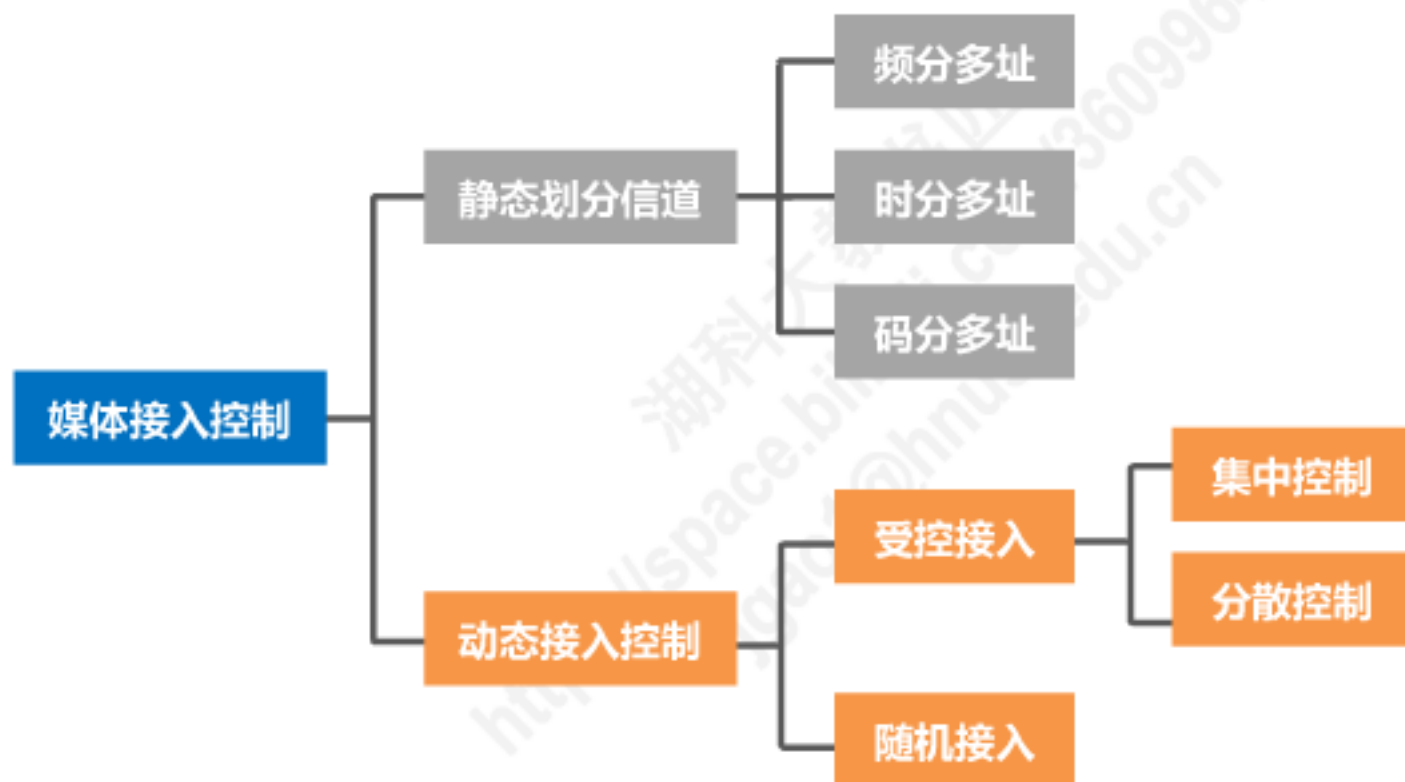


3.6.3 媒体接入控制 —— 动态接入控制 —— 随机接入



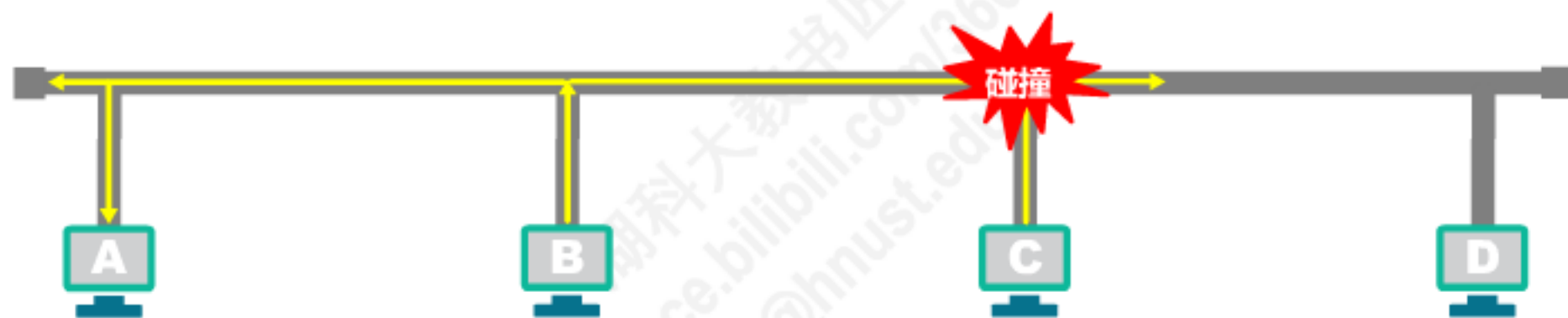
3.6.3 媒体接入控制 —— 动态接入控制 —— 随机接入



3.6.3 媒体接入控制 —— 动态接入控制 —— 随机接入



3.6.3 媒体接入控制 —— 动态接入控制 —— 随机接入



3.6.3 媒体接入控制 —— 动态接入控制 —— 随机接入

载波监听多址接入/碰撞检测 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)



总线本身空闲，主机B和C同时发送数据，则传输信号发生碰撞（或称冲突）



主机B正在占用总线传输数据，主机C也要发送数据，则传输信号发生碰撞

3.6.3 媒体接入控制 —— 动态接入控制 —— 随机接入

载波监听多址接入/碰撞检测 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)

多址接入MA

- 多个站连接在一条总线上，竞争使用总线。

3.6.3 媒体接入控制 —— 动态接入控制 —— 随机接入

载波监听多址接入/碰撞检测 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)

多址接入MA

- 多个站连接在一条总线上，竞争使用总线。

载波监听CS

3.6.3 媒体接入控制 —— 动态接入控制 —— 随机接入

载波监听多址接入/碰撞检测 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)

多址接入MA

- 多个站连接在一条总线上，竞争使用总线。

载波监听CS

- 每一个站在发送帧之前先要检测一下总线上是否有其他站点在发送帧（“先听后说”）：
 - ☐ 若检测到总线空闲96比特时间，则发送这个帧；
 - ☐ 若检测到总线忙，则继续检测并等待总线转为空闲96比特时间，然后发送这个帧。

3.6.3 媒体接入控制 —— 动态接入控制 —— 随机接入

载波监听多址接入/碰撞检测 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)

多址接入MA

- 多个站连接在一条总线上，竞争使用总线。

载波监听CS

- 每一个站在发送帧之前先要检测一下总线上是否有其他站点在发送帧（“先听后说”）：
 - ☐ 若检测到总线空闲96比特时间，则发送这个帧；
 - ☐ 若检测到总线忙，则继续检测并等待总线转为空闲96比特时间，然后发送这个帧。

碰撞检测CD

3.6.3 媒体接入控制 —— 动态接入控制 —— 随机接入

载波监听多址接入/碰撞检测 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)

多址接入MA

- 多个站连接在一条总线上，竞争使用总线。

载波监听CS

- 每一个站在发送帧之前先要检测一下总线上是否有其他站点在发送帧（“先听后说”）：
 - ☐ 若检测到总线空闲96比特时间，则发送这个帧；
 - ☐ 若检测到总线忙，则继续检测并等待总线转为空闲96比特时间，然后发送这个帧。

