



西北師範大學
NORTHWEST NORMAL UNIVERSITY

计算机网络

第三章 数据链路层 (3)

陈旺虎

chenwh@nwnu.edu.cn



第 3 章 数据链路层

3.1 使用点对点信道的数据链路层

3.2 点对点协议 PPP

3.3 使用广播信道的数据链路层

3.4 使用广播信道的以太网

3.5 扩展的以太网

3.6 高速以太网

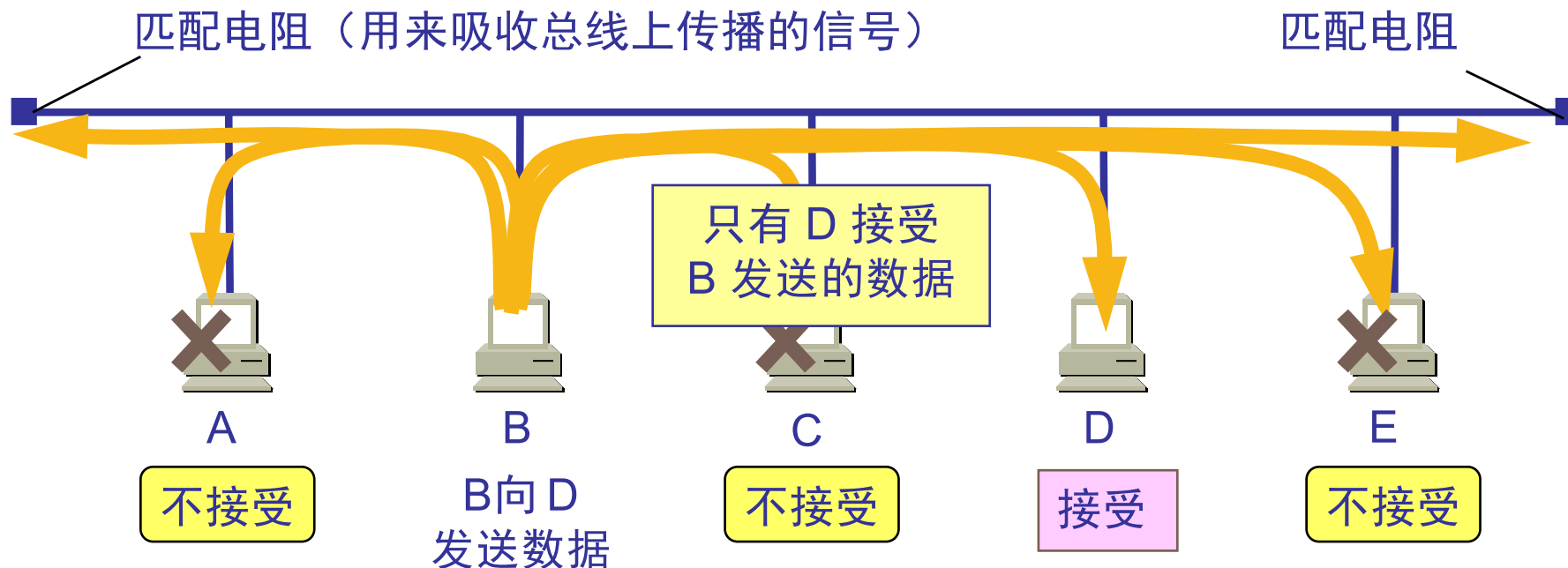
3.7 其他类型的高速局域网接口

Review

- PPP协议
- 广播信道
- 局域网拓扑结构
- 媒体共享方法
 - ▣ 静态划分信道
 - ▣ 动态媒体介入控制 (Multiple Access)
 - 随机接入
 - 受控接入

3.3.2 CSMA/CD 协议

- 最初的以太网是将许多计算机都连接到一根总线上。当初认为这样的连接方法既简单又可靠，因为总线上没有有源器件。



以太网的广播方式发送

- 总线上的每一个工作的计算机都能检测到 B 发送的数据信号。
- 由于只有计算机 D 的地址与数据帧首部写入的地址一致，因此只有 D 才接收这个数据帧。
- 其他所有的计算机（A, C 和 E）都检测到不是发送给它们的数据帧，因此就丢弃这个数据帧而不能够收下来。
- 因此，在具有广播特性的总线上实现了一对一的通信。

