



现代计算机网络

李伟明

lwm@hust.edu.cn

课程目标/结构/计划

网络基础（深入）：

- ◆ Ch1:体系结构
- ◆ Ch2:网络互联
- ◆ Ch3:拥塞控制

新型网络：

- ◆ Ch4:无线和移动网络
- ◆ Ch5:P2P网络
- ◆ Ch6:SDN（软件定义网络）
- ◆ Ch7:IPv6网络

扩展网络技术：

- ◆ Ch8:网络空间安全



教学规则

- ◆ 总成绩

- 总成绩 = 考试**100%**

- ◆ 学时安排：总计**32学时/2个学分**



参考书目

1. **Computer Networking - A Top-Down Approach Featuring the Internet , Third Edition ,James F.Kurose,**
2. **Computer Network - A System Approach (3nd) , Larry L , 机械工业出版社。**

Ch1:网络体系结构

1.1 网络系统结构概述

1.1.1 基本问题与概念

- 计算机网络的演进！
- 计算机网络的基本理念和创新
- 计算机网络的需求与约束！

1.1.2 计算机网络的体系结构

- 基本元素
- 基本结构

1.1.3 网络性能测量与评价

- 两个基本指标
- 网络性能指标体系

1.1.4 怎样操作网络

- API接口与Socket编程

1.1.5 互联网的管理

什么是网络？

◆ 互连自治计算机的集合！

➤ 互联：

☞ 经媒质交换数据的能力

➤ 自治：

☞ 面向用户自管理

☞ 计算机、位置可见

◆ 分布式系统

➤ A可强迫启/停/控B

➤ 面向系统处理/存储均不可见

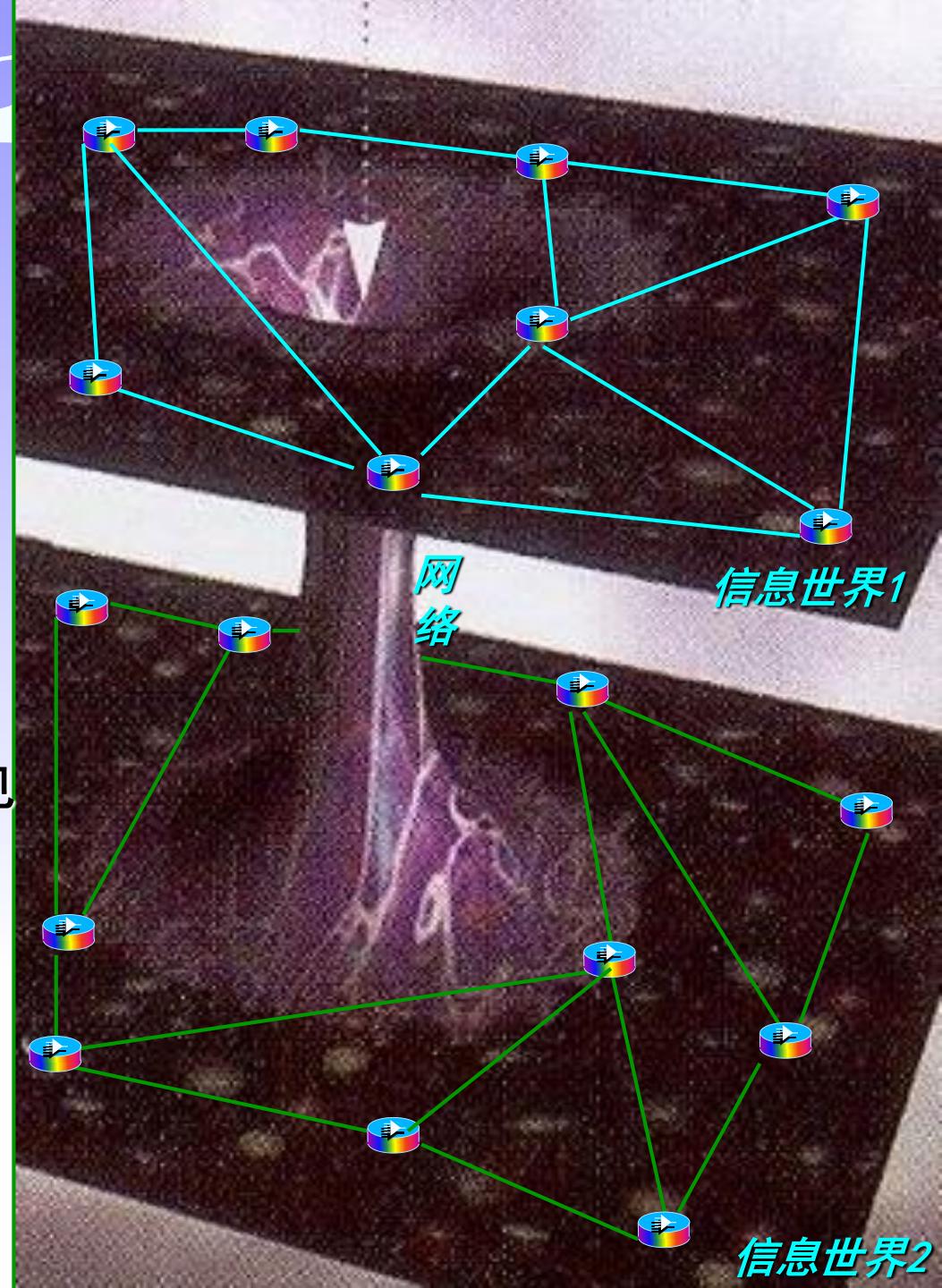
◆ Network is computing！

➤ Computing

➤ Storing

➤ Transforming

◆ 网络空间已经成为世界的
第五大战场！



计算机网络的需求与约束

◆ Constraints & Requirements

- ◆ Application Programmer
 - 服务与应用需求
 - 如某段时间内需要每个消息无错传输
- ◆ Network Designer
 - 设计的成本—效益特点
 - 对不同用户有效分配资源和资源利用率
- ◆ Network Provider
 - 易于管理的系统特征
 - 可靠运营/容易隔离故障/计费
- ◆ Network Supervisor
 - 来自检测、监控、保障的需求
 - 保障国家或组织的信息安全
- 网络的**设计者**、设备的**制造者**、网络**运营者**和网络**监管者**4维共同作用于网络

1.1.1 基本问题与概念

◆ 基本目标

- 按一定**方式**自动把**数据**从**一端**传送到**另一端**。

◆ 相关元素

- 端={实体(多), 时间, 地点, 环境, 要求...}

- ☞ 实体={ID, 网络接口, 进程, 程序, 人, 团体, **数据?**...}

- ☞ 时间={实体活动, 收发, 带宽, 平滑...}

- ☞ 地点={海陆空天, 编址, 寻址, 移动...}

- ☞ 环境={多样媒质, 多样应用, 现场...}

- ☞ 要求={量, 速度, 抖动, **安全**, 语言, 形式...}

- 方式={单播、多播、广播、(多)交互、载体...}

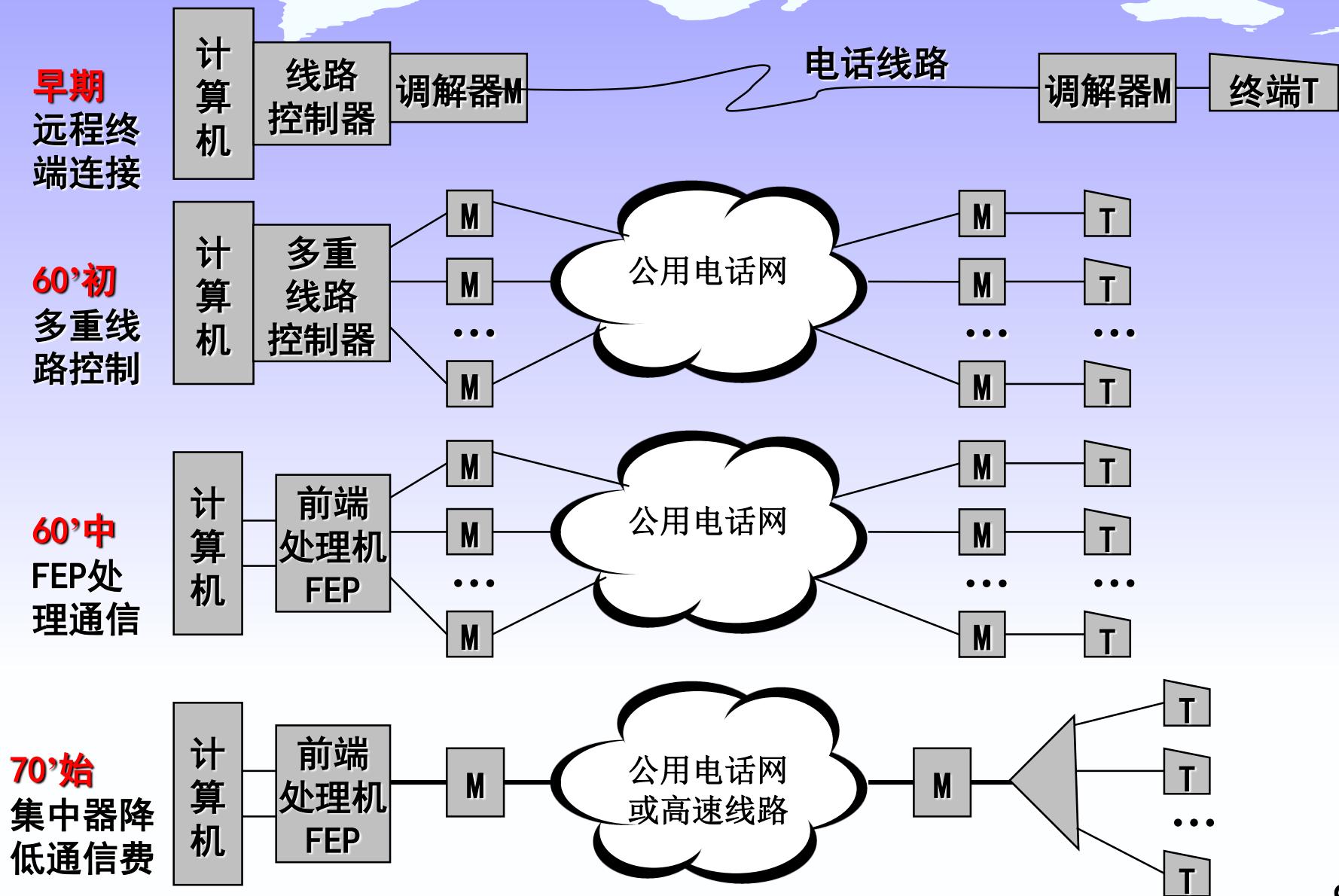
- 自动={理解, 认知, **拥控**, **流控**, 动作, 归纳, 智能...}

- 载体={互连、拓扑、光、电、波、设备...}...