碰撞检测CD

- 每一个正在发送帧的站边发送边检测碰撞（“边说边听”）：
 - ☐ 一旦发现总线上出现碰撞，则立即停止发送，退避一段随机时间后再次发送（“一旦冲突，立即停说，等待时机，重新再说”）。

多址接入MA

载波监听CS

碰撞检测CD



多址接入MA

载波监听CS

碰撞检测CD



多址接入MA

载波监听CS

碰撞检测CD



多址接入MA

载波监听CS

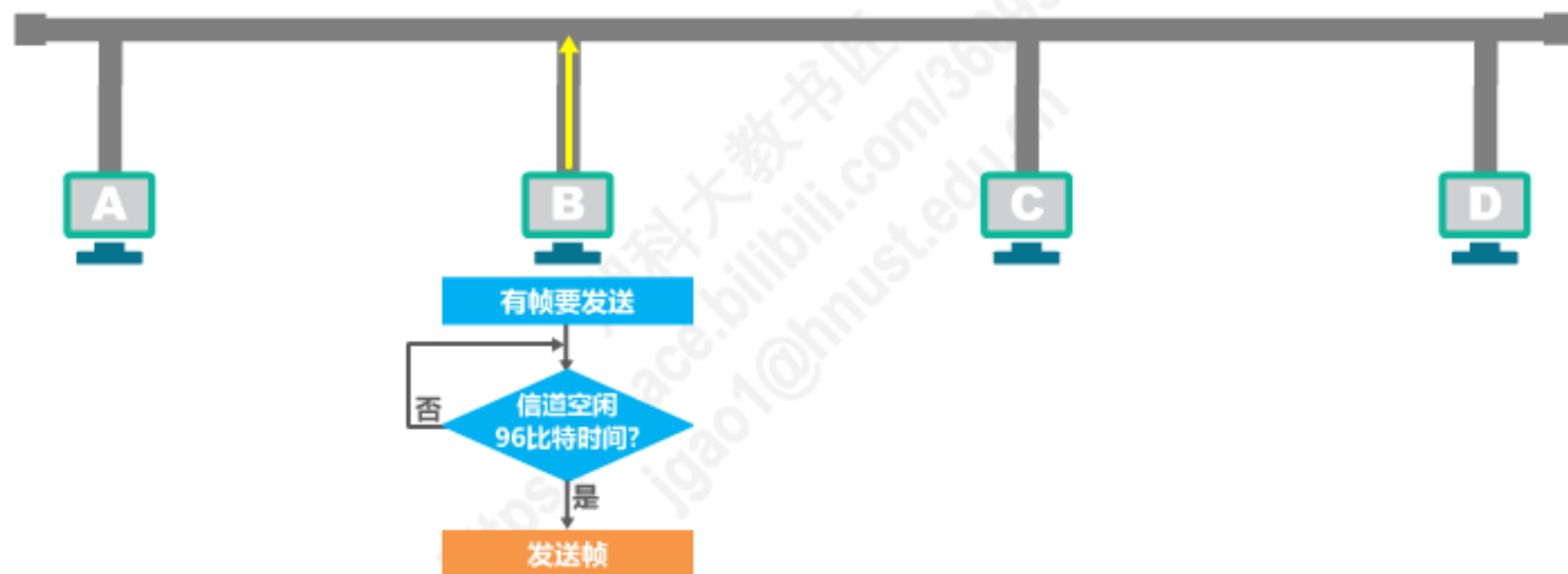
碰撞检测CD



多址接入MA

载波监听CS

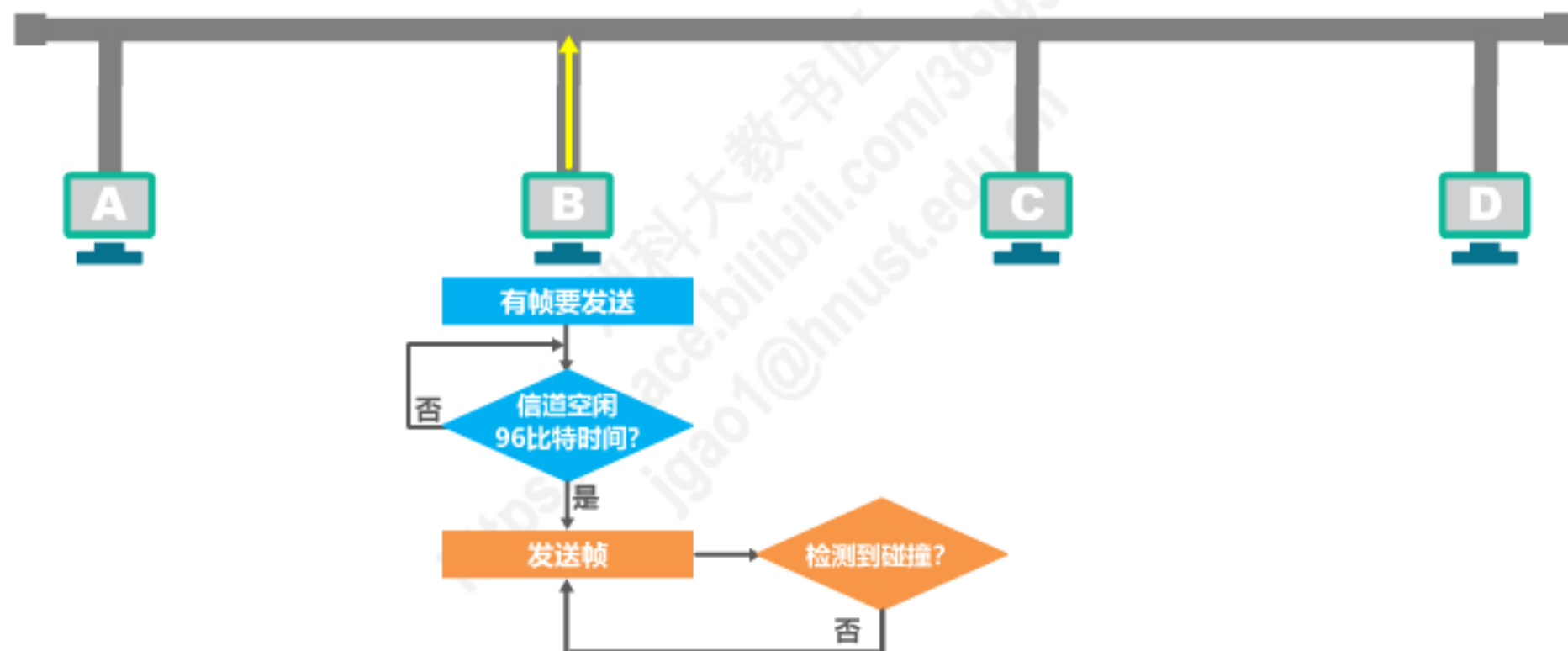
碰撞检测CD



多址接入MA

载波监听CS

