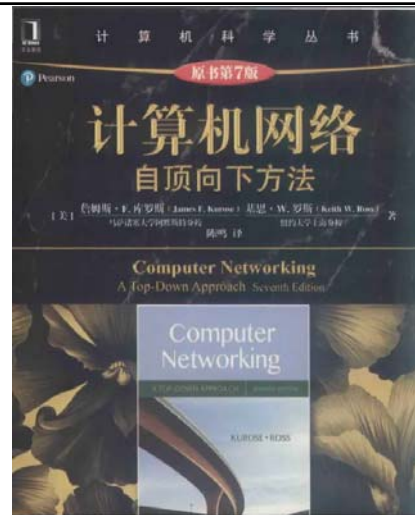


Chapter 1 计算机网络简介 Introduction



Chapter 1: 简介

目标:

- 总体上认识计算机网络, 介绍术语
 - 深入内容和细节在后续课程
- 方法:
 - 以因特网为例



概述:

- 因特网: 什么是因特网?
- 协议: 什么是协议?
- 网络边缘**: 主机(host), 接入网络 (access network), 物理媒体 (physical media)
- 网络核心**: 电路/分组交换 (packet/circuit switching), 网络结构 (internet structure)
- 性能**: 丢包 (loss), 时延 (delay), 吞吐量 (throughput)
- 网络安全
- 协议层次和服务模型
- 计算机网络的历史

Introduction: 1-2

具体构成描述 (硬件和软件)



数十亿互联的设备:

- 主机 = 端系统
- 主机上运行的应用



包/分组交换机: 转发分组 (数据块)

- 路由器, 交换机

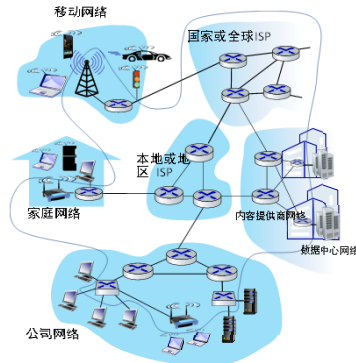


通信链路

- 光纤, 铜缆, 无线电, 卫星
- 传输速率: 带宽

网络

- 设备、路由器、链路的集合: 由一个组织管理



Introduction: 1-3

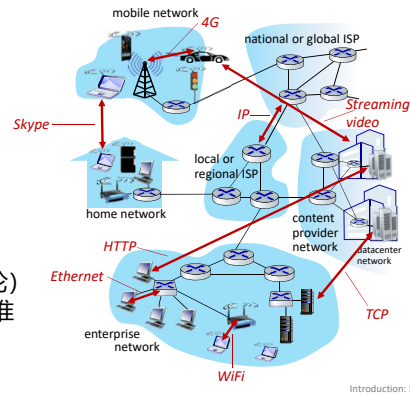
世界范围的计算机网络



Introduction: 1-4

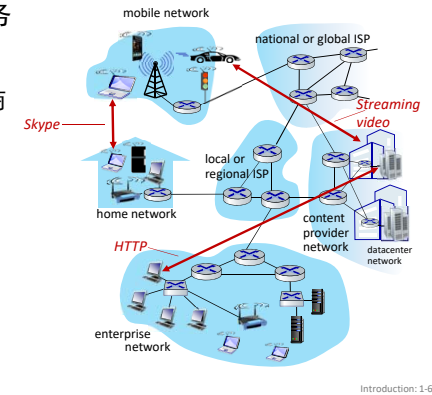
具体构成描述（硬件和软件）

- **因特网**：“网络的网络” 互
联的 ISPs
- **协议** 无处不在
 - 控制消息的发送和接受
 - e.g., HTTP (Web), 视频流, Skype, TCP, IP, WiFi, 4G, 以太网
- **互联网标准 Internet standards**
 - RFC: Request for Comments(请求评论)
 - IETF: 因特网工程任务组, IETF的标准文档成为RFC



服务描述

- **基础设施**：为应用程序提供服务
 - 大量的应用：Web, 流媒体, 多媒体电话会议, 邮件, 游戏, 电子商务, 社交媒体, 互联电器, ...
- **编程接口**：为分布式应用程序提供编程接口：
 - 允许发送/接收应用“连接”、使用互联网传输服务的“挂钩”
 - 提供类似于邮政服务的服务选项



什么是协议？

人类协议：

- “几点了？”
- “我有个问题”
- 介绍

... 发送的特定报文
... 接收到的报文或其他
事件采取的动作

网络协议：

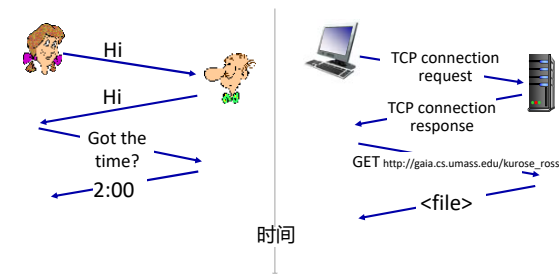
- 计算机（设备）而非人类
- 互联网中所有的通讯活动都由协议控制

协议定义通信实体间**发送/接收报文的格式、顺序**以及对报文发送和接收所**采取的动作**

Introduction: 1-7

什么是协议？

人类协议和计算机网络协议：



Q: 你能想起哪些人类的协议？

Introduction: 1-8

Chapter 1: 内容

- 什么是因特网?
- 什么是协议?
- **网络边缘**: 主机, 接入网络, 物理媒体
- 网络核心: 分组/电路交换, 网络结构
- 性能: 丢包, 时延, 吞吐量
- 网络安全
- 协议层次, 服务模型
- 计算机网络的历史

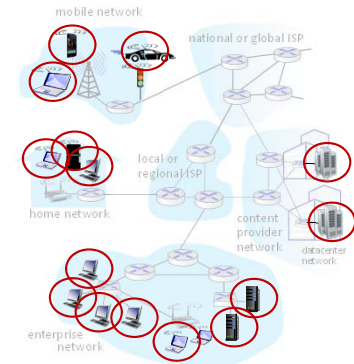


Introduction: 1-9

因特网的结构

网络边缘 Network edge:

