32768 Len=0
19	0.263960	10.1.1.20	192.168.1.10	HTTP	GET / HTTP/1.1

# 1、第4~7层所对应的TCP/IP模型

## 2、TCP/IP应用层



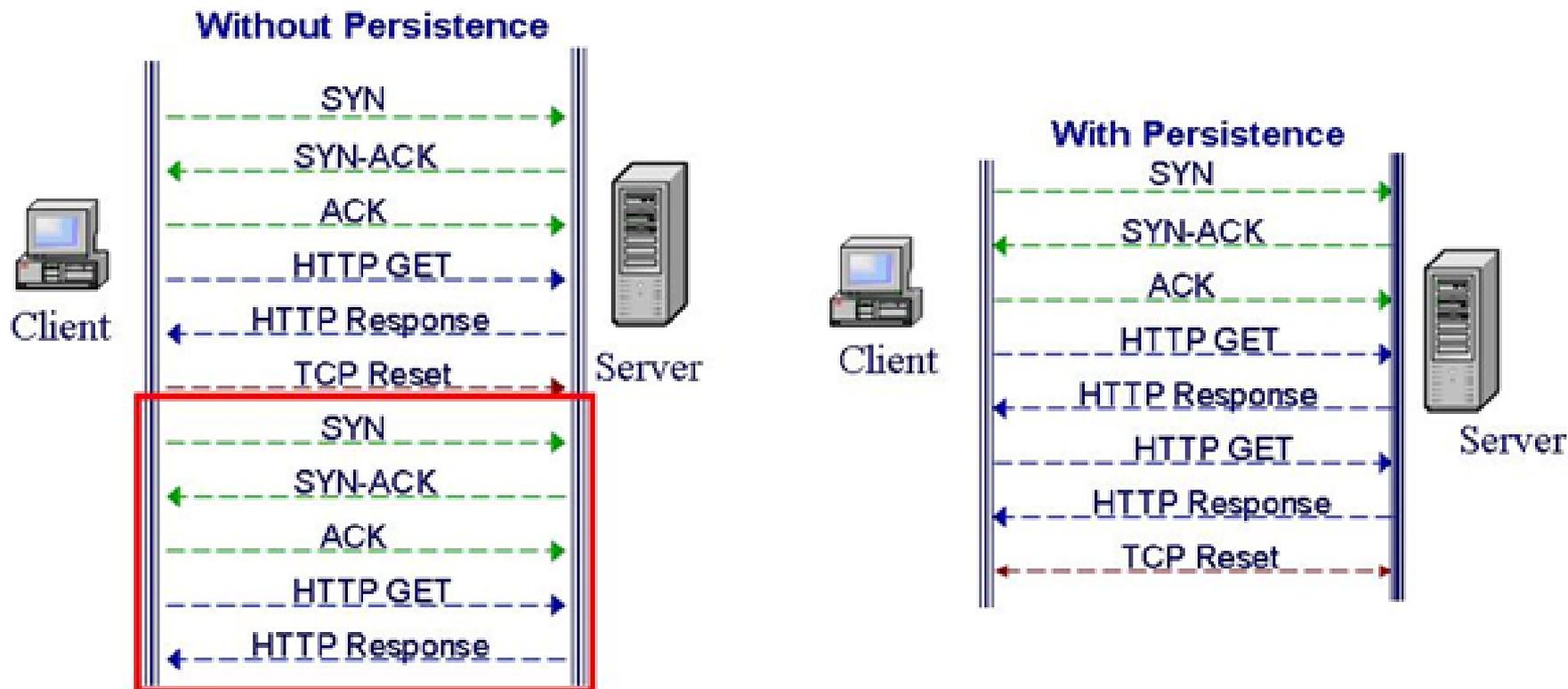
