

计算机网络及应用

Computer Networks and Applications

第一讲 计算机网络和因特网

课程介绍、因特网、协议、网络边缘、网络核心、ISP和因特网主干

主讲：清华大学 贾庆山

<http://cfins.au.tsinghua.edu.cn/personalhg/jiaqingshan>

教材：J.F. Kurose, K.W. Ross, Computer Networking: A Top-Down Approach, Addison Wiley, 7th Edition, 2017 (机械工业出版社中文版, 2018)

清华大学 2022秋W1

1

投票 最多可选1项

通过《计算机网络及应用》课程你想学习什么？

- A 了解网络体系架构
- B 熟悉常用网络协议
- C 了解定量分析方法
- D 其他

清华大学 2022秋W1

2



清华大学 2022秋W1

3



百家号/vr2share
<https://baijiahao.baidu.com/a?id=1620160030566796701&wfr=spider&wfrpc=https://baijiahao.baidu.com/a?id=1619377938147328113&wd=spider&wfrpc>

清华大学 2022秋W1

5

中国主要互联网公司

公司	市值
腾讯	2.820万亿元
阿里巴巴	\$228.827billion(1.5万亿元)
美团	1.064万亿元
京东	\$86.474billion(5000亿元)
百度	\$42.740billion(3411亿元)
字节跳动	未上市(估值3-5万亿元)

注：在美国上市的公司市值以美元标注，中国（含香港）上市用人民币标注，时间为2022-09-16

清华大学 2022秋W1

6

腾讯(1998-至今)

Tencent 腾讯




马化腾
主要创办人
董事会主席兼首席执行官

腾讯云 腾讯广告

清华大学 2022秋W1

7

阿里巴巴集团(1999-至今)

简介：阿里巴巴集团由曾担任英语教师的马云与其他来自不同背景的伙伴共18人，于1999年在中国杭州创立。自推出让中国中小企业接触全球买家的首个网站以来，阿里巴巴集团不断成长，成为了一个涵盖中国商业、国际商业、本地生活服务、菜鸟、云、数字媒体及娱乐、创新业务及其他的生态体系。

Alibaba



张勇
董事会主席兼首席执行官

清华大学 2022秋W1

8

消费、云计算、全球化

阿里巴巴生态体系



清华大学 2022秋W1

9

美团(2010- 至今)



2018年9月，美团点评（股票代码：3690.HK）正式在港交所挂牌上市，市值1.064万亿人民币(截止2022.09.16)。



王兴
创始人、董事长兼首席执行官，2001年获清华大学电子工程学士学位，并于2005年获美国特拉华大学计算机工程硕士学位



美团
生活服务线上交易平台



大众点评
生活消费决策入口和内容分享平台



美团优选



美团买菜
美团自营生鲜零售业务

清华大学 2022秋W1

10

京东(2004-至今)

京东三大业务板块



刘强东，京东集团创始人
董事局主席

清华大学 2022秋W1

11

百度(2000-至今)

搜索服务

百度人工翻译
权威精准人工翻译

网页
搜索海量网络资料、资源

音乐

地图

社区服务

百度取证
电子数据取证/公正平台

百家号
内容变现和粉丝管理

百度安全社区
百度安全产品交流论坛

文库
阅读、下载、分享文档

贴吧
自由分享话题、参与讨论

知道
寻找答案、回答问题

站长与开发者服务

观星盘
全域AI营销数据平台

百度大脑
百度人工智能开放平台



李彦宏
百度创始人
董事长兼首席执行官

清华大学 2022秋W1

12

字节跳动(2012- 至今)



头条

抖音

西瓜视频

皮皮虾

火山引擎

飞书

抖音火山

抖音火山

抖音火山



清华大学 2022秋W1

13

课程简介

□ 定位：你的第一门计算机网络课程

- 许多新问题与新应用，深入思考令人新奇：
 - 腾讯市值
 - 上网的内在流程
 - 铁道部订票网站崩溃
 - 黑客网络攻击
 - 物联网与传感器网络
 - 移动互联网应用
 - 智能建筑
 - ...

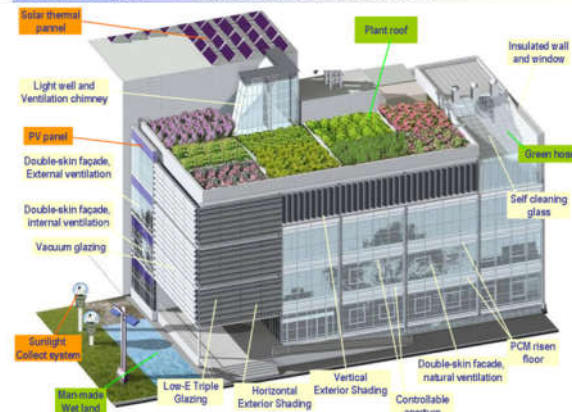
清华大学 2022秋W1

14

智能建筑的信息化与优化控制

- 楼宇节能与安全信息获取与传感器网络
- 基于舒适度的楼宇节能控制与优化策略

智网中心与建筑系的交叉研究项目



清华大学 2022秋W1

15

课程简介

□ 定位：你的第一门计算机网络课程

- 许多新问题与新应用，深入思考令人新奇：
 - QQ市值；上网的内在流程；铁道部订票网站崩溃；黑客网络攻击；物联网与传感器网络；移动互联网应用；智能建筑；等等
- 内容：以自顶向下(top-down)的方式讲授计算机网络/Internet的基本概念、设计原理、协议和典型应用
 - 基础知识：网络与Internet；应用层；传输层；网络层；数据链路层和LAN
 - 专门技术：无线和移动网络；(多媒体网络；网络安全；网络管理等)
- 学习方式
 - 课堂讲授+课外自习+作业+实验

清华大学 2022秋W1

16

教材

J.F. Kurose, K.W. Ross, Computer Networking: A Top-Down Approach, 7th Edition, Addison Wiley, 2017 (机械工业出版社中文版 2018)



第七版!

