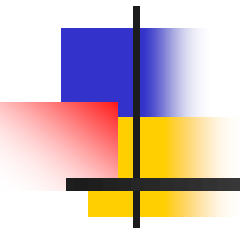
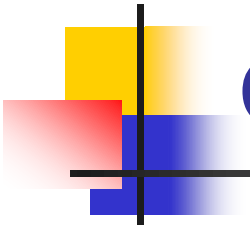


计算机网络概论
应用层——QoS概述

刘志敏
liuzm@pku.edu.cn

相关知识回顾

- 数字音频与数字视频的特点
  - 数据量大，采用数据压缩技术
- 媒体传输协议
  - RTP：承载流媒体数据，顺序、时间戳、编码等信息
  - RTCP：交换数据传输质量，如丢帧率、延迟等信息
  - RTSP：传输的控制协议、用户界面、解压缩、消除差错、缓存及播放
- SIP：VoIP信令协议，支持移动性
- 如何保证传输质量，改善用户体验？



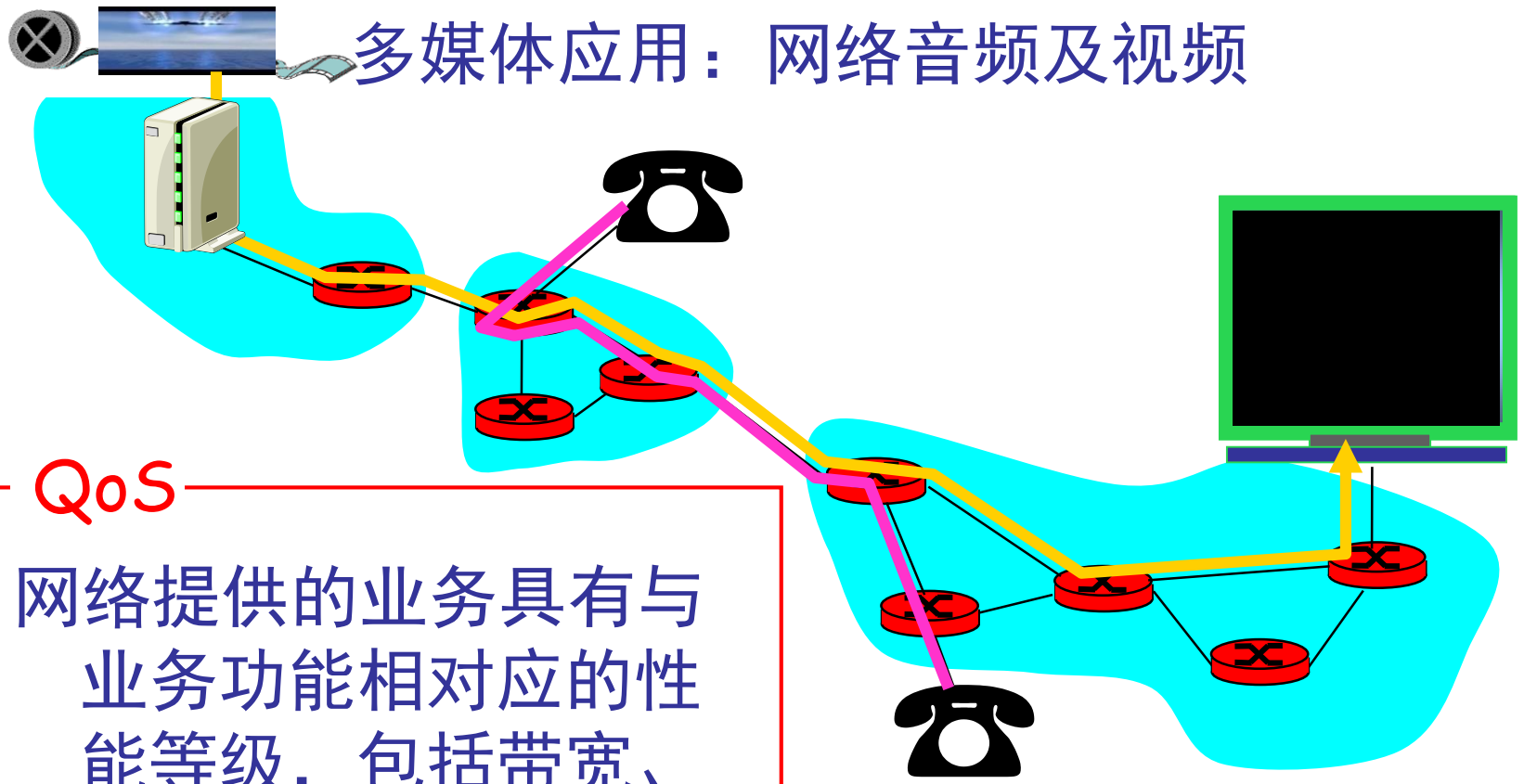
QoS概述

- 理解QoS
- QoS保证机制：
  - 媒体服务器及播放器
  - RSVP
  - DiffSer模型
  - 调度机制与漏桶算法
- 其他网络技术
  - MPLS：多协议标记交换

理解QoS (Quality of Service)

数字媒体：利用网络提供信息和娱乐服务

多媒体应用：网络音频及视频



QoS

网络提供的业务具有与业务功能相对应的性能等级，包括带宽、延迟、抖动、丢帧率

多媒体业务的服务质量

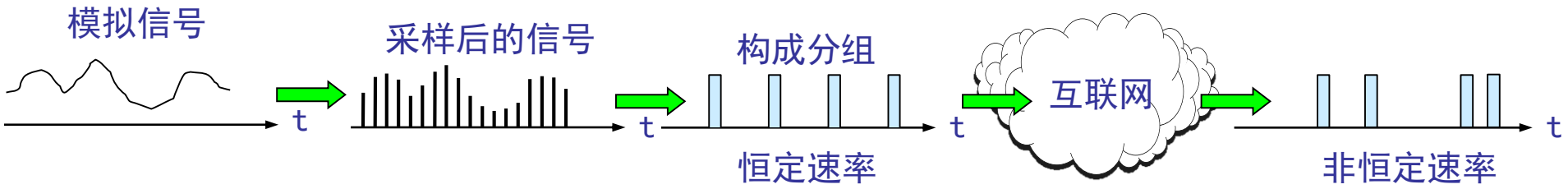
QoS（Quality-of-Service）：满足业务需求的技术指标，如带宽、延迟、延迟的变化、丢帧率；GBR（Guranteed Bit Rate）

QCI	Resource Type	Priority	Packet Delay Budget	Packet Loss Rate	Example Services
1	GBR	2	100ms	10^{-2}	Conversational Voice
2		4	150ms	10^{-3}	Conversational Video (live streaming)
3		5	300ms	10^{-6}	Non-conversational Video (buffered streaming)
4		3	50ms	10^{-3}	Real Time Gaming
5	Non-GBR	1	100ms	10^{-6}	IMS Signalling
6		7	100ms	10^{-3}	Voice, Video (Live Streaming), Interactive Gaming
7		6	300ms	10^{-6}	Video (Buffered Streaming); TCP-based (e.g. www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)
8		8			
9		9			

3GPP TS 23.203 Technical Specification Group Services and System Aspects; Policy and charging control architecture

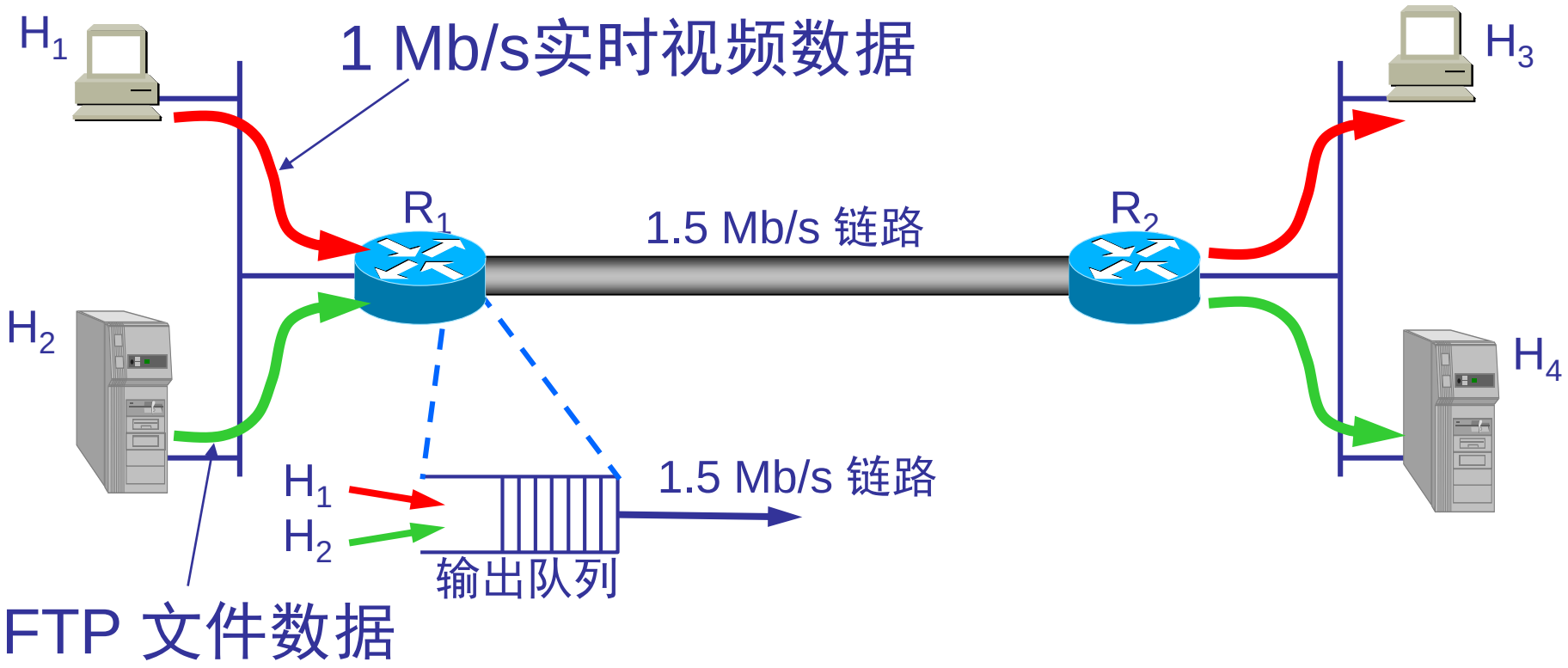
互联网提供尽力而为服务

- 模拟信号经采样、量化及编码转为数字信号，再封装为分组
- 发送的媒体数据报文（RTP）是等间隔的，经过互联网存储转发后为不等间隔的
- 时延抖动(Jitter)：由于网络延时的变化导致分组到达速率的变化。如果对严重的时延抖动不处理，用户就会感觉音视频忽快忽慢难以接受。



数据经过存储转发，速率及延迟发生变化

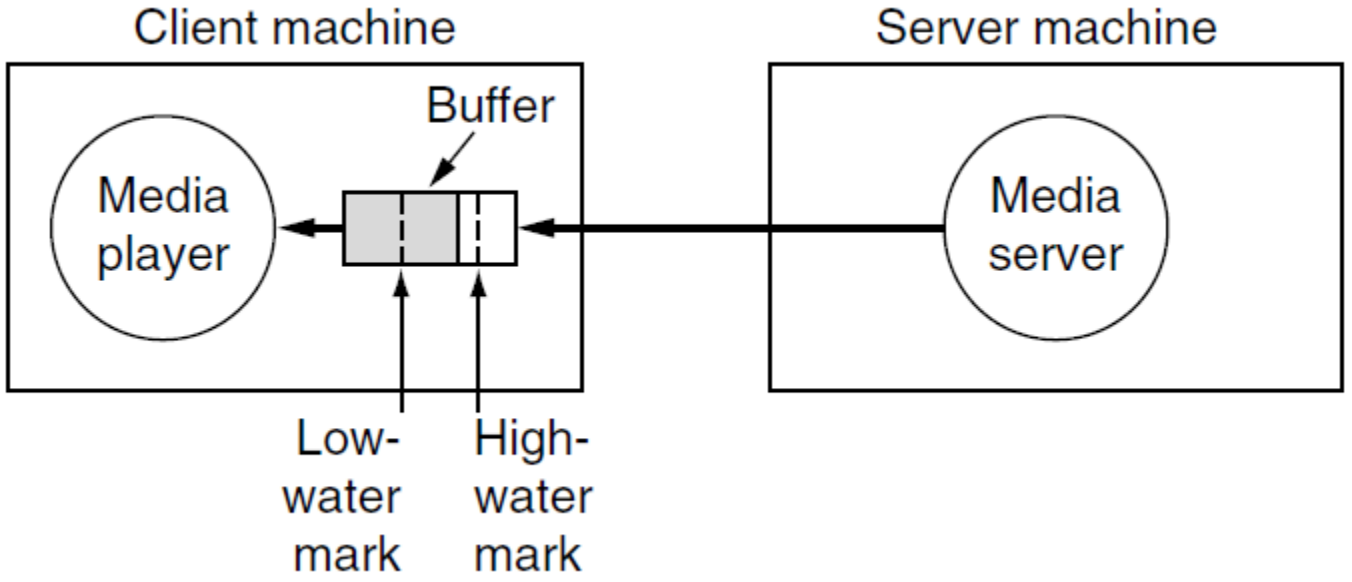
主机H1与H3之间传输的视频信息，需要保证实行性
主机H2和H4之间传输文件，需要保证可靠性



