

计算机网络

合肥工业大学计算机与信息学院





学习目标

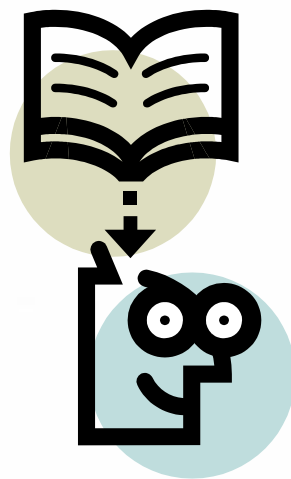


了解计算机网络的产生和发展，理解网络协议和网络体系结构等重要概念，掌握各层协议的功能和实现技术，掌握局域网原理和技术，初步掌握网络互联、网络安全与网络管理等知识。



教学参考书

- 《计算机网络教程》,高传善等,高等教育出版社
- 《Computer Networks》, A. S. Tanenbaum, Prentice Hall





课程内容

1. 概述
2. 网络体系
3. 物理层
4. 数据链路层
5. 网络层
6. 传输层
7. 应用层
8. 局域网与介质访问控制



什么是网络 --- 从端系统的角度看(1)

● 网络提供的服务: 信息传递

→ 信鸽、烽火、信使、卡车、电报、电话、

Internet



烽火告急





什么是网络 --- 从端系统的角度看(2)

- 不同的网络以什么为区分
 - ➔ 所提供的服务
- 服务以什么为区分
 - ➔ 延迟、带宽、丢失率、端节点数目、服务接口、可靠性, 单播/多播, 实时, 消息/字节流



什么是网络 --- 从网络核心的角度看

- 电子、光子等作为传输介质
- 链路：光纤、电缆和卫星
- 交换节点：机械/电/光
- 协议：TCP/IP, ATM, MPLS, SONET, Ethernet, PPP, X.25, FrameRelay, AppleTalk, IPX, SNA
- 功能：路由，差错控制、拥塞控制、服务质量 (QoS)
- 应用：FTP、HTTP、X windows



第一章 概论

1.1 计算机网络的产生和发展

1.2 计算机网络的定义

1.3 计算机网络的分类

1.4 计算机网络的主要功能



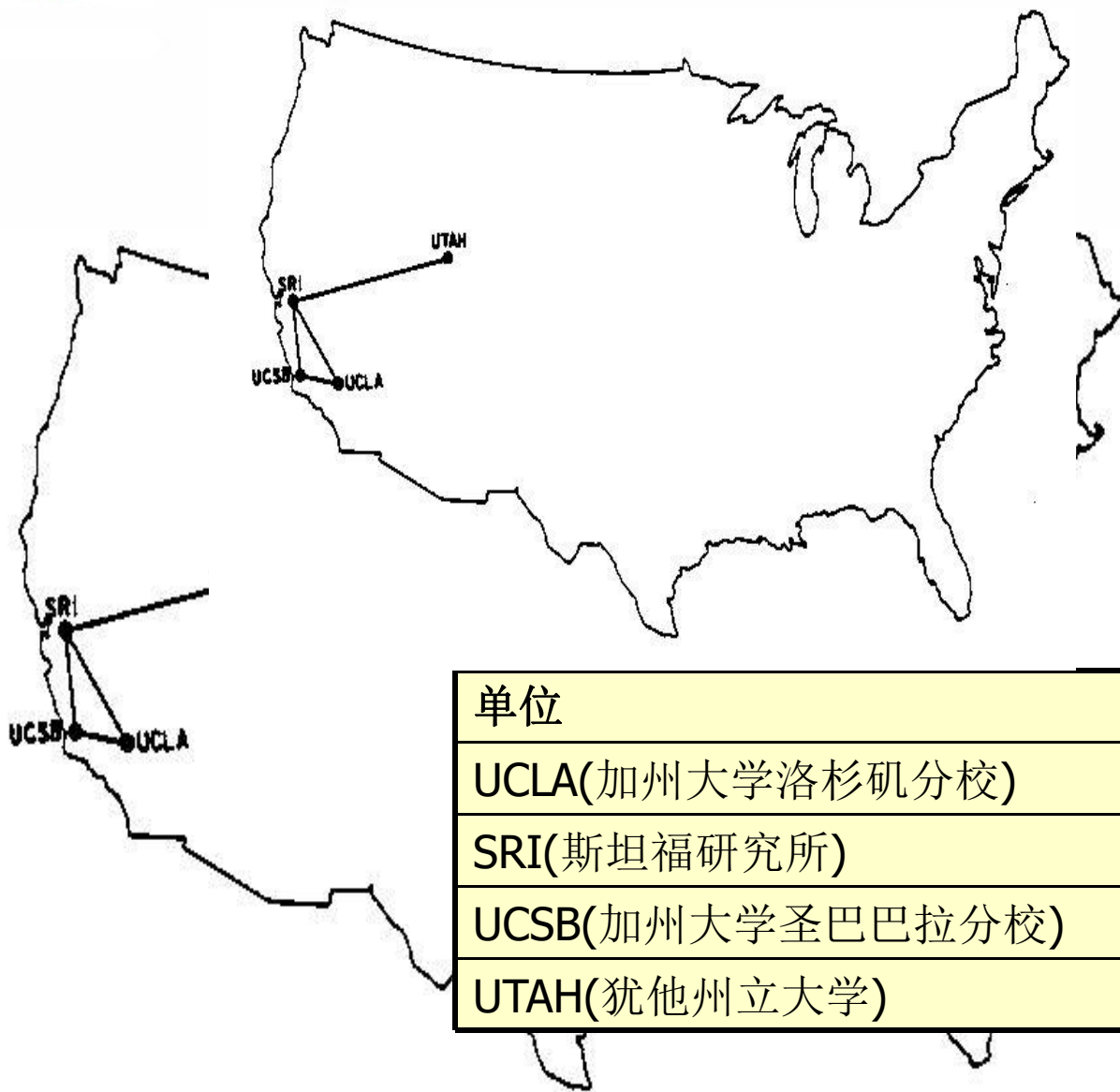
1.1 计算机网络的产生和发展

● 计算机网络的产生

- 世界上最早的计算机网络ARPANET（Internet的前身），由美国国防部高级计划研究署研制。
- ARPANET于**1969**年开通。最初连接美国本土的四个节点（加州大学洛杉矶分校，加州大学伯克利分校，斯坦福研究所，犹他大学）。
- **1972**年时，ARPANET网上的网点数已经达到**40**个。



