

第四章 介质访问控制子层（一）

袁华, hyuan@scut.edu.cn

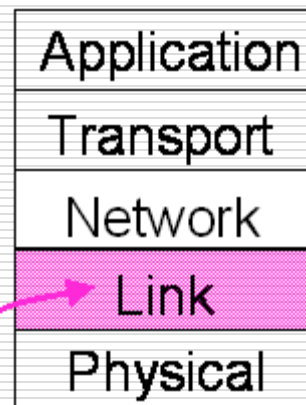
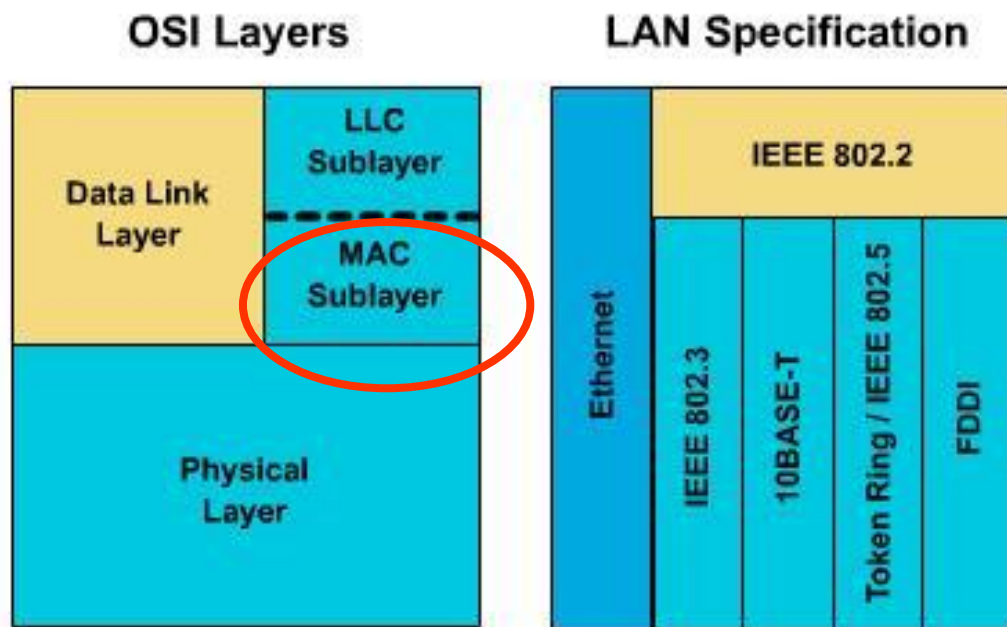
华南理工大学计算机科学与工程学院

广东省计算机网络重点实验室



介质访问控制子层的位置

Compare and Contrast OSI Layers 1 and 2



MAC is in here!

本章主要内容

- 多路访问协议（4.1~4.2）
- 一个多路访问网络(LAN): Ethernet （4.3）
 - IEEE802.3
- 数据链路层交换 （4.8）
 - 网桥
 - 交换机

本节目的

- 理解随机访问/多路访问 协议
- 掌握纯ALOHA协议和分隙ALOHA协议
- 掌握各种CSMA的特点
 - 1-P CSMA
 - CSMA/CD
- 了解无冲突的协议
 - Bit-Map （位图）
 - Binary Countdown （二进制倒数计数）

广播网络需要解决的问题

局域网采用的通信方式，
共享传输介质以降低费用。

□ 数据通信方式

- 单播（unicast）：One - to - One
- 广播（broadcast）：
One - to - Everyone of the whole
- 组播（multicast）：
One - to - A part of the whole

□ 广播网络面临的问题

- 可能两个（或更多）站点同时请求占用信道

□ 解决办法：介质的多路访问控制

- 在多路访问信道上确定下一个使用者

多路访问信道 问题
随机访问信道 问题

怎样分配信道（介质访问控制）？

□ 静态分配

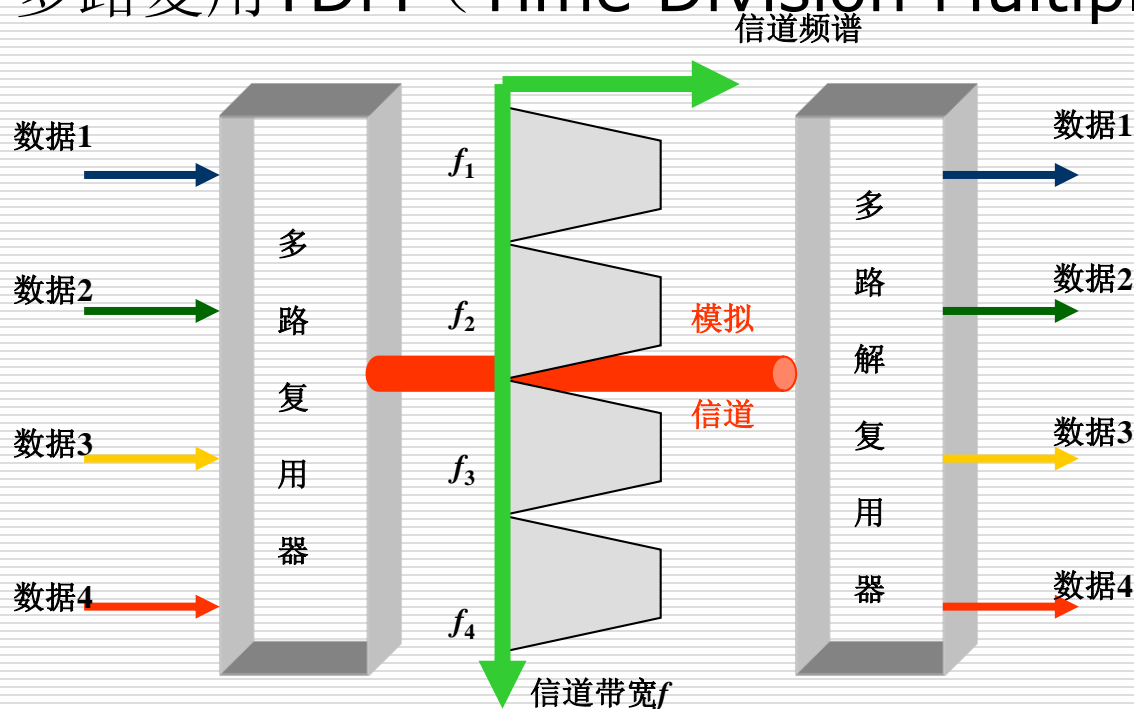
- 只有一个站/用户使用信道
- 不用的就浪费了

□ 动态分配

- 信道是开放的
- 没有预分配

信道的静态分配P199

- 频分多路复用FDM (Frequency Division Multiplexing)
- 时分多路复用TDM (Time Division Multiplexing)



静态信道分配的排队模型_{P200}

□ 信道情况（符合M/M/1排队系统模型）

■ M（顾客到达时间间隔分布）

□ 帧到达时间间隔服从指数分布

□ 平均到达率（输入率）： λ 帧/秒

■ M（服务时间分布）

□ 帧长度服从指数分布，平均长度 $1/\mu$ 位/帧

□ 信道容量为 C 位/秒，则信道服务率为 μC 帧/秒

■ 1（并列服务台个数）

信道平均延迟时间

- 根据排队理论，可证明：单信道平均延迟时间（顾客在服务系统中的逗留时间）为： P210

$$T = \frac{1}{\mu C - \lambda}$$

- 信道N等分后每个子信道的平均延迟时间

M —平均输入率： λ/N ；

M —平均服务率： $\mu C / N$

$$T_{FDM} = \frac{1}{\mu(C/N) - (\lambda/N)} = \frac{N}{\mu C - \lambda} = NT$$

静态信道分配的特点

□ 信道N等分

□ 问题

- 资源分配不合理，不满足用户对资源占用的不同需求
- 有资源浪费，效率低
- 延迟时间增大N倍

□ 适用情况

- 适于用户数量少且用户数目固定的情况
- 适于通信量大且流量稳定的情况
- 不适用于突发性业务的情况

信道的动态分配

□ 基本思想

- 通过多路访问协议（ Multiple Access Protocol ）
动态分配信道资源，提高信道利用率

□ 基本概念（五个关键假设， P201 ）

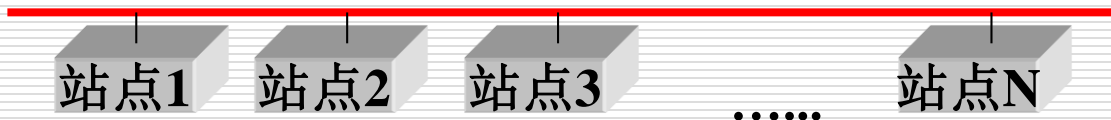
- 信道争用模型
 - 流量独立（假设1）
 - 单信道（假设2）
- 帧的发送方式（假设4）
- 信道的状态与检测
 - 冲突可观察（假设3）
 - 载波侦听与否 （假设5）

假设1：流量独立 P201

- 由N个独立的站（计算机、电话、个人通信设备）组成
- 每个站都可产生待发送的帧
- 在时间 Δt 内，一帧生成的概率为 $\lambda \Delta t$ ，其中 λ 是常量（新帧到达速率）
- 一旦生成一帧，就等待发送（被阻塞），直到成功发送

