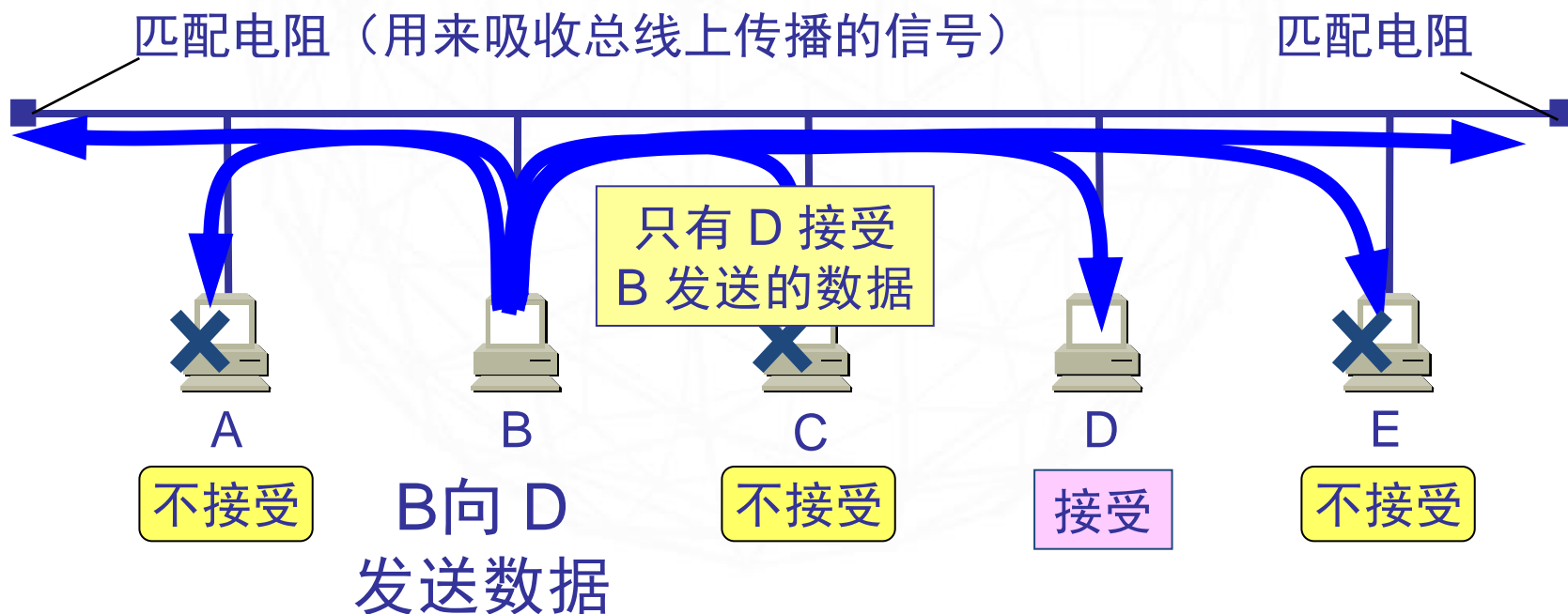


CSMA /CD协议

总线型以太网

- 最初的以太网是将许多计算机都连接到一根总线上。
- 总线上的每一个计算机都能检测到任一主机发送的数据信号，这就是广播通信方式。



具有广播特性总线上实现一对一的通信

- 每一台计算机的**适配器地址不同**，在B向D发送数据帧时，在发送**帧的首部**写明**接收站D的地址**。
- 只有**计算机 D 的地址与数据帧首部的地址一致**，因此只有 **D 才接受这个数据帧**。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接受。



为了通信的简便, 以太网采取了两种重要的措施

第一、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。

- 以太网对发送的数据帧不进行编号, 也不要求对方发回确认。
 - 局域网信道的质量很好, 因信道质量产生差错的概率很小。
- 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。
- 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**。



