



## 第5章

# 局域网技术

设计、制作、讲授：谭献海

EMAIL: [xhtan@home.swjtu.edu.cn](mailto:xhtan@home.swjtu.edu.cn)

## 5. 局域网信道访问协议

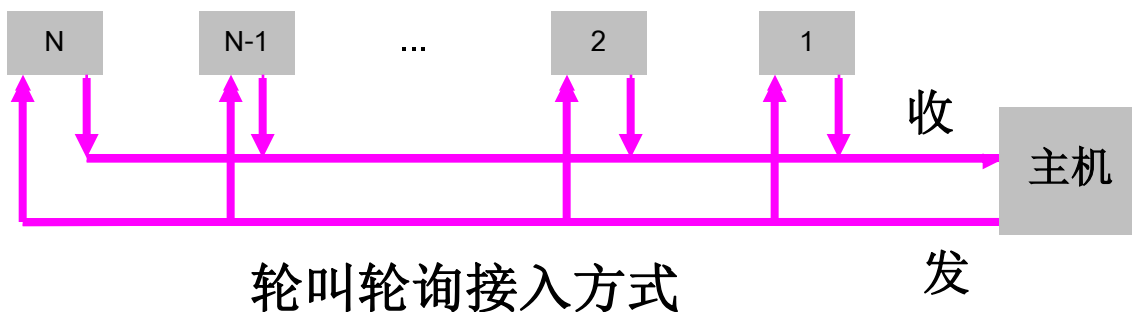
- 信道访问协议：解决共享信道的使用权分配问题(分布式算法)。
- 也叫MAC协议(Multiple Access Control 多路访问控制 或Medium Access Control 介质访问控制 )
- 分类 (Classification) :
  - ❖ 固定分配协议 (*Fixed Assignment Protocols*)  
TDMA, FDMA, CDMA
  - ❖ 随机访问协议 (*Random Access Protocols*)  
Aloha, CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA
  - ❖ 受控接入协议---- Polling, Token Passing
  - ❖ 按需分配协议 (*Demand Assignment Protocols*)

# 受控接入技术：Polling

集中控制，由主机按一定顺序逐个询问各站是否有数据要发送

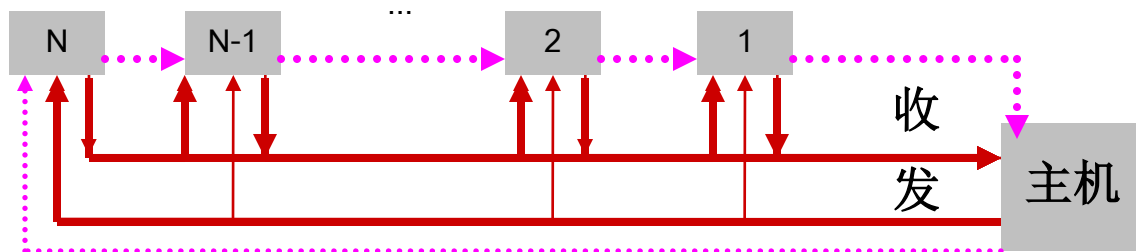
## 1. 轮流询问（轮询）

- 工作原理：主机按照站点的位置，从距离最近的站点开始，依次轮流询问从站，从站收到轮询后给出应答。
- 缺点：轮询帧占用较多带宽



# 传递轮询

- **工作原理**：发言权由距主机最远的站点开始，依次向前传递
- **优点**：帧时延低于轮叫轮询
- **代价**：增加一条输入线



传递轮询接入方式

—— 接收发言权

# Random Access Protocols

- ❑ 有多种不同的随机访问方法:
- ❑ Aloha at Univ of Hawaii:
- ❑ Slotted Aloha: 固定大小的传输时间片



- ❑ CSMA: Carrier Sense Multiple Access

发送之前首先侦听信道状态 (Listen before you transmit)

- ❑ CSMA/CD: CSMA with Collision Detection

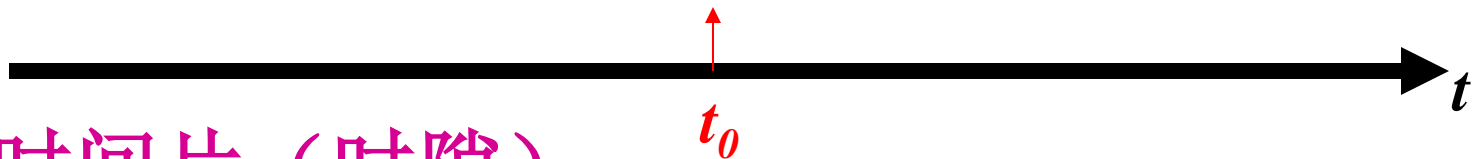
发送之前首先侦听信道状态；一边发送一边侦听，一旦发生冲突立即停止发送。

- ❑ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access, Collision Avoidance)

