


XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

# 数据通信与计算机网络

## 信道共享技术



XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

## 主要内容与基本要求

**主要内容**

- > 信道共享技术的基本概念，受控接入与随机接入；
- > ALOHA、时隙ALOHA的工作原理及性能分析；
- > CSMA的基本原理，CSMA/CD的工作原理及性能分析。

**基本要求**

- > 理解信道共享技术的基本概念；
- > 了解受控接入的基本思想；
- > 掌握ALOHA、时隙ALOHA的工作原理及基本性能分析方法；
- > 理解各种CSMA的不同的监听策略及其优缺点。
- > 掌握CSMA/CD的工作原理及基本性能分析方法。

2011-8-31 《数据通信与计算机网络》——信道共享技术 2

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

## 本章目录

- A.1 信道共享技术的基本概念 
- A.2 受控多点接入：轮询 
- A.3 随机接入技术：ALOHA 
- A.4 随机接入技术：CSMA 
- A.5 随机接入技术：CSMA/CD 

2011-8-31 《数据通信与计算机网络》——信道共享技术 3

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

## A.1 信道共享技术的基本概念

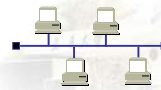
我们前面讨论的数据链路层其实是数据链路层的一个子层，逻辑链路控制子层。它可以直接用于点对点的链路传输。如果使用的是广播信道，那么数据如何发往物理链路呢？比如，什么时候才可以把数据发到链路上？这就是信道共享技术要解决的问题。

绝大多数局域网使用的都是广播信道。局域网重点考虑的就是如何让众多用户合理而方便的共享通信媒体资源。

日常生活中常见的信道共享的例子就是召开会议。主要的召开会议的方式有：

- (1) 固定分配发言时间，如学术会议、年终总结会等；
- (2) 由主席管理发言。如听证会、辩论会；
- (3) 不设会议主席，随机发言。如讨论会。

信道共享技术的基本思想大都与此类似。



2011-8-31 《数据通信与计算机网络》——信道共享技术 4

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

## A.1 信道共享技术的基本概念

信道共享技术主要可以分为**静态分配**和**动态分配**两大类。

**静态分配**适用于用户数大致固定且通信量较大的情况。它的主要问题在于，不够灵活，不能适应拓扑、用户量等变化。因此不适合用户数多且经常变化或通信量具有突发性的情况。典型的静态分配有**时分复用**、**频分复用**及**码分复用**等。

**动态分配**又可以分为**受控多点接入**和**随机多点接入**两大类。受控接入是指用户接入信道要受到预先设定的控者或规则的控制。典型的受控接入技术包括**轮询**和**传递轮询**。随机接入是指各站点通过随机争用的方式接入信道。主要的随机接入技术有ALOHA, CSMA, 和CSMA/CD。

我们讨论的重点是随机接入技术。

计算机网络中信道共享技术的设计原则是**公平**和**效率**。对协议性能的分析主要围绕**吞吐量**和**时延**两个指标来讨论。

2011-8-31 《数据通信与计算机网络》——信道共享技术 5

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

## A.2 受控多点接入：轮询

受控接入的特点是用户不能随机地发送信息而必须服从一定的控制，这种控制可以是集中式的或分散式的。

集中式控制的代表是**轮叫轮询**。

轮叫轮询由主机负责按顺序轮流查询各站，问有无数据要发送。优点是接入受控，不会冲突。缺点是轮询帧在链路上不停地往返，当链路距离较长时开销较大，增加了帧的等待时延。

分散式控制的代表是**传递轮询**。

传递轮询是由各站共同维护一个令牌，获得令牌的站得到信道的控制权，可以发送数据。优点是减少了轮询帧的传输时间，帧平均等待时延比轮叫轮询小，站距离越大效果越好。代价是要维护令牌。

两种轮询的性能分析从略。

2011-8-31 《数据通信与计算机网络》——信道共享技术 6

### A.3 随机接入技术：ALOHA

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

ALOHA: Additive Link On-line Hawaii System, 即加性链路在线夏威夷系统, 是随机接入技术的基础。

当网络通信量较小时, 各站基本上没有什么数据要发送。若使用轮询, 轮询的信息不停地在多点链路上来传去, 工作效率低。实际上, 在通信量较小时, 让各站自由地发送数据产生冲突的概率并不大, 只要协议处理好冲突的问题就可以了。这样的方式称为随机接入。