◆ 核心三问题

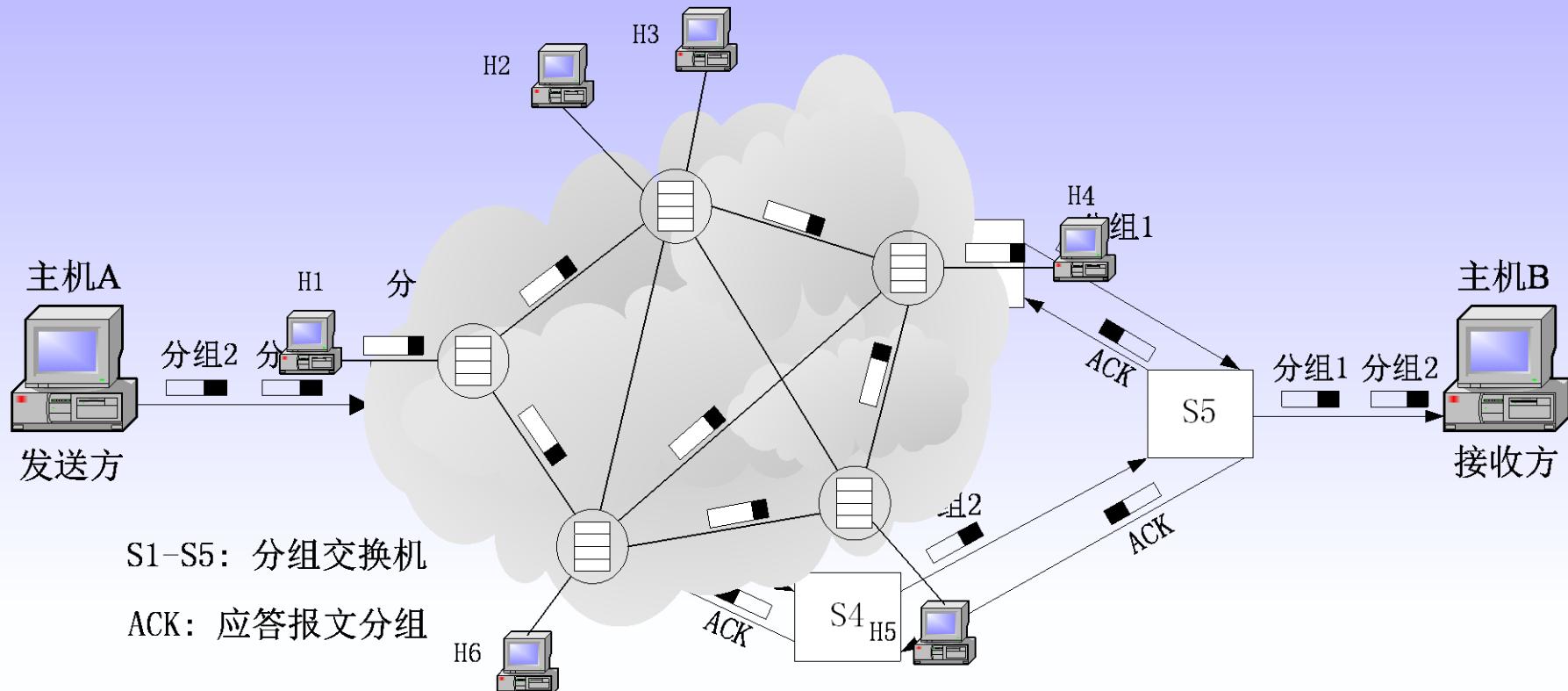
- Who:网络与端实体的身份标识 ; Where:节点在网络何处 ; How:如何把数据传输到指定端实体

I. 计算机网络的演进!



◆ 62-65-72' 分组交换—DARPA (Datagram 方式)

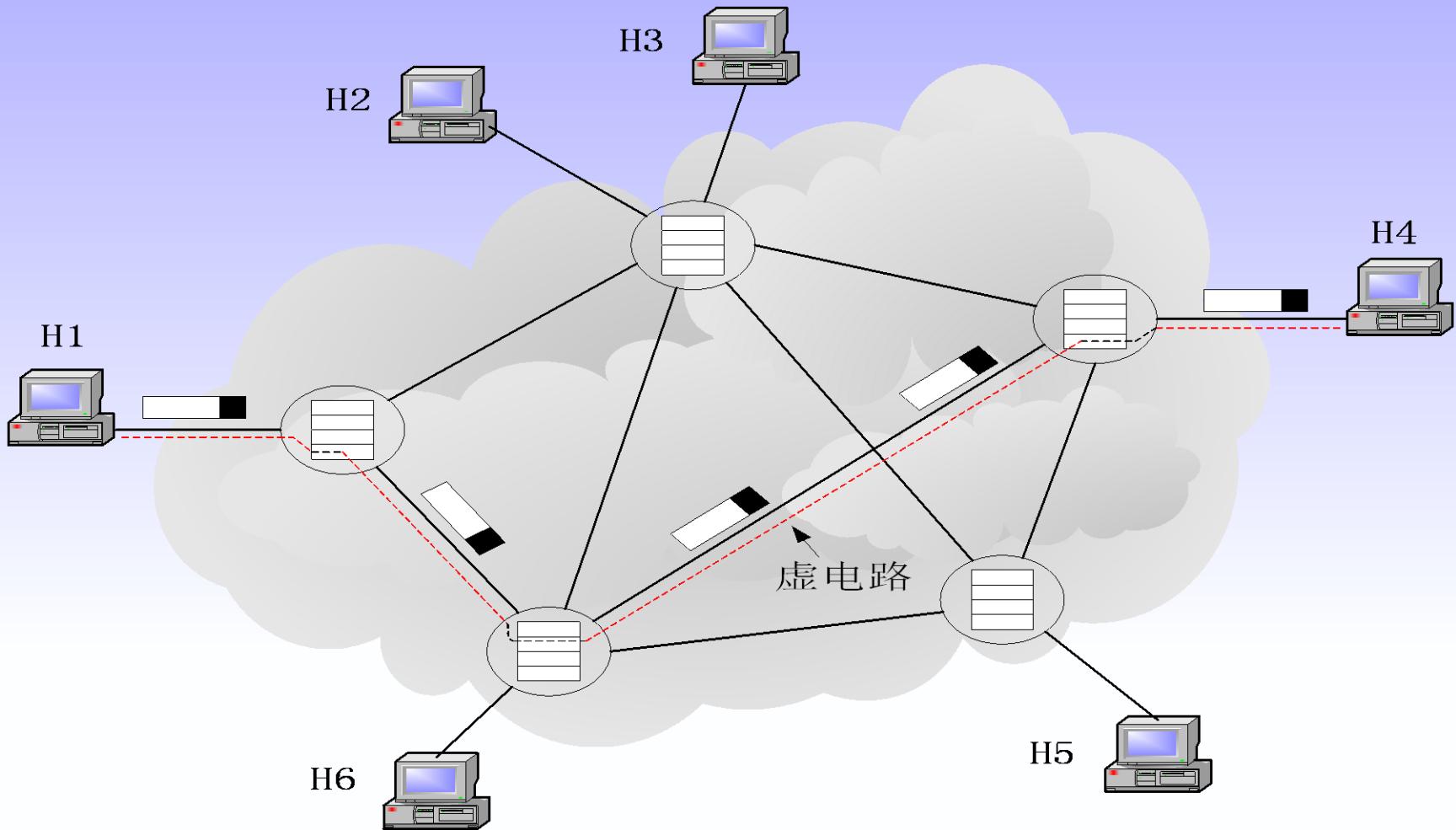
- 各分组独立地确定路由（传输路径）
- 不能保证分组按序到达，所以目的站点需要按分组编号重新排序和组装