# 帧的发送方式

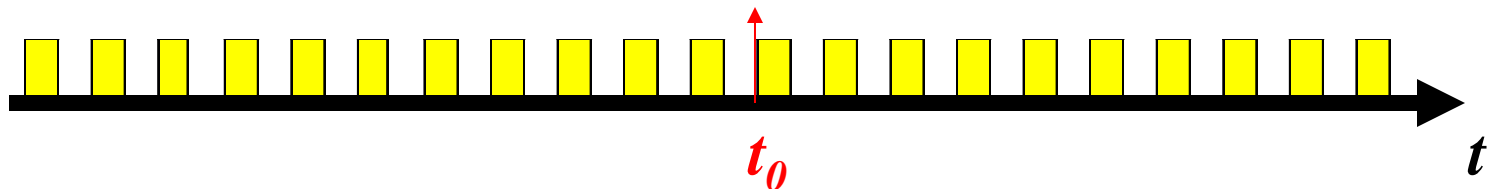
- 随机时间

- 帧允许在任意时刻  $t_0$  发送。

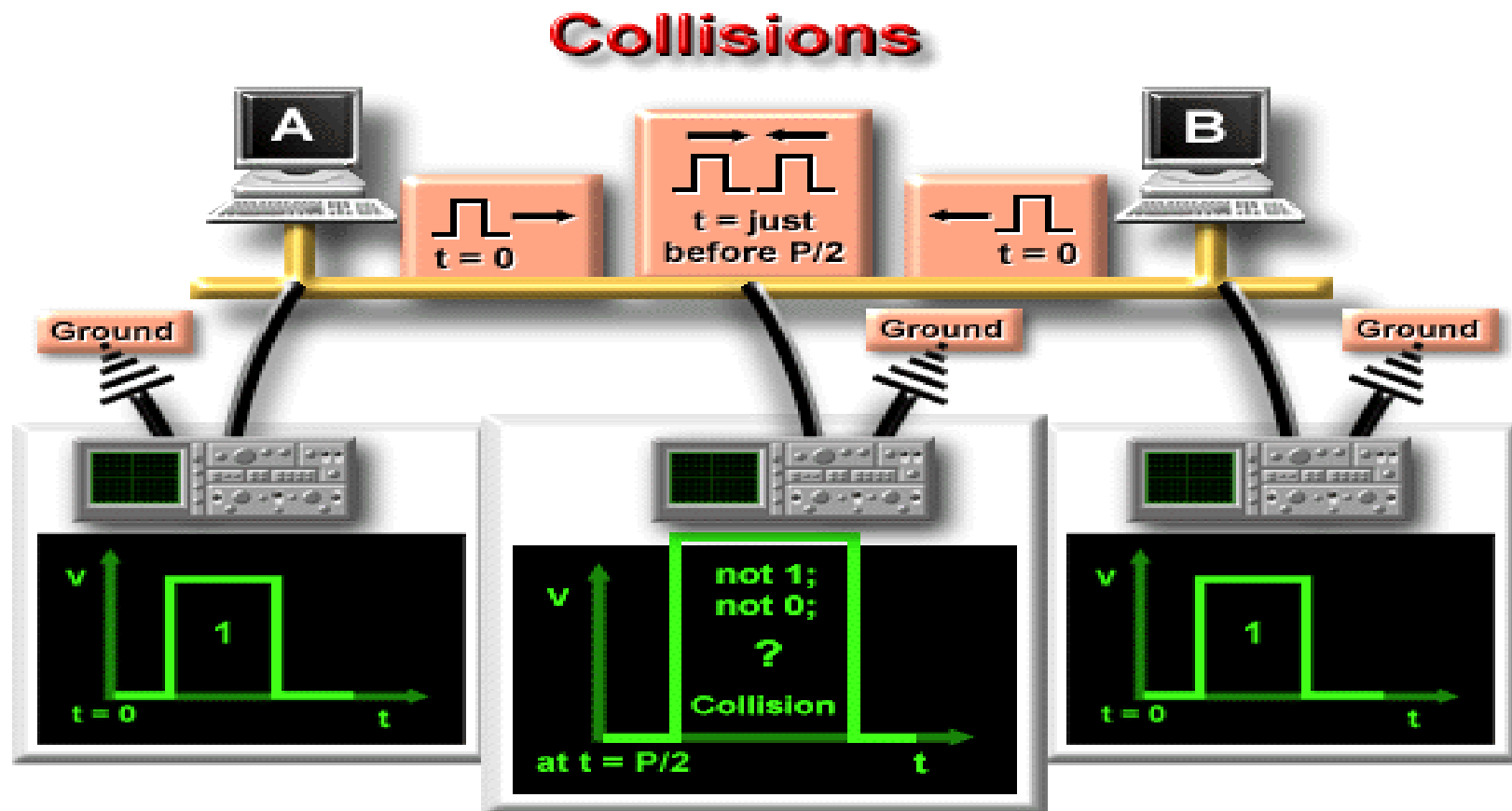


- 时间片（时隙）

- 将时间划分为固定大小的时间片，只允许在每个时间片的开始瞬间发送帧。



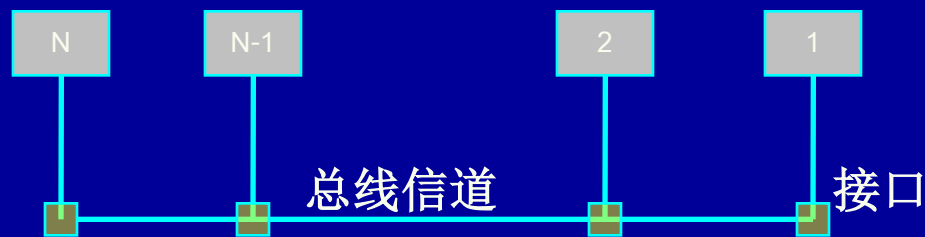
# 冲突的产生



# ALOHA协议

## 1. 纯ALOHA协议

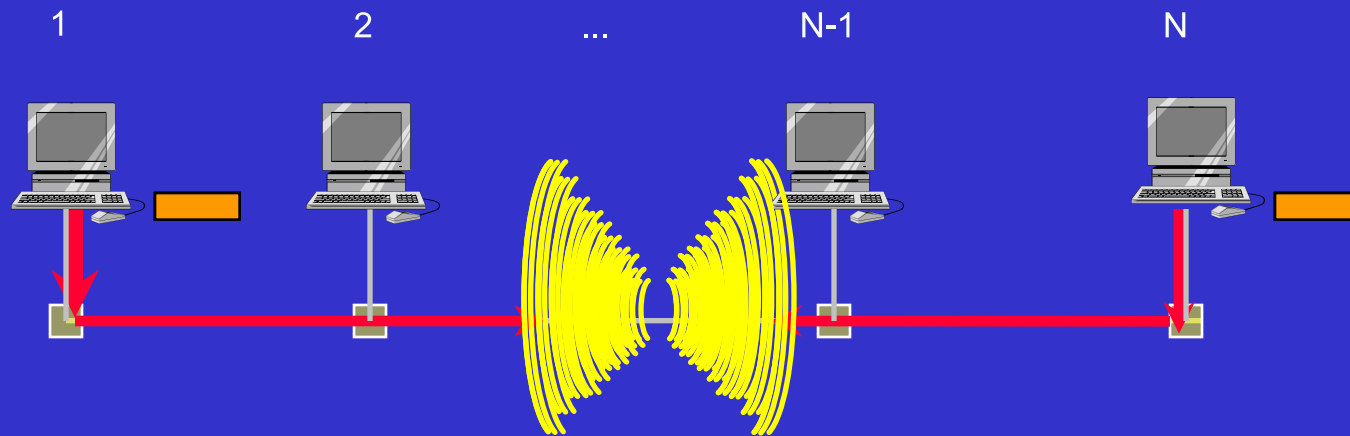
- **工作原理**: 各站点: 想发就发, 发后进行冲突检测; 冲突则重发
- **重发策略**: 等待一段**随机时间**再重发; 如再次冲突, 则再等待一段随机时间, 直到重发成功或超过最大重传次数为止
- **缺点**: 极容易冲突
- **性能**: 网络负载 $\leq 0.5$       吞吐量 $\leq 0.184$



ALOHA系统的一般模型

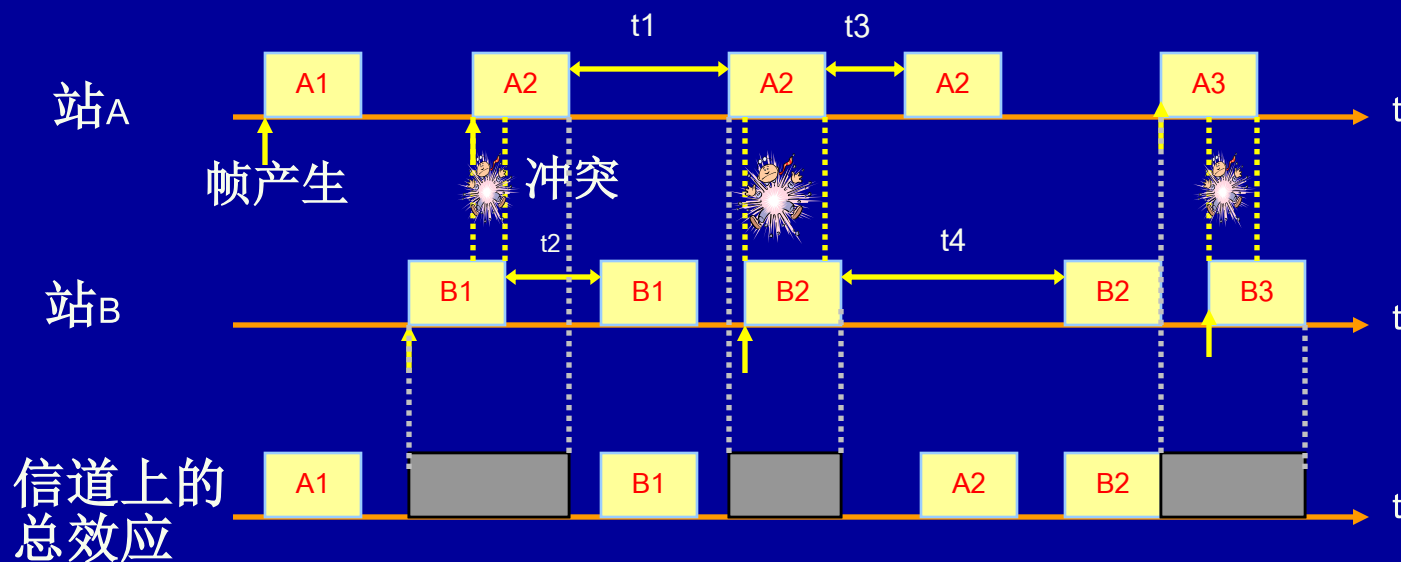


# 纯ALOHA系统的工作原理演示



冲突原因：有两个或两个以上站点同时发送帧

# 纯ALOHA系统的信道效应



# Pure Aloha 的效率计算

$P(\text{一个节点成功发送}) = P(\text{一个节点发送}) \cdot$

$P(\text{在 } [t_0-1, t_0] \text{ 内无其它节点发送}) \cdot$

$P(\text{在 } [t_0, t_0+1] \text{ 内无其它节点发送})$

$$= p \cdot (1-p) \cdot (1-p)$$

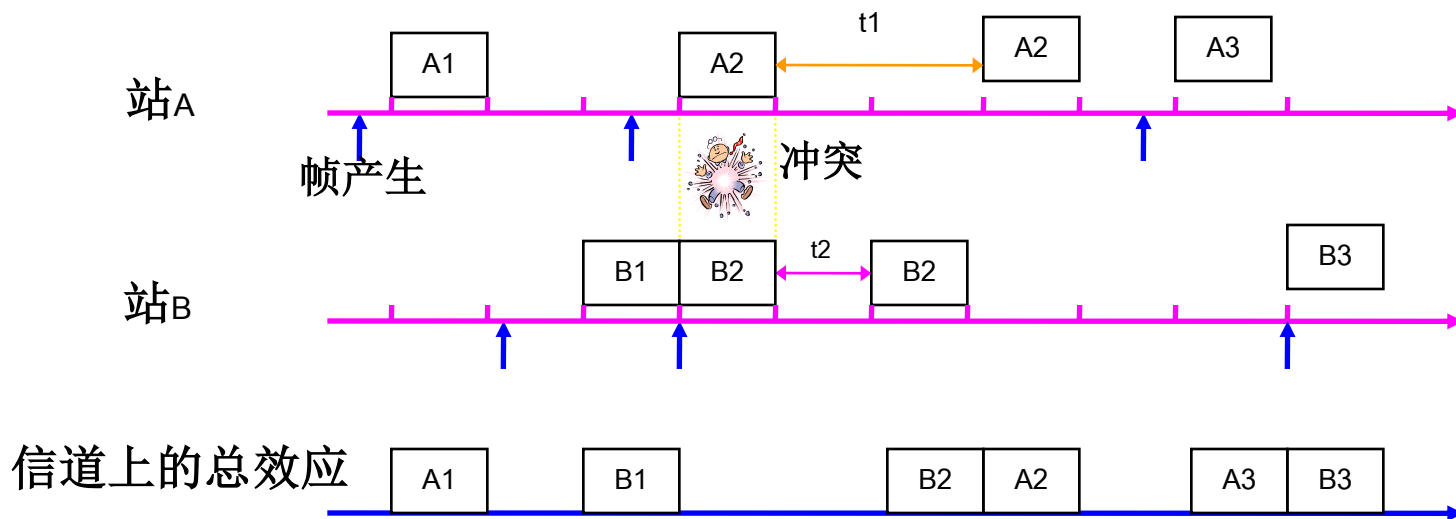
$P(N \text{ 个节点成功发送}) = N p \cdot (1-p) \cdot (1-p)$

... choosing optimum  $p$  as  $n \rightarrow \infty$  ...

$$= 1/(2e) = .18$$

# Slotted (时间片) Aloha

- 划分时间片 (时间片长度= 报文发送时间)
- 每个节点只能在时间片的开始处开始发送
- 优点：减少冲突
- 代价：需要全网时钟同步；  
可设置一个特殊站点，由该站点发送时钟信号



# Slotted Aloha efficiency

Q: 时间片ALOHA的最大成功发送概率是多少?