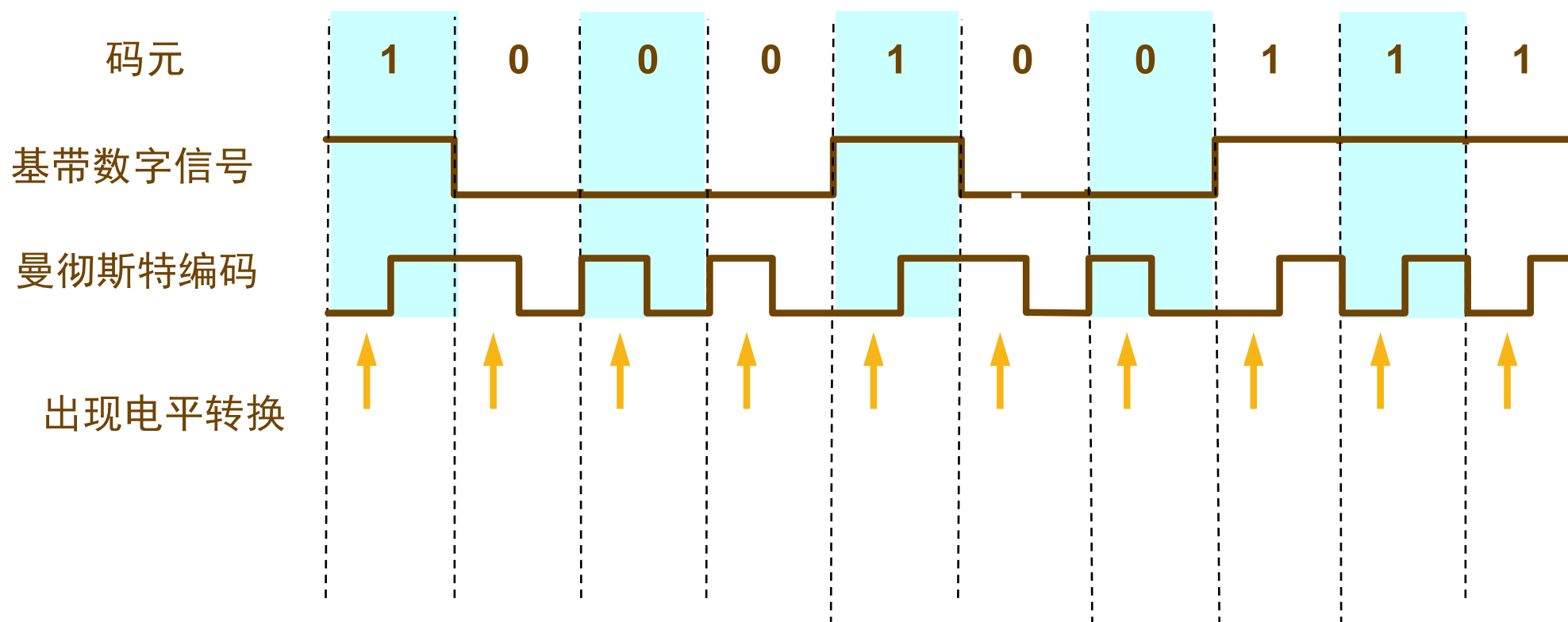
为方便以太网采取了两种重要的措施

- (1) 采用较为灵活的无连接的工作方式，即不必先建立连接就可以直接发送数据。
- (2) 不对以太网发送的数据帧进行编号，也不要求对方发回确认。
 - ▣ 这样做的理由是局域网信道的质量很好，因信道质量产生差错的概率是很小的。

以太网提供的服务

- 以太网提供的服务是不可靠的交付，即**尽最大努力的交付**。
 - ▣ 当目的站收到有差错的数据帧时就丢弃此帧，其他什么也不做。差错的纠正由高层来决定。
 - ▣ 如果高层发现丢失了一些数据而进行重传，但以太网并不知道这是一个重传的帧，而是当作一个新的数据帧来发送。

以太网发送的数据都使用曼彻斯特(Manchester)编码



问题

- 如何协调总线上各计算机的工作？
 - ▣ 总线上，在同一时间只能允许一台计算机发送信息，否则相互干扰，结果都无法正常发送数据。
 - ▣ 传统以太网采用的协调方法是CSMA/CD（载波监听多点接入/碰撞检测）协议，采用半双工通信方式。

载波监听多点接入/碰撞检测CSMA/CD

- CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)。
- “**多点接入**”表示许多计算机以多点接入的方式连接在一根总线上。
- “**载波监听**”是指每一个站在发送数据之前先要检测一下总线上是否有其他计算机在发送数据，如果有，则暂时不要发送数据，以免发生碰撞。
 - ▣ “载波监听”就是用电子技术检测总线上有没有其他计算机发送的数据信号。

CSMA：载波监听多点接入

□ 工作原理

- ▣ 发送前监听：每个站点在发送数据之前要监听信道上是否有数据在传送。若有，则此站暂停发送，等待一段时间后重试。附加硬件装置。

□ 载波监听策略

- ▣ 非坚持CSMA：一旦监听到信道忙，就不再监听；延迟一个随机时间后再次监听。
- ▣ 坚持CSMA：监听到信道忙时，仍继续监听，直到信道空闲
 - 1-坚持CSMA：一监听到信道空闲就立即发送数据（以概率1发送）
 - p-坚持CSMA：监听到信道空闲时，以概率p发送数据，即以概率1-p延迟一段时间后再发送



□ 性能

- ▣ 轻载时，1坚持CSMA吞吐量最大；
- ▣ 重载时，非坚持CSMA吞吐量最大。

□ 冲突是否可以避免？

- ▣ 由于传播时延的存在，冲突不可避免

碰撞检测

- 如何检测有没有发生碰撞？
 - ▣ “碰撞检测”就是计算机边发送数据边检测信道上的信号电压大小。
 - ▣ 当几个站同时在总线上发送数据时，总线上的信号电压摆动值将会增大（互相叠加）。
 - ▣ 当一个站检测到的信号电压摆动值超过一定的门限值时，就认为总线上至少有两个站同时在发送数据，表明产生了碰撞。
- 所谓“碰撞”就是发生了冲突。因此“碰撞检测”也称为“冲突检测”。

检测到碰撞后

- 在发生碰撞时，总线上传输的信号产生了严重的失真，无法从中恢复出有用的信息来。
- 每一个正在发送数据的站，一旦发现总线上出现了碰撞，就要立即停止发送，免得继续浪费网络资源，然后等待一段随机时间后再次发送。

