

## 信息网络概论

### 一、通信与网络技术发展史

### 二、通信与网络的发展与演变

#### 1.通信网构成

复用+交换+传输

#### 2.通信网分类

信息内容：电话网、计算机网、电视网

复用方式：TDM、FDM、CDM、WDM

交换方式：电路、分组、帧中继、ATM

传输方式：模拟/数字、有线/无线、光纤/电缆

覆盖区域：局域网、城域网、广域网、全球网、个域网、体域网、微微网

#### 3.通信网发展

(1) 模拟通信->数字通信（长距离传输（抗干扰）；多媒体通信（多媒体融合）；保密通信；大容量（高压缩比））

例 1：模拟电视

例 2：全数字综合业务网（ISDN）；计算机

(2) 电路交换->分组交换

例 1：电话网

例 2：分组交换（IP、X.25），快速分组交换（帧中继、ATM）

(3) 语音通信->多媒体通信

例 1：电话网

例 2：Internet

(4) 固定通信->移动通信

例 1：局域网（以太网、FDDI），广域网（Internet）

例 2：无线局域网（802.11），无线个域网（蓝牙、ZigBee、UWB），无线自组织网络（Ad-Hoc），蜂窝网（1G->4G），无线传感器网络

### 三、网络互联的新需求

1.发展方向：异构网络互联；网络可扩展性；网络可靠性；网络安全性

信息：多媒体化、移动化

交换：高速化、柔性化

传输：数字化、高速化

网络：综合化、智能化、个人化

2.制约：能耗

## 通信业务的基本特征与网络分层模型

### 一、通信业务特征描述

#### 1.通信业务的分类

##### (1) 按业务类型

用户信息：语音、视频、图像、数据

控制信息：信令、网管

##### (2) 按业务内容

语音、视频、图像、数据

##### (3) 按业务模式

端对端：面向连接、无连接

业务产生特征：周期、随机、突发

带宽：恒定速率（CBR）、变化速率（VBR）、可变速率（ABR）、无定速率（UBR）

##### (4) 按 Qos

实时业务：电路交换网

有效性：独占带宽、低延时-->动态调整带宽

可靠性：丢失不重传-->提高接通率

非实时业务：分组交换网

有效性：分组发送有效利用带宽-->降低延迟提高吞吐量

可靠性：丢失重传

#### 2.通信业务的性能要求

##### (1) 基本要求：

有效性：连通性（任意、快速）；性价比；灵活性（鲁棒）；扩展性（应对规模扩展）

可靠性：抵御单点失效和流量攻击

##### (2) 特殊要求：

语音（有效性）延迟抖动：很小

（可靠性）容忍丢失：可有一些

数据（有效性）延迟抖动：尽量小

（可靠性）容忍丢失：否

图像（有效性）延迟抖动：很小

（可靠性）容忍丢失：很小

多媒体：有效性+可靠性

#### 3.通信网性能的影响因素

(1) 网络可供资源（物理层）：带宽、缓存、功率

(2) 网络拓扑结构（链路层）：负载均衡、降低能耗

(3) 网络路由机制（网络层）：信令开销

(4) 网络流量控制（传输层）：拥塞控制

(5) 网络业务模式（应用层）：随机性（网络性能恶化主因，如分组交换的突发性）

### 二、通信网络的分层模型与跨层设计

跨层设计的必要性：提高网络资源利用率，全局优化

## 信道共享与多址接入技术

### 一、数字通信基本原理与物理接口

#### 1.信源:

- (1) 抽样: 奈奎斯特采样
- (2) 量化: 模数转换, 降低量化噪声, 对数压扩
- (3) 编码: 信源编码 (压缩数据), 信道编码 (纠错检错)
- (4) 调制: 为复用与多址

#### 2.信道:

- (1) 有线信道: 双绞线、同轴电缆、光纤
- (2) 无线信道: 短波、地面微波接力、卫星

问题:

- 1) 衰落 (多径&时延) <--直射、反射、绕射、散射  
时延扩展: 频率选择性衰落  
频率扩展: 时间选择性衰落  
角度扩展: 空间选择性衰落

- 2) 变参 (时变&多普勒) <--移动

解决: 分集 (正交空间)!!