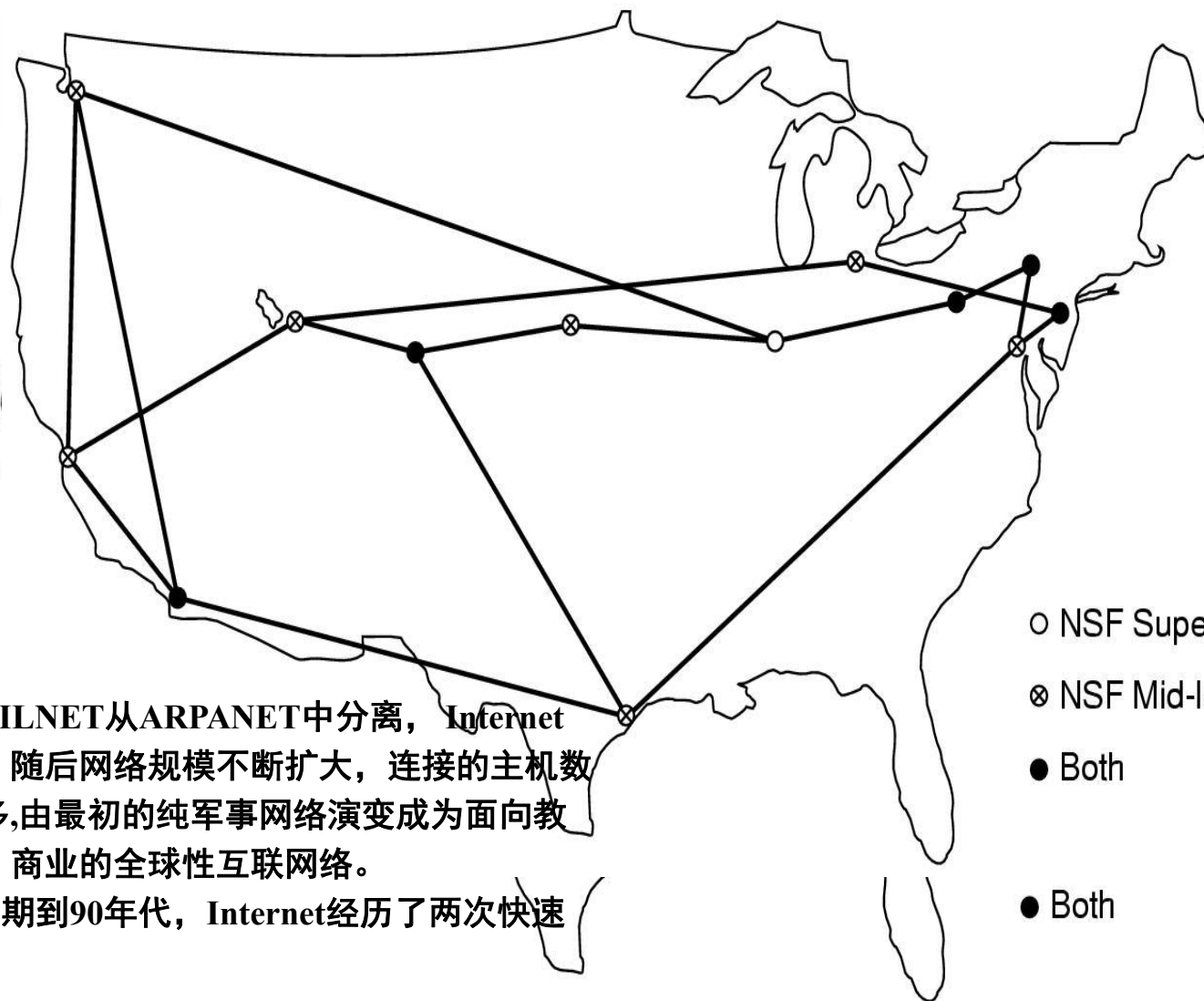
1969年12月的ARPAnet



单位	机型	OS
UCLA(加州大学洛杉矶分校)	SDS Sigma 7	SEX
SRI(斯坦福研究所)	XDS-940	Genie
UCSB(加州大学圣巴巴拉分校)	IBM 360/75	OS/MVT
UTAH(犹他州立大学)	Digital PDP-10	TENEX



1988年的NSFNet



●1983年MILNET从ARPANET中分离，Internet由此诞生。随后网络规模不断扩大，连接的主机数目越来越多,由最初的纯军事网络演变成为面向教育、科研、商业的全球性互联网络。

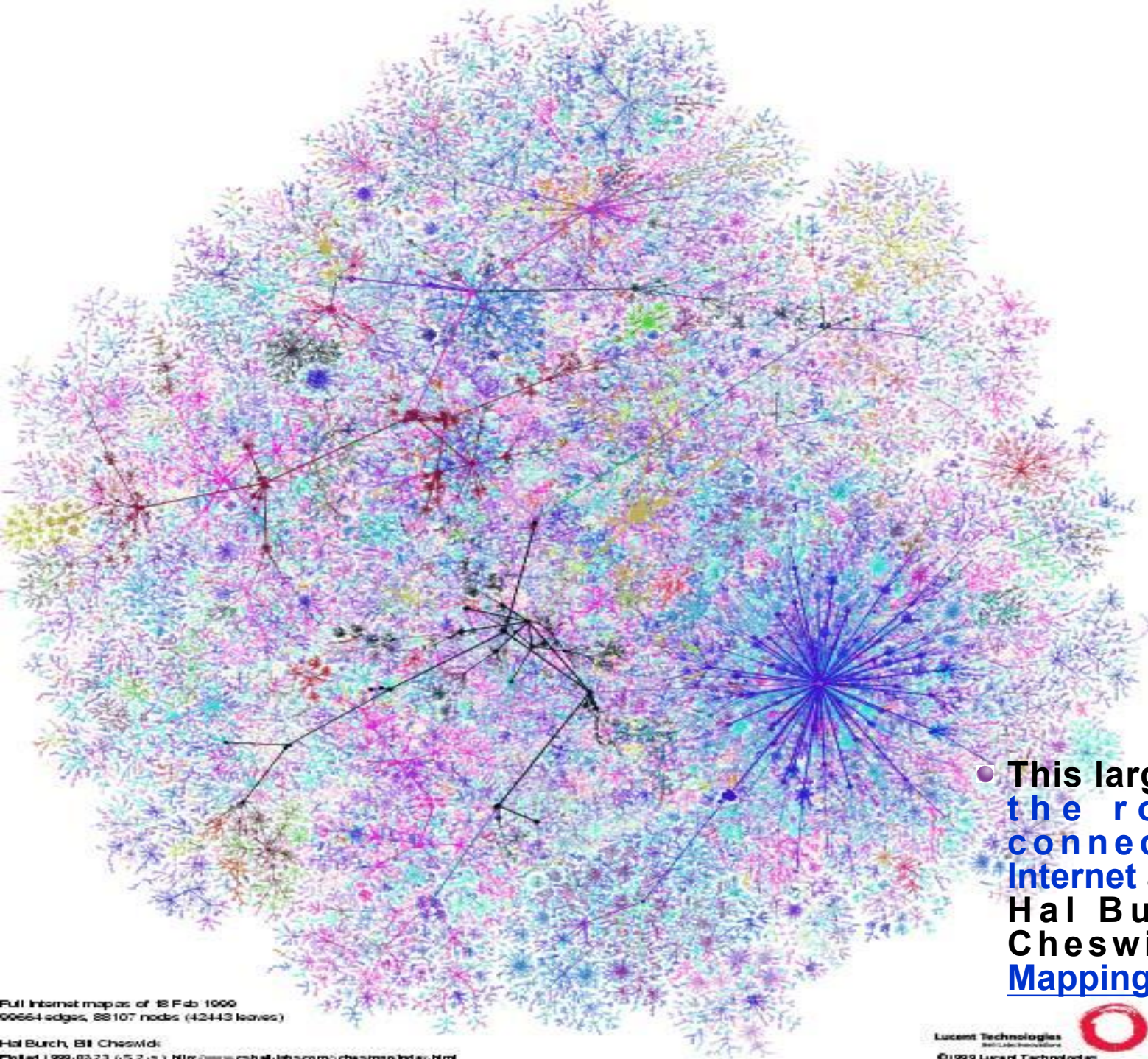
●80年代中期到90年代，Internet经历了两次快速发展。

○ NSF Supercomputer center

⊗ NSF Mid-level network

● Both

● Both



- This large graph shows the router level connectivity of the Internet as measured by Hal Burch and Bill Cheswick's [Internet Mapping Project](#)

Full Internet map as of 18 Feb 1999
60664 edges, 88107 nodes (42443 leaves)

Hal Burch, Bill Cheswick
collected 1999-02-23 (v5.2.0) <http://www.cs.bell-labs.com/~cheswick/index.html>