媒体播放器

- 专用的软件，如media player
- 提供用户图形界面
- 提供交互功能——支持RTSP
- 解压缩
- 消除错误
- 缓存数据，消除抖动

媒体播放器——缓存数据、消除抖动



播放器缓存来自服务器的输入，播放缓存的内容，而不是直接播放接收的来自网络的数据

- 在接收端设置缓存；当缓存分组达到一定数量后再以恒定速率按序播放
- 缓存增加了迟延，但消除了时延抖动

QoS概述

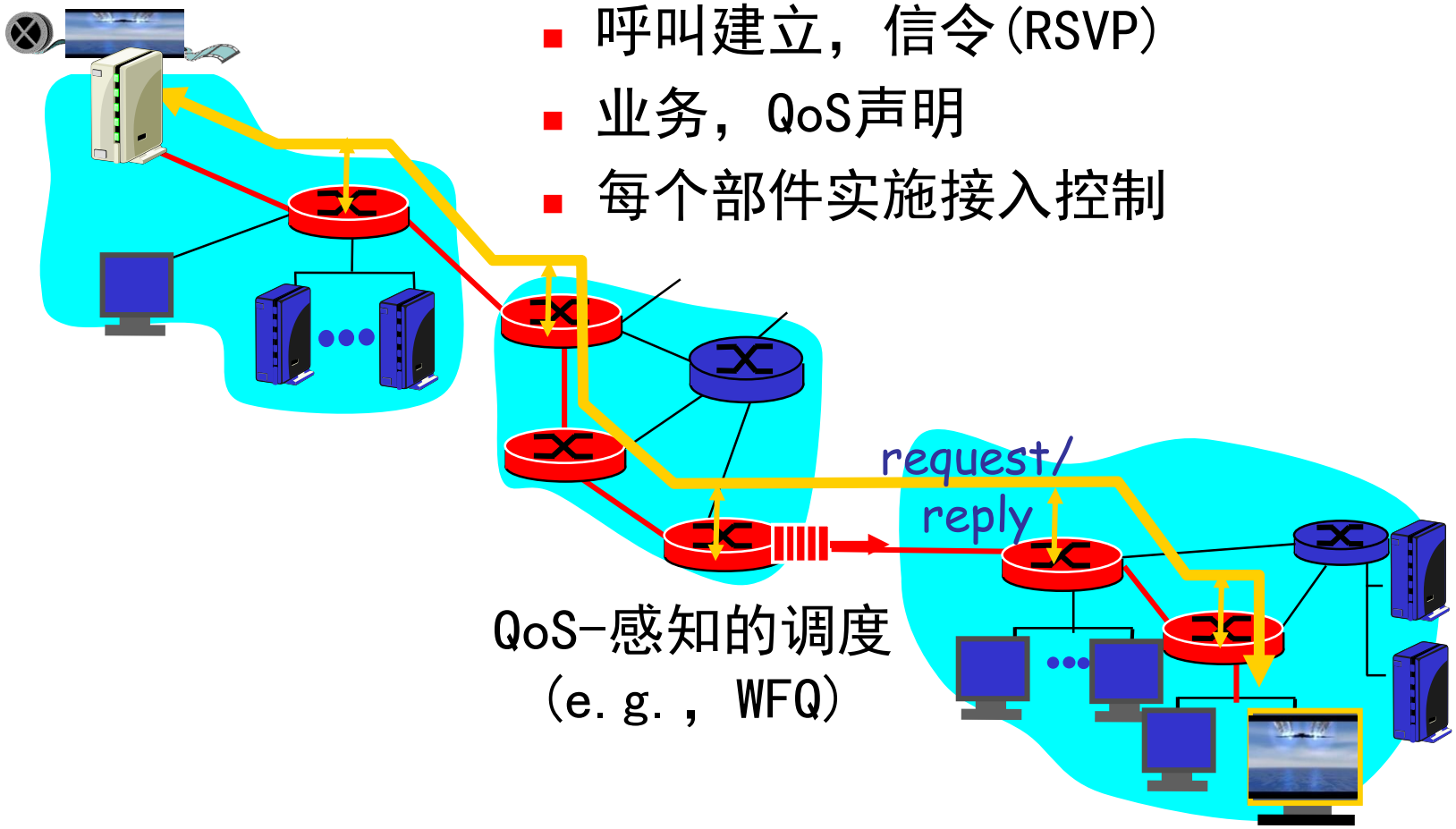
- 理解QoS
- QoS保证机制：
  - RSVP：综合服务
  - DiffSer模型
  - 调度机制与漏桶算法
- 其他网络技术
  - CDN：内容分发网络
  - MPLS：多协议标记交换

综合服务与资源预留

- IntServ (Integrated Services)对每个应用会话提供服务质量保证，特点资源预留和呼叫建立
- 资源预留：路由器需要为某一会话预留资源（即链路带宽和缓存空间）。
- 呼叫建立：为保证会话的服务质量，必须首先在源站到目的站的路径上的每个路由器预留资源，类似于传统的采用电路交互的电话网。

保证QoS的场景

- 资源预约
  - 呼叫建立，信令(RSVP)
  - 业务，QoS声明
  - 每个部件实施接入控制



QoS-感知的调度
(e.g.，WFQ)

接入控制 Call Admission

- 资源预约：路由器维护状态信息、分配资源
- 允许或拒绝建立一个新呼叫

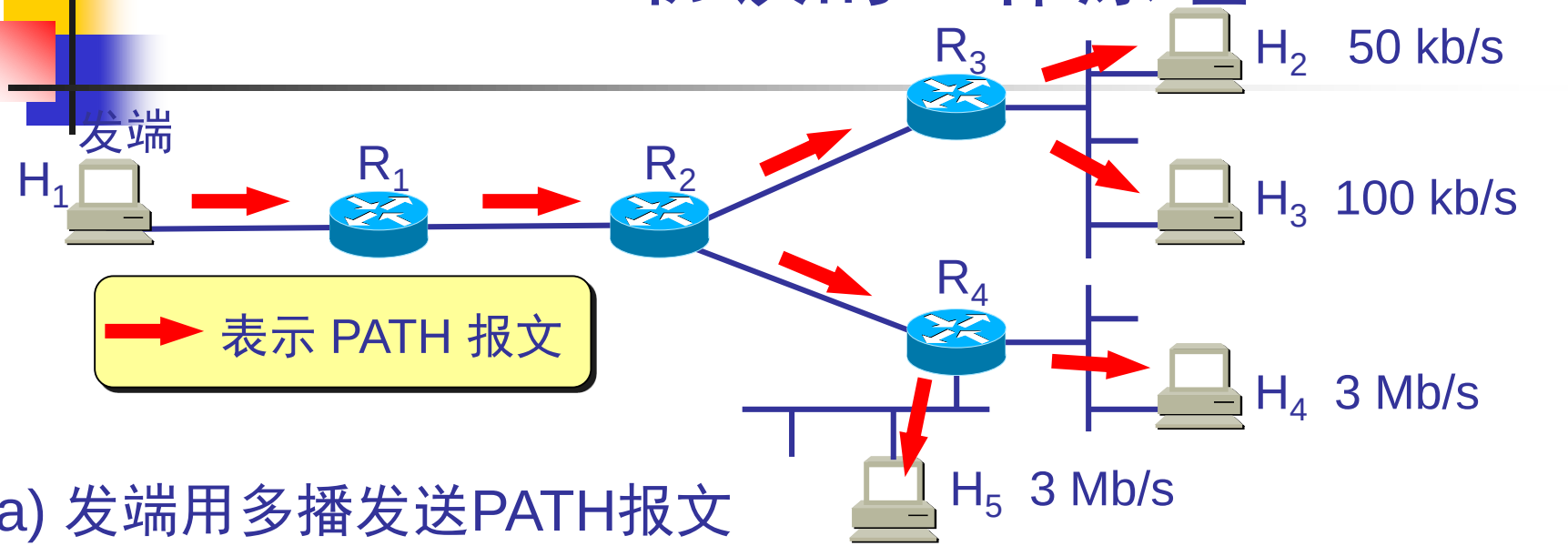
到达的会话必须：

- 声明其QoS需求
  - R-spec：定义需要的QoS
- 网络传输的业务流特征
  - T-spec：定义业务流特征
- 信令协议：携载R-spec及T-spec给路由器，以预约请求
  - RSVP[RFC 2205]

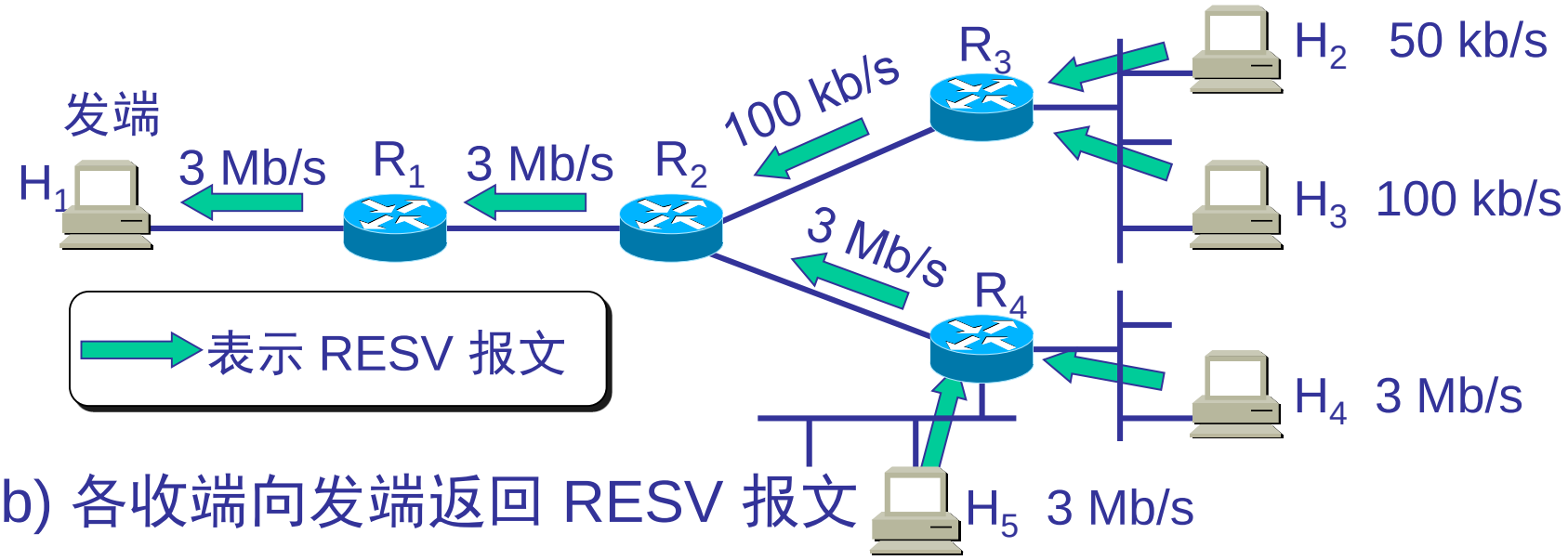
RSVP：基本过程

- 发端、收端加入一个多播组
  - 在RSVP之外完成
- 发端到网络的信令
  - 路径信息：保证发端知道所有的路由器
  - 路由拆除：从路由器上删除发端路径状态信息
- 收端到网络的信令
  - 预约信息：预约由发端到收端的资源
  - 预约拆除：删除接收端预约
- 网络到端系统的信令
  - 路径错误
  - 预约错误

