



湖南大学

HUNAN UNIVERSITY



湖南大学

HUNAN UNIVERSITY

第6讲 实时通信

安吉尧



分布式平台

- 使用多个廉价硬件的分布式应用往往比使用昂贵高新技术的硬件的集中式应用更划算
- 分布式应用具有更高的故障承受能力——故障承受能力对安全要求高的应用尤为重要
- 所有的分布式实时系统都是基于一个内在的通信网络，这些通信网络都被期望能进行实时传输



实时通信的应用实例

- 依靠底层网络提供实时通信来满足应用的功能需求
 - 制造自动化
 - 自动化工厂中的机器人执行制造活动，此处网络跨度为一个局域网，机器人之间与控制器之间的通信就是利用一个执行实时通信协议的无线设备
 - 控制器协调机器的行为，机器人与控制器之间通信信息，即有非紧急的、非实时的，也有紧急的，实时的——需要实时通信系统将来支持这些应用



- 自动的化学工厂
 - 化工厂使用现有的局域网建立实时系统，用以控制和管理化工厂参数
 - 传感器定时传输简单参数值给控制计算机，控制计算机计算这些参数之间的联系，且当执行器需要时传输给它
 - 上述活动包括紧急活动和一些非紧急活动，如存入数据，**email**和监视器数据等
- 网络银行
- 多媒体传输
- 网络电话



基本概念（1）

□ 网络分类（根据网络大小和网络协议）

■ 控制区域网（CAN）

- **CANs**是一个非常小的网络，用以连接不同的嵌入设备，如在汽车中，这些设备包括引擎，刹车等，它们通过**CANs**来连接和控制
- **CAN**中端与端之间距离一般小于**50m**，因此**CAN**的传播时间非常小，从功能看一个**CAN**就像计算机里面的一个总线
- 车的电子器件日益精密，器件之间必定存在一定数量的信息交换，促使汽车**CAN**的开发
- **CAN**协议仅仅物理层和数据链路层采用**ISO/OSI**模型，高层则采用特定的协议



- **CAN**的健壮性，它的使用已经不限于传统的汽车系统，还用于工业自动化系统，火车，船，农机，家用电器，办公自动化系统，电梯等
- **CAN**中存在一个专门的装置用来处理噪声，汽车中一些器件，像电力发动机，引擎系统，汽车用反光片等，都会产生严重噪声
- **CAN**显著的特点就是12伏的电力供应，它由传统的12伏电力供应系统供应
- **CAN**现在有两个国际标准，ISO11898和ISO11519-2



■ 局域网

- 局域网的覆盖范围是局限在一栋楼或者一个校园
- 局域网连接若干计算机用以共享数据及其他资源，如文件，打印机，传真机等
- 传统局域网速率为10Mbps，现在局域网（G比特以太网）速率达到Gbps
- 局域网通常采用广播网络协议

■ 因特网

- 当前全球最大的、开放的、由众多网络相互连接而成的特定计算机网络
- 它采用TCP/IP协议族
- 前身是美国的ARPANET



基本概念（2）

□ 服务质量（QoS）：实时应用需要底层网络保证相关的服务质量，网络所提供的服务质量可以用一些参数来表示，实时系统往往对以下参数有严格的要求：

■ 延时

- 在实时通信网络中，成功的数据传输不但包括数据包完整的到达对方，还包括送达的时间是否及时
- 传送超时将可能导致实时应用的错误而降低实时传输的服务质量



■ 延时抖动

- 抖动是指在一次会话中信息传输的最大时延变化，即一个数据包在包交换网络中遇到的最大和最小传输时延之差
- 数据包在网络中传输时，在不同的节点，它们的排队时延不同，同样，选择不同路径的包它们的时延也不一样，从而产生时延抖动
- 在许多应用中，**抖动可以通过在接收方开辟缓存区来控制**，缓冲区的容量由数据包的峰值速率和延时抖动来决定： **$[\text{缓冲区大小} = \text{数据包的峰值速率} * \text{延时抖动}]$**