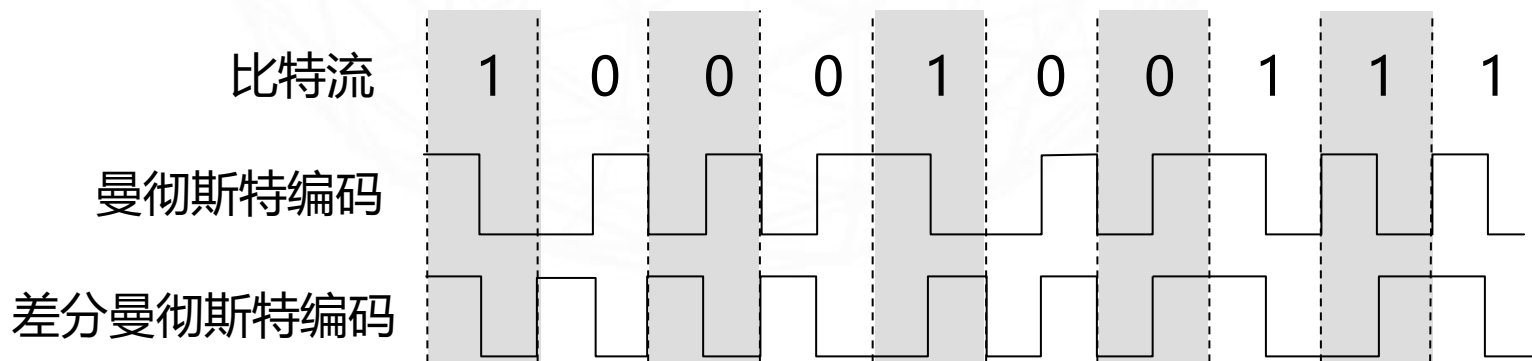


为了通信的简便,以太网采取了两种重要的措施

第二、以太网发送的数据都使用曼彻斯特(Manchester)编码 的信号。

曼彻斯特(Manchester)编码的编码方法是把每个码元分成两个相等的间隔。

如图,码元1是前一个间隔为高电压后一个间隔为低电压,即位周期中心向下跳变表示1;码元0正好相反,即位周期中心向上跳变表示0。这样保证了在每一个码元中间出现一次电压的转换,接收端就利用这种电压的转换方便地把位同步信号提取出来。