RSVP 协议的工作原理



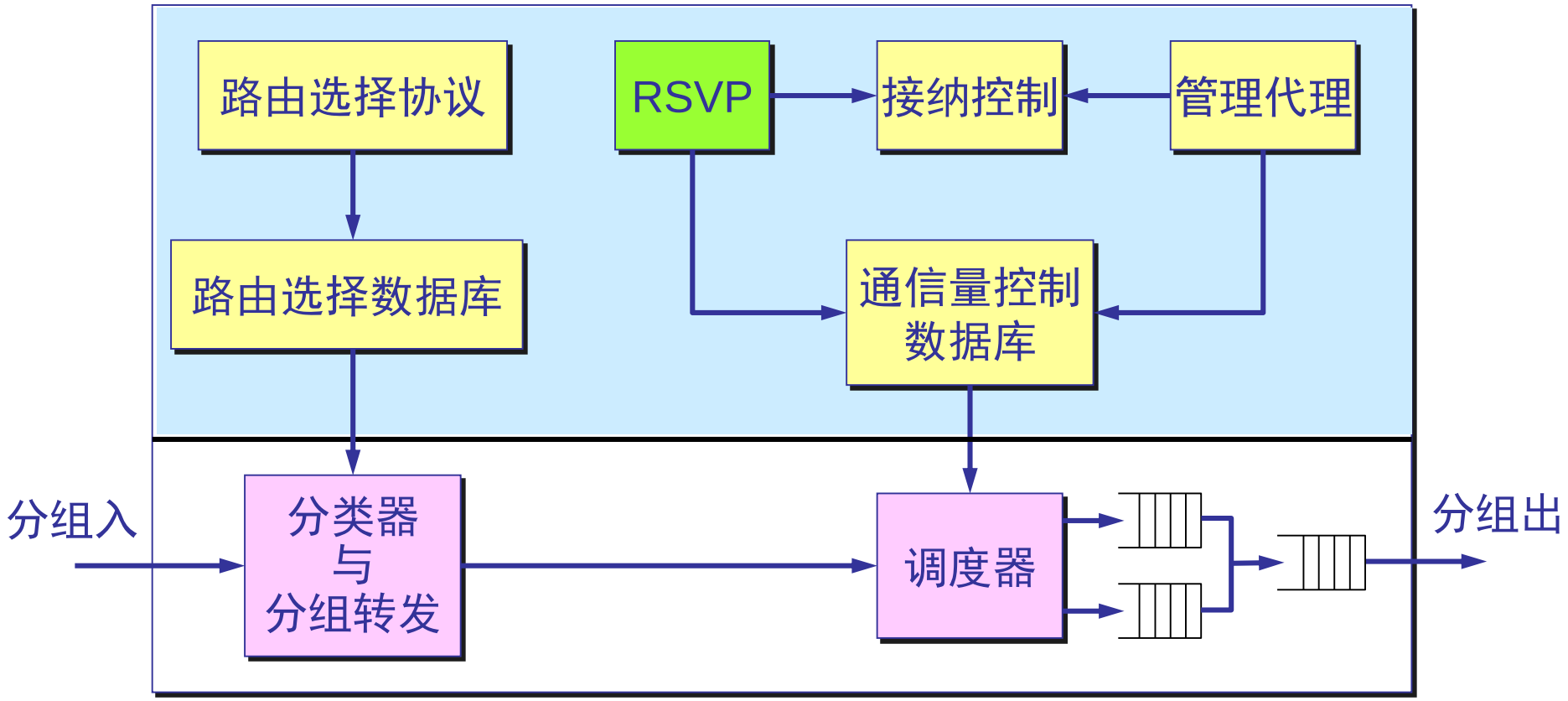
(a) 发端用多播发送PATH报文



(b) 各收端向发端返回 RESV 报文

IntServ 在路由器中的实现

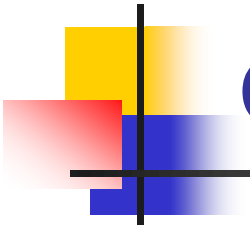
IntServ组成：RSVP、接入控制、分类器、调度器



IntServ体系结构存在的问题

(1) 状态信息的数量与流的数量成正比。在大型网络中，按每个流预留资源，开销大

(2) IntServ 体系结构复杂。若要保证服务质量，所有的路由器都必须配备RSVP、接入控制、分类器和调度器

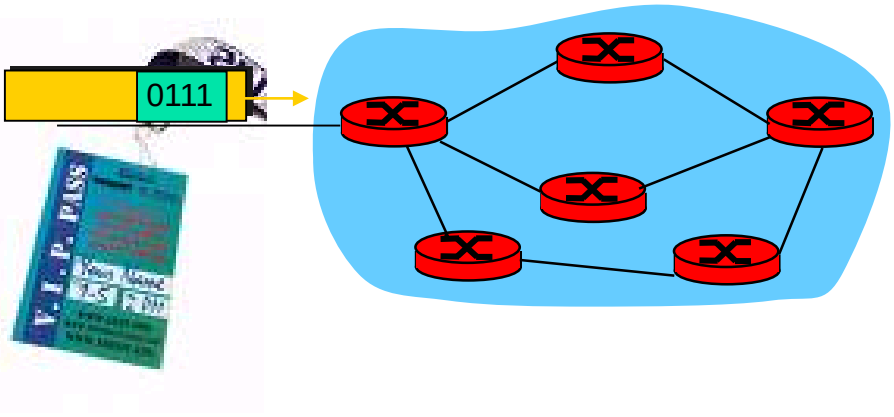


QoS概述

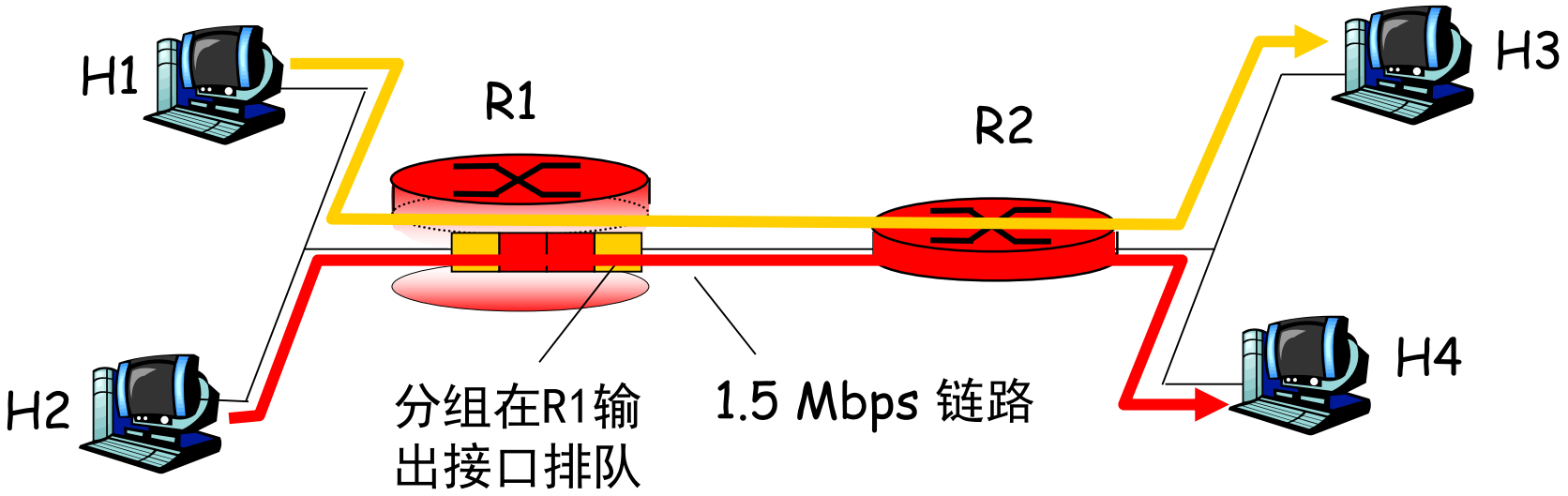
- 理解QoS
- QoS保证机制：
  - RSVP
  - DiffSer：区分服务
  - 调度机制与漏桶算法
- 其他网络技术
  - MPLS：多协议标记交换

提供划分等级的服务

- 提供比尽力而为更好的服务
  - 一种模型适于所有业务模型
- 另一种选择：提供多等级的服务
  - 对服务类型划分等级
  - 等级不同，网络处理方式也不同（比如：区分VoIP业务与一般业务）
- 聚合流：不同业务等级的数据流，可能来自相同的连接，不能用（IP1，IP2）标记服务类型
- 利用IP分组头中ToS字段（服务类型）标识业务类型

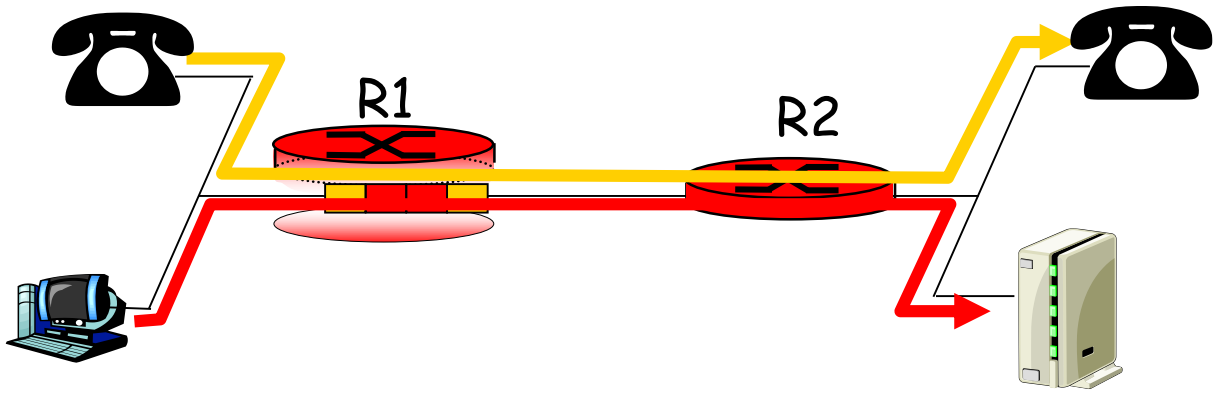


多等级服务的场景



场景 1：一个FTP流与一个音频流

- 例如：1Mbps的IP电话与FTP共享1.5Mbps链路
  - FTP突发数据可能阻塞路由器，导致语音分组丢失
  - 语音分组传输优先级需要比FTP的更高