数据报方式不能保证分组按序到达
分组可能通过多个路径穿越网络

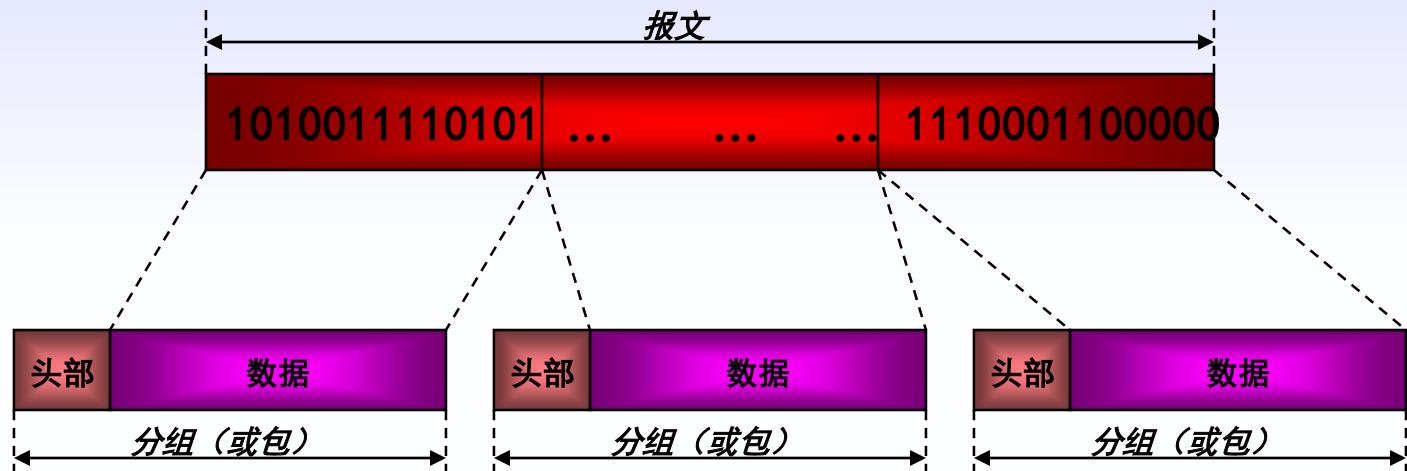
◆ 虚电路方式

➤ 分组通过预先建立好的虚电路穿越网络

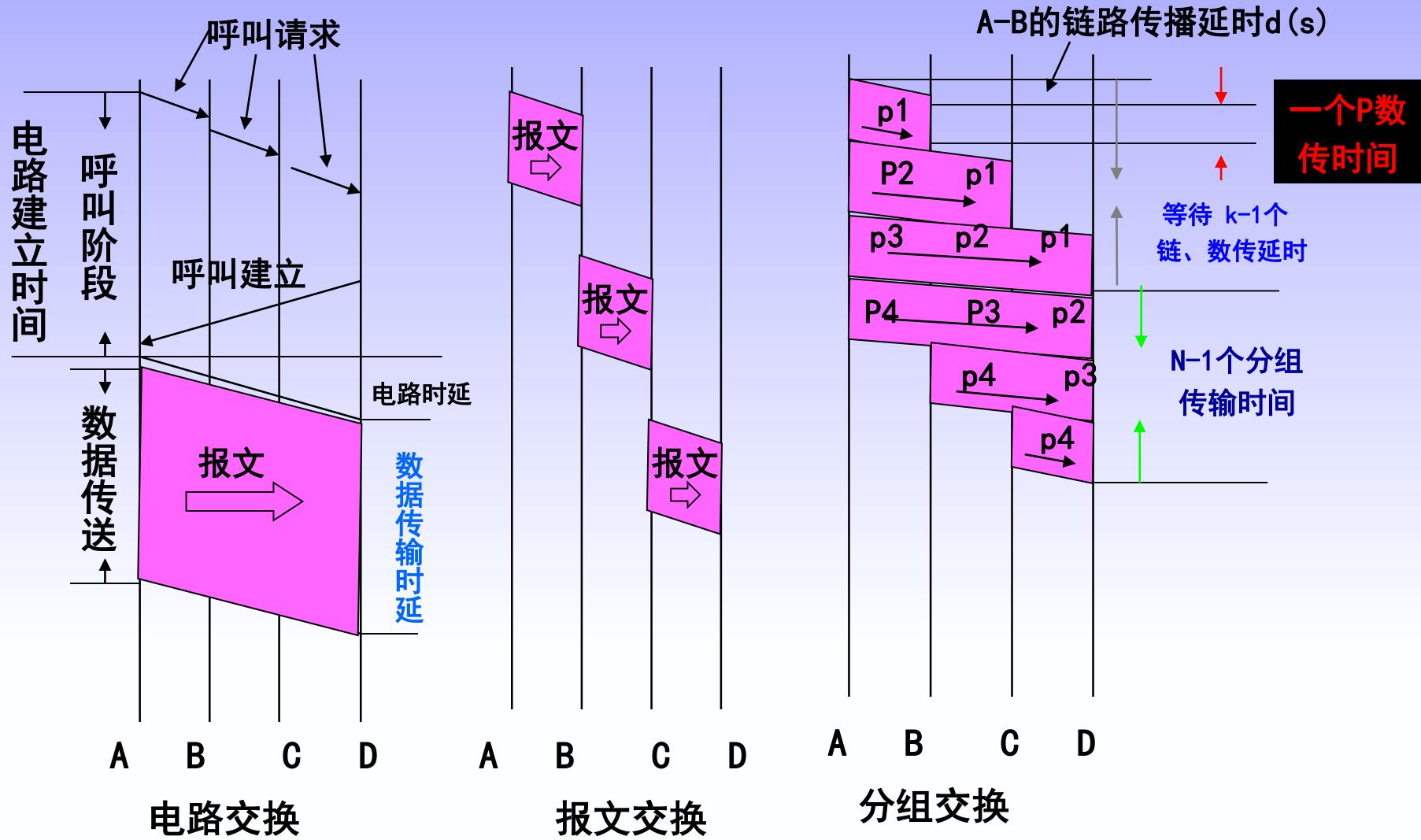


II. 基本理念与创新

- 分组交换（相对当时的电路交换）
- 端到端
- TCP/IP融合接口上（应用）下（媒质）不同技术和要求

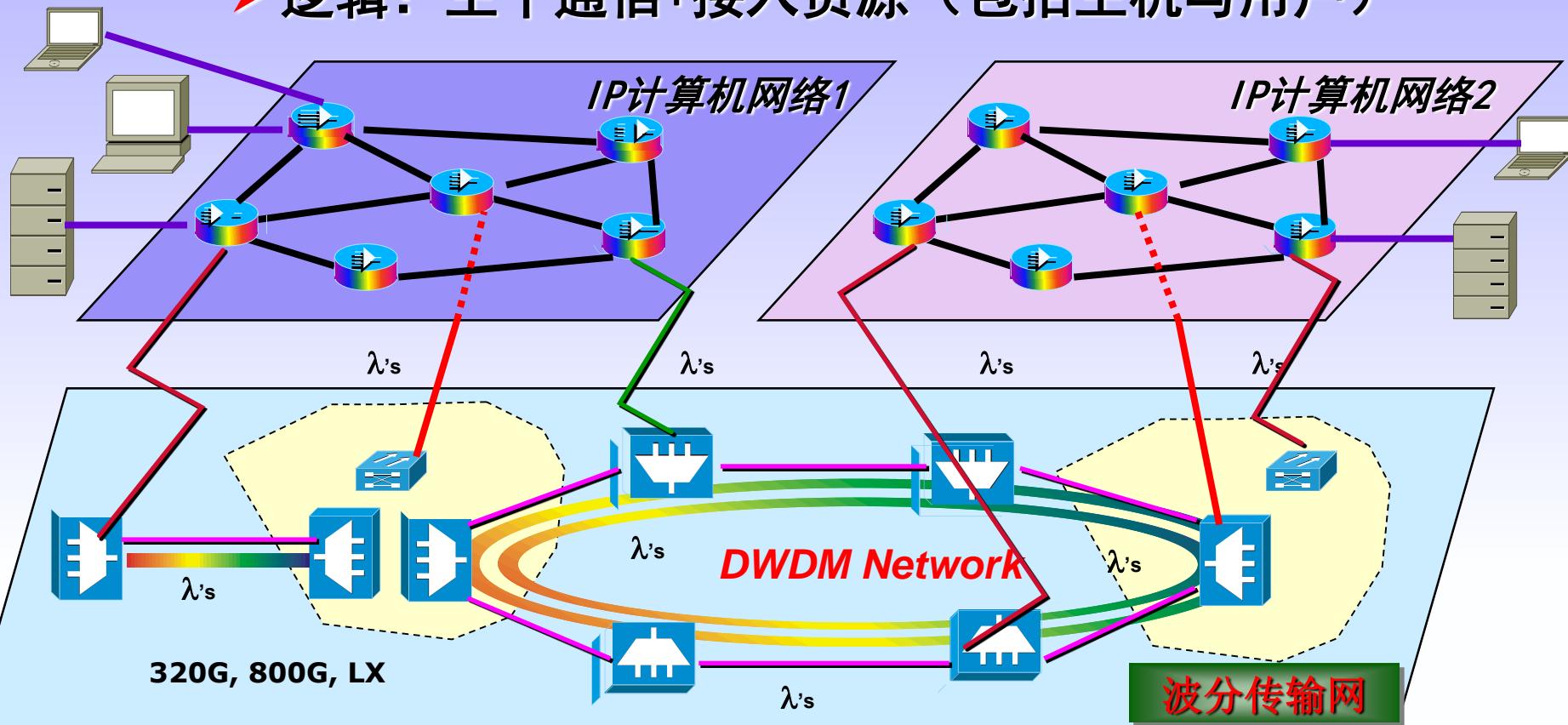


电路/报文/分组交换的比较

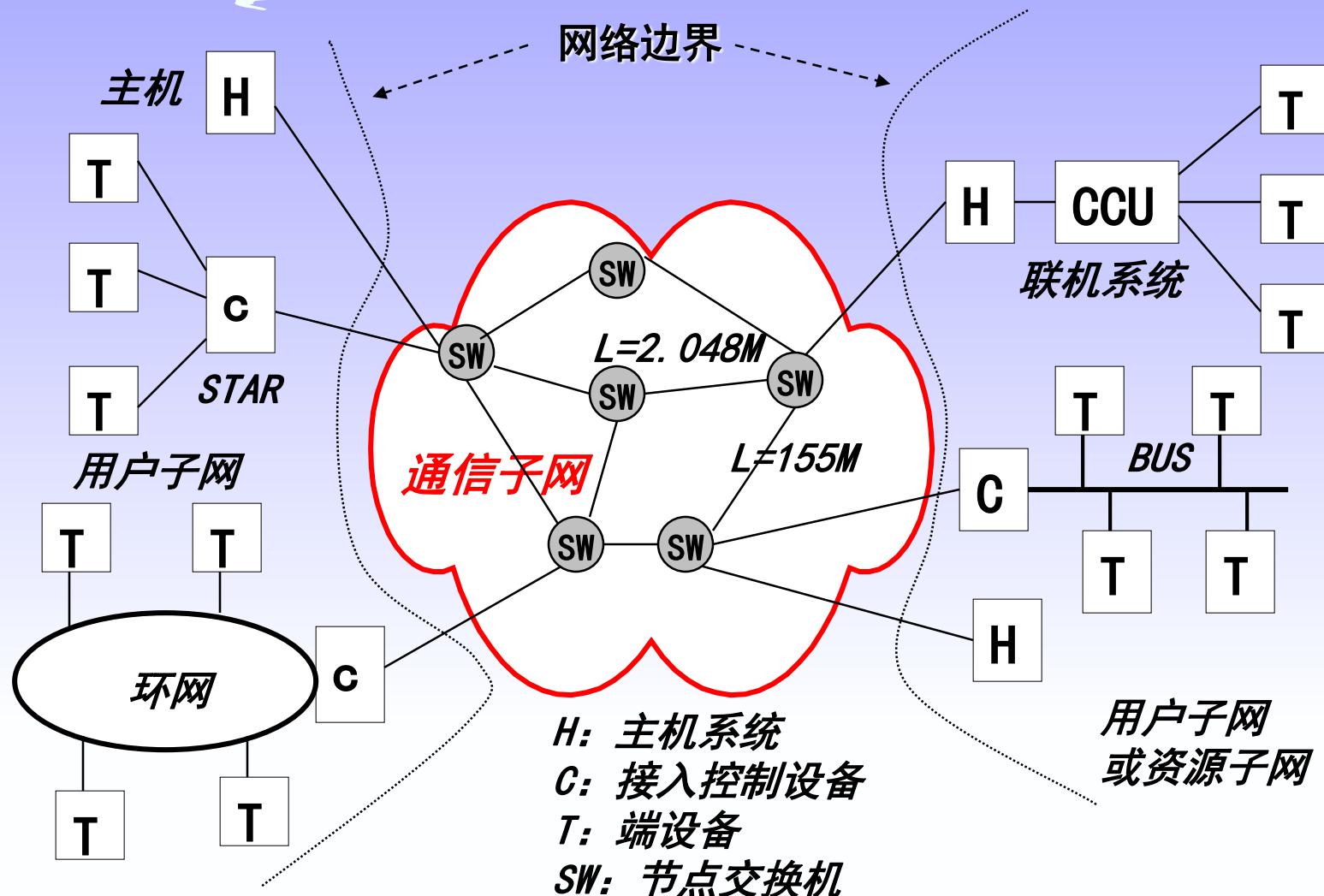


III. 网络结构

- 物理：传输网+计算机网
- 逻辑：主干通信+接入资源（包括主机与用户）



逻辑构成：通信+资源



What is the Internet?

- ◆ The largest network of networks in the world.
- ◆ Uses TCP/IP protocols and packet switching .
- ◆ Runs on any communications substrate.

From Dr. Vinton Cerf,
Co-Creator of TCP/IP



1. 1. 2 网络体系结构

网络系统 = 元素+结构

基本元素

◆ 硬件网络元素

- 点到点链路：光缆、电缆、无线电波
- 通信连接设备：波分传输、路由器
- 端接入设备：路由器、交换机、集线器
- 端设备：计算机、打印机、存储器...

◆ 软件网络元素

- 1—3层（物理、链路和网络IP）的通信协议
- 4—5层（运输、应用）的通信协议
- 各层活动的**进程**（各种系统或应用软件）

体系结构

◆ Architecture

- 系统：系统内部件之间，以及系统与环境之间的关系。
- 网络：网络层次划分、实体功能、交互协议的定义与描述。

◆ 网络体系结构的基本问题

- 命名与定位；
- 路由与寻址；
- 端到端透明通信与内容感知分发；
- “傻网+智端”与“智网+傻端”（端控与中控）；
- 有连接电路交换与无连接分组交换；
- 尽力而为与QoS/EoS
- 物理网络与逻辑网络（主动编程）
- 端主机与海量传感器
- ...