# 1、第4~7层所对应的TCP/IP模型

## 2、TCP/IP应用层

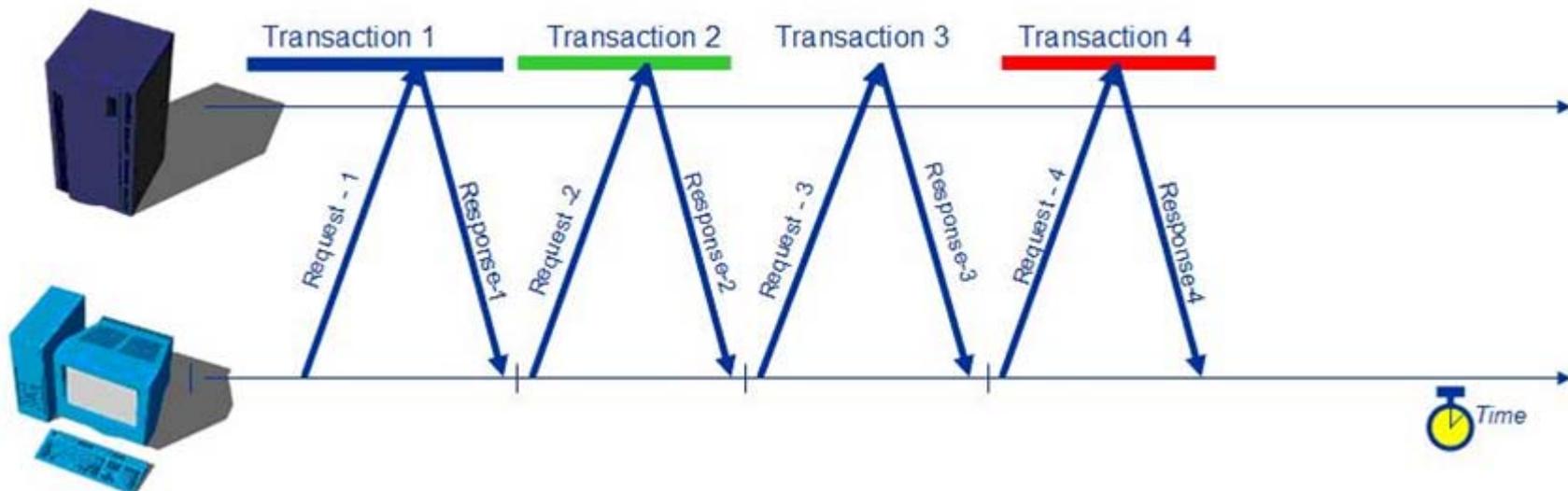
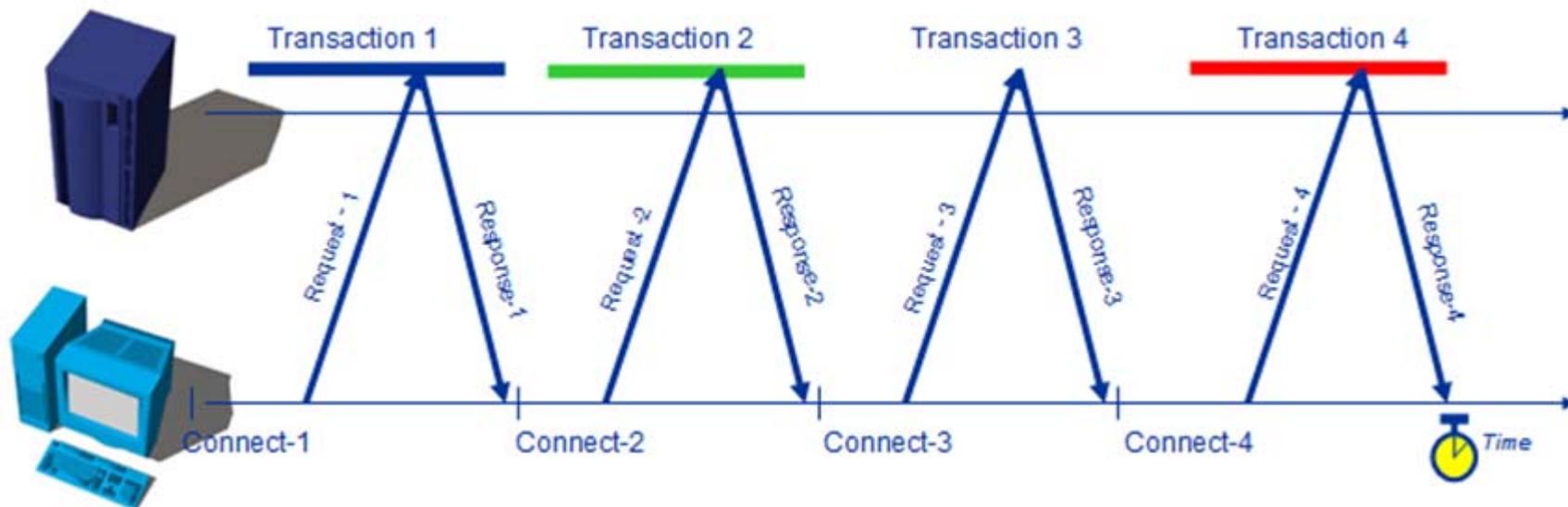
### 1) Web服务与HTTP协议