Prof. Jim F. Kurose <http://www.net.cs.umass.edu/personnel/kurose.html>
Prof. Keith W. Ross <http://cis.poly.edu/~ross/>

清华大学 2022秋W1

17

参考书



本课程的实验指导书
+2020年更新



Tanenbaum & Feamster
6th edition, 潘爱民译, 2022



谢希仁, 第8版, 2021

清华大学网络学堂 <http://learn.tsinghua.edu.cn>

清华大学 2022秋W1

18

教师和助教

贾庆山

清华大学自动化系 智网中心 (CFINS)

办公室: FIT-3-611

电话: 62773006

Email: jiaqs@tsinghua.edu.cn

主页

<http://cfins.au.tsinghua.edu.cn/personalhg/jiaqingshan>

开放办公时间: 周一下午14:00-15:00, info/教学/教学过程/开放交流时间/预约

助教:

韩少聪-hsc20@mails.tsinghua.edu.cn

何伟捷-hwj22@mails.tsinghua.edu.cn

周翰辰-zhouhc22@mails.tsinghua.edu.cn

赵乙宁-zhaoy22@mails.tsinghua.edu.cn

地点: FIT楼3区620/线上 (腾讯会议)

时间: 周四 19:00-20:00

清华大学 2022秋W1

19

教学规则

□ 课堂纪律

- 不迟到、不早退
- 举手发言
- 雨课堂学习、反馈与随机提问

□ 作业和实验

- 学术诚信要求
 - 不抄袭
 - 认定抄袭的双方, 此次作业判0分
 - 可以讨论, 按照自己的理解写出来
 - 按时提交作业
 - 尽量网络学堂提交, 作业提交截止日期一般为周日23:59, 一周内完成 (迟交需要联系老师或助教)
 - 最终分数=卷面评分*(1-0.1*迟交天数)

期末考试前, 需要提交所有作业与实验报告

清华大学 2022秋W1

20

评分原则

- 平时作业 (14次) 30%
 - 网络课堂提交, pdf格式, 命名: 学号_姓名_班级
- 实验 (5次) 20%
 - 网络命令、网络服务配置、套接字编程、TCP协议模拟、VLAN配置
- 期末考试 50%
 - 闭卷, 2小时

清华大学 2022秋W1

21

对典型计算机网络的回顾和展望

- 企业网
- 教育网
- 政府办公网
- 更大的网
-

清华大学 2022秋W1

22

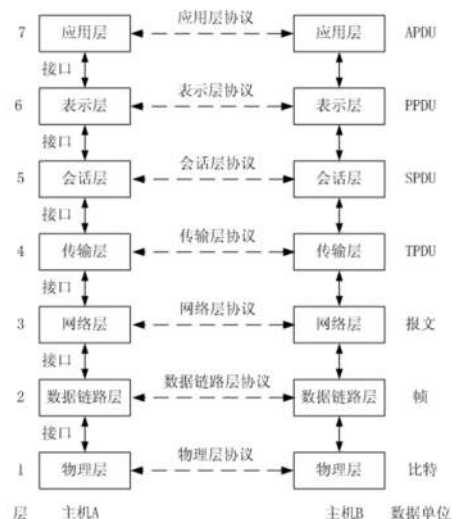
企业网络分层结构(ISO/FA模型) 1990

层次	机构	管理控制范围	职责	基本功能
6	公司级	公司全面管理	完成公司的任务、进行全面管理	公司管理、财务、市场和销售、研究与开发
5	工厂级	计划、生产	实现企业功能、计划和调度生产	产品设计和工艺、厂级生产管理、厂级资源管理、厂级设备管理、厂级产品制造
4	车间部门	分配管理原材料和资源	协调生产和提供作业，获取并分配资源	部门级生产管理、部门级资源管理、部门级设备管理、部门级产品制造、装运发货、废次品处理
3	单元级	协调多台机器的运转和操作	编排和管理车间下发的作业，监督各种支持服务	单元级车间生产
2	工作站级	发送机器工作命令	智慧和协调从车间设备的工作	工作站级车间生产
1	设备级	启动机器	实现对车间设备的各种命令	设备级车间生产

清华大学 2022秋W1

23

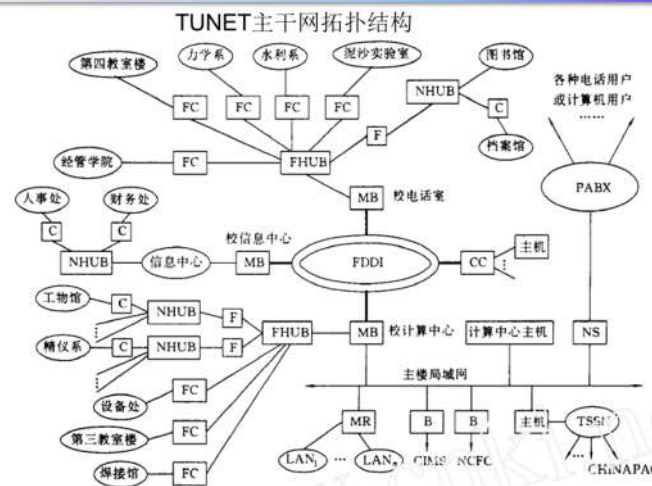
开放系统互联参考模型OSI/RM (ISO 7498-1)