■ 带宽

- 隐含网络连接所提供的传输速率，为了维持一个应用所需的吞吐量需要足够的带宽

■ 丢包率

- 指在数据包传输过程中数据包丢失的百分比
- 数据包在传输过程中有可能因为溢出，损坏而丢失，在光纤传输中数据包损坏出现较少，而在无线传输中尤为明显
- 不同的应用对丢包率要求不同，像过程控制应用要求零丢包率，而多媒体应用可以承受一定的丢包率



■ 阻塞率

- 指一个新连接被拒绝的概率

■ 不同的实时应用对以上QoS参数的需求各不相同

- 交互式的电视和视频广播对抖动敏感却对时延不敏感，然而，传感器在数据处理时对延时非常敏感

- 传统的计算机通信应用如文件传输，电子邮件，远程登录等均属于非实时应用，这些应用与我们讨论的实时系统对QoS要求不同，它们更多的考虑平均包延时和吞吐量，而不是最坏情况下的包延时和吞吐量



基本概念（3）

- 流量分类——不同的通信源的质量保障要求不同，可以根据数据源在网络上产生通信数据的速率来分类
 - CBR: 静态（恒定）比特率，实时系统通常是CBR，例如，传感器定时产生的周期性数据
 - VBR: 可变比特率，亦即数据的产生速率和发送速率都是动态变化的
 - 不同比特率的数据传输的目的是，能在传输压缩的视频和音频流应用中更好的利用带宽
 - 散发流：散发流是指系统突发产生大小各异的包，散发流发生在非常小的环境，如警告系统



局域网中的实时通信

- 应用背景：许多硬实时应用，如自动化制造系统，工业化过程控制应用，高速数据获取系统等，它们地域跨度小，在这种情况下局域网（LAN）通常是合适的选择

课堂练习：

1. 什么是硬实时？什么是软实时？
2. 有哪些硬实时应用？
3. 通常采用哪些策略/算法保障硬实时？



局域网中的实时通信

- 应用背景：许多硬实时应用，如自动化制造系统，工业化过程控制应用，高速数据获取系统等，它们地域跨度小，在这种情况下局域网（LAN）通常是合适的选择
- 在局域网通信中，采用信道共享技术，一个时刻只容许一个节点传输数据
- 接入控制器决定一个节点什么时候能在公共信道上传输数据，传输控制协议决定节点能发送多长时间，这两个协议统称为接入控制技术，属于媒体接入控制层（MAC）协议