# 1、第4~7层所对应的TCP/IP模型



# 持续性连接和非持续性连接对性能的影响

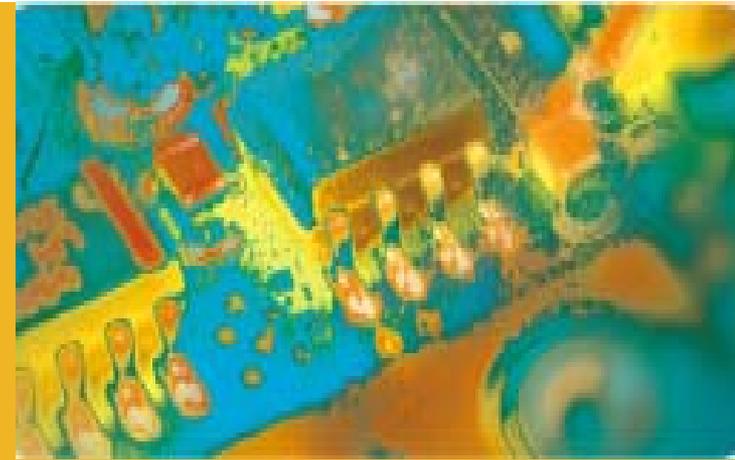


# 概念讨论：什么是HTTP事务(Transaction)



温州大學  
WENZHOU UNIVERSITY

## 第三节 第4~7层网络性能的主要指标



# 1、决定传输质量的TCP层面指标

## 1、最大TCP连接建立速率(Maximum TCP Connection Establishment Rate)

最大TCP连接建立速率是指被测设备或被测系统能够成功处理请求连接的前提下，在单位时间内所能承受的最大TCP连接建立数目，用connections/sec表示，这一指标通常被称为最大TCP新建速率。它主要反映了被测设备的CPU使用情况以及对连接的处理速度。

对应用系统而言，在突发用户流量的情况下，如果系统没有足够的连接建立速率，就会导致无法及时建立新的连接，造成用户请求得不到及时响应，或者已登录用户掉线的现象。

## 2、最大TCP连接拆除速率测试方法(Maximum TCP Connection Tear Down Rate)

最大TCP连接拆除速率是指单位时间内关闭的有效TCP连接数目的最大值，最大TCP连接拆除速率指标了被测设备释放资源的速度。

在网络服务中，如果资源释放不够快，会导致后续的申请或请求在建立连接时没有足够的系统资源，从而影响正常服务的获得，在网络服务器中，这种情况就表现为不能及时处理持续的访问请求，出现用户等待超时现象。

### 3、并发TCP连接容量(Concurrent TCP Connection Capacity)

并发连接是指多个主机或用户同时连接到一个主机或设备进行数据传输，并发TCP连接容量是指被测设备能够同时成功处理的最大TCP连接数目，它反映出被测设备对多个连接的访问控制能力和连接状态跟踪能力

被测设备内用以存放并发连接信息的地方叫做连接状态表，表的大小也就是被测设备所能支持的最大并发连接数，并发TCP连接容量的大小与设备的内存资源有关。

对于具体设备，如防火墙而言，并发TCP连接容量决定了防火墙能否及时处理数据包并转发的性能，如果并发连接容量不够，在繁忙时段就不能进行及时的数据处理和包转发，会出现数据包丢失的现象；对Web应用系统而言，该项指标决定了能同时容纳的在线用户数目，所以并发TCP连接容量的测试是性能测试的重要指标。

最大TCP连接速率和并发TCP连接容量这两项指标体现了系统能够处理的最大连接速率和同时容纳的连接总数，通过这两个指标的测试可以了解系统在传输层是否存在性能瓶颈。

## 2、关系用户体验质量的应用层指标

### 1、最大同步用户数（Maximum Simultaneous Users）

最大同步用户数指被测系统能够容纳的最大同步用户数目。

### 2、最大事务处理速率（Maximum Transaction Rate）

最大事务处理速率指单位时间内被测系统能够成功处理事务数目的最大值。

同步用户数和事务处理速率是衡量大多数基于Web的应用系统性能的指标，同步用户数和事务处理速率的测试，可以检验系统的全部处理能力，以及获悉是否存在应用层存在性能瓶颈。

### 3、突发流量处理（Traffic Surges）

突发流量处理指被测系统处理巨大突发流量的能力。

在实际应用中，网络系统有时候会遇到一些巨大的突发流量，这些流量可能是意料之中的，也可能是意料之外的，例如在节假日促销的最后一分钟，因为有更多的商品被订购，产生大量的突发流量，这些突发流量给系统带来巨大的负担（**outages are extremely costly**），导致事务处理开销大大增加。突发流量处理测试的目的就是为了确定被测设备应对这种突发流量的能力。

### 3、与系统可用性有关的性能指标

系统的可用性是衡量网络应用的最根本指标，如果一个网络经常出错，那么即使网络提供无限的带宽也毫无用处，所以网络应用系统的部署需要考虑到长时间的可用性和稳定性。

现实中的情况是，一些系统在短期（**Short-Term**）测试中表现正常，但是在长时间的持续运行过程中可能会出现意想不到的问题，这就需要进行**长期稳定性（Long-Term Stability）测试**，目的是检验被测系统在长时间高负载情况下的工作性能。