#### 3.协议: 自动重传请求 (ARQ)

### 二、复用&多址

#### 1.复用

- (1) 概念: 单用户在发送端独享分集
- (2) 原因: 资源充分利用; 资源需求的随机性和经济性; 可以容忍的延迟
- (3) 分类: 固定复用; 统计复用

#### 2.多址

- (1) 概念: 多用户在信道中共享分集
- (2) 原因: 共享媒质 (一般上行)
- (3) 分类: 竞争多址接入; 协调多址接入

#### 3.固定复用与协调多址接入

##### (1) 概念:

固定复用: 信道固定分割、固定使用

协调多址接入: 用户通过域的正交分割获得独立信道资源

##### (2) 特点:

固定复用: 效率高、需同步; 适于流媒体

协调多址接入: 可扩展性好; 适于重负载网络

##### (3) 分类:

##### 1) 频分复用 (FDM) & 频分多址 (FDMA)

FDM: 例: 非对称数字用户线路 (ADSL)、波分复用 (WDM)

FDMA: 例: 美国 AMPS

概念: 用户共享频谱

特点:

符号周期远大于延时; 用户容量低; 无需均衡器

需带通滤波器;

信道非线性的矛盾

## 2) 时分复用 (TDM) & 时分多址 (TDMA)

TDM: 例: 同步数字体系 (SDH)、同步光网络 (SONET)

TDMA: 例: 全数字综合业务网 (ISDN)

概念: 用户共享时隙

特点:

符号周期取决于带宽和调制技术; 用户容量高于 FDMA; 需均衡器  
需开关进行分组发送;  
有保护时隙和同步时隙开销

## 3) 码分复用 (CDM) & 码分多址 (CDMA) 及交织多址 (IDMA)

CDM:

CDMA: 例: 3G

概念: 用户通过不同扩频序列 (码字正交) 区分-->抗随机错误;

用户通过交织在时域上打散-->抗突发错误

特点: 用户容量高于 TDMA;

IDMA:

概念: 用户通过不同交织序列 (码字去相关) 区分

特点: 用户不通过扩频序列区分

## 4) 正交频分复用 (OFDM) & 正交频分多址 (OFDMA): orthogonal 正交

OFDM: 例: WLAN

OFDMA: 例: 3G-LTE、4G

概念: QAM (正交) + FD (频分)

特点:

用户容量高于 CDMA;

减少多径干扰 (信道衰落变平坦); 减少邻道干扰 (码元持续时间变长)

## 5) 空分复用 (SDM) 和空分多址 (SDMA)

SDM:

SDMA: 例: TD-SCDMA、光空分复用

概念: 将用户在空间上分开

特点:

可用于任何调制方式, 与前述多址技术并用

需定向天线、多波束天线、MIMO (多入多出)

## 4. 统计复用与竞争多址接入

### (1) 概念:

统计复用: 信道固定分割、不固定使用

竞争多址接入: 用户通过非协调或部分协调获得信道资源

### (2) 特点:

统计复用: 带标签、无同步; 适于突发业务

竞争多址接入: 简单、扩展性差; 适于轻负载局域网

### (3) 分类:

1) 非协调: 异步时分复用 (ATDM): Asynchronous 异步

例: ATM

特点: 只适用于分组网络、分组长度固定

2) 非协调: 纯粹的竞争接入技术 (ALOHA 与时隙 ALOHA)

例: 纯 ALOHA->时隙 ALOHA->带捕获的时隙 ALOHA

特点：协议简单；无同步；低吞吐量：时隙 ALOHA 吞吐量是纯 ALOHA 的两倍

3) 非协调：带载波侦听的竞争接入技术 (CSMA)