假设2：单通道假设

- 所有通信，包括发送和接收，都通过单一通道进行
- 所有的站都在该通道上发送或接收信息
- 所有站都是平等的，各站没有主从之分（但可设置优先级别）
- 任何时刻只允许一个站发送数据，都是通过争用才能取得发送权



假设3：冲突可观察

- 如两帧同时发送，则发生冲突
- 所有的站都能检测到冲突
- 冲突的帧必须重发，除了冲突引起的差错外，没有其它差错
- 由于每个站都是通过争用才能取得发送权，所以冲突是不可避免的，但也有采用某些竞争机制来消除冲突

假设4：帧的发送方式--时间假设

□ 时间连续（Continuous Time）：

- 帧的发送可在任意时刻

□ 时间分时隙（Slotted Time，分槽时间）：

- 时间被分为时隙，帧只可在时隙的开始处发送，一个时隙中可发送1帧或多帧，在空闲时隙中只有1帧发送才能成功，如有多帧发送则发生冲突。

□ 把时间分片或不分片都是可能的，但任何一个系统都只能选用一种方式

假设5：信道的状态--侦听假设

□ 载波侦听（Carrier sense）：

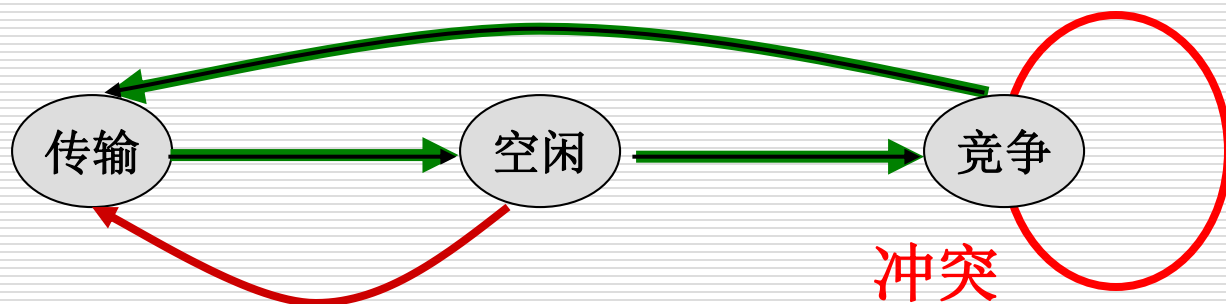
- 所有的站在使用信道前，都可检测到当前信道是否正被使用，如信道正忙，则等待

□ 非载波侦听（no Carrier sense）：

- 所有的站在使用信道前，都不检测当前信道是否正被使用，只是盲目发送

□ 一般来说，在有线局域网中，常采用载波侦听；而在无线网中则不采用载波侦听

信道的状态图示



轮巡

冲突

两个或两个以上站点同时争用信道发送帧，帧被破坏。

多路访问协议 P202

□ 随机访问协议（Random Access）

- 特点：站点争用信道，可能出现站点之间的冲突

- 典型的随机访问协议

- ALOHA协议

- 纯ALOHA；分隙（分槽）ALOHA

- CSMA协议

- CSMA/CD协议（以太网采用此协议）



□ 受控访问协议（Controlled Access）

- 特点：站点被分配占用信道，无冲突

ALOHA协议

❑ 夏威夷大学Norman Abramson及他的同事设计 P203

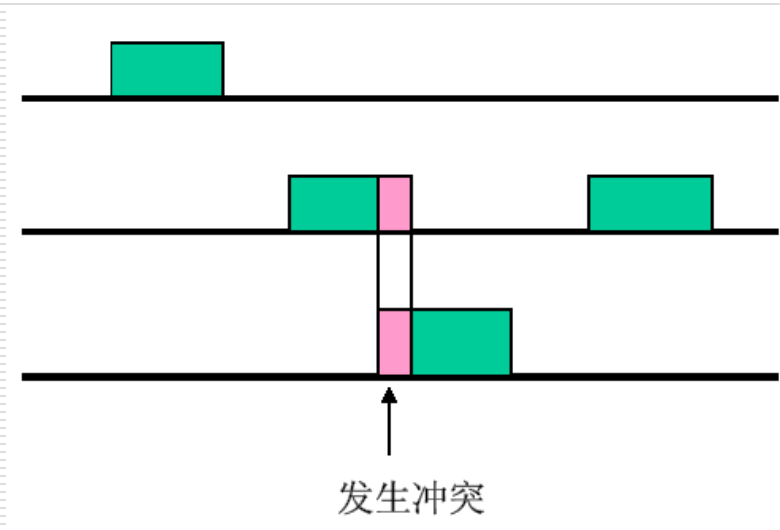
❑ 两个版本

- 纯ALOHA协议
- 分隙ALOHA协议

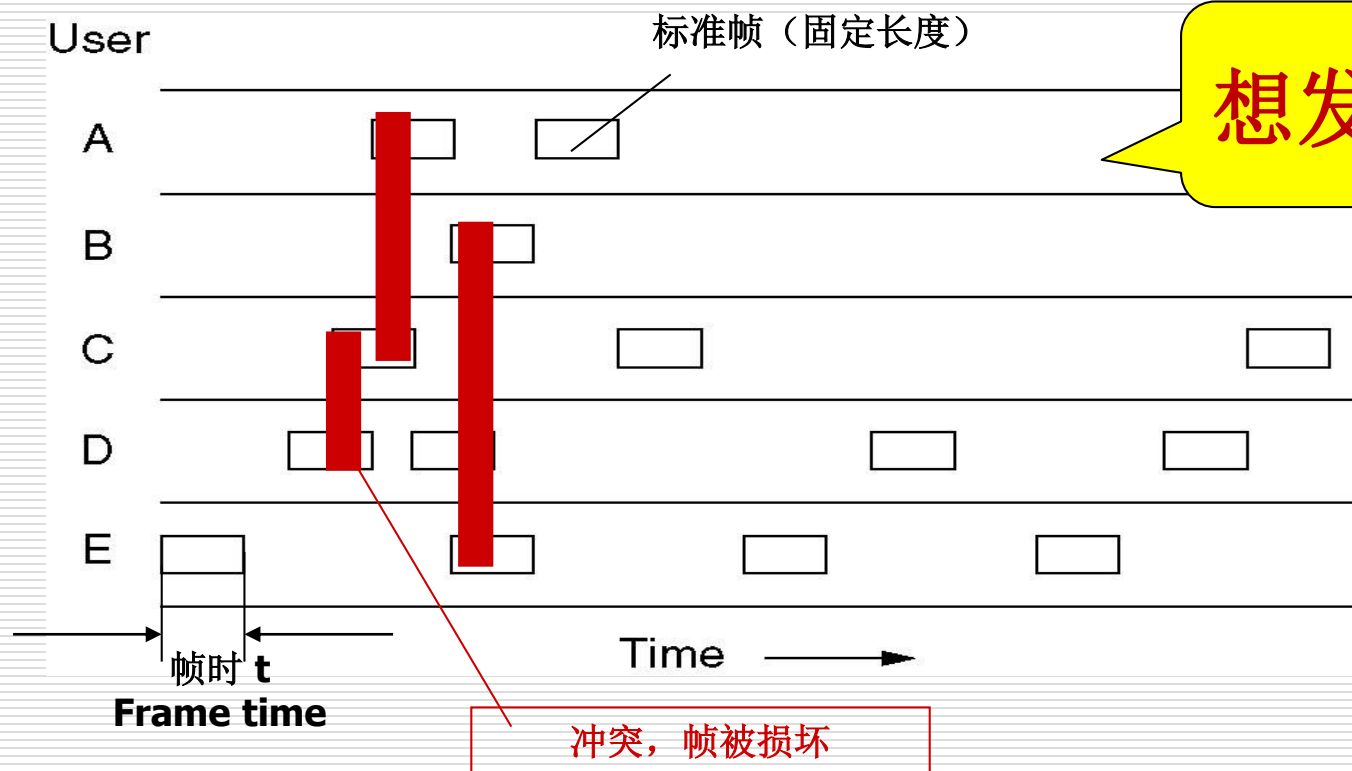


纯ALOHA (Pure ALOHA)工作原理 (1/2)

- 任何一个站都可以在帧生成后立即发送（可能冲突），并通过信号的反馈，检测信道，以确定发送是否成功。如发送失败，则经随机延时后再发送。



ALOHA协议的基本原理（2/2）



- ❑ 每个站点可在任意时间发送数据（不关心信道是否已被占用）；
- ❑ 两个以上站点都在发送数据时就会发生冲突。

纯ALOHA协议的数学描述 P204

□ 定义

- 帧时：发送一个标准长的帧所需的时间

□ 服从泊松分布

- 一个帧时内用户产生新帧：均值 N 个
- 一个帧时内信道中产生的帧（包括重传）：均值 G 个

□ 分析：

- $0 < N < 1$ ，轻载 N 接近0，重载 N 接近1
- $G \geq N$ ，轻载 $G=N$ （无冲突），重载 $G>N$ （冲突/重传）

□ 概率

$\Pr[k] = G^k e^{-G} / k!$ (一个帧时内信道中产生 k 个帧，泊松分布)

$\Pr[k=0] = e^{-G}$ (一个帧时内信道中产生0个帧)