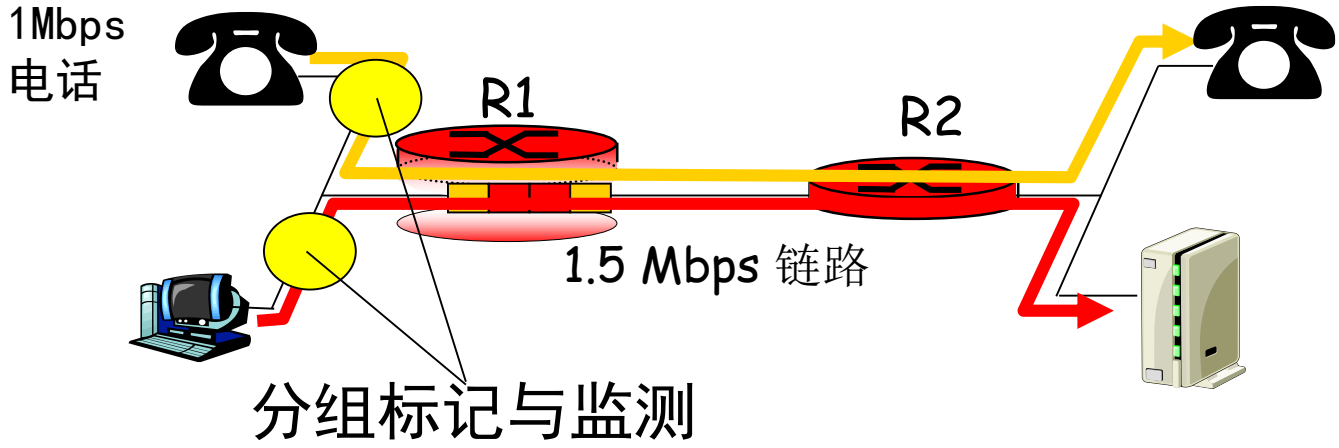


方案 1

标记分组，使得路由器可以区分不同类型的分组流；需要路由器提供处理分组的新策略

保证QOS的原理：（续）

- 若应用程序的行为不当，情况会怎样？（语音发送速率高于其声称的速率）
  - 监测：迫使信源限制其占用的带宽资源
- 在网络边界标记并监测

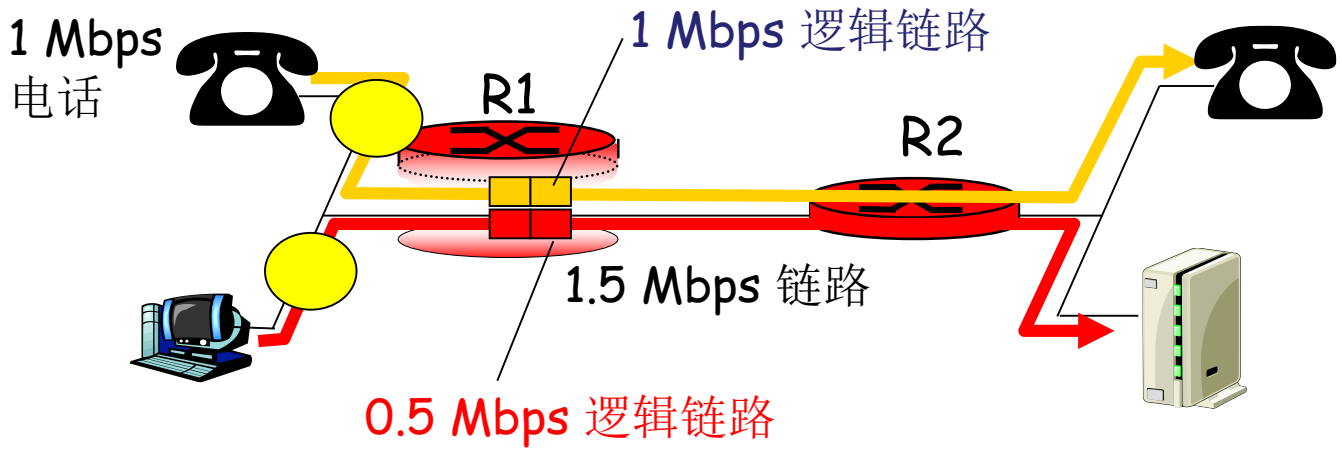


方案2

在各业务类型之间，提供保护与隔离

保证QOS的原理：（续）

- 为业务流分配固定(非共享)带宽：不传输超出分配带宽的业务流



方案 3

在流量类型或流之间提供隔离，尽可能有效地使用资源

区分服务 DiffServ

区分服务 DiffServ (Differentiated Services)

(1) 在路由器中增加区分服务的功能

(2) 将网络划分为许多DS域

(3) 边界路由器：分类、标记、整形、测量

(4) 聚合：根据流的DS值将若干个流聚合成更少的流

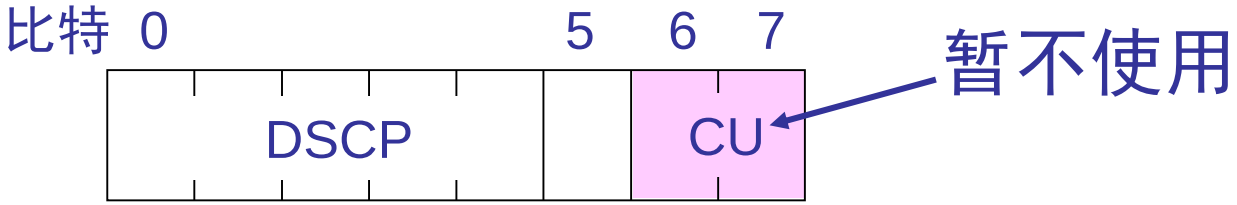
IP首部中的TOS字段

- 由首部和数据两部分组成，首部占 20 字节

区分服务 DiffServ

(1) 在路由器中增加区分服务的功能

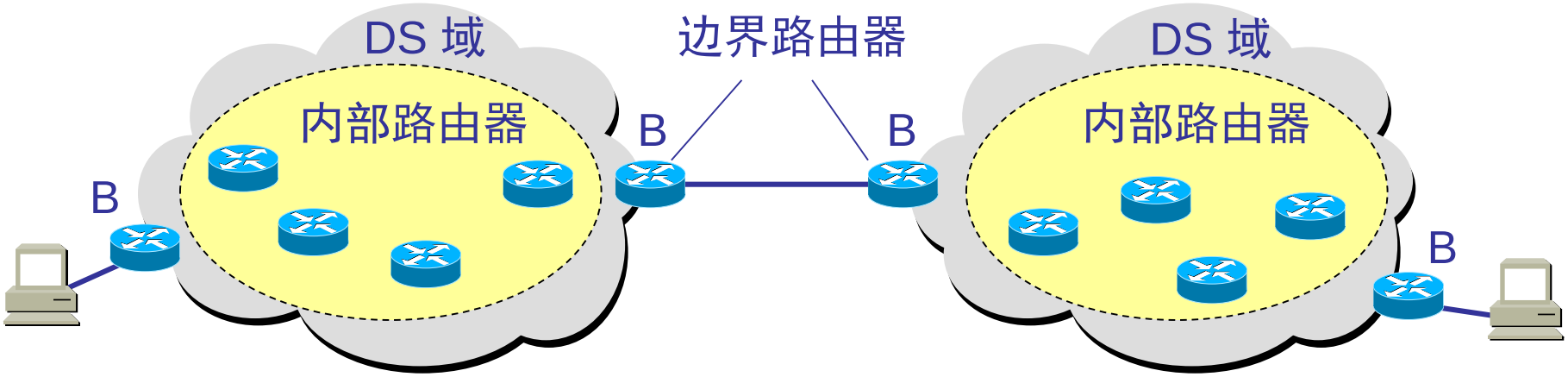
- IP头部的“服务类型”定义服务类型
- 路由器根据 DS转发分组
- 区分服务码点 DSCP (Differentiated Services CodePoint)：占6位。
- 服务等级SLA(Service Level Agreement)：ISP 与用户协商服务等级，约定服务类别及业务量
  - 第0～2位表示四级业务
  - 第3～5位表示三种“丢弃优先级”



区分服务 DiffServ

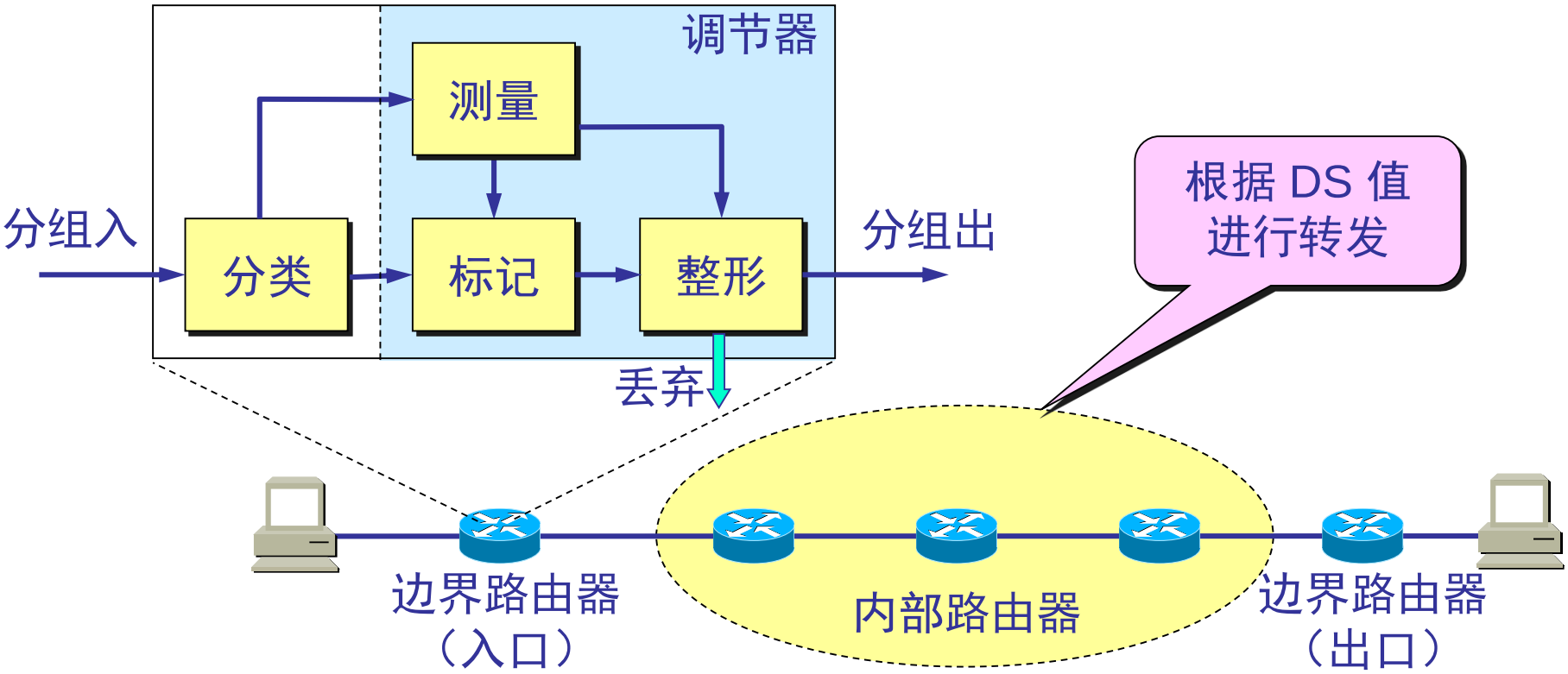
(2) 将网络划分为许多DS域

- 在DS域的边界路由器中实现复杂功能，DS域内路由器尽可能简单，利于快速转发



区分服务 DiffServ

(3) 边界路由器实施分类、标记、整形、测量



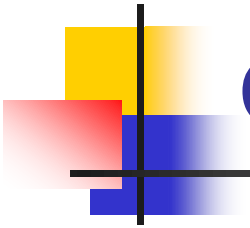
区分服务 DiffServ

(4) 聚合(aggregation)

- 根据流的DS值将若干个流聚合成少量的流，无需为每个流维持供转发的状态信息
- 路由器对相同DS值的流按相同的优先级转发，简化内部路由器的转发机制
- 区分服务DiffServ不需要支持RSVP

区分服务 DiffServ

- 路由器如何处理转发的分组？各路由器的行为彼此独立！
- 迅速转发：路由器提供大于某一阈值的发送速率，提供保证带宽的端到端服务：低丢失率、低时延及时延抖动
- 确保转发：用DSCP表示的四级业务，每级提供最低带宽和缓存空间；对三种“丢弃优先级”，发生拥塞时先丢弃较高“丢弃优先级”的分组