例：0 坚持：侦听到冲突，等待随机时间后再侦听，空闲则发

p 坚持：侦听到冲突，持续侦听，空闲后以 p 概率发

1 坚持：侦听到冲突，持续侦听，空闲后以 1 概率发

分类：

冲突检测 (CD)：例：LAN

概念：检测到冲突立即通知，不能避免

冲突避免 (CA)：例：WLAN

概念：发送时不能检测，尽量避免冲突

问题：

隐藏终端问题：发送端检测不到冲突 (A：正在发---B：正在收---C：隐藏终端)

暴露终端问题：接收端误认为有冲突 (A：正在收---B：正在发---C：暴露终端)

解决：RTS (request to send) /CTS (clear to send) 协调机制

特点：

终端在规定时间内未收到应答则发生冲突

节点越多信道利用率越低；数据包越长信道利用率越高

4) 部分协调：轮询接入、预约接入等

例：令牌环、位图法

三、反复用技术：例：ATM 中的边缘路由器

概念：将一个信息流划分成多个并发流，各自通过单独的通道 (例如 T-1 或 E-1 线路) 同时传输

特点：负载平衡；减少阻塞；可靠性提高

## 交换技术

### 一、网络层的功能

- 1.寻址：找到网络节点
- 2.交换：将数据包从入端传至出端
- 3.路由：计算从源地址到目的地址的一条路径
- 4.异质网络互联
- 5.为传输层提供服务：提供面向连接（虚电路）或无连接（数据报）的服务
- 6.流量控制：流量描述、Qos 协商、拥塞控制、速率控制

### 二、电路交换

1.概念：从源端到目的端建立连接，进行有预留资源（如带宽、交换机容量）的传输

2.特点：

- (1) 独占性（面向连接，源到目的固定链接，端对端顺序传输）
- (2) 实时性（主要用于语音和视频）
- (3) 实现简单
- (4) 线路利用率低（固定复用，协调多址接入）

3.实现：电路交换机：在被请求时建立一条电路连接

- (1) 空分交换（并联）
- (2) 时分交换（串联）
- (3) 时-空-时交换（TST）：例：ATM 交换
- (4) 软交换

概念：将呼叫控制功能和媒体网关分离，软件控制呼叫功能

特点：

- 1) 灵活性高，易于适应新的 Qos
- 2) 紧急情况时处理能力受到制约

(5) 信令：例：拨号音、来电显示、数字程控交换机（7号信令：SS7）

概念：通信中用于控制传输的信号，来回传递的网络和终端状态等信息

特点：数据之外的开销

分类：带内信令（和信息处于同一频带）、带外信令、专用信令网（CCS）传送的信令

4.问题

(1) 阻塞（无法从交换机输入转发至输出:call blocking）:内部阻塞（没有分配线路）;输出阻塞（没有分配时隙）

概念：空分交换中的交叉布线（crossbar）导致内部阻塞

特点：由于每次链接的路由固定，因此可以预测交换机内部结构是否会导致阻塞

(2) 速度

概念：时分交换中时隙汇合（TSI）要求更高帧率

特点：由于读写内存时间受限，因此需要用新技术代替纯时分交换

5.解决

(1) 阻塞：设计无内部阻塞的多级结构交换机

(2) 速度：空-时混合交换

### 三、分组交换

1.概念：源端将信息分割成首部含目的地址的数据包，进行无/有资源预留的传输

2.特点：

(1) 无固定/固定路由（无连接/面向连接，每个包首部有目标地址/VC 号，根据路由表独立/顺序存储转发）

- (2) 难以/可以保证 Qos (主要用于数据业务)
- (3) 灵活、可靠性高
- (4) 线路利用率高 (统计复用, 竞争多址接入)

3. 实现: 数据包/帧/信元交换机: 将数据从一条链路转发到另一条链路

(1) 数据报交换

概念:

- 1) 路由器维护路由表
- 2) 不同目标地址转发至不同端口

特点: 无连接 (无资源预留)

good: 路由器无需知道整个拓扑, 无需等待连接建立

bad: 路由表越来越大

(2) 虚电路交换

概念:

- 1) 路由器维护路由表  
(永久性虚电路 (PVC): 连接永远在路由表中; 交换型虚电路 (SVC): 连接在通信被请求时建立)
- 2) 不同 VC 号转发至不同端口, 转发时 VC 号作相应改变