性能分析

□ 吞吐率(Throughout) S

- 在发送时间 T 内发送成功的平均帧数。

显然, $0 < S < 1$

- $S = 1$ 时分组一个接一个地发送出去, 帧之间没有空隙。一般用 S 接近于 1 的程度来衡量信道的利用率。

性能分析（续）

- 运载负载(Carried load) G ，又称网络负载
 - 时间 T 内所有通信站总共发送的帧平均值(包括原发和重发的分组)。
 - 显然， $G \geq S$ ，只有在不发生冲突时 G 才等于 S 。当重负载($G \gg 1$) 时，冲突频繁。
- P_0 ： P_0 是一帧发送成功(即未发生冲突)的概率。就是发送成功的分组在已发送分组的总数中所占的比例。

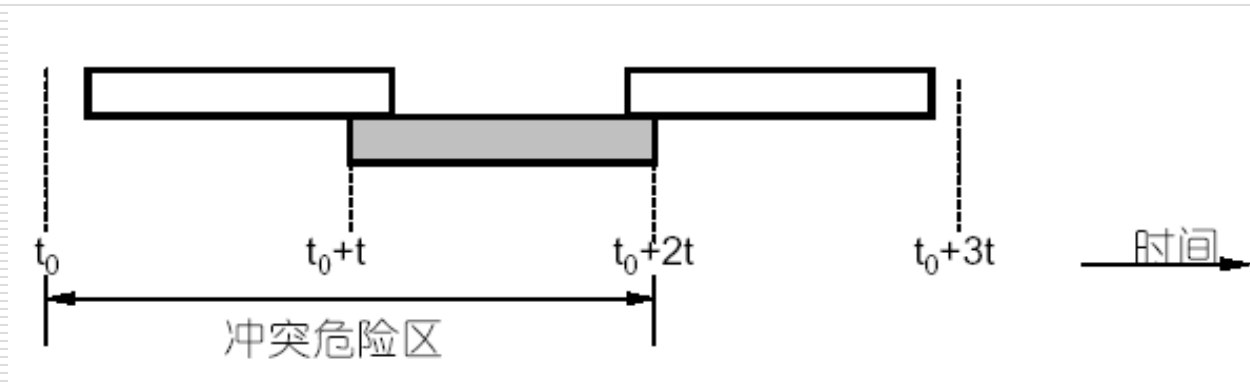
$$S = G \times P_0$$

如何计算 P_0 ? 危险冲突期

□ 时间长度: $2t$

□ 生成帧均值: $2G$

□ 不遭冲突概率: $P_0 = e^{-2G}$ (为什么?)



P_0 的计算

- P_0 的含义是在连续两个 T 的时间内都没有其它帧生成的概率，即连续两个 T 的时间内都生成0帧的概率($P[0]$)之乘积。
- 生成0帧的概率(即不生成帧的概率)，即是将 $k=0$ 代入上式，得： $P[0] = e^{-G}$
 - 注意： P_0 与 $P[0]$ 是两个完全不同的概念。
- 所以： $P_0 = P[0]P[0] = (e^{-G})^2 = e^{-2G}$

纯ALOHA协议的性能

□ 将 $P_0 = e^{-2G}$ 代入 $S = GP_0$ 得:

$$S = Ge^{-2G}$$

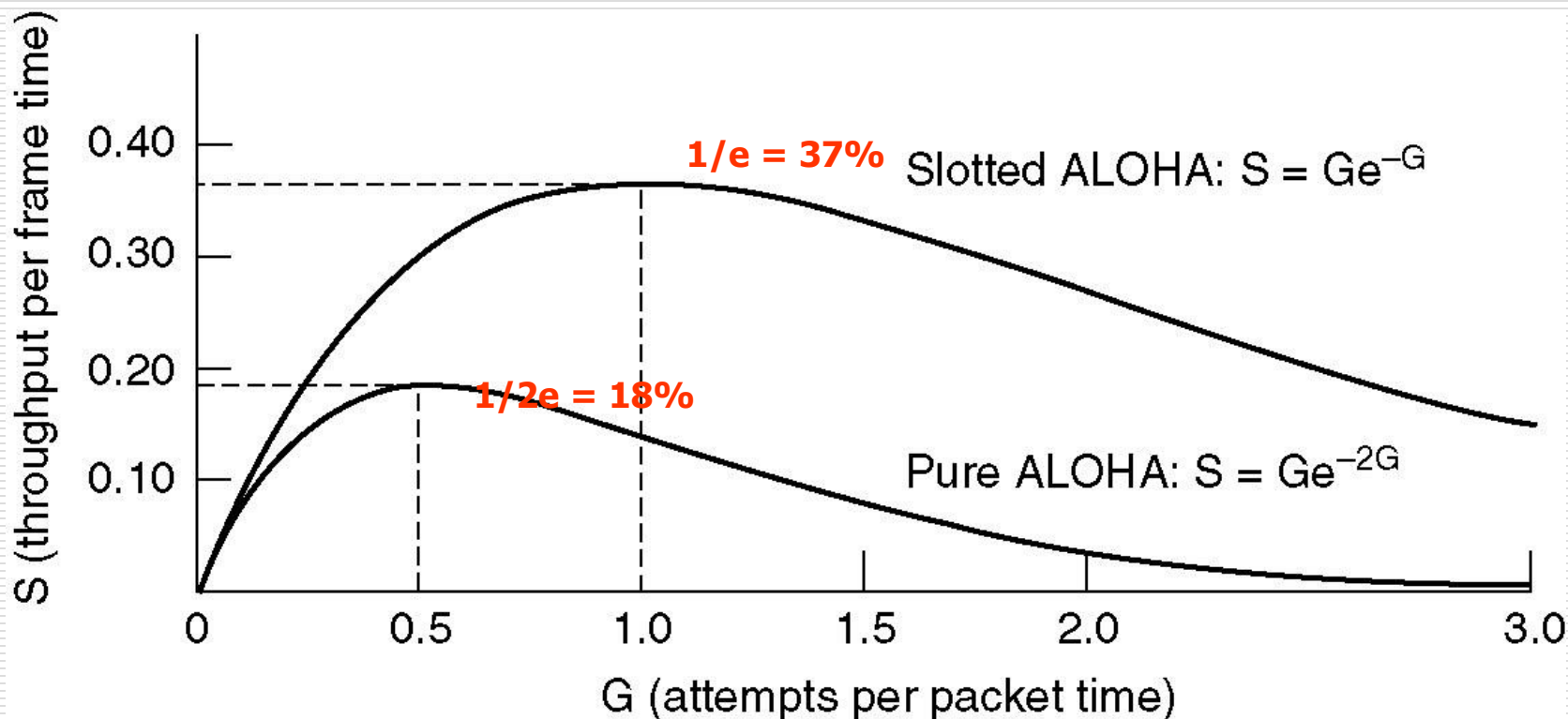
□ 求吞吐率 S 的极大值:

$$S' = e^{-2G} - 2Ge^{-2G} = 0$$

□ 当 $G = 0.5$ 时, $S \cong 0.184$

□ 即纯ALOHA信道的利用率最高为18.4%

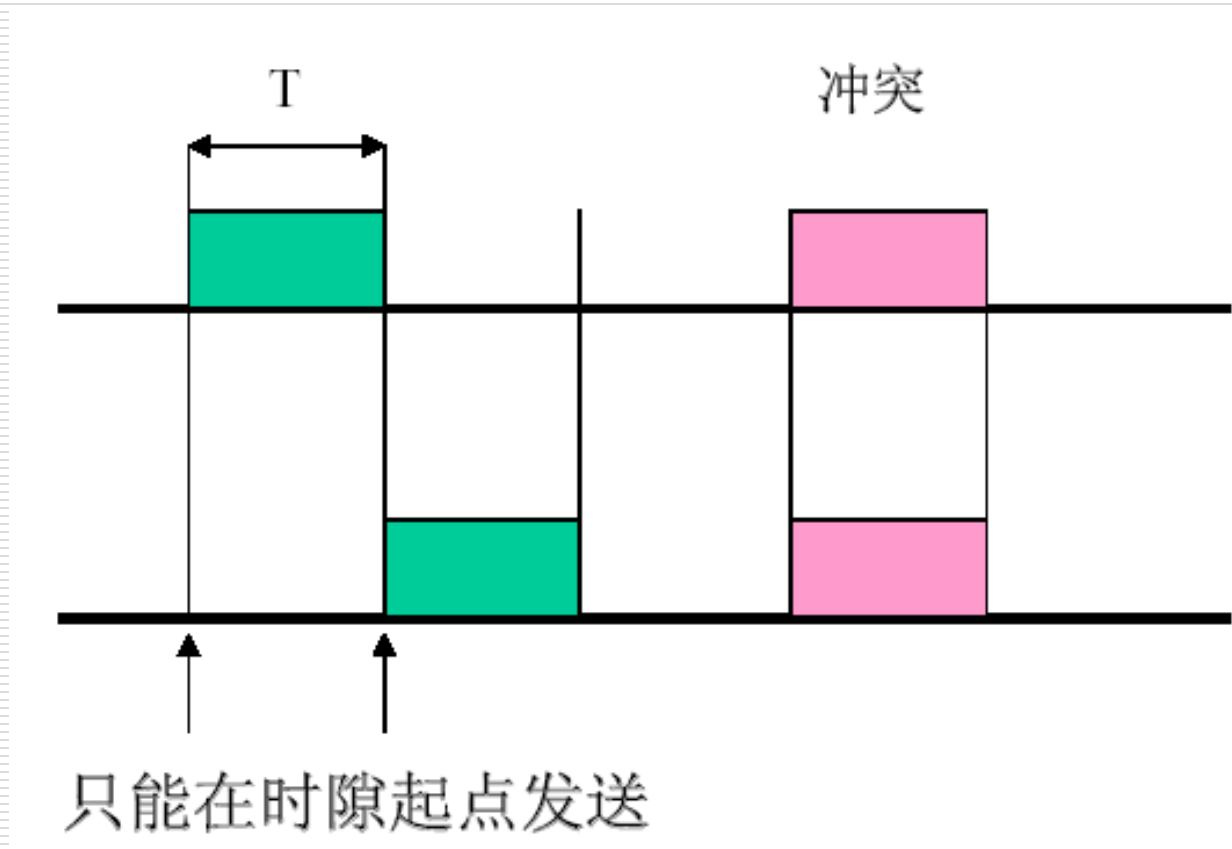
ALOHA吞吐率和G之间的关系



分隙ALOHA (Slotted ALOHA)工作原理P204

- 分隙ALOHA是把时间分成时隙（时间片）
- 时隙的长度对应一帧的传输时间。
- 新帧的产生是随机的，但分隙ALOHA不允许随机发送，凡帧的发送必须在时隙的起点。
- 冲突只发生在时隙的起点，冲突发生时只浪费一个时隙。一旦某个站占用时隙并发送成功，则在该时隙内不会出现冲突。

分隙ALOHA图示



分隙ALOHA的性能分析

□ $P[0] = e^{-G}$

■ $P_0 = P[0] = e^{-G}$ (为什么? P214)

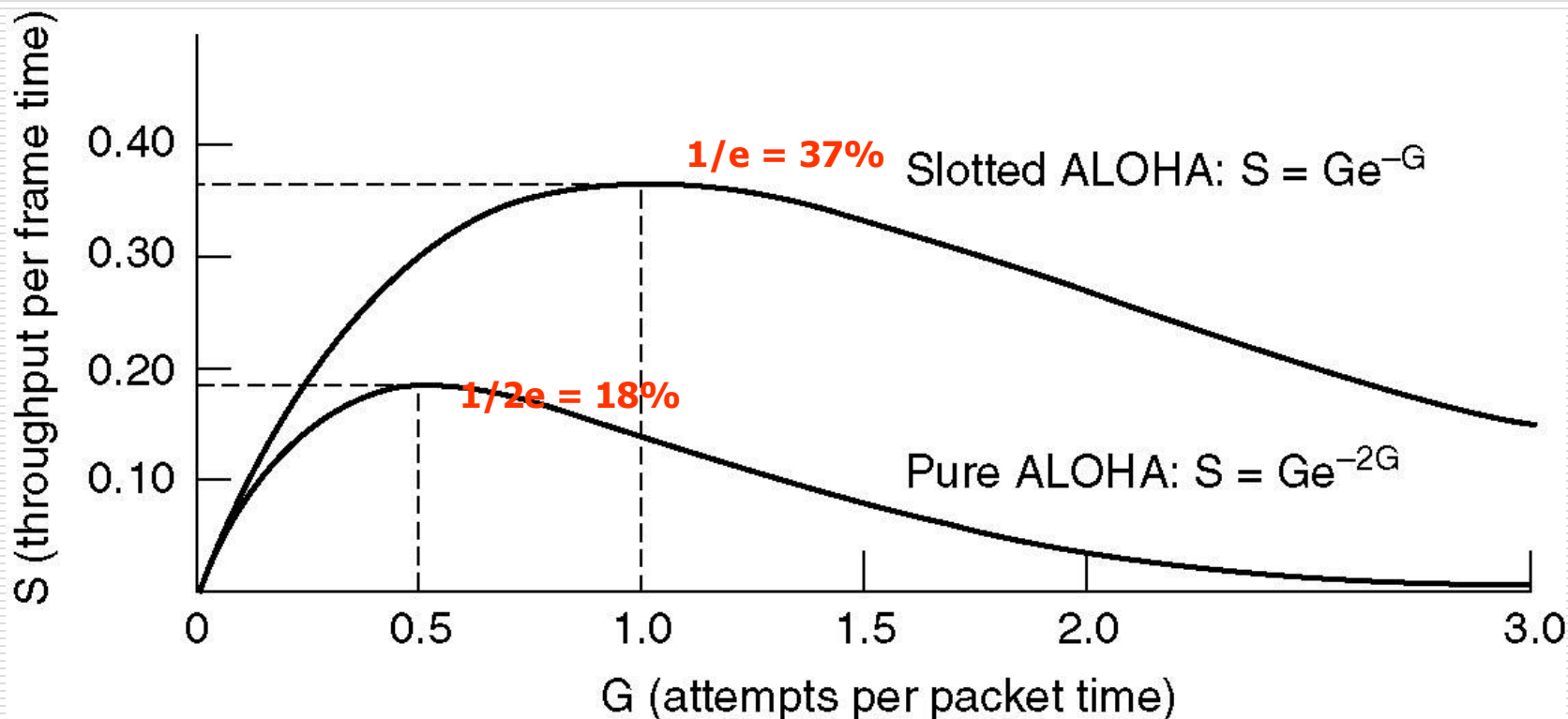
■ $S = Ge^{-G}$

□ 在 $G = 1$ 时得到最大吞吐率:

□ $S_{\max} = 1/e \cong 0.368$

□ 该值是纯ALOHA S 值的两倍

ALOHA吞吐率和G之间的关系



小结

□ ALOHA

■ 冲突危险期

□ 时间长度: $2t$

□ 生成帧均值: $2G$

□ 不遭冲突概率: $P_0 = e^{-2G}$

■ 吞吐量: $S = G P_0 = G e^{-2G}$

□ 时隙 (Slotted, 分隙) ALOHA (P214)

■ 以帧时 t 为离散间隔

■ 冲突危险期减半: t

■ 吞吐量: $S = G P_0 = G e^{-G}$

纯ALOHA和分隙ALOHA的比较

- ❑ 纯ALOHA中，一旦产生新帧，就立即发送，全然不顾是否有用户正在发送，所以发生冲突的可能伴随着发送的整个过程。
- ❑ 分隙ALOHA中，规定发送行为必须在时隙的开始，一旦在发送开始时没有冲突，则该帧将成功发送。

载波侦听多路访问协议 P206

□ CSMA: Carrier Sense Multiple Access

□ 特点: “先听后发”

■ 改进ALOHA协议的侦听/发送策略

□ 分类

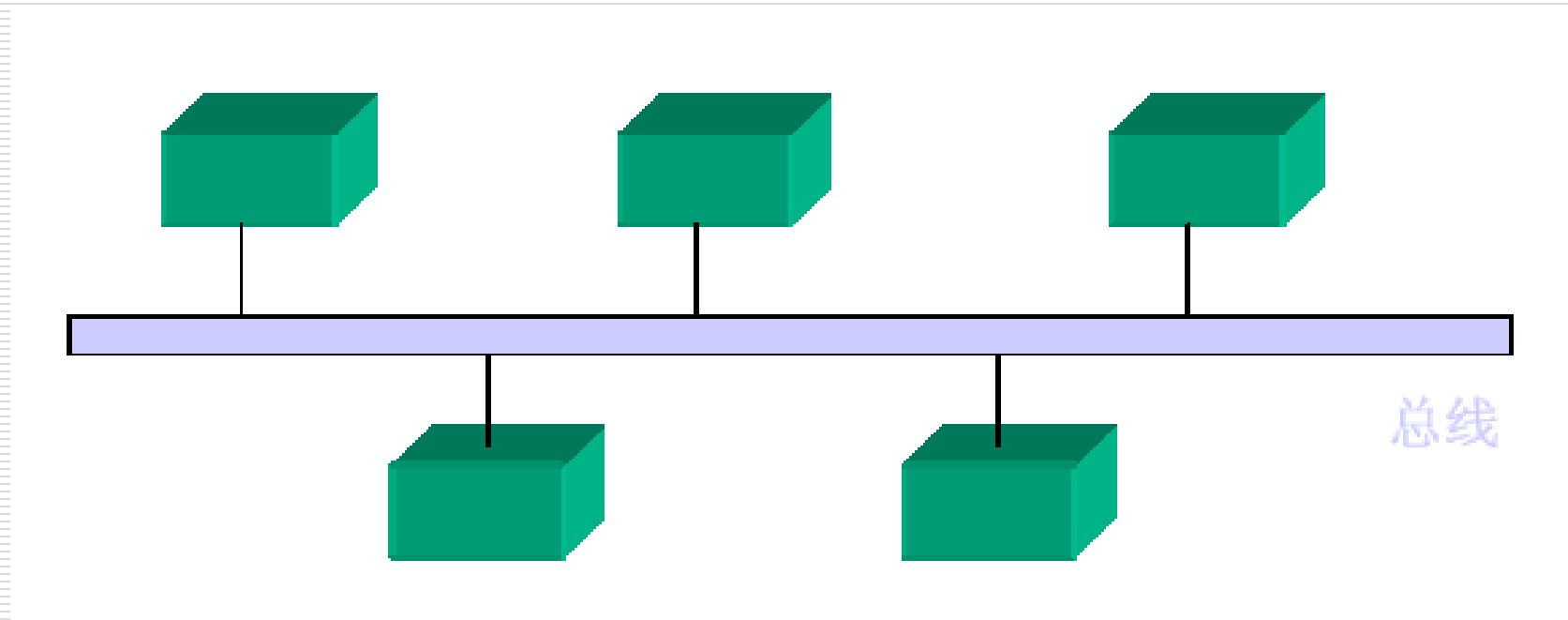
■ 非持续式

■ 持续式

□ 1-持续CSMA

□ P-持续CSMA

共享总线局域网



非持续式

□ 特点:

▲ ■ ①经侦听，如果介质空闲，开始发送。

┌ ■ ②如果介质忙，则等待一个随机分布的时间，然后重复
└ 步骤①。

□ 等待一个随机时间可以减少再次碰撞冲突的可能性。
但缺点是等待时间内介质上没有数据传送，这段时间是浪费的。

持续式(指1-持续式)

□ 特点:

- ▲ ■ ①经侦听，如介质空闲，则发送。
- ②如介质忙，持续侦听，一旦空闲立即发送。
- ▼ ③如果发生冲突，等待一个随机分布的时间再重复步骤①。

□ 持续式的延迟时间要少于非持续式。

□ 主要问题是：如果两个以上的站等待发送，一旦介质空闲就一定会发生冲突。

p-持续式

□ 特点:

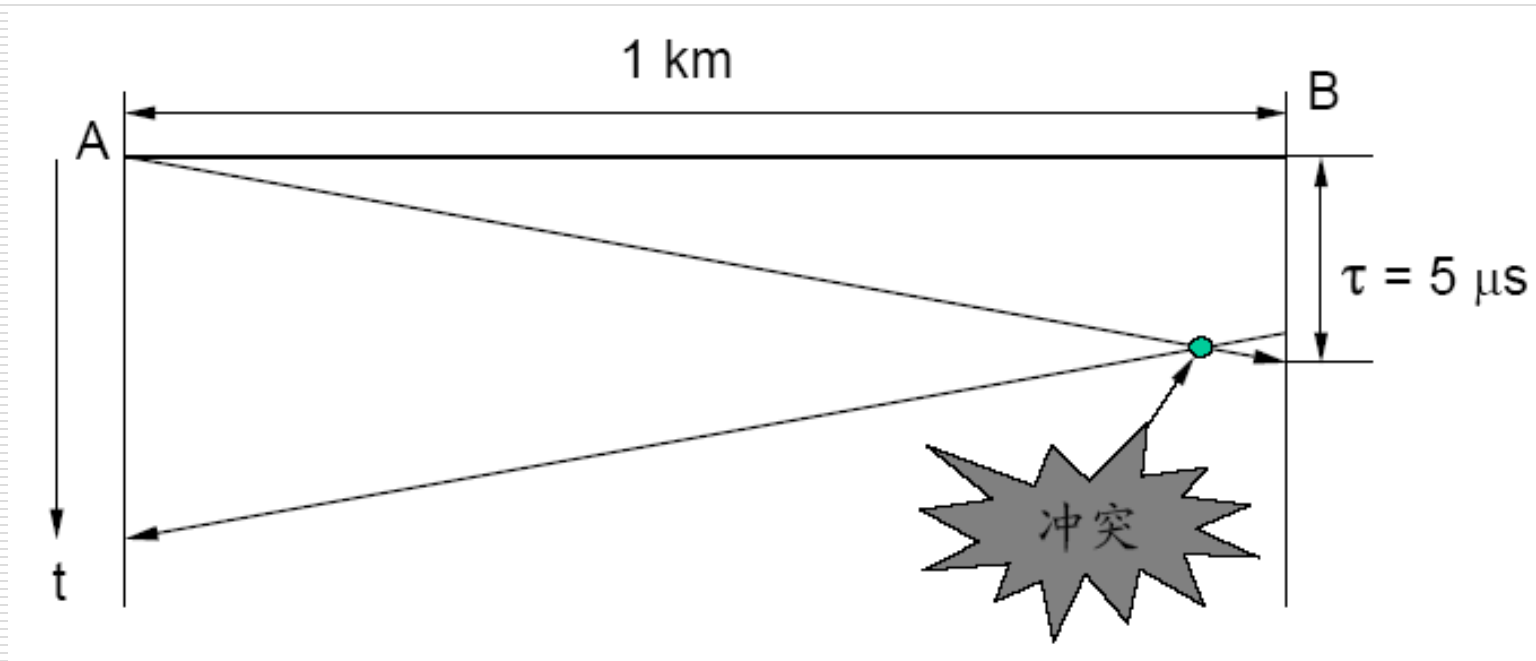
- ①经侦听，如介质空闲，那么以 p 的概率发送，以 $(1-p)$ 的概率延迟一个时间单元发送。
- ②如介质忙，持续侦听，一旦空闲重复①。
- ③如果发送已推迟一个时间单元，再重复步骤①。

□ 可见，1-持续式是 p -持续式的特例。

可能的问题

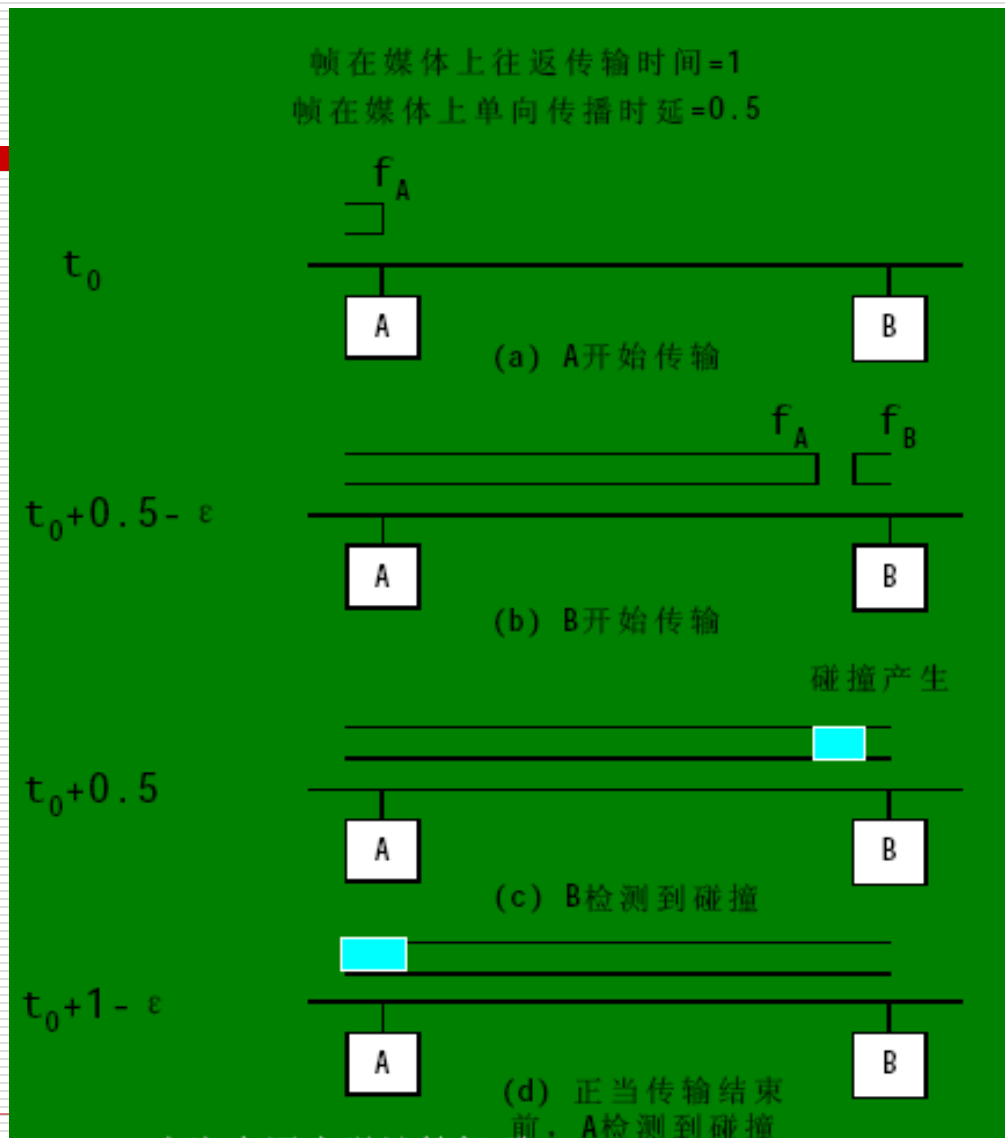
- CSMA工作方式如侦听到介质上无报文则可发送，发送后会发生冲突吗？答案是仍会发生冲突。
 - 原因：（1）同时再传送；（2）传播延迟时间
 - 信号在介质上的传播速度只有在自由空间的65%左右，一般近似为：200m/μs
 - 由于传播延迟时间的存在，某个站发出报文后仍会遇到冲突，见下图。