A: 假定有N 个节点有报文需要发送

- 在某个时间片各站发送的概率为  $p$
- 发送成功的概率为  $S$ :

一个节点:  $S = p (1-p)^{(N-1)}$

N个节点:

$S = \text{Prob} (\text{只有一个在发送})$

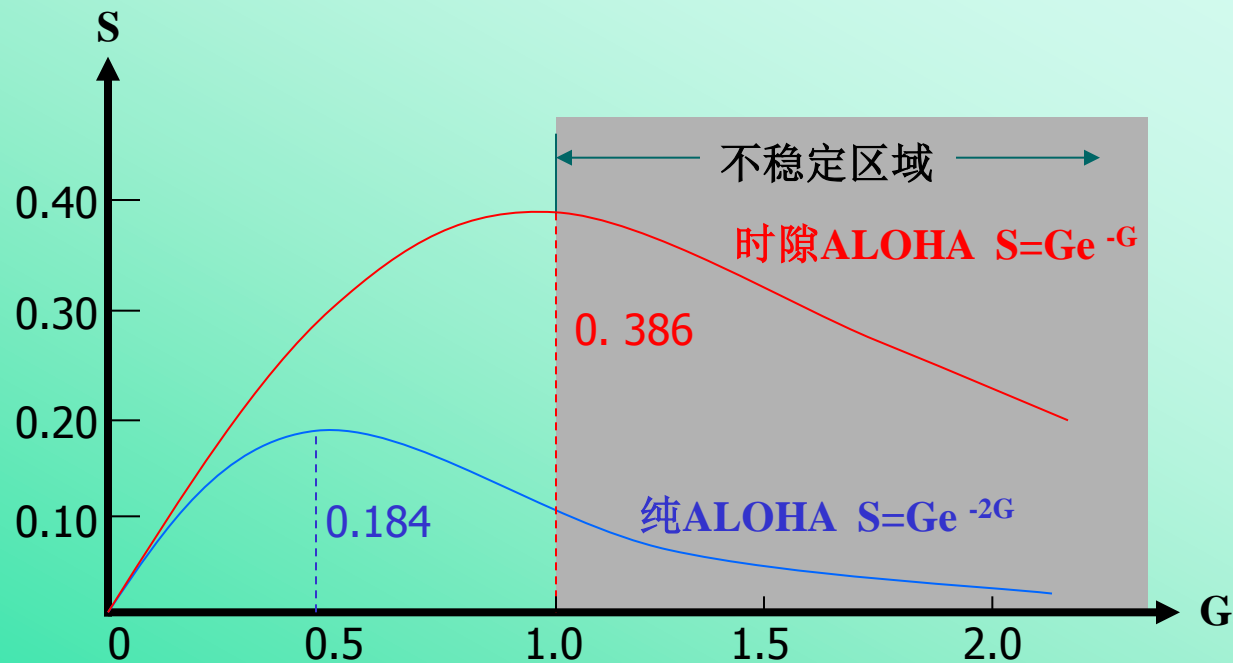
$= N p (1-p)^{(N-1)}$

... choosing optimum  $p$  as  $n \rightarrow \infty$  ...

$= 1/e = .37 \text{ as } N \rightarrow \infty$

*At best:* 信道  
成功 发送的最  
大概率 为37%

# Aloha的性能



在纯ALOHA中,  $S_{\max} = 1/(2e)$ , 在时隙ALOHA中,  $S_{\max} = 1/e$ . 即: 时隙ALOHA的信道利用率是纯ALOHA信道利用率的两倍.

# 时间片ALOHA

- 时间片ALOHA的不足之处:
  - ✓ 全网时钟同步困难
  - ✓ 盲目，没有利用共享信道的特点：  
可以通过载波侦测来判断信道的  
状态（忙/空闲）

# CSMA

## 载波监听多路访问（CSMA: **C**arrier **S**ense **M**ultiple **A**ccess）协议

载波侦听是无线电的行话

### ❑ 载波监听（Carrier Sense）

站点在为发送数据帧之前，首先监听信道有无载波；若有载波，说明已有用户在使用信道，则不发送该帧以避免冲突。

### ❑ 多路访问（Multiple Access）

多个用户共享一个信道



# CSMA

- CSMA的关键点：
  - 如果判断出信道**不空闲**，下一步该如何动作？
  - 如果判断出信道**空闲**，又该如何动作？
- CSMA主要类型：
  - 非**坚持**型CSMA（nonpersistent CSMA）
  - 1-**坚持**型CSMA（1-persistent CSMA）
  - p-**坚持**型CSMA（p-persistent CSMA）

注意：坚持的含  
义不一样

# 1-坚持型CSMA

## ■ 原理

- 若站点有需要数据发送，则先监听信道；
- 若站点发现信道空闲，则发送；
- 若信道忙，则继续(坚持)监听直至发现信道空闲，然后开始发送；
- 发送后判断有没有冲突，若产生冲突，则退避一随机时间，然后重新开始侦听。
- 优点：减少了信道空闲时间；
- 缺点：增加了发生冲突的概率；

# 非坚持型CSMA

## ■ 原理

- 若站点有数据要发送，先监听信道；
  - 若通过侦听发现信道空闲，则发送；
  - 若信道忙，则不再坚持侦听，退避一随机时间，然后重新开始发送过程；
  - 若产生冲突，则退避一随机时间，然后重新开始发送过程
- 
- 优点：减少了冲突的概率；
  - 缺点：增加了信道空闲时间，数据发送延迟增大；

# p-坚持型CSMA

## ■ 应用于分时隙信道

## ■ 原理

- 若站点有数据发送，先监听信道；
- 若发现信道空闲，则以概率 $p$  ( $0 < p < 1$ ) 发送数据，以概率  $q = 1 - p$  延迟至下一个时隙再从新开始侦听。
- 若信道忙，则退避到下一个时隙，重新开始侦听；
- 若产生冲突，退避一随机时间，然后重新开始发送。

## ■ 五种多路访问协议性能比较

- Fig. 4-4

# CSMA 的性能

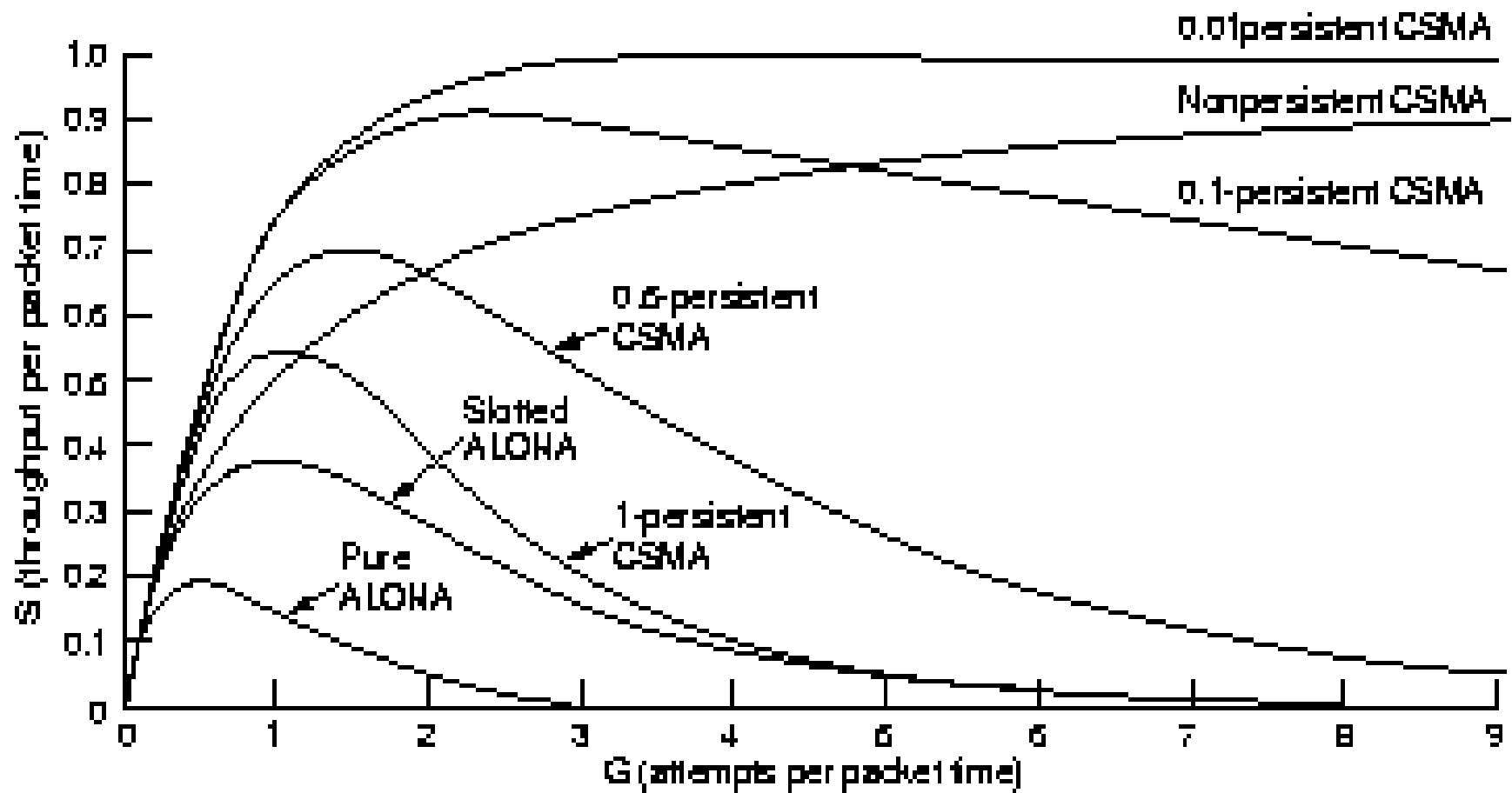
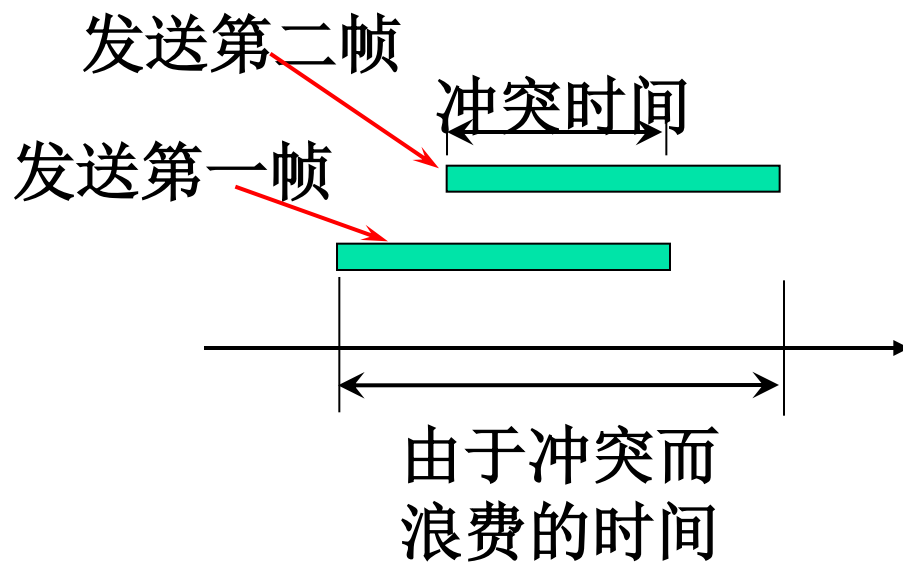