□ LAN架构

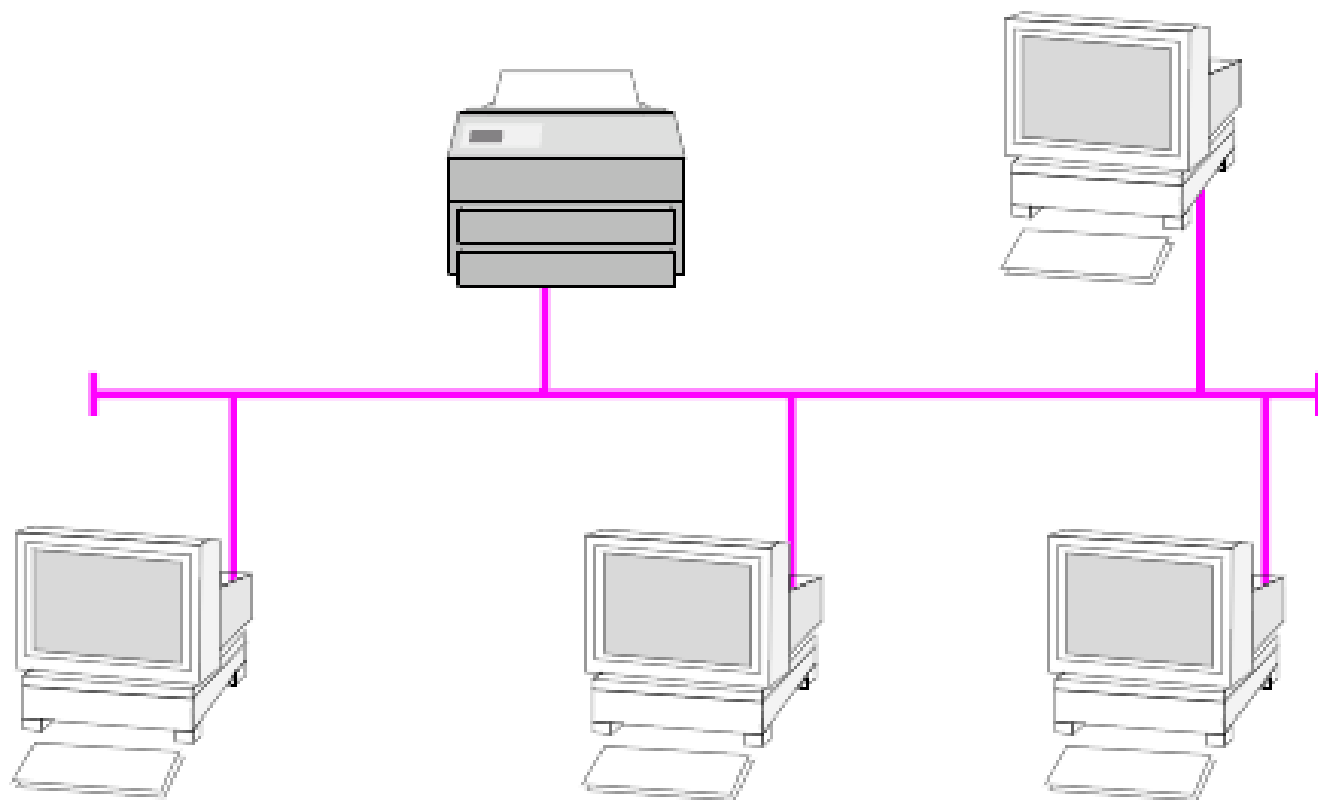
■ 总线结构

- 大都使用传统的CSMA/CD（Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect）即载波监听多路访问/冲突检测方法——若两个或更多节点同时发送数据，能及时发现信号重叠（即冲突），冲突导致数据的损坏而重发