特点: 面向连接 (资源在建立连接时预留)

good: 小路由表, 快速路由

bad: 每次建立或撤销连接, 需改变路由表

(3) X.25

概念: 物理层、数据链路层、分组层

特点: 面向连接 (资源在建立连接时预留); 各层有纠错检错机制

good: 可靠

bad: 慢速

(4) 帧中继 (frame relay)

概念: 帧 (更长的分组包) 中继 (中间不检错, 收端检错)

特点: 面向连接 (资源在建立连接时预留); 只在终端纠错检错; 更长分组包

good: 快速

bad: 需要更可靠的传输

(5) ATM 交换

概念: ATM 信元中继 (定长的短包), 虚 path (VP) 中含多个虚 channel (VC)

特点: 面向连接 (资源在建立连接时预留); 只在终端纠错检错; 定长短信元

good:

- 1) 可预测的短延时、低抖动
- 2) 易分包
- 3) 固定带宽
- 4) 简化缓存的设计、可大规模并行传输

bad:

- 1) 信元首部开销大
- 2) 分割和重组成本高
- 3) 定长易致带宽浪费
- 4) 实现复杂

4. 问题

- (1) 阻塞 (无法从交换机输入转发至输出: call blocking): 内部阻塞 (没有分配线路); 输出阻塞 (没有分配时隙)

概念：自路由的 Banyan 交换机有内部冲突（阻塞）问题

特点：由于每次链接的路由不固定，因此无法预测阻塞，阻塞时只能缓存或丢包

## (2) 速度

概念：存储转发机制慢

特点：纠错检错机制复杂

## 5. 解决

### (1) 阻塞：

1) 输入/内部/输出的缓存-->贵；难达零丢包率

2) 仲裁每个数据包的转发方向-->慢；复杂

3) 并行交换线路-->贵；若 Banyan 交换机有 k 级，则输出缓存速度须为输入的 k 倍  
采用 Batcher 排序+Banyan 交换机！

good: 对称结构可以使用相同模块

bad: 多播（组播）时仍阻塞；多级结构导致长传输延时；统一的端口速率；  
大功耗；内存速度跟不上处理器速度

### (2) 速度：帧中继；ATM 交换

## 五、多协议标签交换（MPLS）

### 1. 概念：标签的含义：

(1) X.25: LCN |-->统计复用

(2) 帧中继: DLCI |-->统计复用

(3) ATM 中的标签: VP 的标签 VPI; VC 的标签 VCI |-->统计复用

(4) 时分复用: 时槽 |-->固定复用

(5) 波分复用: 波长、频率 |-->固定复用

### 2. 特点：网络边缘使用 IP 路由，网络核心使用标签交换（MPLS 标记附于分组头）

good:

1) 基于单一的转发机制，可在同一网内同时支持多种业务类型的转发

2) 按标签路由，快速

3) 通过集成链路层（ATM、帧中继）与网络层路由技术，解决 Internet 扩展、保证 IP 网络 QoS 传输的问题

bad: 实现复杂

## 六、光交换技术

### 1. 光电路交换（OXC）

静态配置或者端到端信令

### 2. 光突发交换（OBS）

预留带宽交换，无需缓存

### 3. 光分组交换（OPS）

存储转发交换，需要缓存

### 4. 自动交换光网络（ASON）

## 路由与移动性管理技术

### 一、路由的基本原理

#### 1.概念：寻找从源到目标的路径

- (1) 信息收集 (拓扑、地址)
- (2) 路由算法 (优化手段、判决时刻、判决位置)

#### 3.电路交换中的路由

- (1) 特点：固定载荷；路径预留；单中心控制
- (2) 分类

- 1) 分层路由
- 2) 备用路由
- 3) 动态非分层路由
- 4) 自适应实时路由

#### 4.分组交换中的路由

- (1) 特点：不固定载荷；无路径预留；分布式控制
- (2) 分类
  - 1) 数据报：目标地址决定下一跳；路由在传输中可能改变
  - 2) 虚电路：VC 决定下一跳；通话建立时路径固定、路由在整个通话内维持