清华大学 2022秋W1

24

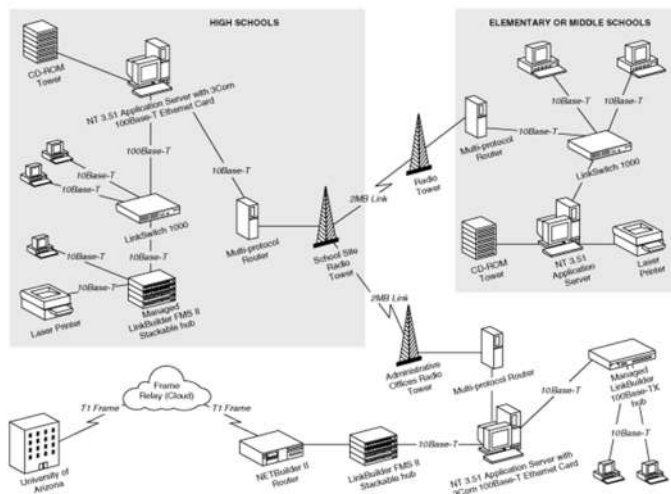
清华大学校园网（早期） 1996



清华大学 2022秋W1

25

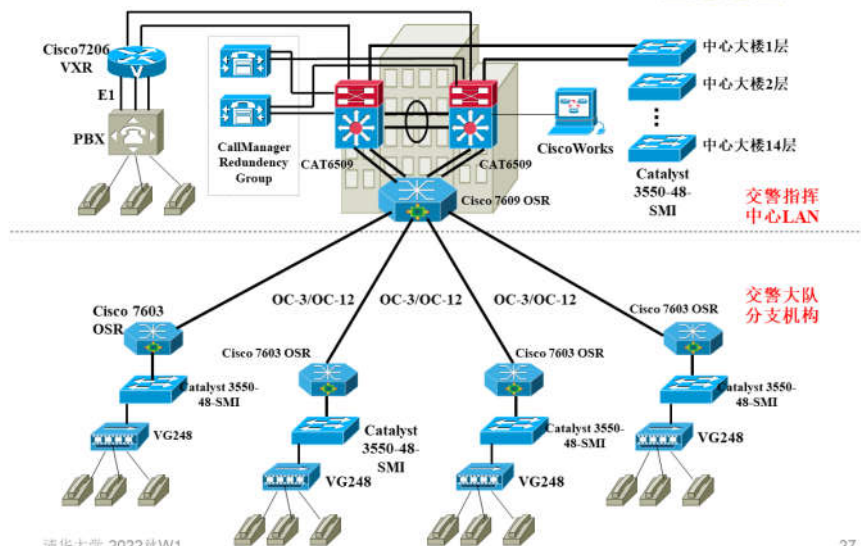
亚利桑那学校网络 1996



清华大学 2022秋W1

26

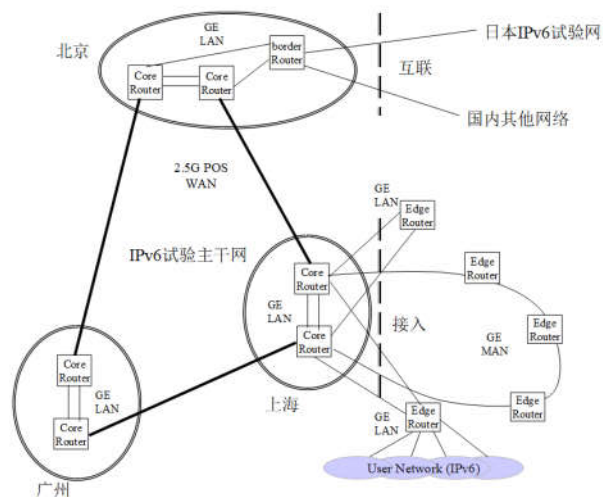
某城市交警指挥网络 2002



清华大学 2022秋W1

27

中国教育科研网第二代CERNET2 2006



清华大学 2022秋W1

28

SKYNET— Interplanetary Internet future



DTN: Delay Tolerant Networking
NASA, new protocol different from Internet



清华大学 2022秋W1

29

弹幕开启

- 因特网
 - 有何相同?
- VS
- 邮政递送系统
 - 交通系统
 - 航空
 - 铁路运输系统
 - 城市公交系统

弹幕开启

- 因特网
 - 有何不同?
- VS
- 邮政递送系统
 - 交通系统
 - 航空
 - 铁路运输系统
 - 城市公交系统

为什么要联网?

- 提供连通性
 - 链路
 - 节点
- 提供高性价比的资源共享方式
 - 多路复用(multiplexing)
 - 交换 (switching)
 - 局域网(LAN) / 广域网(WAN) / 城域网(MAN)
- 提供公共服务: 在两个通信端之间建立功能信道
 - 识别共同的通信模式: FTP, WWW浏览, 基于网络的视频应用
 - 可靠性: 校验和, 错误检测, 重传

提纲

- 什么是因特网 (Internet) ?
 - 网络边缘
 - 接入网与物理介质
 - 网络核心
 - ISP和因特网主干
 - 分组交换网中的时延、丢包、吞吐量
 - 协议层及服务模型
 - 网络安全
 - 计算机网络与因特网历史
- } 因特网组成要素

什么是因特网？构成细节描述

□ 数以百万计的互联的计算设备：

主机(hosts)或端系统(end-systems)

- 传统设备：PC、工作站、服务器
- 非传统设备：智能手机、智能家电
- 运行网络应用程序

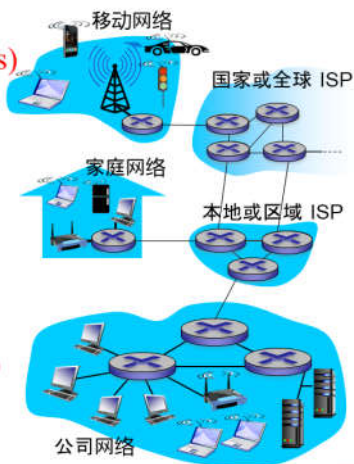
□ 通信链路

- 光纤,铜线,无线电,卫星等
- 传输率：带宽(bandwidth)

□ 分组交换设备

通过网络转发数据分组(packets)或数据块

- 路由器(routers)和交换机(switches)



清华大学 2022秋W1

34

端系统接入设备



ADSL Modem



网卡



无线局域网设备



RJ-45接口的双绞线

清华大学 2022秋W1

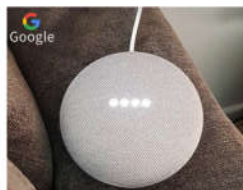
35

非传统设备—Are these “Cool” ?