总线形以太网在同一时间只能允许一台计算机发送信息，那么如何协调总线上各计算机的工作？

以太网采用CSMA/CD协议。

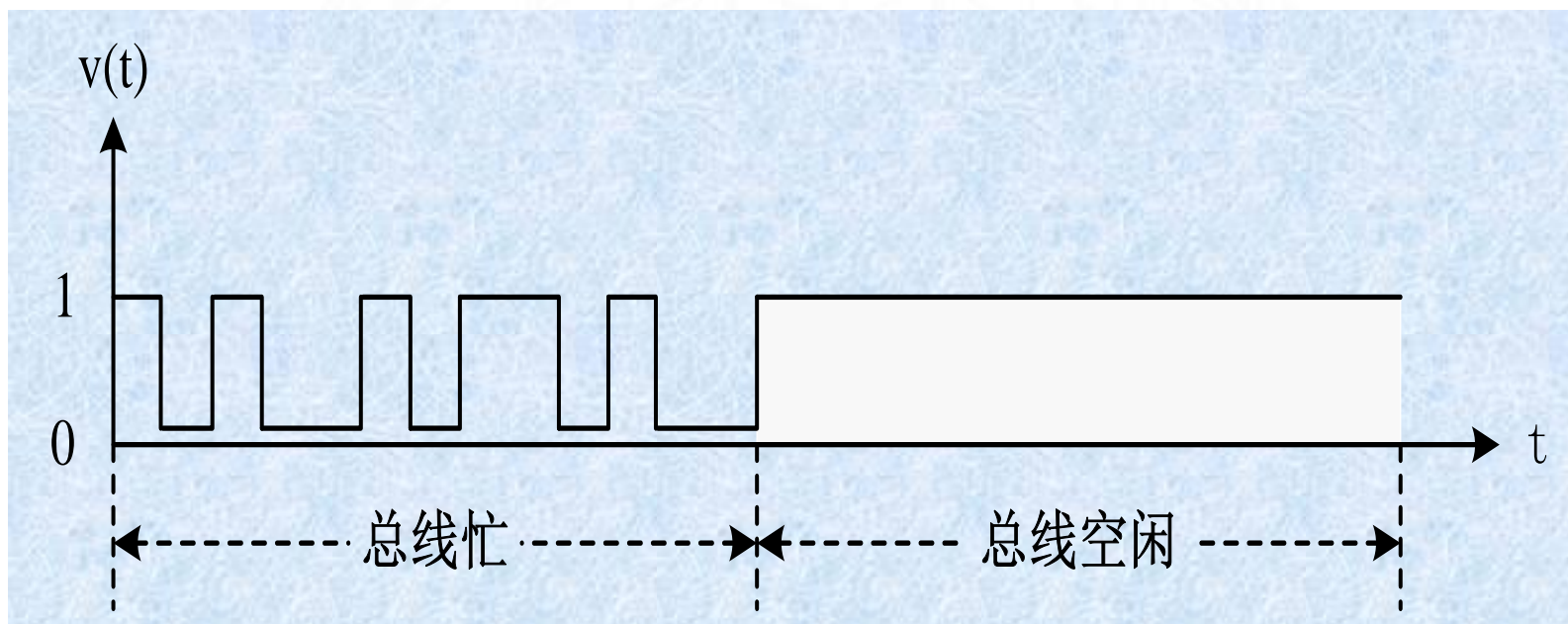


CSMA协议

- **CSMA** (Carrier Sense Multiple Access) 表示**载波监听****多点接入**。
- “**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，即总线形网。
- “**载波监听**” 是指 “**先听后发**” ， 即每一个站在发送数据之前先用电子技术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，必须要等到信道空闲才能发送。
- 总线上并没有什么 “载波” 。因此， “**载波监听**” 就是**检测信道**。
- 不管在发送前，还是在发送中，每个站都必须不停地检测信道。

载波监听

如图所示，用电子技术检测总线电平跳变判断总线忙/闲状态。

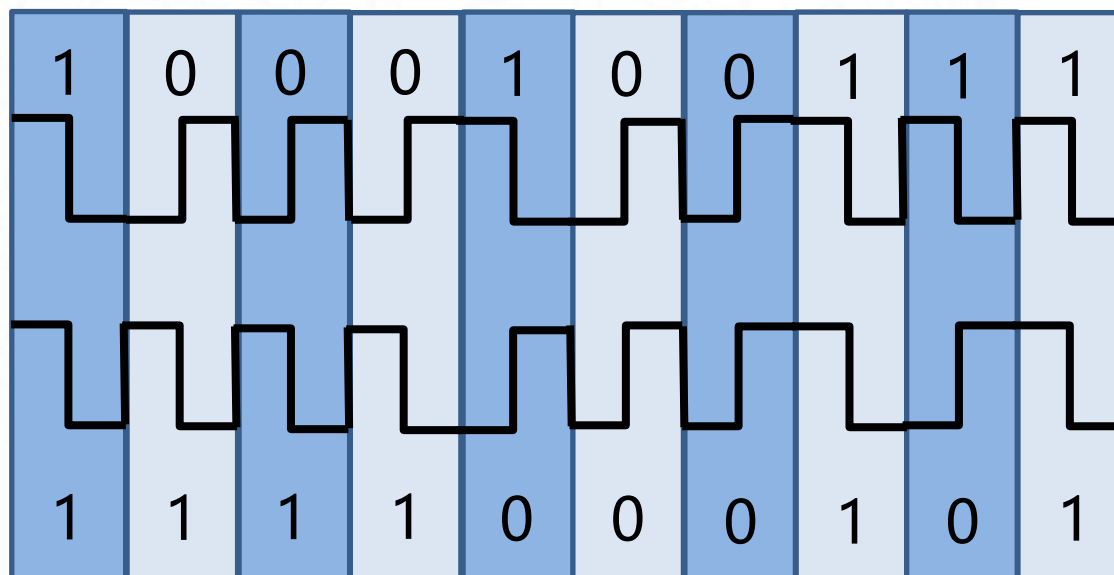


碰撞检测 Collision Detection

- “碰撞检测”也就是“边发送边监听”，即适配器边发送数据边检测信道上的信号电压的变化情况。

A站点

B站点



碰撞检测/冲突检测

- 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）。
- 当一个站适配器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，停止发送