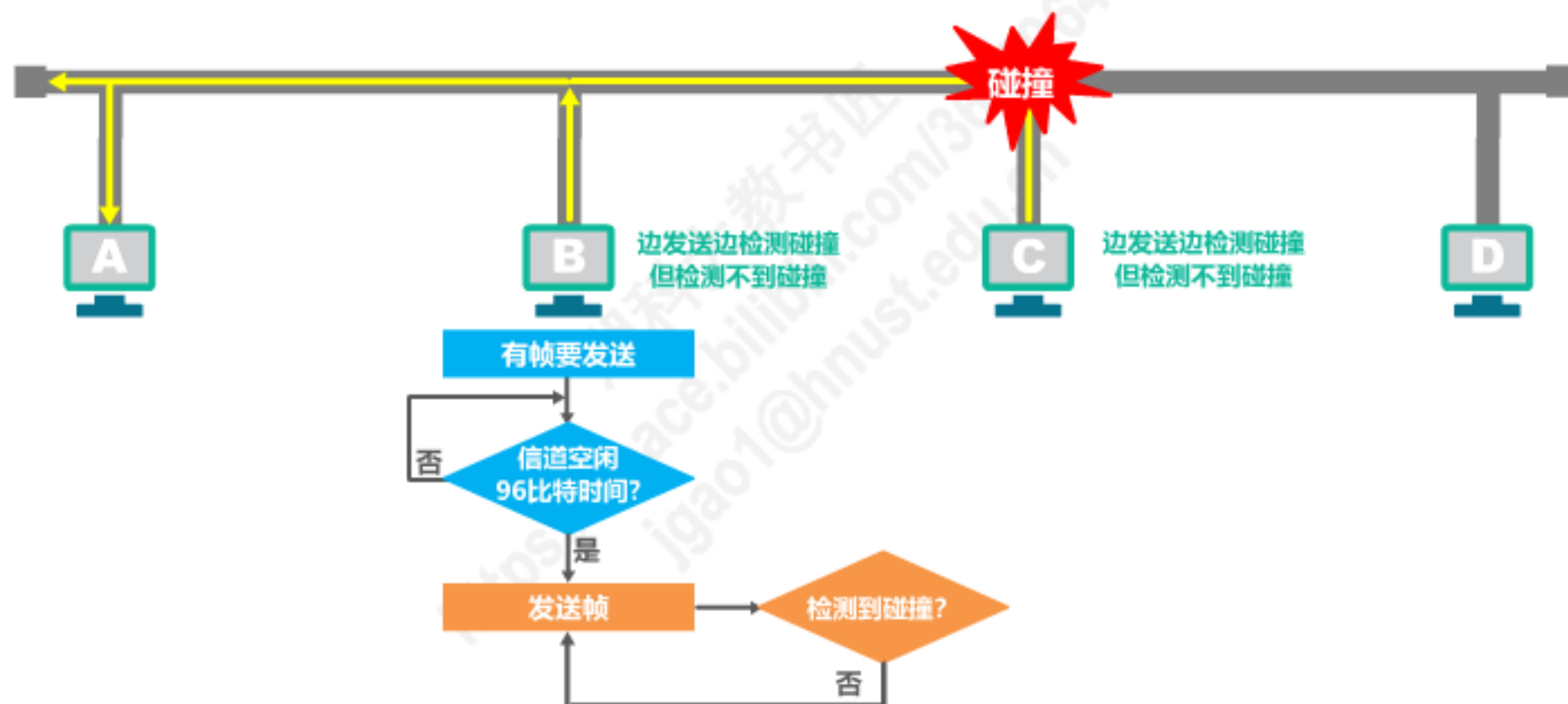
碰撞检测CD



多址接入MA

载波监听CS

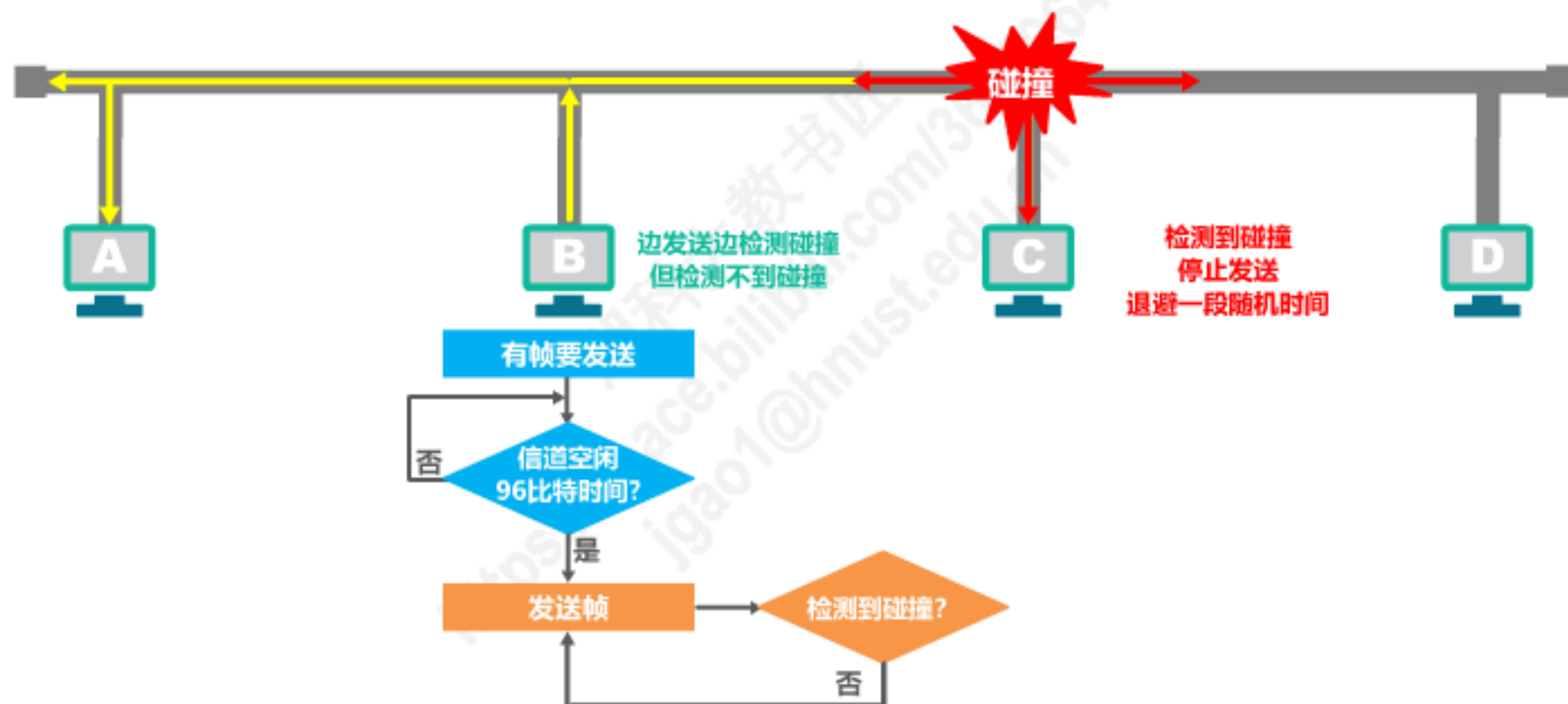
碰撞检测CD



多址接入MA

载波监听CS

碰撞检测CD



多址接入MA

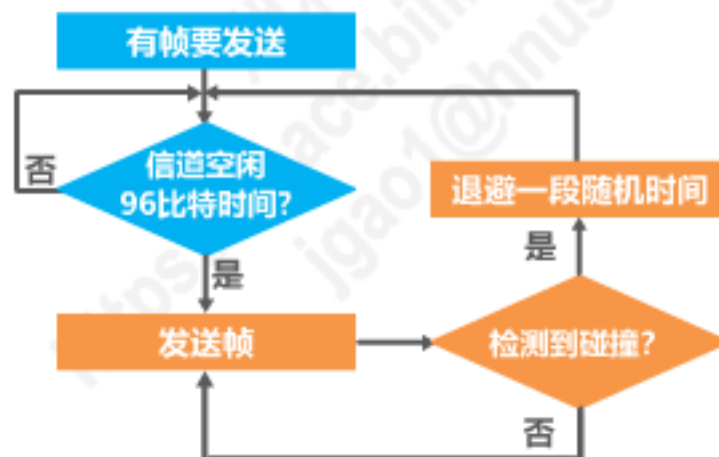
载波监听CS

碰撞检测CD



检测到碰撞
停止发送
退避一段随机时间

检测到碰撞
停止发送
退避一段随机时间

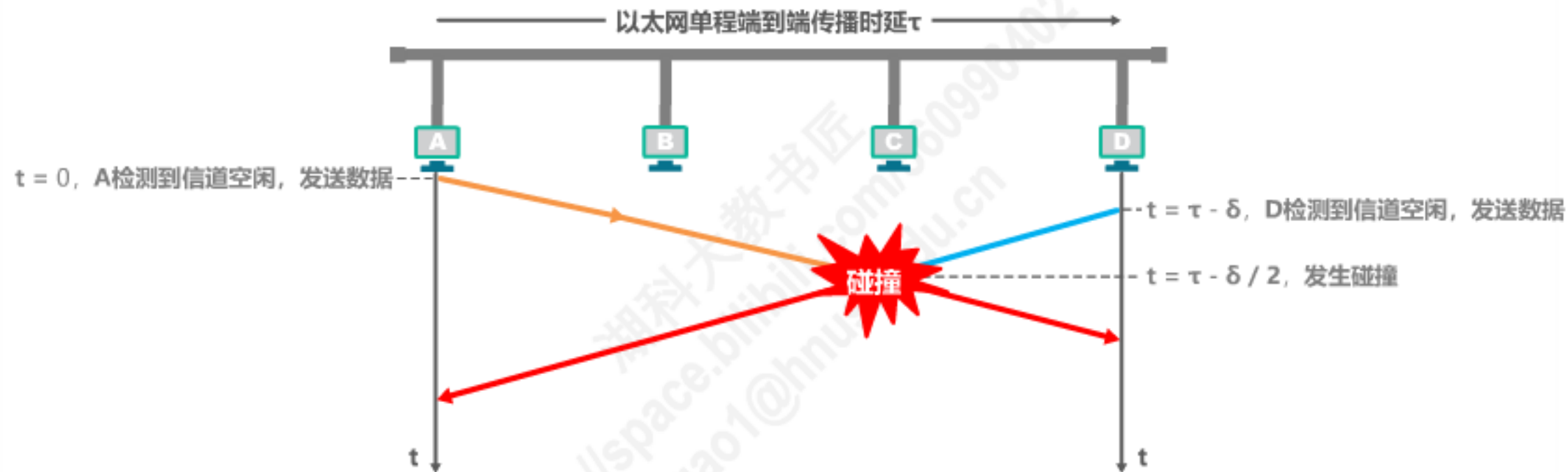


以太网还采取一种叫做**强化碰撞**的措施。