# 网络应用的失效转移

## 4、网络应用的失效转移（Failover）

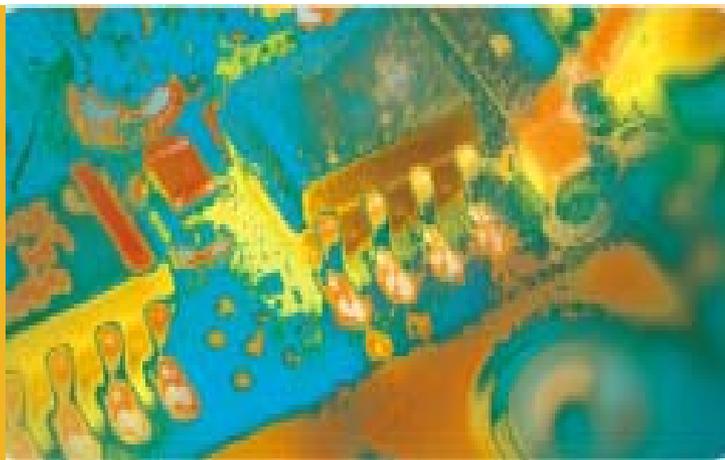
很多网络系统的高可用性是通过系统的冗余架构实现的，一般情况下，系统的失效转移保护方法可以分为三类：冷备份（**cold standby**）、热备份（**warm standby**）和双机互备份（**dual-active**）。

最好的失效转移方案可以保证网络的正常连通和事务处理，同时在失效转移过程中和失效转移完成后，不会对用户的使用产生影响，所以要求在持续不间断的网络流量中测试系统的失效转移能力，以检验该项功能是否确保网络系统的可用性，以及能否确保失效转移全过程对用户是透明的。



温州大學  
WENZHOU UNIVERSITY

## 第四节 第4~7层网络测试的相关RFC文档



# 1、RFC2647

- Firewall Performance Terminology
- RFC2647为防火墙性能测试定义了基本概念和术语。由于防火墙性能测试中基于连接的部分与网络4-7层测试直接相关，因此，其中的测试内容和测试指标也适用于其他4-7层设备或系统的测试。

## 1、连接（Connection）

连接是指两个主机之间或者主机与DUT/SUT之间同意使用某种协议交换数据的状态。

在防火墙性能测试中，使用无连接的协议如UDP所进行的数据传输，也可以算在连接数之内。例如一个主机穿过防火墙发送一个UDP包给另外一个主机，如果目标主机正在监听正确的UDP端口，那么它就收到这个UDP包，因而这次传输也算作一个连接。

## 2、并发连接数（Concurrent connections）

并发连接是指多个主机或用户同时连接到一个主机或设备进行数据传输，一个主机或设备所能处理的并发连接数越大，就说明它的网络处理或转发性能越好。

需要强调的是，“连接（connection）”本身只是一个描述状态的概念，不一定有实际的数据传输，而并发连接则是指所有的连接存在数据传输。因此，如果一个连接没有数据传输，那么这个连接将不会被计入并发连接数中。

## 3、连接建立（Connection establishment）

连接建立是指为了在两个主机或者主机和DUT/SUT之间交换数据而初始化一个连接。

#### 4、连接建立时间（**Connection establishment time**）

连接建立时间是指在两个主机或者主机和DUT/SUT之间，建立一个特定协议的连接所付出的时间开销。每一种基于连接（**connection-oriented**）的协议都有特定的连接建立机制。从收到连接建立控制帧的起始帧的第一个bit开始，到最后一个控制帧的最后一个bit为止的这段时间称为连接建立时间。

这个定义只适用于基于连接（**connection-oriented**）的协议，如TCP协议。对无连接的协议，如UDP协议而言，连接建立时间的概念没有任何意义。

#### 5、连接维持（**Connection maintenance**）

连接维持是指为了确保数据在两个主机或者主机和DUT/SUT之间传输而维持连接处于激活状态。在没有数据交换的时间段里，TCP协议或其他基于连接（**connection-oriented**）的协议用“keep-alive”数据来维持连接

## 6、连接拆除（Connection teardown）

连接拆除是指拆除两个传输数据的主机或者主机与DUT/SUT之间的连接。基于TCP协议的连接必须用规定的方式拆除。

## 7、连接拆除时间（Connection teardown time）

连接拆除时间是指结束一个连接所花费的时间开销，基于连接（connection-oriented）的协议都有它自己的连接机制，比如TCP协议的“四次握手”协议。这个时间是从收到连接拆除帧的第一个bit开始，到最后一个bit结束的时间间隔。这个定义只适用于基于连接的协议，对于无连接的协议，如UDP协议也是没有任何意义。

## 2、RFC3511

- Benchmarking Methodology for Firewall Performance
- RFC3511提供了有关网络4-7层性能测试的方法学，主要包括四个方面的测试方法：转发、连接、延迟和过滤。除了定义相关的测试方法，文档中还描述了测试结果报告的格式。

# 1. RFC3511中的相关概念

## (1) 虚拟客户/服务器 (Virtual Client/Servers)

在网络4-7层测试中，通常需要使用多个模拟用户端发起测试请求，以生成测试流量，而另一端则由模拟服务器接收并响应这些测试流量，这些模拟的客户与主机在测试方法学中被称为虚拟客户/服务器。例如，在进行防火墙测试时，可以利用同一数据源产生多个虚拟客户端，并在测试报告中说明测试过程中出现的虚拟用户数和虚拟服务器数。

## (2) 测试流量及其要求 (Test Traffic Requirements)

测试流量是指测试仪表生成的、对网络系统的访问数据流量，或者指通过被测设备或被测系统的网络数据流量。测试流量应该满足在多个网络层次上对被测设备进行测试的需要。

### (3) 多客户/服务器测试 (Multiple Client/Server Testing) 的连接方式

在一些特定应用的测试中，会产生一个或多个客户对应多个服务器的场景。此时要求每个虚拟客户端采用循环方式与服务器进行初始化连接。例如，如果测试中包含6个虚拟客户对应3个虚拟服务器，连接采用如下方式进行初始化：

Client	Target Server (In order of request)			
#1	1	2	3	1...
#2	2	3	1	2...
#3	3	1	2	3...
#4	1	2	3	1...
#5	2	3	1	2...
#6	3	1	2	3...