- 端系统 (也称为主机)
 - 主机: 客户 clients 和 服务器 servers
 - 服务器: 通常在数据中心

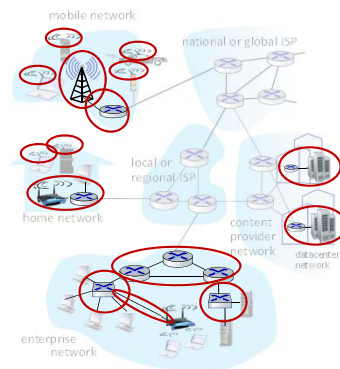


Introduction: 1-10

因特网的结构

网络边缘 Network edge:

- 端系统 (也称为主机)
 - 主机: 客户 clients 和 服务器 servers
 - 服务器: 通常在数据中心
- 接入网 Access networks
 - 将端系统物理连接到其边缘路由器 (edge router) 的网络
- 物理媒体 (媒介) physical media
 - 有线, 无线通信链路



Introduction: 1-11

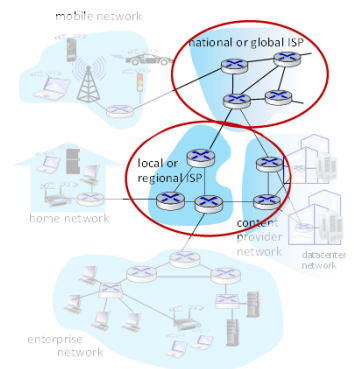
因特网的结构

网络边缘 Network edge:

- 端系统 (也称为主机)
 - 主机: 客户 clients 和 服务器 servers
 - 服务器: 通常在数据中心
- 接入网 Access networks
 - 将端系统物理连接到其边缘路由器 (edge router) 的网络
- 物理媒体 (媒介) physical media
 - 有线, 无线通信链路

网络核心 Network core:

- 互联的路由器
- 网络的网络



Introduction: 1-12

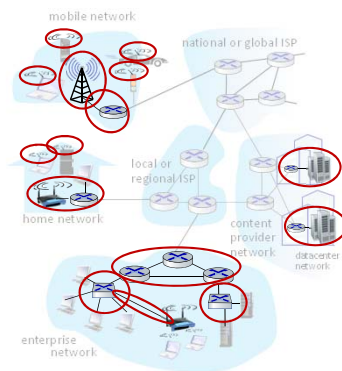
接入网络和物理媒体

Q: 如何连接端系统和边缘路由器?

- 家庭接入
- 无线接入 (WiFi, 4G/5G/6G)
- 企业接入 (学校, 公司)

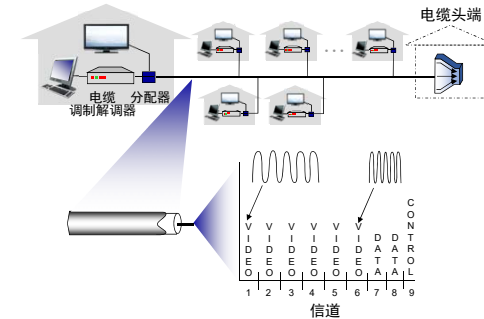
选择接入网时主要考虑什么?

- 接入网带宽?
- 共享或专用?



Introduction: 1-13

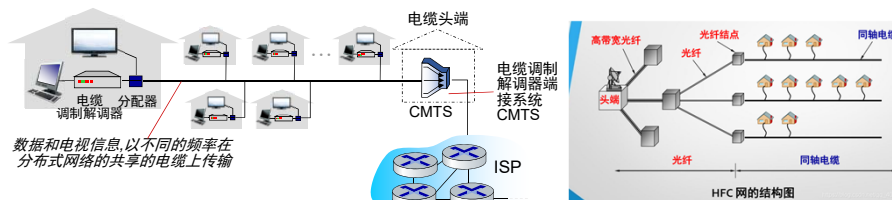
家庭接入：电缆接入网



频分复用(FDM): 不同的信道在不同的频带中传输

Introduction: 1-14

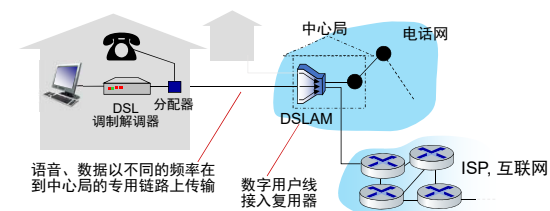
家庭接入：电缆接入网



- 混合光纤同轴接入网 HFC: hybrid fiber coax
 - 是以光纤作为传输骨干, 采用模拟传输技术, 通过频分复用的方式传输模拟和数字信息的网络
 - 非对称: 下行传输速率 40 Mbps – 1.2 Gbps, 上行传输速率 30-100 Mbps
- 电缆、光纤网络将家庭连接到ISP路由器上, 共享的接入网络

Introduction: 1-15

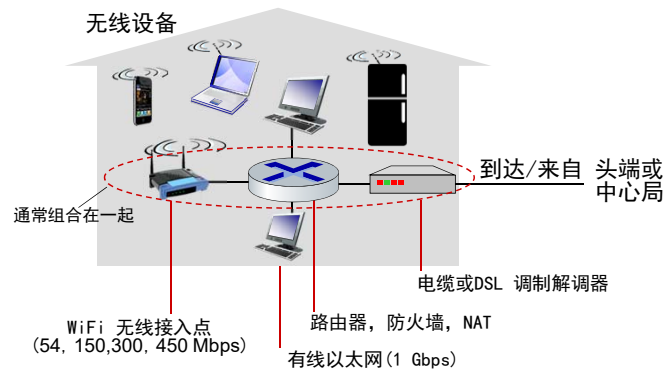
家庭接入：数字用户线接入网 DSL



- 用户通常从提供本地电话接入的本地电话公司处获得DSL因特网接入
- 使用已有的电话线(双绞铜线)接入到中心局的DSL接入复用器DSLAM:
 - DSL电话线中的数据传送到因特网
 - DSL电话线中的音频传送到电话网
- 下行传输速率 24-52 Mbps
- 上行传输速率 3.5-16 Mbps

Introduction: 1-16

家庭接入网



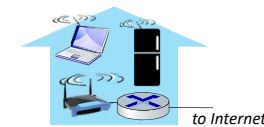
Introduction: 1-17

无线接入网

共享无线接入网 - 连接端系统到边缘路由器

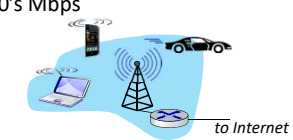
无线本地网络 Wireless local area networks (WLANs)