这就是当发送帧的站点一旦检测到碰撞，除了立即停止发送帧外，还要再继续发送**32比特或48比特的人为干扰信号 (Jamming Signal)**，以便有足够多的碰撞信号使所有站点都能检测出碰撞。

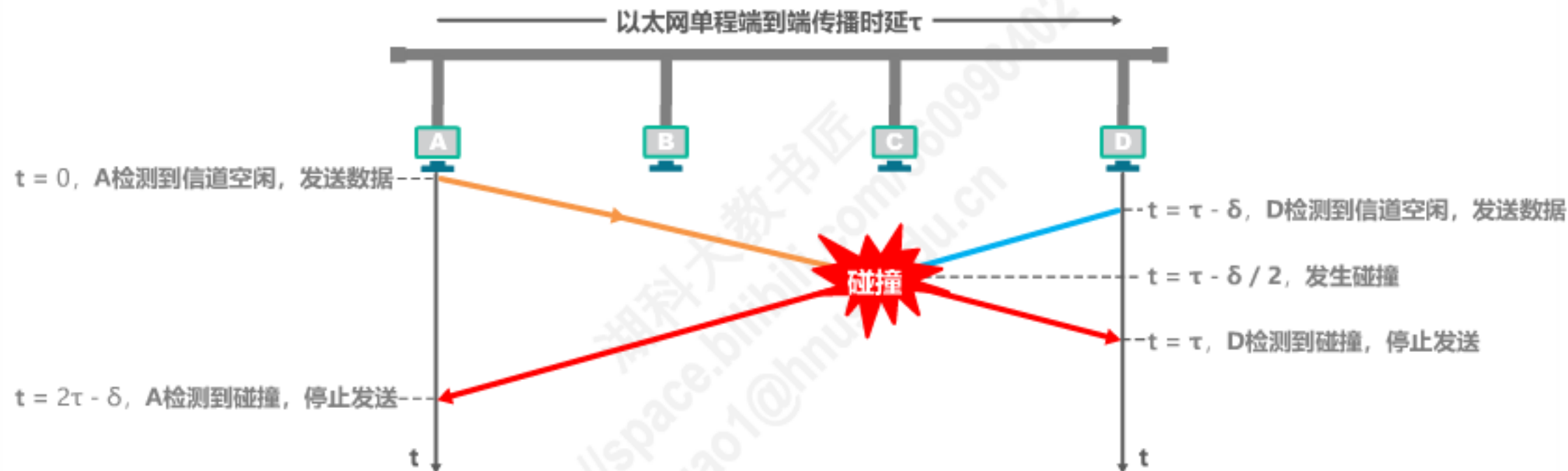
CSMA/CD协议 —— 争用期（碰撞窗口）



CSMA/CD协议 —— 争用期（碰撞窗口）

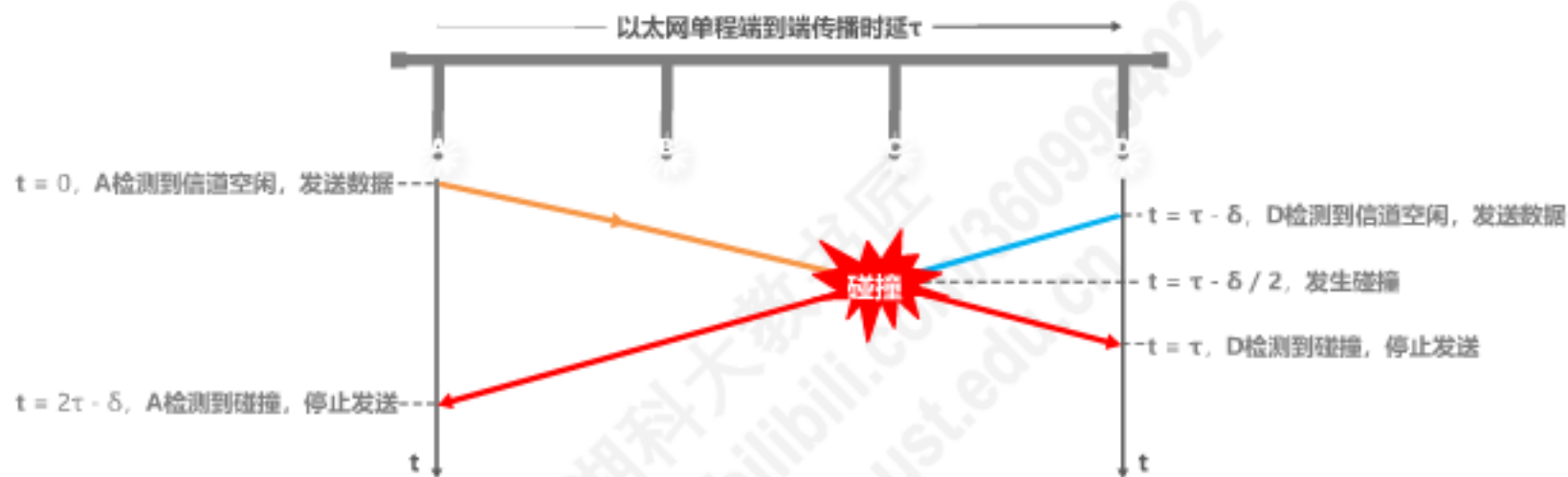


CSMA/CD协议 —— 争用期（碰撞窗口）



- 主机最多经过 2τ (即 $\delta \rightarrow 0$)的时长就可检测到本次发送是否遭受了碰撞
- 因此, 以太网的端到端往返传播时延 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。