Fig. 4-4

# CSMA的不足之处

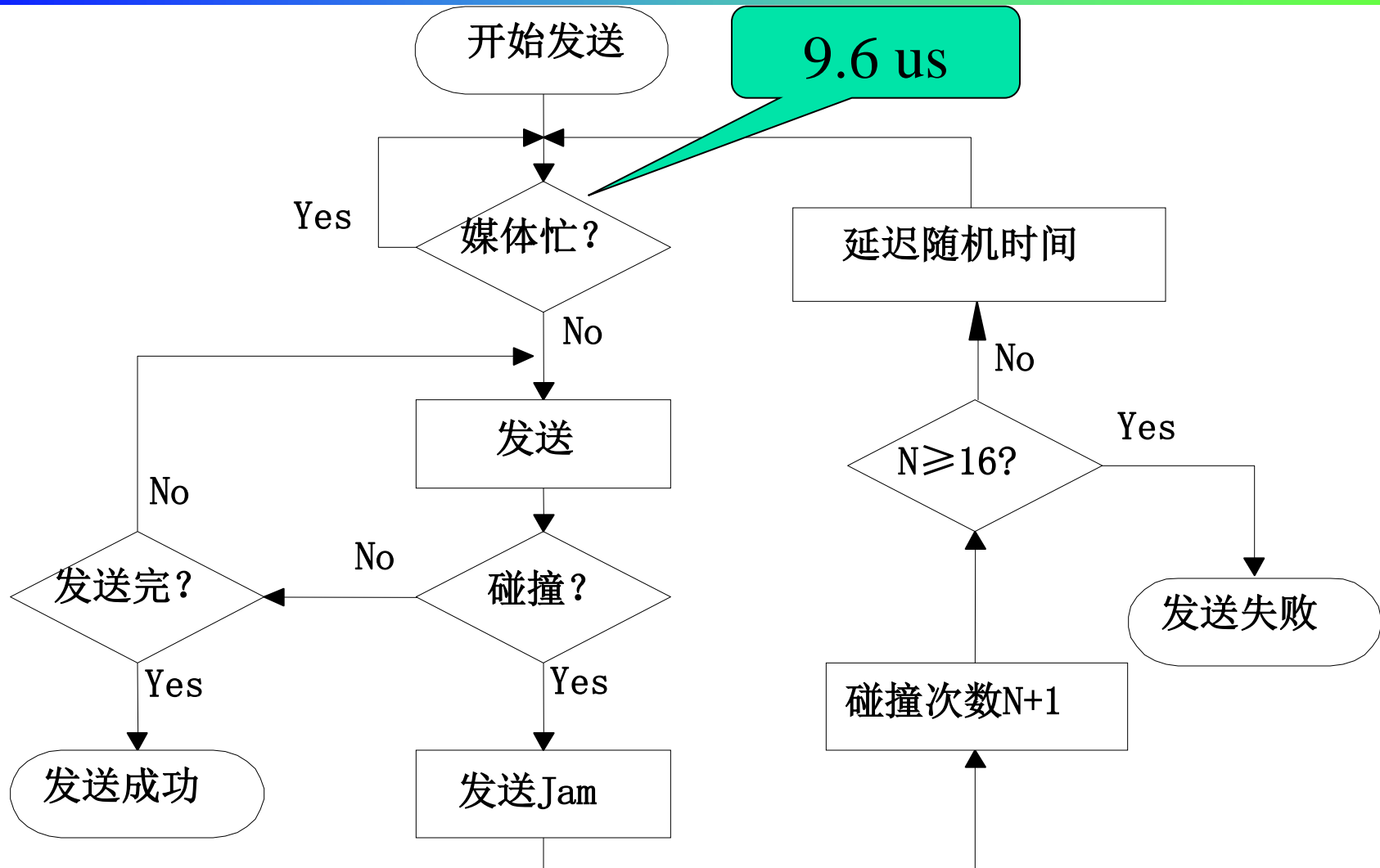
通常报文的发送时间要比冲突发生时间大得多。

CSMA检测到冲突后继续发送报文，直到发送完毕，白白浪费了信道



能否边发送边检测冲突，一旦发现冲突，就立即停止发送报文？→ CSMA/CD

# CSMA/CD 工作方式

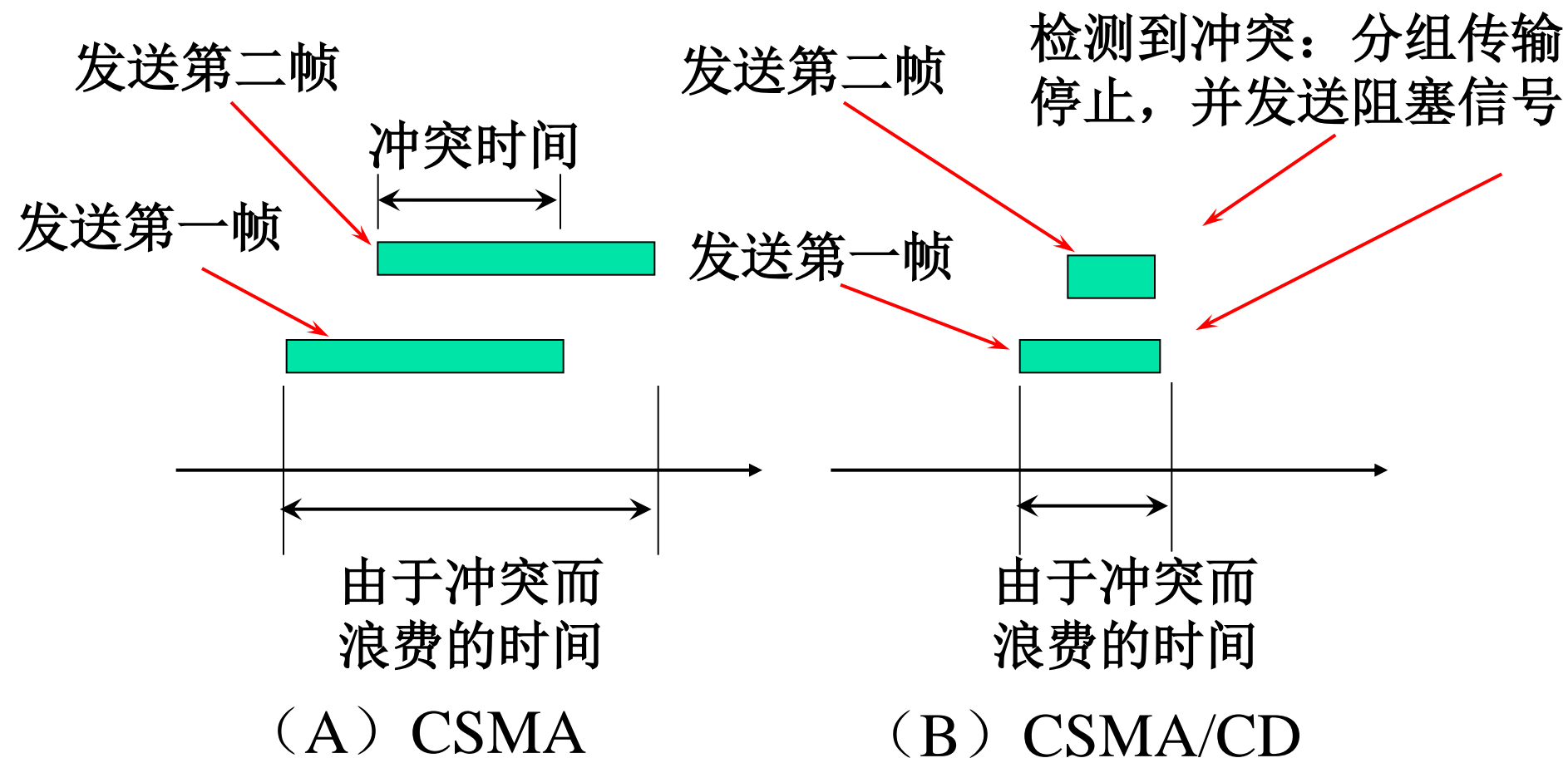


# CSMA/CD

- ❑ 发送之前首先通过侦听判断信道的状态（忙/闲）
- ❑ 如果信道空闲，马上发送 (1-persistent CSMA).
- ❑ 如果信道忙，等待，直到信道空闲，然后发送。
- ❑ 一边发送一边检测冲突。如果发现冲突
  - ✓ 立即停止发送报文，并发送一个长度为一个时间片 ( $= 51.2 \mu\text{s} = 64 \text{ byte times}$ )的jam 信号，以便加强冲突
  - ✓ 退避一个随机时间，然后重发（最多重发 16次）
  - ✓ 有多种随机退避算法，最常用的是：截断的二进制指数退避（truncated binary exponential backoff）算法
  - ✓ 第k次重发，后退的随机时间=  $\text{Uniform}[0, 2^{\min(k, 10)} - 1]$  时间片