Lucent Technologies
Bell Laboratories



上海交通大学



Internet 发展规模和趋势

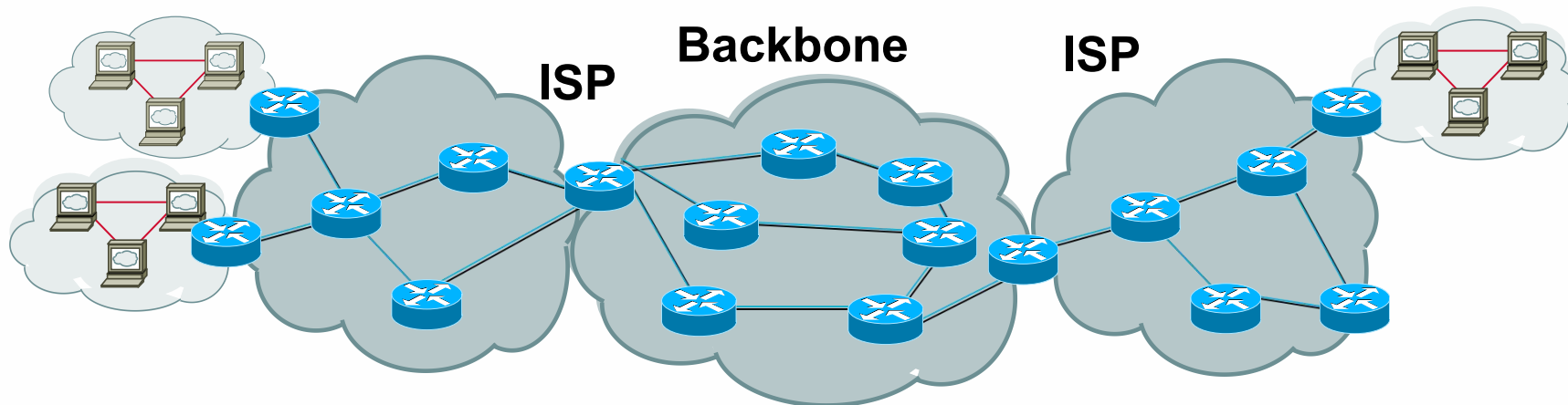
● Internet的发展速度

- 是历史上发展最快的一种技术
- 以商业化后达到 **5000** 万用户为例
 - 电视用了**13**年，收音机用了**38**年，电话更长
 - **Internet** 从商业化后达到 **5000** 万用户用了**4**年时间

● Internet 正在以超过摩尔定理的速度发展



Internet 物理结构



■ Residential Access

- Modem
- DSL
- Cable modem
- Satellite
- LAN

Enterprise/ISP access,
Backbone transmission
T1/T3, DS-1 DS-3
OC-3, OC-12
ATM vs. SONET, vs.
WDM

Campus network
Ethernet, ATM



Internet的主要技术特点

- 分层的分布式结构
- 无连接的分组交换技术
- 网络互连协议**IP** (**IP over everything**)
- 路由器加专线技术
- 可扩展的路由技术
- 端到端的网络连接技术
- 层次结构的域名、网络管理技术
- 通用的应用技术

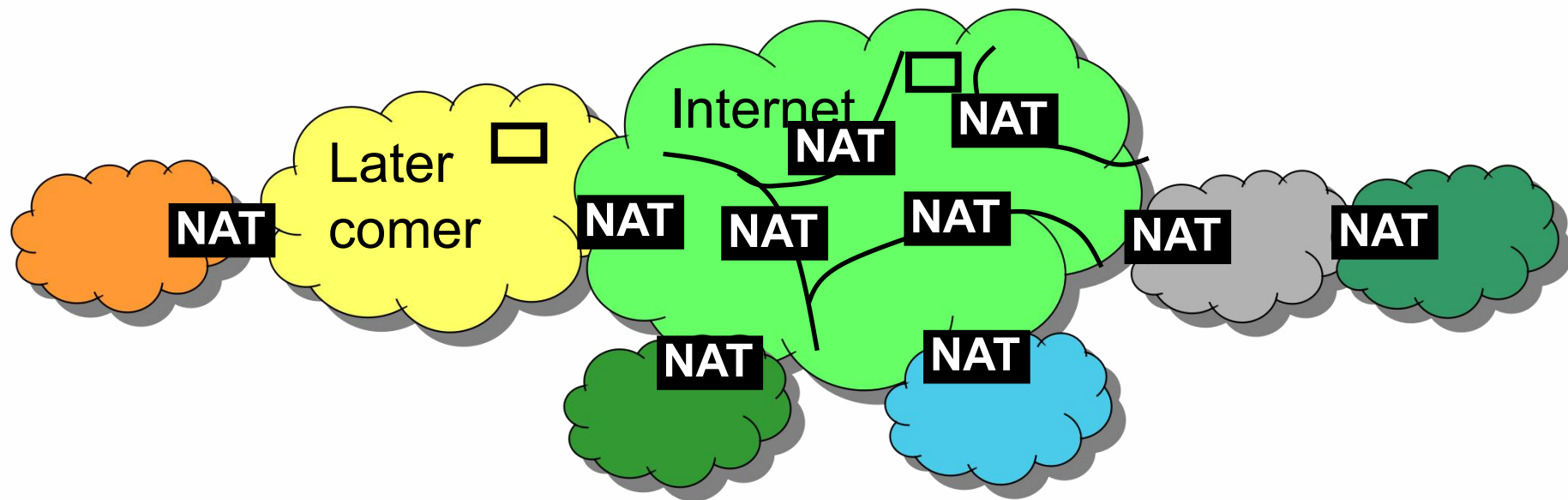


今天的Internet

- 与50年多前相比
 - ➔ 规模更大
 - ➔ 用户更多
 - ➔ 功能更多，更有价值
 - ➔ 但是，健壮性、适应性和互联程度都下降了 ...
- 地址空间趋于耗尽
 - ➔ 越来越多的用户通过**NAT(Network Address Translation)**访问网络



NAT: a feature or a problem?



- NAT解决了地址耗尽的问题，并且增强了安全性和控制性
- NAT打破了许多协议和应用基于IP地址全球唯一的假设
- 无法支持peer to peer的应用。
- 端到端的报文传输路径变成多个NAT域的级联，相当于虚电路



Internet提供的服务

- 计算资源的共享访问: **telnet (1970's)**
- 数据和文件的共享访问: **FTP, NFS (1980's)**
- 人们互相通讯的媒介:
 - ➔ **email(1980's)**, 网上聊天室, 即时消息 (**1990's**)
 - ➔ 语音和视频 (**1990's**)
 - ➔ 取代电话?
- 信息分发的媒介
 - ➔ **USENET (1980's)**
 - ➔ **WWW(1990's)**
 - 取代报纸、杂志?
 - ➔ 语音和视频 (**1990's**)
 - 取代电视、**CD**、电影?



传统应用
Electronic mail
FTP
Telnet
WWW

Video conferencing

智能交通

Intelligent Transportation Systems

信息家电
Information Appliance

Electronic commerce

Remote Education

University

Telemedicine

Interconnection of networks
(Intranets, VPN)

Digital video/
audio/applications download

IP Phone
Video Phone

Home

Internet (Global infrastructure for information which uses TCP/IP Communication)