传播延迟对载波侦听的影响



冲突窗口

- 发生冲突时间的上限，即发送站发出帧后能检测到碰撞的最长时间，数值上等于最远两站传播时间的两倍，即 $2T$



冲突窗口时间的计算

□ 设：信号在物理信道上的传播速度 v 一般近似为：

$v = 200\text{m} / \mu\text{s}$ ，网卡延时 t_{PHY} ，则可得：

$$t = S/v, \text{ Slot time} = 2t + 2t_{\text{PHY}},$$

□ 如果考虑网段上有 N 个中继器，每个中继器延迟时间为 $t_{\text{中继器}}$ ，则可得下式： $\text{Slot time} = 2*(t + t_{\text{PHY}} + N \times t_{\text{中继器}})$

CSMA/CD （1-持续）

□ CSMA with Collision Detection

□ “先听后发、边发边听”

□ 特点

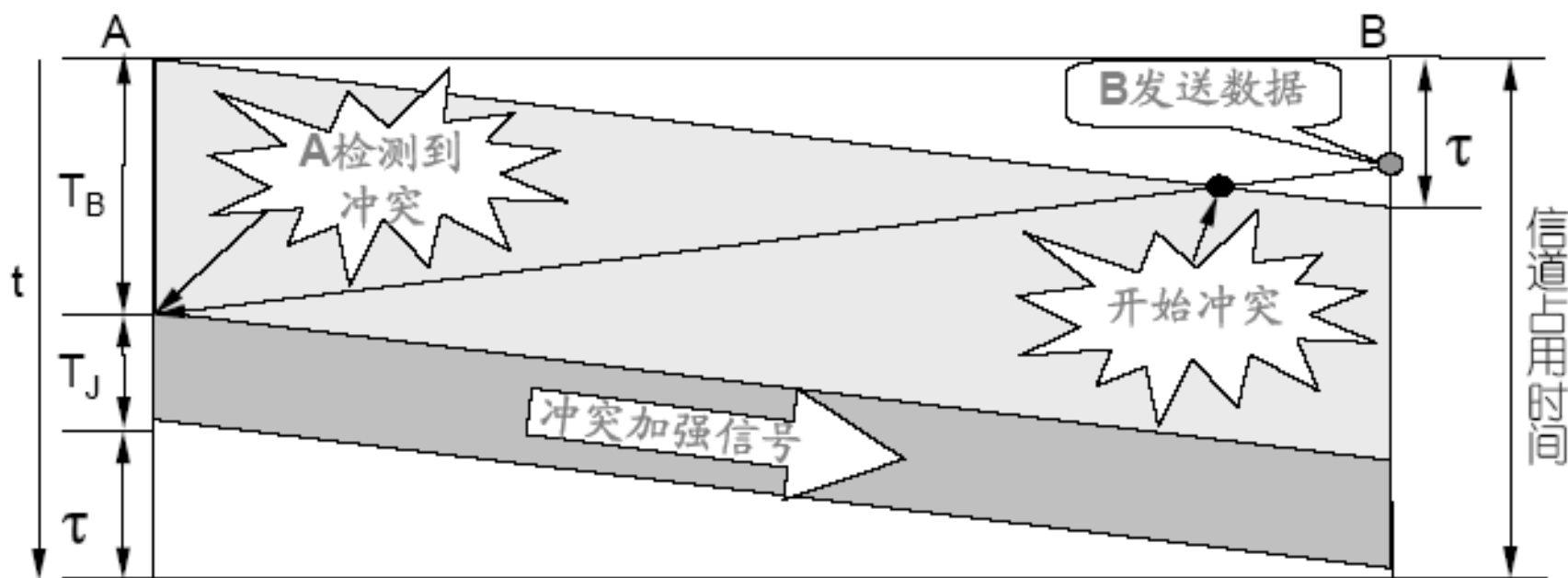
□ 特点：

- ①经侦听，如介质空闲，则发送。
- ②如介质忙，持续侦听，一旦空闲立即发送。
- ③如果发生冲突，等待一个随机分布的时间再重复步骤①。

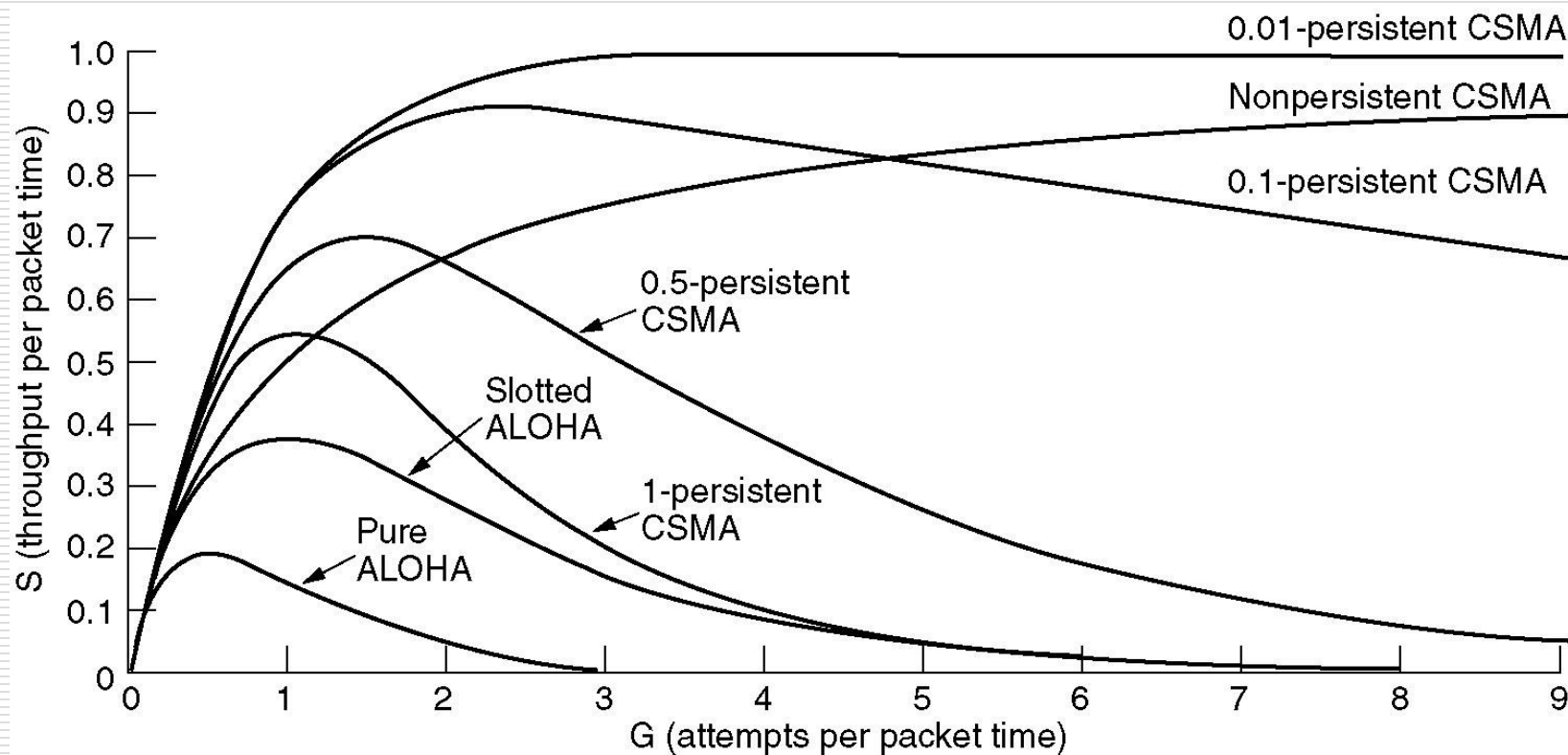
CSMA/CD P207

- 所有工作站在发送的同时也接收自己的信号，监测发送的情况，一旦收到的信号与发出的不一致，就说明发生了冲突。
- 发送站感知冲突后立即停止帧的发送，并且发一个简短的堵塞信号(称强化冲突信号，Jamming signal)，通知网上各站已经发生冲突，本站及网上所有站都等待一段随机分布的时间，然后再按CSMA/CD方式重发该帧。

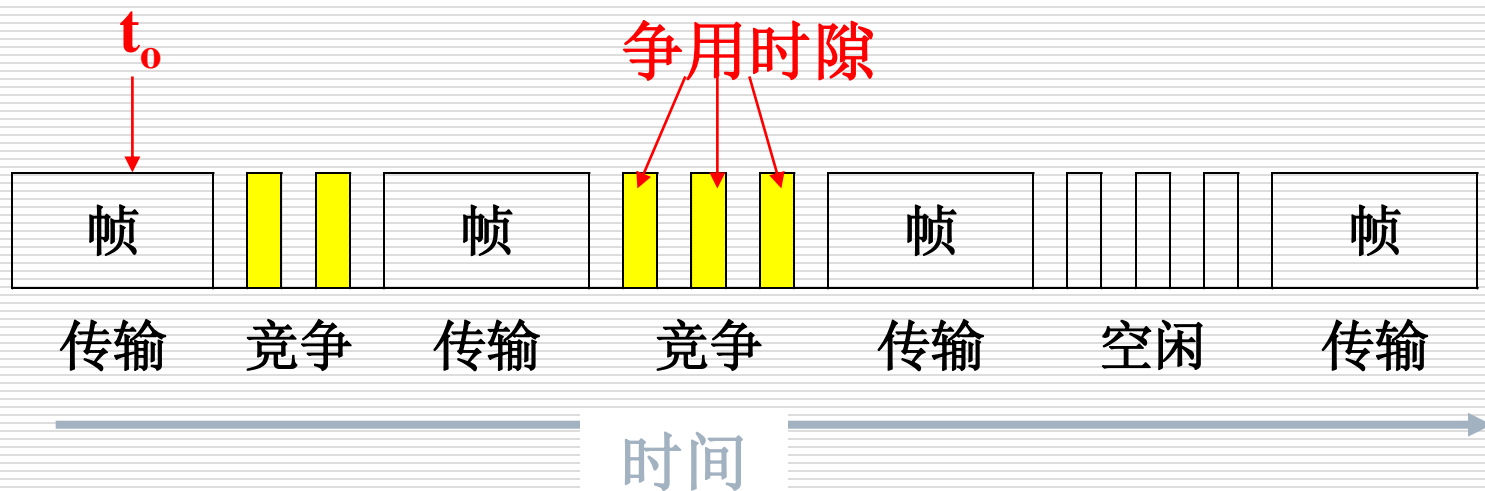
CSMA/CD的原理图示



性能比较



CSMA/CD概念模型^{P217}



信道的三种状态:

- 传输周期: 一个站点使用信道, 其他站点禁止使用
- 竞争周期: 所有站点都有权尝试使用信道, 争用时间槽
- 空闲周期: 所有站点都不使用信道

冲突检测和处理

□ 冲突检测方法

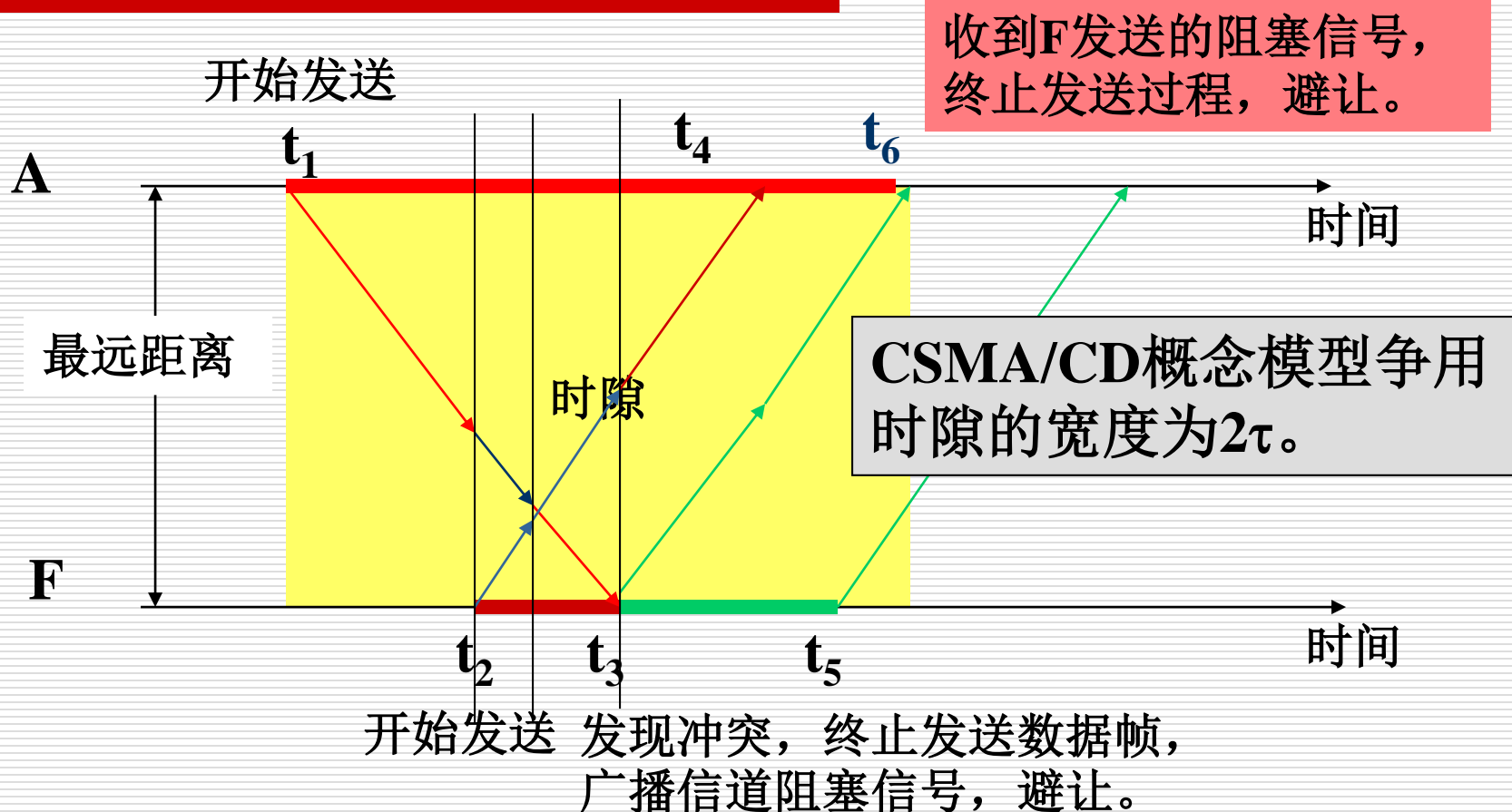
- 比较发送信号 ($A \rightarrow B$) 与回复信号 ($A \leftarrow B$) 的能量或脉冲宽度变化
- 最大冲突检测时间 (冲突窗口)：两个最远距离站点间的传输时间为 τ ，则网络的最大冲突检测时间为 2τ 。

□ 冲突检测的要求

- 要求1：时隙宽度 = 最大冲突检测时间
 - 保证在一个时隙内能够检测到最远距离的冲突
- 要求2：发送有效帧的时间 \geq 最大冲突检测时间
 - 防止因在发生冲突时已完成短帧发送而造成的异常情况

□ 冲突后，发送帧重传的策略

冲突检测时间与时隙的关系



先听后发，边发边听；
一旦冲突，立刻停发；
等待时机，然后再听。

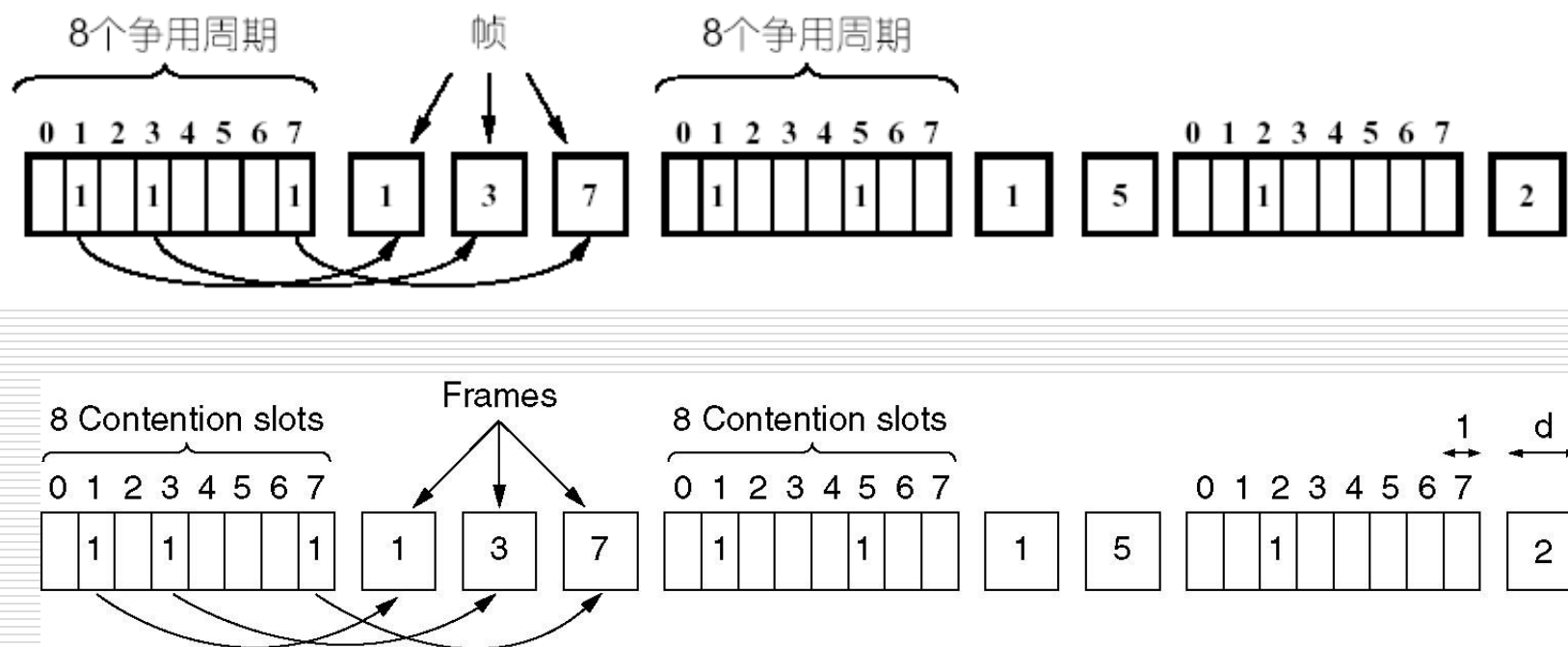
其他多路访问协议

- 受控访问（非冲突）协议
 - 位图协议（预留协议）
 - 令牌
 - 二进制倒数计数协议
- 有限竞争协议
- 波分多路访问协议（WDMA）
- 无线局域网协议（WLAN）
 - MACA: Multiple Access with Collision Avoidance

