

计算机网络

合肥工业大学

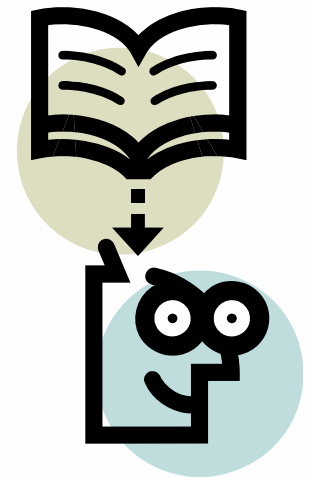
计算机与信息（人工智能）学院





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





第一章 概论

- 1.1 计算机网络的主要功能
- 1.2 计算机网络的组成
- 1.3 计算机网络的定义
- 1.4 计算机网络的分类
- 1.5 计算机网络的产生和发展
- 1.6 计算机网络标准化组织
- 1.7 计算机网络的主要性能指标



1.1 计算机网络的主要功能-实例

- 通过计算机网络，可以实现
 - 远程登录
利用本地终端（键盘，显示器等），使用远程主机的**CPU**，**RAM**，**OS**等。
 - 文件传输
利用**FTP**在两台主机间传输文件。
 - 电子邮件
利用**SMTP**发送邮件，利用**POP3**从邮件服务接收电子邮件。
 - 数据库服务
以**C/S**方式访问远方数据库系统。
 - **WWW**服务
通过**HTTP**浏览分布在任何地方的网页，并通过超级链接，继续浏览下一个指定网页。
 - 即时通信
网络聊天，**IP**语音、视频会话等。



1.1 计算机网络的主要功能

● 通信

- 人与人之间需要**交换信息**。广义上说，用任何方法通过任何媒体传输信息，均可称为通信。
 - 会话、写信、古代的烽火台、航海中的旗语等。
 - **现代通信技术**则主要指**用电（或光）信号**通过相应的信道来传递信息。
- 计算机技术是**1946**年世界上第一台计算机**ENIAC**在美国诞生之后才出现的新技术。当时，计算机和通信之间并没有什么关系。
 - 计算机逐渐成为信息存储和处理的主要工具。
 - **信息的流通**需要促使了计算机技术和通信技术的相互影响和结合。



1.1 计算机网络的主要功能

- 计算机网络（**computer network**）是**因为信息的流通需要而产生的**，是两种技术结合的产物（**ICT**）。
 - 信息技术（**information technology, IT**）
 - 通信技术（**communication technology, CT**）



1.1 计算机网络的主要功能

- 计算机网络中的通信一般称为**数据通信**
 - 数据通信是计算机网络中**各计算机之间信息传输的基础**
- 除了数据通信之外，计算机网络还涉及计算机之间的**资源共享、协同工作**等信息处理方式。
 - 与其它资源网络不同的是，资源在流通、使用过程中都会出现损耗，**信息**在流通、使用过程中不仅不会出现损耗，反而**会通过交流而增值**。
 - 信息的流通离不开通信和计算机网络，所以说**通信与计算机网络是信息社会的基础设施**。



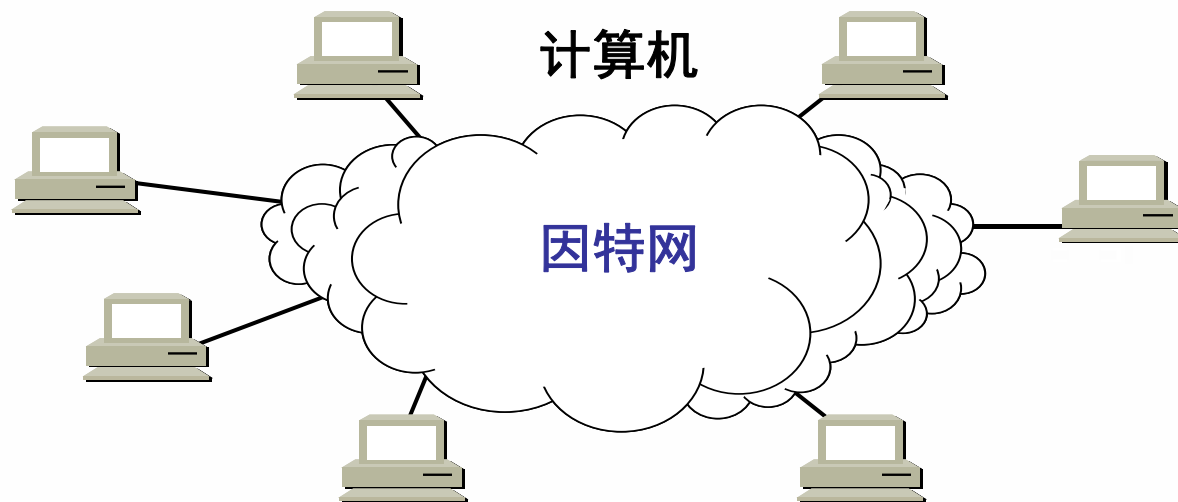
1.1 计算机网络的主要功能

- **Internet**（或称**因特网**）是全球最大的计算机网络，使全球上亿台计算机彼此连接，实现通信。
- **Internet**包括三个方面的内容
 - 基于**TCP/IP**协议族的全球计算机网络
 - **网络用户**，用户使用网络资源，且为网络的发展壮大贡献力量
 - 所有可访问和可利用**资源的集合**



1.1 计算机网络的主要功能

- 要通过 **Internet** 进行通信的计算机必须是连接在 **Internet** 上的。
- 如果屏蔽了实现计算机连接的网络差异，将其看成是 **Internet** 网络云，计算机之间的通信就是在 **Internet** 网络云的直接通信，访问 **Internet** 就简化成一台计算机如何通过 **Internet** 网络云访问另外一台计算机资源的问题了。





1.1 计算机网络的主要功能

● 两个概念

● 协议（**protocol**）

- 两台计算机通信时对传送信息内容的理解、信息的表示形式以及各种情况下的应答信号都必须遵循一个共同的约定

● 网络体系结构（**network architecture**）

- 将协议按功能分成了若干层
- 如何分层，以及各层具体采用的协议的综合，称为网络体系结构



1.1 计算机网络的主要功能

● 客户-服务器（**client-server, C/S**）模型

- 客户机（访问者）向服务器（被访问者）发出请求，服务器根据请求以结果来响应客户机
- 客户机和服务器是计算机中的一个客户或服务器进程，因此这种通信**也被称为进程间通信（Inter-process communication）**
- 这种模型也被称为**胖客户-瘦服务器模型**
 - **应用处理和事务处理逻辑都在客户端表达**，服务器软件相对较为简单



1.1 计算机网络的主要功能

- 浏览器-服务器（**browser-server, B/S**）模型
 - 这种模型也被称为**瘦客户-胖服务器模型**
 - 应用处理和事务处理逻辑都由服务器软件实现，**客户机**和服务器之间**通过浏览器**进行交互



1.1 计算机网络的主要功能

● 对等（peer-to-peer, P2P）模型

- 双方没有主动和被动之分，任何一方都可以发起并实现一次通信进程
- 对等模型中的每一方都既是客户机，又是服务器，可认为它是由两个客户-服务器构成的，因此每次通信都遵循客户-服务器模型中的请求-响应过程



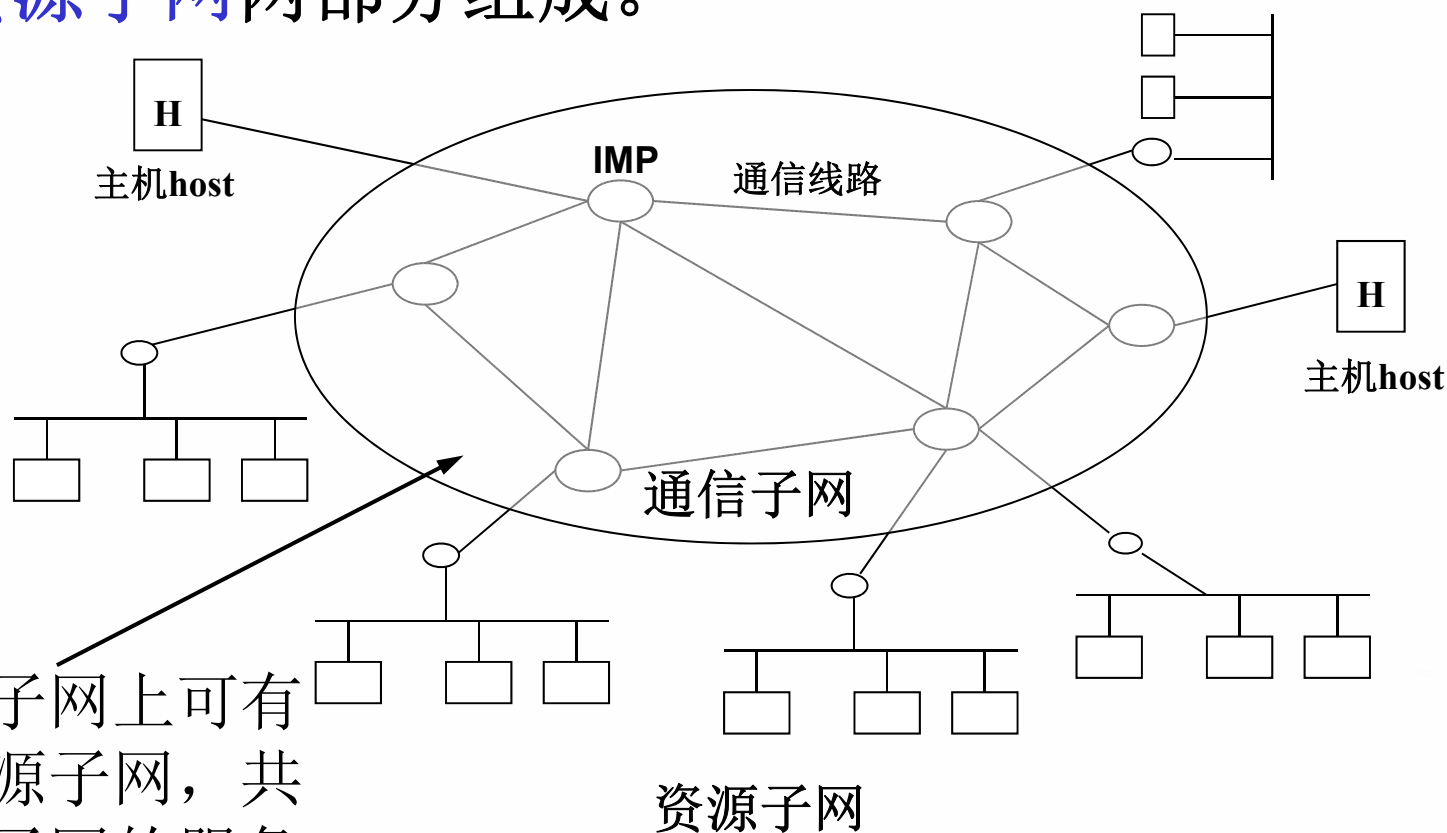
1.1 计算机网络的主要功能

- 计算机网络主要功能
 - 数据通信
 - 资源共享
 - 负载均衡和分布式处理
 - 远程控制
 - 提高系统的可靠性
 - 为新型计算机体系结构的研究提供了一条崭新途径
 -