智能手机

<https://item.jd.com/44125750190.html>



Google智能音箱

<https://item.jd.com/44679675466.html>



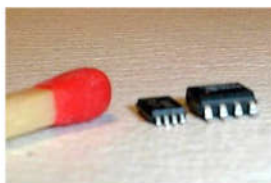
远程监控

<https://item.jd.com/2770504.html>



IP像框

<http://www.ceivo.com/>



世界最小的Web服务器

<http://ml110.com>



Internet 冰箱

清华大学 2022秋W1

36

炫酷的端系统



Logitech SqueezeBox



NEST smart thermostat

清华大学 2022秋W1

37

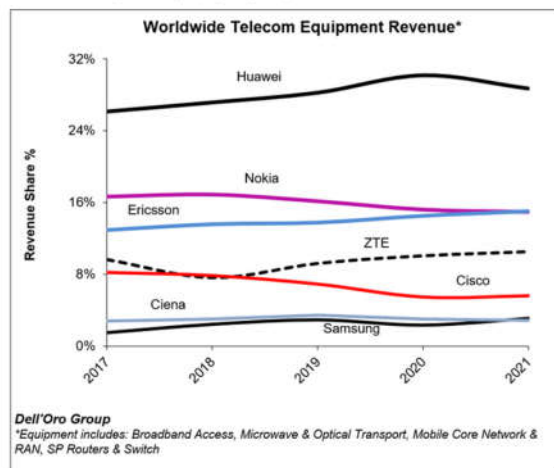
智能终端互联



网络设备



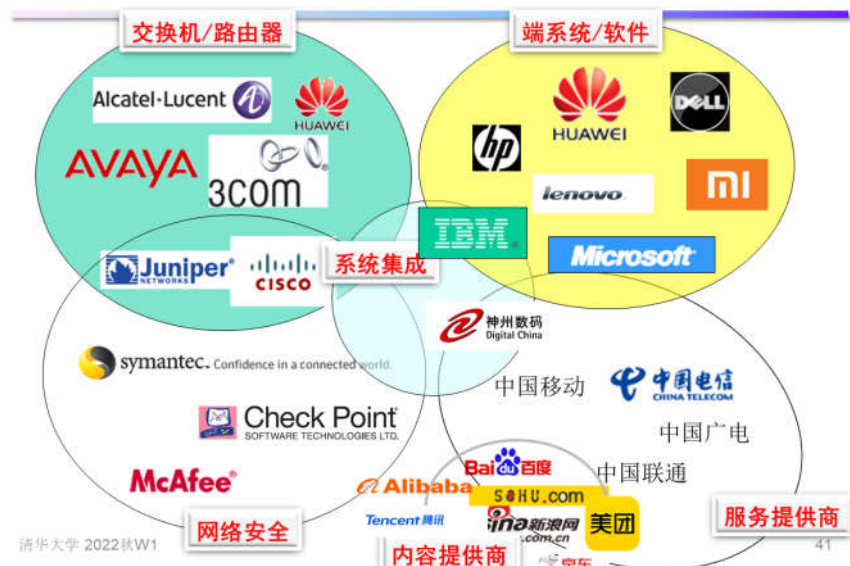
电信设备市场报告



清华大学 2022秋W1

图片来源: <https://new.qq.com/rain/a/20220315A03PWU00>

网络产品和制造商



什么是因特网？构成细节描述

□ 协议：控制报文的发送、接收

- 例如 TCP, IP, HTTP, FTP, PPP

□ 因特网：“网络之网络”

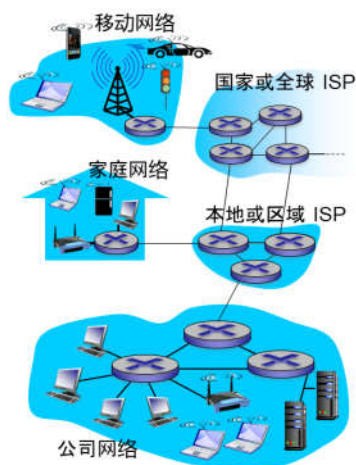
- 松散的层次结构
- 公用因特网internet vs. 私有内联网intranet
- 互联的ISP

□ 因特网标准

- RFC: Request for comments
- IETF: 因特网工程任务组
Internet Engineering Task Force



清华大学 2022秋W1



42

什么是因特网？面向服务的视角

□ 因特网通过通信基础设施 (communication infrastructure) 允许分布式应用程序运行

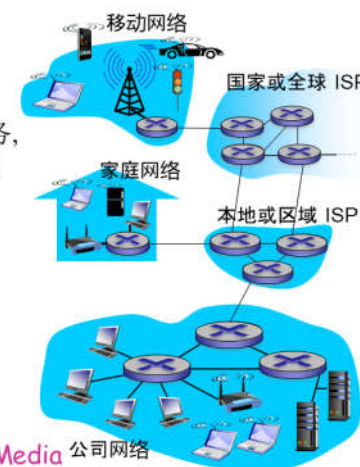
- WWW, email, 网络游戏, 电子商务, 批量数据传送, 网上投票, 点对点文件(MP3)共享, 社交网.....

□ 为分布式应用程序提供服务

- 面向连接的可靠服务
- 无连接的不可靠服务

下列服务的类型？

Email, Web, IP Telephony, Stream Media



清华大学 2022秋W1

43

因特网三要素

设备 协议 服务

清华大学 2022秋W1

44

什么是协议(Protocol)?