Computes

PBX

TEL

FAX

TEL

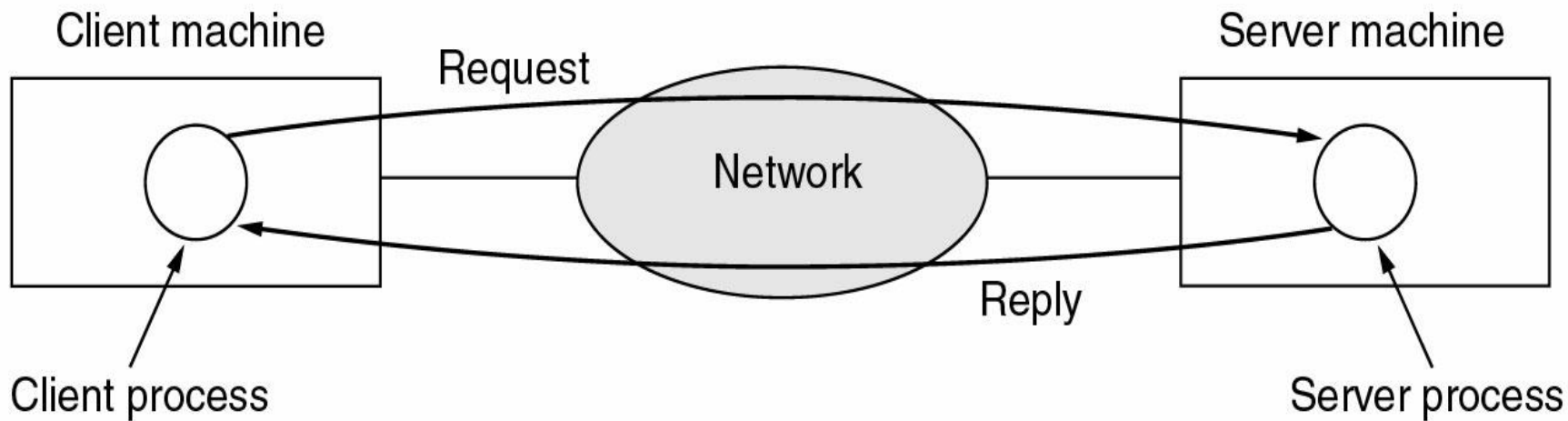


通信对象由
人与人=>人与机器，机器与机器
应用的通信模式由
C/S => p2p



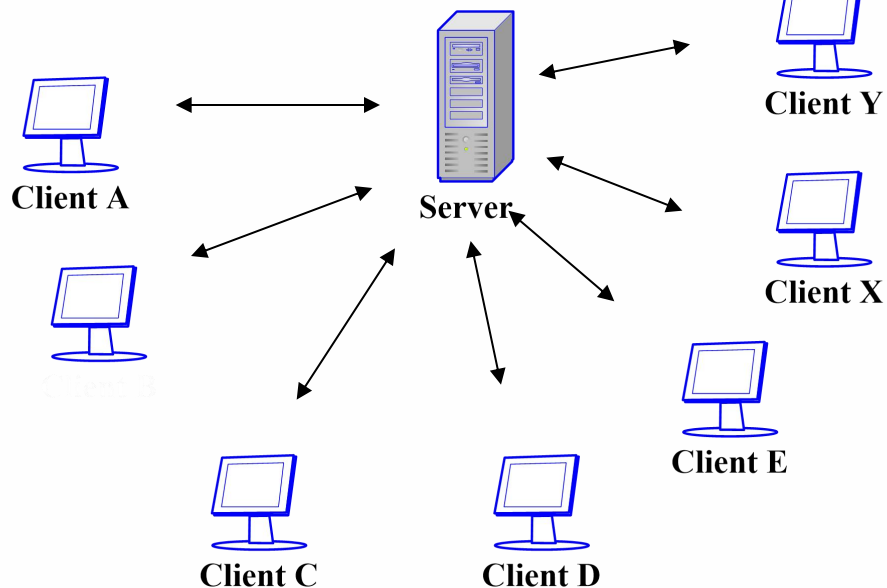


客户-服务器模式



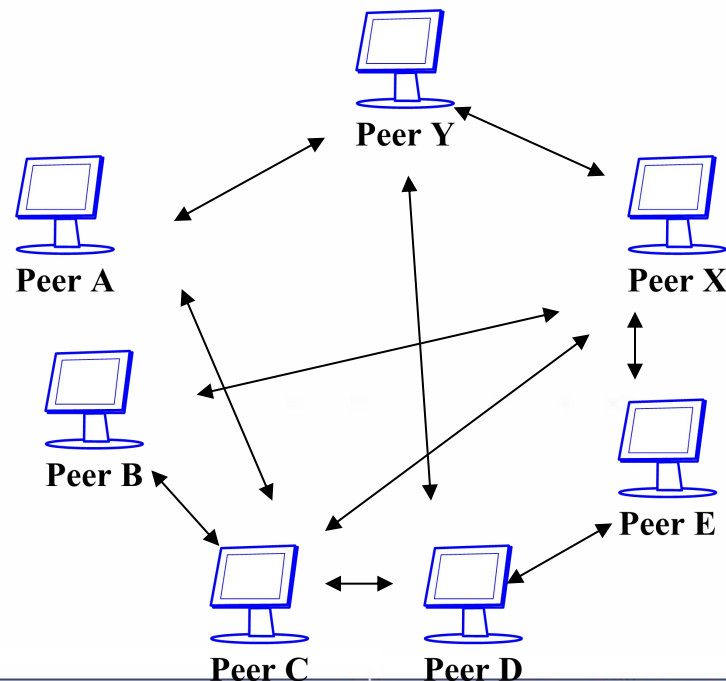


什么是P2P



- ✓集中式
- ✓动态性低
- ✓简单，高效
- ✓扩展性差

- ✓全分布式
- ✓高动态性
- ✓复杂，开销大
- ✓扩展性好





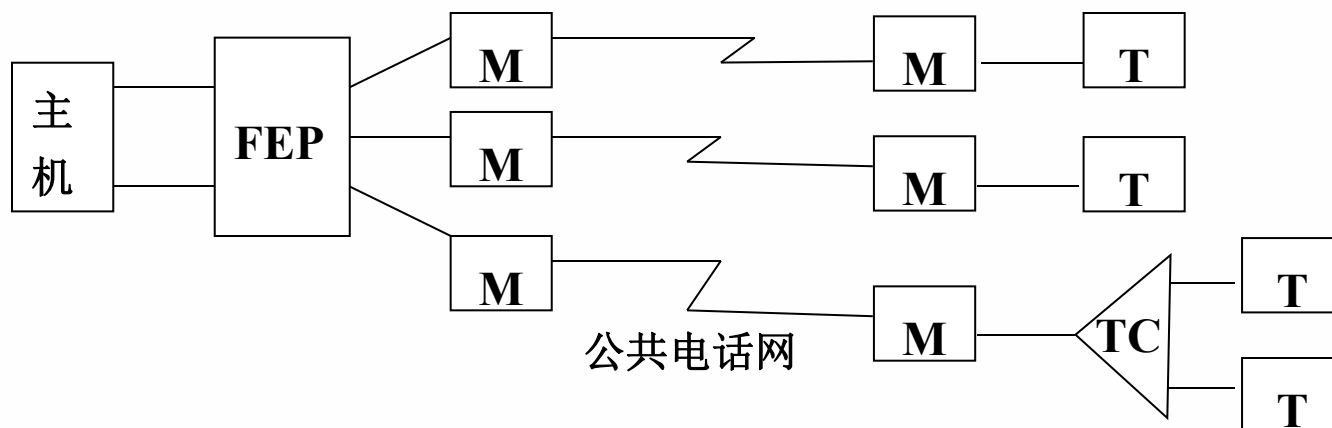
1.1 计算机网络的产生和发展

- 计算机网络的发展
 - 远程联机系统（**50**年代中期—**60**年代中期）
 - 计算机—计算机网络（**60**年代末—**70**年代末）
 - 开放式标准化网络（**80**年代—至今）



1.1 计算机网络的产生和发展

1.1.1 远程联机系统



- **FEP: Front End Processor**, 前端处理机, 通常由一台廉价的计算机担任, 完成通信任务。
- **M: Modem**, 调制解调器, 将数字信号转化为模拟信号, 以便在模拟信道上传输。
- **TC: Terminal Controller**, 终端控制器, 将多条低速线路汇集到一条高速线路上, 从而提高了高速线路的利用率。
- 多个远程终端用户可以同时向主机系统提交程序和命令。
- 程序和命令通过通信线路传递到**FEP**, 由**FEP**进行串/并转换、差错控制和流量控制, 并按一定次序向主机递交。
- 主机依次处理, 并将结果返回给**FEP**, 由**FEP**发送到各相应终端。