- 室内(~30米)
- 802.11b/g/n (WiFi): 11,54,450 Mbps 传输速率



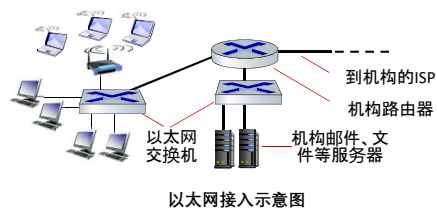
广域蜂窝接入网络 Wide-area cellular access networks

- 通过基站 (也称为接入点)
- 4G、5G网络(6G)
- 由移动、蜂窝网络运营商提供(10's km)
- 10's Mbps



Introduction: 1-18

企业接入网



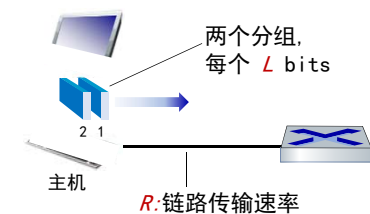
- 公司, 大学等
- 有线、无线链路技术的混合, 交换机和路由器的混合连接
 - 以太网 Ethernet: 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps
 - WiFi: 11, 54, 450 Mbps

Introduction: 1-19

主机：发送数据分组

主机发送功能：

- 接受应用程序报文
- 分解成较小的块, 称为数据分组, 长度L位
- 以传输速率 R 将数据分组传输到接入网络
- 链路传输速率 (链路容量或链路带宽)



$$\text{分组传输时延} = \frac{\text{传送 } L\text{-bit 分组到链路所需时间}}{R} = \frac{L}{R} \text{ (bits/sec)}$$

Introduction: 1-20

链路:物理媒体

- **比特**: 在发送器和接收器间传送
- **物理链路**: 发送器和接收器之间的通道
- **导引型媒体**:
 - 电波/信号在固体介质中传播: 铜线、光纤、同轴电缆
- **非导引型媒体**:
 - 电波/信号自由传播, 例如无线电

双绞线Twisted pair (TP)

- 两根绝缘铜线, 绞合起来
 - 5类: 100 Mbps, 1 Gbps 以太网
 - 6类: 10Gbps 以太网



Introduction: 1-21

物理链路

同轴电缆Coaxial cable:

- 两个同心的铜导体
- 双向
- 宽带:
 - 多频通道
 - 单通道100's Mbps



光纤Fiber optic cable:

- 携带光脉冲的玻璃纤维, 每个脉冲表示1比特
- 高速运行:
 - 高速点对点传输(10's-100's Gbps)
- 错误率低:
 - 中继器相距远
 - 抗电磁噪声干扰



Introduction: 1-22

物理链路

无线电Wireless radio

- 电磁频谱中的信号
- 不需要物理线路
- 双向依赖传播环境和距离
 - 反射
 - 遮挡衰落
 - 干扰

无线电链路类型:

- **地面微波**
 - 高达45 Mbps
- **局域 (WiFi)**
 - 高达 100' s Mbps
- **广域 (e. g., 蜂窝)**
 - 4G 蜂窝: ~ 10' s Mbps
- **卫星**
 - 单通道高达 45 Mbps
 - 270 msec 端到端延迟
 - 同步卫星和近地轨道卫星

Introduction: 1-23

Chapter 1: 内容

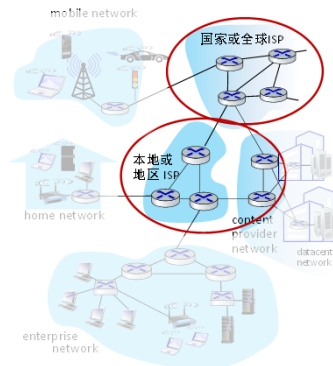
- 什么是因特网?
- 什么是协议?
- 网络边缘: 主机, 接入网络, 物理媒体
- **网络核心**: 分组/电路交换, 网络结构
- 性能: 丢包, 时延, 吞吐量
- 网络安全
- 协议层次, 服务模型
- 计算机网络的历史



Introduction: 1-24

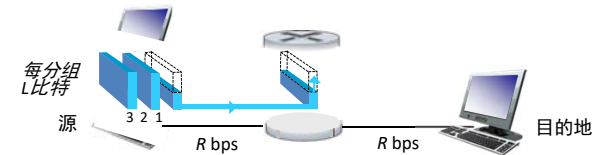
网络核心 The Network Core

- 互联的路由器
- 分组交换packet-switching: 主机将应用层报文划分成分组
 - 将报文 (message) 从一个路由器转发到下一个路由器, 跨越从源到目的路径上的链路
 - 每个分组 (Packet) 以最大链路容量传输



Introduction: 1-25

分组交换：存储转发



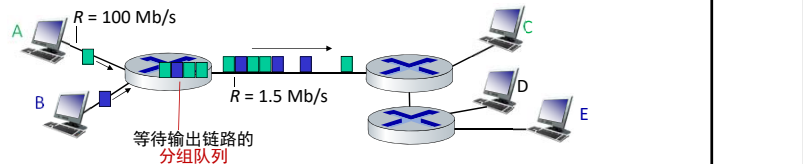
- 传输延迟Transmission delay: 需要 L/R 秒才能将 L 位分组传输到 R bps 的链路中
- 存储转发Store and forward: 整个分组必须到达路由器才能在下一个链路上传输
- 上图中的端端延迟End-end delay: $2L/R$, 假设零传播时延

一跳的传输时延:

- $L = 10$ Kbits
- $R = 100$ Mbps
- 一跳的传输时延 = 0.1 msec

Introduction: 1-26

分组交换：排队时延和分组丢失



分组排队和丢失 Packet queuing and loss: 一段时间内链路中的到达速率大于链路的发送速率

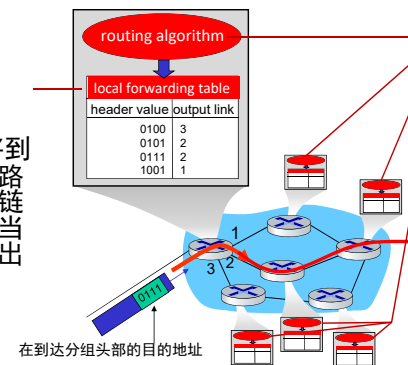
- 分组排队, 等待从输出链路发送
- 如果路由器中的缓存空间已填满, 则到达的分组或已经排队的分组之一将被丢弃

Introduction: 1-27

网络核心的两个主要功能

转发
Forwarding:

- 局部行为: 将到达的分组从路由器的输入链路移动到适当的路由器输出链路



路由Routing:

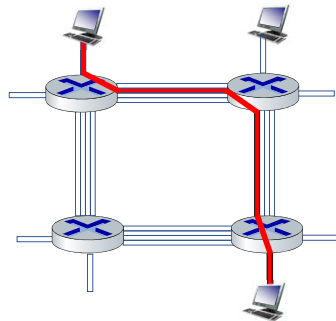
- 全局行为: 确定分组从源到目的的路径
- 路由选择算法

Introduction: 1-28

电路交换 circuit switching

在电路交换网络中，在端系统通信会话期间，预留了端系统沿路径通信所需要的资源

- 图中每条链路有4条电路。
 - 通话 使用顶部链路的第二条电路和右边链路的第二条电路。
- 专用资源: 不共享
 - 类似电路的性能
- 通话暂停时电路空闲 (不共享)
- 常用在传统电话网络



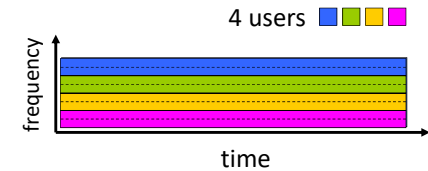
Introduction: 1-29

电路交换中的复用

频分复用

Frequency Division Multiplexing (FDM)

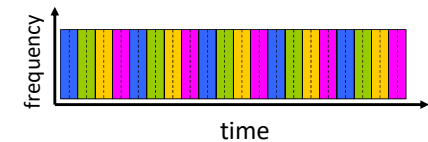
- 划分频率为不同的频段
- 每条连接专用一个频段，可以以该（窄）频段的最大速率传输
- 每条电路连续地得到部分带宽



时分复用

Time Division Multiplexing (TDM)

- 划分时间为固定期间的帧，每个帧被划分为固定数量的时隙
- 每条电路专用每个帧中的指定时隙。可以以最大（更宽）频段的速度传输，但仅在其时隙期间
- 每条电路在短时间间隔（即时隙）中周期性地得到所有带宽



Introduction: 1-30

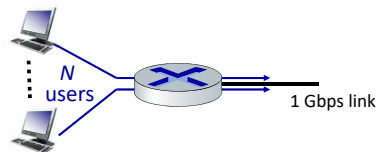
分组交换与电路交换的对比

分组交换允许更多用户使用网络！

例子：

- 1 Gb/s 的链路
- 每个用户：
 - 用户活动时速率：100 Mb/s
 - 活动时间比例：10%
- Q: 电路交换和分组交换链路分别能支持多少个并发用户？

- 电路交换：** 10 个用户
- 分组交换：** 35个用户，超过10个用户（11个用户或更多的用户）同时活动的概率为 0.0004 *



Q: 如何计算得到 0.0004?

Q: 用户数大于35会怎样？
作链路繁忙的概率随该用户数变化的曲线

* Check out the online interactive exercises for more examples: http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive

Introduction: 1-31

分组交换与电路交换的对比

分组交换是否更好？

- 对于“突发”数据更好 – 有时需要传送、其他时间不需要
 - 资源共享。
 - 简单, 不需要预先分配传输链路
- 可能导致拥塞: 由于缓冲区溢出造成的分组延迟和丢失
 - 需要协议保障可靠数据传输以及进行拥塞控制
- Q: 如何提供类似电路的服务?
 - 带宽确保, 传统上用于音频/视频应用

Q: 是不是跟我们日常中的某些问题有些类似?

保留资源与资源按需分配

Introduction: 1-32

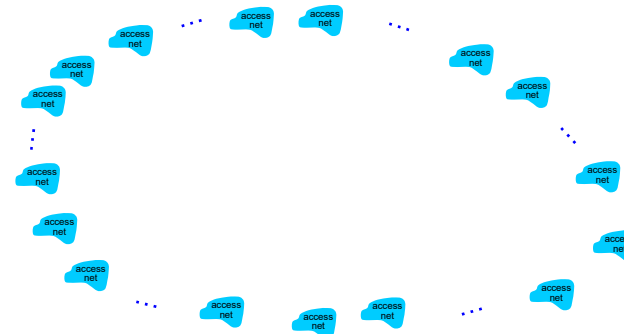
网络的结构：网络的网络

- 主机通过接入互联网服务提供商(ISPs)连接到互联网
 - 住宅、企业（公司、大学、商业） ISPs
- 接入ISPs必须互联
 - 这样任意两主机才能通信
- 这样一来的结果是：“网络的网络” 非常复杂
 - 由“经济”和“国家政策”驱动，而不是由性能考虑驱动

Introduction: 1-33

网络结构：网络的网络

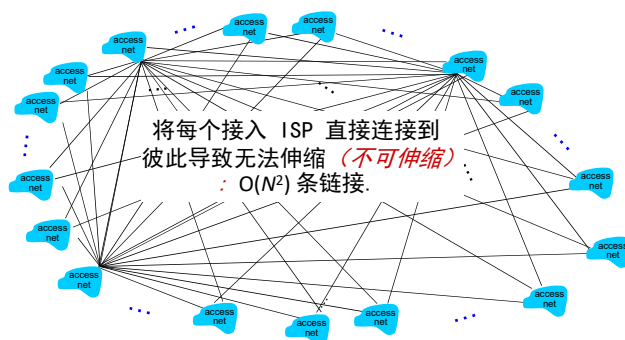
如何连接？Q: 数百万的接入ISPs，如何连接它们？



Introduction: 1-34

网络结构：网络的网络

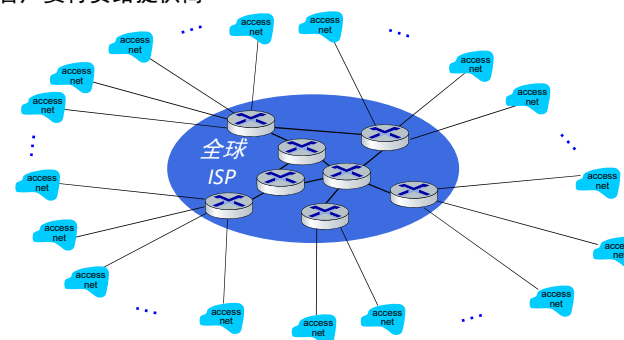
如何连接？Question: 数百万的接入ISP，如何连接他们??