1.2 计算机网络的组成

- 根据早期的概念，计算机网络在逻辑上由**通信子网**和**资源子网**两部分组成。



在通信子网上可有多个资源子网，共享通信子网的服务



1.2 计算机网络的组成

- **通信子网**：负责计算机间的数据通信，也就是传输服务
 - 由接口报文处理机（**interface message processor, IMP**）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



1.2 计算机网络的组成

- 这种两部分结构屏蔽了接入计算机网络以及计算机网络内部的通信和连接细节，但这些细节是非常复杂的
 - 进行通信的主机间一般并不是通过直接的通信线路互连的，而是经**中间节点 (node)**转接后互连的，这种中间节点在**ARPANET**中被称为**接口报文处理机 IMP**，有的时候又称为网元 (**cell**)。
 - 信息将通过通信线路和若干个**IMP**中途转接，从源主机发送到目标主机。



1.2 计算机网络的组成

● IMP 包括

- 中继器（**repeater**、转发器）、集线器（**hub**）、网桥（**bridge**）、交换机（**switch**）和路由器（**router**）等。



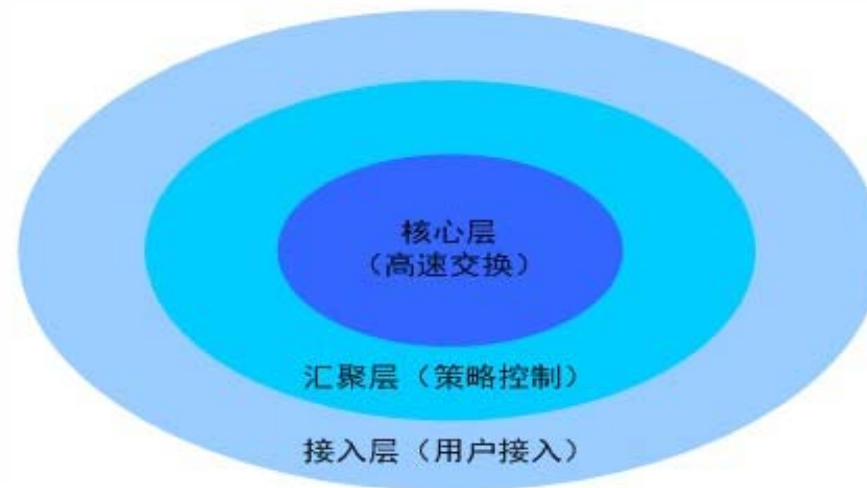
1.2 计算机网络的组成

- 通信线路称为物理**传输媒体**（**transmission medium**），有时也称为**传输介质**。
 - 有线媒体
 - 同轴电缆、双绞线、光纤等
 - 无线媒体
 - 广播无线电、微波、卫星、红外线、激光等
- 传输一路信号的媒体称为**信道**。



1.2 计算机网络的组成

- **Internet**组成可分为三层
 - 接入层（**access network**）
 - 解决**Internet**网络末端接入问题，如**ADSL**等
 - 用户的管理、认证和计费等
 - 汇聚层（**convergence network**）
 - 将大量散布的用户进行汇聚
 - 核心/主干网（**core/backbone network**）





1.2 计算机网络的组成

- **ISP** (Internet Service Provider, Internet服务提供者)
 - Internet的**网络运营商**，如中国电信和中国网通，管理和运营着大量自己投资的通信线路和网络设备，为**Internet**用户服务。
- 大量**相互连接的ISP**网络构成了**Internet**网络云，即它们共同形成**Internet**的通信子网。
- **ISP**的一个重要任务是**管理和分配IP地址**。**IP**地址是进行计算机通信的主机标识符。
- **ISP**不都是由一个国家、一个运营商来承担的，全球的**ISP**有几十万家。
- 一些主机可以直接连接到汇聚层或核心层。



1.2 计算机网络的组成

- **ICP** (Internet content provider, Internet 内容提供商)
 - 属于资源子网，是**Internet**中向用户提供内容服务的服务器，其中多数就是人们俗称的网站 (**website**)

Internet是由大量用户、一群ISP构成的通信网络和许多提供内容服务的ICP组成。



1.3 计算机网络的定义

- 计算机网络定义（供参考）：将各自具有**独立自主**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 计算机网络的定义

● 归纳与综合

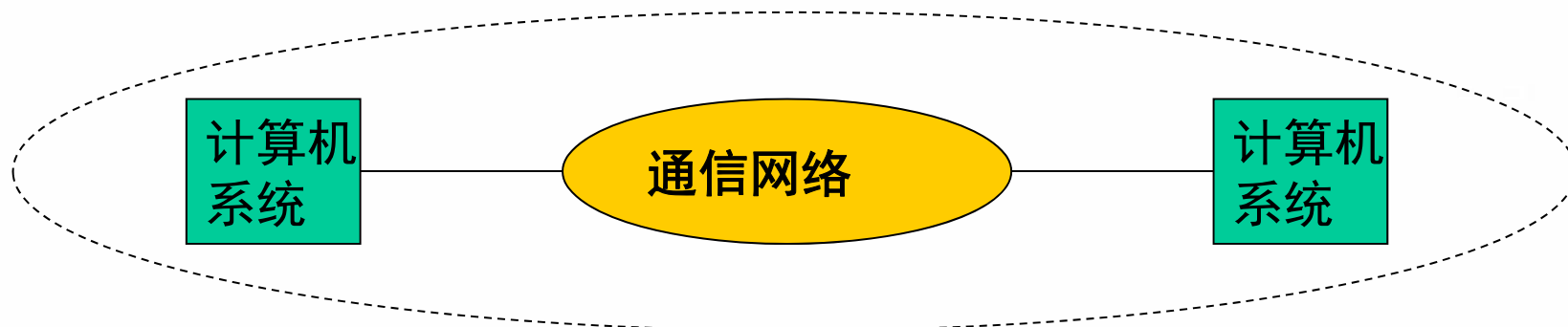
● 计算机网络：相互连接的自治计算机的集合

➤ 自治：能独立运行，不依赖于其他计算机

➤ 互连：以任何可能的通信连接方式

– 有线方式：铜线、光纤

– 无线方式：红外、无线电（微波）、卫星





1.4 计算机网络的分类

1.4.1 按地理范围分类

- 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
- 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
- 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



- **个人区域网 (Personal area network, PAN)**

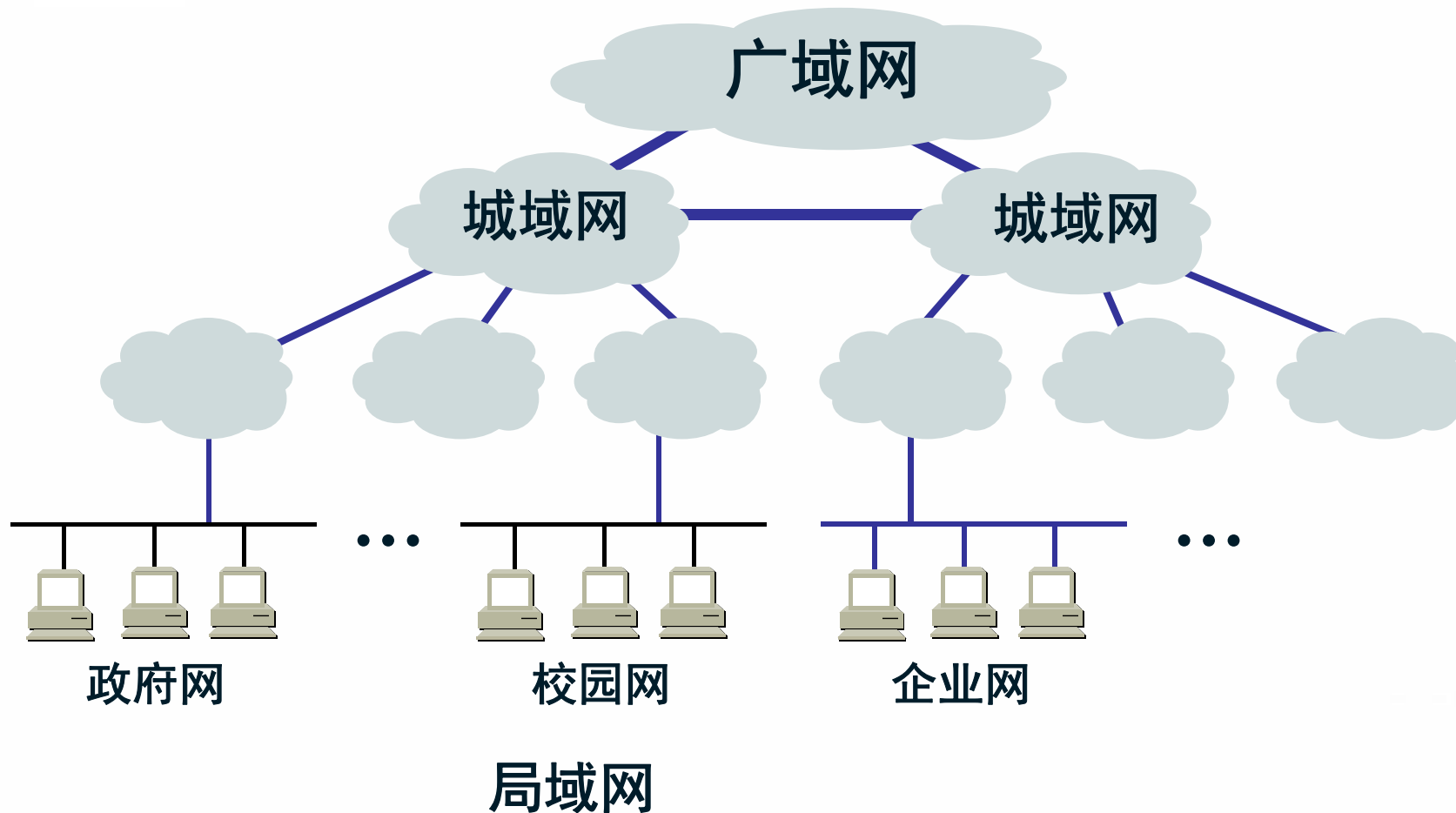
- 在比局域网更小的覆盖范围内，如一个家庭内，用来连接多个智能家用电器或电子设备的网络