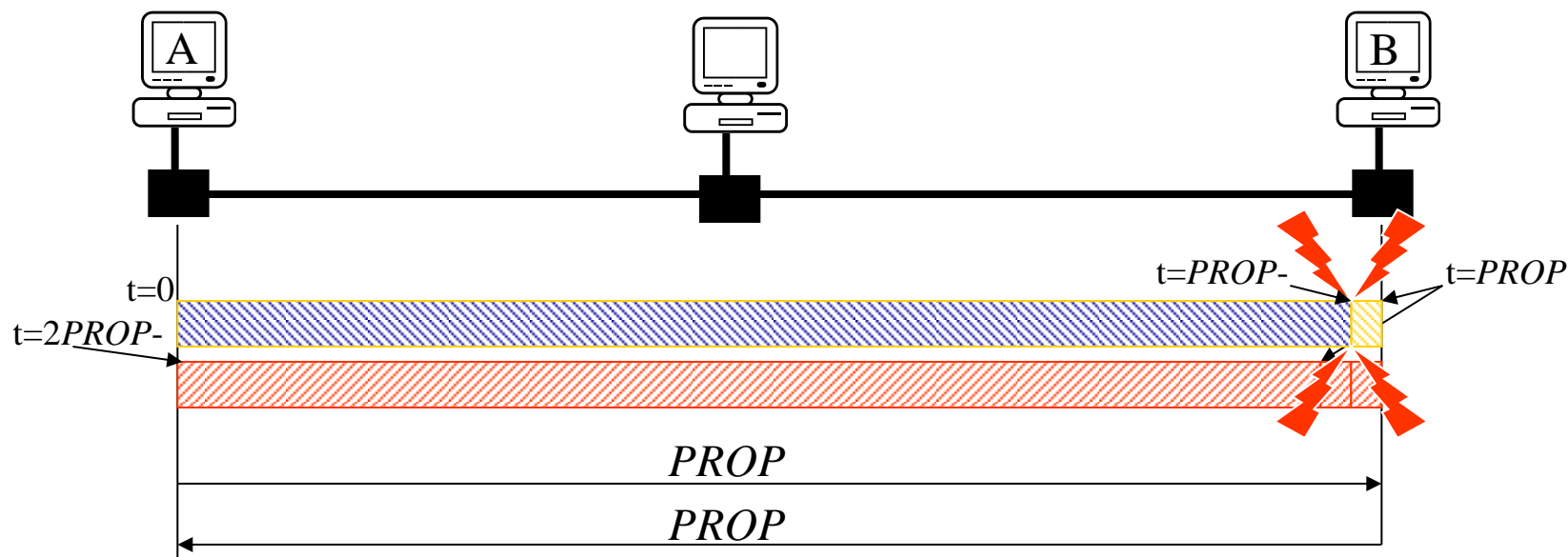


# CSMA & CSMA/CD



# 5.3 CSMA/CD的碰撞窗口大小

- **碰撞窗口**——可能发生冲突的时间区间（也称为**争用期**）
- 若最远的两站点之间传播时延为 $\tau$ ，则碰撞窗口大小 $=2\tau$



事件:

$t=0$ : 主机A 开始发送一个报文.

$t=PROP-$  就在第一个比特数据到达主机B前夕,  
主机 B 检测到信道空闲而发送.

$t=PROP-$  在主机 B附近发生冲突

$t=PROP$ : 主机B边发送边进行冲突检测,  
只要A的信号到达B,B检测到冲突.发送JAM信号

$t=2PROP-$ :主机A边发送边进行冲突检测,  
当B的信号传送到A端时,A检测到冲突.

## 5.3 CSMA/CD 碰撞窗口

### 结论：

- (1) CSMA/CD协议的碰撞窗口大小=2倍信号传播时延
- (2) 报文发送时间 > > 碰撞窗口大小。该要求包括两个方面，一方面要限制报文的最小长度，达不到最小长度时要进行填充（padding）；另一方面要求信号的传播时延要尽可能短，故该协议通常只用于局域网，不能用于卫星通信等广域网场合。

**问题：**通信卫星能否采用CSMA/CD协议？为什么？请定量分析。

# 与碰撞窗口相关的几个网络参数

- 采用CSMA/CD的局域网中，由于碰撞窗口的限制，  
传输速率 $R$ 、网络传播时延（网络跨距）、最小帧长 $F_{min}$ 三者之间必须满足一定的关系：

$$F_{min} = k R \quad k: \text{系数}$$

10M以太网:  $k=2$

100M, 1G, 10G以太网:  $k>2$

- 可以看出：

- 最小帧长度不变时，传输率越高，网络跨距就越小；
- 传输率固定时，网络跨距越大，最小帧长度就应该越大；
- 网络跨距固定时，传输率越高，最小帧长度就应该越大。

（100M, 1G, 10G以太网:  $k>2$  的原因）

## CSMA/CD碰撞窗口大小及最小帧长度

- 对于10BASE-5粗同轴以太网，规定每个网段的最大长度为500米，允许最多4个中继器延长，最长2500米，碰撞窗口大小为51.2微秒。
- 对10Mbps的以太网，能检测出碰撞的最小帧长为 $10\text{Mbps} \times 51.2\text{微秒} = 512\text{bit} = 64\text{字节}$ （以太帧最小长度）。

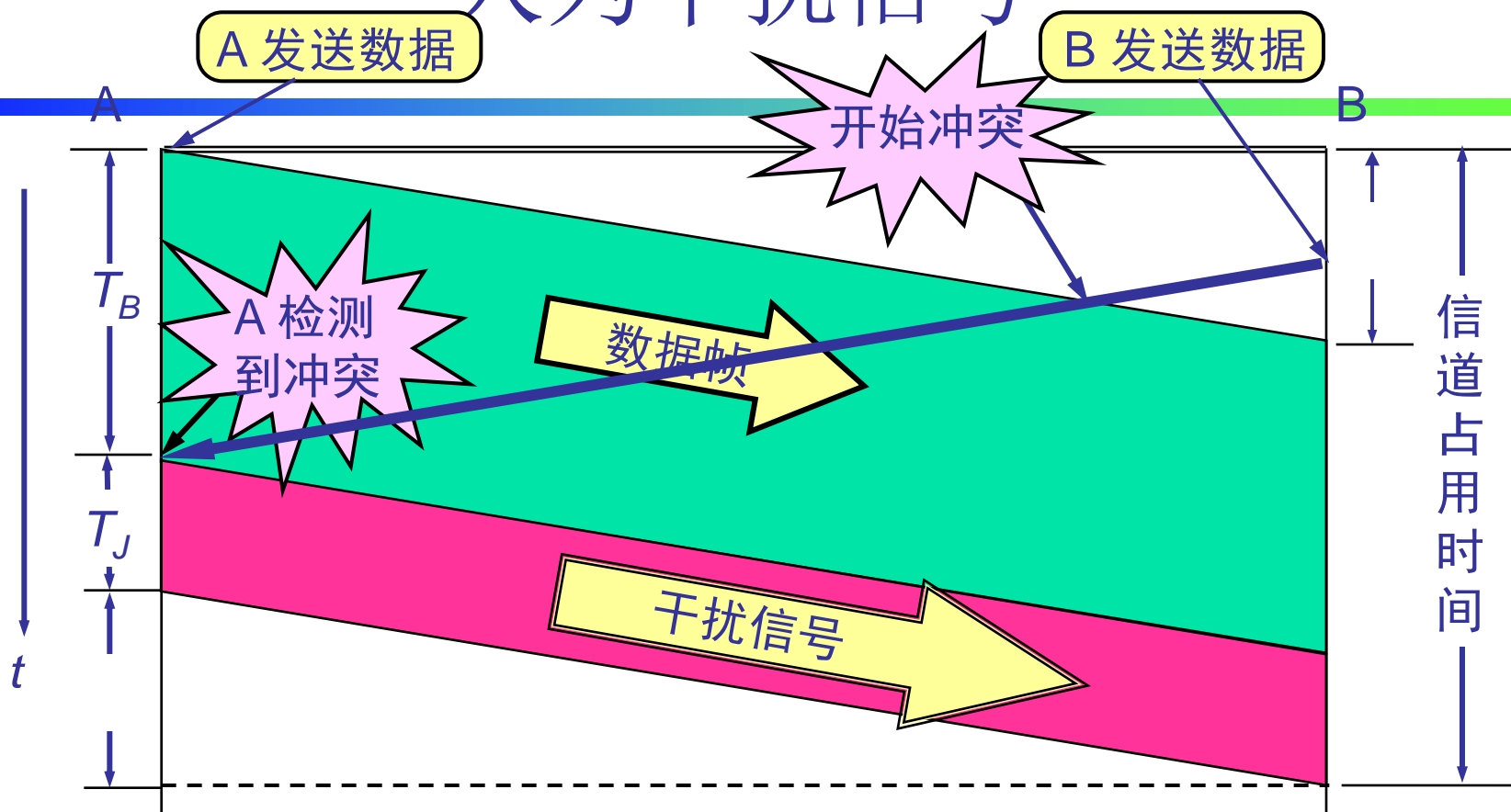
# 最短有效帧长

- 如果发生冲突，就一定是发生在发送的前 64 字节之内。
- 由于一旦检测到冲突就立即中止发送报文，这时已经发送出去的报文数据一定小于 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 字节的帧都认为这是由于冲突而异常中止的无效帧(碎帧)。

# 强化碰撞

- 当发送数据的站一旦发现发生了碰撞时，除了立即停止发送报文外，还要再继续发送若干比特的人为干扰信号(jamming signal)，以便加强冲突，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。



# CSMA/CD 性能

□ 效率 = 有效发送时间 / 总时间 =  $P / (P + 2 \tau / A)$

其中,  $P$  = Frame time

$\tau$  = one-way propagation delay

$A = P$  [在一个时间片内只有一个站发送]