CSMA/CD：带冲突检测的载波监听多点接入

□ 工作原理

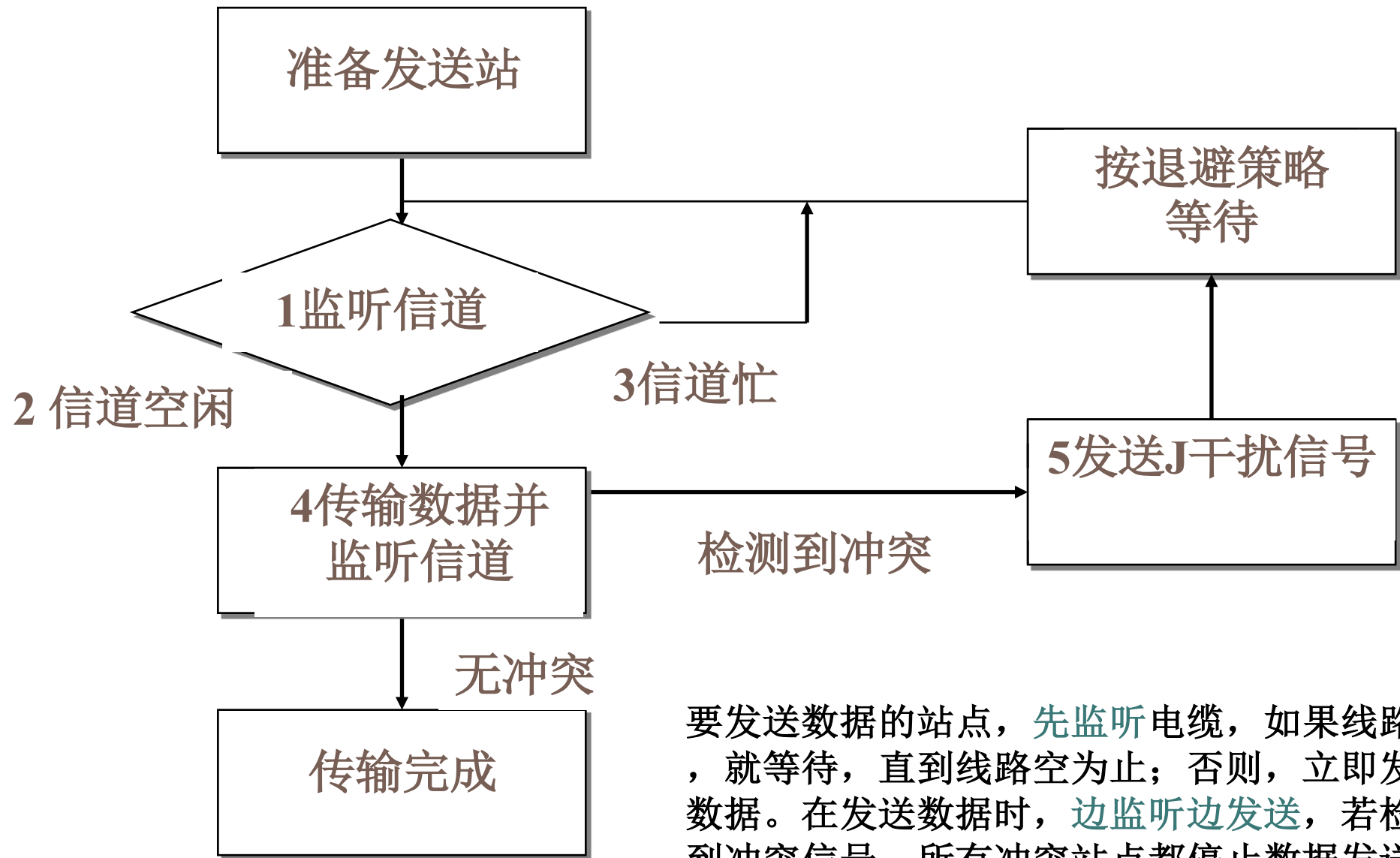
- ▣ 边发送边监听。若监听到冲突，则冲突双方都立即停止发送。

□ 冲突检测方法

- ▣ 比较接收到的信号电压的大小
- ▣ 站点检测到冲突后，往往发送人为干扰信号，强化冲突，以通知其他站点

□ 退避

CSMA/CD 流程图

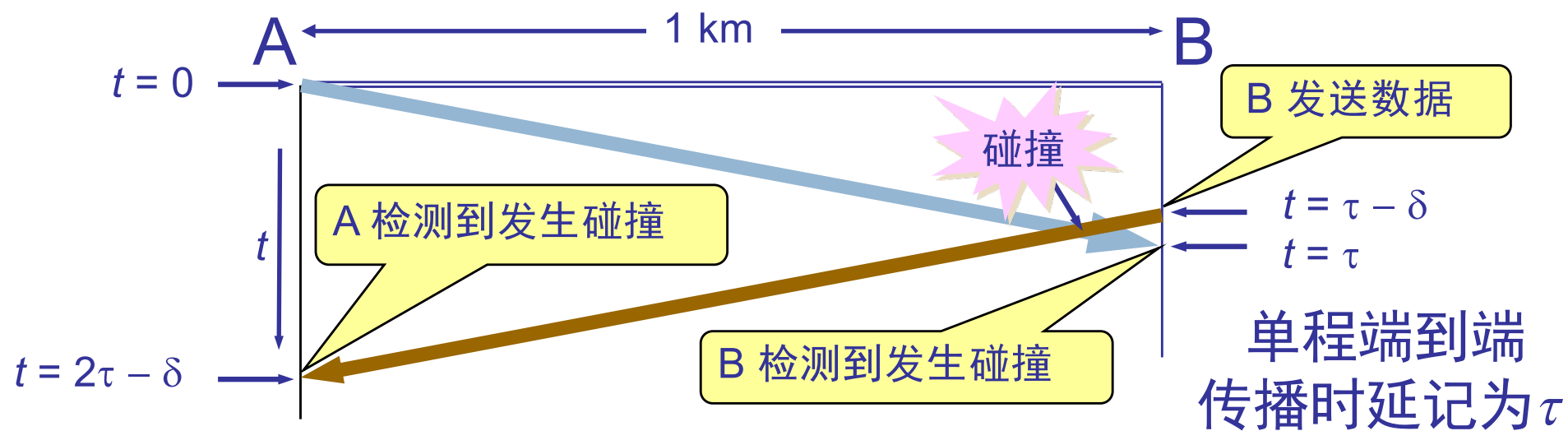


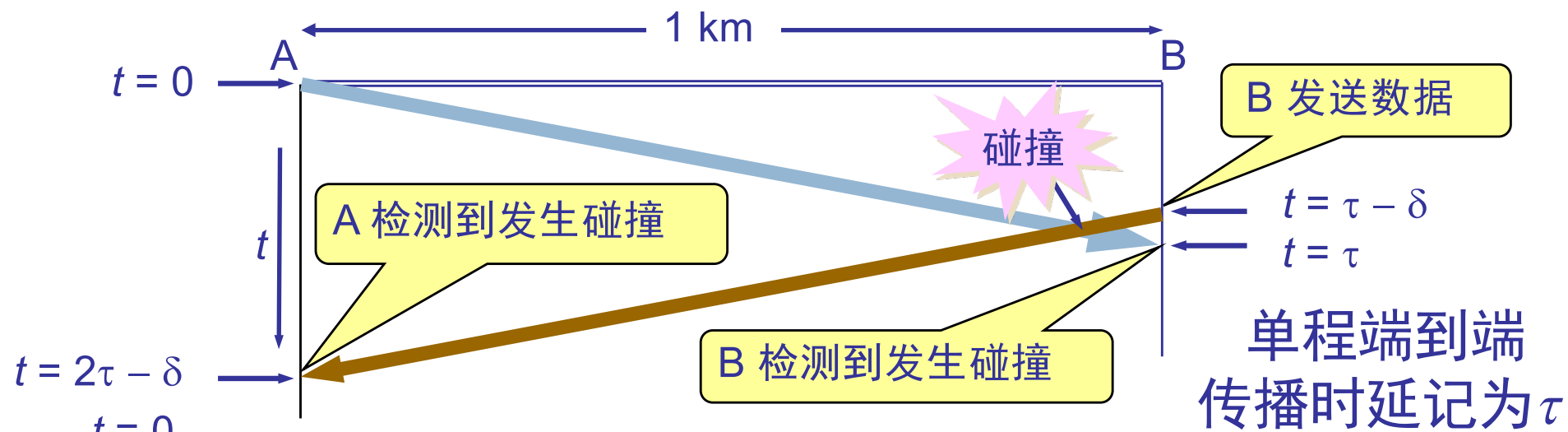
要发送数据的站点，先监听电缆，如果线路忙，就等待，直到线路空为止；否则，立即发送数据。在发送数据时，边监听边发送，若检测到冲突信号，所有冲突站点都停止数据发送，等待一个随机时间后，再重新尝试发送。

电磁波在总线上的 有限传播速率带来的影响

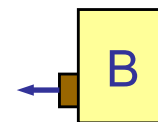
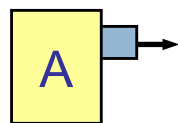
- 当某个站监听到总线是空闲时，也可能总线并非真正是空闲的。 (Why?)
 - ▣ A 向 B 发出的信息，要经过一定的时间后才能传送到 B。