CSMA/CD协议 —— 争用期（碰撞窗口）



- 主机最多经过 2τ (即 $\delta \rightarrow 0$)的时长就可检测到本次发送是否遭受了碰撞
- 因此, 以太网的端到端往返传播时延 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。
- 每一个主机在自己发送帧之后的一小段时间内, 存在着遭遇碰撞的可能性。这一小段时间是不确定的。它取决于另一个发送帧的主机到本主机的距离, 但不会超过总线的端到端往返传播时延, 即一个争用期时间。
- 显然, 在以太网中发送帧的主机越多, 端到端往返传播时延越大, 发生碰撞的概率就越大。因此, **共享式以太网不能连接太多的主机, 使用的总线也不能太长。**
- 10Mb/s以太网把争用期定为512比特发送时间, 即 $51.2\mu s$, 因此其总线长度不能超过5120m, 但考虑到其他一些因素, 如信号衰减等, 以太网规定总线长度不能超过2500m。

CSMA/CD协议 —— 最小帧长



主机A给主机D发送帧
边发送边检测碰撞

CSMA/CD协议 —— 最小帧长



发送完毕
不再针对该帧检测碰撞

CSMA/CD协议 —— 最小帧长



发送完毕
不再针对该帧检测碰撞

检测到信道空闲96比特时间
发送帧

CSMA/CD协议 —— 最小帧长

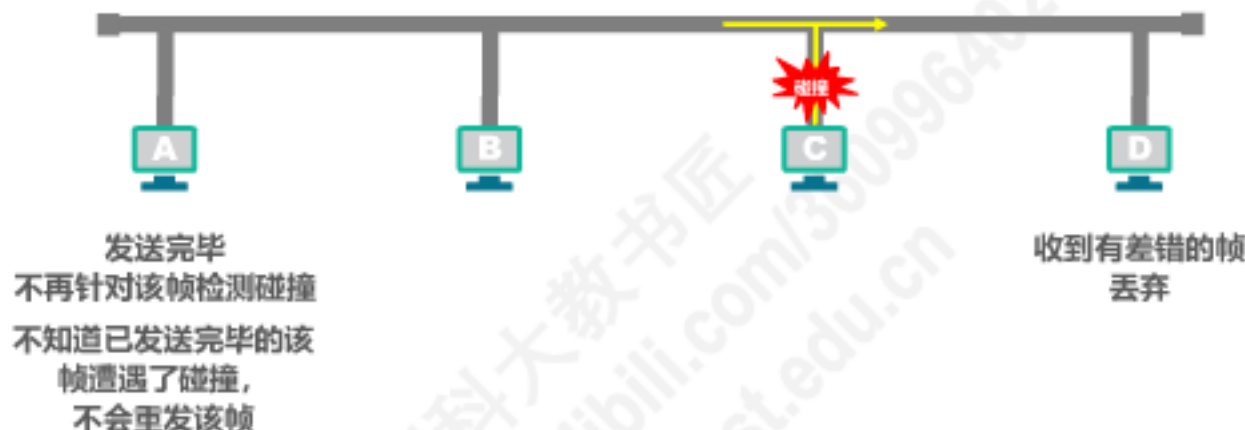


发送完毕
不再针对该帧检测碰撞
不知道已发送完毕的该
帧遭遇了碰撞，
不会重发该帧

收到有差错的帧
丢弃

很显然，以太网的帧长不能太短！

CSMA/CD协议 —— 最小帧长



很显然，以太网的帧长不能太短！

- **以太网规定最小帧长为64字节**，即512比特（512比特时间即为争用期）；
 - 如果要发送的数据非常少，那么必须加入一些填充字节，使帧长不小于64字节。
- 以太网的最小帧长确保了主机可在帧发送完成之前就检测到该帧的发送过程中是否遭遇了碰撞；
 - 如果在争用期（共发送64字节）没有检测到碰撞，那么后续发送的数据就一定不会发生碰撞；
 - 如果在争用期内检测到碰撞，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，因此**凡长度小于64字节的帧都是由于碰撞而异常中止的无效帧。**

CSMA/CD协议 —— 最大帧长



我正在给D发送
一个**很长的帧**
边发送边检测碰撞

总线怎么还是忙啊
我有帧要发，着急

总线怎么还是忙啊
我有帧要发，着急

这个帧太长了
我的**缓冲区快满了**

CSMA/CD协议 —— 最大帧长



我正在给D发送
一个**很长的帧**
边发送边检测碰撞

总线怎么还是忙啊
我有帧要发，着急

总线怎么还是忙啊
我有帧要发，着急

这个帧太长了
我的**缓冲区快满了**

以太网V2的MAC帧 (最大长度为1518字节)				
目的地址	源地址	类型	数据 载 荷	FCS
6	6	2	46 ~ 1500 字节	4

插入VLAN标记后的802.1Q帧 (最大长度为1522字节)					
目的地址	源地址	VLAN标记	类型	数据 载 荷	FCS
6	6	4	2	42 ~ 1500 字节	4

CSMA/CD协议 —— 截断二进制指数退避算法

退避时间

=

基本退避时间

×

随机数r

湖科大教
https://space.bilibili.com/
jgao1@hnust.edu.cn

CSMA/CD协议 —— 截断二进制指数退避算法

退避时间

=

基本退避时间

争用期 2τ

×

随机数 r

CSMA/CD协议 —— 截断二进制指数退避算法

退避时间

=

基本退避时间

争用期 2τ

×

随机数 r

r 从离散的整数集合 $\{0, 1, \dots, (2^k - 1)\}$ 中随机选出一个数
 $k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$

重传次数	k	离散的整数集合 $\{0, 1, \dots, (2^k - 1)\}$	可能的退避时间
1	1	$\{0, 1\}$	$0 \times 2\tau, 1 \times 2\tau$
2	2	$\{0, 1, 2, 3\}$	$0 \times 2\tau, 1 \times 2\tau, 2 \times 2\tau, 3 \times 2\tau$
12	10	$\{0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots, 1023\}$	$0 \times 2\tau, 1 \times 2\tau, 2 \times 2\tau, 3 \times 2\tau, 4 \times 2\tau, 5 \times 2\tau, \dots, 1023 \times 2\tau$