## 2. 测试拓扑

- 网络4-7层的测试有三种拓扑结构：网络设备模式、服务器系统模式和网络系统模式。网络设备模式利用仪表模拟客户端和服务端来检验网络通信设备对网络4-7层数据流量处理和转发的性能，服务器系统模式利用仪表模拟客户端生成客户端数据流量来检验服务器系统的事务处理性能，网络系统模式利用仪表对复杂的网络应用部署进行4-7层性能测试。

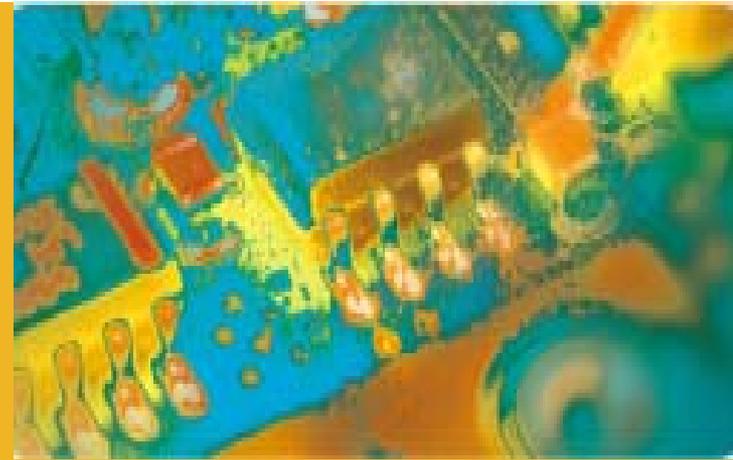
### 3. 测试的主要性能指标

- 并发TCP连接容量（Concurrent TCP Connection Capacity）
- 最大TCP连接建立速率（Maximum TCP Connection Establishment Rate）
- 最大TCP连接拆除速率（Maximum TCP Connection Tear Down Rate）
- HTTP传输速率（HTTP Transfer Rate）
- 最大HTTP事务处理速率（Maximum HTTP Transaction Rate）