网络的拓扑结构

结构 = 元素间相互关系

= 物理连接+协议联接

◆ 网络 = {节点, 链路} = {V, L}

➤ $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$

◆ 网络=图= (顶点, 边) = $G = (V, E)$,

➤ 若对图中每条边 $[v_i, v_j]$ 赋予一个数 $w_{i,j}$, 则称 $w_{i,j}$ 为边 $[v_i, v_j]$ 的权, 并称图G为网络(或赋权图)

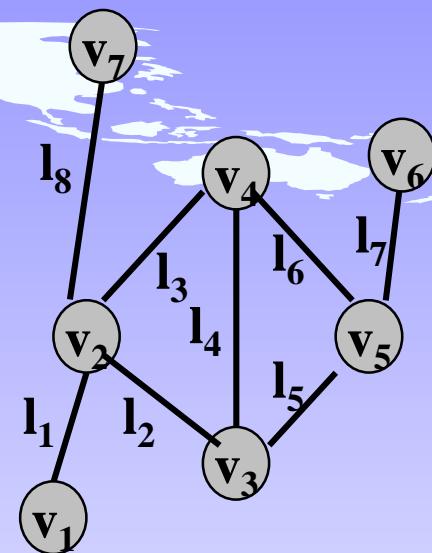
◆ 节点 (Node) :

➤ 端节点: 自身拥有计算机资源的源宿用户设备

➤ 转接节点: 支持网络连通并在网络中对数据起交换和转接的节点, 如交换机/路由器/集线器

◆ 链路 (Link) :

➤ 物理链路: 在物理层连接两个节点的物理介质, 如电话线、同轴电缆、光纤、无线电波



链路、结点、协议和网络云

➤ 逻辑链路：在两点间通过通信协议的作用建立起来的数据联结通路

◆ 物理连接

- 点一点连接：连接一对结点的物理通路
- 多点连接：多个结点共享一条物理链路

◆ 通路 (Path)：

- 从源点到宿点所经过的一串节点和链路的有序集。或端到端的通路

◆ 协议 (Protocol)

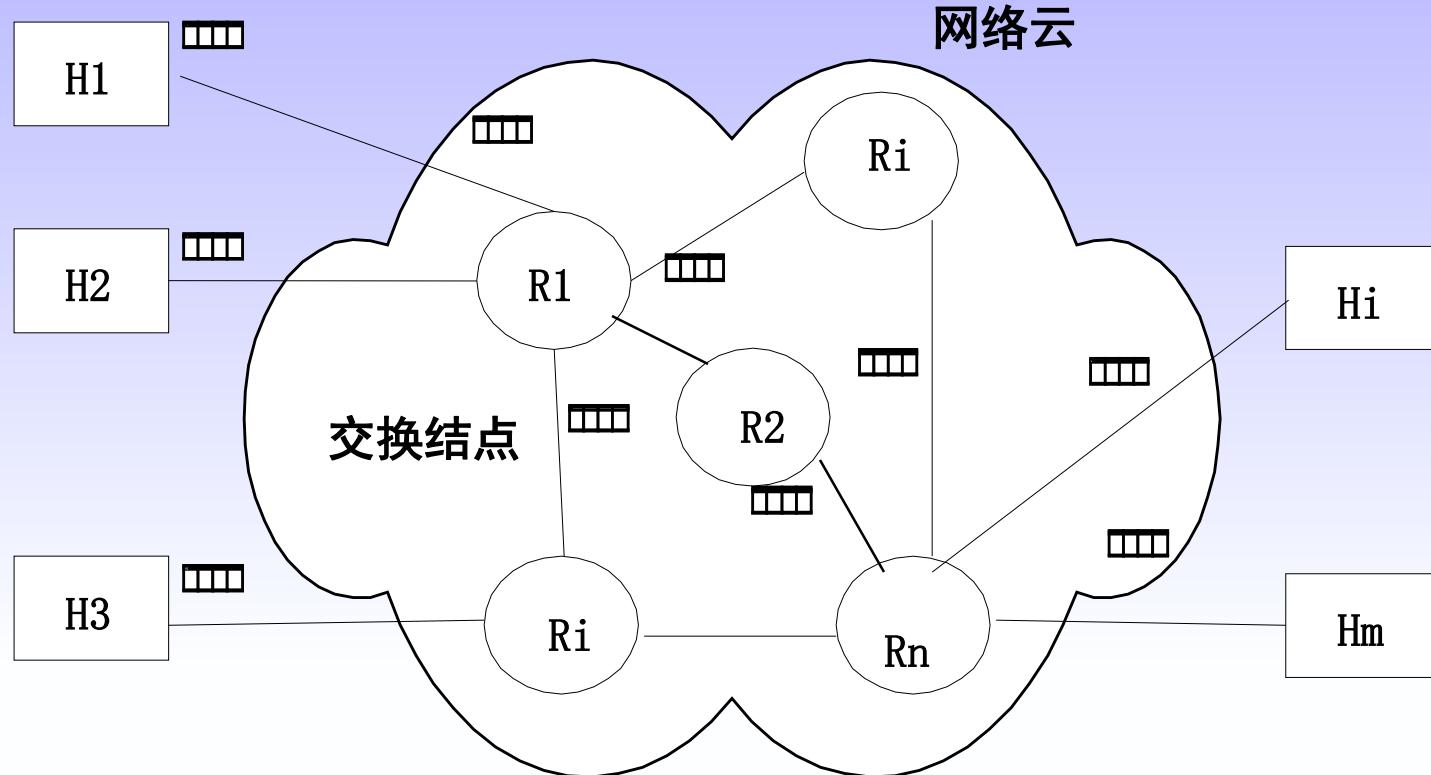
- 多个进程为完成一个任务而共同遵守的动作序列规范
- 三要素：语法、语义、规则(同步时序)