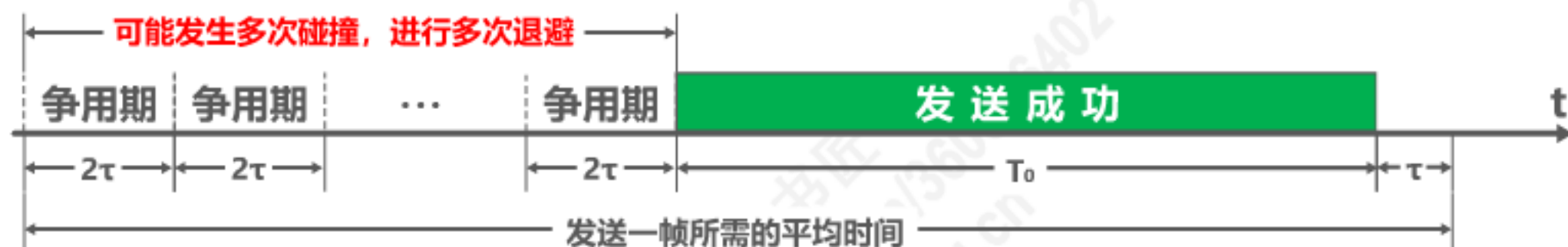
CSMA/CD协议 —— 截断二进制指数退避算法



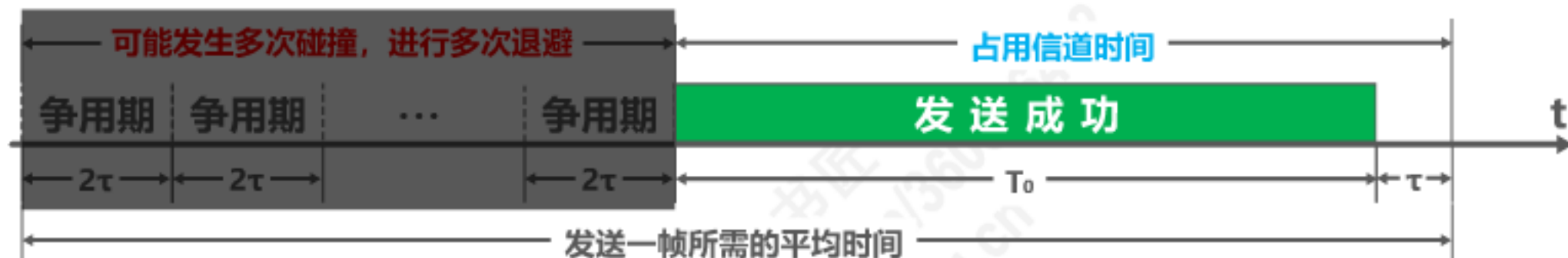
重传次数	k	离散的整数集合 $\{0, 1, \dots, (2^k - 1)\}$	可能的退避时间
1	1	$\{0, 1\}$	$0 \times 2\tau, 1 \times 2\tau$
2	2	$\{0, 1, 2, 3\}$	$0 \times 2\tau, 1 \times 2\tau, 2 \times 2\tau, 3 \times 2\tau$
12	10	$\{0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots, 1023\}$	$0 \times 2\tau, 1 \times 2\tau, 2 \times 2\tau, 3 \times 2\tau, 4 \times 2\tau, 5 \times 2\tau, \dots, 1023 \times 2\tau$

- 若连续多次发生碰撞，就表明可能有较多的主机参与竞争信道。但使用上述退避算法可使重传需要推迟的平均时间随重传次数而增大（这也称为动态退避），因而减小发生碰撞的概率，有利于整个系统的稳定。
- 当重传达16次仍不能成功时，表明同时打算发送帧的主机太多，以至于连续发生碰撞，则丢弃该帧，并向高层报告。

CSMA/CD协议 —— 信道利用率



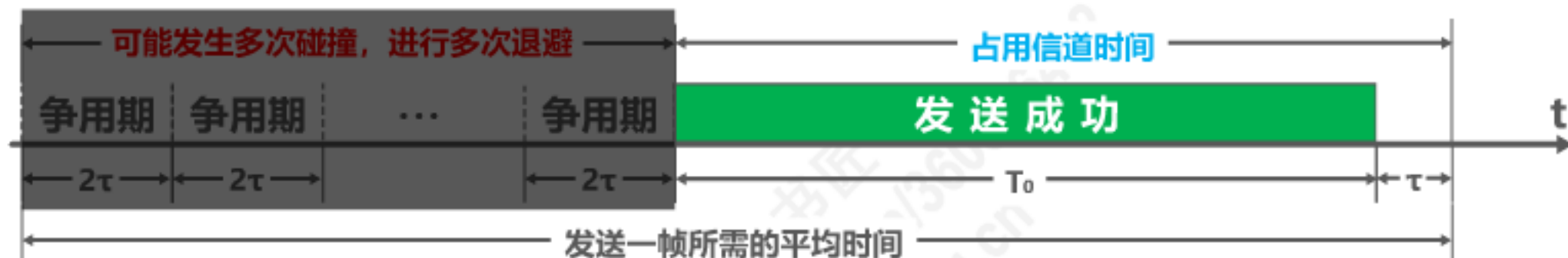
CSMA/CD协议 —— 信道利用率



■ 考虑以下这种理想情况:

- ☐ 各主机发送帧都不会产生碰撞;
- ☐ 总线一旦空闲就有某个主机立即发送帧;
- ☐ 发送一帧占用总线的时间为 $T_0 + \tau$, 而帧本身的发送时间是 T_0 .

CSMA/CD协议 —— 信道利用率



■ 考虑以下这种理想情况：

- ☐ 各主机发送帧都不会产生碰撞；
- ☐ 总线一旦空闲就有某个主机立即发送帧；
- ☐ 发送一帧占用总线的时间为 $T_0 + \tau$ ，而帧本身的发送时间是 T_0 。

$$\text{极限信道利用率 } S_{\max} = \frac{T_0}{T_0 + \tau} = \frac{1}{1 + \frac{\tau}{T_0}} = \frac{1}{1 + a}$$

CSMA/CD协议 —— 信道利用率



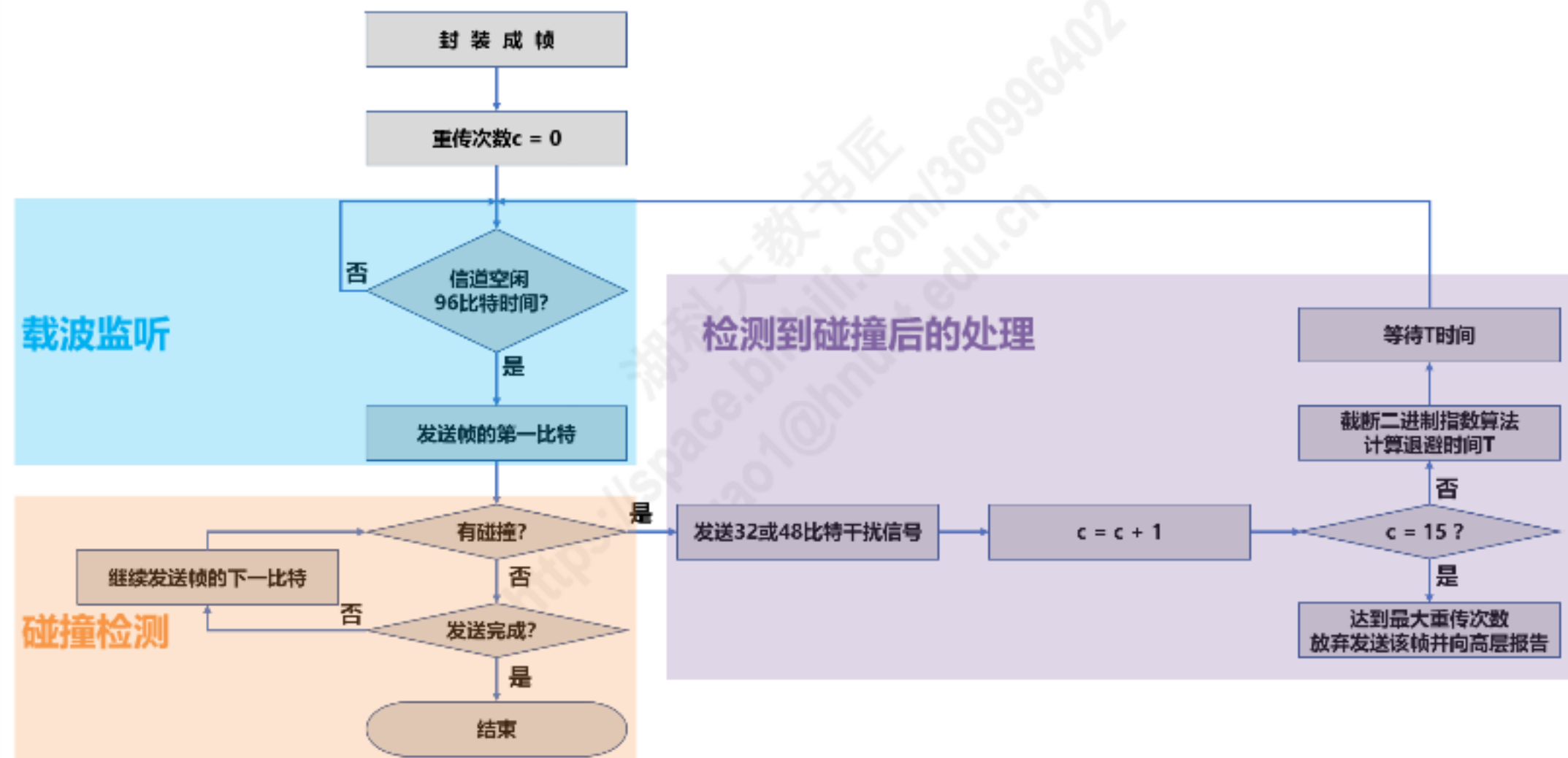
■ 考虑以下这种理想情况：

- ☐ 各主机发送帧都不会产生碰撞；
- ☐ 总线一旦空闲就有某个主机立即发送帧；
- ☐ 发送一帧占用总线的时间为 $T_0 + \tau$ ，而帧本身的发送时间是 T_0 。