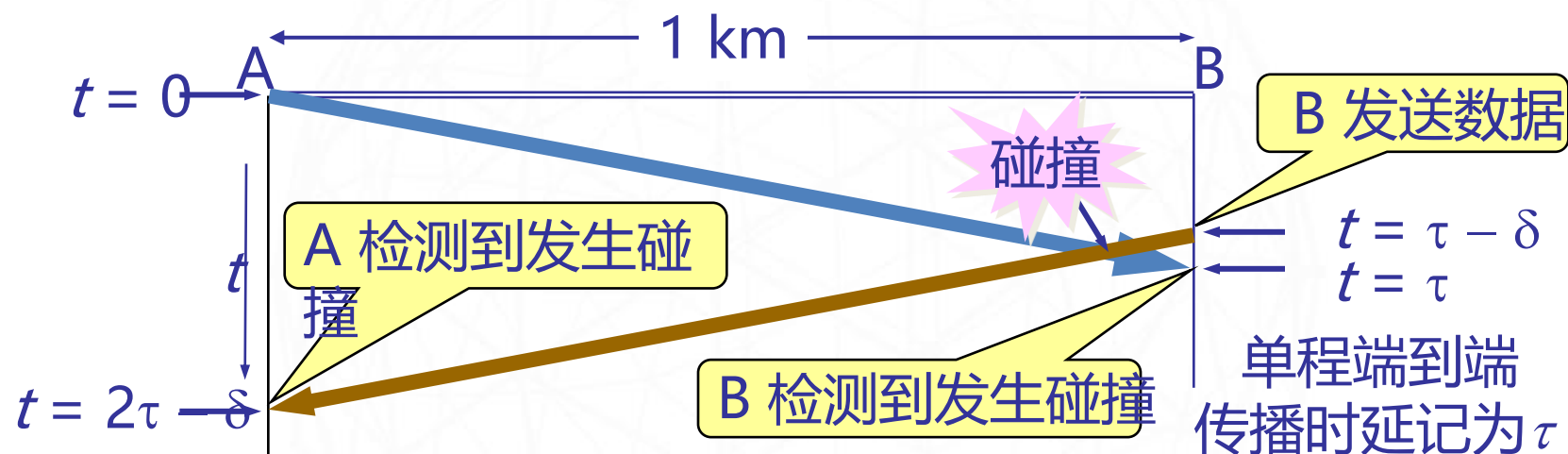
- 发生碰撞时，总线上传输的信号产生了严重的失真，无法从中恢复出有用的信息来。
- 每一个正在发送数据的站，一旦发现总线上出现了碰撞，就要**立即停止发送**，免得继续浪费网络资源，然后等待一段随机时间后再次发送。