◆ 网络云：

- 区分通信子网交换交换结点（云内）和资源主机结点（云外）的分界线，可表示任何网络（单、多、交换等）

物理网络的抽象表示

主机结点



网络分层结构的通信功能

应用程序通信

进程到进程的通道

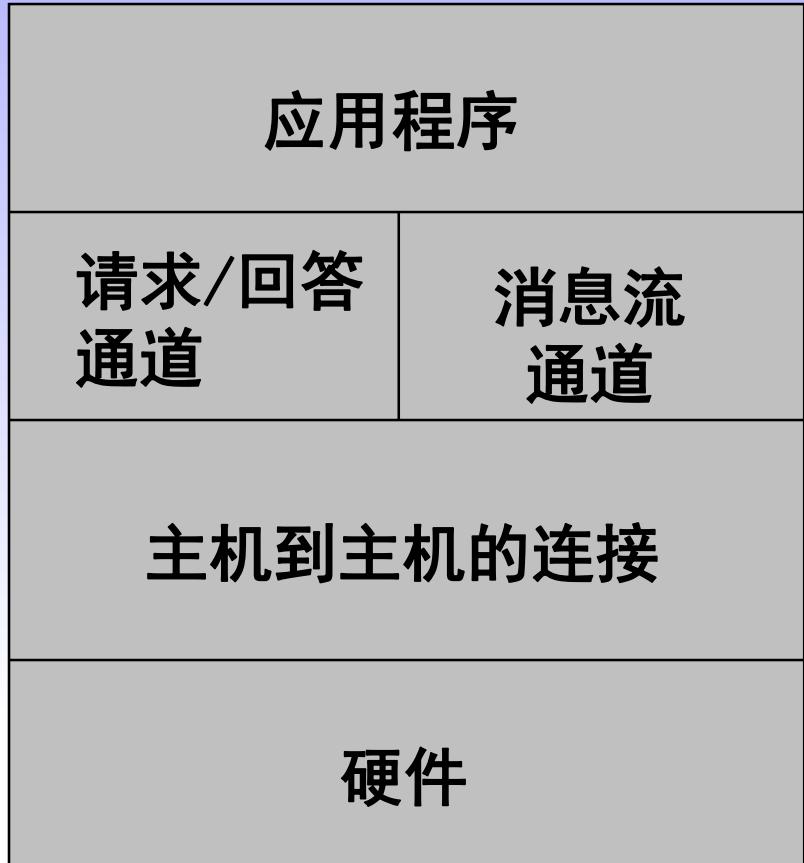
主机到主机的连接

硬件互连

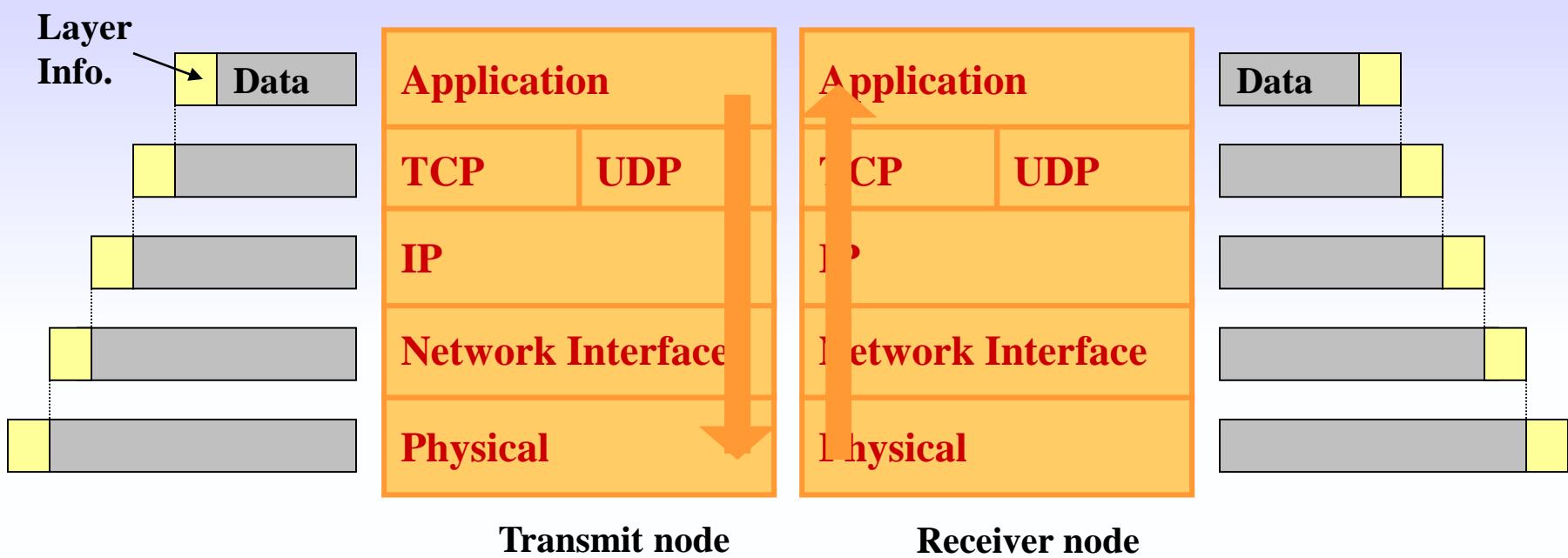
分层网络系统结构

分层和协议

- ◆ 分层：功能聚合与划分
- ◆ 协议：两个或两个以上的参与方为完成特定的任务而采取的一系列的确定步骤。



网络体系结构： 层和协议的集合



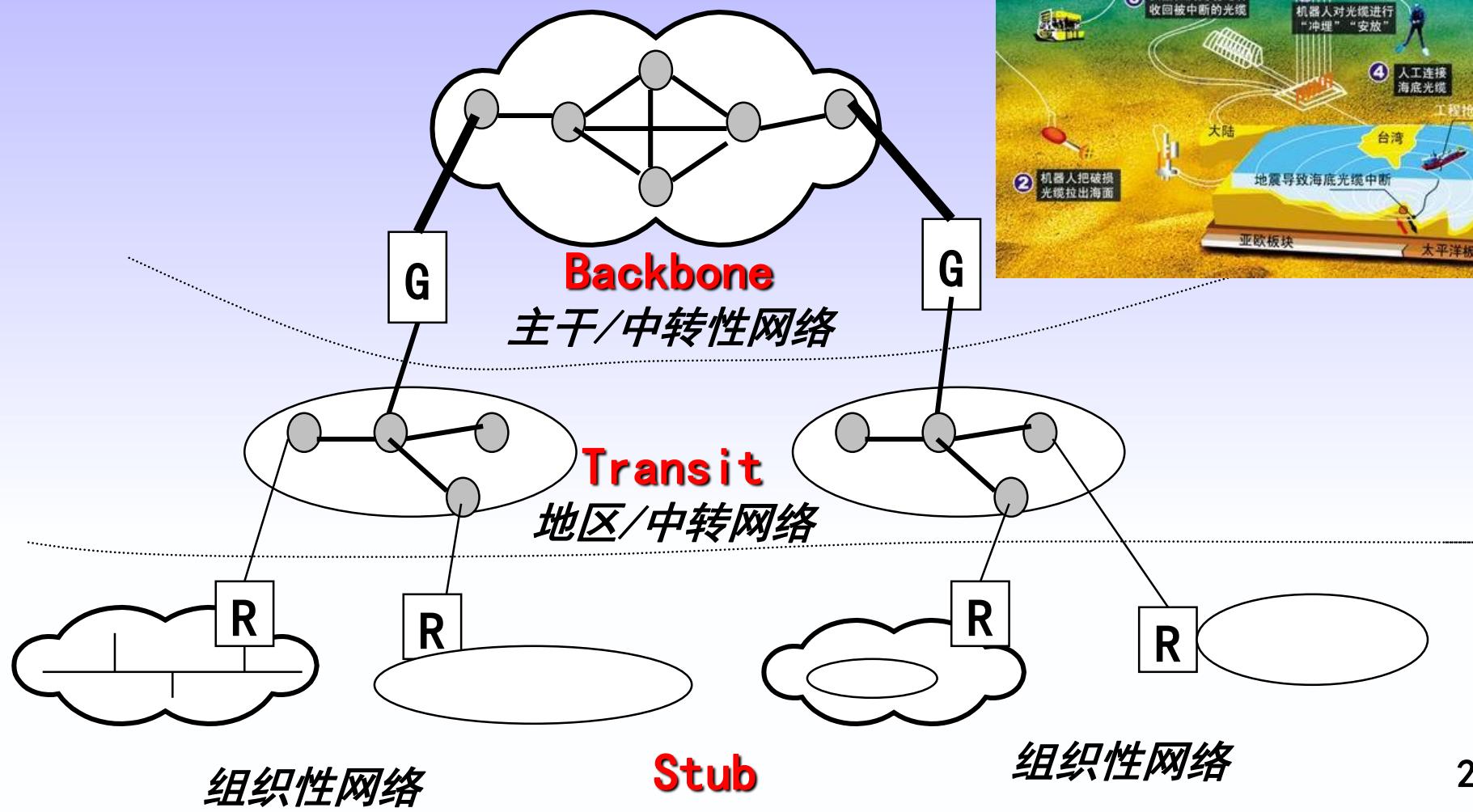
Transmit node

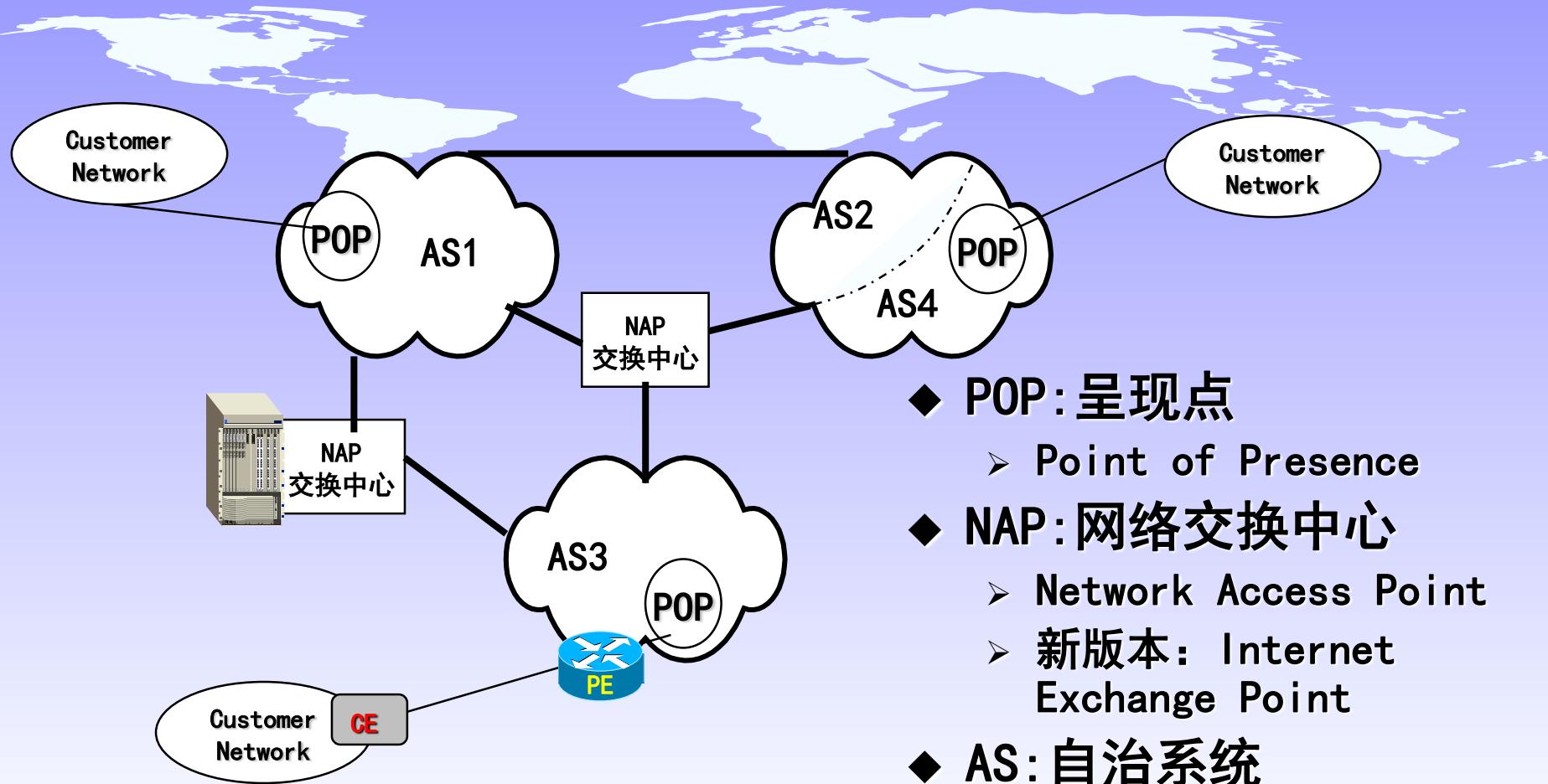
Receiver node

因特网基础设施三层结构

- ◆ 第一层： **Backbone** 中转网：国家或世界级网络主干
 - 美NFSnet/欧Ebone/中Chinanet/CERNET
- ◆ 第二层： **Transit** 地区性网：覆盖省、洲、国家，
 - 提供到因特网的连接
 - 因特网服务提供者 ISP
- ◆ 第三层： **Stub** 组织性网：本地服务提供商；
 - 是一个自治网络系统，有 AS 号
 - 校园网、企业网、公司网、政府网
 - 由外网关接入地区性网络

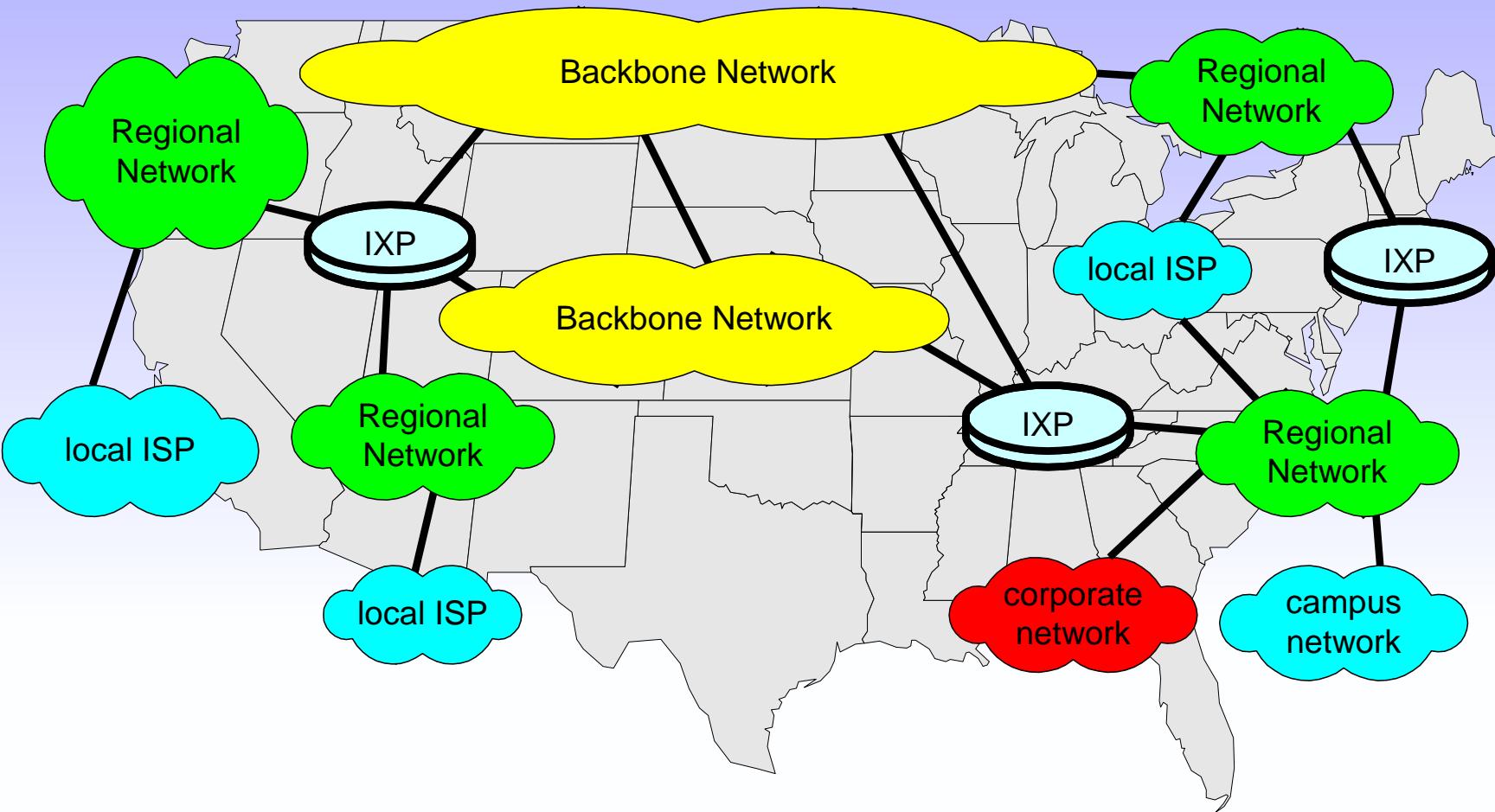
Global Terabit Research Network





- ◆ **POP: 呈现点**
 - Point of Presence
- ◆ **NAP: 网络交换中心**
 - Network Access Point
 - 新版本: Internet Exchange Point
- ◆ **AS: 自治系统**
 - Autonomous Systems
- ◆ **CE: Custmer Equipment, 边缘路由器**
- ◆ **PE: Provider Equipment, 运营商路由器**