Introduction: 1-35

网络结构：网络的网络

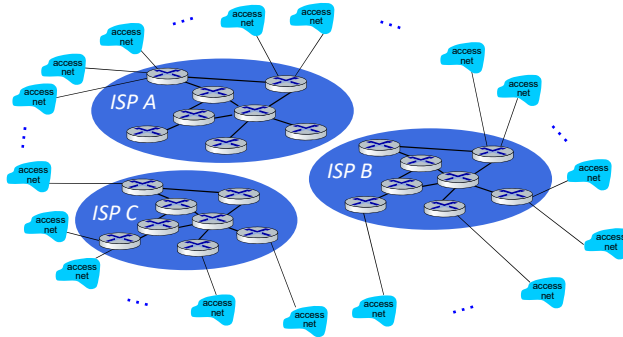
用单一的全球ISP(被称作提供商) 互联 所有接入ISP（被称作客户）
客户要付费给提供商



Introduction: 1-36

网络结构：网络的网络

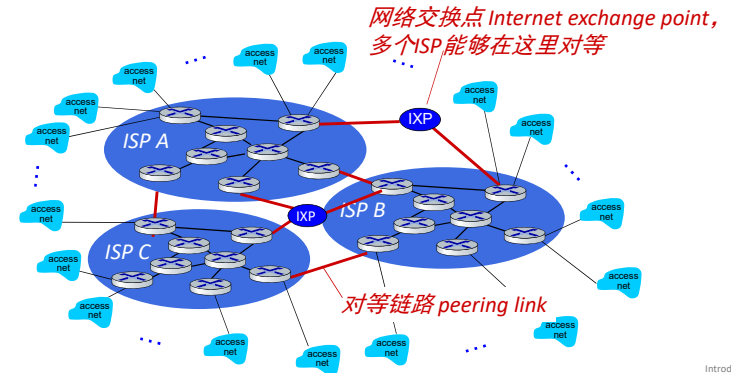
但是，如果一个全球ISP是可行的业务，将有竞争对手...



Introduction: 1-37

网络结构：网络的网络

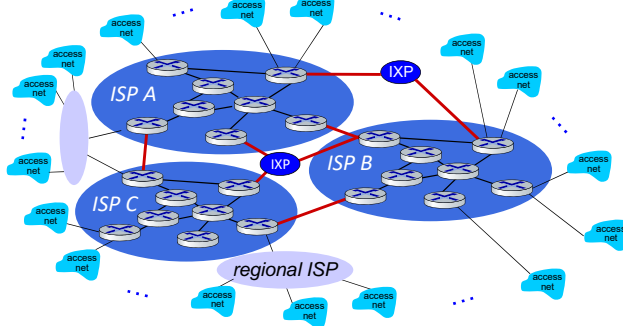
如果一个全球ISP是可行的业务，必然会有竞争对手
...接入ISP能够根据价格和服务因素在多个竞争的全球服务提供商之间进行选择



Introduction: 1-38

网络结构：网络的网络

...还会出现区域网络服务提供商 (regional ISPs)，将接入网络连接到全球传输 ISPs

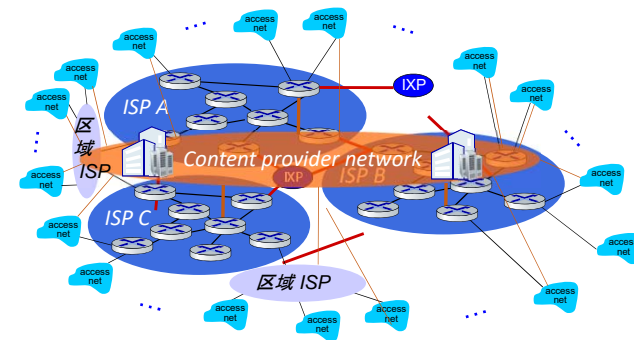


Introduction: 1-39

网络结构：网络的网络

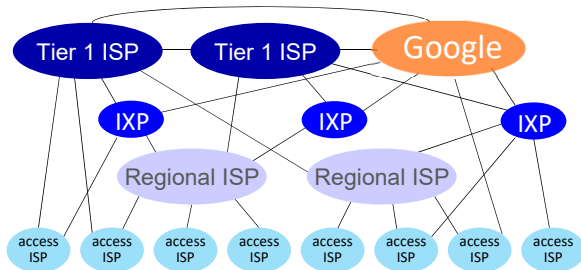
Internet Structure: a "Network of Networks"

... 还会出现 内容提供商网络 content provider networks (e.g., Google, Microsoft, Akamai)运行自己的网络，使服务、内容接近最终用户



Introduction: 1-40

网络结构：网络的网络



中心：少数大型网络互联

- “第一层” 商业 ISPs (e. g., 移动, 联通, AT&T, NTT), 国内和国际范围
- 内容提供商网络 (e. g., Google, Facebook): 将其数据中心连接到互联网的专用网络, 通常绕过第一层 ISP 和区域 ISP

Introduction: 1-41

第一层 ISP 网络地图：Sprint (2019)



Introduction: 1-42

Chapter 1: 内容

- 什么是因特网?
- 什么是协议?
- 网络边缘: 主机, 接入网络, 物理媒体
- 网络核心: 分组/电路交换, 网络结构
- 性能: 丢包, 时延, 吞吐量
- 网络安全
- 协议层次, 服务模型
- 计算机网络的历史

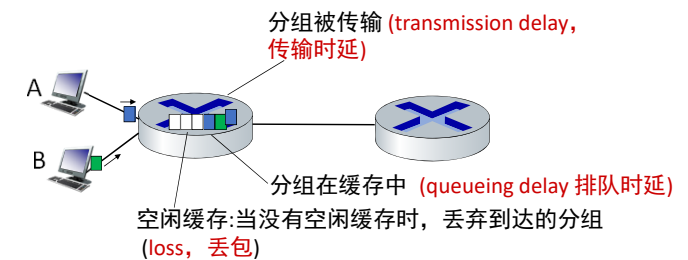


Introduction: 1-43

丢包和时延是如何发生的

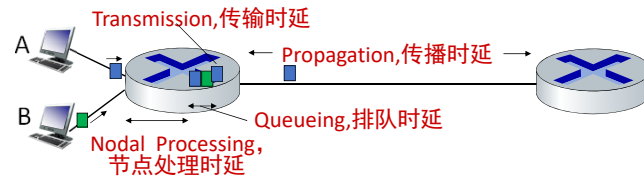
分组在路由器缓存中排队

- 分组排队, 等待传输
- 链路的到达率 (暂时) 超过输出链路容量: 分组丢失



Introduction: 1-44

分组的四种时延



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

d_{proc} : 节点处理

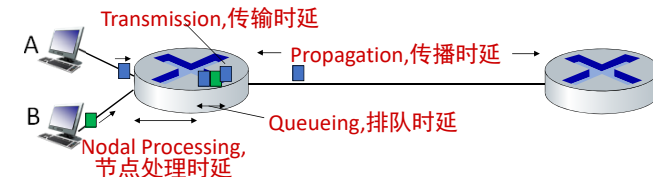
- 检查位错误
- 确定输出链路
- 一般 < msec

d_{queue} : 排队时延

- 在输出链路等待传输的时间
- 与路由器的拥塞程度相关

Introduction: 1-45

分组的四种时延



$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

d_{trans} : 传输时延:

- L : 分组长度 (bits)
- R : 链路带宽 (bps)

$$d_{\text{trans}} = L/R$$

d_{trans} and d_{prop}
very different

d_{prop} : 传播时延:

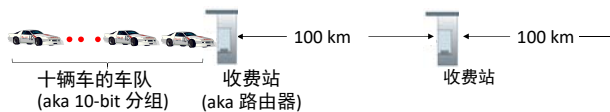
- d : 物理链路的长度
- s : 传播速度 ($2 \times 10^8 \sim 3 \times 10^8$ m/sec)

$$d_{\text{prop}} = d/s$$

* Check out the online interactive exercises:
http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross

Introduction: 1-46

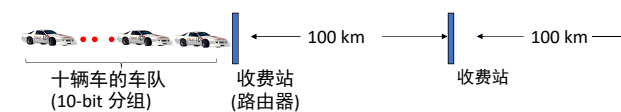
传输和传播时延的类比



- 车以 100 km/hr “传播”
- 收费站服务车需要 12 秒 (bit 传输时间)
- 车 \sim bit; 车队 \sim 分组
- Q:** 需要多久车队才能到达第二个收费站?
- 整个车队通过收费站到高速公路上的时间 = $12 \times 10 = 120$ sec
- 最后一辆车从第一个收费站“传播”到第二收费所需时间: $100\text{km} / (100\text{km/hr}) = 1$ hr
- A:** 62 minutes

Introduction: 1-47

传输和传播时延的类比

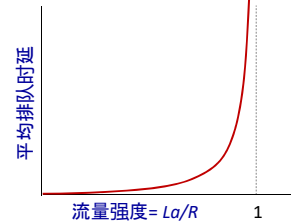


- 假设车现在以 1000 km/hr “传播”
- 假设收费站现在对每辆车收费需要一分钟
- Q:** 当车队的车在第一个收费站时是否有车到达第二个收费站?
- A: Yes!** 7分钟后, 第一辆车到达第二个收费站: 三辆车还在第一个收费站

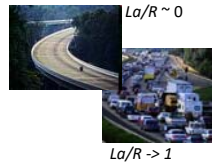
Introduction: 1-48

排队时延 Queueing Delay

- R : 链路带宽/传输速率 (bps , bits/s)
- L : 分组长度 (bits)
- a : 分组到达队列的平均速率 (pps , packets/s)
- La : 比特到达队列的平均速率 (bps , bits/s)
- La/R : 被称为流量强度 Traffic intensity



- $La/R \sim 0$: 平均排队时延小
- $La/R \rightarrow 1$: 平均排队时延大
- $La/R > 1$: 到达的分组超过最大服务能力-平均时延无限大!



Introduction: 1-49

真实的网络时延和路由是怎样的?

- 真实的网络时延和丢失是怎样的?
- **traceroute** 程序: 提供分组从源到目的路径上所经过的所有路由器的时延测量. 对于所有的 i :
 - 向经过路由器 i 到目的路径上发送三个分组 (分组的生存时间字段设为 i)
 - 路由器 i 会给发送者返回分组
 - 发送者测量传输和回复之间的时间间隔



Introduction: 1-50

真实的网络时延和路由是怎样的? “Real” Internet Delays and Routes

traceroute: gaia.cs.umass.edu to www.eurecom.fr

3 delay measurements from
gaia.cs.umass.edu to cs-gw.cs.umass.edu

3 delay measurements
to border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu

trans-oceanic link

looks like delays
decrease! Why?

* means no response (probe lost, router not replying)

```

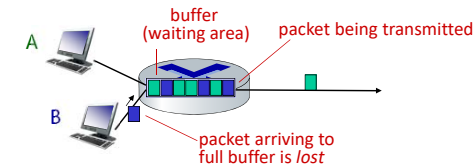
1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9) 22 ms 18 ms 22 ms
7 nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46) 22 ms 22 ms 22 ms
8 62.40.103.253 (62.40.103.253) 104 ms 109 ms 106 ms
9 de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129) 109 ms 102 ms 104 ms
10 de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50) 113 ms 121 ms 114 ms
11 renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54) 112 ms 114 ms 112 ms
12 nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13) 111 ms 114 ms 116 ms
13 nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102) 123 ms 125 ms 124 ms
14 r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110) 126 ms 126 ms 124 ms
15 eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54) 135 ms 128 ms 133 ms
16 194.214.211.25 (194.214.211.25) 126 ms 128 ms 126 ms
17 ***
18 ***
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms
  
```

* Do some traceroutes from exotic countries at www.traceroute.org

Introduction: 1-51

丢包 Packet loss

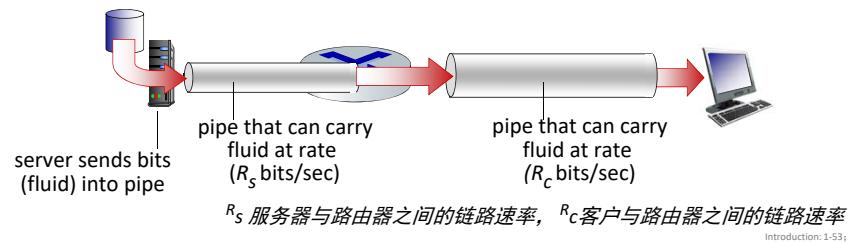
- 队列只有有限的容量
- 分组占满队列则丢弃
- 丢失的分组基于端到端原则进行重传, 或者完全不重传



Introduction: 1-52

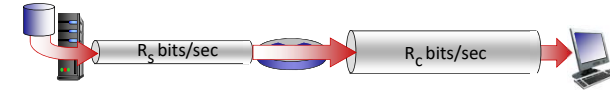
吞吐量 Throughput

- **吞吐量**: (bits/time unit): 数据从发送端到接收端的比特率
- **瞬时吞吐量 instantaneous**: 在给定时间点的速率
 - **平均吞吐量 average**: 在较长时间内的速率

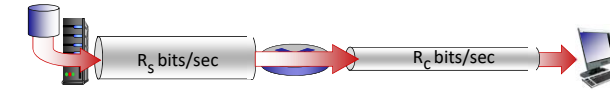


吞吐量 Throughput

$R_s < R_c$ 平均端到端吞吐量是?



