

Contents

1 多址接入系统分析	2
1.1 纯 ALOHA 系统	3
1.1.1 下一个 $2t$ 时刻系统存包量讨论	4
1.2 分槽阿罗华系统 (时隙 ALOHA, S-ALOHA)	5
1.2.1 两个系统的比较	6
1.2.2 碰撞重发的稳定性	6
1.3 载波监听多址接入系统	7
1.3.1 传播时延对载波监听的影响	7
1.3.2 非坚持监听方式	7
1.3.3 坚持监听方式	9
1.3.4 监听检测方式	11
1.3.5 载波监听总结	12
1.4 轮询方式	12
1.5 各种多址系统的比较	13

Chapter 1

多址接入系统分析

多址接入系统：，各用户拥有不同的地址，互相只能通过**公用信道联系**，而不像传统的转接方式那样，用户都集中到一个交换站，站线的线路只能作为两个站之间的信道进行点对点的通信。这类公用信道的方式，称为多址接入方式

特点：一条公用信道连接所有终端，按协议分配信道。

接入方法：

1. 受控接入：

- 集中式控制
- 分散式控制

2. 随机接入：如 ALOHA 和 CSMA/CD。

信道访问方式：

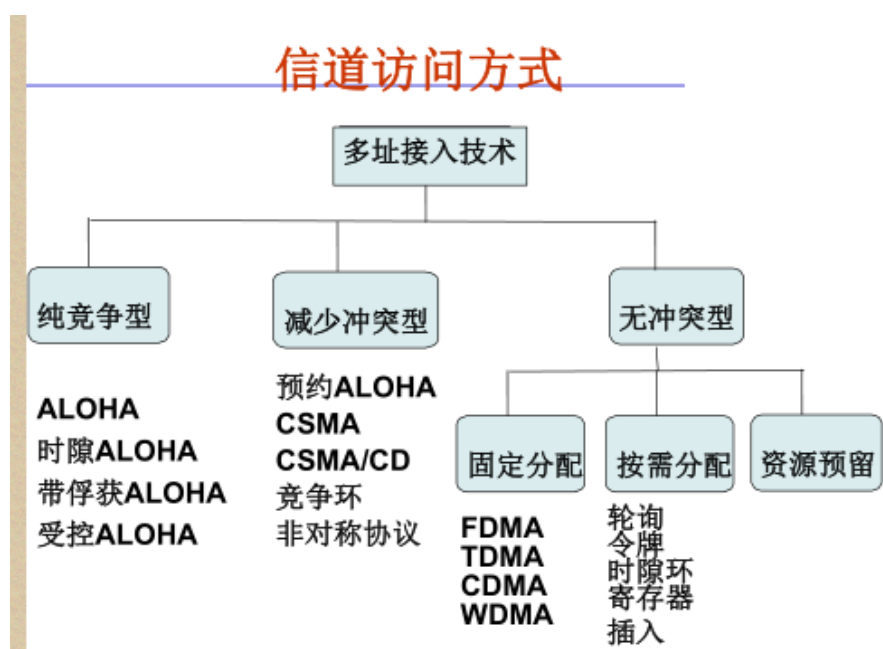


Figure 1.1:

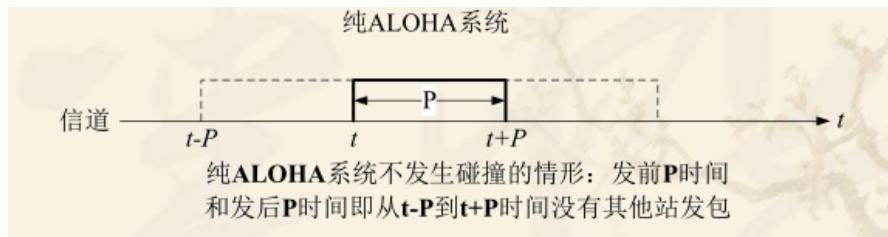


Figure 1.3:

1.1 纯 ALOHA 系统

1.1.0.1 纯 ALOHA 基础

定义：系统发包想发就发，如冲突，等待随机时间后重发。（信息包的长度 P = 发送一个包所需的时间，即服务时间 τ ）

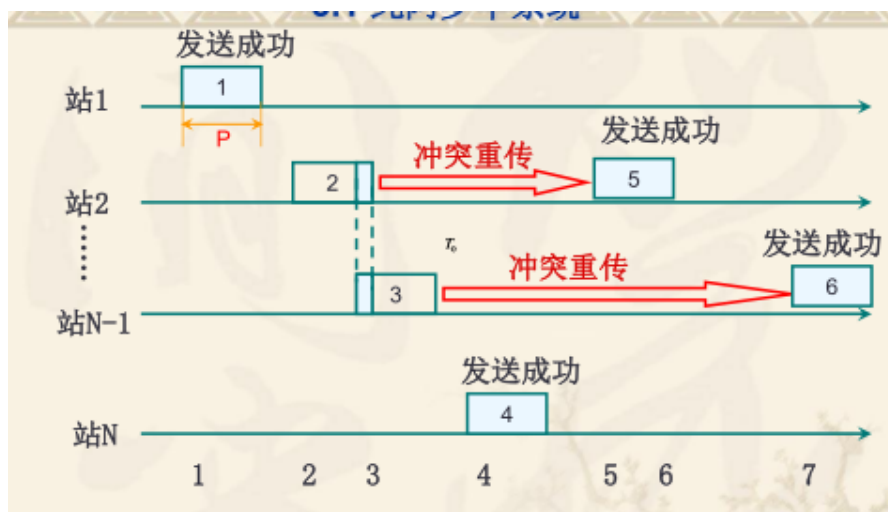


Figure 1.2:

特点：

1. 以定长信息包的方式发送到信道，随机方式抢占信道
2. 如有碰撞，之后随机地重发。

要想发送不碰撞，发包前 P 时间和发包后 P 时间即从 $t-P$ 到 $t+P$ 时间内没有其他站发包。

1.1.0.2 系统通过量

- 设有无限个用户公用一个信道，这些用户的总呼叫是以 λ 为均值的泊松流
- 每个发包定长为 P ，亦即服务时间 τ ，所以系统的呼叫量 $a = \lambda\tau = \lambda P$ 。令 $P=1$ ，则 $\lambda = a$ ，所以 t 内有 r 个呼叫或信息包发上信道的概率为

$$p_r = \frac{(\lambda t)^r}{r!} e^{-\lambda t} = \frac{(at)^r}{r!} e^{-at} \quad (1.1)$$

则 t 时间内没有包发送的概率为

$$p_0 = e^{-\lambda t} = e^{-at} \quad (1.2)$$

要想成功发送一个信息包即在 $2P$ 时间段内没有其他包发送， $t = 2P$ $P = 1$ (也可通过 $\lambda = a/P$ 得到)。带入1.2，有成功发送包的概率为

$$p_0 = e^{-2a} \quad (1.3)$$

所以发送信息包失败的概率为:

$$p = 1 - p_0 = 1 - e^{-2a} \quad (1.4)$$

通过量定义为: 平均成功的信息包所占的时间与总观察时间之比. 当信息包长 1 时, 这就是单位时间成功的信息包数

$$y = ae^{-2a} \quad (1.5)$$

$a = 0.5$ 时, $y_{\max} = 0.184$, 纯阿罗华系统效率低下, 重发频繁, 系统不稳定。

1.1.1 下一个 2t 时刻系统存包量讨论

假设增加假设增加 i 个, 求条件概率 $p(i|k)$, 其中 $i=-1, 0, 1, 2, \dots$; $i=-1$ 相当于减少一个旧包。相当于减少一个旧包。A

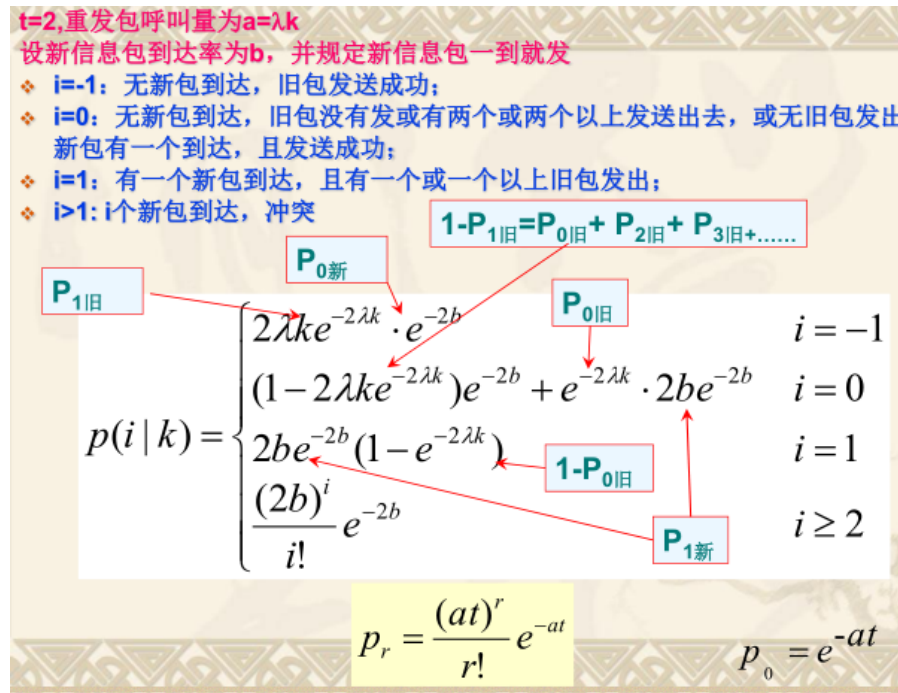


Figure 1.4:

最后可得期望

$$E(i|k) = \sum_{i=-1}^{\infty} ip = 2b - 2(b + \lambda k)e^{-2(b + \lambda k)}$$

- 当 $E \geq 0$ 时, 系统不是稳定的.
- 当 $E < 0$ 时, 系统稳定
- 当 $b + \lambda k = 0.5$ 达到最小值 $2b - e^{-1} = 2b - 0.368$
 - $b > 0.184$, 系统不稳定

解开结的办法:

1. $b = 0$, 不让新包进入
2. 调整旧包重发率, 旧包重发率 λ , 以使 k 虽大, 而 λ 还是较小的, 而且最好能使 $b + \lambda k = 0.5$ 还是较小的, 而且最好能使 $b + \lambda k = 0.5$, 以使 $E(i|k)$ 最小, 尽快解最小, 尽快解开这个结。当然此时开这个结。当然此时 b 必须小于 0.184