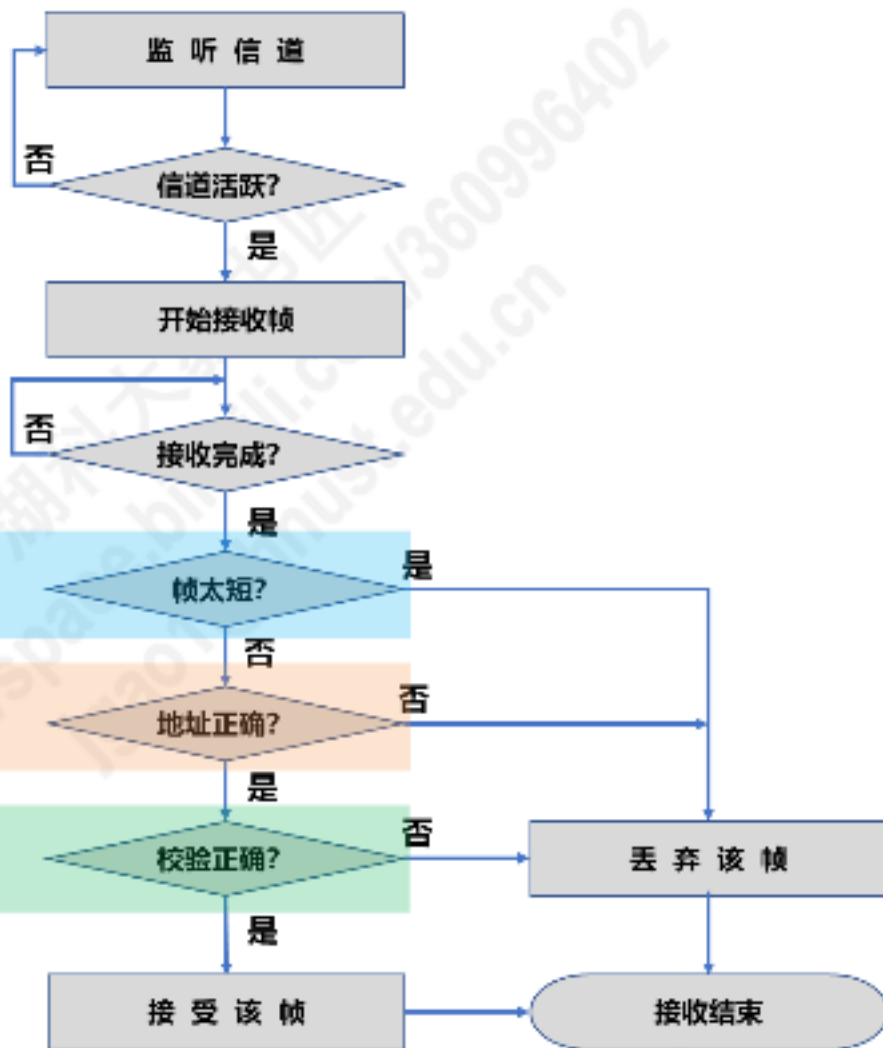
极限信道利用率 $S_{max} \uparrow = \frac{1}{1+a} \downarrow$ 参数a的值尽量小，以提高信道利用率

$a \downarrow = \frac{\tau}{T_0} \uparrow$ 以太网端到端的距离受到限制
以太网帧的长度应尽量长些

CSMA/CD协议 —— 帧发送流程



CSMA/CD协议 —— 帧接收流程



小于最短帧长则认为遭遇了碰撞

帧的目的MAC地址与接收方的MAC地址
相同或是广播地址

使用CRC检查帧是否出现了误码

【2015年 题36】下列关于CSMA/CD协议的叙述中，错误的是 **B**

- A. 边发送数据帧，边检测是否发生冲突
- B. 适用于无线网络，以实现无线链路共享
- C. 需要根据网络跨距和数据传输速率限定最小帧长
- D. 当信号传播延迟趋近于0时，信道利用率趋近100%

【解析】

选项A描述的是“碰撞检测（冲突检测）”，描述正确；

选项B的描述错误，因为CSMA/CD协议不适用于无线网络。对于无线网络，可以使用CSMA/CA协议；

选项C中给出的“网络跨距”相当于给出了“端到端传播时延 τ ”，进而可得出“争用期 2τ ”，再乘以数据传输速率即为最小帧长，描述正确；

选项D描述正确，这可以从极限信道利用率的计算公式看出：

$$\underset{\substack{\downarrow \\ 100\%}}{S_{max}} = \frac{T_0}{T_0 + \tau} = \frac{1}{1 + \frac{\tau}{T_0}} \rightarrow 0$$

【2009年 题37】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 **D**

- A. 增加160m
- C. 减少160m

- B. 增加80m
- D. 减少80m

【解析】

本题考查采用CSMA/CD协议的以太网的最小帧长的相关概念。

设最远两个站点之间的距离为 $d(\text{m})$ ，最小帧长为 $l(\text{bit})$ ；

最小帧长 = 争用期 \times 数据传输速率

$$l = \left(\frac{d}{200000 \times 10^3} \times 2 \right) \times 10^9$$

$$d = \frac{l}{10}$$

很显然，若最小帧长减少800 bit，最远的两个站点之间的距离至少会减少80m。

【2010年 题47】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 000km/s。请回答下列问题，要求说明理由或写出计算过程。

(1) 如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，最短需经过多长时间？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）？

【解析】



两主机**同时发送数据**，才能使得它们从开始发送数据时刻起，到它们都检测到冲突时刻止，所经过的时间最短。

【2010年 题47】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 000km/s。请回答下列问题，要求说明理由或写出计算过程。

(1) 如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，最短需经过多长时间？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）？

【解析】



两主机**同时发送数据**，才能使得它们从开始发送数据时刻起，到它们都检测到冲突时刻止，所经过的时间最短。

【2010年 题47】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 000km/s。请回答下列问题，要求说明理由或写出计算过程。

(1) 如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，最短需经过多长时间？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）？

【解析】



两主机**同时发送数据**，才能使得它们从开始发送数据时刻起，到它们都检测到冲突时刻止，所经过的时间最短。

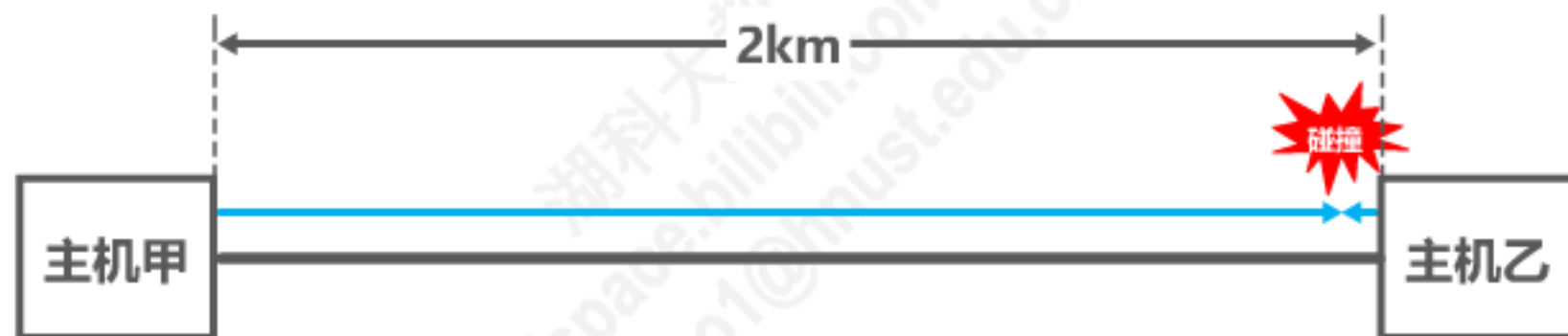
这段时间包括主机发送的数据信号传播到距离中点处所耗费的传播时延，以及发生碰撞后的碰撞信号传播回主机所耗费的时间（与之前的传播时延相等）。