- eg. 以太网

■ 环形结构

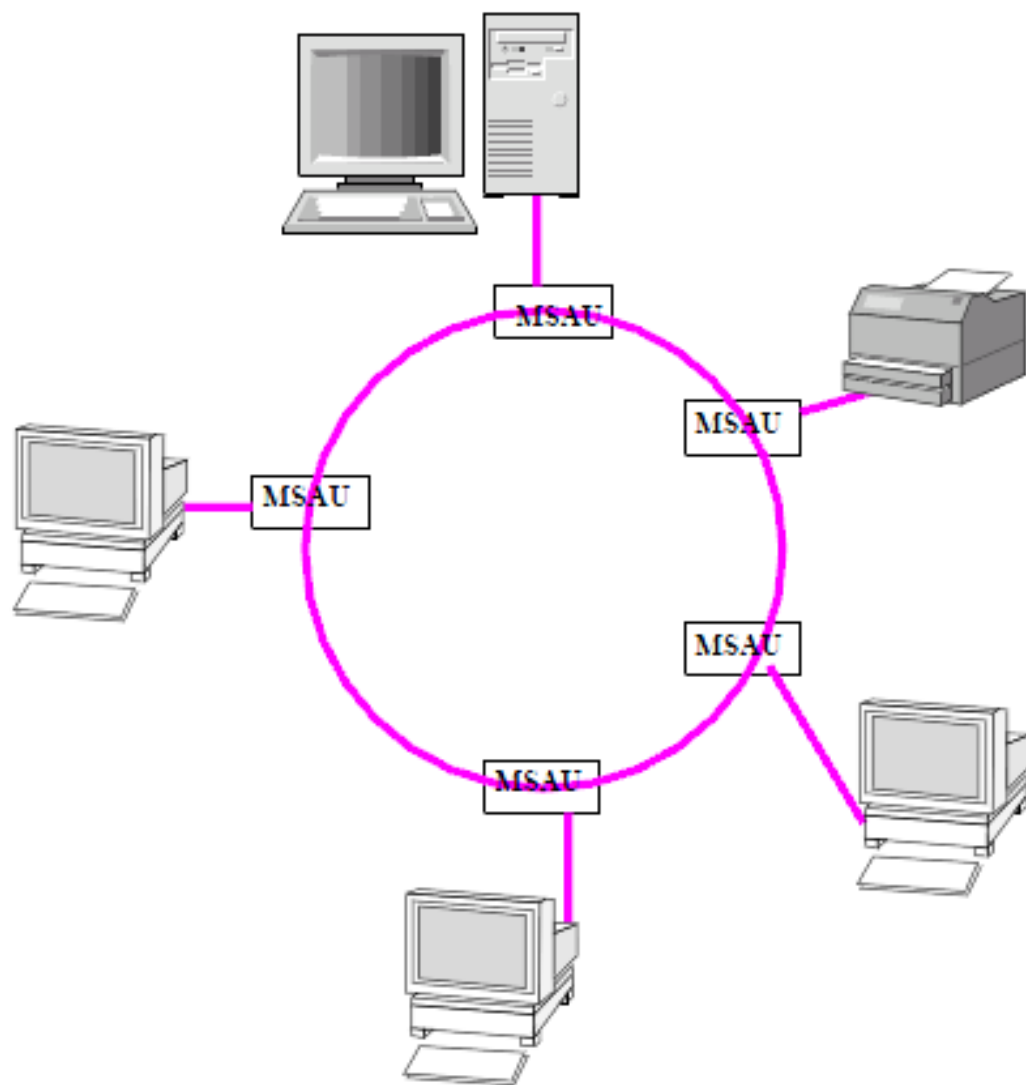
- 节点按照预先设定的时间周期传输数据，所以传输延时可以估算，并且可以根据需要预先设定成足够小
- 环形结构适合实时系统