1.1 计算机网络的产生和发展

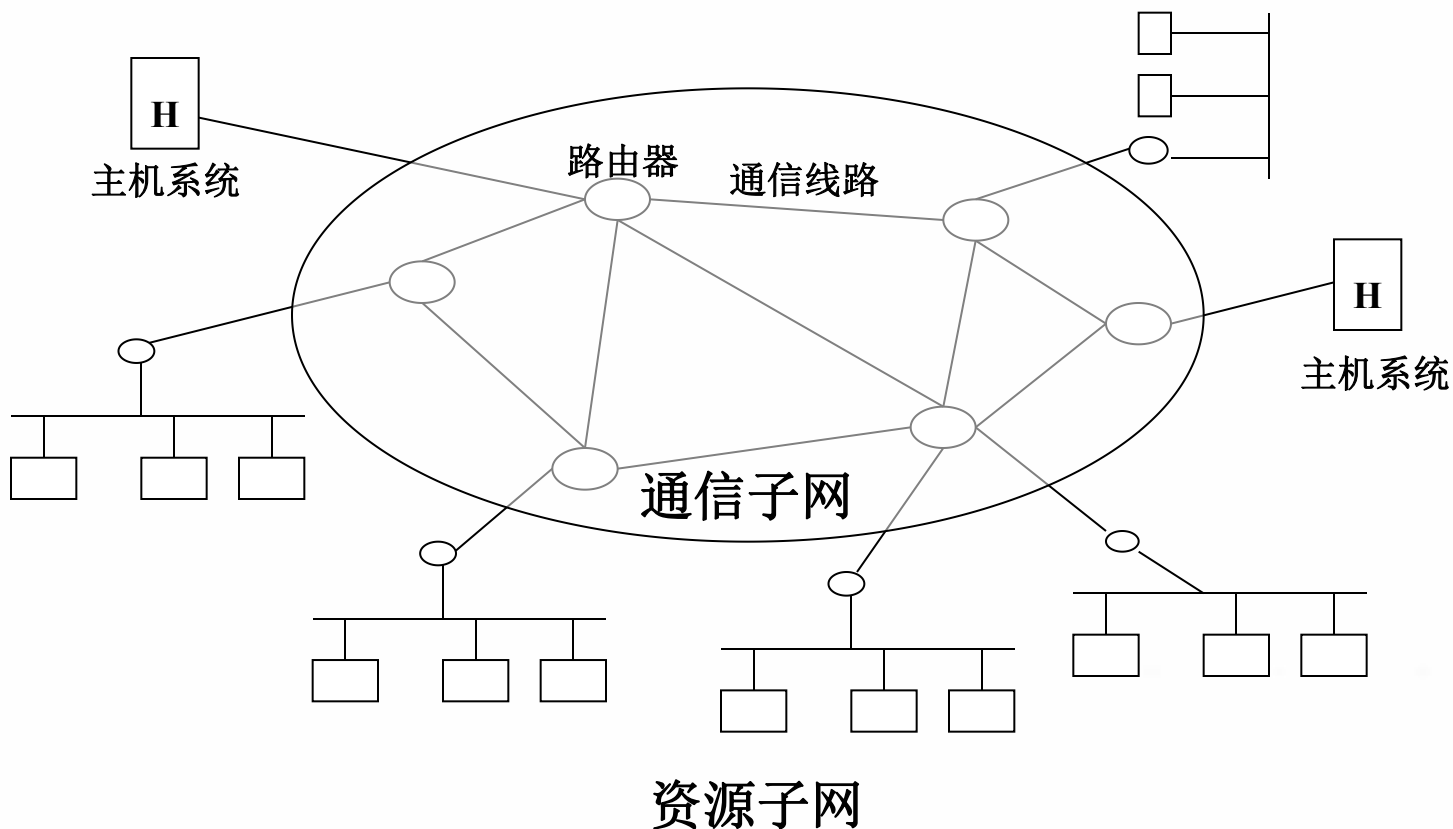
● 应用

- 美国通用公司的GE网络。GE网络是当时世界上最大的面向终端网络，覆盖美国国土，欧洲大部分，加拿大，日本及澳大利亚。
- 美国航空公司的飞机票预定系统**SABRE**，该系统由一台中心计算机和 **2000**多个终端组成。



1.1 计算机网络的产生和发展

• 1.1.2 计算机 — 计算机网络





1.1 计算机网络的产生和发展

● 通信子网

- 由路由器和通线线路组成，完成网络通信任务。
- 通信线路提供数据传输的物理信道。
- 路由器是一种专用计算机，具有存储转发，路由选择，差错控制，流量控制等功能。

● 资源子网

- 由连接到通信子网的服务器和主机系统组成，为网络用户提供各种软硬件共享资源和数据处理能力。
- 硬件共享资源包括**CPU**、存储器、硬盘、磁带、打印机、绘图仪等。
- 软件共享资源包括操作系统、数据库系统、工具软件和应用程序等。



1.1 计算机网络的产生和发展

- 计算机—计算机网络

以资源共享为目标，在网络协议的支持下，用户使用远方计算机系统的资源就好像使用本地计算机系统一样方便，几乎觉察不到地理位置的差别。



1.1 计算机网络的产生和发展

1.1.3 开放式标准化网络

- 具有统一的网络体系结构，遵守标准化协议，便于网络互连，大规模生产，降低成本。
- 网络体系结构标准
 - OSI参考模型
 - CCITT建议
 - TCP/IP协议族(Internet 参考模型)



计算机网络发展历史

- 计算机网络的形成
 - 多终端系统
- 1970年代的计算机网络
 - **X.25** 分组交换网：各国的电信部门建设运行
 - 各种专用的网络体系结构：**SNA, DNA**
 - **Internet** 的前身**ARPANET**进行实验运行
- 1980年代的计算机网络
 - 标准化计算机网络体系结构：**OSI**
 - 局域网络 **LAN** 技术空前发展
 - 建成**NSFNET**, **Internet** 初具规模