1.2 分槽阿罗华系统 (时隙 ALOHA, S-ALOHA)

各站时间同步, 所有用户都与主时钟同步, 时隙 (slot) 的长度: 信息包长度 p = 一帧的长度 T_0 • 在每一个时隙的开始时才发送数据, 冲突后的重发策略与纯 ALOHA 的情况相似。• 帧能够发送成功条件是 没有其他帧在同一时隙内 A 达到 所以, 发送一个包成功的概率:

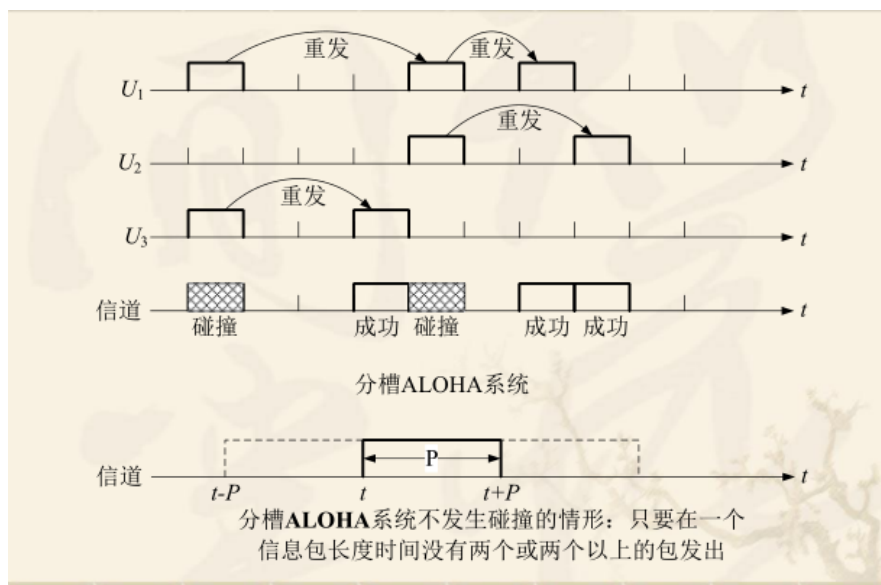


Figure 1.5:

$$p_0 = e^{-a} \quad (1.6)$$

碰撞的概率:

$$p = 1 - p_0 = 1 - e^{-a} \quad (1.7)$$

系统的通过量:

$$y = ae^{-a} \quad (1.8)$$

当 $a=1$ 时, $y_{\max}=0.368$, 通过量较纯 ALOHA 系统提高了一倍, 这种提高使以全网同步控制为代价而获得的。

1.2.1 两个系统的比较

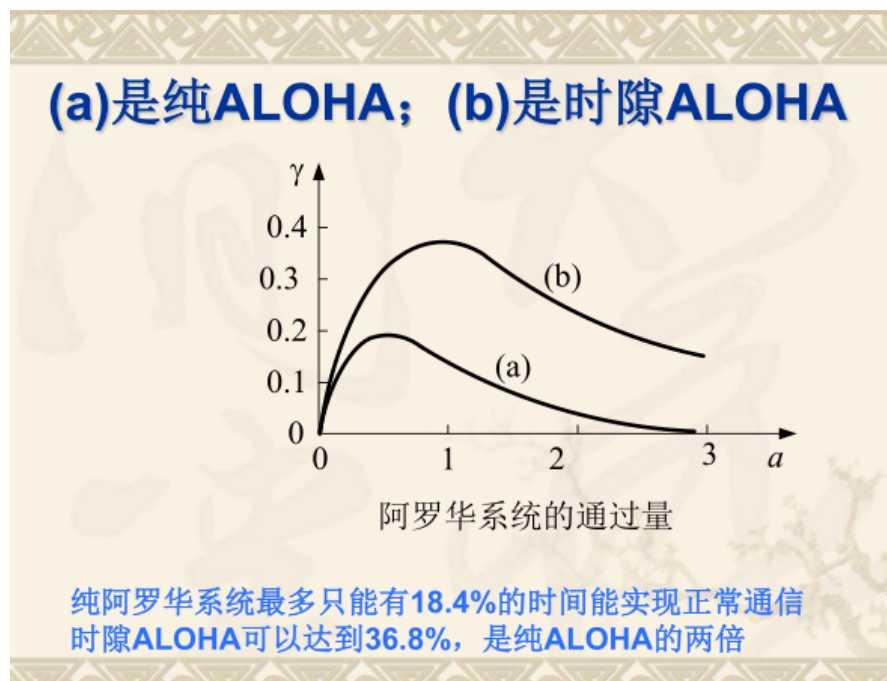


Figure 1.6:

1.2.2 碰撞重发的稳定性

$$p_r = \frac{(at)^r}{r!} e^{-at}$$

$P_{0\text{新}}$
 $\left(\begin{matrix} k \\ 1 \end{matrix} \right) P_{1\text{旧发}} \quad P_{(k-1)\text{个旧不发}}$

$$p(i|k) = \begin{cases} e^{-b} p(1-p)^{k-1} k & i = -1 \\ e^{-b} [1 - p(1-p)^{k-1} k] + b e^{-b} (1-p)^k & i = 0 \\ b e^{-b} [1 - (1-p)^k] & i = 1 \\ \frac{b^i}{i!} e^{-b} & i \geq 2 \end{cases}$$