- **存储区域网 (Storage area network, SAN)**

- 用来连接多个大容量存储设备



1.4 计算机网络的分类





1.4 计算机网络的分类

1.4.2 按拓扑结构分类

- 星型网
- 环形网
- 总线网络
- 不规则型网

拓扑结构 (topology): 网络的物理形状

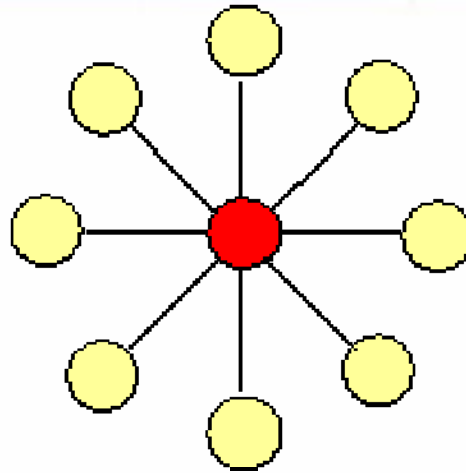
图的顶点代表网络节点（计算机、路由器等）

图的边代表它们之间的物理链路



1.4 计算机网络的分类

(1) 星型网

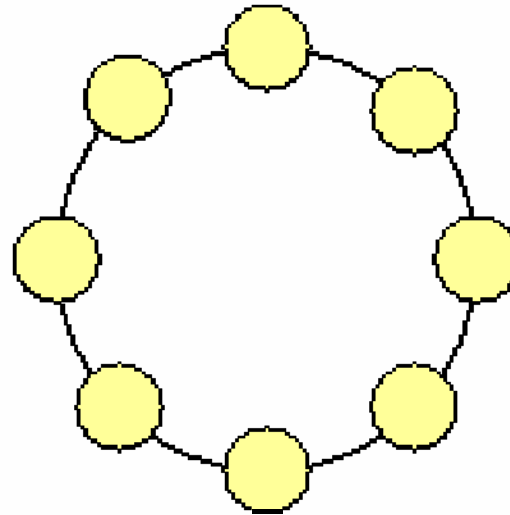


- 传输介质从中央结点向外辐射连接其他节点。
- 任何两个结点之间的信息交换必须经过中央结点转发。
- 中央结点的可靠性十分重要，一旦中央结点发生故障，会引起整个网络瘫痪



1.4 计算机网络的分类

(2) 环型网

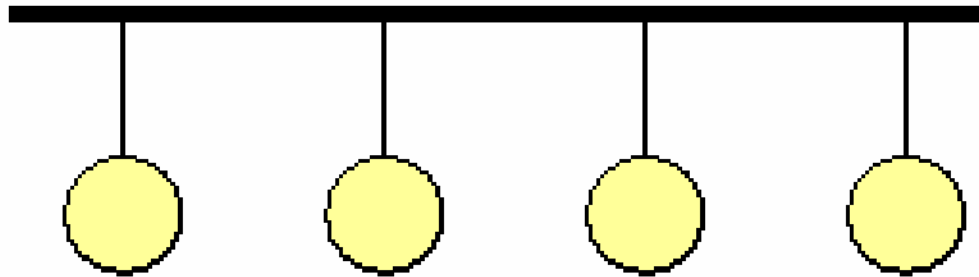


- 网络上所有的结点通过传输介质连接成一个闭环，任何两个结点的数据交换必须沿环进行
- 节点数量增多会导致网络直径增加，从而提高网络传输的延迟



1.4 计算机网络的分类

(3) 总线网

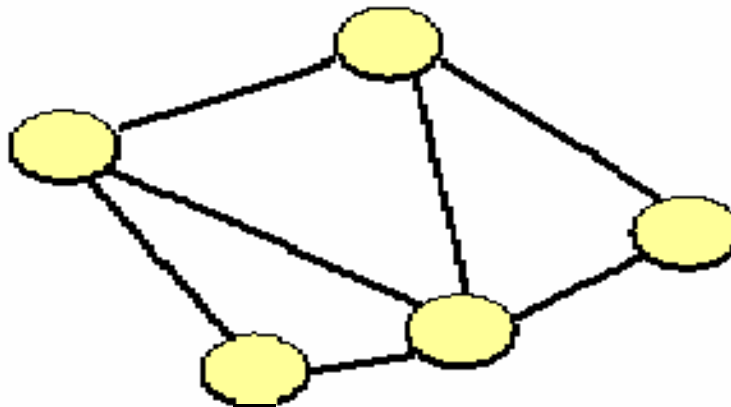


- 一条总线连接所有的结点，任何一个结点发送数据，其他节点都能收到。
- 任何结点故障都不会影响整个网络正常运行。
- 某一时刻网络上只能一台计算机传输数据。



1.4 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。
- 源节点到目标节点的信息传输可以选择多条不同的路径。



1.4 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



1.4 计算机网络的分类

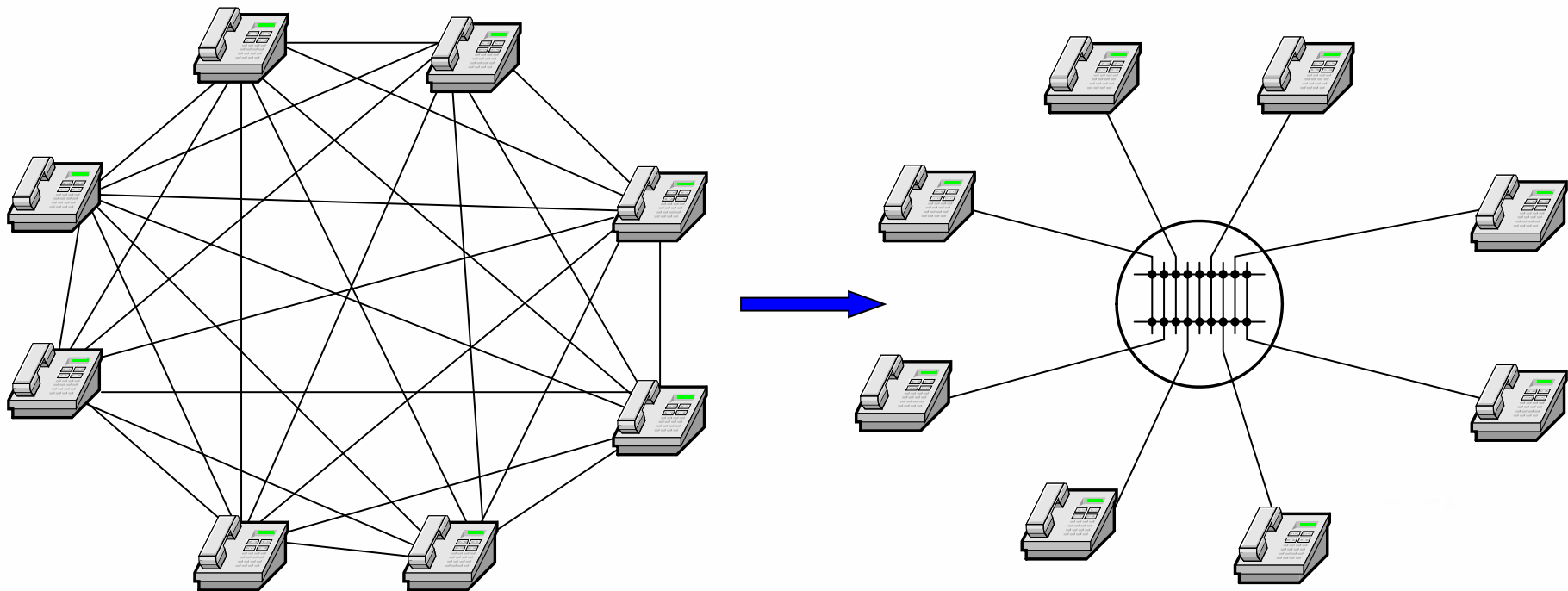
1.4.3 按数据交换方式分类

- 电路交换网
- 分组交换网

交换（switching）：网络中通过转接来实现一个通信连接的过程。



● Why switching?





1.4 计算机网络的分类

(1) 电路交换网 (circuit switching)

- 传统模拟语音电话通信需要占用整个电路的载波频谱（线路带宽），它的基本交换（转接）单位就是电路。
- 两段之间进行通信需要经过三个过程，就好像在一个管道中转发
 - 1. 建立连接（选择并独占每段的电路资源，建立通信路径）
 - 2. 通信（一直独占电路资源）
 - 3. 释放连接（归还电路资源）
- 中间的交换机和交换机间的电路是可以共享的，但是在通信期间始终被某个连接所独占



1.4 计算机网络的分类

(1) 电路交换网 (circuit switching)

● 步骤:

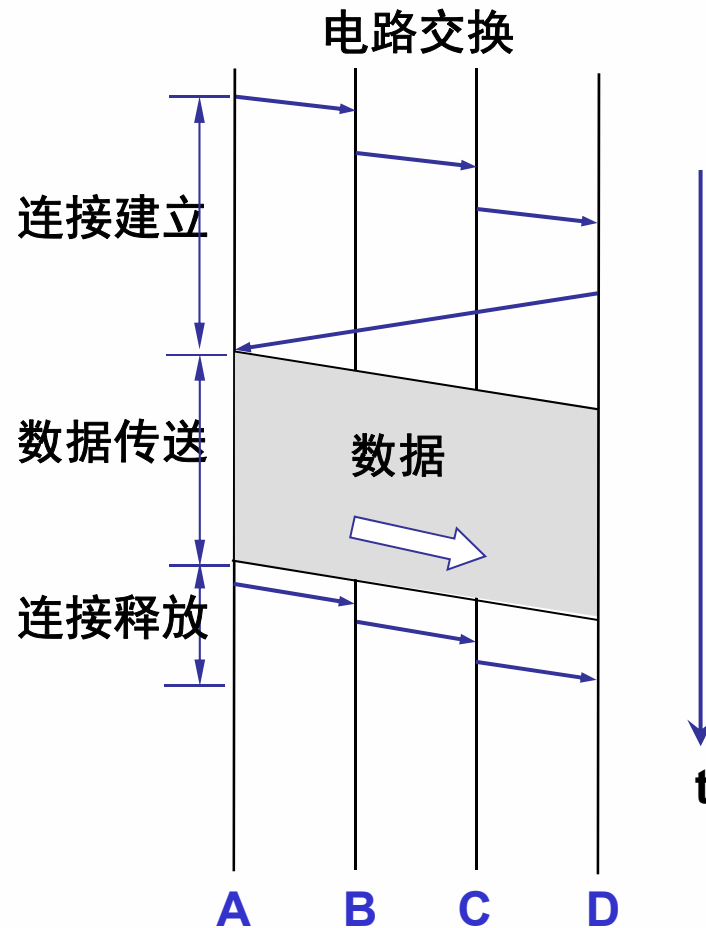
- 建立连接
- 传输数据
- 拆除连接

● 特征:

- 独占信道资源

● 优缺点:

- 实时性好
- 通信质量有保证
- 信道利用率低





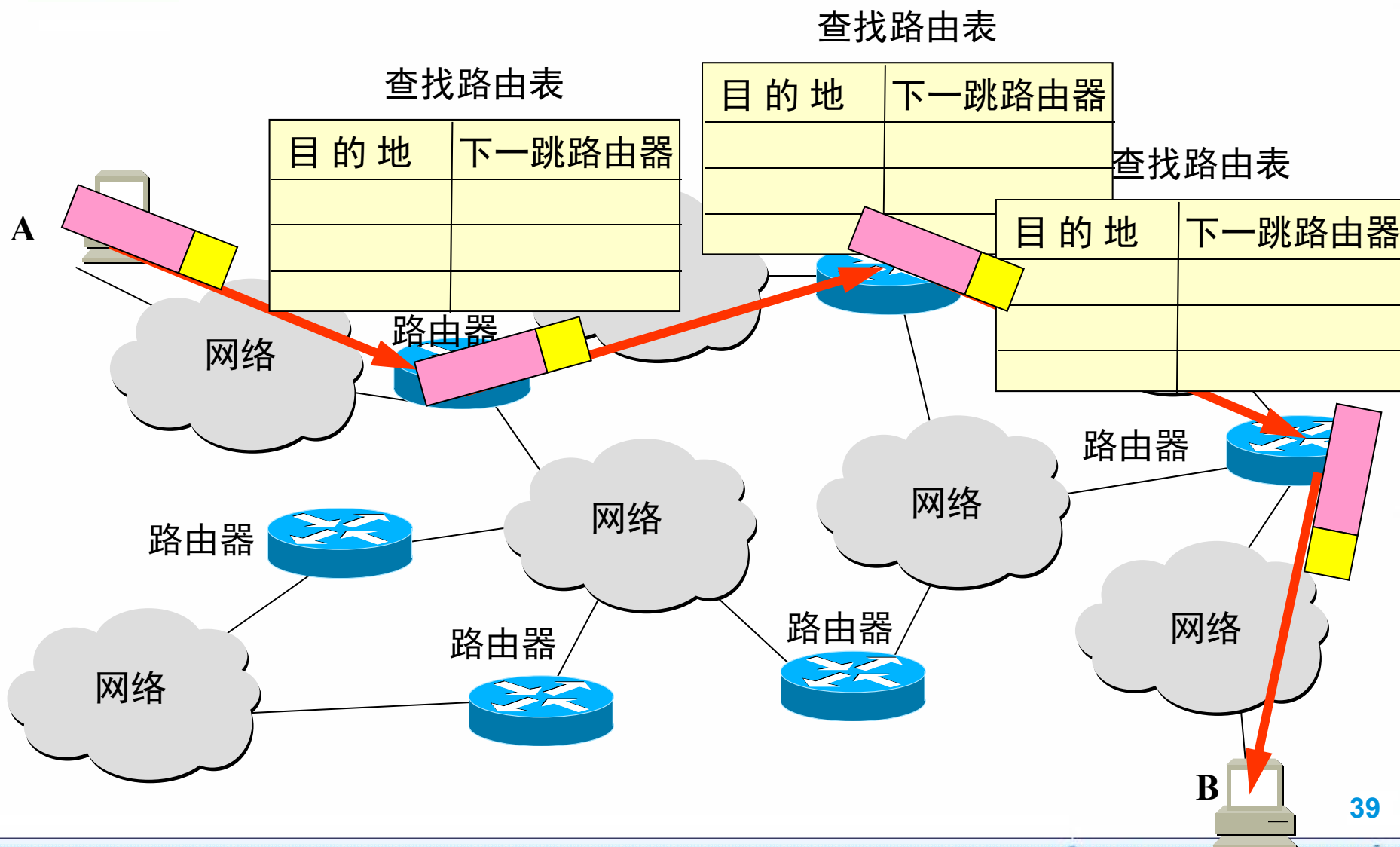
1.4 计算机网络的分类

(2) 分组交换网 (packet switching)

- 计算机间传输的数据具有**突发性流量(burst traffic)**的特点，譬如网络聊天
- 以数据块为处理的基本信息单位，称为**分组(packet)**，有时也成为**包**。
- 采用**存储转发(store and forward)**技术
 - 1. 存储：分组数据块从某个端口被整个接收并存储下来
 - 2. 处理
 - 3. 转发：选择某个端口转发出去
- 在分组交换中，**报文(message)**数据被**划分为等长的数据块**（最后一个数据块除外）
 - 在数据块前加上一些必要的控制信息（其实就是表达协议的信息）组成的**头部(header)**或分组头，就构成了一个分组。