$R_s > R_c$ 平均端到端吞吐量是?



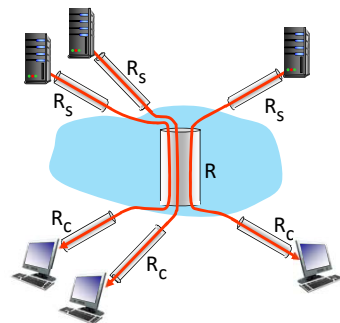
瓶颈链路

bottleneck link

路径上的链路限制了端到端的吞吐量

Introduction: 1-54

吞吐量：因特网场景



10 connections (fairly) share backbone bottleneck link R bits/sec

- 每条连接端到端吞吐量: $\min(R_s, R_c, R/10)$
- 实际上: R_c or R_s 往往是瓶颈

* Check out the online interactive exercises for more examples: http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/

Introduction: 1-55

Chapter 1: 内容

- 什么是因特网?
- 什么是协议?
- 网络边缘: 主机, 接入网络, 物理媒体
- 网络核心: 分组/电路交换, 网络结构
- 性能: 丢包, 时延, 吞吐量
- **网络安全**
- 协议层次, 服务模型
- 计算机网络的历史



Introduction: 1-56

网络安全 Network security

- **网络安全的领域:**
 - 坏人如何攻击计算机网络
 - 我们如何保护网络免受攻击
 - 如何设计不受攻击的架构
- **因特网最初设计时没有考虑到(很多)安全性**
 - 最初版本: “连接到透明网络的一组相互信任的用户” ☺
 - 协议设计者主要关注在互联互通
 - 事实上, 所有层均需要考虑安全!

Introduction: 1-57

坏人:通过互联网将恶意软件投放到主机

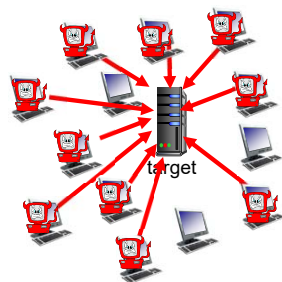
- 恶意软件入侵主机的形式:
 - **病毒virus:** 需要某种形式的用户交互来感染用户设备的恶意软件 (e.g., e-mail attachment)
 - **蠕虫worm:** 无须任何明显用户交互就能进入设备的恶意软件
- 间谍软件spyware、恶意软件malware可以记录击键, 访问网站, 上传信息到收集网站
- 受感染的主机可以注册僵尸网络, 用于垃圾邮件或分布式拒绝服务 (DDoS) 攻击

Introduction: 1-58

坏人: 攻击服务器、网络基础设施

拒绝服务Denial of Service (DoS):攻击者通过具有虚假流量的压倒性资源使服务 (服务器、带宽) 无法被合法访问

1. 选择目标
2. 入侵网络周围的主机 (组建僵尸网络)
3. 从被攻陷的主机发送分组包到目标

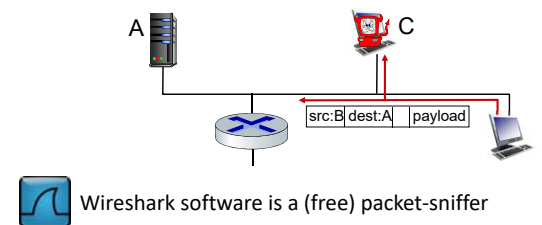


Introduction: 1-59

网络嗅探

分组嗅探 packet "sniffing":

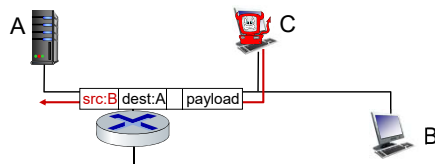
- 广播媒体(共享以太网, 无线)
- 混杂模式的网络接口读取/记录所有经过的分组(e.g., 包括密码!)



Introduction: 1-60

网络地址伪装

IP 哄骗 IP spoofing: 发送带有虚假源地址的分组



…有时间将介绍更多的安全内容，或者选修“信息安全技术”课程👍👍

Introduction: 1-61

Chapter 1: 内容

- 什么是因特网?
- 什么是协议?
- 网络边缘: 主机, 接入网络, 物理媒体
- 网络核心: 分组/电路交换, 网络结构
- 性能: 丢包, 时延, 吞吐量
- 网络安全
- **协议层次, 服务模型**
- 计算机网络的历史



Introduction: 1-62

协议分层和参考模型

网络很复杂,
有很多“组件”:

- 主机
- 路由器
- 各种媒体链路
- 应用
- 协议
- 硬件, 软件

Q:

是否我们可以
组织或者管理
网络结构?

…或者我们每个人要编
写网络或者使用网络
都要知道所有这些?

Introduction: 1-63

航线系统例子



航空旅行：一系列步骤，涉及许多服务

Introduction: 1-64

航线系统例子

票务 (购买)	票务服务	票务 (投诉)
行李 (托运)	行李服务	行李 (认领)
登机口 (登机)	登机服务	登机口 (离机)
从跑道起飞	跑道服务	从跑道着陆
按路线飞行	航线服务	按路线飞行

分层 每一层都实现一种服务

- 通过自己的内部层操作
- 依靠下一层提供的服务

Q: 用语言描述以上每一层所提供的服务

Introduction: 1-65

为何要分层?

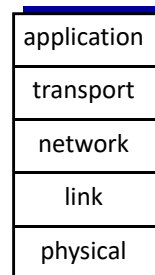
处理复杂的系统:

- 分层的体系结构有利于复杂系统组件的联系和识别
 - 分层的参考模型
 - 模块化便于系统的维护、更新
 - 每一层服务实施上的变化: 对系统其余部分透明
 - e. g., 登机程序的更改不会影响航线系统的其余部分
- 分层被认为是不利的?
- 在其他复杂系统中分层体系结构?