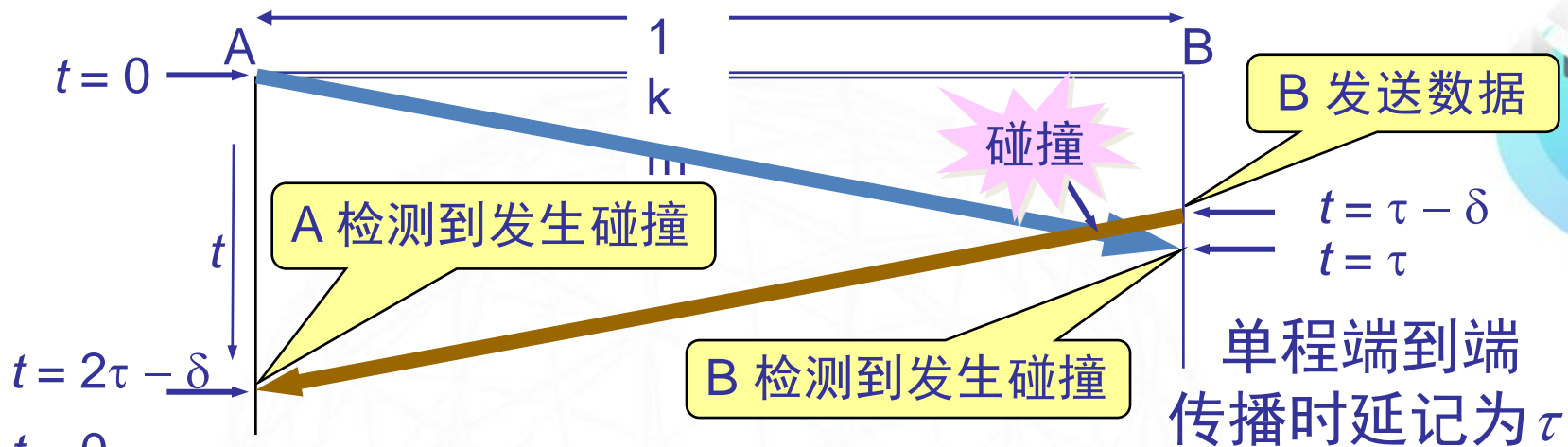
思考：既然每一个站在发送数据之前已经监听到信道为“空闲”，
那么为什么还会出现数据在总线上的碰撞呢？

电磁波在总线上的有限传播速率的影响

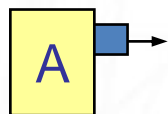
- 当某个站监听到总线是空闲时，也可能总线并非真正是空闲的。
- 图中局域网两端的站A和B用电缆相连相距1km，电磁波在1km电缆的传播时延约为5us,A 向 B 发出的信息，要经过约5us才能传送到 B。
- B 若在 A 发送的信息到达 B 之前发送自己的帧(因为这时 B 的载波监听检测不到 A 所发送的信息)，则必然要在某个时间和 A 发送的帧发生碰撞。碰撞的结果是两个帧都发送失败。

传播时延对载波监听的影响

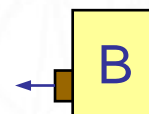




$t=0$
A 检测到
信道空闲
发送数据



$t=\tau-\delta$
B 检测到信道空闲
发送数据



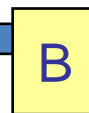
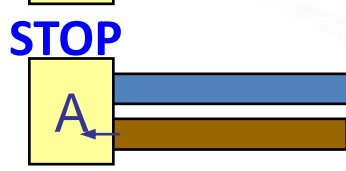
$t=\tau-\delta/2$
发生碰撞



$t=\tau$
B 检测到发生碰撞
停止发送



$t=2\tau-\delta$
A 检测到
发生碰撞



STOP

CAMA/CD的特性

以太网使用 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) 带有碰撞检测的载波监听多点接入协议。

- 一个站不能同时进行发送和接收，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。



思考：站点在发送数据之后，多久没有检测到碰撞，就认为这次发送不会发生碰撞？

争用期的概念

- 最先发送数据帧的站，在发送数据帧后至多经过时间 2τ （两倍的端到端时延）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。
- 以太网使用截断二进制指数退避(truncated binary exponential backoff)算法来确定碰撞后重传的时机。

截断二进制指数退避算法

- 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。
 - 基本退避时间取为争用期 2τ 。
 - 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。
 - 参数 k 的公式计算： $k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$
 - 当 $k \leq 10$ 时，参数 k 等于重传次数。
 - 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。
- 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