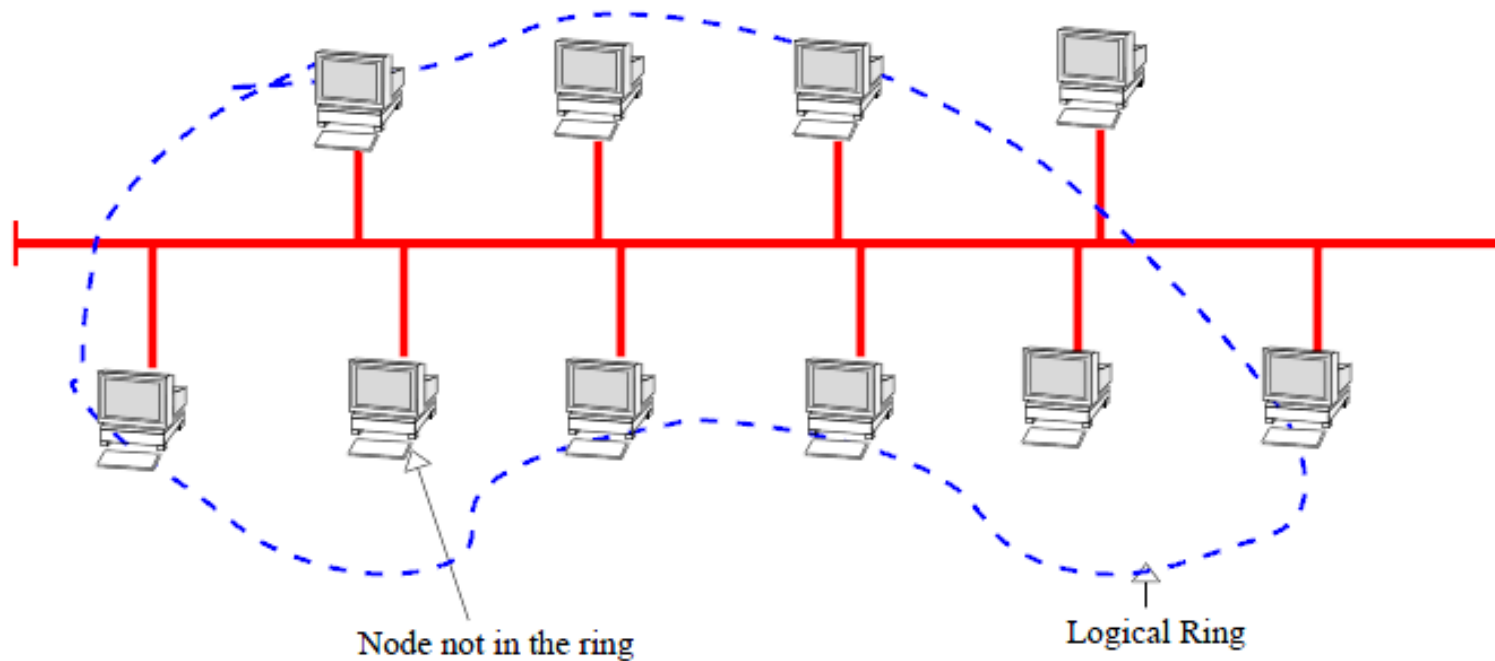


Legend:

MSAU: Multistation Access Unit



■ 令牌总线结构





LAN中的软实时通信

- ❑ 软实时通信网不会对应用提供任何绝对的QoS保证
- ❑ 优先处理实时信息数据，所以数据包的丢包率较小，同时也保证了实时通信的延时在正常范围之内
- ❑ 软实时协议通常假设软实时和非实时信息同时在网络上传输
- ❑ 软实时通信源通常由CBR和VBR组成
- ❑ 软实时通信的速率相对于信道容量来说很低，非实时信息流一般都是突发到达，因为是突发，所以要维持正常的实时通信量就很困难，因此，突发流需要平滑以保证实时流能通信能正常进行



□ 一个固定速率流量平滑算法

- 位于MAC和TCP/IP层之间，平滑非实时流而保证实时流不被破坏
- 采用漏桶算法，称为信用桶深度CBD，它有两个静态参数和一个更新周期（RP）
- 在每个更新周期，最大数目的信用加入CBD桶，这也是CBD桶能拥有的最大数目的信用
- RP是一个更新周期，在一个更新周期里，桶中的信用发生变化，CDB/RP则代表非实时通信流的平均吞吐量



- 桶中的信用代表当前的网络状况，当信用是为正，但当前流量小，信用可以被借出，即信用在任何时刻都可以为负
- 桶中的信用数目更新如下： $CNS = \min(CNS + CBD, CBD)$
- 一个非实时信息到达TCP/IP层，平滑机制执行如下步骤：
if($CNS > 0$)
 $CNS = CNS - \text{message.numberofBytes} /$
 * $\text{message.numberofBytes}$ 是指信息的大小 */
 发送信息
else
 保存信息直到 $CNS > 0$



- 固定速率流量平滑算法的缺点：灵活性差，一旦实时信息的延迟要求定下来，网络输入就被固定了；非实时流的速率有限，并随着LAN上的节点数的增加而减少，即站点数目增加，导致站点流量减少，非实时流的通信量将相应的会下降——因为它是基于所有数据流到达的最坏速率，所以其结果会很糟糕
- 为了克服CBD算法的缺点，Kweon和Shin研究出一种新的算法，即自适应通信平滑算法（Adaptive Traffic Smoothing）



□ 自适应通信平滑算法

- 根据当前网络的状况，自动调节，给非实时通信流提供一个合理的流量
- 怎么发现网络当前的负荷情况？当网络负荷变化时怎么样调整流量？
 - 根据每单位时间里的碰撞数来决定网络负荷
 - 当碰撞发生后，信任桶立即清空使非实时流暂停发送，除非他们已经在传输，将带宽留给了实时流，减少非实时流的突发数据对实时流造成的影响
 - 即包的碰撞作为减少吞吐量和信用度的触发器
- 实时流的数据包丢包率都维持在毫秒级；但该算法不能确定的为实时流提供有效服务，只适应于软实时通信系统