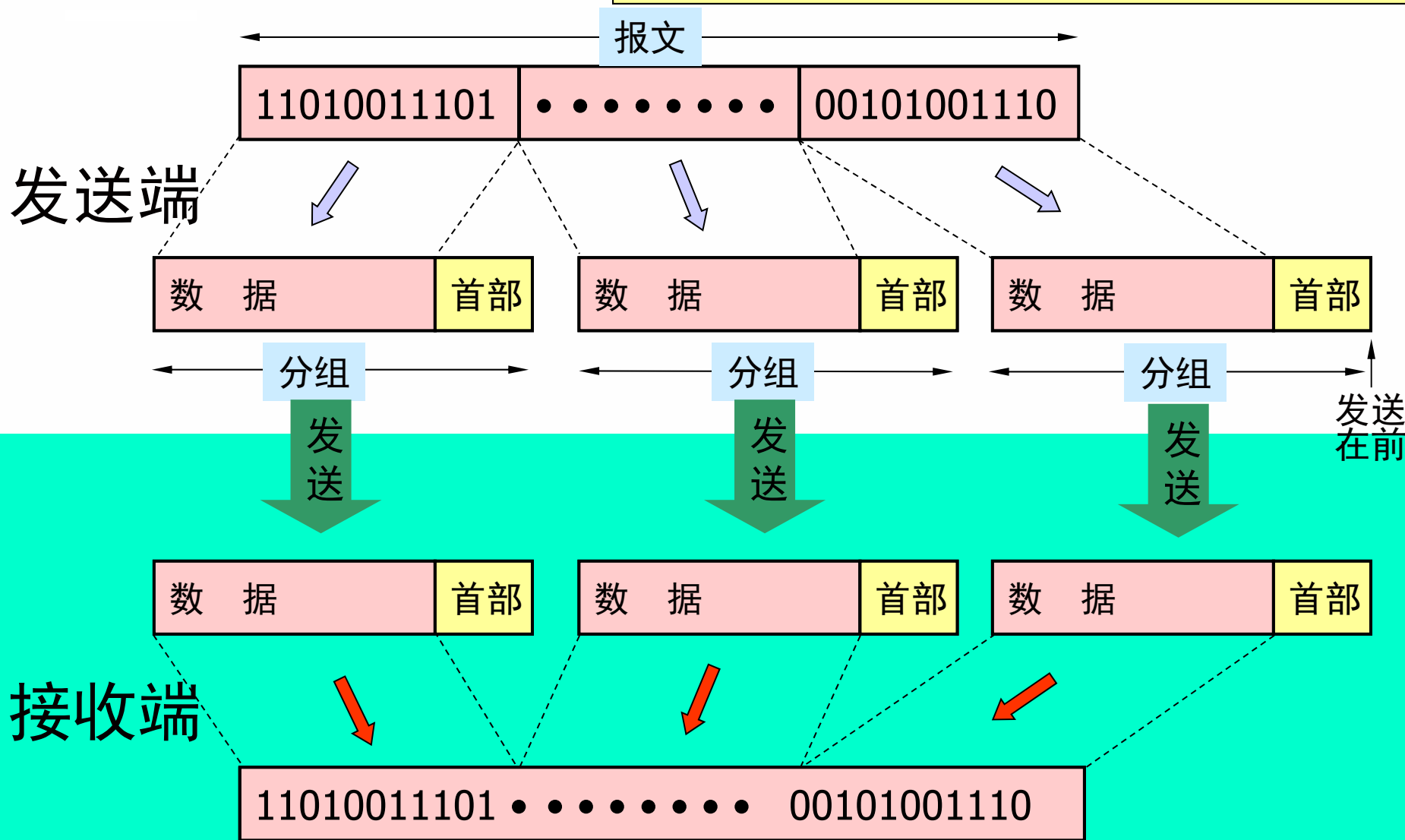


存储转发



分组交换

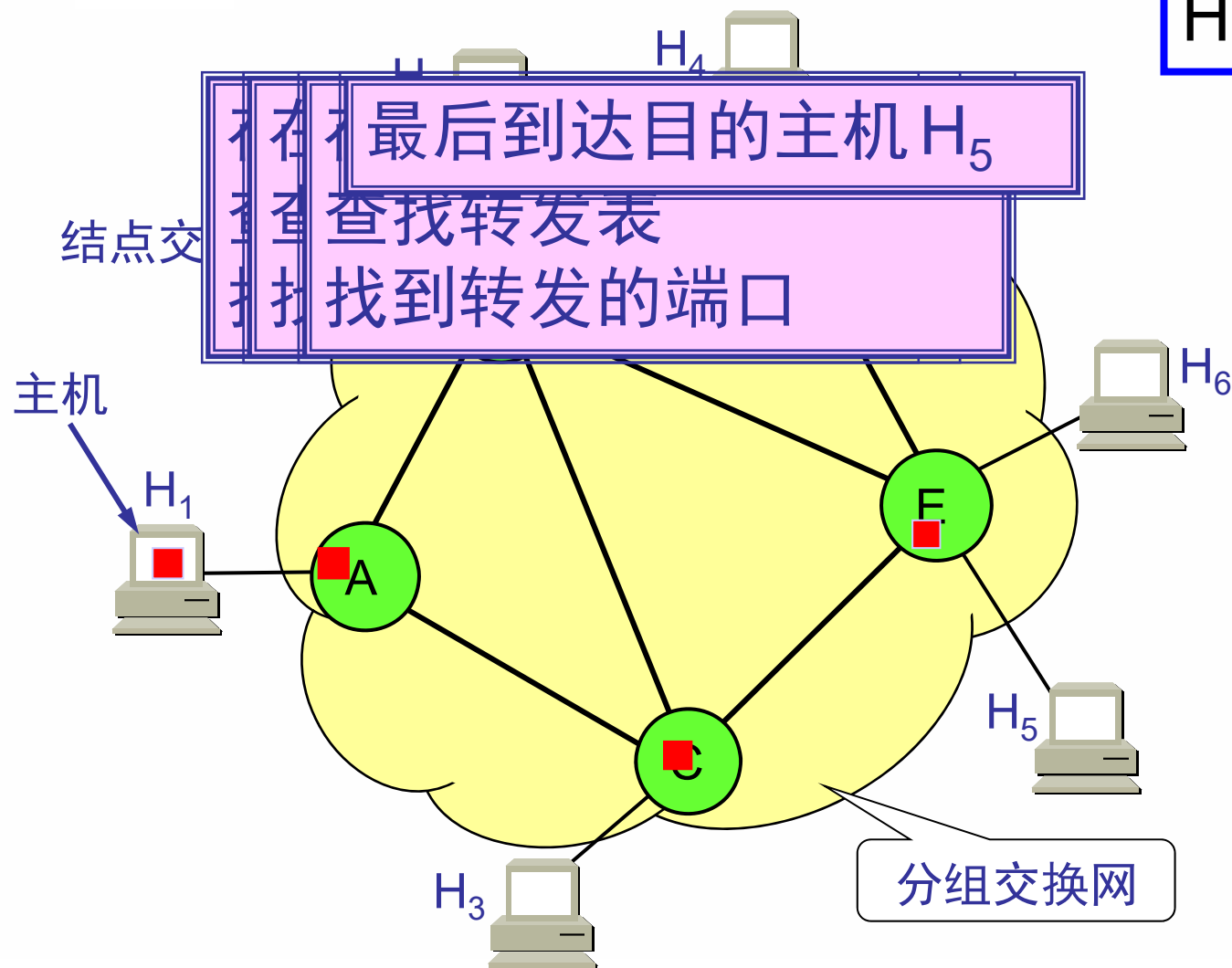
- 在发送端把要发送的报文分割为较短的数据块
- 每个块增加带有控制信息的首部构成分组（包）
- 依次把各分组发送到接收端
- 接收端剥去首部，抽出数据部分，还原成报文





分组交换的存储转发过程

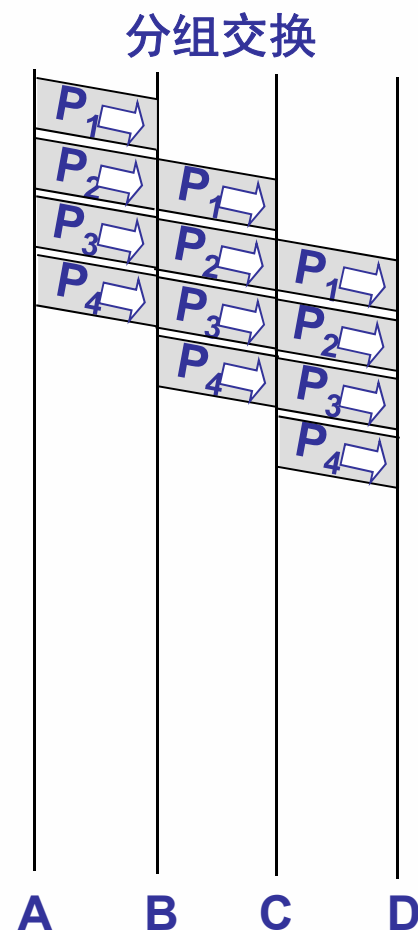
H_1 向 H_5 发送分组





(2) 分组交换网

- 特征:
 - 化整为零，存储转发
- 优点:
 - 信道利用率高
 - 灵活，不同的分组可以有不同的路由
 - 可靠：能够及时掌握网络拓扑结构的变化
- 缺点:
 - 传输延迟较大，实时性差
 - 网络局部拥塞，难以保证服务质量(**quality of service, QoS**)
 - 通信开销大：每个分组都有头部





1.4 计算机网络的分类

1.4.4 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



1.5 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）。
 - **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。



1.5 计算机网络的产生和发展

- 早期的计算机应用模式——单机
 - 庞大，昂贵，资源无法共享
 - 计算机构成了一个个的信息“孤岛”
- 计算机网络产生始于**1950's**，产生的原因：
 - 资源共享的需求（计算能力、外设、软件、**数据**）
 - 大型项目的合作（进行工程项目协作）
 - 人与人之间的信息沟通（数据通信）



1.5 计算机网络的产生和发展

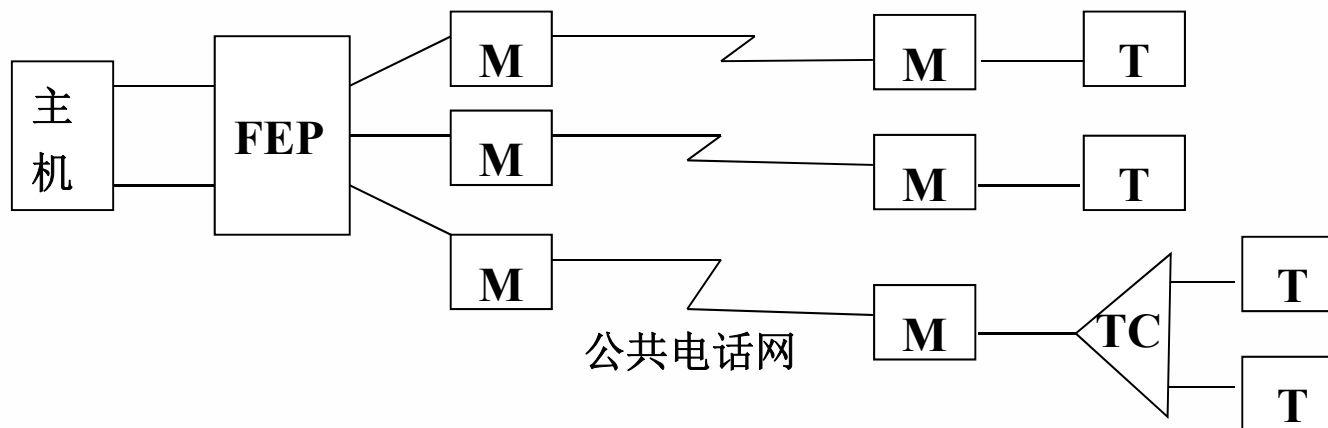
- 从体系结构来观察，计算机网络的发展可分为三个阶段（三代网络）：
 1. 以**主机为中心**的联机终端系统
“计算机—终端”系统
 2. 以**通信子网为中心**的主机互连
“计算机—计算机”网络
 3. **体系结构标准化**网络
层次化结构，并对每层进行了精确定义