= fn{# 企图发送的站的数目}

=  $1/e$  for infinite stations

□ 效率 =  $1 / (1 + 2\alpha / A)$

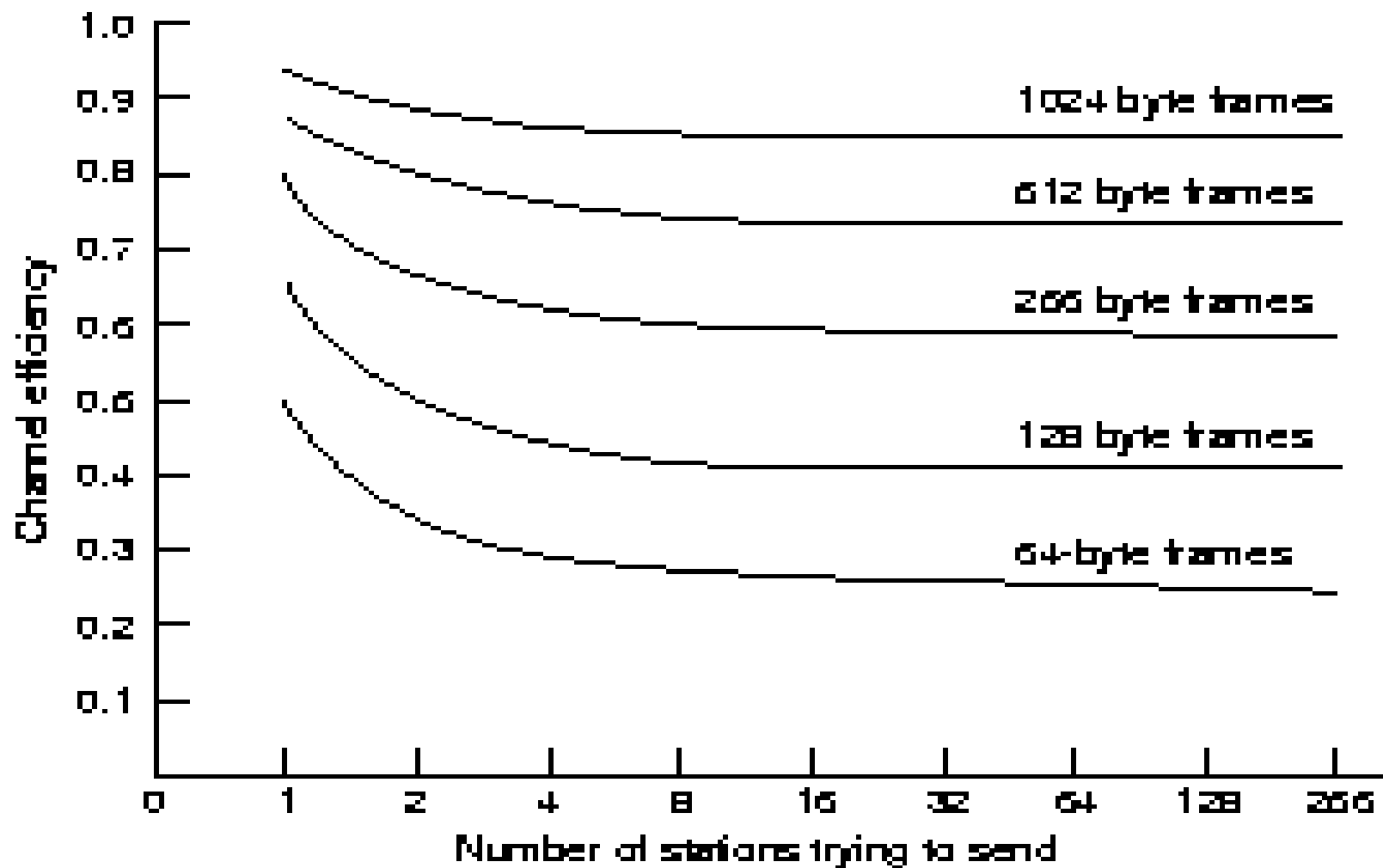
其中  $\alpha$  = 传播时延 / 帧发送时间

= (距离 / 信号速度) / (帧长度 / 数据速率)

= (距离  $\times$  数据速率) / (帧长度  $\times$  信号速度)

□ 效率随  $\alpha$  的增加而减少

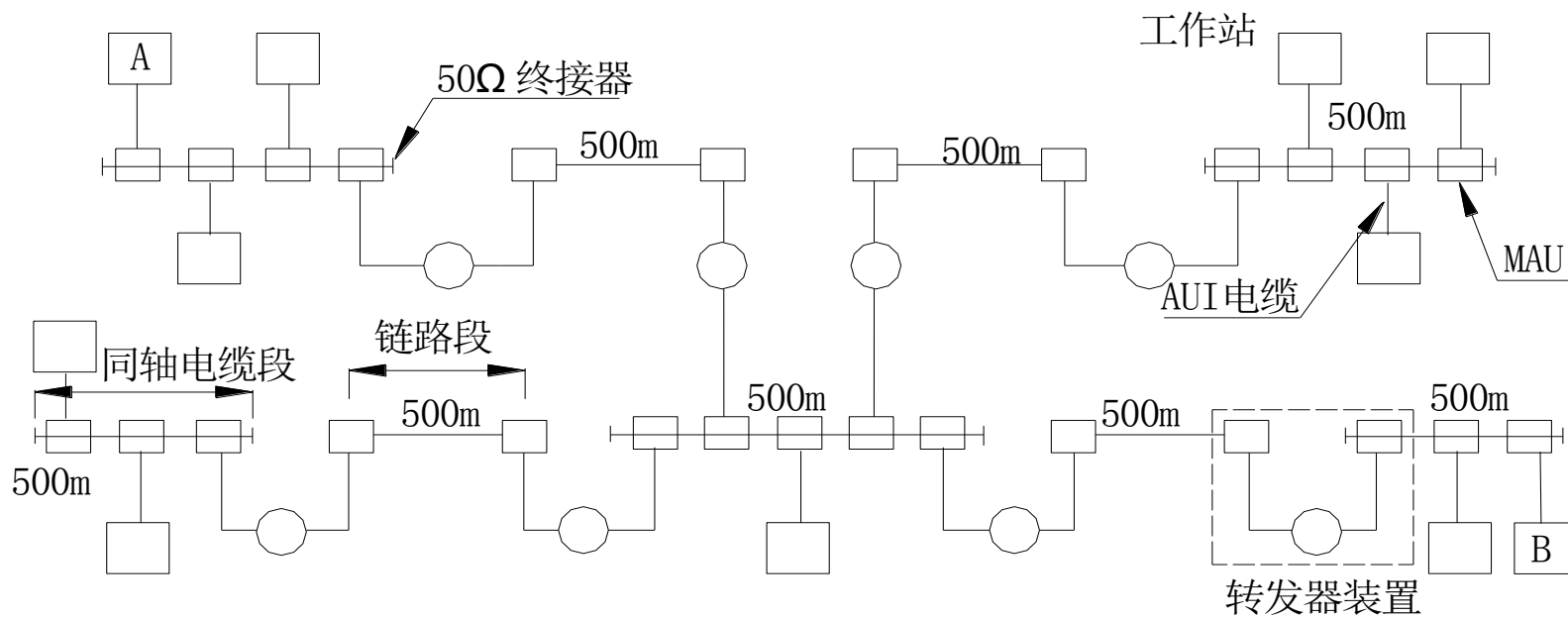
# CSMA/CD Performance



# 例题1



假若1Gpbs以太网采用10BASE5的方式工作，图4显示了其最大配置图。取电信号在电缆或双绞线上的传播速度为0.7倍光速。设转发器的时延为 $t_R = 2 \mu S$ 。同轴电缆段长500m，链路段长500m，AUI电缆长50m。试根据A与B之间的距离计算其最小帧长（假定各工作站，转发器以及传输介质都能满足1Gpbs的传输要求）。



■ 图假设的1Gpbs以太网系统

# 例题1解题要点

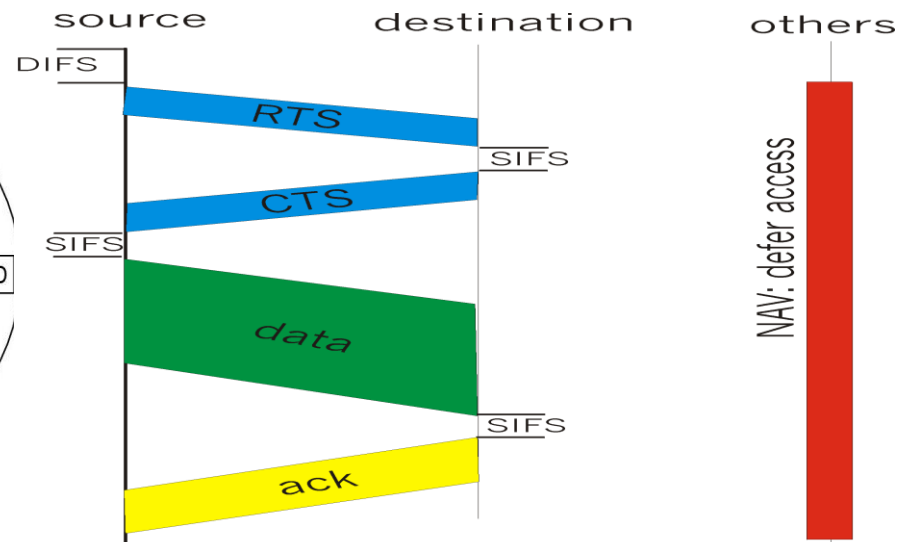
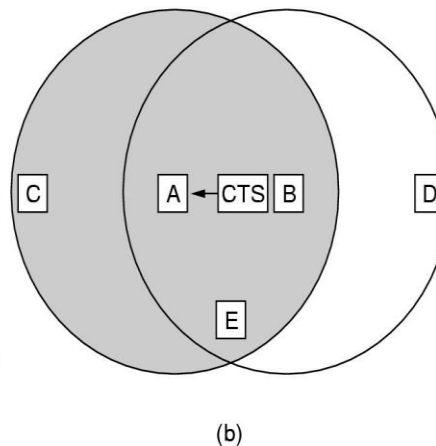
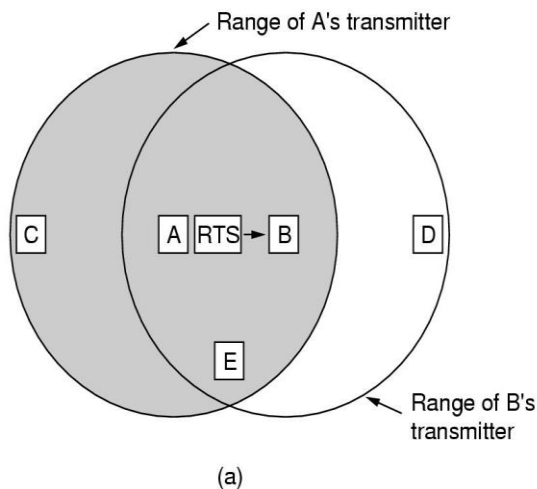
- 最小帧长度=碰撞窗口大小 \* 报文发送速率
- 其中，报文发送速率=1Gbps
- 碰撞窗口大小=2 传播时延
- 传播时延=转发器（中继器）的时延 + 线路时延
- 转发器时延=  $4 * 2 \mu S$
- 线路时延= 线路长度 / 信号传播速度  