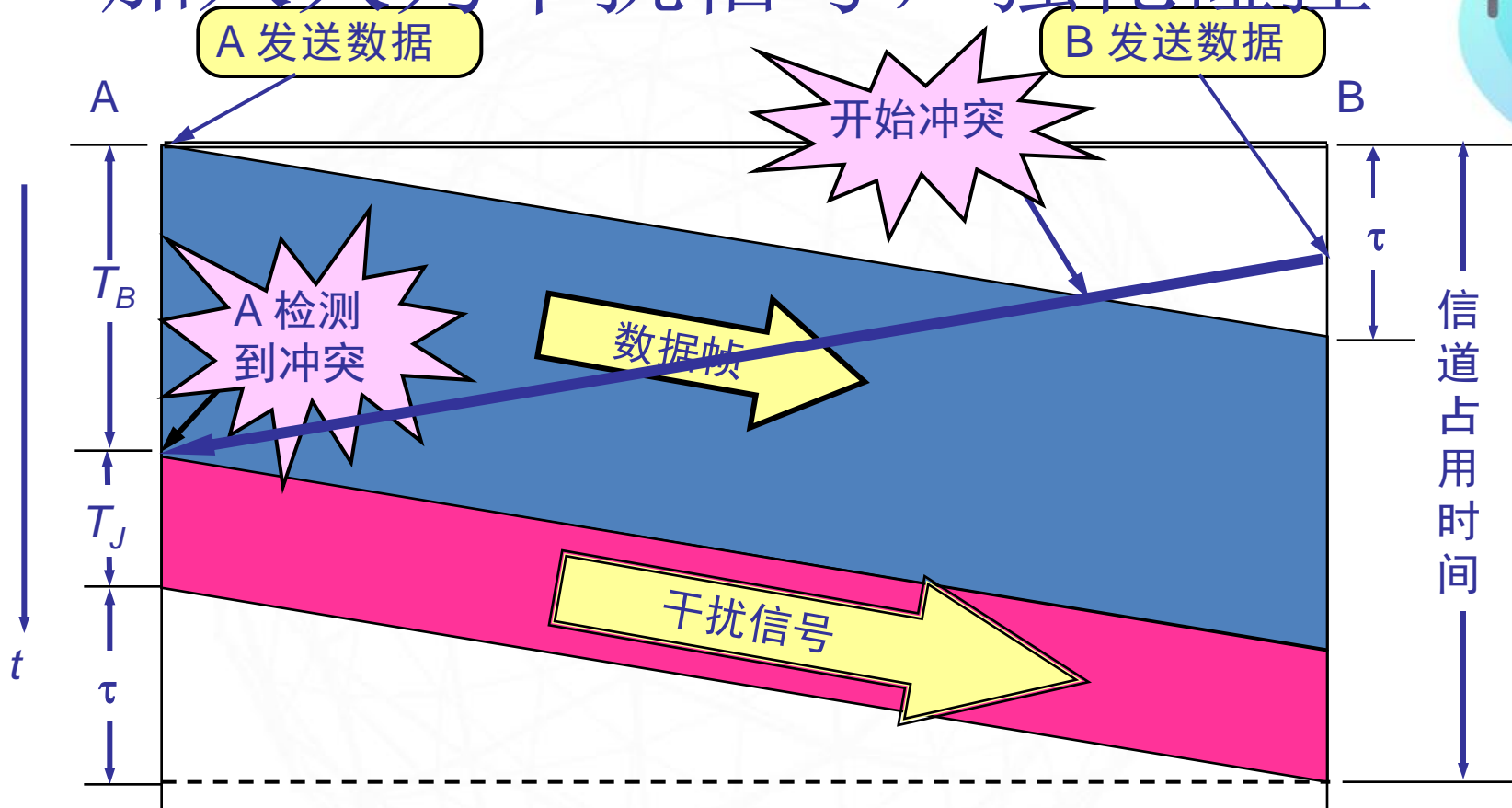
- 如果发生冲突，就一定是在发送的前 64 字节之内。
- 由于一检测到冲突就立即中止发送，这时已经发送出去的数据一定小于 64 字节。
- 以太网规定了最短有效帧长为 64 字节，凡长度小于 64 字节的帧都是由于冲突而异常中止的无效帧。