$P_{1\text{新}}$
 $P_{0\text{旧}}$

Figure 1.7:

最后可得期望

$$E(i|k) = \sum_{i=-1}^{\infty} i p = b - e^{-b} (1-p)^{k-1} [b + (k-b)p]$$

经过求导，当 $p = \frac{1-b}{k-b}$ 时， $E = b - 0.368$ 。即， b 大于最大通过量时，系统不是稳定的。有效的控制策略时， k 相当大后，令 $b=0$ ，不让新包进入。

1.3 载波监听多址接入系统

波监听多址接入（载波监听多址接入（CSMA）是阿罗华系统的一）是阿罗华系统的一种改进形式，适用于延时较小的总线网。

总线网上每个用户节点都设有**载波监听**装置，以接收到载波与否来判断线路上的忙闲状态。用户只能在总线空闲时启动发送一个信息包

监听方式分类：

- 坚持监听 CSMA-P，监听装置一直连续在监听，一旦发现信道空闲就发出信息包（发现信道空闲就发出信息包（1- 坚持 CSMA）或者以）或者以一定概率发送信息包（一定概率发送信息包（P- 坚持 CSMA）。
- 非坚持监听 CSMA-NP，监听装置听到，监听装置听到忙状态后，停止监听，再过一个随机时间才再次监听，直到有空再发信息包。

1.3.1 传播时延对载波监听的影响

当某个站听到总线时空闲时，也可能总线并非真正时空闲的 CSMA-CD: 发送数据前监听信道，信道一旦空闲

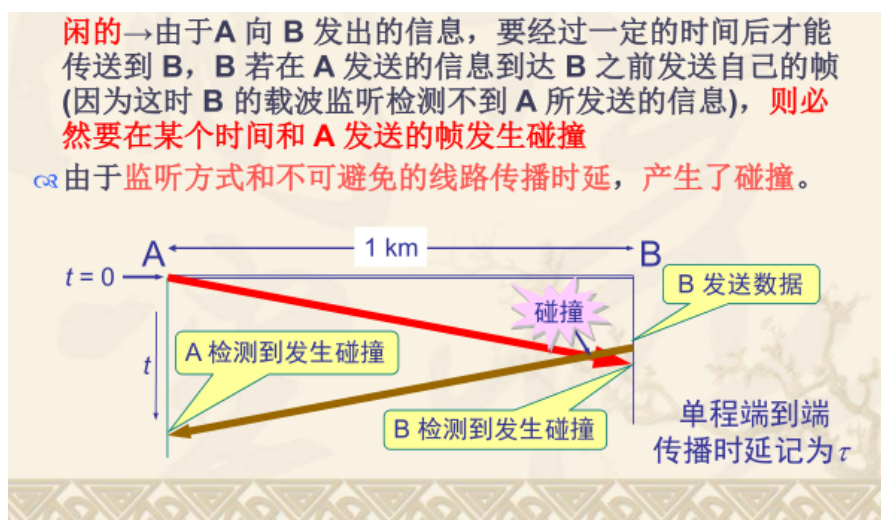


Figure 1.8:

立即发送数据，便发送数据边监听信道（进行冲突检测）。该方式为完全分散控制方式。

1.3.2 非坚持监听方式

特点：

1. 信道空闲，立即发送
2. 一旦忙期，等待随机时间 t 再监听
3. 碰撞主要由创博时延 ϵ 引起。

1.3.2.1 假设 ϵ 为 0，则发包必然成功。有：

- 假设忙期: $T_B = 1$ 。
- 监听率为 a （新包和旧包合起来的到达率为 a ），则平均空闲时长为 $T_I = \frac{1}{a}$ ，即两个包发送的间隔时间。
- 忙闲周期 $T_B + T_I = 1 + \frac{1}{a}$ ，在整个时间周期内只有一个包发送，则信道的利用率或通过率为 $r = \frac{1}{1 + \frac{1}{a}} = \frac{a}{1+a}$

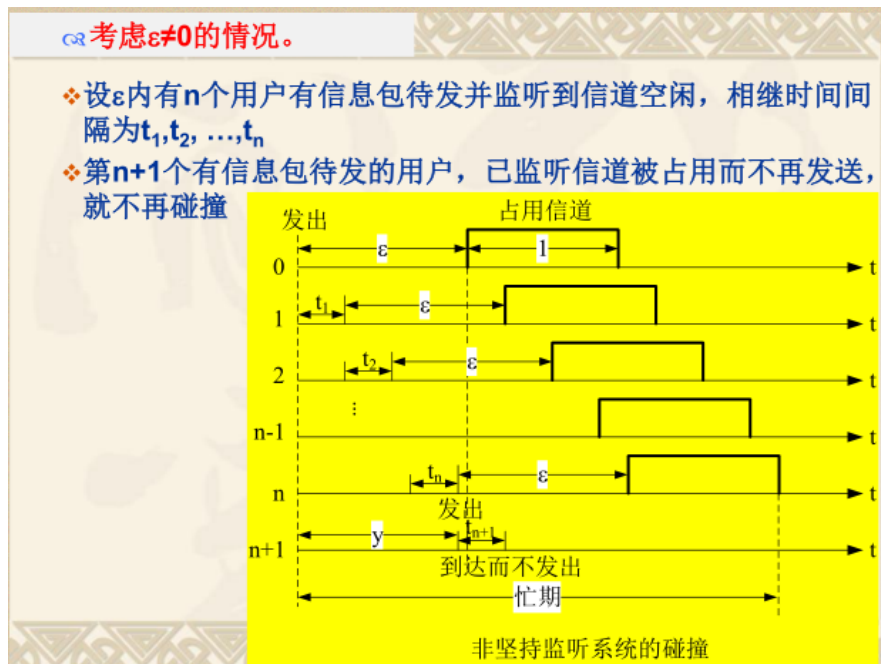


Figure 1.9:

1.3.2.2 假设 ϵ 不为 0。有：

满足：

$$y = t_1 + t_2 + \dots + t_n \quad (1.9)$$

$$y < \epsilon \quad (1.10)$$

$$y + t_{n+1} > \epsilon \quad (1.11)$$

y 的均值为

$$y = \epsilon - \frac{1}{a}(1 - e^{-\epsilon a}) \quad (1.12)$$

平均忙期为 $y + \epsilon + 1$. (最后一个包发送的时刻 + 时延 + 一个包的长度) 平均忙闲周期为

$$y + \epsilon + 1 + \frac{1}{a} \quad (1.13)$$

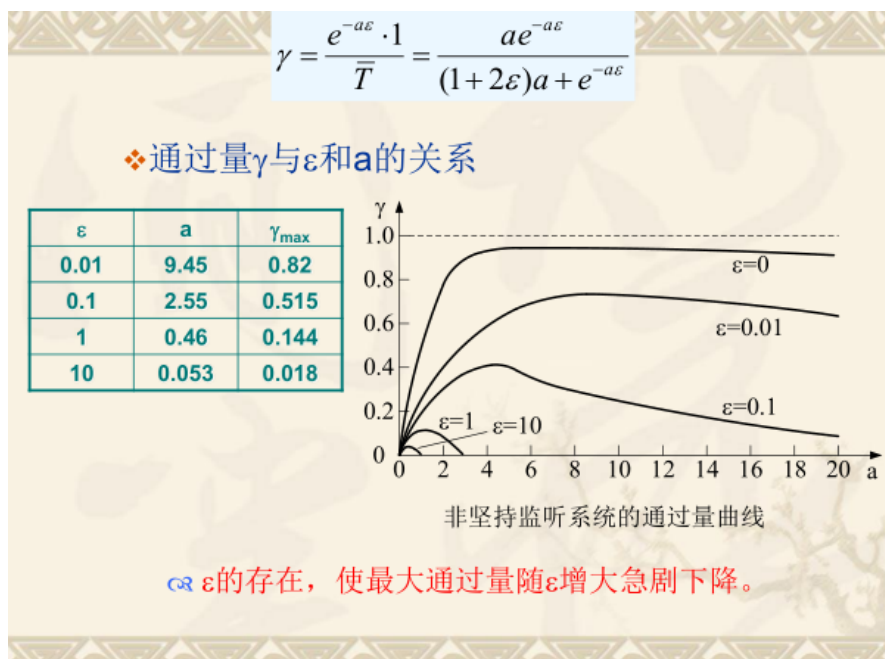


Figure 1.10:

1.3.3 坚持监听方式

此时用户一直监听信道的状态，监听到信道空闲，且有通信要求，就发送信息包。显然，若两个以上用户同时有新包待发，必发生碰撞。传播时延愈大，碰撞的机会愈大。

1.3.3.1 假设 ϵ 为 0 的情况

$$p_n = (1 - e^{-a})^{n-1} e^{-a} \quad (1.14)$$

前 $n-1$ 个信息包，有一个或一个以上待发，第 n 个信息包必无信息包待发。则，忙期的平均长度为：

$$T_B = \sum_{n=1}^{\infty} np_n = e^a \quad (1.15)$$

平均忙闲周期为：

$$T = T_I + T_B = \frac{1}{a} + e^a \quad (1.16)$$

每个信息包成功发送的概率：

$$p = \frac{ae^{-a}}{1 - e^{-a}} \quad (1.17)$$

分子时出现一个呼叫的概率，分母是出现呼叫的概率，但排除了不出现呼叫的情况。

一个忙期内平均成功的包数为：

$$1 + a \quad (1.18)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[1 + (n-1) \frac{ae^{-a}}{1-e^{-a}} \right] p_n = 1 + a$$

每个信息包成功的概率

一个忙期有n个信息包时长的概率

Figure 1.11:

通过量为:

$$y = \frac{1+a}{T} = \frac{a(1+a)}{1+ae^a} \quad (1.19)$$

当 $a=1.03$, $y_{\max} = 0.54$, 当 $a>1.03$ 时, 系统将不稳定。

1.3.3.2 假设 ϵ 不为 0 时

第一类时段 紧接在闲期后面的一个信息包并包括碰撞和延时这一段。当一个信息包发出后, ϵ 内无其它信息包代发, 这个信息包就发送成功, 其概率为

$$p_1 = e^{-a\epsilon} \quad (1.20)$$

。如果有其他包在 ϵ 这段时间到达, 则会发生碰撞。这种情况和非坚持监听一样, 其平均忙期时长为:

$$T_1 = y + 1 + \epsilon \quad (1.21)$$

第二类时段 紧接在第一类时段或第二类时段之后出现的忙期, 在第二类时段内首先发出的信息包成功的概率是起始的 ϵ 内无信息报, 而前段中后面的 $1+\epsilon$ 内有且只有一个信息包, 这概率为:

$$p_2 = e^{-a\epsilon} \frac{a(1+\epsilon)e^{-a(1+\epsilon)}}{1-e^{-a(1+\epsilon)}} \quad (1.22)$$