 - ▣ B 若在 A 发送的信息到达 B 之前发送自己的帧（因为这时 B 的载波监听检测不到 A 所发送的信息），则必然要在某个时间和 A 发送的帧发生碰撞。
- 碰撞的结果是两个帧都变得无用。

传播时延对载波监听的影响

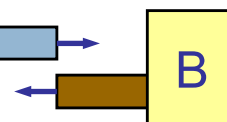




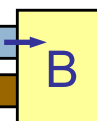
A 检测到
信道空闲
发送数据



$t = \tau - \delta$
B 检测到信道空闲
发送数据



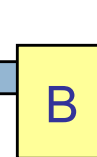
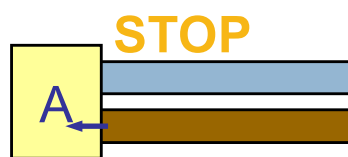
$t = \tau - \delta / 2$
发生碰撞



$t = \tau$
B 检测到发生碰撞
停止发送

STOP

$t = 2\tau - \delta$
A 检测到
发生碰撞



重要特性

- 使用 CSMA/CD 协议的以太网不能进行全双工通信而只能进行双向交替通信（半双工通信）。
- 每个站在发送数据之后的一小段时间内，存在着遭遇碰撞的可能性。
- 这种发送的不确定性使整个以太网的平均通信量远小于以太网的最高数据率。