人类协议

- “现在几点了？”
- “我有个问题”
- 自我介绍

... 特定的发送报文

... 当收到报文或其它事件发生后的所采取的特定的动作

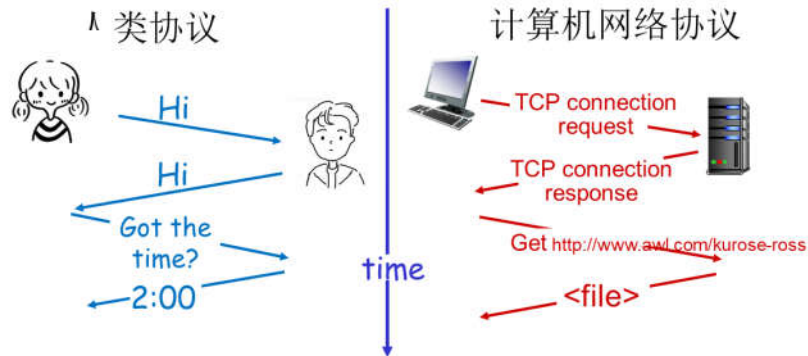
网络协议

- 针对机器而不是人
- 因特网上的所有通信活动都通过协议来控制

清华大学 2022秋W1

45

什么是协议？



清华大学 2022秋W1

46

协议

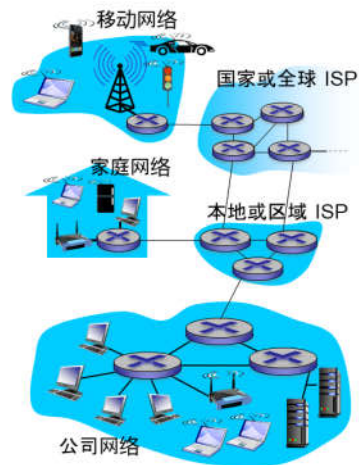
- 定义网络实体之间交换报文的**格式**和**次序**
- 定义报文发送/接收以及其它事件所采取的**动作**

清华大学 2022秋W1

47

更近距离观察网络结构

- 网络边缘**
 - 应用程序、端系统
- 网络核心**
 - 路由器
 - 网络的网络
- 接入网, 物理介质**
 - 通信链路

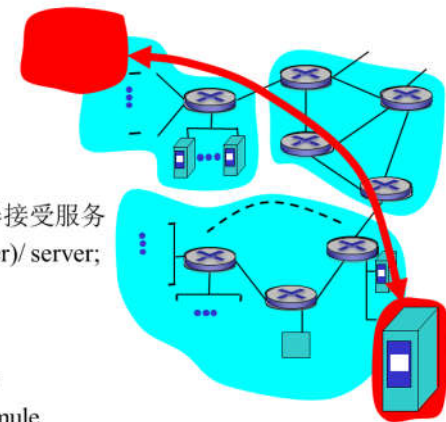


清华大学 2022秋W1

48

网络边缘

- 端系统 (主机)**
 - 运行应用程序
 - 例子, WWW, email
 - 处于“网络的边缘”
- 客户/服务器结构**
 - 客户机发出请求, 从服务器接受服务
 - 例子, WWW client (browser)/ server; email client/server
- 点对点(P2P)模型**
 - 主机之间的交互是对称的
 - 例子: Gnutella, KaZaA, emule



清华大学 2022秋W1

50

智能手机位于____，电子邮件服务器位于____

- A 网络边缘，网络边缘
- B 网络边缘，网络核心
- C 网络核心，网络边缘
- D 网络核心，网络核心

C/S vs. P2P

集中还是分散？

C/S

- 计算能力、信息和数据集中在服务器端
- 服务器及网络的带宽决定了性能
- 被发布信息的分布与生存期十分稳定
- 被发布信息的存储与管理比较集中、规范

P2P

- 对等点地位相同，既可请求服务也可以提供服务，还可以具有路由器和高速缓冲存储器的功能
- 信息资源、处理器、高速缓存等资源利用充分
- 加入或退出随意
- 信息的存储及发布随意,缺乏集中有效的管理

网络边缘：面向连接的服务

目的

端系统之间的数据传送

- 握手(Handshaking): 为随后突然到来的分组预先做好准备
 - Hello, hello back human protocol
 - 在两个通信主机之间设置“状态”
- TCP - 传输控制协议
 - 因特网的面向连接的服务

TCP服务[RFC 793]

- 可靠的、保序的(in-order)基于字节流的数据传送
 - 数据丢失
 - 确认和重传
- 流量控制
 - 发送方不能淹没接受方
- 拥塞控制
 - 当网络拥塞时，降低发送方的发送速率

网络边缘：无连接的服务

目的 端系统之间的数据传送 问题：既生瑜，何生亮？

送 - 与前面的情况相同！

- UDP - 用户数据报协议[RFC 768]: 因特网的无连接协议
 - 不可靠的数据传送
 - 没有流量控制
 - 没有拥塞控制

使用TCP的应用

- HTTP (WWW)
- FTP (file transfer)
- Telnet (remote login)
- SMTP (email)

使用UDP的应用

- streaming media
- 远程会议
- Internet电话

下列关于UDP的描述哪个是错误的

- A 不可靠的数据传输
- B 没有流量控制
- C 没有拥塞控制
- D 仅适合于网络环境较差的情况

网络性能指标

网络性能指标

- 带宽(Bandwidth)与时延(Latency/Delay)
 - 往返时间(RTT): Round trip time
 - $\text{Latency} = \text{Propagation} + \text{Transmission} + (\text{Processing}) + \text{Queue}$
 - $\text{Propagation} = \text{Distance} / \text{Speed of Light}$
 - $\text{Transmission} = (\text{Size} / \text{Bandwidth}) * \text{\#Hops}$
 - $\text{Queue} = 5 - 100 \text{ Transmission}$
- 带宽时延积(Bandwidth-Delay Product = delay*bandwidth), 即链路上的最大比特数, 也称以比特为单位的链路长度
- 与应用相关的性能需求

带宽 (Bandwidth)