1.5 计算机网络的产生和发展

1.5.1 以主机为中心的联机终端系统

特征：终端(**Terminal**)共享主机(**Host**)的软硬件资源



- **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。



1.5 计算机网络的产生和发展

1.5.1 以主机为中心的联机终端系统

特征：终端(**Terminal**)共享主机(**Host**)的软硬件资源

- 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。



1.5 计算机网络的产生和发展

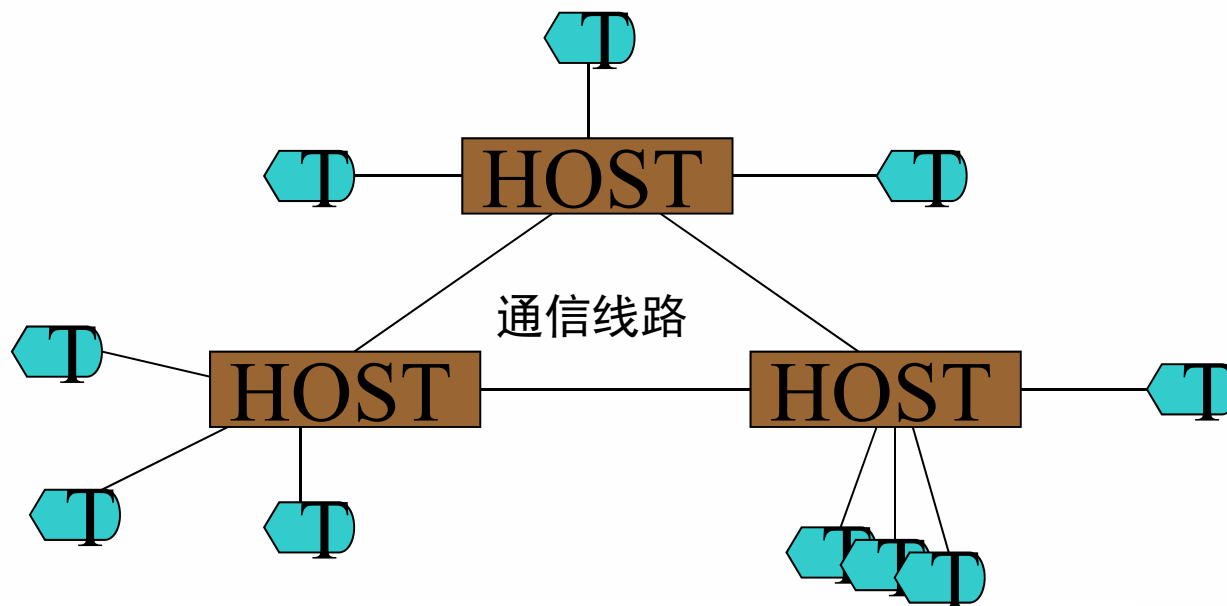
● 应用

- 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。

1.5.2 以通信子网为中心的主机互连

●特征

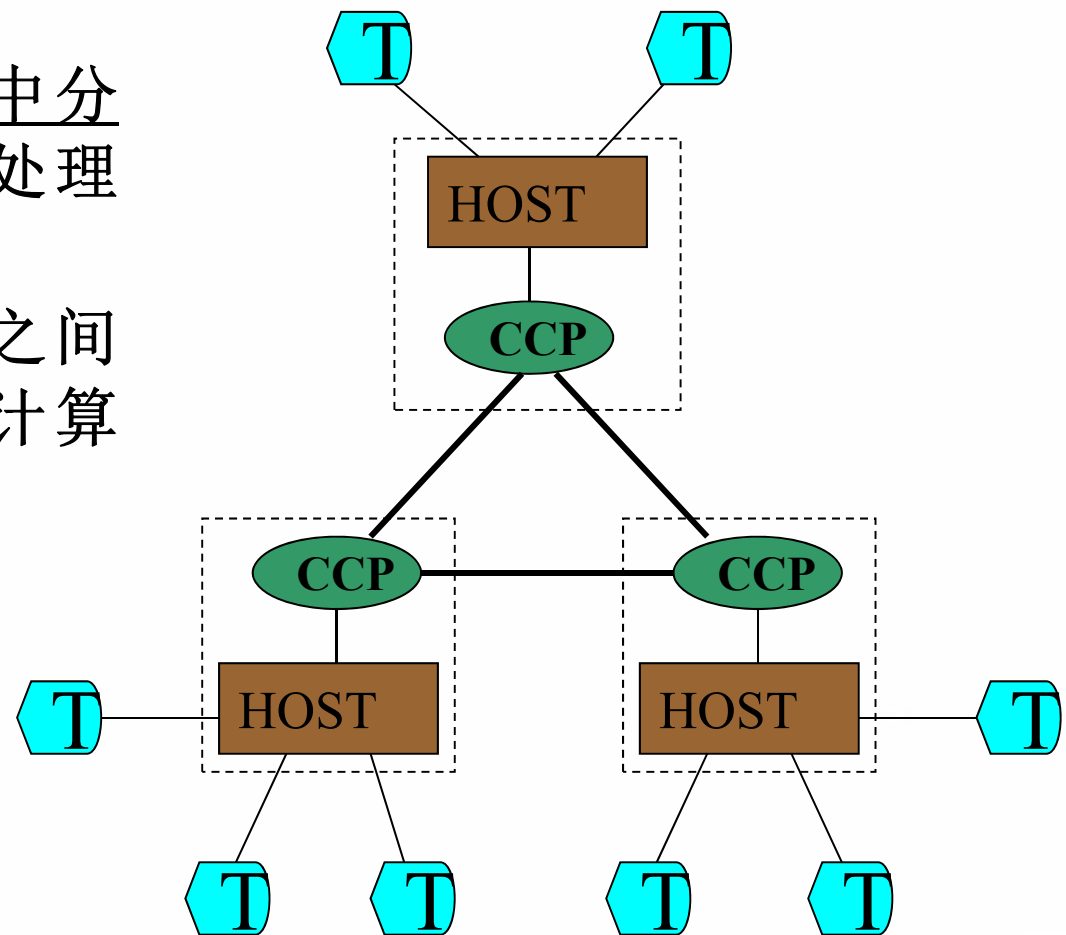
- 多个终端联机系统互连，形成了多主机互连网络
- 网络结构从“主机—终端”转变为“主机—主机”



主机—主机网络的演变

● 演变阶段1

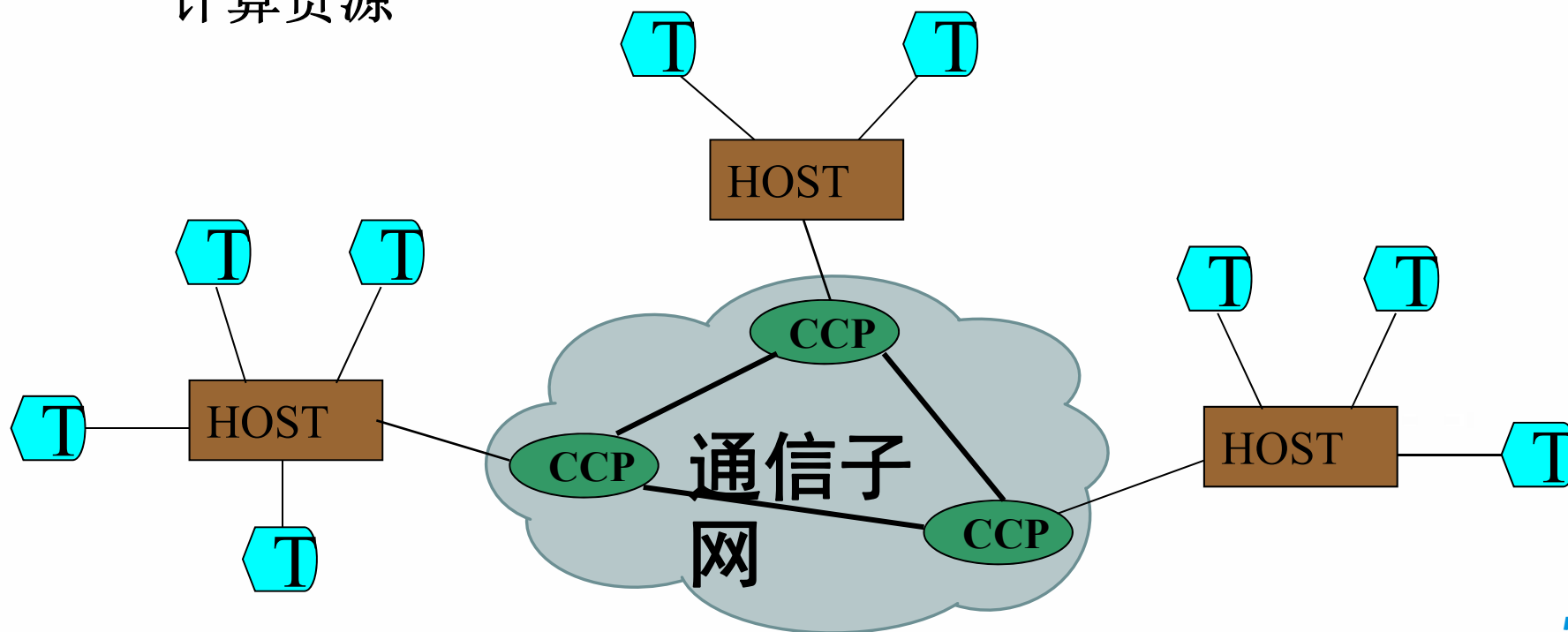
- 通信任务从主机中分离，由通信控制处理机（**CCP**）完成
- **CCP**：处理主机之间通信任务的专用计算机





● 两层网络概念的出现

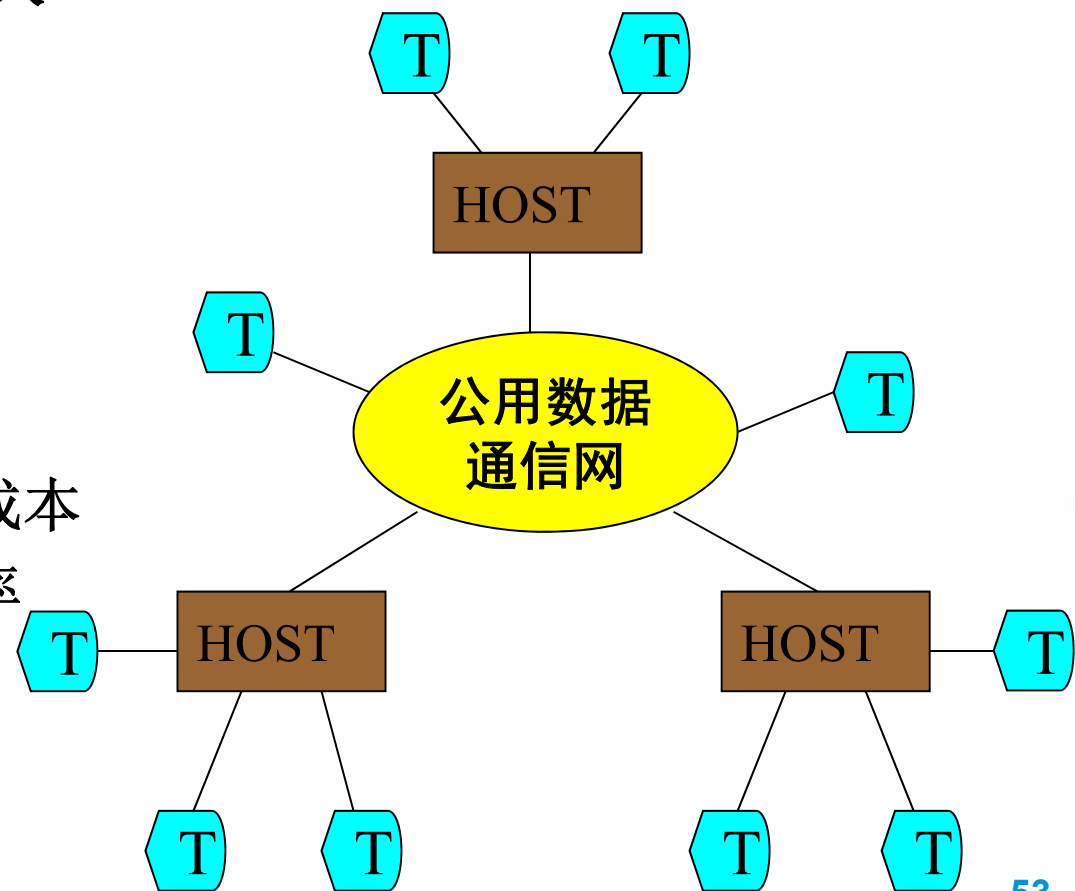
- 由**CCP**组成的传输网络——**通信子网**，提供信息传输服务
- 建立在通信子网基础上的主机集合——**资源子网**，提供计算资源





● 演变阶段2

- 通信子网规模逐渐扩大
 - 私有→社会公用
- 公用数据通信网
 - **PSTN**
 - **X.25**
- 优点
 - 降低用户系统建设成本
 - 提高通信线路利用率
 - 兼容性好





● 例子

● 因特网的前身——ARPANET

- 美苏冷战时期由美国军方建立的实验性网络
- 最初4个节点→70's的60多个节点
- 地域跨越美洲、欧洲
- 具有现代网络的许多特征，例如
 - 分组交换
 - 分层次的网络体系
 - 较为完善的通信协议



1.5 计算机网络的产生和发展

1.5.3 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。
- 为什么需要标准化？
 - 不同网络设备之间的兼容性和互操作性是推动网络体系结构的标准化的原动力
 - 兼容性和互操作性的最终目的仍是**资源共享**

体系结构标准化网络

- 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)



● 网络体系结构标准化过程的演变

● 国际标准（ISO OSI/RM）

- **Open System Interconnection / Recommended Model** (开放系统互联参考模型，简称**OSI参考模型**)
- **OSI参考模型**是一种概念上的网络模型，规定了网络体系结构的框架：**7个层次**
- 只说明了做什么（**WHAT TO DO**），而未规定怎样做（**HOW TO DO**）
- 太复杂，几乎没有与之完全符合的网络