### 二、信息收集 (拓扑、地址)

泛洪 (flooding)

prim 算法、kruskal 算法

各独立节点----->生成树 (spanning tree) ----->最小生成树

### 三、路由算法 (优化手段、判决时刻、判决位置)

#### 1.概念

- (1) 测量：延迟、吞吐量、跳数
- (2) 协议：如何将获取信息告知其他节点
- (3) 计算：根据已获取信息计算单源最短路径

#### 2.分类

##### (1) 距离矢量法

概念：Bellman-Ford

特点：分布式算法；三阶复杂度；只和邻居交换信息

good：局部信息交互，维护信息量少

bad：网络状态变化或节点故障时存在收敛性问题

##### (2) 链路状态法

概念：Dijkstra

特点：集中式算法；二阶复杂度；和所有节点交互 LSP

good：所有节点知道全局信息，更快收敛，更容易发现新拓扑和故障节点，Qos 保证

bad：每个节点存储的信息量大

##### (3) 另：Floyd-Warshall；三阶复杂度

#### 3.实现

##### (1) AS 域内路由

要求：算法收敛性，管理复杂度，流量控制，可扩展

实例：OSPF（链路状态法）、RIP（距离矢量法）

## (2) AS 域间路由

要求：可达性，地址聚合，拓扑灵活性，侧重于政策

实例：EGP、BGP-4

## 三、无连接网络的移动性管理

1.问题：ipv4 地址分配压力；路由表越来越庞大

2.解决：ipv6；无类别域间路由

3.问题：主机移动后不可达

4.解决：隧道技术；外地代理

收：在本地代理注册外地代理->本地代理利用隧道技术转发->外地代理转给移动主机

（主机又移动时，中途包通过原外地代理转至现外地代理）

发：利用本地（家乡）地址直接与通信对端通信，无需封装

5.问题：外地代理的可用性与稳定性不足

6.解决：将终端标识（ID）和地址（locator）解耦，不用外地代理

收：在本地代理注册外地地址->本地代理利用隧道技术转发->移动主机自己可以解封装

发：利用本地（家乡）地址直接与通信对端通信，无需封装

## 四、移动自组织网络的移动性管理

1.概念：无固定结构，动态拓扑；分布式路由，动态资源（带宽、功率、路由）分配

2.特点：

FD（频分）/TD（时分）/码分（CD）+SD（空分）

铺设简单

适用于小规模应急通信、低速率、小流量

3.提高容量的途径：

节点间交互冲突加权重，自组织发现传输机会

4.问题：固定的无连接网络中的路由协议不适用

(1) 拓扑变化

(2) 上下行不对称

(3) 冗余的连接

(4) 来自其他节点的干扰大

5.解决：无线自组网按需平面距离矢量路由协议（AODV）：

广播 RREQ->收到

{

if（目的节点）

{

if（第一次收）

收，按已寻路径告知发送者；

else

弃；

}

else

在广播包中附上本节点地址继续广播；

}

- (1) 有通信需求时建立
- (2) 源端广播连接请求以发现路由路径
- (3) 节点维护序列号和广播 id

## 五、蜂窝网的移动性管理

1.概念：固定网络结构，小区制；中心式位置管理和切换管理

2.特点：

FD（频分）/TD（时分）/码分（CD）+SD（空分）

铺设成本高

适用于大型通信、大容量、高质量

3.提高容量的途径：

提高小区容量：话音激活、信源压缩、高效率调制、扇区化

用更好多址技术：FDMA->TDMA->CDMA

减少小区面积：微蜂窝、微微蜂窝

4.问题：位置管理

5.解决：覆盖方法、本地归属方法；鉴权、位置更新、呼叫传递

6.问题：切换管理

(1) 蜂窝内切换

(2) 蜂窝间切换

(3) 通信系统间切换

7.解决：

(1) 硬切换；软切换（例：CDMA，提升 Qos）；反向切换；前向切换

(2) 宏蜂窝覆盖多个微蜂窝

(3) 将异构的固定和移动网络整合