数字信号在特定链路上的传输速率 (bit/s)

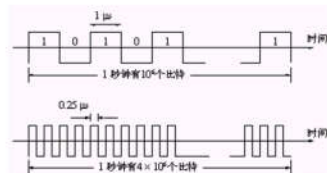


图 1-10 随着带宽的增大, 数字信号在时间轴上的宽度就随窄

常用符号

$$1K = 10^3$$

$$1M = 10^6$$

$$1G = 10^9$$

$$1T = 10^{12}$$

$$1Ki = 2^{10}$$

$$1Mi = 2^{20}$$

$$1Gi = 2^{30}$$

$$1Ti = 2^{40}$$

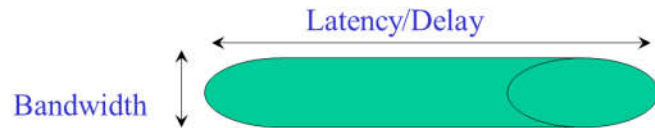
$$1KiB = 1.024KB$$

$$2KiB = 2.048KB$$

$$4KiB = 4.096KB$$

不是k和K之分, 是K和Ki之分
欢迎大家一起来纠错!

带宽时延积 BDP



某横贯大陆的通信信道，单向时延为50ms，带宽45Mbps能够

$$50 \times 0.001s \times 45 \times 1,000,000 \text{bits/s} = 2.25 \text{Mb} = 280 \text{K Byte}$$

由于有往返时间的要求，在收到来自接收方的确认信号之前(ACK)，发送方可以最多发送两个这样的时延带宽积。

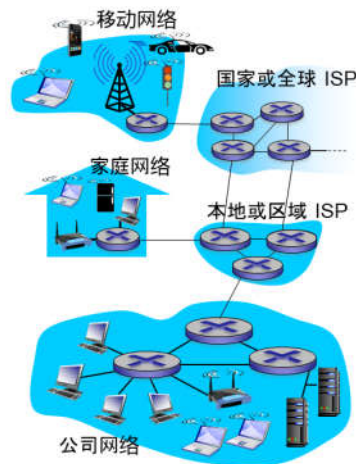
如果传送的信息量不能填满这样的“管道”，则链路未被充分利用。

网络应用简介

- 因特网的角色
 - 通用信息交换平台
 - 新一代生活方式
- 因特网将“三网合一”
 - 计算机网络
 - 电信网
 - 广播电视网
- 因特网应设置界限或定义边界
 - 安全性问题

接入网(Access Network)

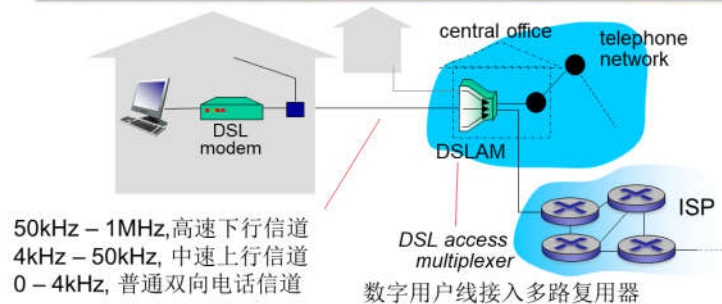
- 端系统连接到其边缘路由器 (edge router) 的物理链路
- 边缘路由器是端系统到任何其他远程端系统的路径上的第一台路由器
- 网络接入类型
 - 住宅接入
 - 公司接入
 - 无线接入
- 这些分类并不严格



住宅接入(residential access)

- 将家庭端系统 (PC或家庭网络) 与边缘路由器相连接。
- 形式1: 通过普通模拟电话线用拨号调制解调器 (dial-up modem) 与住宅ISP相连。
- 实质: 接入网络由一对调制解调器和一条电话线组成。
- 速率: 56Kbps, 或更低
- 下载3分钟MP3需8分钟
- 不能在网上同时打电话
- 原理
 - 家用调制解调器将PC输出的数字信号转换为模拟形式
 - 模拟电话线为双绞铜线
 - 另一端, ISP的调制解调器再将模拟信号转换回数字形式, 作为ISP路由器的输入。
- 新型宽带接入技术
 - 数字用户线(Digital Subscriber Line, DSL) [DSL 2007]
 - 混合光纤同轴电缆(Hybrid Fiber-Coaxial Cable, HFC) [Cable Labs 2007]

住宅接入：数字用户线 Digital Subscriber Line (DSL)



- 使用**现有**的连接到局端机房DSLAM的电话线
 - DSL电话线上的数据连接到因特网
 - DSL电话线上的语音连接到电话网
- 上传传输率最高达2.5Mbps (通常<1Mbps)
- 下载传输率最高达24 Mbps (通常<10 Mbps)

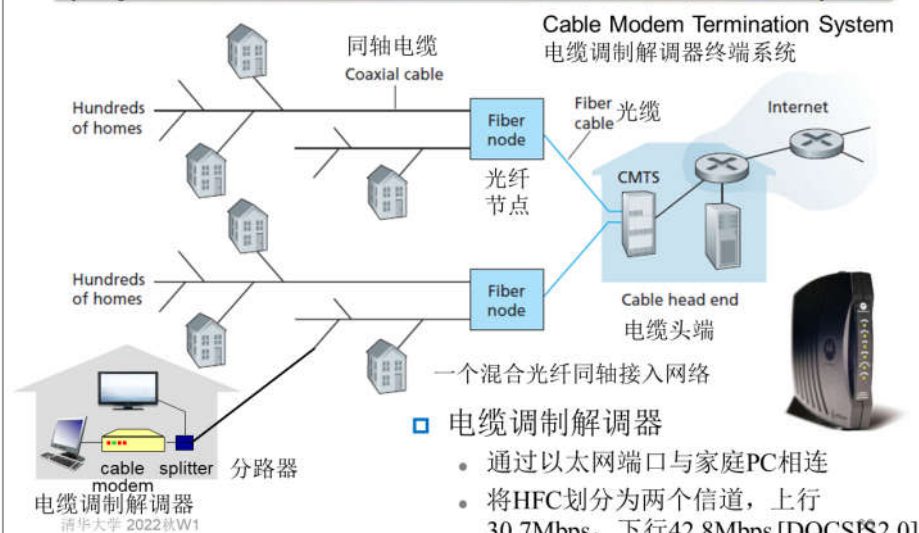
问题: ADSL
为什么设计为非对称的?