温州大學  
WENZHOU UNIVERSITY

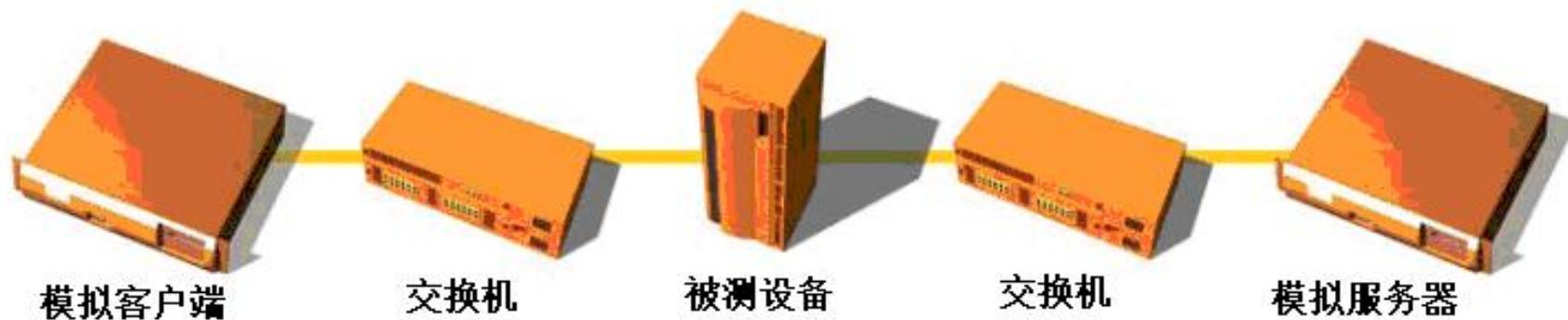
## 第五节 第4~7层测试的方法学



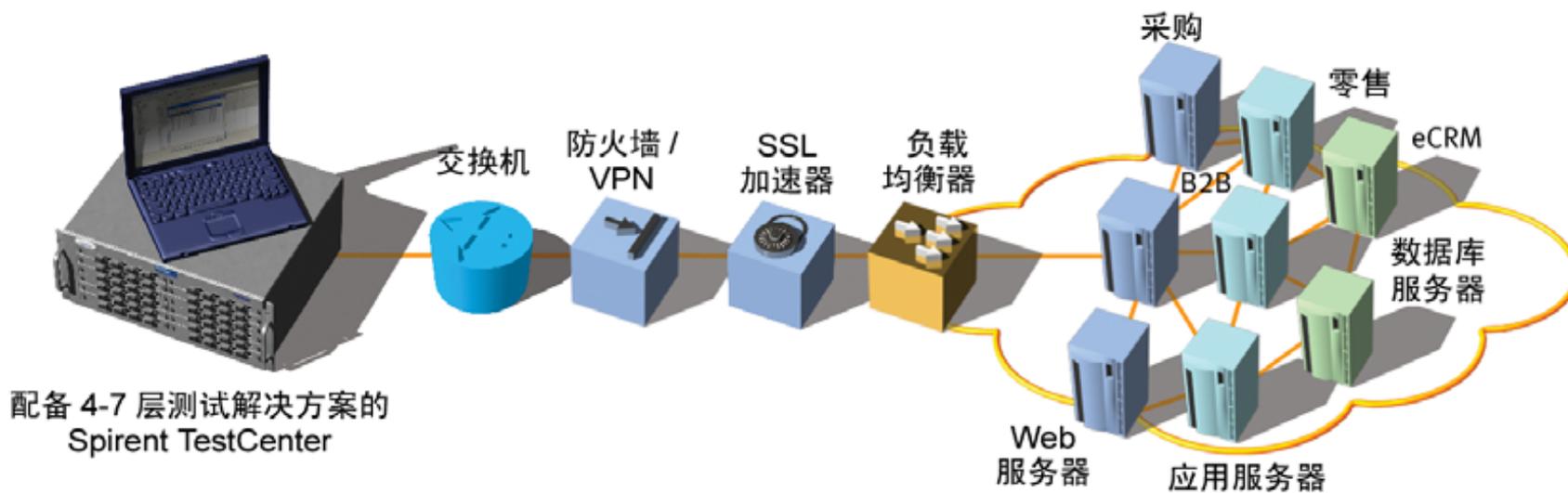
# 1、服务器系统模式



## 2、网络设备模式



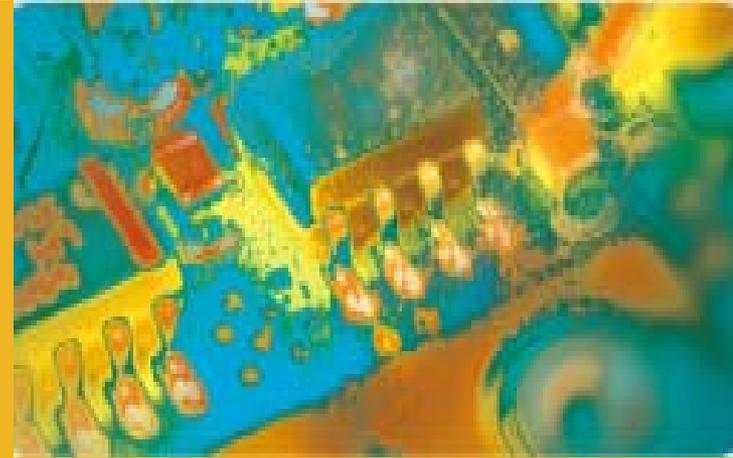
### 3、网络系统模式





温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

# 1、并发TCP连接容量测试方法



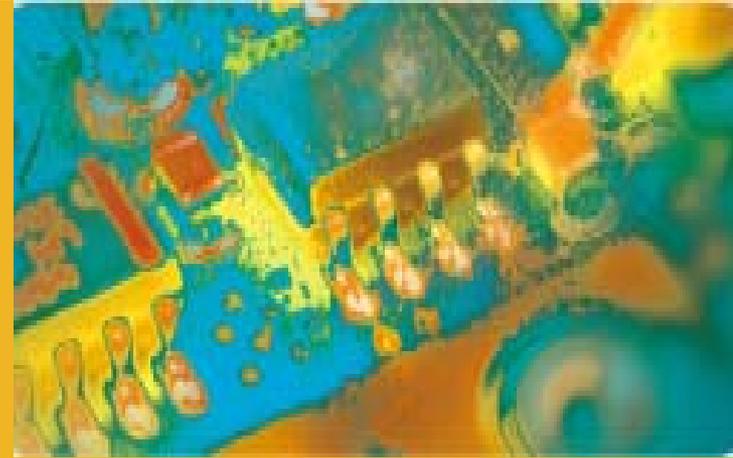
- 1、测试的目的：为了检验被测设备或被测系统内存性能及其连接状态表(**Connection State Table**)能同时容纳的最大连接数目。
- 2、测试过程：使用二分搜索法来确定最大并发**TCP**连接容量。

Details	
Name	Value
Total Attempted TCP Connections	4307
Total Established TCP Connections	2018
Minimum Time To TCP SYN/ACK (ms)	0.225
Maximum Time To TCP SYN/ACK (ms)	6152.666
Average Time To TCP SYN/ACK (ms)	1160.976