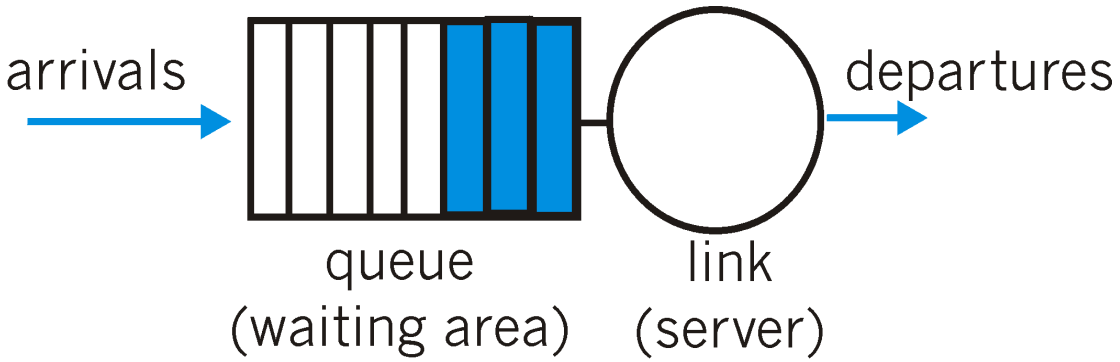


QoS概述

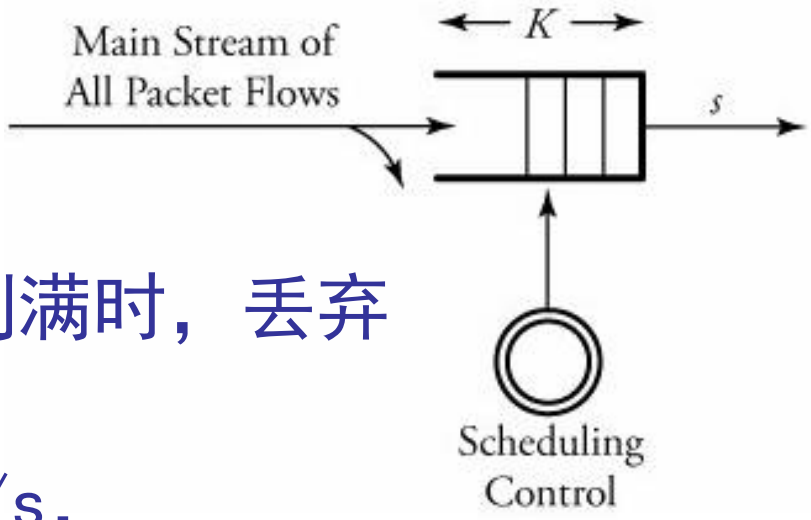
- 理解QoS
- QoS保证机制：
  - RSVP
  - DiffSer模型
  - 调度机制与漏桶算法
- 其他网络技术
  - MPLS：多协议标记交换

调度机制

- 调度scheduling：选择在链路上要发送的下一个分组
- FIFO(first in first out)先进先出：按到达队列的顺序发送
  - 丢弃策略：若分组到达时队列满了，丢弃哪个分组?
    - 丢尾：丢弃新到的分组
    - 优先级：选择更低优先级的分组丢弃
    - 随机：随机丢弃



先进先出 FIFO

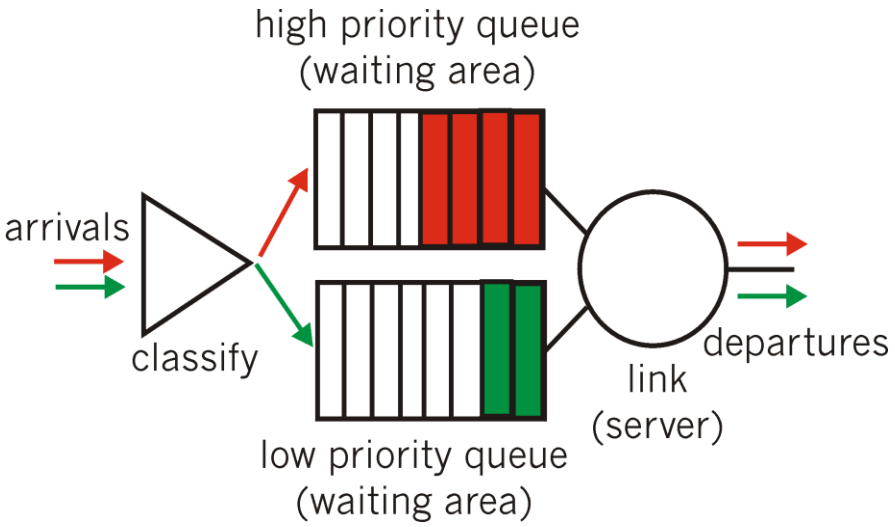


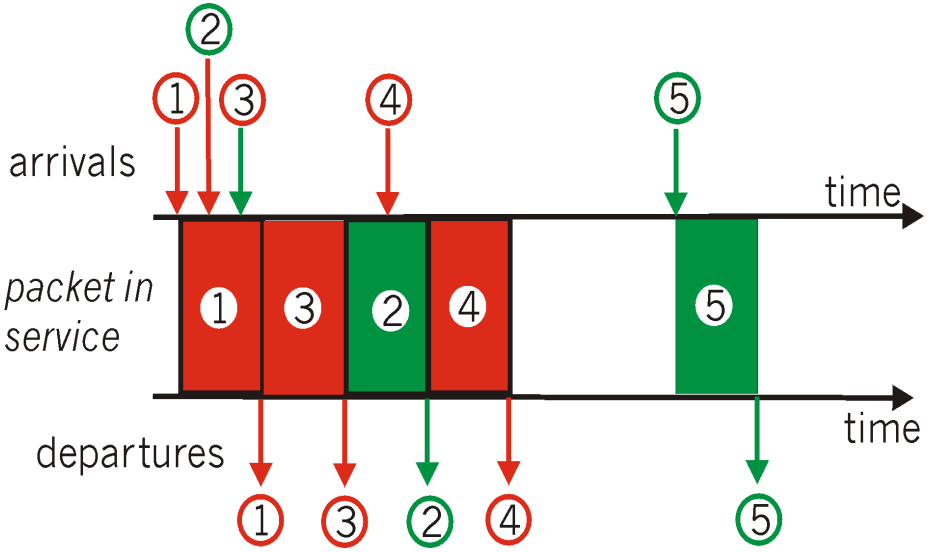
- 先进先出 FIFO，当队列满时，丢弃新到的分组
- 调度时延的上限：$T_q \leq K/s$，
  K为缓存深度，s为输出链路速率
- 缺点：不区分分组，不公平
  - 信源速率高的占用了更多的带宽
- 增加按优先级排队，使高优先级的分组优先得到服务