● 事实上的标准：**TCP/IP**(因特网的骨干协议)

- 从体系结构上看，它是**OSI参考模型**的简化（**4层**）



1.6 计算机网络标准化组织

(1) 网络协议标准化组织

- 国际电信联盟 (ITU)
- 电子工业协会 (EIA)
- 国际标准化组织 (ISO)
- 电气电子工程师协会 (IEEE)

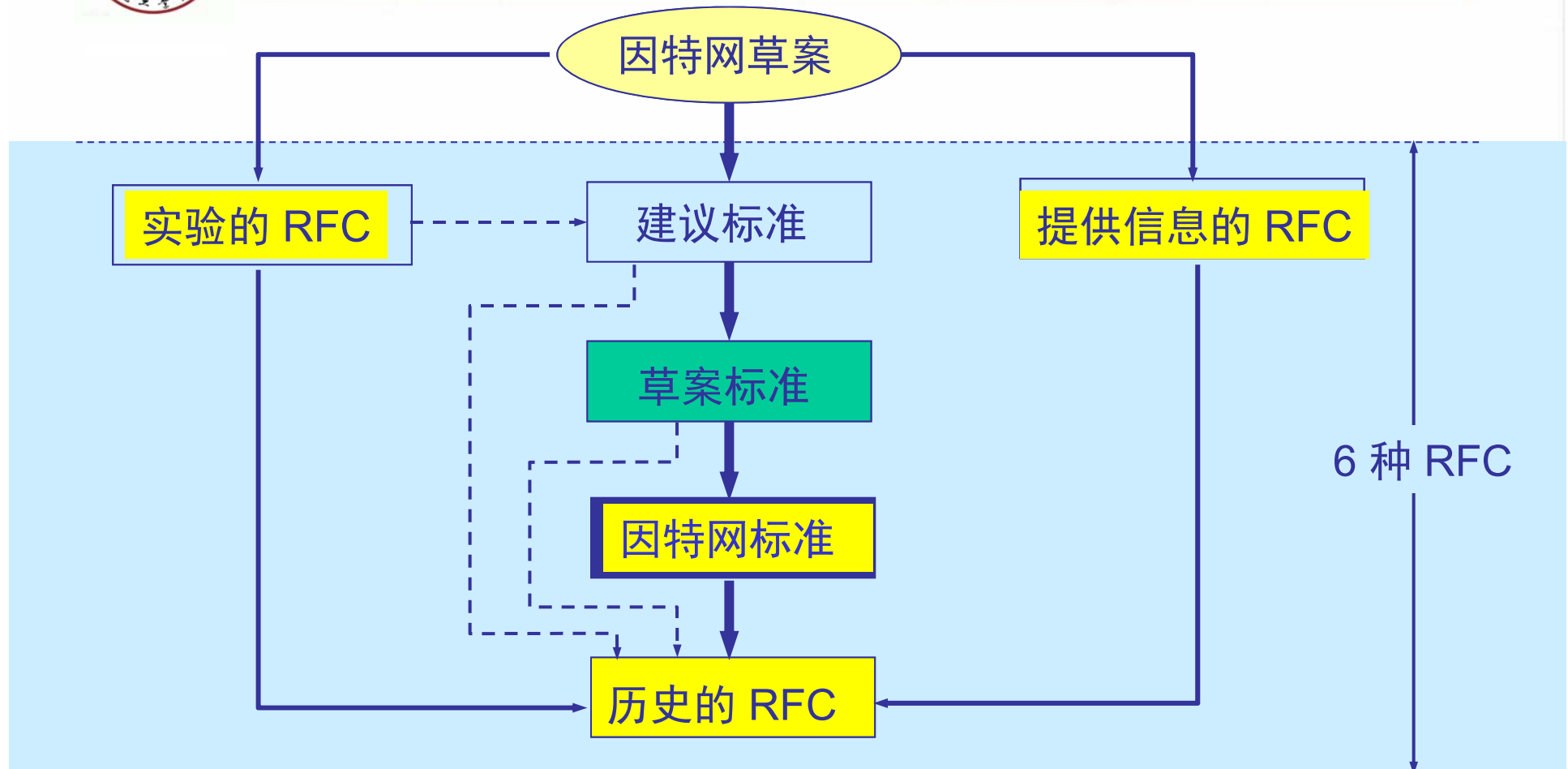


(2) 制定因特网标准的四个阶段

- 因特网草案(**Internet Draft**) ——在这个阶段还**不是 RFC** 文档。
- 建议标准(**Proposed Standard**) ——从这个阶段开始就成为 **RFC** 文档。
- 草案标准(**Draft Standard**)
- 因特网标准(**Internet Standard**)



各种RFC之间的关系

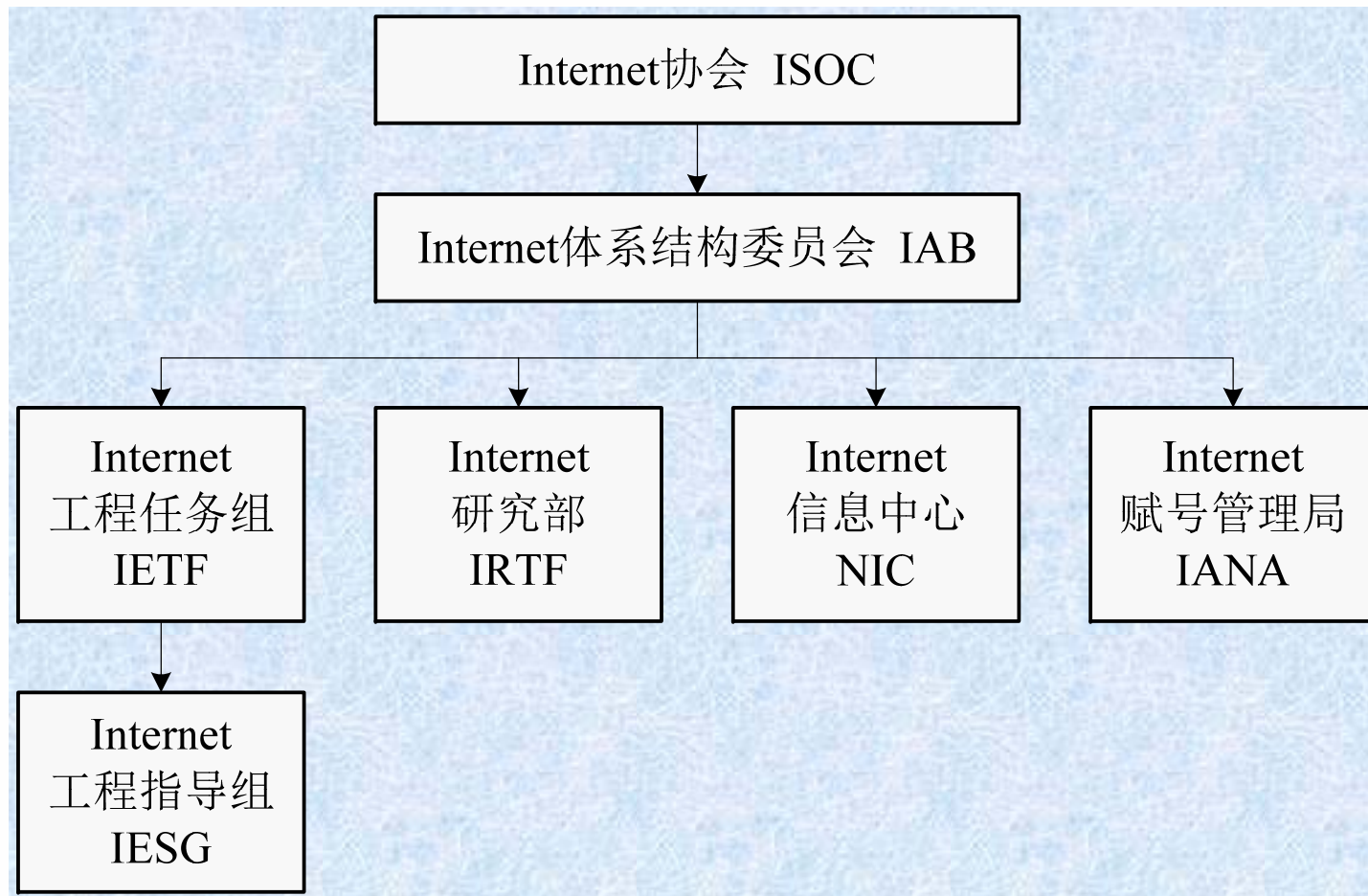


- RFC文档有3种形式：实验性文档、信息性文档与历史性文档。
- 一种网络协议可能会出现很多相关的RFC文档。

60



(3) Internet管理机构





1.7 计算机网络的主要性能指标

带宽

- “**带宽**” (bandwidth)本来是指信号具有的频带宽度，单位是赫（或千赫、兆赫、吉赫等）。
- 计算机网络中的“带宽”是数字信道所能传送的“**最高数据率**”的同义语，单位是“比特每秒”，或 **b/s** (bit/s)。



常用的带宽单位

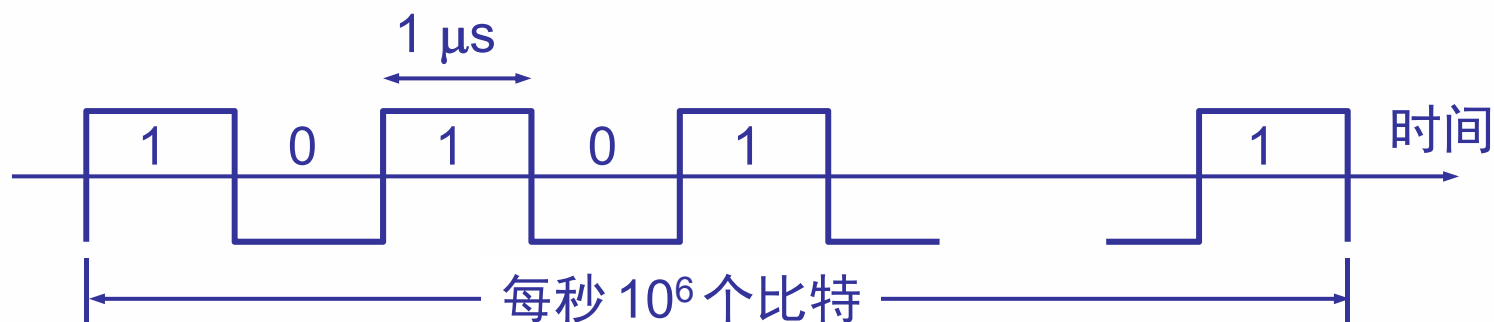
- 更常用的带宽单位是
 - 千比每秒，即 **kb/s** (10^3 b/s)
 - 兆比每秒，即 **Mb/s** (10^6 b/s)
 - 吉比每秒，即 **Gb/s** (10^9 b/s)
 - 太比每秒，即 **Tb/s** (10^{12} b/s)
- 请注意：在计算机界， **$k = 2^{10} = 1024$**
 $M = 2^{20}$, $G = 2^{30}$, $T = 2^{40}$ 。