争用期

- 最先发送数据帧的站，在发送数据帧后至多经过时间 2τ （端到端往返时延）就可知道发送的数据帧是否遭受了碰撞。
- 以太网的端到端往返时延 2τ 称为争用期，或碰撞窗口。
- 经过争用期这段时间还没有检测到碰撞，才能肯定这次发送不会发生碰撞。

二进制指数类型退避算法 (truncated binary exponential type)

- 发生碰撞的站在停止发送数据后，要推迟（退避）一个随机时间才能再发送数据。
 - 确定基本退避时间
 - 一般是取为争用期 2τ 。
 - 定义 k ， $k \leq 10$ ，即
$$k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$$
 - 从整数集合 $[0, 1, \dots, (2^k - 1)]$ 中随机地取出一个数，记为 r 。重传所需的时延就是 r 倍的基本退避时间。
 - 当重传达 16 次仍不能成功时即丢弃该帧，并向高层报告。

争用期的长度

- 以太网取 $51.2 \mu\text{s}$ 为争用期的长度。
- 对于 10 Mb/s 以太网，在争用期内可发送 512 bit，即 64 字节。
- 可得到什么结论？
 - ▣ 以太网在发送数据时，若前 64 字节没有发生冲突，则后续的数据就不会发生冲突。

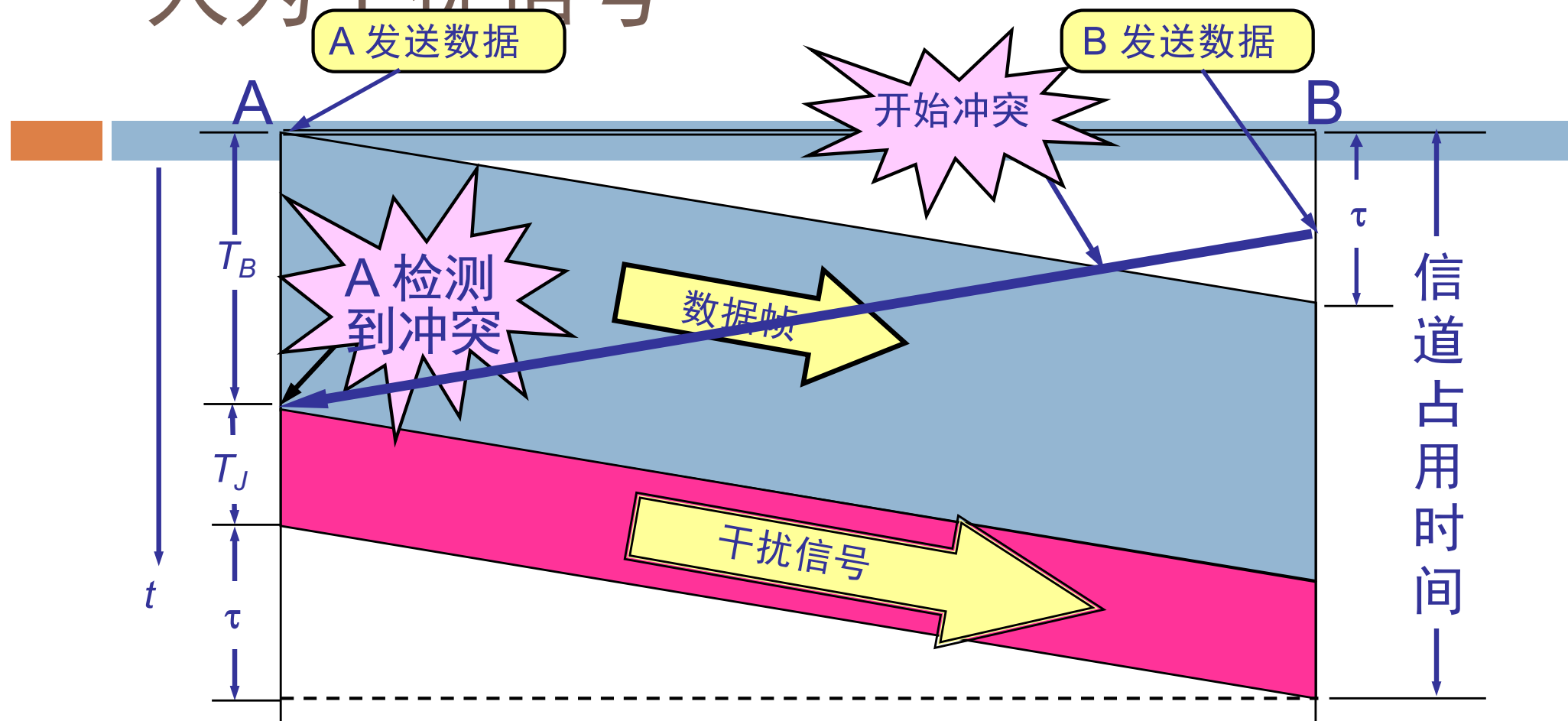
最短有效帧长

- 如果发生冲突，就一定是在发送的前 64 字节之内。
- 由于一检测到冲突就立即中止发送，这时已经发送出去的数据一定小于 64 字节。
- 以太网规定了最短有效帧长为 64 字节，凡长度小于 64 字节的帧都是由于冲突而异常中止的**无效帧**。

强化碰撞

- 当发送数据的站一旦发现发生了碰撞时：
 - ▣ 立即停止发送数据；
 - ▣ 再继续发送若干比特的人为干扰信号(jamming signal)，以便让所有用户都知道现在已经发生了碰撞。