调度机制:（续）

优先级调度：优先发送高优先级的分组

- 多种业务类型，不同的优先级
  - 分类器：根据分组或分组头信息进行标记，如IP源/目的地址，端口号等

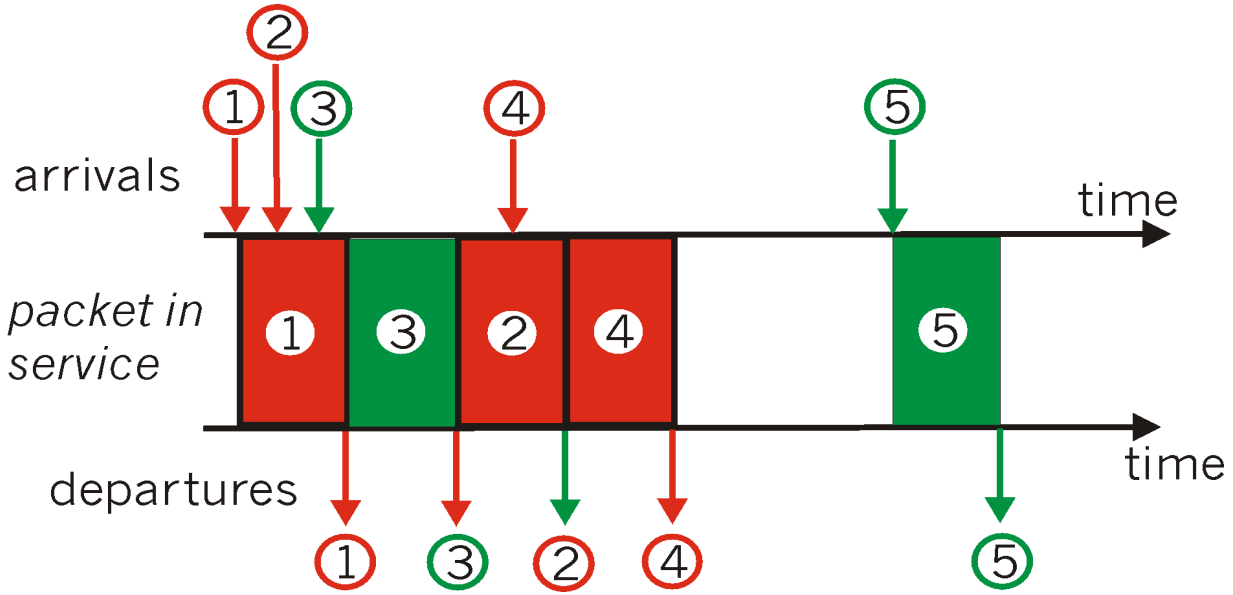




调度机制:（续）

循环调度round robin（最具公平性）：

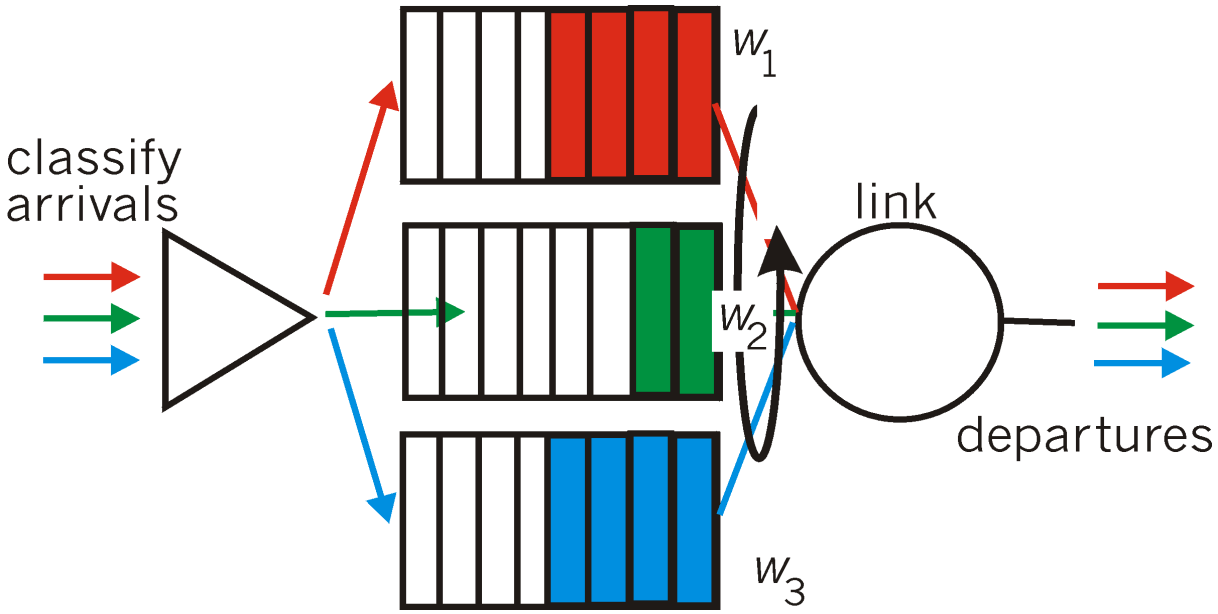
- 按类别排队
- 循环扫描各类别的队列，每个队列服务一次（若队列不空）



调度机制:（续）

加权公平调度 Weighted Fair Queuing或 generalized Round Robin

- 为每个类别的队列分配一个服务权重W_i



加权公平调度 WFQ

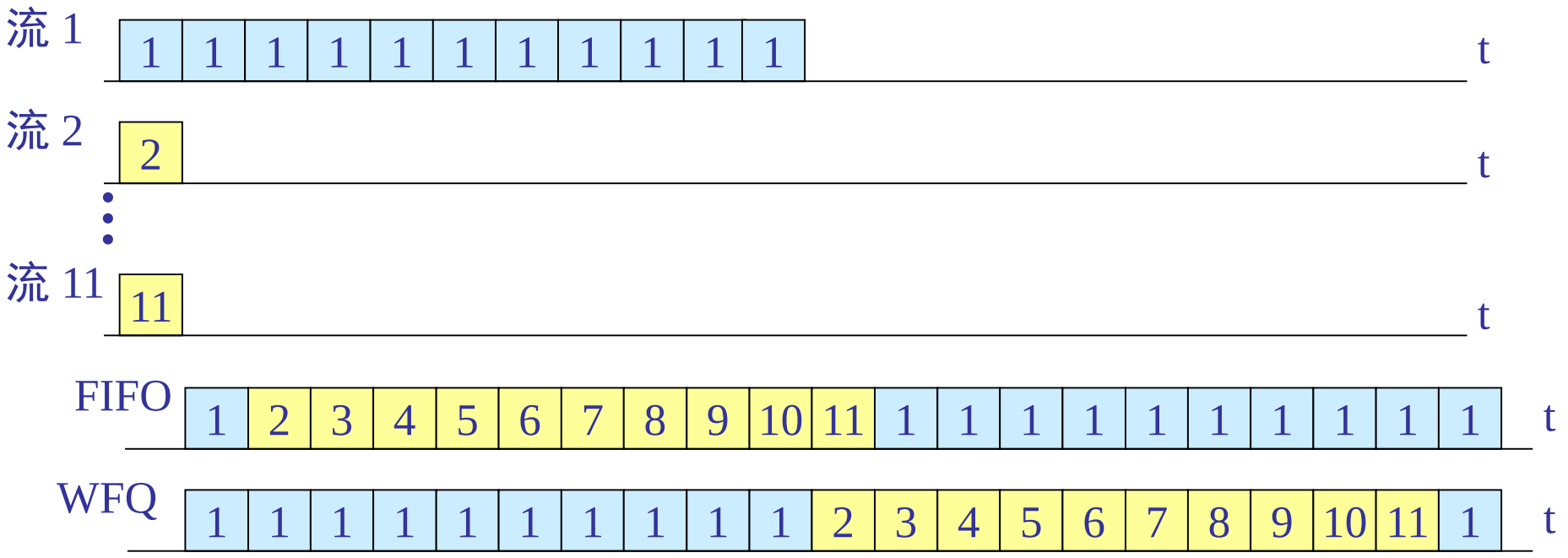
- 对分组分类，存储到相应的队列中
- 给队列i指派一个权重w_i。队列i得到的平均服务时间为$w_i / (\Sigma w_j)$，Σw_j 是对所有非空队列的权重求和
- 队列i得到的带宽R_i为 $$R_i = \frac{R \times w_i}{\Sigma w_j}$$
- 算法：定义a_i，L_i，f_i 分别为第i个分组的到达时刻、分组长度及发送结束时刻，则计算每个队列中的$f_i=\max(f_{i-1}, a_i)+L_i/R_i$，选择最小$f_i$队列的分组发送

WFQ 与 FIFO 的比较

(a)分组流 1 的分组连续输入

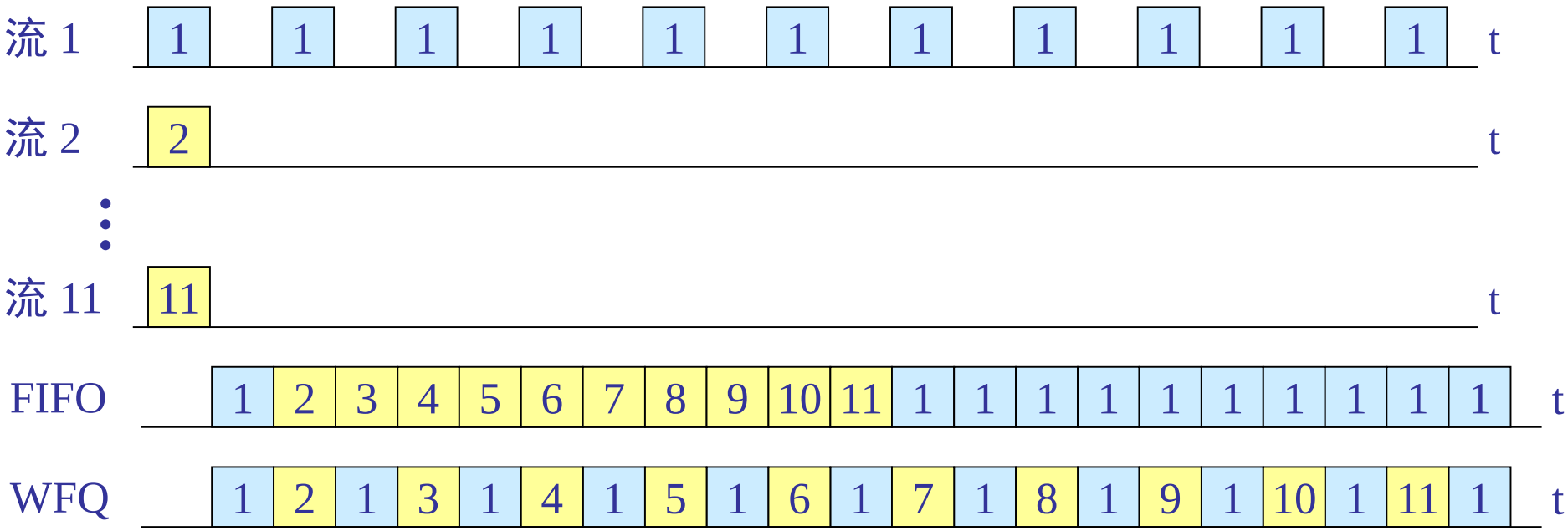
W1=0.5

Wi=0.05, i=2,3,……,11

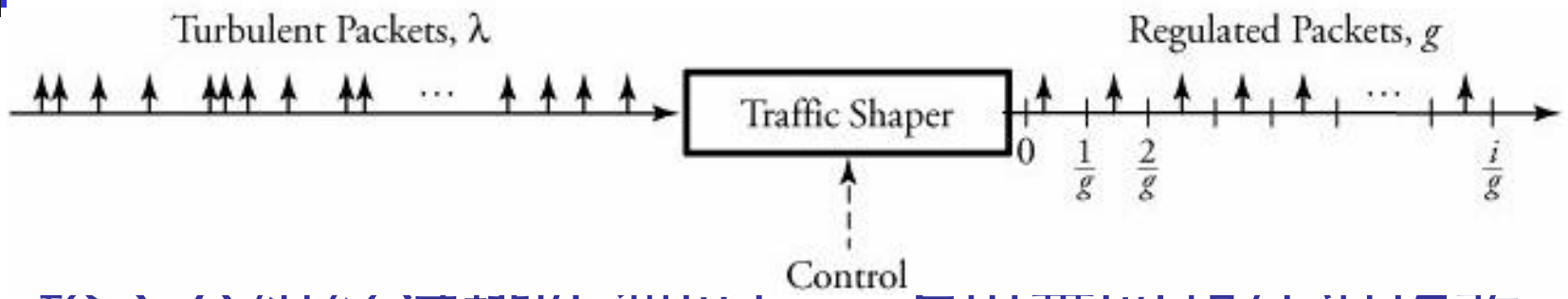


WFQ 与 FIFO 的比较

(b) 分组流 1 的分组断续输入



流量整形（Traffic Shaping）



- 输入分组经过排队调度后，占用带宽和延迟均改变了，流量整形将输入流的速率控制在有效带宽之内，以避免拥塞及分组延迟，分别控制：

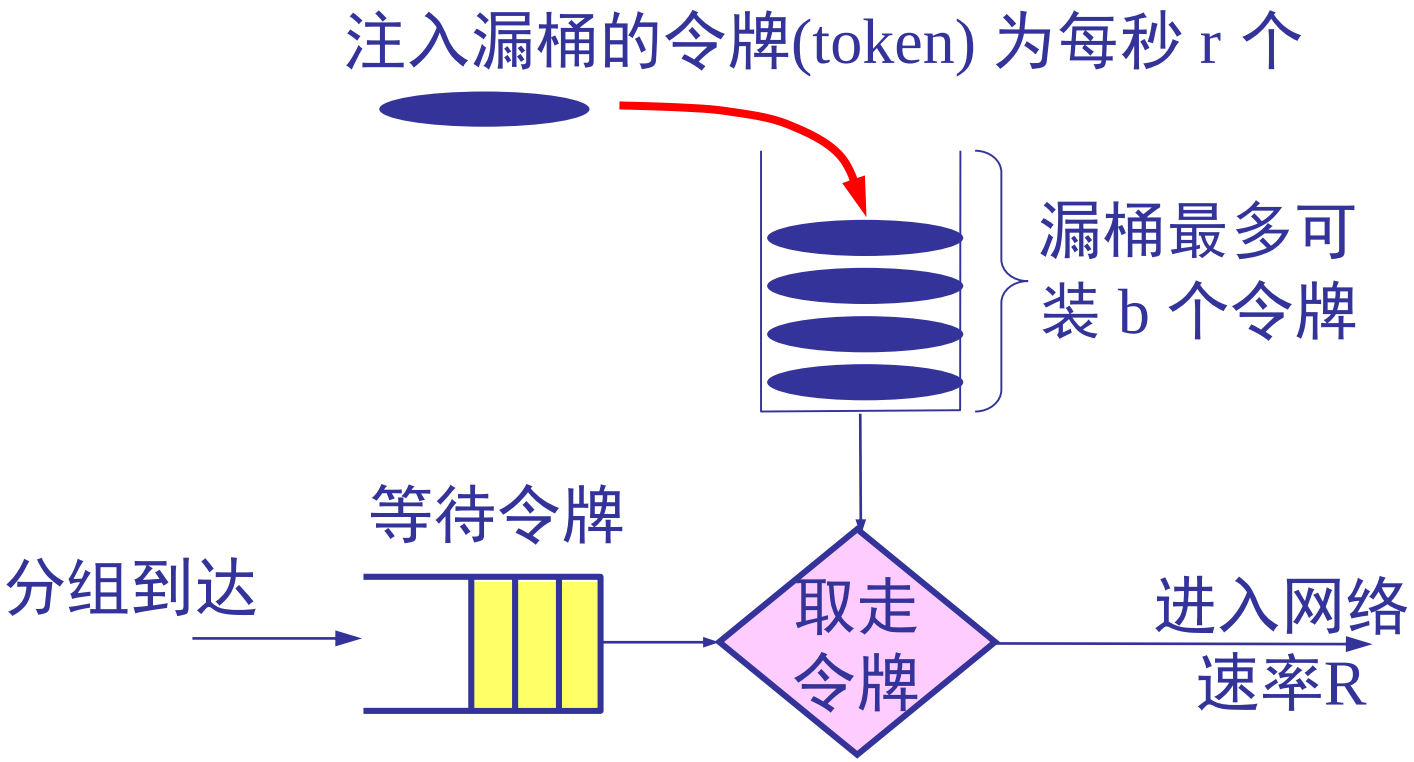
(1) 平均速率：控制一个数据流的平均速率

(2) 峰值速率：限制数据流在非常短时间内的流量

(3) 突发长度：限制在非常短时间内连续注入到网络中的分组数

流量整形方法：令牌桶(Token bucket)

流量整形：调节进入网络数据流的发送速率，使之不超过突发长度及平均速率



在时间 t 内允许进入网络的分组数 $<= r\,t + b$

流量整形

- 突发时间：数据以R速率发送的时间
  $r\,t + b = tR$，　$t = b/(R-r)$
- 突发数据长度：$Rt = Rb/(R-r)$
- **一个流的长期速率由*r*限制，短期突发长度由b决定，不再仅由R决定了**
- 令牌桶的应用
  - 对注入网络的分组整形及监管，即调节速率及突发长度
  - 主机利用操作系统提供的令牌桶算法控制发送速率
  - 路由器在网络接口上用令牌桶监管流量

流量整形：举例

主机速率为1000Mbps(=125MB/s)，令牌桶速率为200Mbps (=25MB/s)