什么是计算机网络？

- 通过通过同一种技术连接起来的一组自主**计算机**的集合，包括连接的**物理介质**，任何两台计算机之间都能够交换信息

→ 计算机：可编程硬件，易于实现各种功能

通用性

- 1) 能够承载不同应用的数据
- 2) 不为特定应用做任何优化

→ 物理介质：电缆、光纤、无线电波

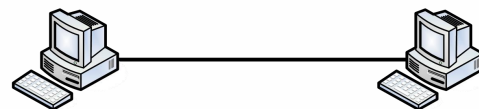


计算机网络的组成

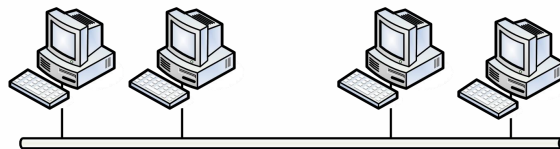
- 链路（link）：连接两台或者多台计算机的物理介质

→ 点对点（Point-to-Point）链路

→ 多路访问（Multiple Access）/共享链路



点对点



多路访问/
共享

- 节点（node）：被链路连接的计算机，这里的计算机实际上是指可编程硬件



计算机网络的物理构建

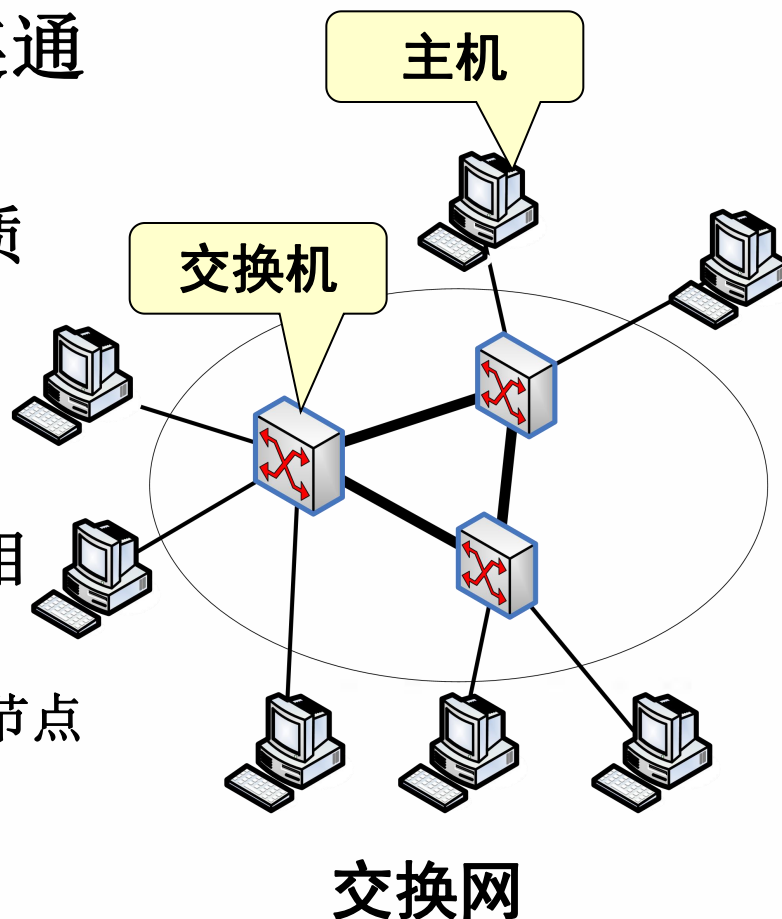
- 在物理上，网络的基本要求是实现任意两个节点之间的连通性

➔ 两个节点通过直接的物理介质相连

- 线路太多，成本高
- 能够节点数量受限

➔ 两个节点通过其它节点间接相连

- 需要协作：两个节点间的其它节点愿意转发数据
- 协作节点被称为交换机





计算机网络与互连网 (internet)

- 一些独立的计算机网络互相连接形成互连网 (internet)
 - ➔ 连接两个或者多个计算机网络的节点被称为路由器 (Router) / 网关 (Gateway)
- 将互连网看作是一种类型的网络，通过网络嵌套可以构成任意规模的互连网
- 为了叙述方便，我们将任意规模的互连网简称为网络 (network)



1.2 计算机网络的定义

- 计算机网络尚未形成严格的定义，原因：
 - 计算机网络在不断发展，新的网络技术和网络产品不断涌现。
 - 各种规模的计算机网络（WAN, MAN, LAN）在体系结构、拓扑结构、硬件组成和通信方式及功能上差异较大。
 - 网络产品生产厂家出于商品利益考虑，在文字宣传上并非完全统一。



1.2 计算机网络的定义

- 计算机网络定义（供参考）：将若干台具有**独立**功能的计算机系统，用某种或多种通信介质连接起来，通过完善的**网络协议**，在**数据交换**的基础上，实现网络**资源共享**的系统称为计算机网络。
 - 一个网络中包含多个**独立**的计算机系统。“**独立**”的含义是指每台计算机可运行各自独立的操作系统，各计算机系统之间的地位平等，无主从之分，任何一台计算机不能干预或强行控制其他计算机的正常运行。
 - **网络协议**是计算机网络的关键技术。
 - **数据交换**是网络的最基本功能，各种资源共享都是建立在数据交换的基础上的。
 - **资源共享**是网络最终目的。



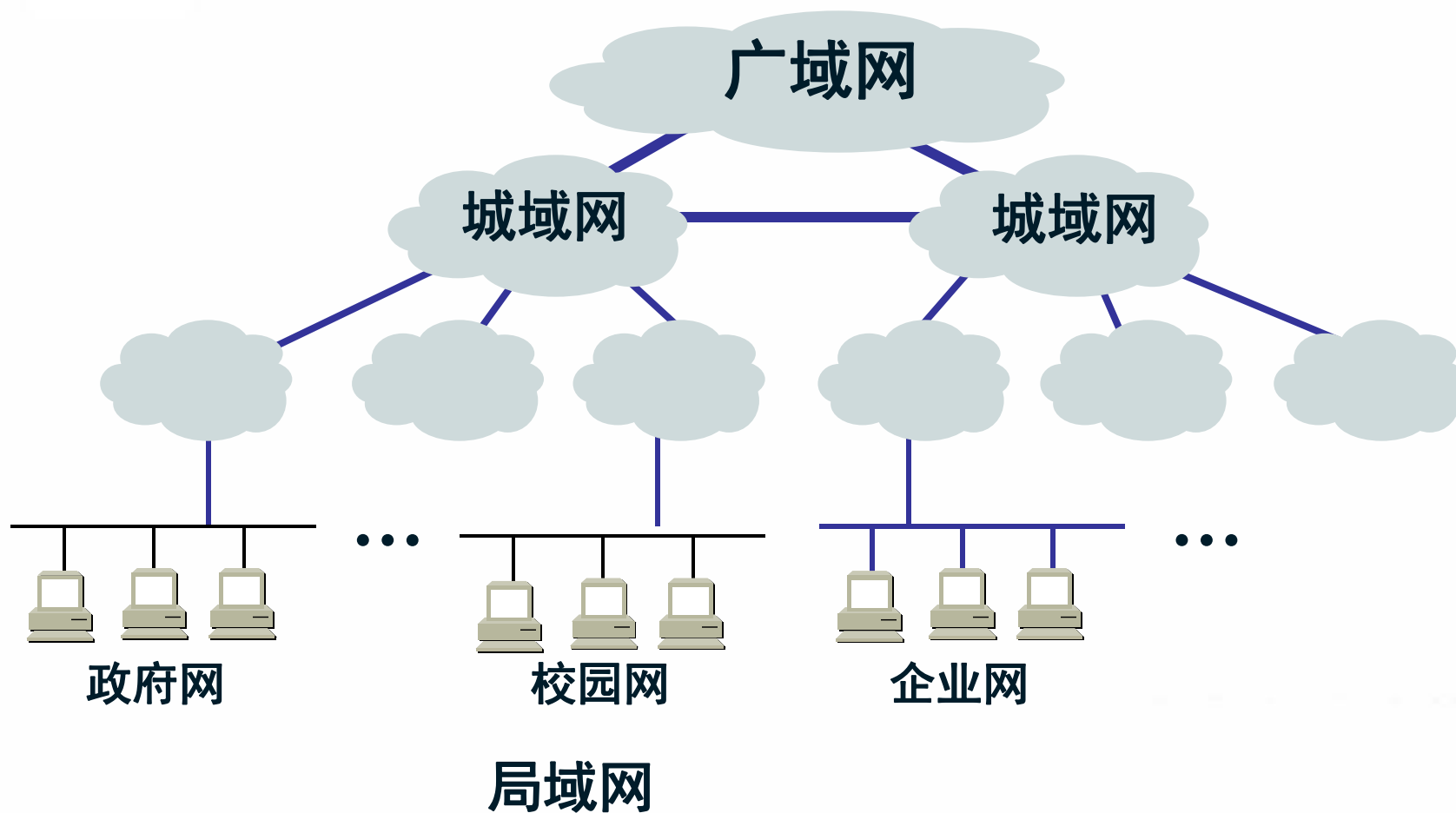
1.3 计算机网络的分类

1.3.1 按地理范围分类

- **局域网LAN (Local Area Network)**
 - 覆盖范围一般不超过数公里。通常安装在一幢大楼内，大学校园内或厂区内
- **城域网MAN (Metropolitan Area Network)**
 - 覆盖范围通常是一个大城市，大约数十公里到上百公里。
- **广域网WAN (Wide Area Network)**
 - 覆盖范围一般在数百公里以上
 - Internet就是目前最大的广域网