$$= 5 * (50+500+50) \text{ 米} / 0.7 * 30 \text{ 万公里/秒}$$

$$= 5 * 600 / 0.7 * 30 * 10^4 * 10^3 \text{ 米/秒}$$

# CSMA/CA工作原理

- IEEE 802.11无线局域网标准的基础
- 基本思想：发送站点刺激接收站点发送应答短帧，从而使接收站点周围的站点监听到该应答帧，并在一定时间内避免发送数据
- 基本过程
  - A向B发送RTS（Request To Send）帧，A周围的站点在一定时间内不发送数据，以保证CTS帧返回给A；
  - B向A回答CTS（Clear To Send）帧，B周围的站点在一定时间内不发送数据，以保证A发送完数据；
  - A开始发送
  - 若发生冲突，采用二进制指数后退算法等待随机时间，再重新开始。



## 5.4 环网访问控制方式

### 5.4.1 令牌环访问控制方式

令牌环(Token Ring)使用一个称为令牌(token)的比特控制信号控制与令牌环网连接的计算机的发送与接收。令牌是一种特殊的帧，它有两种状态：空和忙。

- 环中只有一个令牌在循环传送。
- 只有得到空令牌才能传送数据。

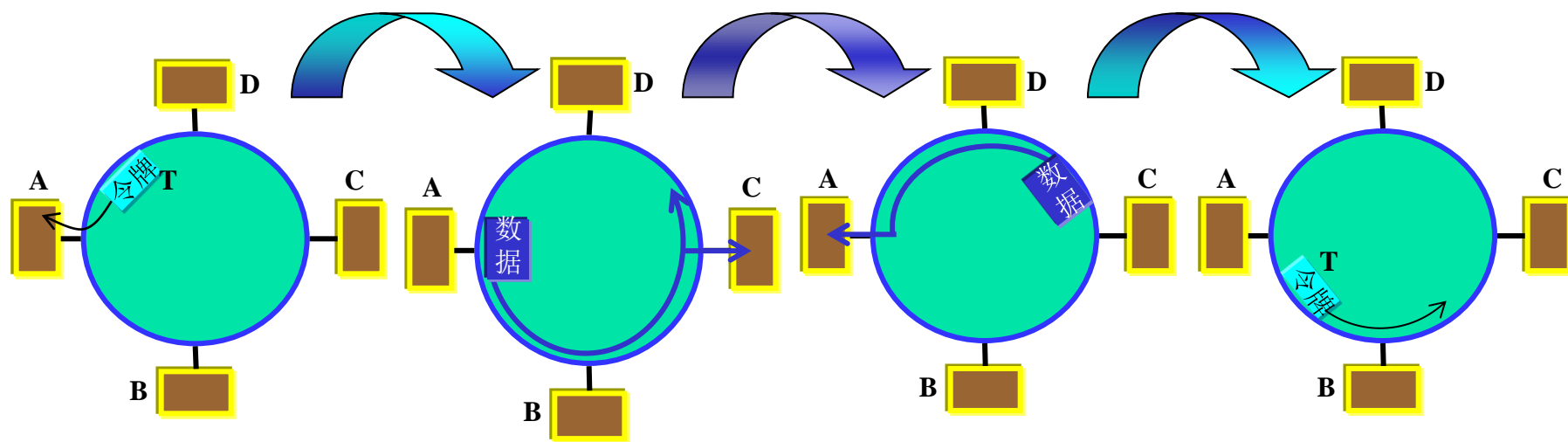
# 令牌传递的原理

**Talking Stick**



**Token Ring**

# 令牌环的工作原理



令牌在环路上流动，A站截获了令牌，A站干线耦合器置为发送状态，其它站处于接收。

A站发送数据给B站，B站转发数据。数据到达目的站C时，C接收该数据包，并继续向后转发。

A站收回所发送的数据（否则数据帧在链路循环，同时为了对发送的数据帧进行冲突检测）。

A站收完所发数据后重新发出令牌（否则环路中无令牌），干线耦合器置为接收状态。



# 令牌环访问法的基本思想

- 使用一个特殊的帧作为信息传送的“令牌”。  
“令牌”有“忙”、“空”两种状态。
- 当一个节点准备发送信息时，首先要等待“令牌”的到来。当获得的“令牌”状态为“空”时，即可将信息搭载在令牌之后发出，同时将“令牌”的状态置为“忙”。
- 各个节点随时检测经过的信息。当信息的目标地址与本站相符时，即以拷贝的形式将信息接收下来，继续转发，最后由源站点收回。
- 源站点检查回收的信息，判断发送是否成功，若不成功，报告上层。只有当源站点发送完毕，将“令牌”的状态置为“空”，其他站点才能发送。

# 令牌传递访问法的特点

- 由于网络上只有一个“令牌”，故不会产生碰撞冲突；
- 传递方法十分可靠，传送帧的最大延迟是可确定的----适用于工厂流水线等实时应用场合；
- 可以进行优先级控制。