美国的互联网基础设施



互联网结构

◆ 由标示网络位置的**46万条地址前缀**和标示网络管理域的**4.4万个自治域AS**组成

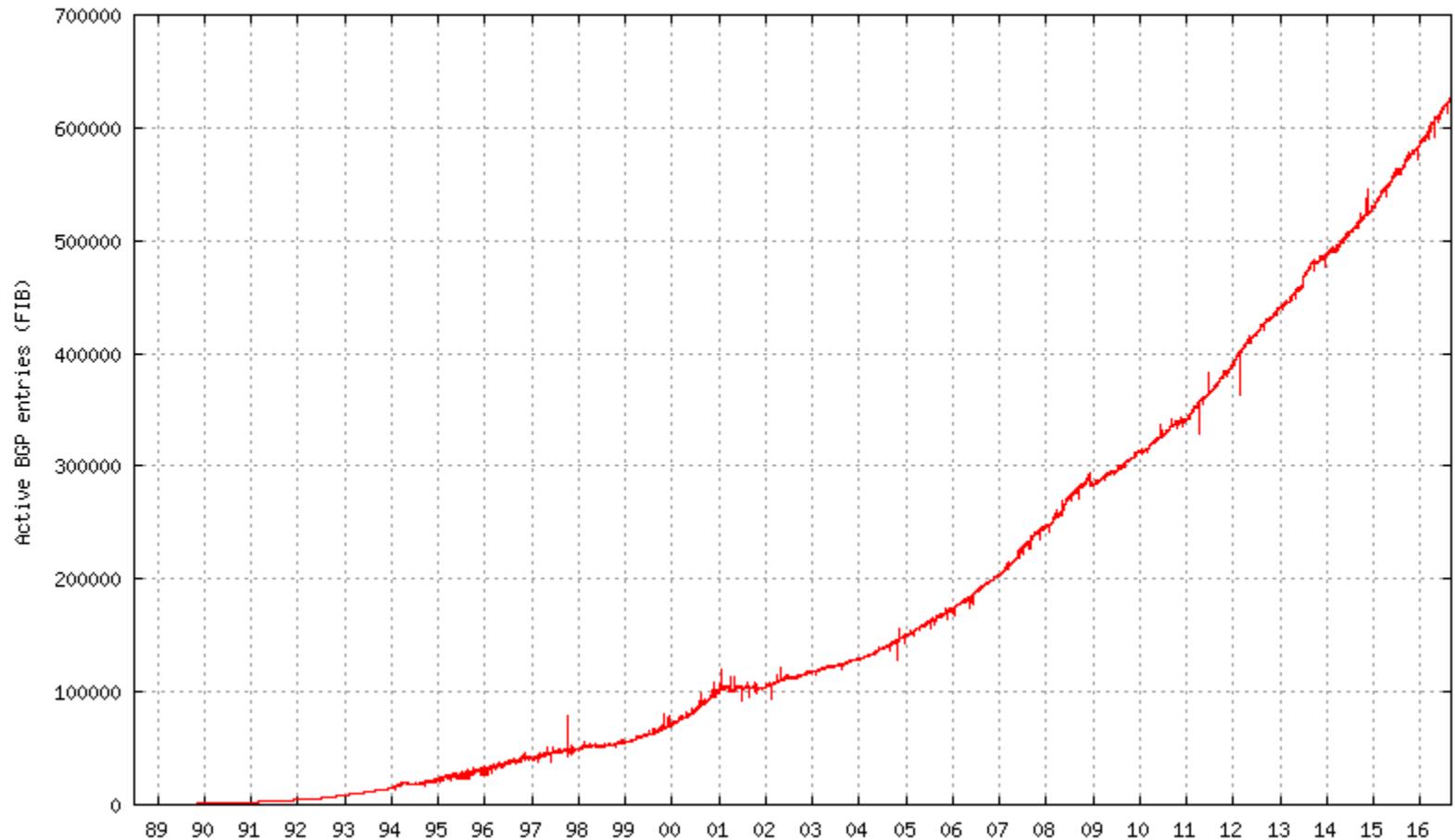
- 166.111.0.0/16 : 清华大学拥有的一部分IPv4地址前缀
- 2001:0250:4000::/**48** : 是HUST拥有的IPv6地址前缀；
- AS4538是CERNET所管理的AS之一
- 通常，一个ISP管理着一个或多个AS，

◆ 每个AS的任务

- 将本地自治域中的**网络位置信息宣告给邻居，并扩散到全球**
- 使互联网上任意两个**可全球路由**的地址前缀都能进行通信
- 当前互联网AS路径数量至少达到了**1500万**

路由表项剧增 Active BGP entries (FIB)

Active BGP entries (FIB)



1.1.3 网络性能测量与评价

◆ First get it right and then make it fast——先对后快！

◆ 性能测量的两个参数：带宽和延迟

➤ 带宽 (Bandwidth) : Hz, KHz, MHz, GHz, bps

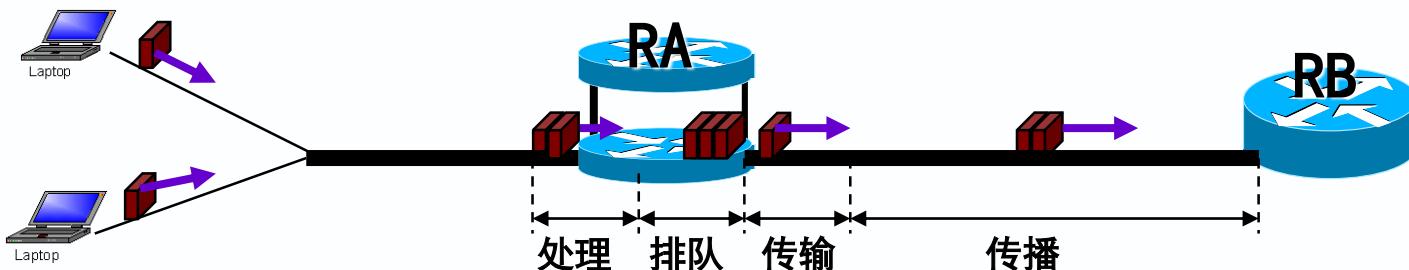
- ☞ 信号带宽：构成一信号的各种**不同频率成分所占据的频率范围**。
如人类声音带宽为：3300Hz—300=声音带宽3000Hz
- ☞ 媒体带宽：通信媒体允许通过的**信号频带范围**
- ☞ 比特率：**某时段内网络上可能传输的比特数**，或传输每比特数据所需的时间宽度。习惯把“带宽”作为数字信道的数据率/比特率
- ☞ 比特率越高，高频分量越多，频率范围越大，信号带宽越高。

➤ 吞吐率 (Throughput) : bps

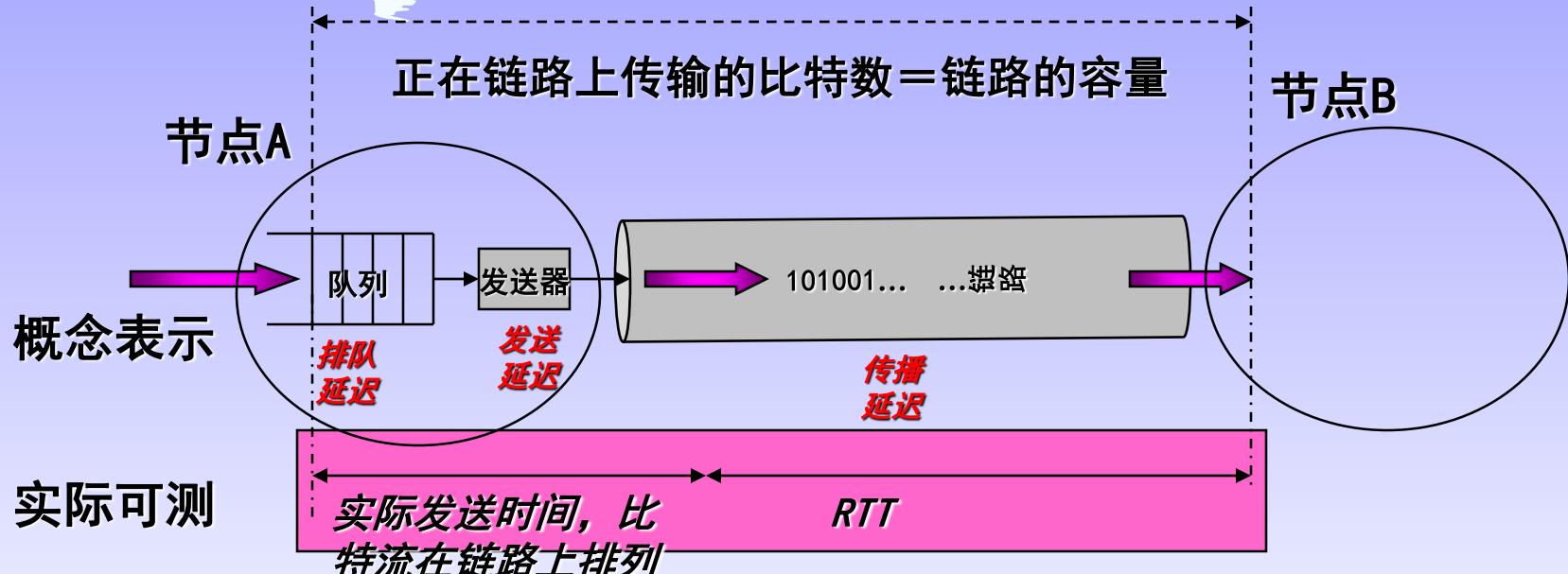
- ☞ 数字信号的发送速率，因此发送带宽也成为吞吐率
- ☞ 由于各种影响10M带宽实际完成2M
- ☞ 吞吐率：**链路上实际每秒传输的比特数**

延时

- ◆ Delay : 把一个报文从网络一端传输到另一端所需的时间 one way, RTT = two ways, **光传播速度:**
 - $3.0 \times 10^8 \text{m/s}$; 光在真空中传播的速率
 - $2.8 \times 10^8 \text{m/s}$; 电在Cable内传播的速率
 - $2.0 \times 10^8 \text{m/s}$; 光在Fiber内传播的速率
- ◆ Round-Trip Time (RTT) : 发收来回时间 (2次时延)
- ◆ 定义: 延迟 = 处理+排队+传输+传播
 - 处理时延: 检查包首部、决定导向何处; 比特差错检测, 高速R一般在微秒或更低数量级, 接收完整的一个分组的时间 = 包容量/链路速率
 - 排队时延: 等待输出链路空闲, 与当时流量和排队规则有关
 - 传输时延: 数据量/带宽; 微秒到毫秒级
 - 传播时延: 距离/光速(光缆中1000km传播延迟约5ms) 广域网在毫秒级
- ◆ **传输/传播的比较**
 - 传输时延是路由器把分组发送出去所需时间, 是数据量和链路实际带宽的函数, 与两个路由器间距离无关,
 - 传播时延是一个比特从发送路由器到接收路由器传播所需的时间, 是距离的函数, ms级
- ◆ 例子: 10辆汽车 (P) 在两个收费站 (R) 间的高速公路上行使!