## 网络流量控制技术

### 一、网络拥塞与流量控制

#### 1. 宽带网络的主要挑战：网络资源管理与服务质量控制

#### 2. Qos

##### (1) 概念：

- 1) 通用参数：带宽、延时、抖动、丢包率
- 2) 针对具体传输/应用的参数：超时、重要数据包丢包率
- 2) 用户角度（网络边缘）：连通性、灵活性、安全性
- 4) 网络角度（网络核心）：资源利用率、用冗余达到可靠性

##### (2) 分类：

- 1) 严格的：Hard  
    柔软的：Soft  
    感知的：Perceptual
- 2) 尽力而为服务模型：Best-Effort service  
    综合服务模型：Integrated service (Int-Serv)  
    区分服务模型：Differentiated service (Diff-Serv)

##### (3) 必要性：

- 1) 流量增长快于带宽增长，因此带宽扩容不能解决拥塞  
    内存变更便宜-->长延时致丢包  
    连接设备变更便宜-->带宽有限的无线环境更拥塞  
    高速路由器更便宜-->低速链路更拥塞
- 2) 网络边缘和无线环境的带宽有限
- 3) 端对端的带宽不会无穷大，总有瓶颈节点
- 4) 越区切换和移动主机漫游需要严格的 Qos
- 5) Qos differentiation and tariff 需要 Qos 保证

##### (4) 成本：

- 1) 流量控制和管理
- 2) 端对端 Qos 保证
- 3) 无线环境带宽保证

#### 3. 拥塞

##### (1) 概念：针对已建立的连接和新连接请求，网络无法保证已经协商好的 Qos

无拥塞-->管理

中拥塞-->避免

重拥塞-->恢复

##### (2) 特点：拥塞不是缓存溢出，不是过长延时

### 二、单业务网络的流量控制与资源分配

#### 1. 电路交换网的流量控制与资源分配

特点：为保证 Qos 而优化的带宽（例：64kbps）

Qos:为语音优化，需建立连接，可能阻塞，没有排队延迟

流量控制：无足够资源时阻止新连接；动态可替换的路由；干线为越区切换和宽带连接预留资源

#### 2. 分组交换网的流量控制与资源分配

##### (1) LAN/MAN（局域/城域）

特点：共享介质自由接入

Qos: 为数据优化, 尽力而为的工作, 可能延迟抖动, 可能丢包

流量控制: 竞争/退避 (例: 以太网的 CSMA/CD); 竞争/预留 (例: 无线 ATM 的分组预留多址); 轮询 (例: FDDI 的令牌环)

## (2) PS-based WAN (广域)

特点: 存储转发, 超时重传

Qos: 为数据优化, 吞吐量, 可能延迟抖动, 可能丢包

流量控制: 基于窗的流控; 流量调度; 缓存管理

## (3) 帧中继 (FR)

特点: 端对端级重传和纠错检错 (中间级不做纠错检错), 明晰的拥塞告知

Qos: 为高速数据优化, 高吞吐量, 保证速率, 低排队延迟

流量控制: 前向拥塞通知和逆向拥塞通知, 选择性丢包 (DE)

# 三、多业务网络的流量控制与资源分配

## 1. ATM 网络的流量控制与资源分配

特点: 基于状态; 高传输速度; 不可预测的流量模式和规模; 多种 Qos 要求 (对延时和丢包敏感); 需适应不同网络规模 (LAN 和 WAN)

Qos:

(1) CBR: 固定速率。实时业务。

流量需求: PCR (峰值速率)

服务需求: CLR (丢包率), CTD/CDV (延时)

(2) rt-VBR: 实时变化速率。实时业务。一般用于图像业务

流量需求: PCR (峰值速率), SCR (平均速率)

服务需求: CLR (丢包率), CTD/CDV (延时)

(3) nrt-VBR: 非实时变化速率。非实时业务。

流量需求: PCR (峰值速率), SCR (平均速率)