即两主机间单程的传播时延 $2\text{km} \div 200\ 000\text{km/s} = 0.01\text{ms}$

【2010年 题47】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 000km/s。请回答下列问题，要求说明理由或写出计算过程。

(1) 如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，最短需经过多长时间？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）？

【解析】



甲发送的帧信号传播到无限接近乙的某个时刻，乙也要发送帧，它检测到信道空闲（但信道此时并不空闲），就立刻开始发送帧，这必然会导致碰撞。

【2010年 题47】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 000km/s。请回答下列问题，要求说明理由或写出计算过程。

(1) 如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，最短需经过多长时间？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）？

【解析】



甲发送的帧信号传播到无限接近乙的某个时刻，乙也要发送帧，它检测到信道空闲（但信道此时并不空闲），就立刻开始发送帧，这必然会导致碰撞。

乙会首先检测到碰撞，一段时间后甲也会检测到碰撞。

从开始发送数据时刻起，到两台主机均检测到碰撞时刻止，最长需要经过的时间为两台主机间信号传播的往返时延（争用期） $(2\text{km} \div 200\,000\text{km/s}) \times 2 = 0.02\text{ms}$

3.6.3 媒体接入控制 —— 动态接入控制 —— 随机接入 —— CSMA/CD协议

CSMA/CD协议的工作原理

- 多点接入MA：多个主机连接在一条总线上，竞争使用总线；
- 载波监听CS：发送帧前先检测总线，若总线空闲96比特时间，则立即发送；若总线忙，则持续检测总线直到总线空闲96比特时间后再重新发送；
- 碰撞检测到CD：边发送边检测碰撞，若检测到碰撞，则立即停止发送，退避一段随机时间后再重新发送。
- 上述过程可比喻为：先听后说，边听边说；一旦冲突，立即停说；等待时机，重新再说。

使用CSMA/CD协议的以太网的争用期（碰撞窗口）

- 发送帧的主机最多经过以太网端到端往返传播时延 2τ 这么长时间，就可检测到本次传输是否发生了碰撞， 2τ 称为争用期；
- 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；
- 以太网规定 2τ 的取值为512比特时间（即发送512比特所耗费的时间），对于10Mbps的以太网， 2τ 为51.2 μ s；

使用CSMA/CD协议的以太网的最小帧长和最大帧长

- 最小帧长 = 争用期 \times 信道带宽（数据发送速率），对于10Mbps的传统以太网，其争用期为51.2 μ s，因此最小帧长为512b，即64字节；
- 以太网的最小帧长确保了主机可在帧发送完成之前就检测到该帧的发送过程中是否遭遇了碰撞。如果检测到碰撞，则停止发送帧的剩余部分，退避一段随机事件后，重新发送该帧；
- 为了防止主机长时间占用总线，以太网的帧也不能太长；以太网V2的MAC帧最大长度为1518字节（1500字节数据载荷，18字节首尾字段）；插入VLAN标记的802.1Q帧最大长度为1522字节（1500字节数据载荷，22字节首尾字段）；

CSMA/CD协议使用的截断二进制指数退避算法

- 随机退避时间 = 争用期 $2\tau \times$ 随机数 r ，其中 r 从离散的整数集合 $\{0, 1, \dots, (2^k - 1)\}$ 中随机取出一个， $k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$ ；
- 当重传16次仍不能成功时，这表明同时打算发送数据的主机太多以至于连续发生碰撞，则丢弃该帧并向高层报告。

以太网的信道利用率

$$\begin{cases} S_{\max} \uparrow = \frac{1}{1+a} \downarrow & \text{参数} a \text{ 的值尽量小，以提高信道利用率} \\ a \downarrow = \frac{\tau}{T_o} \uparrow & \begin{array}{l} \text{以太网端到端的距离受到限制} \\ \text{以太网帧的长度应尽量长些} \end{array} \end{cases}$$

CSMA/CD协议曾经用于各种总线结构以太网和双绞线以太网的早期版本中。

现在的以太网基于交换机和全双工连接，不会有碰撞，因此没有必要使用CSMA/CD协议。

3.6.3 媒体接入控制 —— 动态接入控制 —— 随机接入 —— CSMA/CD协议

CSMA/CD协议的工作原理

- 多点接入MA：多个主机连接在一条总线上，竞争使用总线；
- 载波监听CS：发送前先检测总线，若总线空闲96比特时间，则立即发送；若总线忙，则持续检测总线直到总线空闲96比特时间后再重新发送；
- 碰撞检测到CD：边发送边检测碰撞，若检测到碰撞，则立即停止发送，退避一段随机时间后再重新发送。
- 上述过程可比喻为：先听后说，边听边说；一旦冲突，立即停说；等待时机，重新再说。

使用CSMA/CD协议的以太网的争用期（碰撞窗口）

- 发送帧的主机最多经过以太网端到端往返传播时间 2τ 这么长时间，就可检测到本次传输是否发生了碰撞， 2τ 称为争用期；
- 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；
- 以太网规定 2τ 的取值为512比特时间（即发送512比特所需的时间），对于10Mbps的以太网， 2τ 为51.2 μ s；

使用CSMA/CD协议的以太网的最小帧长和最大帧长

- 最小帧长 = 争用期 \times 信道带宽（数据发送速率），对于10Mbps的传统以太网，其争用期为51.2 μ s，因此最小帧长为512b，即64字节；
- 以太网的最小帧长确保了主机可在帧发送完成之前就检测到该帧的发送过程中是否遭遇了碰撞。如果检测到碰撞，则停止发送帧的剩余部分，退避一段随机事件后，重新发送该帧；
- 为了防止主机长时间占用总线，以太网的帧也不能太长；以太网V2的MAC帧最大长度为1518字节（1500字节数据载荷，18字节首尾字段）；插入VLAN标记的802.1Q帧最大长度为1522字节（1500字节数据载荷，22字节首尾字段）；

CSMA/CD协议使用的截断二进制指数退避算法

- 随机退避时间 = 争用期 $2\tau \times$ 随机数 r ，其中 r 从离散的整数集合 $\{0, 1, \dots, (2^k - 1)\}$ 中随机取出一个， $k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$ ；
- 当重传达16次仍不能成功时，这表明同时打算发送数据的主机太多以至于连续发生碰撞，则丢弃该帧并向高层报告。

以太网的信道利用率

$$\begin{cases} S_{\max} \uparrow = \frac{1}{1+a} \downarrow & \text{参数} a \text{ 的值尽量小，以提高信道利用率} \\ a \downarrow = \frac{2\tau}{T_{\text{fr}}} \downarrow & \begin{array}{l} \text{以太网端到端的距离受到限制} \\ \text{以太网帧的长度应尽量长些} \end{array} \end{cases}$$

CSMA/CD协议曾经用于各种总线结构以太网和双绞线以太网的早期版本中。

现在的以太网基于交换机和全双工连接，不会有碰撞，因此没有必要使用CSMA/CD协议。