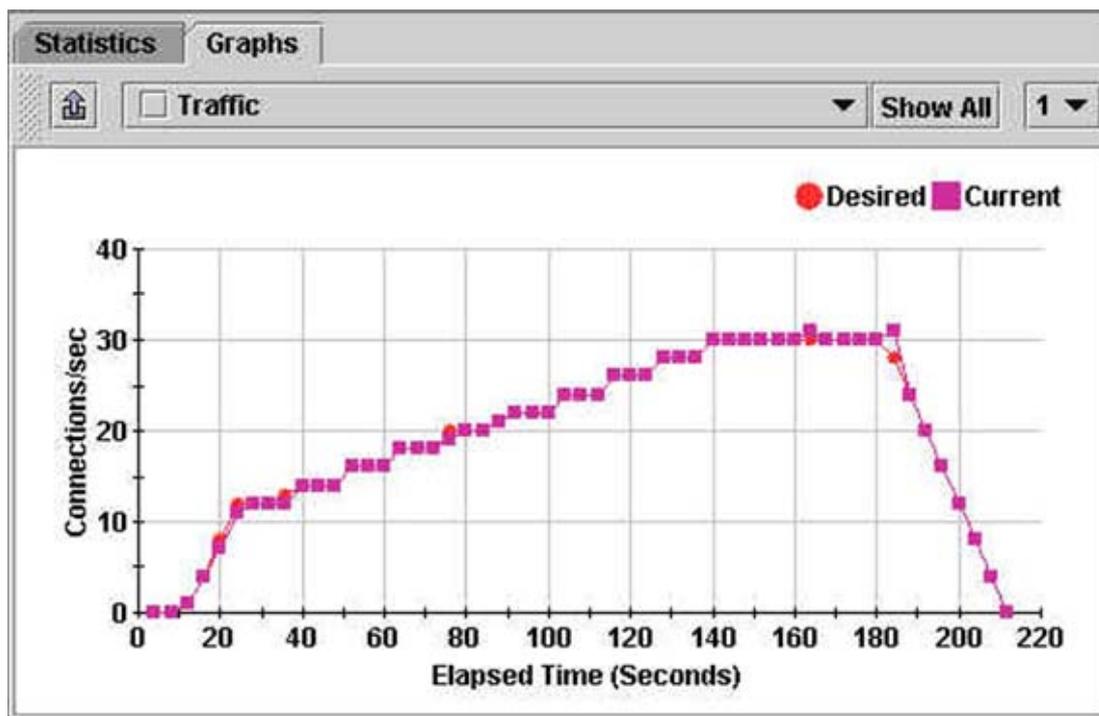


温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

## 2、最大TCP连接建立速率测试方法



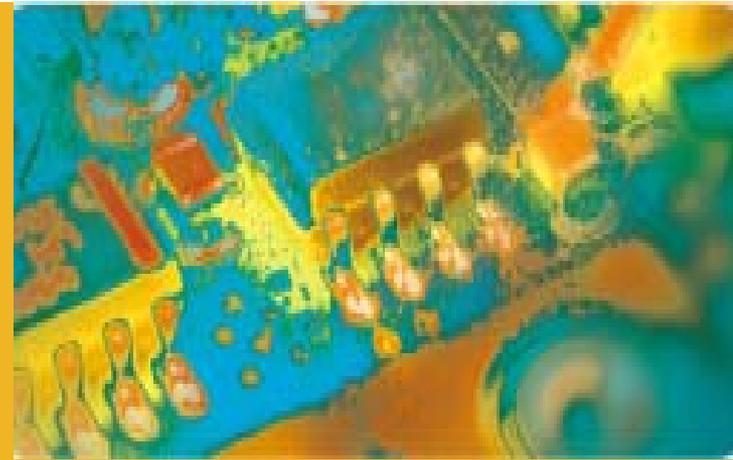
- 1、测试目的：被测设备的CPU使用情况以及对连接的处理速度。
- 2、测试过程：使用二分搜索法