清华大学 2022秋W1

限制中央办公室与家庭距离在16公里之内

64

住宅接入：混合光纤同轴电缆 (Hybrid Fiber-coaxial Cable, HFC)



- 电缆调制解调器
 - 通过以太网端口与家庭PC相连
 - 将HFC划分为两个信道，上行30.7Mbps，下行42.8Mbps [DOCSIS2.0]

住宅接入

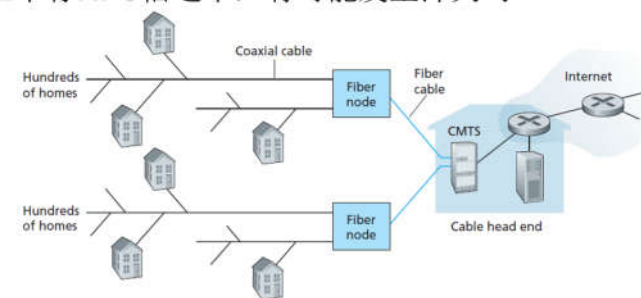
- HFC共享广播媒体
 - 多户同时下载不同MP3，实际速率远低于下行速率
 - 很少用户同时查看网页，很少完全同时请求，几乎每户下行速率接近全部速率
 - 需要分布式多路访问协议，协调传输和避免碰撞
- DSL vs. HFC，专享？共享？
- 卫星链路，超过1Mbps将住宅与因特网相连
- DSL, HFC, 卫星接入总是在线，同时拨打和接收普通电话

清华大学 2022秋W1

67

单选题 1分

在下行HFC信道中，有可能发生冲突吗？



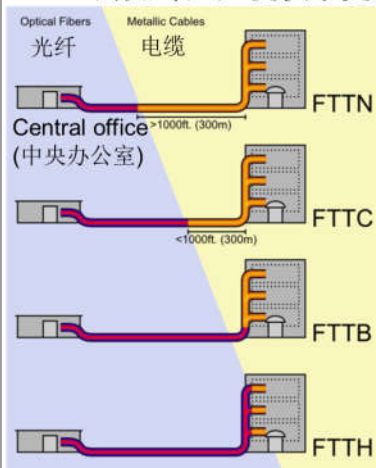
- A 是
- B 否

清华大学 2022秋W1

68

住宅接入：光纤入户(Fiber to the Home, FTTH)[FTTH Council 2011a]

- 目前美国近90%的住宅宽带接入使用DSL或HFC，但新近的光纤入户提供了更高带宽。



Fiber to the neighborhood

Fiber to the curb (路边)

Fiber to the building

Fiber to the home

- FTTH中，中央办公室出来的光纤为多户共享。在接近用户家庭时，分为每户独占的光纤。

- 光纤接入的优势

- 更快，更高的带宽 10 M/100M/1G

- 更稳定

- Future proof

- 更快的铜线技术VDSL

- 应用于HDTV, VoIP

- >100M bit/s

- ITU G.993.1

69

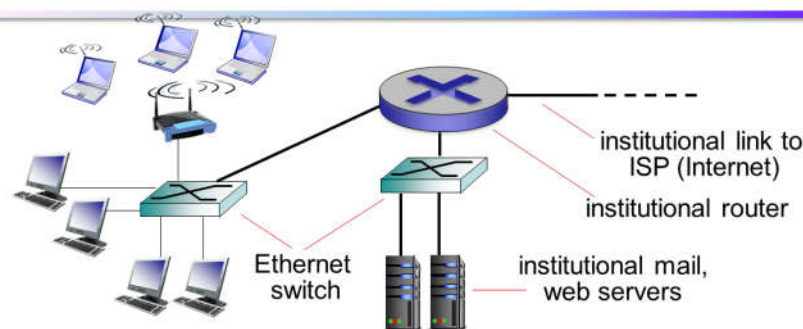
住宅接入一小结

接入方式	设备	速度	备注
DSL	DSL调制解调器 数字用户线接入复用器 (DSLAM)	15Mbps上行 55Mbps下行	电话公司 不对称，专用 5~10英里范围内
电缆	电缆调制解调器 电缆调制解调器端接系统	30.7Mbps上行 42.8Mbps下行	有线电视公司 不对称，共享
FTTH	AON 光纤网络端接器 分配器	可到Gbps	大多数ISP提供不同价格、不同速率的服务
	PON 光纤线路端接器		
卫星		1Mbps	
拨号	家庭调制解调器 ISP调制解调器	56Kbps	电话公司

清华大学 2022秋W1

70

公司接入：局域网(LAN)



- 用局域网(LAN)把端系统连接到边缘路由器

- 以太网 Ethernet

- 通过共享的(shared)或独享的(dedicated)电缆连接端系统和路由器
- 10 Mbs, 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps

- 部署：机构（公司、大学等）

清华大学 2022秋W1

71

无线接入

- 共享的无线接入网络把端系统连接到路由器

- 通过无线基站(Access Point)接入

- 无线局域网(Wireless LANs)

- 无线射频代替线缆
- IEEE 802.11b/g/n (WiFi): 11 or 54 Mbps or 248Mbps)

- 广域无线接入网

- 移动通信运营商提供
- 通用分组无线业务GPRS (General Packet Radio Service)
- 增强型分组无线通信业务EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)
- 3G: ~384 Kbps
- 4G: Long-Term Evolution (LTE)长距离增强型
- WiMAX IEEE 802.16 (长距离变种)