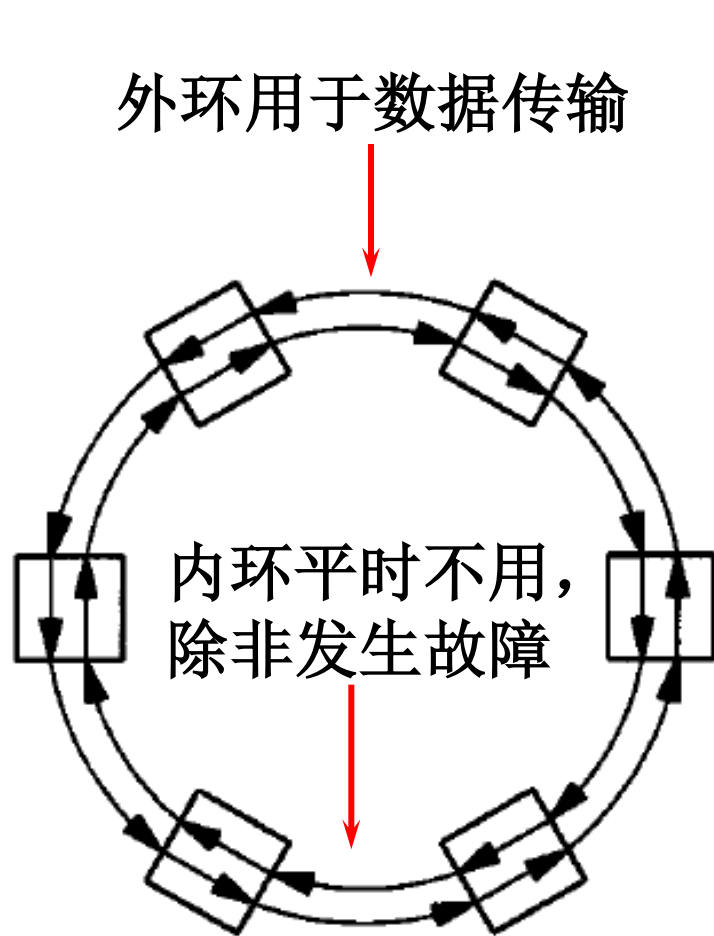
## 5.5 FDDI访问控制方式

光纤分布式数据接口 (FDDI, fiber distributed data interconnect) 也采用令牌环访问控制技术。

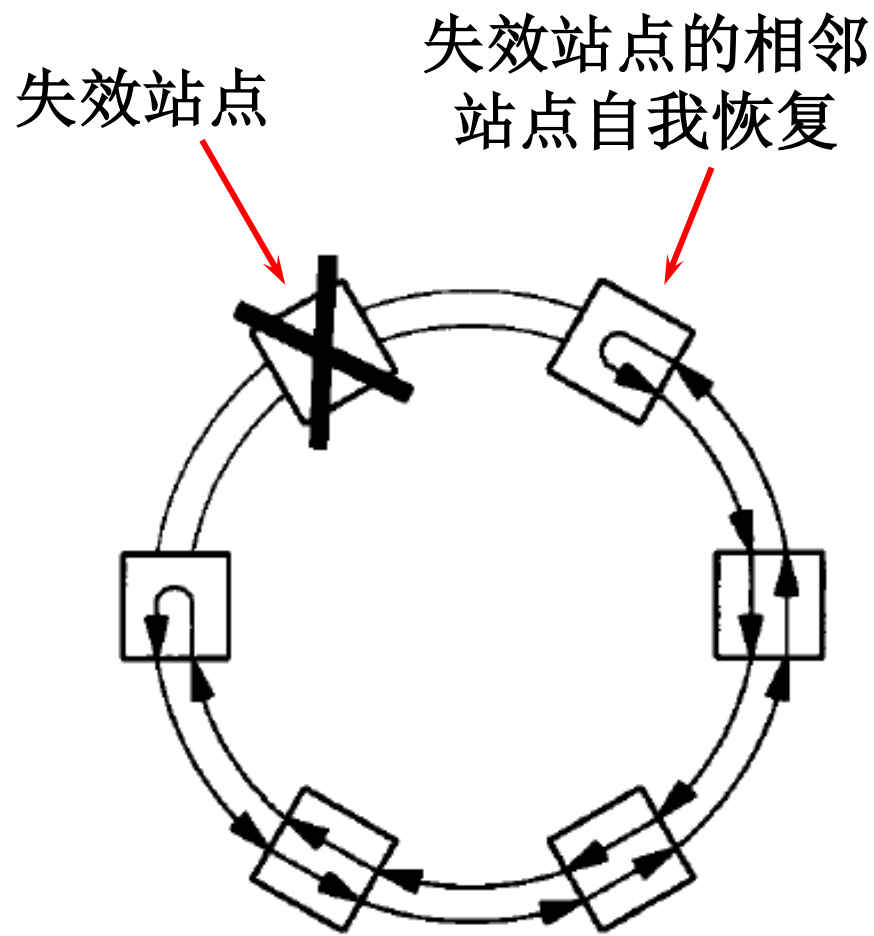
**FDDI**使用光纤作为传输介质。

**FDDI**使用双环技术解决网络中站点故障后信道中断问题。

## 5.5 FDDI访问控制方式



a . FDDI网络



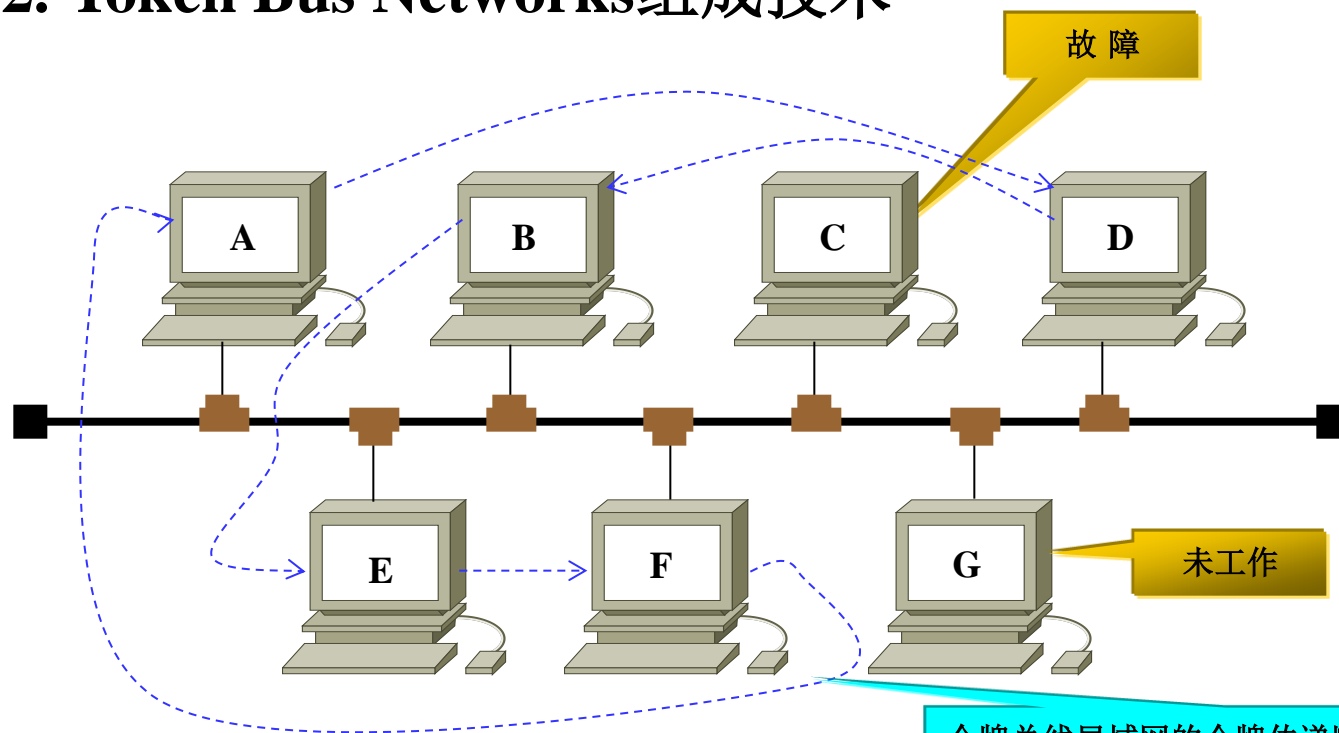
b . 在一个站点失效后

## § 5.4.3 令牌总线网-Token Bus(IEEE802.4)

### 1. 总线局域网的产生

总线局域网的争用总线策略使得它不适用于工厂等一些对时间有严格要求的实时控制系统.令牌环网中的令牌绕一周的时间虽有一个上限值,但它在轻载时的性能不太好,并且还采用了许多的干线耦合器(这里面使用了有源器件)连接成环路的,其可靠性要比无源的总线要差些.于是综合这两种局域网的优点的令牌总线局域网就产生了.它是IEEE802.4标准,在美国最先使用这种令牌总线局域网的是通用汽车公司.

## 2. Token Bus Networks组成技术

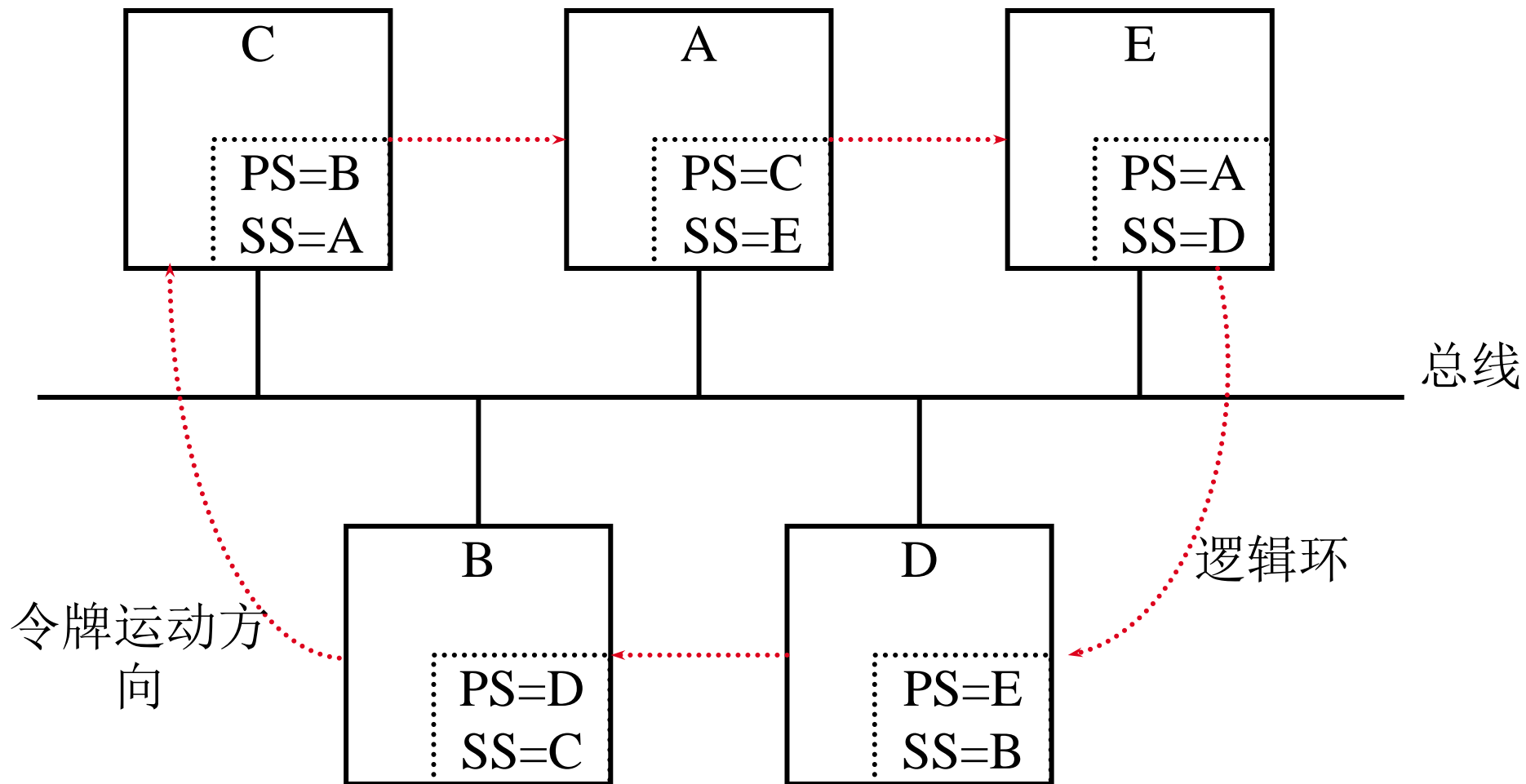


令牌总线局域网在物理上是一个总线网,而在逻辑上却是一个令牌环.记住哦

图 令牌总线局域网

令牌总线局域网的令牌传递顺序不是按照站的物理位置,因此必须有一个有效的MAC子层协议来管理网络的令牌.它的数据速率有三种:1、5和10Mb/s,传输介质采用75Ω电视用同轴电缆.

## 5.6 令牌总线逻辑环



# Thanks!