1.3 计算机网络的分类





1.3 计算机网络的分类

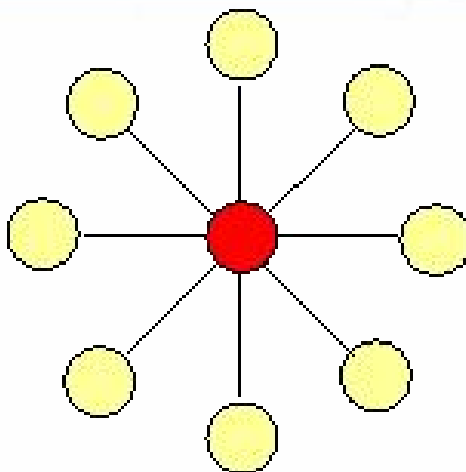
1.3.2 按拓扑结构分类

- 星型网
- 环形网
- 总线网络
- 不规则型网



1.3 计算机网络的分类

(1) 星型网

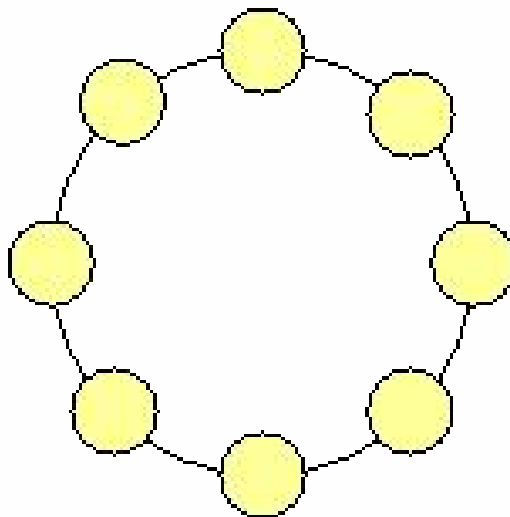


- 传输介质从中央结点向外辐射连接其他节点。
- 任何两个结点之间的信息交换必须经过中央结点转发。
- 中央结点的可靠性十分重要，一旦中央结点发生故障，会引起整个网络瘫痪



1.3 计算机网络的分类

(2) 环型网

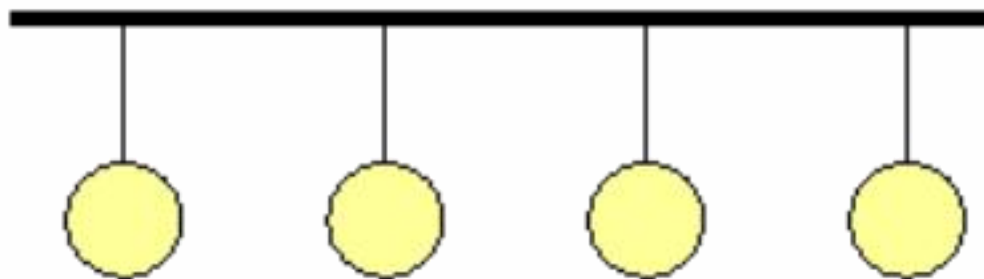


- 网络上所有的结点通过传输介质连接成一个闭环，任何两个结点的数据交换必须沿环进行
- 一旦结点或链路发生故障，则环路断开，导致网络瘫痪



1.3 计算机网络的分类

(3) 总线网

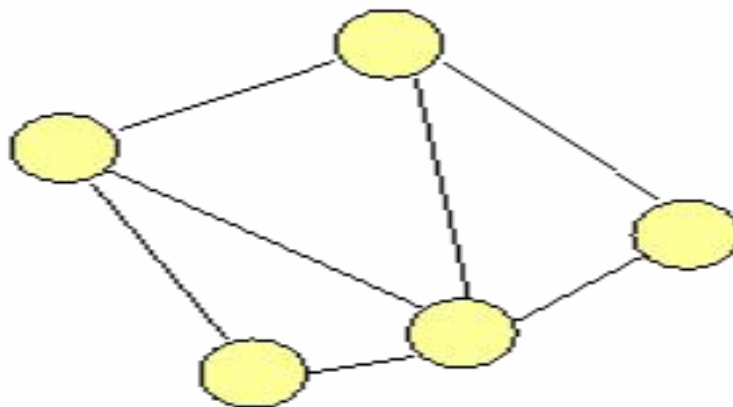


- 一条总线连接所有的结点，任何一个结点发送数据，其他节点都能收到。
- 任何结点故障都不会影响整个网络正常运行。



1.3 计算机网络的分类

(4) 不规则型网



- 每个结点至少要和其他两个结点连接
- 可靠性好，任何一个结点或一条链路发生故障都不会影响网络的连通性
- 布线灵活，几乎不受任何拓扑结构的约束。



1.3 计算机网络的分类

- 局域网
 - 总线型，星型，环型
- 广域网
 - 不规则型
- 点对点通信：独占信道
 - 星型、不规则型
- 多点通信：共享信道
 - 总线型、环型



1.3 计算机网络的分类

1.3.3 按数据交换方式分类

- 电路交换网
- 分组交换网
- 信元交换网



1.3 计算机网络的分类

(1) 电路交换网

- 步骤:

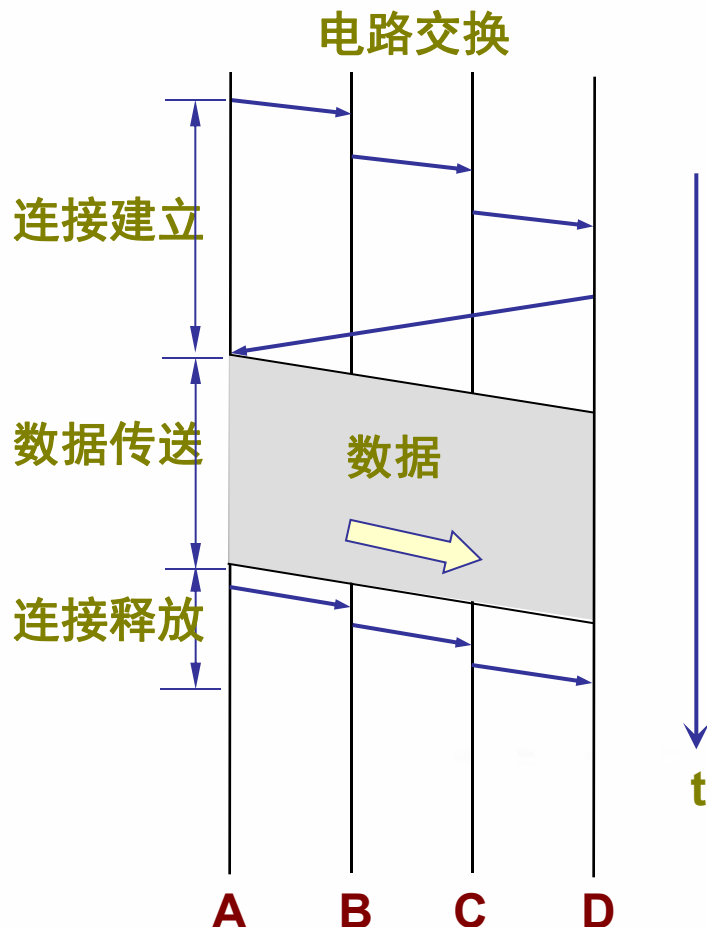
- 建立连接
- 传输数据
- 拆除连接

- 特征:

- 独占信道资源

- 优缺点:

- 实时性好
- 信道利用率低

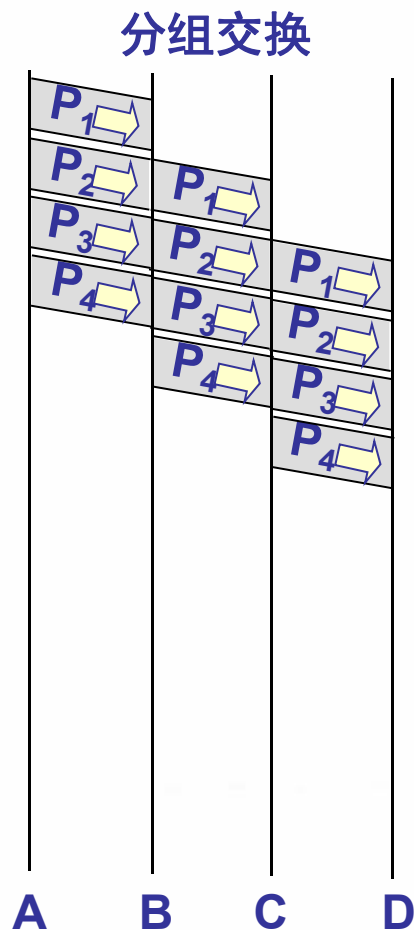




1.3 计算机网络的分类

(2) 分组交换网

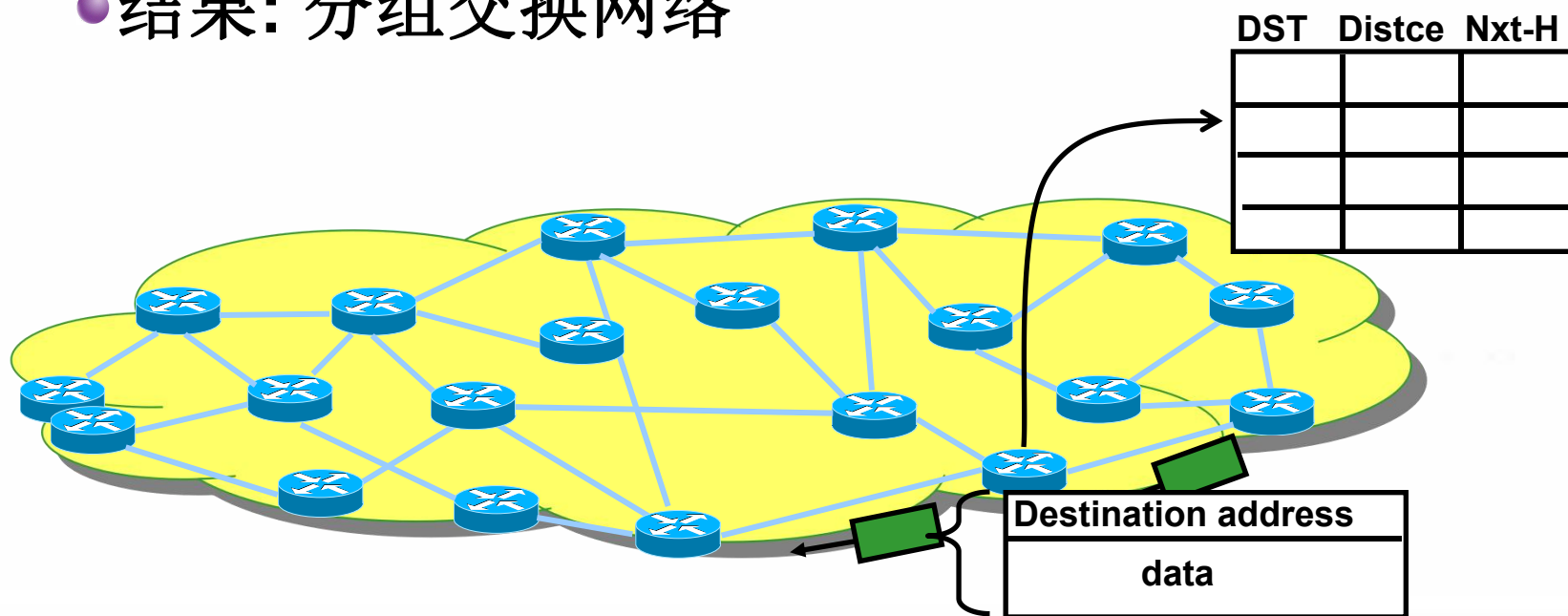
- 特征:
 - 化整为零，存储转发
- 优点:
 - 信道利用率高
 - 有利于差错控制
 - 有利于安全性
- 缺点:
 - 传输延迟较大，实时性差





Paul Baran在分布式通信方面的贡献

- 时间: 1960 - 1964
- 目标: 建造一套健壮的通信系统可以承受核攻击
- 结果: 分组交换网络





Baran的设计细节

自适应系统: 热土豆路由策略

- 如果不知道正确的路由, 就把报文转发给所有的邻居节点
- 通过观察路过的报文更新路由表, 旧的路由表项会过期而被删除
- 尽可能快的转发报文
 - 不需要每次都沿着最短路径转发
- 学习并适应变化的环境



Baran的设计细节

报文发送

- 每个交换节点根据自己的路由表判断如何转发报文
- 每个报文的转发都是独立于其他报文的
- 交换节点不保存端节点的状态
 - ➔ 可扩展性好
 - ➔ 不是最有效的网络
 - ➔ 发送不是完美的
 - ➔ 端节点必须能容忍发送错误并从中恢复



Baran的设计细节

分布式系统

- 所有交换节点是平等的
 - 避免了单一节点失效问题
- 部件可以失效，但系统不可以
- 系统的健壮性来自于
 - 足够的物理（硬件）冗余
 - 适应性路由

模拟实验表明：“**extremely survivable networks can be built using a moderately low redundancy of connectivity level**”—
Paul Baran, 1964



两种实现可靠系统的思路

● 电话系统

- 笨终端，聪明的网络
- 确保每个网络部件都是可靠的
 - 系统可靠性 = 部件可靠性
 - 通过局部冗余实现部件的高可靠性
 - 期望每个部件都能正常工作，部件失败的可能性很低
- 需要人工配置的，高度控制的网络

● Baran的系统

- 建立在简单的、不可靠部件上的可靠系统
- 自适应的系统
- 聪明的终端，可以修正传输错误



分组交换网络原理总结

- 存储转发
- 动态路由(包括每个分组自带源地址、目的地址，拓扑发现、路由选择)
- 出错交由端系统处理



1.3 计算机网络的分类

(3) 信元交换网

- 特征:

- 53字节的信元
- 高速光纤信道
- 高速**ATM**交换机

- 优点:

- 克服分组交换网实时性差、电路交换网信道利用率低的缺点



1.3 计算机网络的分类

1.3.4 其他分类

- 按传输介质分类

双绞线网，同轴电缆网，光纤网，无线网

- 按传输技术分类

广播网（共享信道），点一点网（点一点信道）

- 按业务范围分类

军事指挥网，情报检索网，气象监测网，教育网，金融网，航空定票网



网络带宽和延迟

- 网络带宽 (**Bandwidth**)

- 特定一段时间内网络所能传送的比特数，单位一般为bps (bit/s) (Kbps、Mbps、Gbps等)

- 网络延迟 (**Latency/Delay**)

- 传播延迟 (**Propagation**)，与距离和光速有关

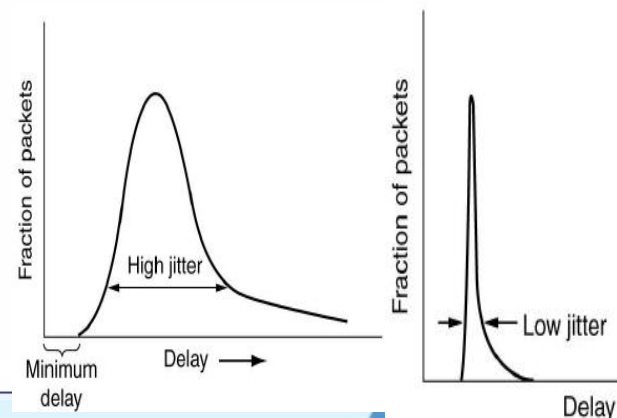
$$\text{Propagation} = \text{Distance} / \text{Speed}$$

- 发送延迟 (**Transmit**)，与发送分组的大小和带宽有关

$$\text{Transmit} = \text{Size} / \text{Bandwidth}$$

- 排队延迟 (**Queue**)，中间路由器或者交换机将分组转发出去之前将它们存储

- 网络延迟抖动 (**Delay Jitter**)





网络吞吐量

- 网络吞吐量 (Throughput)

- ➔ 网络的可用带宽，也就是应用感受到的有用带宽

- 例如802.11b的带宽为11Mbps，但受各种低效因素的影响，网络层感受到的吞吐量只有4Mbps左右

- 与带宽相比，吞吐量用来度量网络性能更加有意义

由于网络协议栈的每一层协议都有相应的头标和尾部等开销，还有协议实现机制的开销，因此准确的吞吐量应该指明是哪一个协议的吞吐量



思考题

- 如何测试和查看网络的带宽，网络吞吐量，网络延迟，网络抖动等。
- **iperf, ping, traceroute**等



本章小结

● 主要内容

- 主要介绍计算机网络的产生和发展、特点、定义、分类、组成以及网络功能等。

● 重点

- 了解计算机网络的分类、基本组成以及计算机网络在信息化社会中的作用。