这两类时段内平均长度与 T_1 一样。即 $T_2 = T_1$

经过转移矩阵求得各状态概率 0,1,2。求出平均成功的发包数量, 最后推出通过量为

$$y = \frac{a(1+a+a\epsilon)e^{-a(1+2\epsilon)}}{e^{-a\epsilon} + e^{-a(1+\epsilon)} + a + 2a\epsilon - 1} \quad (1.23)$$

1.3.3.3 通过量 γ 与 ϵ 和 a 的关系

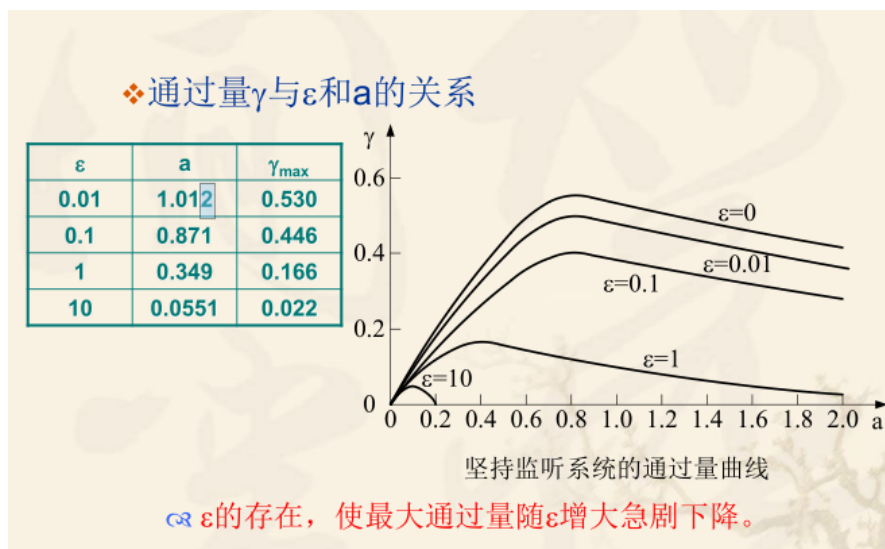


Figure 1.12:

1.3.4 监听检测方式

为了提高信道利用率，可采用碰撞检测。每当发出信息包后就检测是否与别的用户所发的信息包发生碰撞。一旦发现碰撞，立刻停止发送，以使信道不致无效地继续被占用。

闲期和之前相同。忙期有两类：重点，应该会考。

- 成功发送一个信息包，即一个信息包发出后，时延 ϵ 内无其他用户发出信息包，其概率为 $p_1 = e^{-a\epsilon}$ ，这类时段的长度为 $T_1 = 1 + \epsilon$ 。
- 有碰撞的情况，发送不成功。即在 ϵ 内有其他包发送。概率为 $p_2 = 1 - e^{-a\epsilon}$ ，这类时段的平均长度为 $T_2 = 2\epsilon + \bar{t}$ 。 \bar{t} 为第一、第二个信息包之间的间隔时间。

非坚持监听，忙期不会连续出现，一忙一闲构成一个周期。

$$T = T_0 + T_1 p_1 + T_2 p_2 \quad (1.24)$$

通过量：

$$\bar{T}_1 = 1 + \varepsilon \quad p_1 = e^{-a\varepsilon} \quad \bar{T}_2 = 2\varepsilon + \frac{[1 - (1 + a\varepsilon)e^{-a\varepsilon}]}{a} \quad p_2 = 1 - e^{-a\varepsilon}$$

$$\bar{T}_0 = 1/a$$

❖ 由于采用了非坚持监听，忙期不会连续出现，所以一忙一闲构成一个周期，平均周期长度为

$$\bar{T} = \bar{T}_0 + \bar{T}_1 p_1 + \bar{T}_2 p_2$$

$$= \frac{1}{a} [2(1 + \varepsilon a) - (2 - 2a\varepsilon - a)e^{-a\varepsilon} + (1 + a\varepsilon)e^{-2a\varepsilon}]$$

❖ 通过量为

$$\gamma = \frac{e^{-\varepsilon a} \cdot 1}{\bar{T}} = \frac{ae^{-\varepsilon a}}{2(1 + \varepsilon a) - (2 - 2a\varepsilon - a)e^{-a\varepsilon} + (1 + a\varepsilon)e^{-2a\varepsilon}}$$

Figure 1.13:

1.3.5 载波监听总结

- 随着时延增大，最大通过量急剧减小
- 从最大通过量来看，有碰撞检测的方式比没有的好。

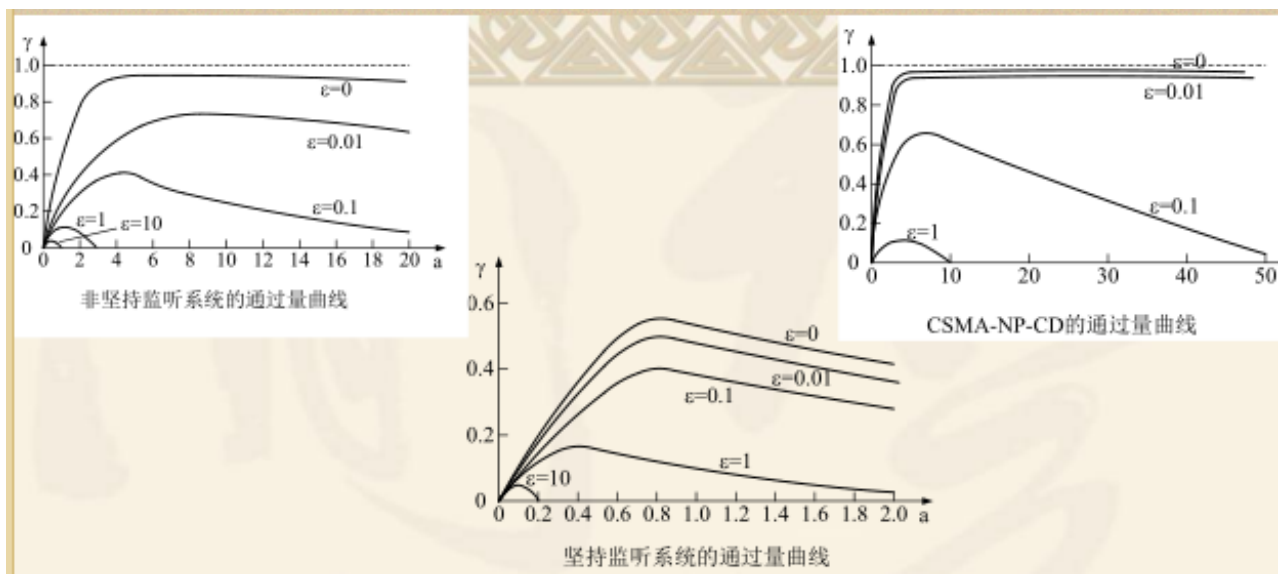


Figure 1.14:

1.4 轮询方式

询（轮询（Polling）方式是一种设有主站的集中控制、非竞争的方式询问方式分类：

- 依次轮询，可设置优先级。
- 传递轮询，不设置优先级，常用于环状网，子站收到后依次向后传递。

设 $b = P + 2\epsilon + E$, 有包发送的长度为 $1+b$, 无包发送的长度为 b 。通过量:

$$y = \frac{p}{b+p} \quad (1.25)$$

p 时每个子站有信息包发送的概率。
呼叫量与通过量的关系

$$a = -\frac{1-y}{b} \ln\left(1 - \frac{by}{1-y}\right) \quad (1.26)$$

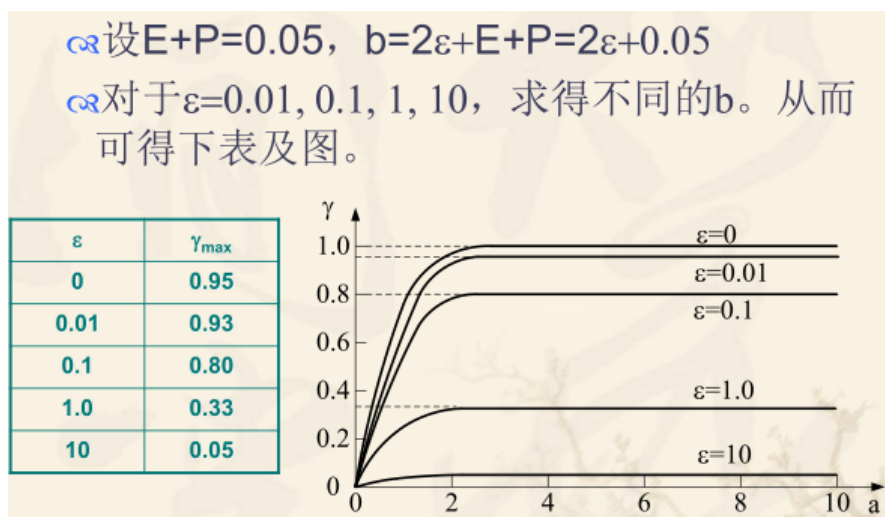


Figure 1.15:

1.5 各种多址系统的比较

1.5.1 通过量

当总呼叫率 a 很小的时候, 通过量的比较:

ALOHA $a(1-2a)$, 原 ae^{-2a}

S-ALOHA $a(1-a)$, 原 a^{-a}

CSMA-NP $a(1 - (1 + 2\epsilon)a)$

CSMA-P $a(1 - \epsilon a)$

CSMA-NP-CD $a(1 - \epsilon a)$

Polling $y = a(1 - \frac{b}{2}a)$

在 a 很小时, 上述各种方法具有基本上相同的通过量 a 。只有与 a^2 成比例的一些呼叫中, 未能利用信道

- 阿罗华中, 这一部分是由碰撞引起的。
- 载波监听中, 除碰撞还有监听到信道被占用而放弃传送的。
- 在轮询方式中, 由控制信令 P 和结束符 E 以及时延占用所致。

考察各项性能: (在 a 较小时)

- 时延较小时, CSMA-P 和 CSMA-NP-CD, 性能最好。轮询中有 P 和 E , 所以不算很好。
- 时延较大, 以 S-ALOHA 最好, 因为它与 ϵ 无关。