LAN中的硬实时通信

□ 全局优先协议

□ 接入控制协议

- 在接入控制协议中，通过限制每个节点接入信道的时间来保证实时通信的通信
- 即一个数据包在发生前的等待时间是受限的，节点通信的时序安排通过一个时序安排算法来决定

□ 基于日历的协议

- 每个节点保存日历的拷贝，日历决定哪个节点在哪个时间段传输数据
- 信源通过广播预定数据包传输的时间片，当一个节点没有预约又想传输数据，它通过查询日历找到空闲时间片，然后广播告知所有节点
- 若系统中所有信息是周期性的和可估算，那么基于日历的协议运行特别好且简单、有效



全局优先协议

- 为每个数据包都赋予优先值，MAC层协议尽力保证在任何时刻都为网络中高优先级的数据提供信道
- 在使用优先算法执行RMA和EDF算法时，两个重要问题出现了：
 - 数据包一旦开始发送，就不可能中间停止再发送。即数据包不能像CPU一样出现任务抢占，数据包的传输不能抢占信道
 - 优先协议不能即时的决定数据包的优先级
- 用RMA在优先协议中指定任务，上述问题将限制信道预先设定的利用率，使之到一个非常小的值



基于优先级的协议举例

- **倒数计秒协议**：在这个协议中，时间线被分割成固定的时隙（通常，时隙大小跟端到端的延时一样大）；在每个时隙的开始，优先仲裁决定网络中信息的最高优先权，一旦优先仲裁结束，具有最高优先权的节点容许发送数据
- **IEEE802.5协议**：使用优先级控制机制的令牌环协议，令牌环帧头有两个域：一个优先级域，一个模式域。在这个协议中，令牌在两个模式之间切换：自由模式和保留模式



- 基于窗口协议：时间被分割成时间片，每个节点维持当前的数据传输窗口（low，high，分别指低和高优先级），一个节点如果有数据的优先级位于low和high之间，就开始发送数据，一旦发生碰撞，每个节点增加low的值，而一旦遇到空的时间空隙，每个节点减少low的值