服务需求: CLR (丢包率)

(4) ABR: 可用速率。非实时业务。一般用于数据业务

流量需求: PCR (峰值速率), MCR (最小速率), 反馈

服务需求: CLR (对网络指定的丢包率)

(5) UBR: 速率无要求。非实时业务。须知峰值速率

流量需求: PCR (峰值速率)

服务需求: 无

流量控制:

(1) 接入控制 (CAC-connection admission control)

1) 接入时申报流量需求和服务需求: CBR/VBR/ABR/UBR

2) 根据网络性能决定是否接受此传输的 Qos 请求, 接受则为此传输分配路径和带宽

方式: 通用信元速率算法

leaky bucket

双 leaky bucket (一个测峰值速率一个测平均速率)

问题: 申报值和测量值可能不一致

(2) 网络监控 (UPC-usage parameter control)

1) 监 (traffic policing): 检查申报值和测量值是否一致

方式: 没有通用信元速率算法严格

2) 控 (traffic shaping): 终端将数据整形, 使流量需求和服务需求满足申报值

方式: 令牌桶 (token bucket)、缓存 (buffering)、重排 (spacing)

(3) 网络资源管理 (network resource management)

1) 调度 (scheduling)

信元调度: DFBA (difference fair buffer allocation)

数据包调度: Round Robin

2) 排队 (queueing)

3) 虚电路预留 (virtual path resource reservation)

(4) 选择性丢弃 (selective cell/frame/packet discard)

1) 信元选择性丢弃 (SCD): CLP (信元丢弃优先级) 低的先丢弃。

2) 帧/数据包选择性丢弃 (SFD/SPD)

PPD (partial packet discard): 缓存溢出时丢弃数据包中的部分信元

EPD (early packet discard): 超过缓存阈值则丢弃全包

(5) 反馈机制 (feedback control): 适于 ABR (available bit rate)

1) 信源端: 基于网络中控制信息定出发送速率

RM (资源管理信源): 周期性探测包, 每个交换机可以向包中写入自己的拥塞状况, 返回后信源即知网络中的拥塞状况

2) 交换机: 向 RM 中写入反馈信息以控制源端速率

VS-VD (虚源-虚目的): 以交换机为节点将网络拆成多个出入口, 进行多级流控制, 减小 RM 循环周期

3) 目的端: 将拥塞信息告诉源端

2. 有线 Internet 中尽力而为服务模式 (Best-Effort: 缺省) 的流量控制与资源分配

特点: 不保证延时、可靠性; IP: 无状态; TCP: 有状态

Qos: Best-Effort

流量控制:

(1) 依靠超时或连续确认相同包判断拥塞

(2) 依靠窗口限制速率, 估计超时时间和往返时间

(3) 依靠 AIMD (加增乘减) 控制窗口变化: 慢启动+拥塞避免->快速重传+快速恢复

3. 有线 Internet 中综合服务模型 (Int-Serv) 的流量控制与资源分配

特点: 基于状态; 需资源预留; 保证多种 Qos; 复杂度高; 扩展性差

Qos: Int-Serv

流量控制: 资源预留协议 RSVP

4. 有线 Internet 中区分服务模式 (Diff-Serv) 的流量控制与资源分配

特点: 无状态; 无需要资源预留; 弱 Qos 保证; 实现简单; 扩展性好

Qos: Diff-Serv

流量控制: ipv4-type of service 域/ipv6-differentiated service 域中的 6 比特区分服务模式代码点 DSCP

5. 无线 Internet 的流量控制与资源分配

特点:

(1) 衰落:

1) 低带宽、高误码: 拥塞丢失、误码丢失

2) 功率衰减: 隐藏终端、暴露终端

(2) 变参:

1) 小区内: 时变性、位变性

2) 小区间: 越区切换、重新路由、信令消耗资源

Qos 面临的挑战:

(1) 流量控制

- 1) 带宽延时积大
  - 2) 对长延时连接的不公平带宽分配
  - 3) 缓存溢出、误码、越区切换都会导致丢包/拥塞，有线 TCP 无法区分!
- (2) 重传机制
- 1) 重传效率低
  - 2) 重复确认机制对丢失分组的检测能力有限
- (3) 定时估计
- 1) 无法适应端对端延时的突发变化

流量控制:

- (1) 传输层方案: 区分缓存溢出、误码、越区切换导致的丢包/拥塞  
例: TCP Reno
- (2) 链路层方案: 利用无线接入点(外地代理)将发送端和无线环境隔离  
例: 拆分 TCP (split TCP/indirect TCP)
- (3) 对比:
  - 1) ACK: 重新传输第一个出错后的所有包
  - 2) SACK: 重新传输出错的包, 效率高
  - 3) 无线 SACK: 减小高误码率和越区切换带来的多次重传, 提高效率

## 总结与展望

### 一、技术的发展:

overhype: 高期望值->over-criticism: 实现时问题多->adopt/accept(accelerate): 适应接纳

->leapfrogging development: 跨越式发展

原: 技术主导市场

大投资少创新

少资源集中掌握

网络引导创新

花钱买技术

现: 市场主导技术

创新无处不在

多资源

终端引导创新

多选择, 免费产品的价值

IP 的成功: 标准而非技术、投资人的预期

### 二、问题与挑战

问题:

三网融合: 电信网、电视网和互联网 or 三网统一: 在互联网上提供三种业务

NGI: 目前互联网的延伸、以 IP 为核心 or NGN: 强调 Qos、业务与传输分离

智能在边缘 or 智能在核心

挑战:

多媒体业务: 实时性、Qos

无线业务: TCP 窗口误动作、端对端控制、移动性管理

商业化: Qos 等

协议复杂化

频谱资源危机

信任危机

能耗危机（能耗增长快于业务量的增长）：移动通信、数据中心、核心路由器、商用计算机、基站技术的发展->单位性能能耗下降,不意味着总能耗的下降->要系统地看待

理论挑战

“尽力而为、边缘复杂、核心简单”理念的适用性

形式化描述、验证、测试和可重用性

泊松过程马尔可夫过程等理论描述数据流动的局限性

解耦主机的 locator 和 identifier (MAC: identifier) (IP: identifier+locator)

IPv6: 实时性、路由选择、平滑过渡

定律:

摩尔: 微处理器速度翻倍 every 18 months

吉尔德: 带宽翻倍 every 6 months

梅特卡夫: 网络价值正比于用户数量平方

信息、交换、传输、网络趋势: 无所不在的网络、存储、智能与感知, 见第一章

走向融合与多样化接入

走向智能化

到处可以计算

到处可以通信: 移动通信、移动网络、移动多媒体

云计算

用户数增长、流量增加

光纤到户（不仅核心路由器, 边缘路由器能耗也上升）

覆盖优先->容量优先->能效优先

### 三、我的总结

无连接: 可引入 MPLS 使之具有面向连接的优点

复用: 统计复用和竞争多址（对于数据报交换和虚电路交换是）

交换: 无状态; 无序到达; 目标地址-->大路由表; 网络发生变化时路由表项变化; 差错恢复能力强; 设备简单;

传输: 无资源预留; 难保证 Qos; 延时抖动大; 延时难预测; 灵活性和可扩展性好; 线路利用率高; 数据

面向连接:

复用: 固定复用和协调多址（对于电路交换是, 虚电路交换则不是）

交换: 有状态; 顺序到达; 连接号-->小路由表; 连接建立或撤销时路由表项变化; 差错恢复能力差; 设备复杂;

传输: 有资源预留; 易保证 Qos; 延时抖动小; 延时易预测; 灵活性和可扩展性差; 线路利用率低; 语音视频

无线问题:

1.无线信道特点: 第二章

2.移动性管理: 第五章

3.Qos 与流量控制: 第六章

蜂窝网 vs 移动网自组织网:

1.概念、特点和移动性管理: 第五章

电路交换 vs 分组交换:

1.概念和特点: 第四章

2.路由: 第五章

3.Qos 与流量控制: 第六章