主机输出的流经过令牌桶整形

(a) 主机输出的流

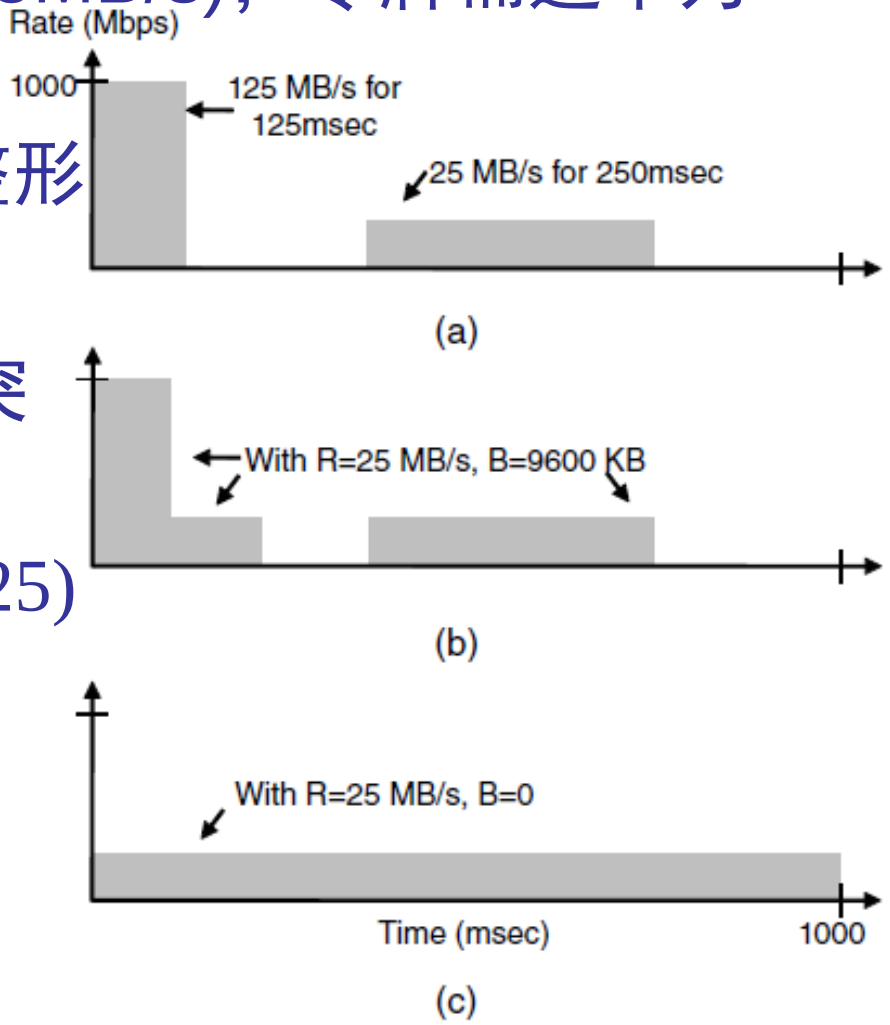
(b) 当b=9600KB时有短时突发，突发时间：$t=b/(R-r)$

$=9.6/(125-25)$

$=0.096$ s

突发长度：$Rt=125*0.096$

(c) b=0 KB，无突发，漏桶



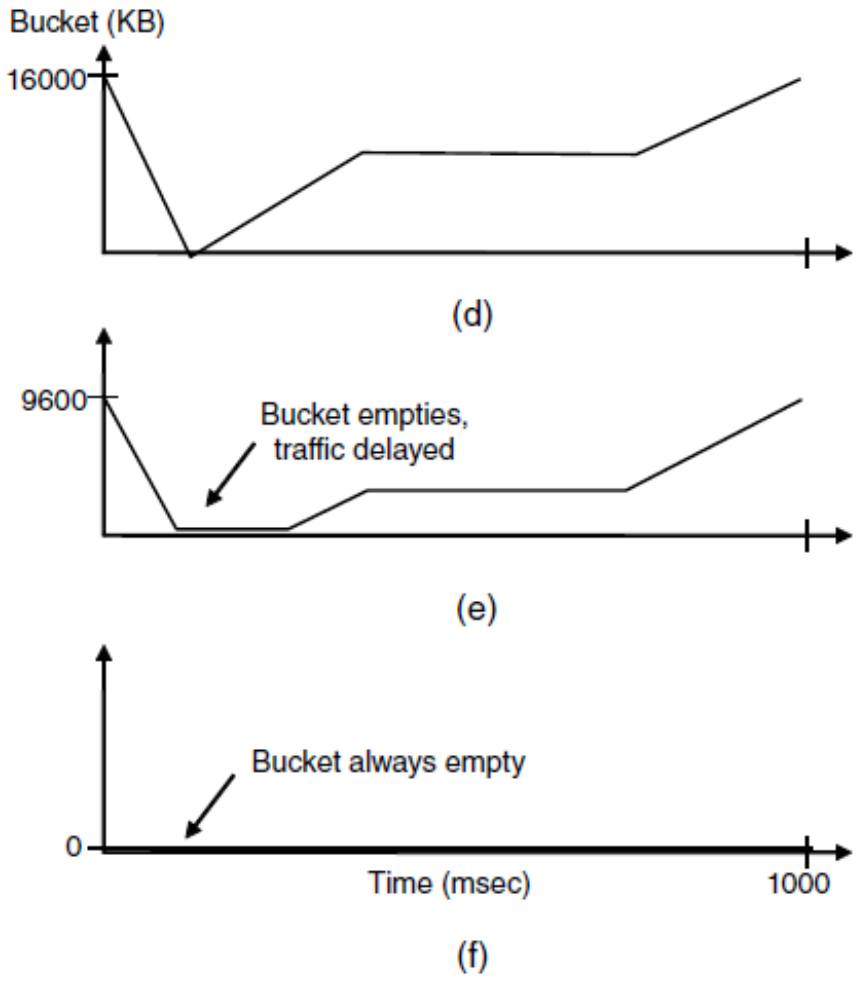
流量整形：举例

通过200Mbps (=25MB/s)的令牌桶整形输出，令牌桶的高度不同，突发数据量也不同

(d) b=16000 KB

(e) b=9600 KB

(f) b=0KB

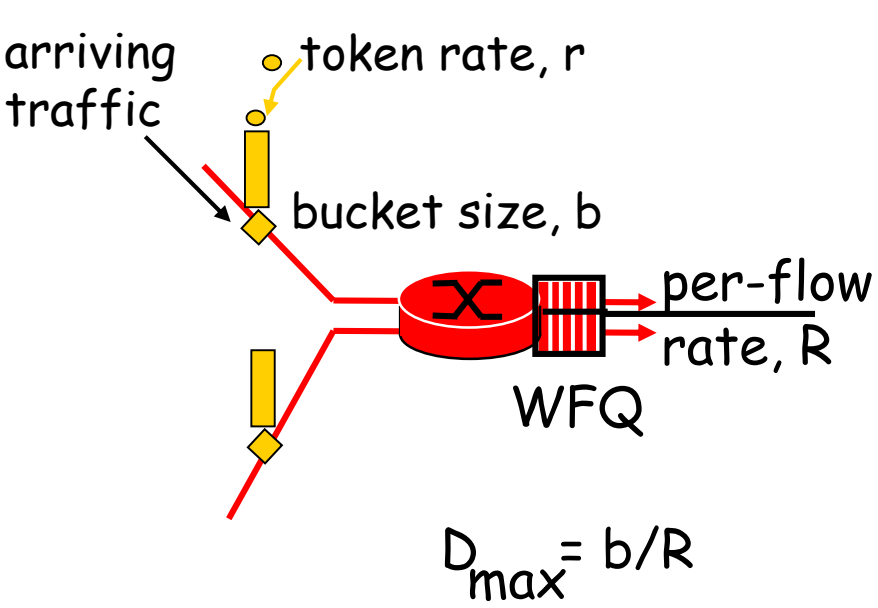


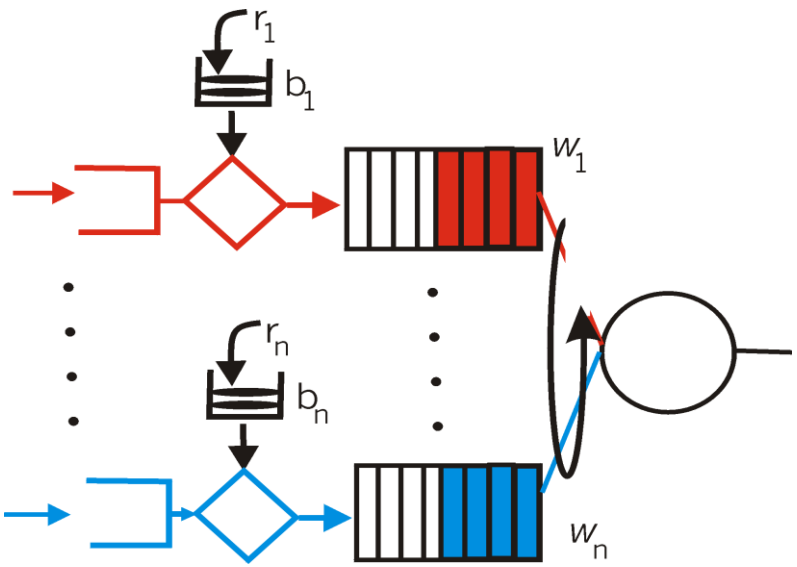
令牌桶与漏桶的区别与联系

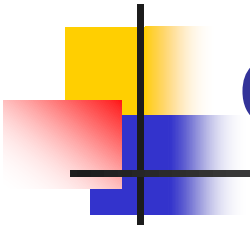
- 令牌桶： b>0，在限制平均速率的同时还允许某种程度的突发
- 漏桶：b=0，强行限制数据速率，不允许突发
- 漏桶算法不能有效地使用网络资源。因为漏桶的发送速率是固定的，即使网络中没有发生拥塞，漏桶算法也不能使某个流达到端口速率。因此，漏桶算法对于存在突发特性的流量来说缺乏效率。而令牌桶算法则能够满足流量的突发特性。
- 漏桶算法与令牌桶算法结合为网络流量提供高效的控制。

令牌桶机制与加权公平调度结合

- 第1级令牌桶：r、b的值较大，平滑流量
  - 分组经第1级缓存，最大时延为b/R
- 第2级漏桶：$b_1=b_n=0$，禁止突发，用r_1，r_2调节每个流的速率







QoS概述

- 理解QoS
- QoS保证机制：
  - RSVP
  - DiffSer模型
  - 调度机制与漏桶算法
- 其他网络技术
  - MPLS：多协议标记交换

多协议标记交换MPLS

- MPLS(MultiProtocol Label Switching)：用面向连接的方式代替IP的无连接分组交换，利用更快捷的查找算法，而不用最长前缀匹配的方法来查找路由表
- 在传统的路由器上也可以实现MPLS
- MPLS 的特点