人为干扰信号



B 也能够检测到冲突，并立即停止发送数据帧，接着就发送干扰信号。这里为了简单起见，只画出 A 发送干扰信号的情况。

传统以太网的帧间间隔

- 9.6us，若检测到信道空闲，等待的时间。保障接收方清除缓存
- 96bit

习题：

- 37.(2009考研题) 在一个采用CSMA/CD协议的网
络中，传输介质是一根完整的电缆，传输速率
为1Gbps，电缆中的信号传播速度是
200 000km/s。若最小数据帧长度减少800比特，
则最远的两个站点之间的距离至少需要
- A. 增加160m B.增加80m
 - C. 减少160m D.减少80m

解答

- 在一个采用CSMA/CD协议的网络中，传输介质是一根完整的电缆，传输速率为1Gbps，电缆中的信号传播速度是200 000km/s。
- 若最小数据帧长度减少800比特，则最远的两个站点之间的距离至少需要——减少80。
 - ▣ 碰撞窗口： 2τ ; τ ——端对端传输时间
 - ▣ $\tau = L / 200\,000\,000 \text{ (m/s)}$
 - ▣ 最短帧长 $= 10^9 \text{ (b/s)} * 2 * \tau \text{ (s)}$
 $= 10 * L \text{ (b)}.$

- 47 综合题(2010考研题) (9分) 某局域网采用CSMA/CD协议实现介质访问控制, 数据传输速率为10Mbps, 主机甲和主机乙之间的距离为2km, 信号传播速度是200 000Kms.
- 请回答下列问题, 并给出计算过程.
 - ▣ (1) 若主机甲和主机乙发送数据时发生冲突, 则从开始发送数据时刻起, 到两台主机均检测到冲突时刻止, 最短需经多长时间? 最长需经过多长时间?
 - (假设主机甲和主机乙发送数据过程中, 其他主机不发送数据)

- (2) 若网络不存在任何冲突与差错，主机甲总是以标准的最长以太网数据锁（1518字节）向主机乙发送数据，主机乙每成功收到一个数据锁后，立即发送下一个数据锁，此时主机甲的有效数据**传输速率**是多少？
 - （不考虑以太网锁的前导码）

信道利用率的最大值 $S_{\max}$

- 在理想化的情况下，以太网上的各站发送数据都不会产生碰撞（这显然已经不是 CSMA/CD，而是需要使用一种特殊的调度方法），即总线一旦空闲就有某一个站立即发送数据。
- 发送一帧占用线路的时间是 $T_0 + \tau$ ，而帧本身的发送时间是 T_0 。于是我们可计算出理想情况下的极限信道利用率 $S_{\max}$ 为：

$$S_{\max} = \frac{T_0}{T_0 + \tau} = \frac{1}{1 + a}$$

解答

□ (1)

- ▣ 当甲乙同时向对方发送数据时，两台主机均检测到冲突所需时间最短；
 - $1\text{KM}/2000000\text{KM/S} \times 2 = 1 \times 10^{-5}\text{S}$
- ▣ 当一方发送的数据马上要到达另一方时，另一方开始发送数据，两台主机均检测到冲突所需时间最长；
 - $2\text{KM}/2000000\text{KM/S} \times 2 = 2 \times 10^{-5}\text{S}$

□ (2)

□ 发送一帧所需时间: $A = 1518B / 10Mbps = 1.2144ms$

□ 数据传播时间:

■ $B = 2km / 200\ 000km/s = 1 * 10^{-5}s = 0.01ms$

□ 有效的数据传输速率:

■ $10Mbps * [A / (A+B)] = 9.92Mbps$

3.4 使用广播信道的以太网

3.4.1 使用集线器的星形拓扑

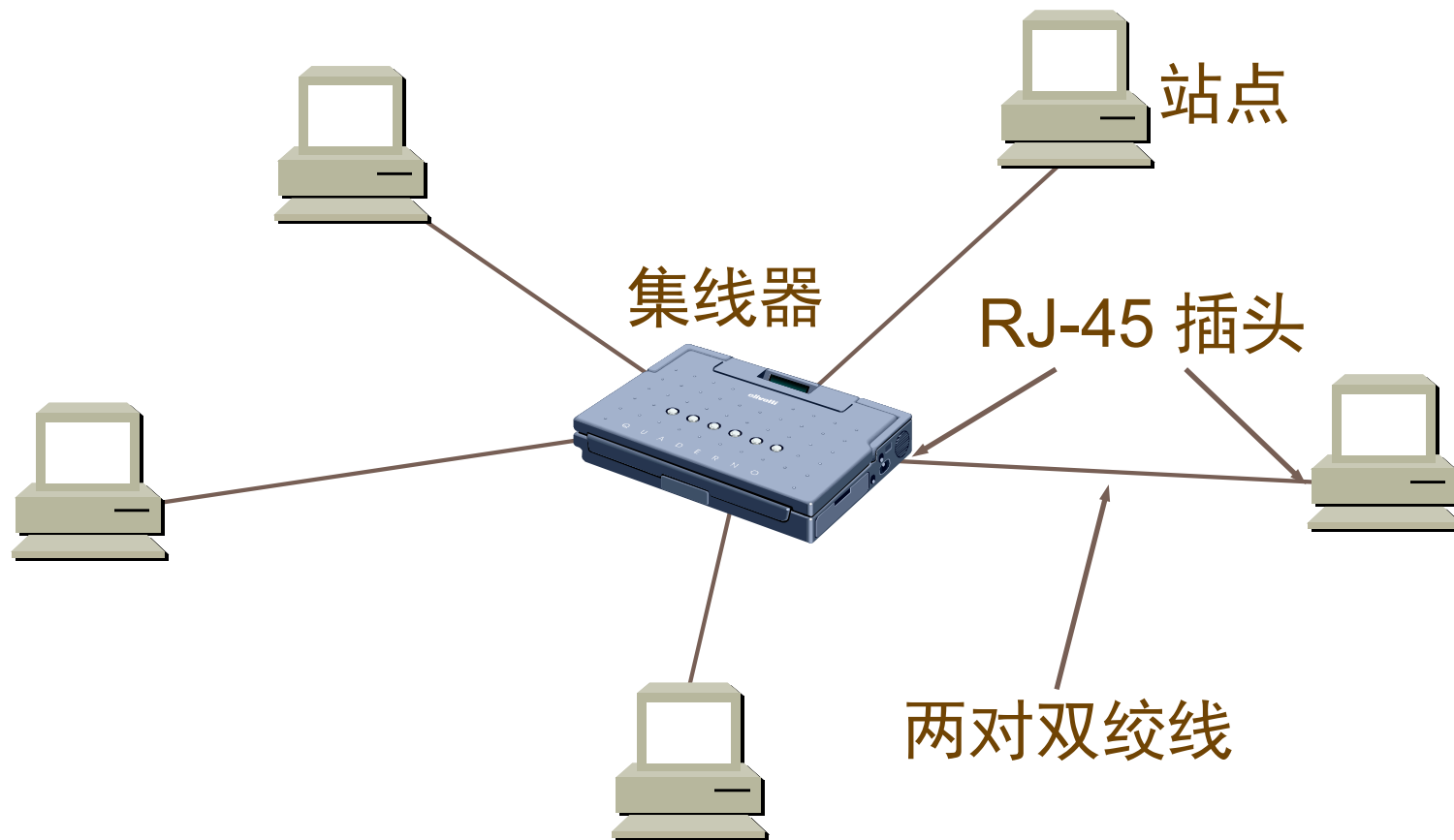
- 以太网的发展

- ▣ 传统的以太网最初使用粗同轴电缆
- ▣ 后来，演进到使用比较便宜的细同轴电缆
- ▣ 最后，发展为使用更便宜和更灵活的双绞线

- 双绞线以太网采用星形拓扑

- ▣ 在星形的中心则增加了一种可靠性非常高的设备，叫做**集线器**(hub)