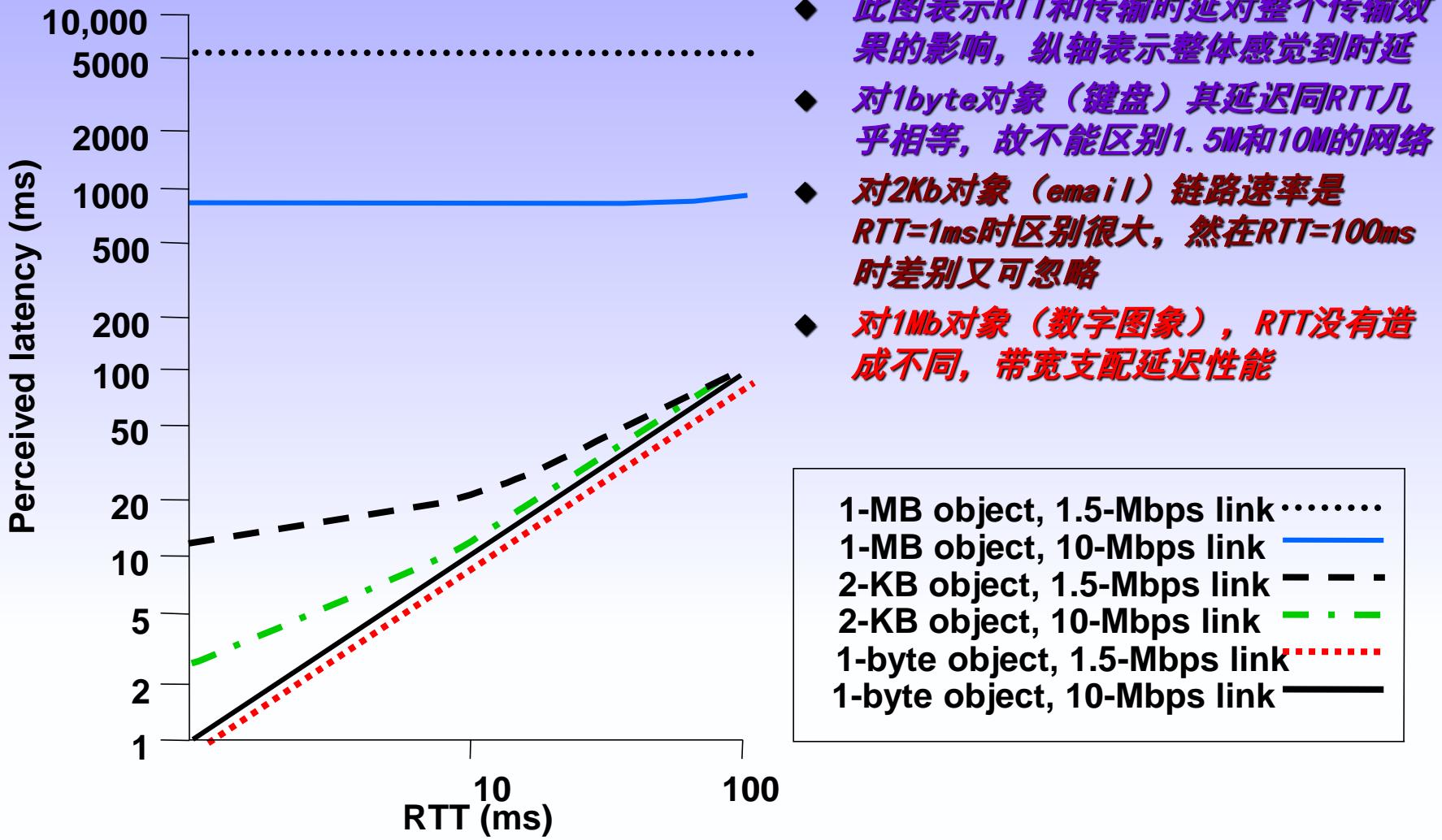


延迟产生的位置



- ◆ 端到端**有效吞吐率** = 实际传输大小/传输时间
- ◆ 实际传输时间 = RTT+ 传输大小/信道带宽
- ◆ RTT: 请求与回答时间
- ◆ 问题: 信道带宽1Gbps, 端到端时延 $\tau = 10\text{ms}$, TCP发送窗口65535字节。问可能达到的最大吞吐率T ? 信道利用率 ρ ?
 - ◆ 解析: $T = \text{size} / (2\tau + \text{size}/\text{BW})$
 - $= \text{size} * \text{BW} / (2\tau * \text{BW} + \text{size}) \text{ bps}$
 - $= 65535 * 8 * 10^9 / (20 * 10^9 * 10^{-3} \text{s} + 65535 * 8) \text{ bps}$
 - $= 524280 * 10^3 / (20 * 10^6 + 524280) \text{ Mbps}$
 - $= 25.5 \text{ Mbps}, \rho = 25.5 \text{ M} / 1000 \text{ M} = 2.55\%$

各种对象大小和链路速率的延迟（响应时间）与RTT

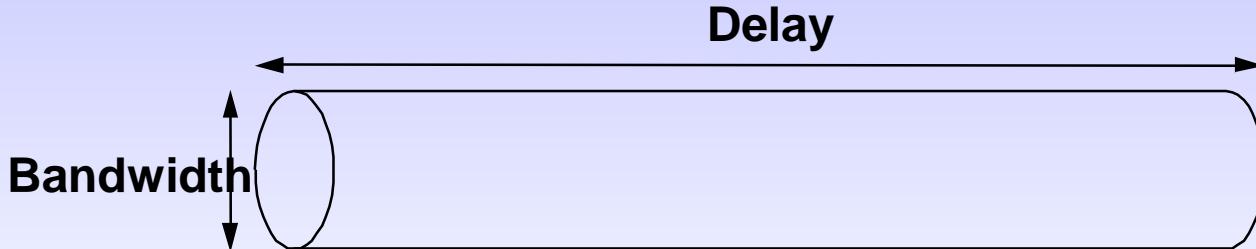


链路或信道的带宽和延迟

- ◆ 带宽和延迟的组合可描述链路或信道的特征，其相对重要性取决于具体的应用
 - 有些应用**延迟支配带宽**，如端客户发送1字节到服务器并依次收到1字节就是延迟重要，如果响应中没有大量的计算，由于跨洲信道要100ms的RTT，同一房间内仅1ms RTT，故其应用完成性能将很不同
 - 数字图书馆来说是**带宽支配延迟**。设带宽10Mbps，则需20s (2. 5MByte的一个图片)，信道是1ms或者100ms延迟不重要，20. 001s和20. 1s之差可略

延迟带宽积

- ◆ 一对进程通道间的延迟(总体延迟)带宽积：信道管道的体积=链路上所容纳的比特数
- ◆ 一个信道延迟=50ms，带宽45Mbps，则能容纳=50ms* $45\text{Mbps} = 50 \times 10^{-3} \text{ sec} \times 45\text{Mbps/sec} = 2.25\text{Mbps} = 280\text{KByte}$



◆ 抖动

- 网络应用看：某段时间内，平均收到数据总量的变化程度
- 某段时间内，相邻包到达时间间隔偏离其均值的大小
- 数据传输速度的变化率，相邻两次比特率的变化率

◆ Quality of Service

- 连通性，
- 吞吐量，带宽，
- 时延，时延抖动
- 丢包，丢包率
- 可靠性、可用性

◆ Experience of Service

- 与网络QoS、应用特质、用户感受相关

	电子邮件	Telnet	声音	组播视频通信
延迟	几分~几小时	几分~几秒	几秒	毫秒~秒
丢失率	0%	0%	小于 25%	允许 / 平均分布
连续性	无要求	可等待	连续	连续
同步	无要求	无要求	无	有
抖动	无要求	无要求	无串音	不允许

网络性能指标体系

◆ 基本概念

- 高速并不一定减少时延，1G链路和1M链路的RTT也许是100ms，与距离/拥塞有关
- 端到端有效吞吐率 = 实际传输大小/传输耗时
- 传输耗时=RTT+(传输大小/带宽)

网络性能参数分类

◆ 加性参数

- 时延、抖动、路径长度、路由代价、路由代价...
- 满足可加性：通道特性由沿途各段链路相加决定

◆ 乘性参数

- 可靠性、丢包率
- 满足可乘性：度量为各链路或设备的乘积...

◆ 极性参数（最短木板原理）

- 带宽、剩余能量、生存时间、吞吐量...
- 满足极值要求（凹性或凸性），度量由通道或设备的瓶颈属性（极值）决定

可靠性

◆ 什么是传输可靠性

- 数据最小颗粒能正确到达
- 数据不同分片能有序到达（当采用分组交换时）

◆ 计算机网络并不是一个完备的世界

- 机器坏/光纤断/电接口受干扰/交换缓存溢出

◆ 网络设计者要考虑三种类型的故障

- 链路上的单比特错，突发连续比特错。

- ☞ 铜缆： 10^6 —— 10^7

- ☞ 光缆： 10^{12} —— 10^{14}

- 包错：一个包在网络上丢失

- ☞ 包中包含有不可纠正的比特错
 - ☞ 中继接点因故（缓冲满，TTL）丢掉
 - ☞ 输出链路故障等

三种类型的故障

➤ 结点和链路级故障

- ☞ 物理链路断
- ☞ 相连计算机崩溃
- ☞ 电源断电
- ☞ 操作失误

- ◆ 关键思想：既满足应用的需求又控制在当前技术的极限
- ◆ 挑战：弥补应用希望和当前技术之间的间隙

1.1.4 如何操作网络？

◆因特网成功的原因之一

➤功能由软件在通用机上提供，加入新功能是很容易的事情

◆应用编程接口API（Sockets）

➤Socket interface

➤int socket(int domain, int type, int protocol) **创建一个插口**，支持任何现行协议，返回socket的一个句柄，以后引用的标识符

➤Hook : 钩子函数用于在提供的关键点上挂接用户自编的函数

Socket interface

- ◆ Domain:

- PF_INET ;表示因特网系列
 - PF_UNIX; 表示UNIX系列

- ◆ type :

- SOCK_DGRAM ;面向报文的服务
 - SOCK_STREAM; 面向字节流服务

- ◆ protocol: 缺省指TCP

- ◆ int bind(int socket, structaddr *address, int addr_len)/给刚创建的插口**绑定IP地址和端口结构**
- ◆ int listen(int socket, int backlog)/定义在指定插口上有多少待处理的连接
- ◆ int accept(int socket, structaddr *address, int addr_len)/执行被动打开
- ◆ int connect(int socket, structaddr *address, int addr_len)/主动打开，建立连接
- ◆ int send(int socket, char *message, int message_len, int flags)/在给定套接上发送数据
- ◆ int recv(int socket, char *buffer, int buffer_len, int flags)/在给定套接上接收数据到给定缓冲

1.1.5 互联网的管理

◆ We reject kings, presidents and voting.
We believe in: rough consensus and
running code.



— David D. Clark

Who is Who on the Internet ?