这样看来， a 较小时轮询方式并不是最优的，也就是从效果来看，碰撞的存在，并不是一个问题。 $a \rightarrow \infty$ 时。

- 所有有竞争的方式，只要有时延存在，都将使通过量趋于零。
- 对于中央空 hi 的非竞争型的轮询方式，则将达到最大通过量。

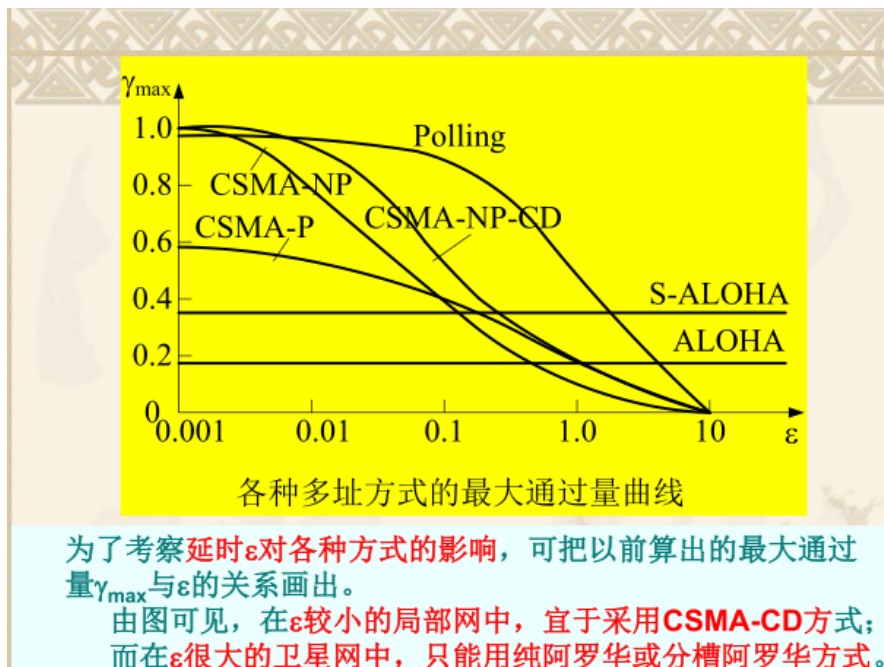


Figure 1.16:

1.5.2 等待时间比较

1.5.2.1 轮询

轮询方式 $T = \bar{n}(1+b) + (N - \bar{n})b = Nb + \bar{n} = Nb + Np$

$$\gamma = \frac{\bar{n}}{T} = \frac{\bar{n}}{Nb + \bar{n}} = \frac{pN}{Nb + pN} = \frac{p}{b + p}$$

$$p = \frac{b\gamma}{1 - \gamma}$$

❖ 一个信息包进入某一子站有2种极端情况：一是刚在询问到本站时已有一个信息准备好，就可立即发送；另一种情况是刚询问后应答为无信息包后，就有一个信息包到达，这就要等一个周期 T 。平均而言，平均等待时间为

$$\bar{w} = \frac{\bar{T}}{2} = \frac{N}{2}(b + p) = \frac{N}{2}\left(b + \frac{b\gamma}{1 - \gamma}\right) = \frac{Nb}{2(1 - \gamma)}$$

采用轮询方式时，子站数 N 不能很大。

Figure 1.17:

1.5.2.2 竞争型

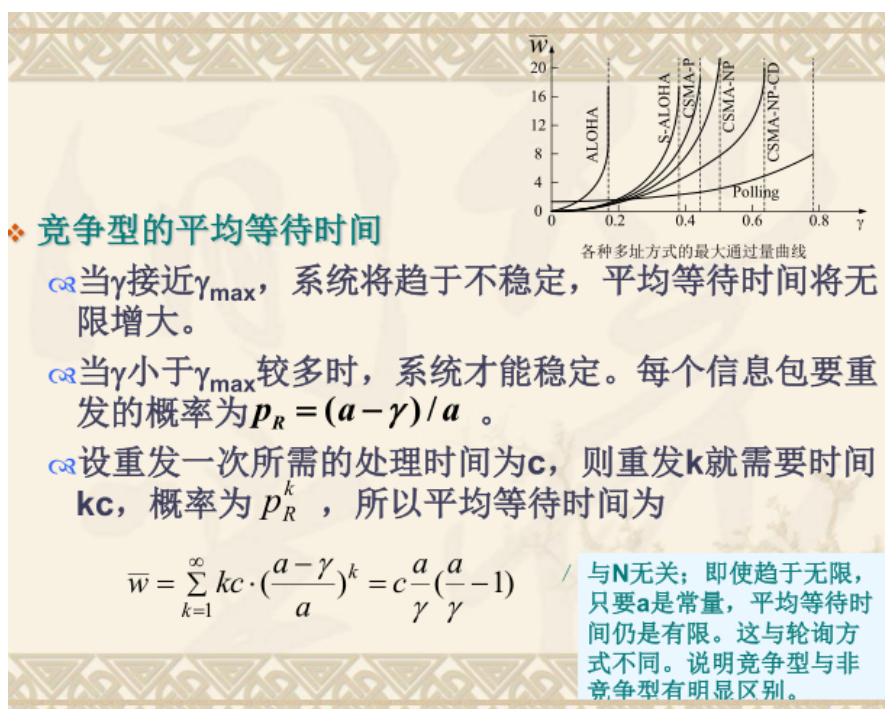


Figure 1.18:

上述表明，碰撞并不十分可怕，非竞争型并不一定好。各种方式各有适用环境