使用集线器的双绞线以太网



星形网 10BASE-T

- 不用同轴电缆而使用无屏蔽双绞线。
- 每个站需要用两对双绞线，分别用于发送和接收。
- 集线器使用了大规模集成电路芯片，因此这样的硬件设备的可靠性大大提高。

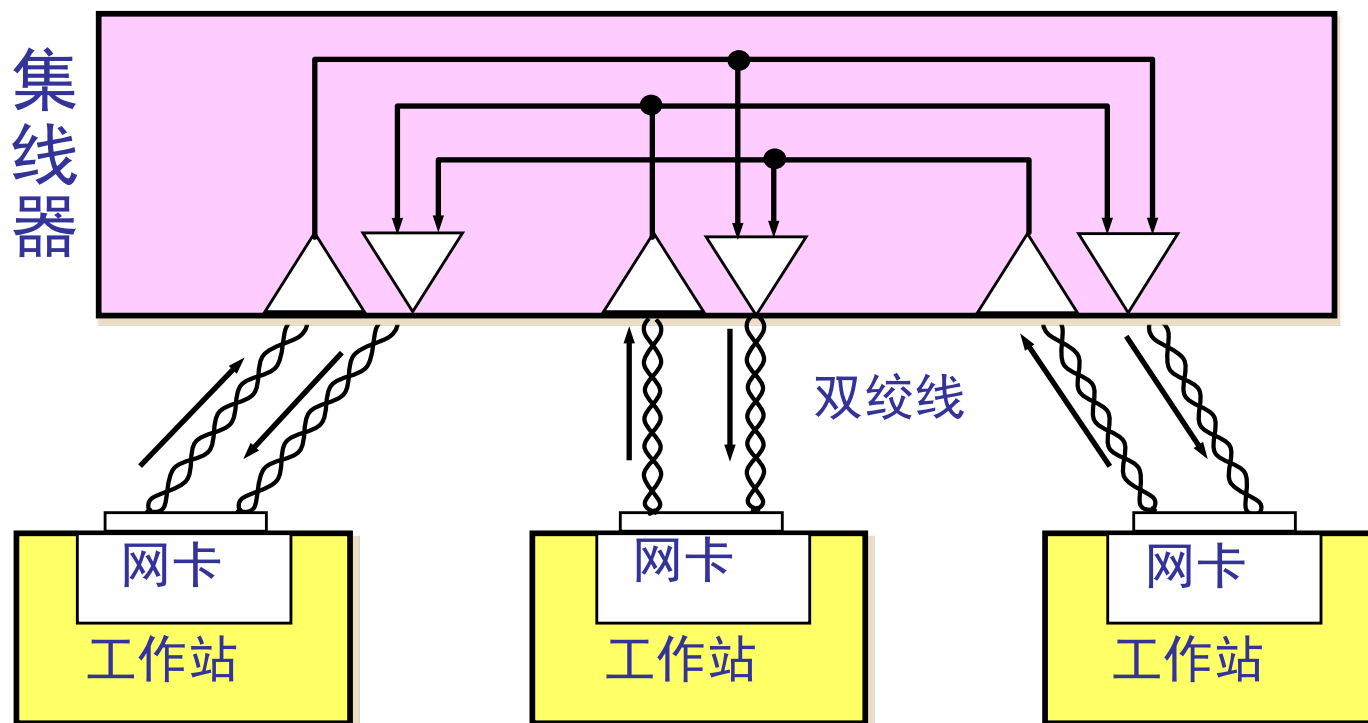
以太网在局域网中的统治地位

- 10BASE-T 的通信距离稍短，每个站到集线器的距离不超过 100 m。
- 10 Mb/s 速率的无屏蔽双绞线星形网的出现，既降低了成本，又提高了可靠性。
- 10BASE-T 双绞线以太网的出现，是局域网发展史上的一个非常重要的里程碑，它为以太网在局域网中的统治地位奠定了牢固的基础。

集线器的特点

- 集线器是使用电子器件来模拟实际电缆线的工作
 - ▣ 因此，整个系统仍然像一个传统的以太网。
- 使用集线器的以太网在**逻辑上**仍是一个总线网
 - ▣ 各工作站使用的还是 CSMA/CD 协议，并共享逻辑上的总线。
- 集线器很像一个多接口转发器，**工作在物理层**。

具有三个接口的集线器



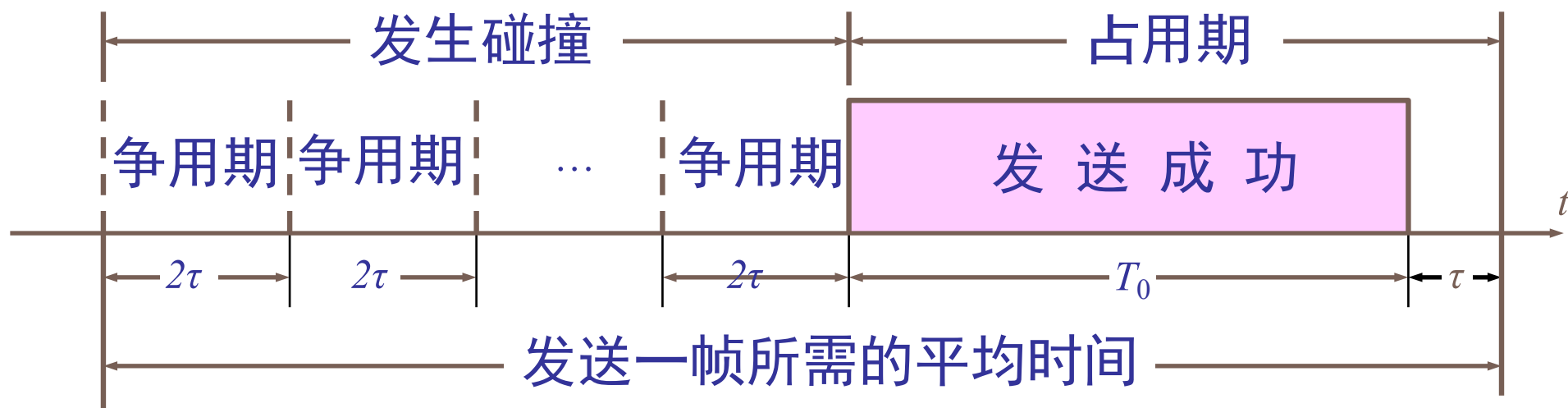
3.4.2 以太网的信道利用率

- 以太网的信道被占用的情况
- 假设
 - ▣ 争用期长度为 2τ ，即端到端传播时延的两倍
 - ▣ 检测到碰撞后不发送干扰信号
 - ▣ 帧长为 L (bit)，数据发送速率为 C (b/s)
 - 因而，帧的发送时间为 $L/C = T_0$ (s)。

以太网的信道利用率

□ 发送一帧所需的平均时间：

- 一个帧从开始发送，经可能发生的碰撞后，将再重传数次，到发送成功且信道转为空闲(即再经过时间 τ 使得信道上无信号在传播)时为止



提高以太网的信道利用率

- 要提高以太网的信道利用率，就必须减小 τ 与 T_0 之比。
 - ▣ 在以太网中定义了参数 a ，它是以太网单程端到端时延 τ 与帧的发送时间 T_0 之比：
$$a = \frac{\tau}{T_0}$$
 - $a \rightarrow 0$ ：表示一发生碰撞就立即可以检测出来，并立即停止发送，因而信道利用率很高。
 - a 越大：表明争用期所占的比例增大，每发生一次碰撞就浪费许多信道资源，使得信道利用率明显降低。

对以太网参数的要求

- 当数据率一定时，以太网的连线的长度受到限制，否则 τ 的数值会太大。
- 以太网的帧长不能太短，否则 τ_0 的值会太小，使 α 值太大。

信道利用率的最大值 $S_{\max}$

- 在理想化的情况下，以太网上的各站发送数据都不会产生碰撞，即：总线一旦空闲就有某一个站立即发送数据。

- ▣ 这显然已经不是 CSMA/CD，而是需要使用一种特殊的调度方法

- 发送一帧占用线路的时间是 $T_0 + \tau$ ，而帧本身的发送时间是 T_0 。于是我们可计算出理想情况下的

极限信道利用率 $S_{\max}$ 为：

$$S_{\max} = \frac{T_0}{T_0 + \tau} = \frac{1}{1 + a}$$



ANY QUESTION?