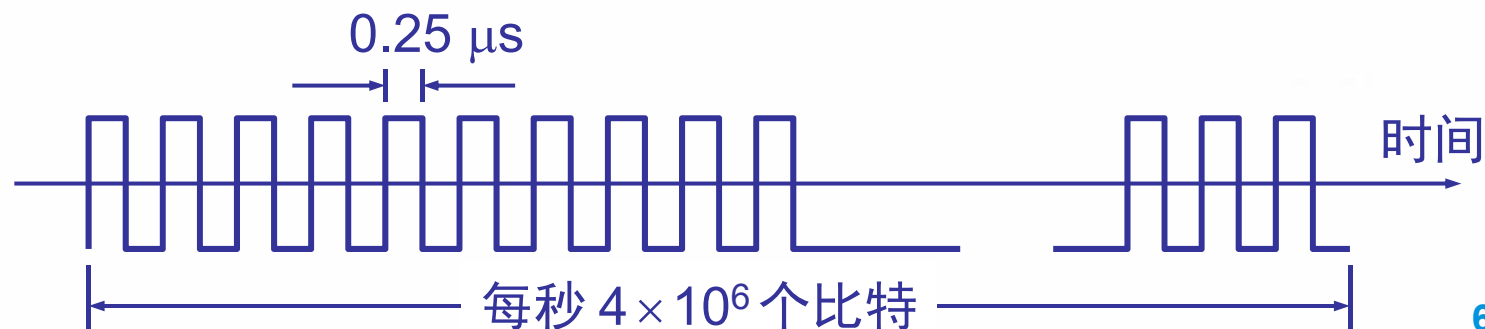
数字信号流随时间的变化

- 在时间轴上信号的宽度随带宽的增大而变窄。

带宽为
1 Mb/s



带宽为
4 Mb/s

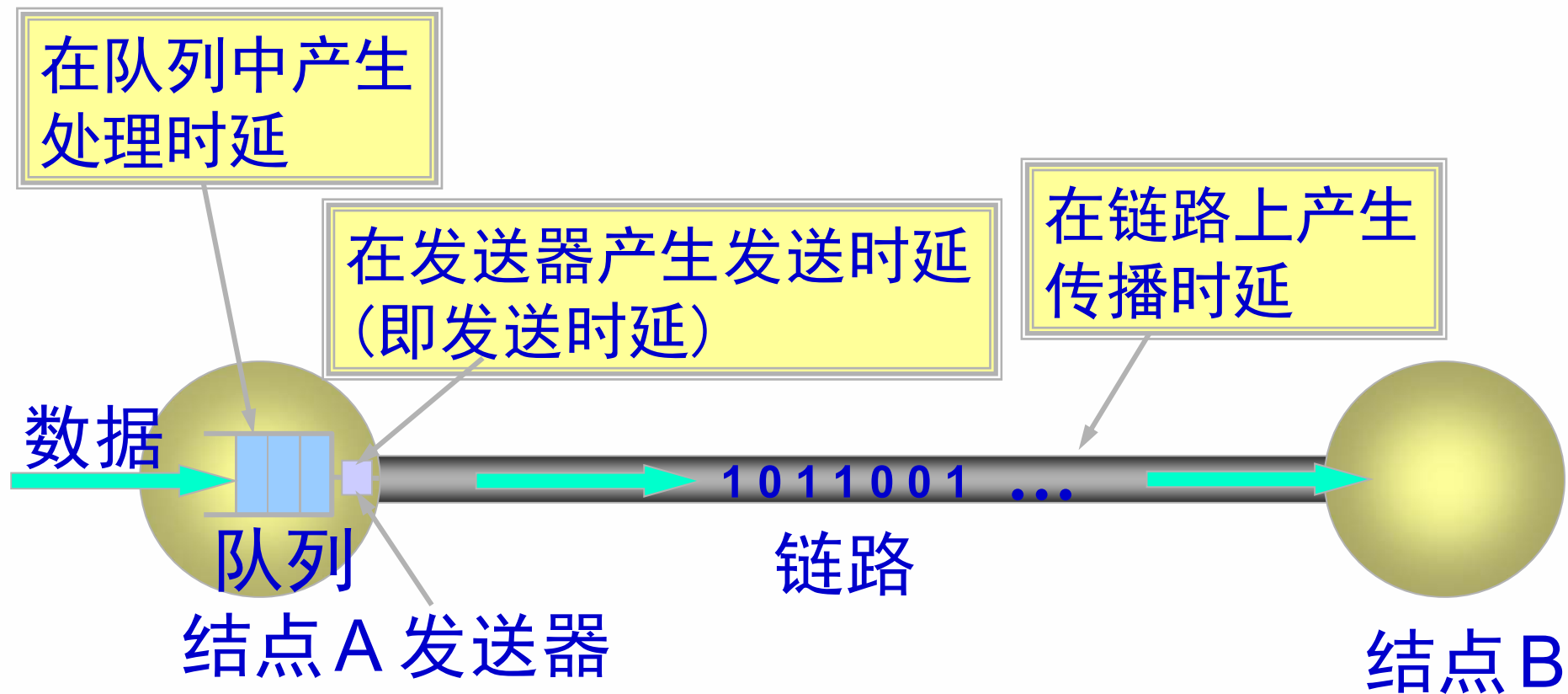


64



三种时延所产生的地方

从结点 A 向结点 B 发送数据





发送时延

- **发送时延**（传输时延）：发送数据时，数据块从结点进入到传输媒体所需要的时间。
- **信道带宽**：数据在信道上的发送速率。常称为数据在信道上的**传输速率**。

$$\text{发送时延} = \frac{\text{数据块长度（比特）}}{\text{信道带宽（比特/秒）}}$$



传播时延

- **传播时延**：电磁波在信道中需要传播一定的距离而花费的时间。
- 信号**传输速率**（即发送速率）和信号在信道上的**传播速率**是**完全不同的概念**。

$$\text{传播时延} = \frac{\text{信道长度（米）}}{\text{信号在信道上的传播速率（米/秒）}}$$



处理时延

- **处理时延**：交换结点为**存储转发**而进行一些必要的处理所花费的时间。
- 结点缓存队列中分组**排队**所经历的时延是处理时延中的重要组成部分。
- 处理时延的长短往往取决于网络中**当时的通信量**。
- 有时可用排队时延作为处理时延。



时延

- 数据经历的总时延就是发送时延、传播时延和处理时延之和：

$$\text{总时延} = \text{发送时延} + \text{传播时延} + \text{处理时延}$$

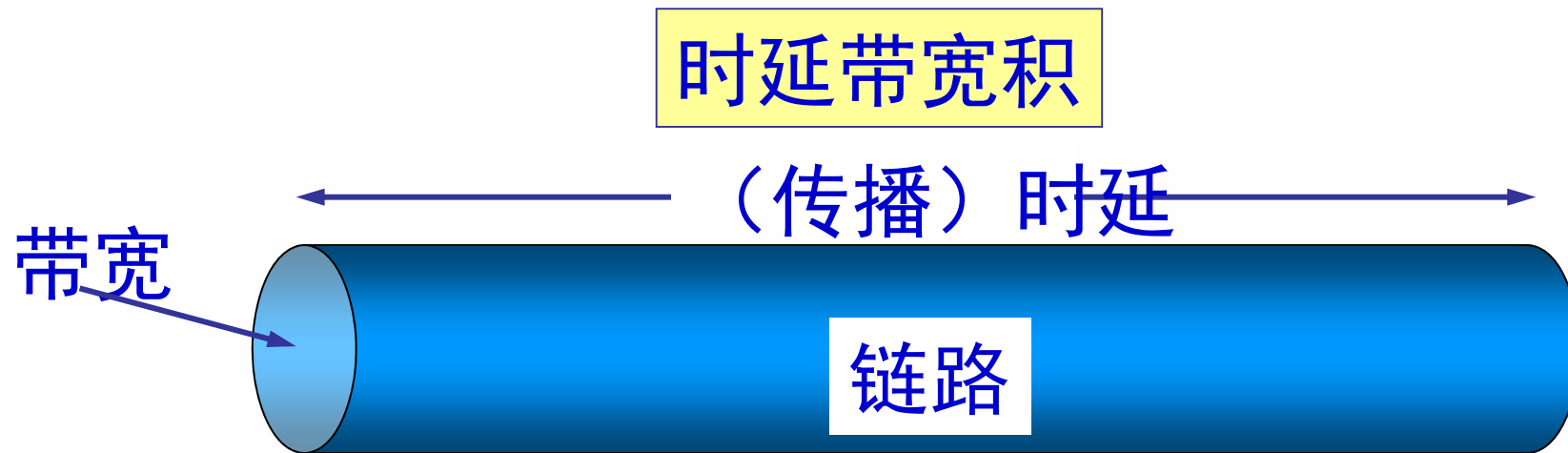


注意

- 对于高速网络链路，我们提高的仅仅是数据的发送速率而不是比特在链路上的传播速率。
- 提高链路带宽减小了数据的发送时延。



时延带宽积 (BDP)



$$\text{时延带宽积} = \text{传播时延} \times \text{带宽}$$

- 链路的时延带宽积又称为以**比特**为单位的链路长度。



往返时延RTT

- **往返时延 RTT (Round-Trip Time)** 表示从发送端发送数据开始，到发送端收到来自接收端的确认（接收端收到数据后立即发送确认），总共经历的时延。



吞吐量(throughput)

- 单位时间内通过某个网络（或信道、设备、端口）的数据量。
- 吞吐量受到网络带宽和网络速率的限制。
- 有时吞吐量可以用每秒传送的字节数或帧数来表示。



利用率

- 包括：信道利用率和网络利用率。
- 信道利用率：一段时间内信道被利用的时间的百分比。
- 网络利用率：全网络信道利用率的加权平均值。



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、网络功能、性能指标等。

●重点

- 了解计算机网络的分类、基本组成、性能指标以及计算机网络在信息化社会中的作用。