Introduction: 1-66

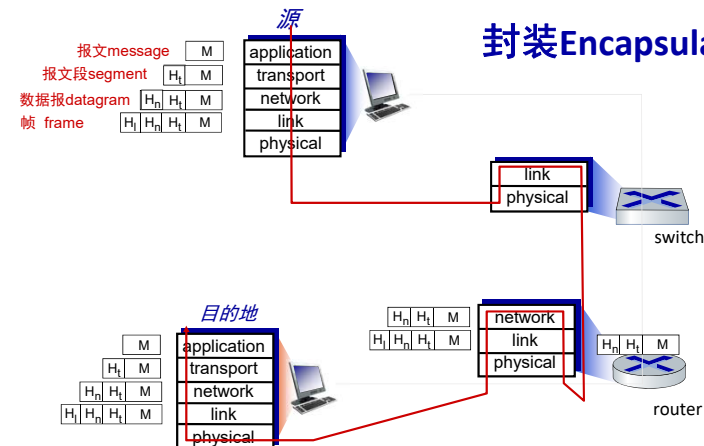
网络协议栈

- 应用层 application:** 支持网络应用
 - IMAP, SMTP, HTTP
- 传输层 transport:** 处理数据传输
 - TCP, UDP
- 网络层 network:** 完成数据报从源到目的的路由
 - IP, 路由协议
- 数据链路层 link:** 相邻网络元素之间的数据传输
 - Ethernet, 802.11 (WiFi), PPP
- 物理层 physical:** bits "on the wire"



Introduction: 1-67

封装Encapsulation



Introduction: 1-68

Chapter 1: 内容

- 什么是因特网?
- 什么是协议?
- 网络边缘: 主机, 接入网络, 物理媒体
- 网络核心: 分组/电路交换, 网络结构
- 性能: 丢包, 时延, 吞吐量
- 网络安全
- 协议层次, 服务模型
- 计算机网络的历史



Introduction: 1-69

因特网的历史

1961-1972: 早期的分组交换原则

- 1961排队论: Kleinrock 发表: 排队理论显示分组交换的有效性
- 1964分组交换: 兰德公司的Baran研究: 军用网中的分组交换
- 1967美国高级研究计划署的计算机科学计划
ARPAnet-第一个分组交换计算机网络 (Robert 1967)
- 1969第1台分组交换机在美国加州大学洛杉矶分校UCLA安装, 其他3台分组交换机安装于斯坦福研究所SRI、美国加州大学圣巴巴拉分校UC Santa Barbara、犹他大学University of Utah。年底有四个节点。第一个应用是从UCLA到SRI的远程注册 (导致了系统的崩溃)
- 1972 ARPAnet成长到有15个节点:
 - ARPAnet进行了公开演示
 - 第一个主机-主机协议 NCP (Network Control Protocol)
 - 第一个电子邮件程序



Introduction: 1-70

因特网的历史

1972-1980: 专用网络和网络互联

- 1970 夏威夷岛上的微波网络
- 1974网络的网络: Cerf and Kahn 互连网络架构
- 1976共享广播网络的以太网协议: Ethernet at Xerox PARC
- late 70's 专用网络体系结构: DECnet, SNA, XNA
- late 70's: 交换固定长度分组 (ATM前身)
- 1979: ARPAnet有200个节点

Vint Cerf 与 Bob Kahn - 互联网之父

Cerf and Kahn's 开放网络体系结构的系统设计原则:

- 最简化, 自治原则-网络独立运作, 与其他网络互连时无须进行内部改动
- 尽最大努力服务模式
- 无状态路由
- 分散控制

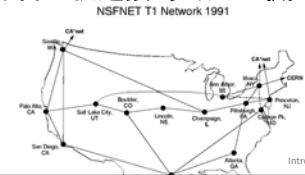
定义当今互联网架构

Introduction: 1-71

因特网的历史

1980-1990: 新协议, 网络的激增

- 1983: TCP/IP的部署
- 1982: smtp 电子邮件协议
- 1983: DNS 进行IP地址域名翻译
- 1985: ftp 协议
- 1988: TCP 拥塞控制
- 新的国家网络: CSnet (计算机科学网-将大学的研究人员连接在一起), BITnet (美国大学间网络), NSFnet (将超级计算中心连接起来), Minitel (法国-让数据网络进入每个家庭)
- 10万台主机连接到公共互联网



Introduction: 1-72

因特网的历史

1990, 2000s: 网络爆炸 商业化, the Web, 新的应用

- early 1990s: ARPAnet不复存在
- 1991: NSF 解除了对NSFnet用于商业目的的限制, 1995年退役
- early 1990s: Web (Tim Berners-Lee, Web之父, 1989)
 - hypertext [Bush 1945, Nelson 1960's]
 - HTML, HTTP, Web服务器和浏览器的最初版本: Tim Berners-Lee 1989-1991
 - 1994: Mosaic Communications公司, later Netscape公司
- 20世纪90年代的后5年: 数以千计的初创公司创造了大量的互联网产品和服务

late 1990s – 2000s:

- 更多杀手级应用程序: instant messaging (年轻创业者发明), P2P file sharing (年轻创业者发明)
- 网络安全浮出水面
- est. 五千万主机, 1亿+ 用户
- backbone links running at Gbps

Introduction: 1-73

因特网的历史

2005-present: 更多的新应用, 互联网"无处不在"

- ~180亿连接到因特网的设备 (2017)
 - 智能手机的崛起 (iPhone: 2007)
- 宽带接入的积极部署
- 提高高速无线接入的普及程度: 4G/5G/6G, 无线网络
- 在线社交网络的出现:
 - Facebook: ~25亿用户
- 服务提供商 (Google, FB, Microsoft) 创建自己的网络
 - 绕过商业互联网“紧密”连接到终端用户, 提供“即时”访问搜索, 视频内容, ...
- 企业在“云”中运行其服务 (e.g., Amazon Web Services, Microsoft Azure)

Introduction: 1-74

Chapter 1: 总结

主要内容

- 网络简介
- 协议
- 网络边缘和网络核心
 - 分组交换与电路交换
 - 网络结构
- 性能: 丢失, 延迟, 吞吐量
- 网络分层和服务模型
- 网络安全
- 计算机网络的历史

你学习到:

- 网络概览, 网络领域的术语等
- 初步感受到网络互联

Introduction: 1-75