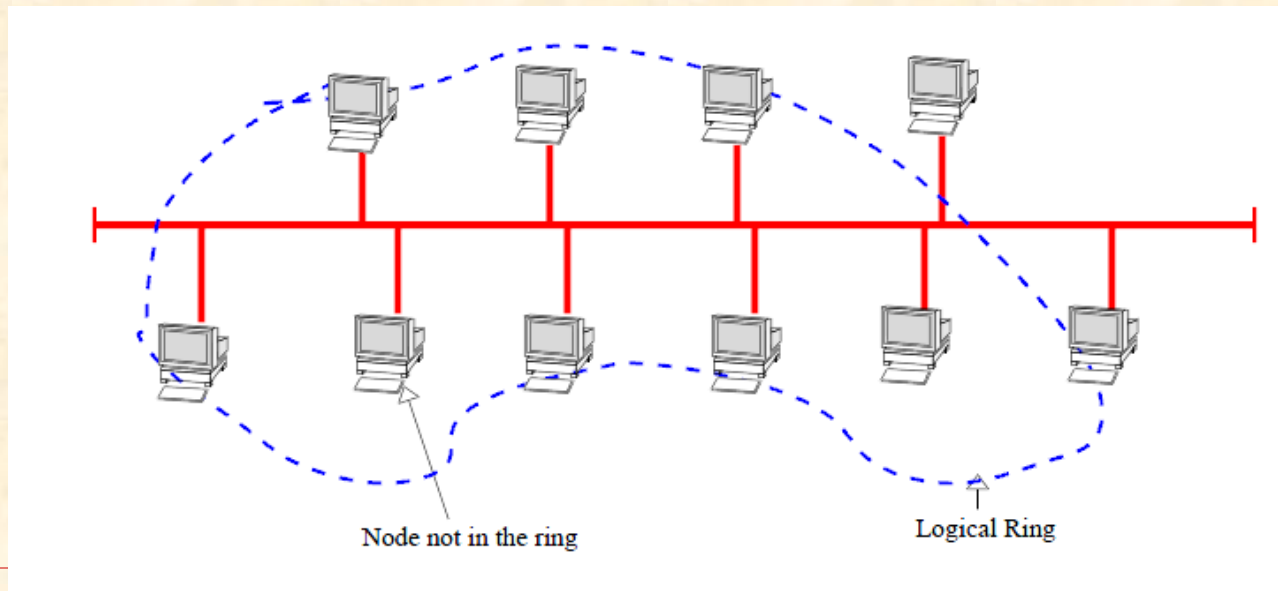


接入控制协议举例

- IEEE802.4: 时间令牌协议, 应用于令牌环网, 每个节点持有令牌的时间是固定的
 - TTRT (目标令牌循环时间) 作为一个设计参数, 其值为一个令牌访问两个相继节点之间的时间
 - 在网络初始化过程中, TTRT指的是期望的令牌循环时间, 称为同步带宽, 源于每个节点的时间特征
 - 仅仅当令牌比预期时间早到时, 一个站点才传输非实时信息, 此时需要传输一个异步帧, 它减少了传输同步信息的有效可靠带宽
 - 因此, 两个相继访问同一个节点令牌的之间的时间最坏情况为 $2 * TTRT$, 然而, 网络中只有同步模式, 两个相继令牌到达的时间限制为TTRT。

课堂练习

- 令牌环网的协议：IEEE 802.4和IEEE 802.5协议，有什么优势？
- 当前，针对这些协议，有哪些已改进的问题与算法？还有哪些问题可改进？





因特网中的实时通信

□ QoS路由

- 既考虑到网络的拓扑结构，也考虑到流量需求，路径上可获资源和网络管理者制定的其他策略
- QoS路由将能发现一个长且负载轻的路径而不是短却高负载的路径，
- QoS路由策略比传统的路由策略更能提供QoS保障

□ QoS路由的基本目的是：

- 选择路由它能满足QoS需要
- 提高网络的利用率



- QoS路由算法：复杂度由QoS选择的限制多少决定，如跳数，带宽，延时，延时抖动等

设 $d(i, j)$ 代表链路 (i, j) 的选择性限制，对任何路径 $p = (i, j, k, \dots, l, m)$

- 附加限制 $d(P) = (d(i, j) + d(j, k) + \dots + d(l, m))$ 例如端到端的时延
- 多维限制 $d(P) = (d(i, j) * d(j, k) * \dots * d(l, m))$ 例如一条链路的可靠性是每条分支链路的可靠性的乘积
- 凹性限制 $d(P) = \min\{d(i, j), d(j, k), \dots, d(l, m)\}$ 例如带宽



组播路由

□ 基于源的路由协议

■ DVMRP(基于距离向量路由协议):

DVMRP有一棵基于源的树，通过逆向路径，扩散和剪枝等方法维持这棵树；它通过节点交换“距离向量更新”信息，每个向量入口包括：目的地、用跳数表示的距离。这些更新发送给每个链接，这样，组播分布树就建立了

■ MOSPF(最短路径优先组播)路由协议:

每个路由器向紧靠在它后面的接受者广告组播群的现状，每个路由器保存组播树中所有成员信息，从而能够建立一个最短路径树。

缺陷：不适合于大规模的网络



□ 有核树（CBT）组播路由：独立组播协议

（PIM-DM）就如其名，它独立于任何底层的协议，它由以下两个协议组成

- 密集模式PIM-DM：主要用于一个小范围内的域内网络，每个成员都是密集在网络中。因此，它假定每个节点和路由器都是参与组播的，通过反向路径转发（RPF）把数据包发给每个组播路由器。
- 稀疏模式PIM-SM：PIM-SM 主要被设计用于大范围的域间网络。在SM中每个成员都是稀疏的分布在网络中。假如一个路由器不加入组播群，它是不做任何工作。这种模式使用基于核的方法，除非路由器发送加入请求，否则不参与组播群的传递