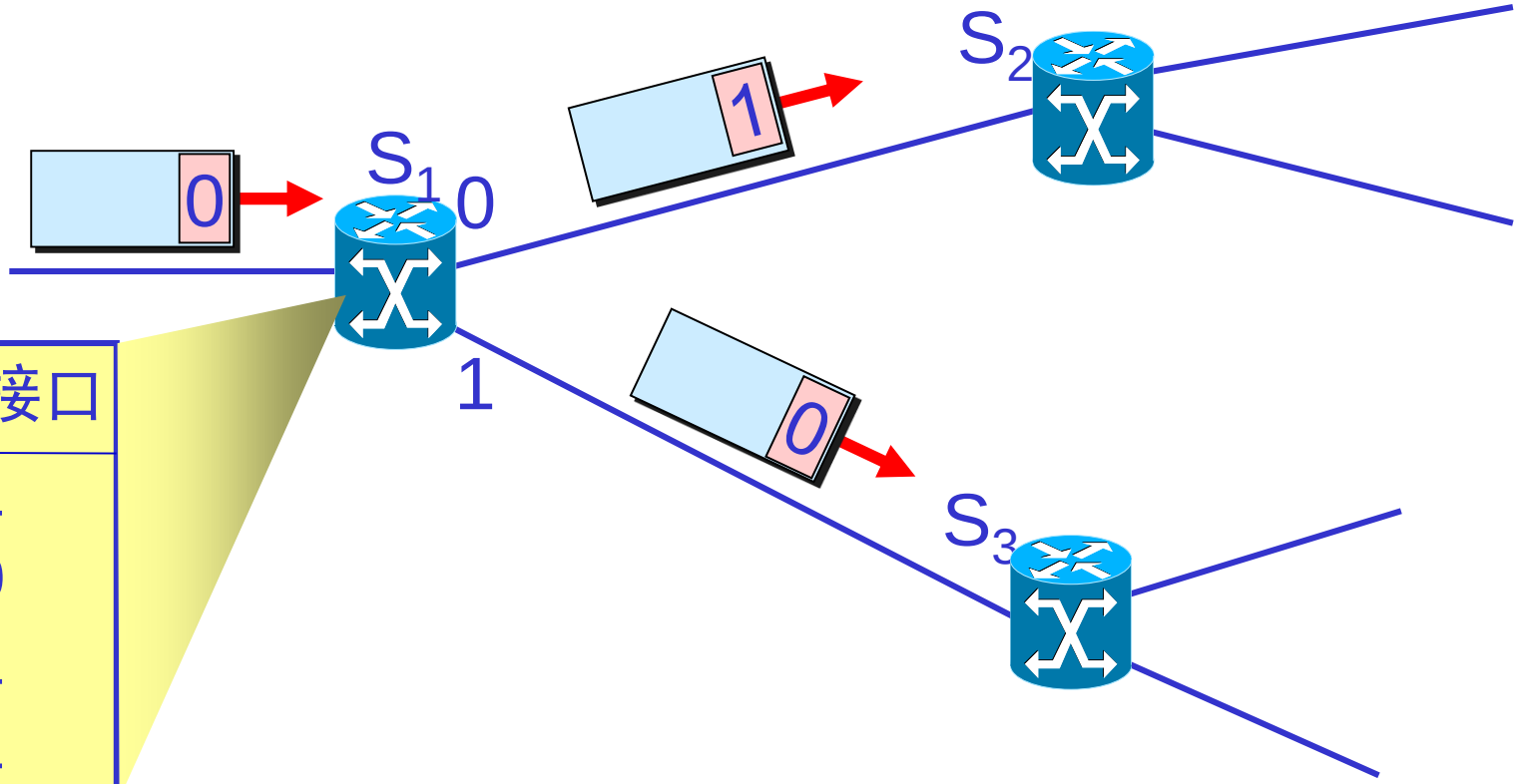
  （1） 支持面向连接的服务

  （2） 平衡网络负载

  （3） 支持虚拟专用网VPN

MPLS 的工作原理

- 每个分组携带一个标记(label)——一个整数，交换机读取分组的标记并用标记值来检索转发表



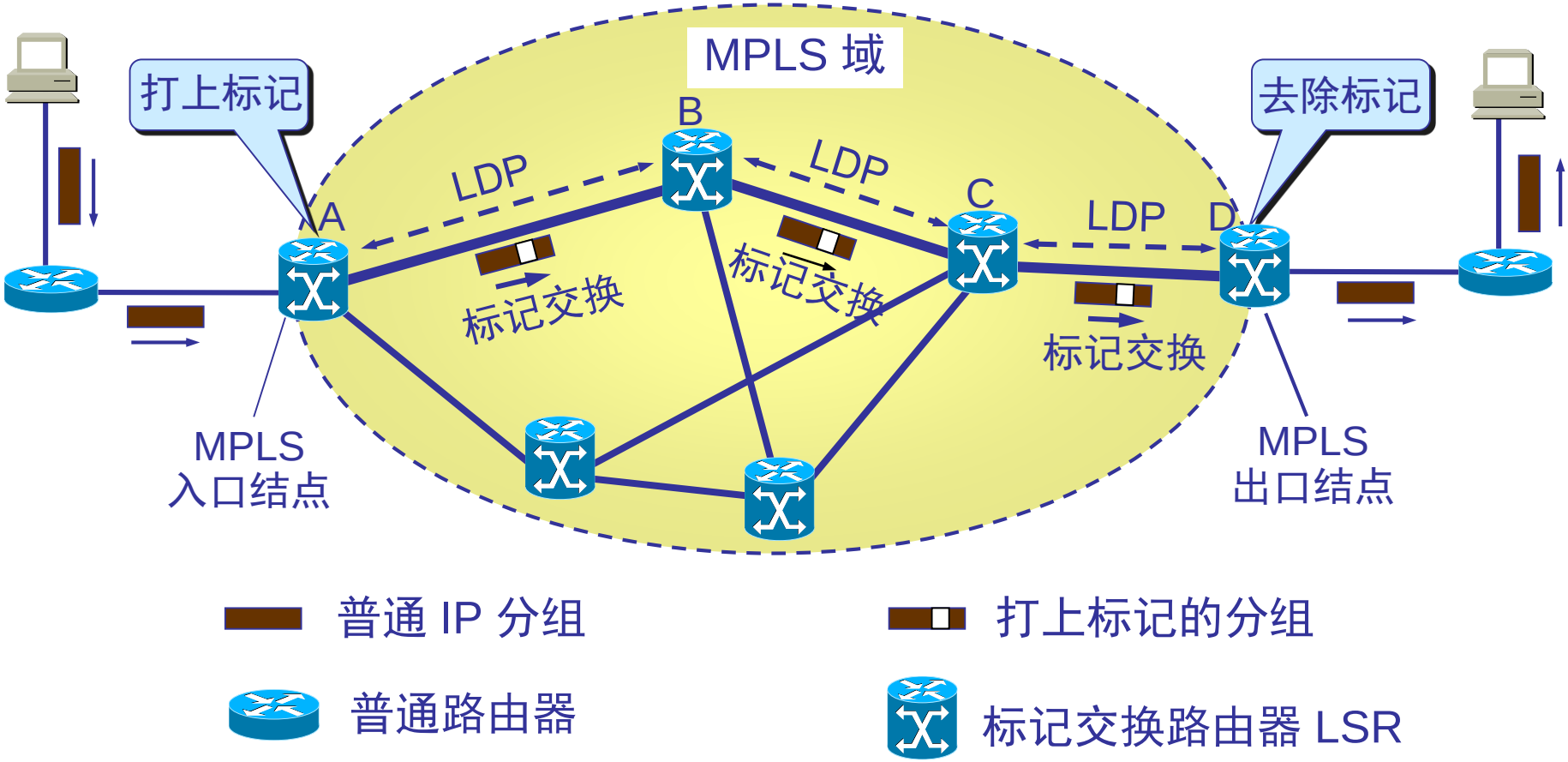
标号	转发接口
0	1
1	0
2	1
3	1

S_1 的转发表

MPLS 的工作原理

- MPLS 对打上固定长度“标记”的分组用硬件进行转发，节省查找路由表的时间，加快分组转发速率
- 采用硬件技术对打上标记的分组进行转发称为标记交换。“交换”表示根据第二层的标记用硬件进行转发，不再是在第三层上分析IP首部和查找转发表
  - 类似于VLAN IEEE802.1Q采用的方法

MPLS 协议的基本原理



MPLS 的工作过程

(1) 标记交换路由器（LSR）之间采用标记分配协议LDP交换报文，找出标记交换路径LSP，各LSR根据路径构造分组转发表

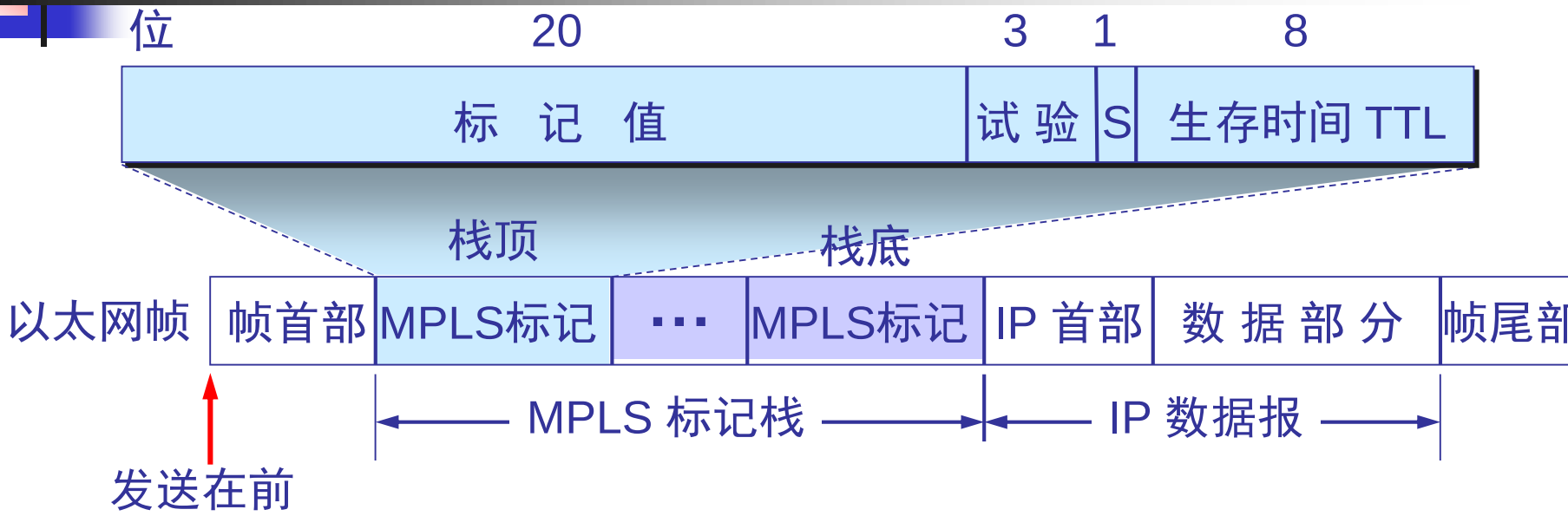
(2) 分组进入MPLS域时，由MPLS入口结点打上标记，并按照转发表转发给下一个LSR

(3) 所有LSR都按照标记转发：每经过一个LSR，换一个新的标记；

- 类似于虚电路方式

(4) 分组离开MPLS域时，由MPLS 出口结点去除标记；之后，按照一般的分组转发方法转发

MPLS 首部



- MPLS 标记可以有多个，采用栈结构；
- 一旦产生就压入标记栈；
- 最新的标记在帧首部之后，便于硬件在固定位置读取标记

小结：多媒体业务与服务质量

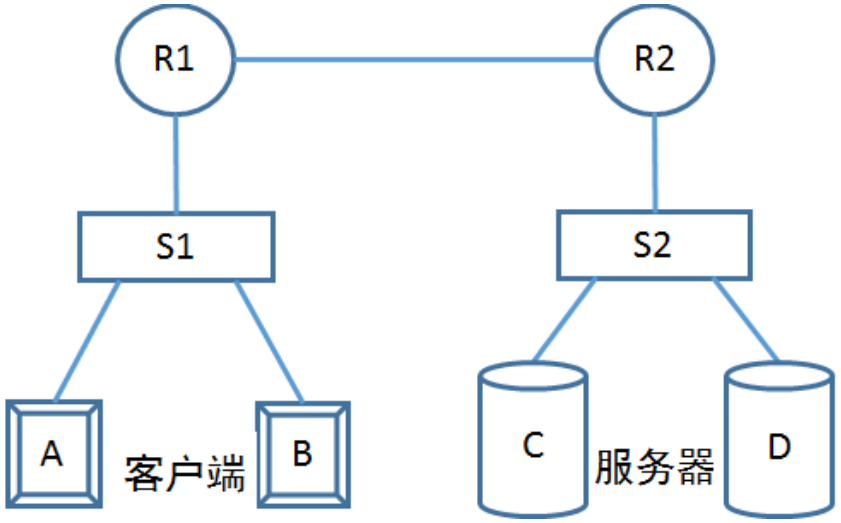
- 多媒体网络应用
- 支持多媒体业务的协议
  - RTP,RTCP,RTSP,SIP
- QoS保证技术
  - 综合服务：RSVP与接纳控制
  - 区分服务
  - 流量整形与漏桶机制
- 其他网络技术
  - MPLS：多协议标记交换

QoS保证技术主要工作在网络层， RSVP、MPLS为网路层协议，提供面向连接的服务

练习题

- 在6Mbps的网络上，一台主机的输出流通过令牌桶整型。令牌桶的速率为1Mbps，初始令牌桶被填满到8MB。试问该计算机以6Mbps速率发送，持续时间是多少？（注意：b，B）
- 你如何理解QoS？MPLS的工作原理是什么？MPLS对于保证QoS有何作用？

练习题



- 设B向D用UDP发送一个长文件。为防止网络拥塞，路由器R1对流量监管。R1先使用令牌桶给用户以较高速率突发少量数据，随后再用漏桶进一步平滑流量。假设令牌生成速率为20MBps，令牌桶的容量为30MB，漏桶令牌速率为30MBps，路由器最高速率为50MBps。试问（1）当用户突发数据量为200MB且令牌桶为满时，令牌桶的输出流量形式和漏桶的输出流量形式（以速率随着时间的变化曲线表示）。（2）用户最终获得的**突发速率**为多少？