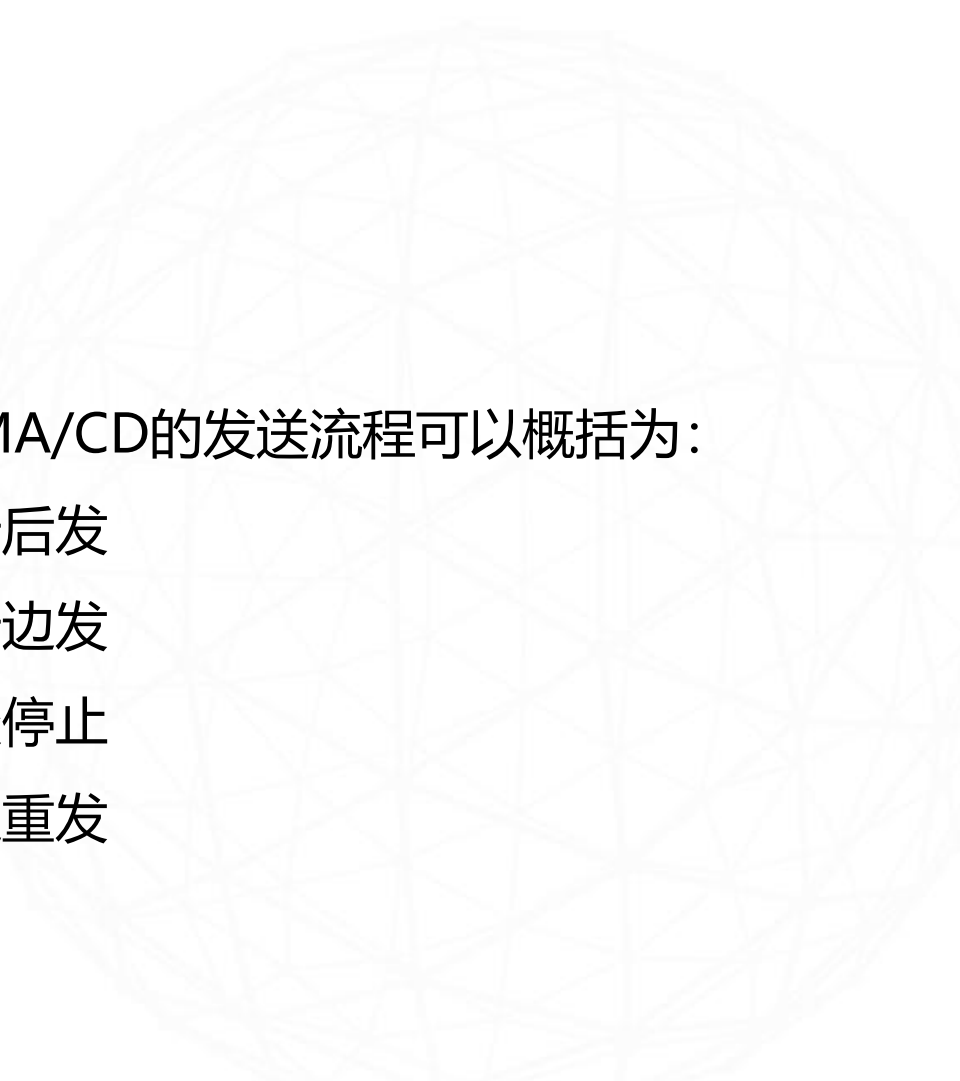
当发送数据的站一旦发现发生了碰撞时，除了立即停止发送数据外，还要再继续发送若干比特的人为干扰信号(jamming signal)，以便让所有用户都知道现在已经发生了碰撞。



加入人为干扰信号，强化碰撞



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。

- 
- CSMA/CD的发送流程可以概括为：
 - 先听后发
 - 边听边发
 - 冲突停止
 - 延迟重发

小结

- CSMA的基本原理：先听后发
- CSMA/CD的基本原理：先听后发，边发边听，冲突停止，延迟重发
- 传统以太网使用了CSMA/CD协议
- 传统以太网将端到端往返时延 2τ 定义为争用期，规定了最短有效帧长为 64 字节，即512bit，争用期时间是51.2us
- 以太网使用截断二进制指数退避算法来确定碰撞重传的时机