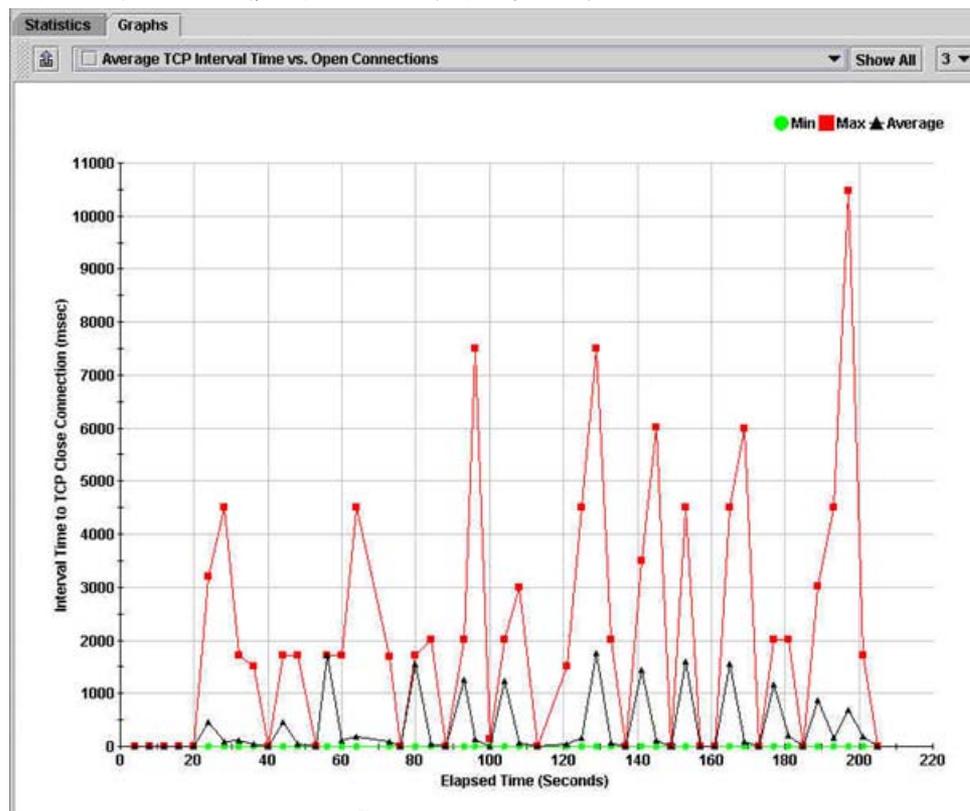


温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

### 3、最大TCP连接拆除立速率测试方法



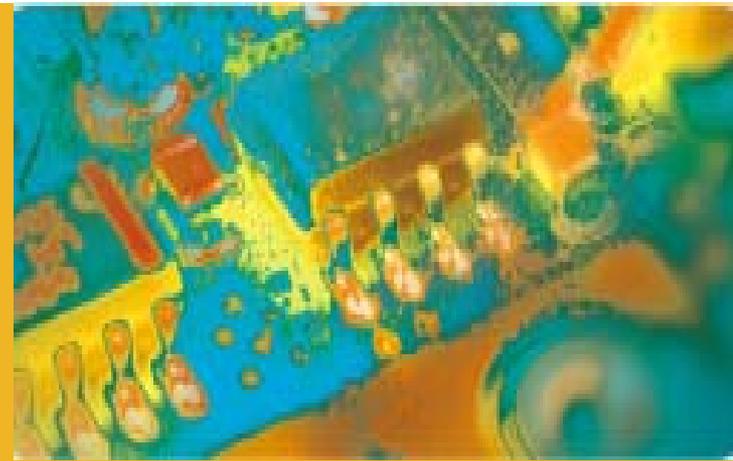
- 1、测试目的：关心被测设备释放资源的速度。
- 2、测试过程：使用二分搜索法





温州大學  
WENZHOU UNIVERSITY

## 4、HTTP传输速率测试方法



1、HTTP传输速率用于测试被测设备处理应用层流量的性能，同时也检验传输层及以下的协议的性能是否足够支撑上层的应用。

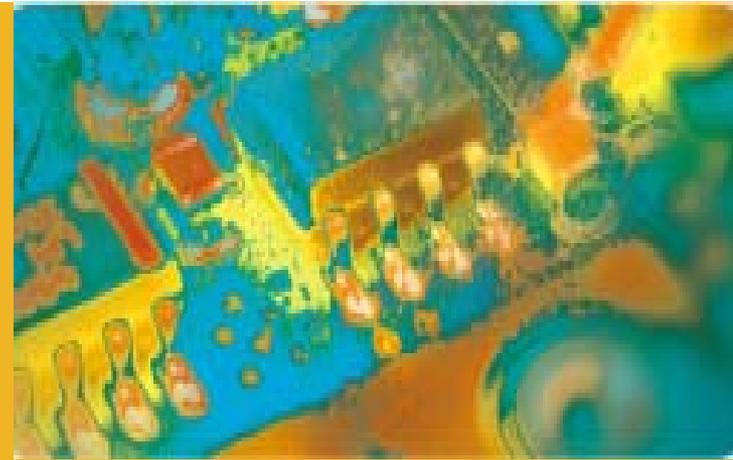
2、

$$\text{TRANSFER RATE (bit/s)} = \frac{\text{OBJECTS * OBJECTSIZE * 8}}{\text{DURATION}}$$



温州大学  
WENZHOU UNIVERSITY

## 5、最大HTTP事务速率 测试方法



1、HTTP事务处理速率测试的目的：检验DUT/SUT能支持的用户存取HTTP对象的最大速率。

与HTTP传输速率测试是针对网络传输性能这一侧重点不同，最大HTTP事务处理速率测试的侧重点在于检验服务器的CPU运算速度、内存资源利用率等性能指标。对用户而言，如果服务器端的运算性能和资源不足，尽管网络带宽足够，用户仍然无法体验快速流畅的网络应用。