无冲突的协议—位图协议P208

- 也叫预留协议
- 如有N个站点共享信道，编号为0 ~N-1，其竞争周期将分为N个时隙，每个站点占有一个时隙，如某站准备发送，则可在属于它的时隙内填入1，一个竞争周期后，则将按顺序发送，不会产生冲突

位图协议（预留协议） 图示P209

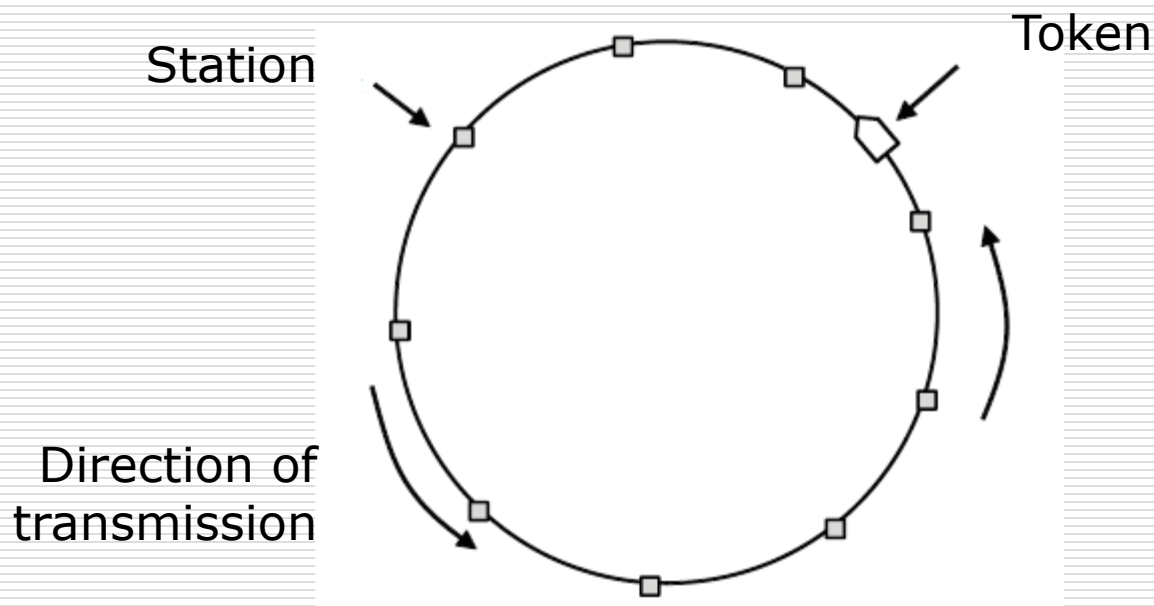


位图协议的效率分析

- 假设系统中有 N 个用户，需 N 个时隙
- 在低负荷条件下，如每帧的数据量为 d bit，额外比特数为 N （等待时隙），则效率为 $d/(d+N)$
- 在高负荷条件下，即所有的站都希望一帧接一帧发送，位图按平均分配给每一帧，一帧只占一位，则效率为 $d/(d+1)$
- 缺点：位图协议无法考虑优先级

令牌传递

- ❑ 抓取到令牌的工作站可以发送一帧。
- ❑ 除了环，令牌也可以运行在其它拓扑上。



二进制倒数计数协议P210

- 需要一个仲裁机构决定哪个站点发送
- 基本思想
 - 把站号按相同长度的二进制数编号，需要发送的站逐个按高位到低位在争用周期开始时发送，凡低序号的站点发现有高序号站点也希望发送，则退出竞争，即：高序号站点优先

二进制倒数计数法图示

	比特时间			
	0	1	2	3
0 0 1 0	0	—	—	—
0 1 0 0	0	—	—	—
1 0 0 1	1	0	0	—
1 0 1 0	1	0	1	0
结果	1	0	1	0

改进：防止低序号站点一直抢不到站点，可怎样办？

信道效率分析_{P211}

- N个站的二进制编码所需位数是 $\log_2 N$ 位
- 信道的效率为： $d/(d+\log_2 N)$
- 如果规定每个帧的帧头为发送地址，即竞争的同时也在发送。则效率为100%

有限竞争协议 P211

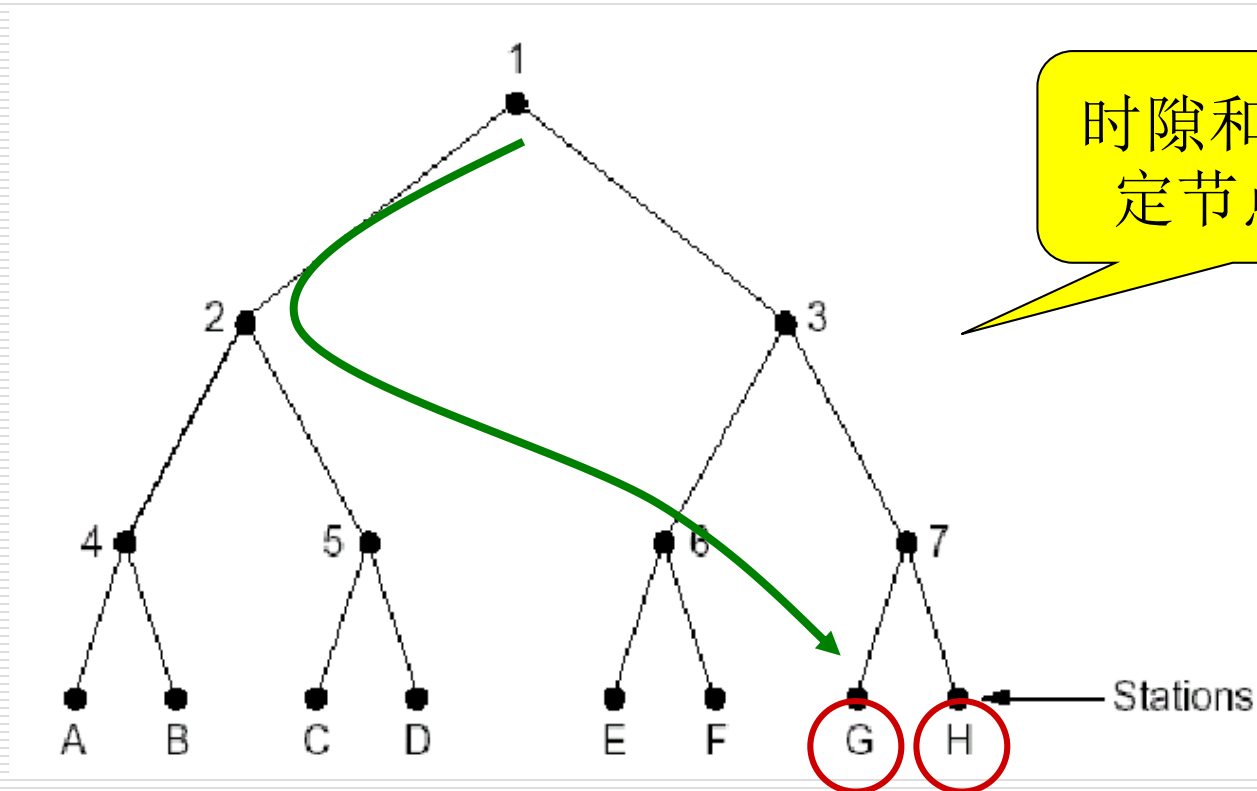
□ 有限竞争协议（Limited Contention Protocol）

- 在低负荷时使用竞争法，以减少延迟时间。
- 在高负荷时，使用无冲突法，以获得高的信道效率。

适应树搜索协议 (Adaptive Tree Walk Protocol)

- 比喻：二战时，美军血液检查病毒的方法（P213）
- 在一次成功传输后的第一个竞争时隙，所有站点同时竞争。如果只有一个站点申请，则获得信道。否则在下一竞争时隙，有一半站点参与竞争（递归），下一时隙由另一半站点参与竞争
- 即将所有站点构成一棵完全二叉树。对二叉树作深度优先搜索

适应树搜索协议图示



8个站点的适应树搜索举例

- 如当前有站点G、H请求获得信道
- 在时隙0，因有两个站点请求获得信道，所以冲突
- 在时隙1，按深度优先搜索节点2，但发现节点2 所属的站点无获得信道请求
- 在时隙2，跳过节点3，搜索节点3 下属节点6，但发现节点6 所属的站点也无获得信道请求
- 在时隙3，跳过节点7，搜索节点7 下属节点G，G 获得信道

无线局域网协议 P214

☐ MACA和MACAW

☐ GSM

☐ CDPD

☐ CDMA

本节小结

- 理解随机访问协议
- 掌握纯ALOHA协议和分隙ALOHA协议
- 掌握各种CSMA的特点
 - CSMA/CD
- 了解无冲突的协议

谢谢！



上传于 www.lvyou114.com