独立于蜂窝网络，跨越数千米，5-10Mbps

清华大学 2022秋W1



几十米

to Internet

to Internet

几千米

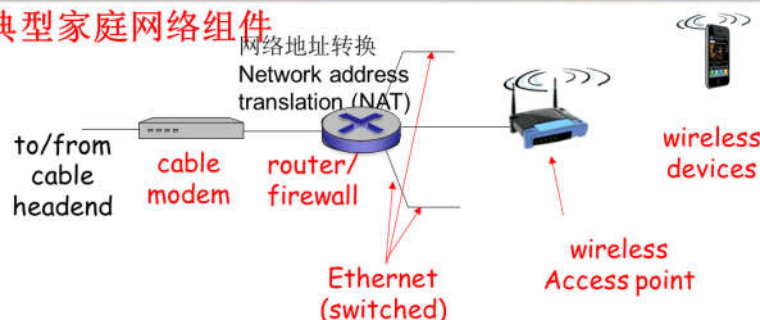
72

家庭网络

问题

你的家庭/宿舍网络是怎样的?

典型家庭网络组件



- ADSL or cable modem 接入Internet
- router/firewall/NAT 家庭网到Internet的交换及安全
- Ethernet 局域网环境
- wireless access point 提供无线接入

Router/firewall/无线AP, 通常合一
俗称无线路由器

清华大学 2022秋W1

接入网：正在合并！

■ 典型例子

- 计算机网络: LAN
- 电信网络: POTS modem, ISDN, ADSL modem...
- CATV's: Cable Modem
- 移动网络
 - Base Station
 - GPRS/EDGE/3G/4G
 - Wi-Fi

普通老式电话服务

Plain old telephone service (POTS)

集成服务数字网络

Integrated service digital network (ISDN)

MERGE!
多网合一

通用分组无线业务

General Packet Radio Service (GPRS)

增强型分组无线通信业务

Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE)

清华大学 2022秋W1

74

物理介质

非屏蔽双绞线

Unshielded Twisted Pair, UTP

传输速率取决于线的厚度和传输接收距离

(1) 双绞铜线 (Twisted Pair)

■ 类型

- Category 3 (3类): 传统电话线, 10 Mbps Ethernet
- Category 5 (UTP-5): 100Mbps Ethernet, 几百米
- Category 5e (超5类线)
- Category 6: >1Gbps, 距离低于100米



■ 物理链路

- 传送的**数据位(bits)**沿通信链路传播

■ 导引型媒体

- 信号沿固体介质传播: 光纤、双绞铜线、同轴电缆

■ 非导引型媒体

- 信号在空中或太空中自由传播, 例如: 无线局域网或数字卫星频道

成本远小于其他网络成本, 同时安装

清华大学 2022秋W1

物理介质：同轴电缆，光纤

不受电磁干扰, 长距衰减极低, 适合长距
但光设备成本高, 短途应用受阻碍

(2) 同轴电缆

■ 基带Baseband

- 电缆上有单个信道
- 常在10Mbps Ethernet 中使用

■ 宽带Broadband

- 电缆上有多个信道
- HFC

■ 双向传播

外层金属网屏蔽信号辐射

两个铜导体
同心不并行

共享媒体
所以端系统都能接收由
其他端系统发送的东西

清华大学 2022秋W1

(3) 光纤

■ 类型

- 单模Single Mode: 远距
- 多模Multiple Mode: 中短距

■ 高传输速率

- 点对点高速传送(e.g., 10 – 100 Gbps)

■ 低误码率: 中继器间隔很远; 抗电磁噪声

利用全反射原理, 中继放大器贵;
问题: 什么时候需要避免全反射?



76

物理介质：无线电

陆地无线电信道
卫星无线电信道

- 信号由电磁波频谱来承载
- 没有物理的“线路”
- 双向
- 传播环境的影响
 - reflection 反射
 - obstruction by objects 阻挡
 - Interference 干扰多径衰落，阴影衰落

无线电链路类型

- Microwave 微波
 - 例如，高达45 Mbps的信道
- 局域网 (e.g., WiFi) 几十到几百米
 - 11Mbps, 54 Mbps
- 广域网 (e.g., cellular) 几千米
 - 3G 几百Kbps
 - 4G 可达到100Mbps
 - 5G 高达20Gbps
- 卫星网 Satellite
 - 数Kbps到45 Mbps的信道 (或多个带宽小一点的信道)
 - 270ms 的端到端时延
 - 地球同步或低轨卫星

清华大学 2022秋W1

77

提纲

- 什么是因特网 (Internet)
 - 网络边缘
 - 接入网与物理介质
 - 网络核心
 - ISP和因特网主干
 - 分组交换网中的时延、丢包、吞吐量
 - 协议层及服务模型
 - 网络安全
 - 计算机网络与因特网历史
- 因特网组成要素

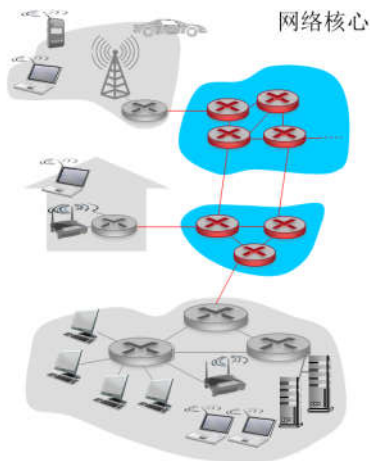
清华大学 2022秋W1

78

网络核心

预先订座，有点麻烦，但有保障
不用预订，比较方便，有时排队

- 互联的路由器织成一张“大网”
- 数据是如何通过网络传送的？
 - 电路交换(circuit switching)
为每次呼叫分配一条专用线路：电话网
 - 分组交换(packet switching)
数据被拆散为离散的“数据块”通过网络传送



清华大学 2022秋W1

79