基于QoS的组播路由

□ 一个构建受限的Steiner树的分布式启发式算法

- 每个节点维持一个距离向量，这个向量存储到其它节点最小的延时
- 从源节点开始，这个算法通过每次添加一个链接到这棵树的方法来构建一个组播迭代树。
- 每个迭代算法由三个信息阶段组成：
 - 在第一阶段，源节点广播一个发现信息到这棵树，当一个节点收到这个信息，它找到相邻的链接，这个链接：
 - 通向这棵树外的目的站
 - 不受延时限制
 - 最小化这个选择函数



- 第二阶段，根据最小化选择函数来选择连接**1**，并把这个被选中的链接发送给源节点
- 第三阶段，一个加入连接**1**信息被发送给这棵树
- 以上过程持续到每个目标站都加入到这棵树中为止，这个算法需要数倍的信息交换
- **存在的问题：**上层交换的信息非常多；且每个节点需要维持一个全局的状态信息



QoS模型

- 目的：为基于因特网的应用提供**QoS**保证
 - 综合服务（**Integrated Services——IntServ**）模型
 - 差异服务模型（**Differen-tiated Services——DiffServ**）：IntServ的改进
 - 多协议标记交换 **MPLS**流量工程（**Traffic Engineering**）：包转发方案，具有上述二者的优点



IntServ

- 对实时应用提供两个类型的服务：保证和可预见的服务
- 需要明确的资源预留，也需要在路由器中说明流的状态
- 服务实施有四个重要部分：信号协议（RSVP）、控制程序、分类器和包调度器
 - 在完成资源预留和呼叫管理过程之后，当路由器接收到一个包，分类器执行分类算法把数据包插入到基于分类结果的特定队列，包调度器再根据包的QoS要求调度这个包



DiffServ

- 更加简单且更加规模化
- 重新定义了IPv4 首标中的服务类型（ToS）字段或Ipv6首标中的通信类（Traffic Class 字段作为区分服务域
- 数据包中承载了缓冲区管理和调度机制需要的信息
- 定义SLA(服务等级约定)：规定服务所支持的业务级别以及每个业务级别允许的通信量；SLA可以是采用静态和动态两种方式确定
 - 静态SLA需要定期地协商，如按月或者按年
 - 动态SLA的客户可用某种信令协议（如 RSVP）动态地请求所要求的服务



MPLS流量工程

- 目前Internet面临两个主要问题:
 - 目前的路由协议从本质上讲是无连接的，因此导致了整个网络容量利用率并非最佳——现在的路由选择只是基于目的地IP地址和最短路径进行的，忽略了网路可用链路容量和分组流本身的要求
 - 目前的IP服务从本质上讲是没有服务质量，或称之为Best Effort
- 一个MPLS节点实际上是一个采用标记对其处理业务量进行交换的设备，ATM和帧中继交换机都可以提供这里的交换功能



- 在**IP**网络中，流量工程待解决的问题包括：
 - 解决**拥塞**，避免由于业务流和资源的无效映射所导致的有些网络资源过度利用，而其它资源则利用不足的矛盾
 - 根据**网络拓扑**，快速、准确、有效地动态重新分配业务流，尤其是在发生网络线路或设备故障时更应如此
- 高级**MPLS**的流量工程提供动态、实时的自动资源优化，采用所谓的“智能连接”实现**IP**网络流量工程的目标



课堂练习

- 在路由协议的QoS保证中，IntServ模型，DiffServ模型，MPLS-TE包转发方案各有什么优缺点？
- 如何理解Internet上QoS保证的Best effort问题？你认为应该如何改进来保证实时通信？



homework

□ 解决方法:

- 智能连接
- 带宽估计
- 带宽测量
- 网络弹性
- 连接优先级
- 网络重组规则
- 标记堆栈
- 复原恢复/路径优化
- 信令性能
- 网络服务质量