- ◆ **Internet Society (ISOC):** Founded in 1992, an international nonprofit professional organization that provides administrative support for the Internet. ISOC is the organizational home for the standardization bodies of the Internet.
- ◆ **互联网工程任务组Internet Engineering Task Force (IETF):** Forum that coordinates the development of new protocols and standards. Organized into working groups that are each devoted to a specific topic or protocol. Working groups document their work in reports, called **Request For Comments (RFCs)**.**请求评议**
- ◆ **IRTF (Internet Research Task Force):** The Internet Research Task Force is a composed of a number of focused, long-term and small Research Groups.
- ◆ **Internet Architecture Board (IAB):** a technical advisory group of the Internet Society, provides oversight of the architecture for the protocols and the standardization process
- ◆ **The Internet Engineering Steering Group (IESG):** The IESG is responsible for technical management of IETF activities and the Internet standards process. Standards. Composed of the Area Directors of the IETF working groups.

IP、域名、端口分配

- ◆ IP、域名、端口到底由谁分配
- ◆ 教课书上几种不同的说法

Assigning Identifiers for the Internet

- ◆ Who gives the university the domain name “virginia.edu”
- ◆ Who assigns it the network prefix “128.143.0.0/16” ?
- ◆ Who assigns port 80 as the default port for web servers?
- ◆ IANA : 互联网编号分配机构 , The functions associated with the assignment of numbers is referred to as **Internet Assigned Number Authority**
- ◆ IANA used to be managed by Jon Postel at ISI
- ◆ Since the 1990s, IP addresses and domain name allocation are delegated to independent organizations. Different organizations are responsible for allocating domain names and IP addresses



The IANA Function

- ◆ The functions associated with the assignment of numbers in the Internet is referred to as Internet Assigned Number Authority (IANA).
- ◆ IANA serves as a registry that keeps records of assigned numbers:
 - IP addresses
 - Protocol numbers
 - Domain names (until 1992)
- ◆ There is no charge for allocation.

Regional Internet Registries (RIRs)

- ◆ **区域地址注册机构** : Registration and management of IP address is done by Regional Internet Registries (RIRs)
- ◆ Where do RIRs get their addresses from: IANA maintains a high-level registry that distributes large blocks to RIRs
- ◆ RIRs administer allocation of:
 - IPv4 address blocks
 - **IPv6 address blocks**
 - Autonomous system (**AS**) numbers
- ◆ There are currently 4 RIRs worldwide:
 - **APNIC** (Asia/Pacific Region),
 - ARIN (North America and Sub-Saharan Africa),
 - LACNIC (Latin America and some Caribbean Islands)
 - RIPE NCC (Europe, the Middle East, Central Asia, and African countries located north of the equator).
- ◆ A fifth regional registry (AfriNIC) is in formation for Africa.

ICANN

- ◆ **互联网名称与数字地址分配机构** : The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN) is an internationally organized, non-profit corporation that has responsibility for Internet Protocol (IP) address space allocation, protocol identifier assignment, Top-Level Domain name system management, and root server system management functions.
 - ICANN performs the IANA functions
 - ICANN accredits domain-name registrar for .com, .org., .net (and other domain)
- ◆ Since ICANN performs the IANA functions, it is in charge for allocating all numbers. However, **the main concern is the allocation of domain names.**
- ◆ ICANN role is to oversee the domain-name registration system's **transition from government hands to private hands** and to coordinate its decentralization and the integration into a global community.

IANA RIR ICANN的关系

- ◆ Internet起源于美国，在90年代之前一直是一个为军事、科研服务的网络。在90年代初，由美国国家科学基金会(NSF)为Internet提供资金并代表美国政府与NSI公司(Network Solutions)签定了协议，将Internet顶级域名系统的注册、协调与维护的职责都交给了NSI。而Internet的地址资源分配则交由IANA来分配，由IANA将地址分配到ARIN(北美地区)、RIPE(欧洲地区)和APNIC(亚太地区)，然后在由这些地区性组织将地址分配给各个ISP。
- ◆ 但是，随着Internet的全球性发展，越来越多的国家对由美国独自对Internet进行管理的方式表示不满，强烈呼吁对Internet的管理进行改革。
- ◆ 美国商业部在98年初发布了Internet域名和地址管理的绿皮书，认为美国政府有对Internet的直接管理权，因此在它发布后遭到了除美国外几乎所有国家及机构的反对。
- ◆ 美国政府在征求了大量意见后，于6月5日发布了"绿皮书"的修改稿"白皮书"。白皮书提议在保证稳定性、竞争性、民间协调性和充分代表性的原则下，在1998年10月成立一个民间性的非盈利公司，即ICANN，开始参与管理Internet域名及地址资源的分配。2009年ICANN和美国政府脱离关系，完全独立

Internet Standardization Process

- ◆ Working groups present their work of the Internet are published as **RFC (Request for Comments)**. RFCs are the basis for **Internet standards**.
- ◆ Not all RFCs become Internet Standards !
- ◆ A typical (but not only) way of standardization is RFC 2026 and RFC 6410) :
 - Internet Drafts
 - RFC
 - Proposed Standard
 - Draft Standard (requires 2 working implementation)
 - Internet Standard (declared by IAB)

ICANN是非盈利组织， 域名为什么收费？

- ◆ GoDaddy在全球的9个数据中心运行着37000台服务器，这些数据中心位于亚利桑那州、加利福尼亚州、伊利诺斯州、维吉尼亚、荷兰和新加坡。凤凰城数据中心位于亚利桑那州：



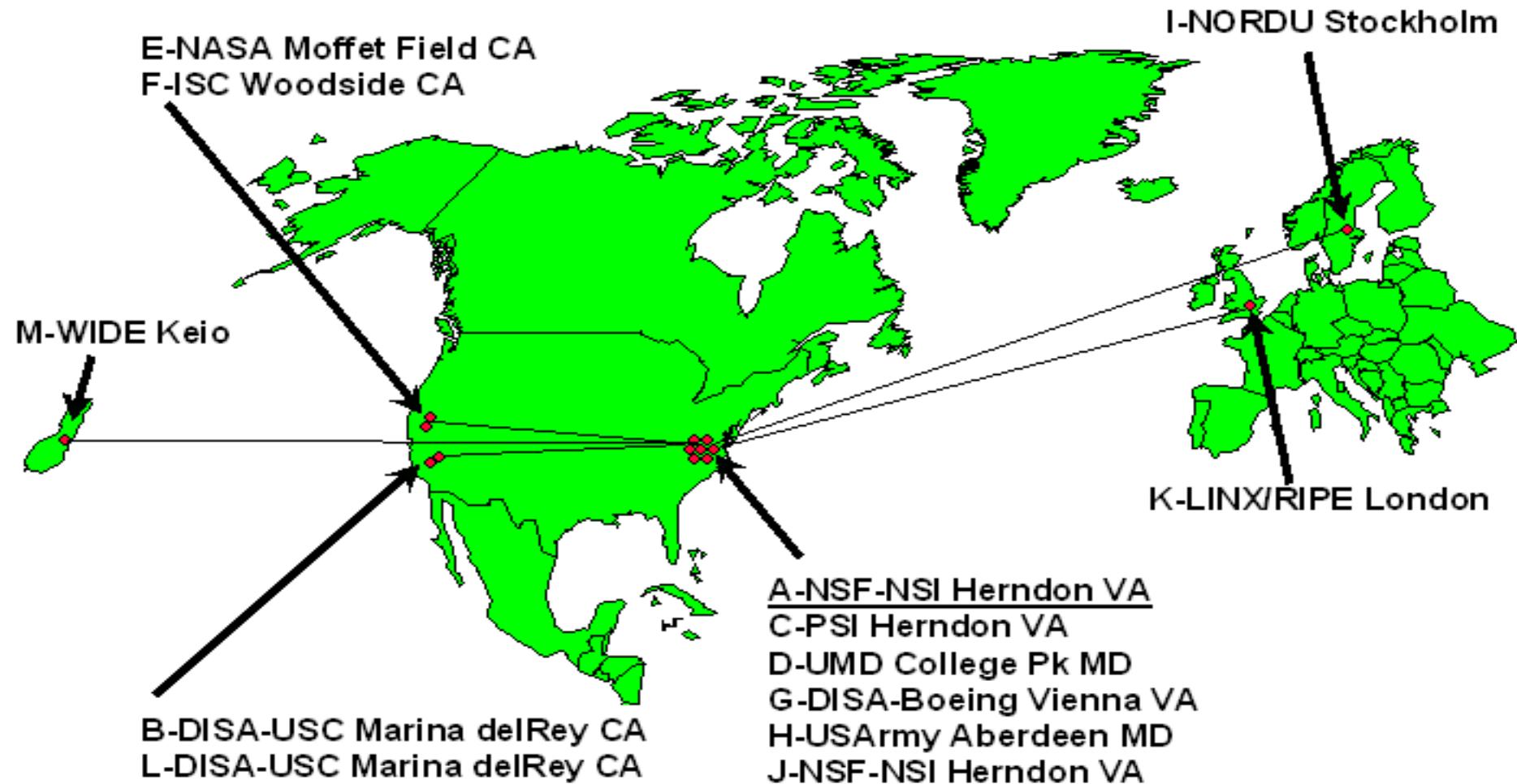
- ◆ 2013年，GoDaddy平均每天处理的超过110亿个域名系统、DNS查询。2013年GoDaddy同样也在产权和设备上花了超过4200万美元。

互联网13大域名服务器

DNS Root Servers

1 Feb 98

Designation, Responsibility, and Locations



互联网13大域名服务器

截至2014年10月， 全球有504台根服务器， 被编号为A到M共13个标号。

大部分借由**任播**（Anycast）技术， 编号相同的根服务器使用同一个IP， 504台根服务器总共只使用13个IP， 因此可以抵抗针对其所进行的**分布式拒绝服务攻击**（DDoS）。

中国大陆在北京有两台编号为L的镜像， 编号为F、I、J的镜像各一台， 共5台； 香港有编号为D、J的镜像各2台， 编号为A、F、I、L的镜像各一台， 共8台； 台湾则有编号为F、I、J各一台， 共3台。

练习题

- ◆ 一局域网最大距离为2KM，对于100BYTE的数据包，在带宽为多少时，传播时延等于传输时延？512BYTE的数据包？
- ◆ CIDR地址的利用率分析
 - 划分前网络掩码为m位数，可划分地址位数： $a+b=32-m$ ；
 - a是划分后的掩码增加位数；b是划分后的主机位数；
 - 划分前的主机地址数= $2^{a+b}-2$; (减去全0全1网络号)
 - 划分后的主机地址数 = 新子网× 新子网中的主机数
 $= (2^a) \times (2^b - 2)$
 - 对B类地址，设a=6, b=10；则结果是多少？
 - 对B类地址， $a+b=16$ ；对C类地址， $a+b=8$ ；

练习题

- ◆ 13. 假设在地球和月球间建立一点对点100MPS的连接，地月距离为385，000KM，数据传送速率为光速—— 3×10^8 M/S
 - A. 计算最小的RTT
 - B. use the RTT as the delay , calculate the delay*bandwidth product for the link
 - C. 在B中计算的delay*bandwidth有何意义？
 - D. 在月球照的照片，并以数字格式存在磁盘上。如果地球上的控制中心想下载25M的最新的图形，那么从发出数据到传输完成所要的最长时间是多少？