**1. 纯ALOHA**

纯ALOHA的工作原理 Demo

为分析简单, 设所有站发送的帧都是定长的, 且用发送时间而不是比特数来表示。

要点: 每个站自由地发送数据帧, 若出现冲突, 各站等待一段随机的时间再重发, 直到成功为止。

2011-8-31 《数据通信与计算机网络》——信道共享技术 7

### A.3 随机接入技术：ALOHA

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

**纯ALOHA的性能分析**

首先引入两个参数吞吐量和网络负载。

吞吐量  $S$ , 又称吞吐率, 等于在帧的发送时间  $T_0$  内成功发送的平均帧数。显然,  $0 \leq S \leq 1$ 。

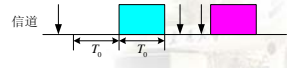
网络负载  $G$ , 等于在  $T_0$  内总共发送的平均帧数。显然,  $G \geq S$ 。

在稳定状态下, 吞吐量和网络负载之间的关系为:

$$S = G \cdot P[\text{发送成功}] \tag{A-1}$$

一个帧发送成功的条件为: 在该帧开始发送时刻之前和之后各  $T_0$  的时间内, 没有其它的帧开始发送。

假设帧的到达服从泊松分布。



2011-8-31 《数据通信与计算机网络》——信道共享技术 8

### A.3 随机接入技术：ALOHA

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

对于一个平均到达率为  $\lambda$  的泊松分布,  $T$  秒内到达  $k$  个报文的概率为:

$$P(T, k) = \frac{(\lambda T)^k e^{-\lambda T}}{k!}, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

对纯ALOHA, 泊松分布的平均到达率为  $\lambda = G/T_0$ 。

所以  $P[\text{发送成功}] = P(2T_0, 0) = e^{-2G}$

于是可以得到纯ALOHA的吞吐量与网络负载之间的关系为:

$$S = Ge^{-2G} \tag{A-2}$$

另一种推导方法是: 泊松分布的到达时间间隔服从负指数分布, 其概率密度函数为  $\lambda e^{-\lambda t}$ , 而发送成功的概率就等于到达时间间隔大于  $2T_0$  的概率, 所以有:

$$P[\text{发送成功}] = \int_{2T_0}^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt = e^{-2G}$$

2011-8-31 《数据通信与计算机网络》——信道共享技术 9

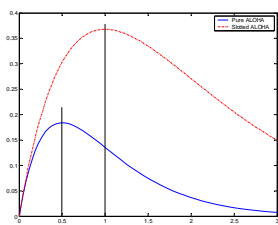
### A.3 随机接入技术：ALOHA

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

所以, 吞吐量与网络负载的关系曲线如图所示。

当网络负载等于0.5时, 可以得到最大吞吐量为0.184。

注意: 纯ALOHA系统有一个稳定工作区。



2011-8-31 《数据通信与计算机网络》——信道共享技术 10

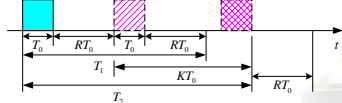
### A.3 随机接入技术：ALOHA

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

**帧平均时延**

假设发完一帧后, 要经过  $RT_0$  才能收到确认信息; 从决定重发到重发完成的时间为  $kT_0$ , 其中  $1 \leq k \leq K$ ; 重发完后需  $RT_0$  才能收到确认信息。

根据假设, 有: 一次成功发送的时间为  $(1+R)T_0$ ; 重发一次的平均时间为  $((K+1)/2 + R)T_0$ 。如果平均重发次数为  $N_R$ , 则可得成功发送一个帧总共需要的平均时间为:

$$D = T_0 [1 + R + N_R ((K+1)/2 + R)] \tag{A-3}$$


2011-8-31 《数据通信与计算机网络》——信道共享技术 11

### A.3 随机接入技术：ALOHA

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

下面我们计算平均重发次数  $N_R$ , 我们假设帧的到达 (包括冲突重发) 服从泊松分布。显然, 这要求  $K$  较大, 当大于5时就基本满足要求了。

在此条件下, 我们可得到:

发送成功的概率为  $e^{-2G}$ , 而不成功的概率为  $1 - e^{-2G}$ , 所以平均重发次数为:

$$N_R = \sum_{i=1}^{\infty} i (1 - e^{-2G})^i e^{-2G} = e^{2G} - 1$$

**2. 时隙ALOHA (S-ALOHA)**

纯ALOHA的吞吐量最大只有0.184。为了提高吞吐量, 需要降低冲突的概率。通过给信道划分时隙可以降低冲突概率的要求, 付出的代价就是要把各站在时间上同步起来。

2011-8-31 《数据通信与计算机网络》——信道共享技术 12

### A.3 随机接入技术：ALOHA

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

**工作原理**

把信道在时间上划分成等长的时隙，时隙长度等于帧的发送时间 $T_0$ ，帧到达各站后，不能立即发送，必须等到一个时隙的开始时才能发送。其它如冲突后的重发策略与纯ALOHA类似。

**性能分析**

显然，S-ALOHA发送成功的条件是，两个帧到达时间间隔大于 $T_0$ ，与纯ALOHA比降低了冲突概率。

所以，吞吐量为：

$$S = G \cdot P[\text{发送成功}]$$

$$= G \int_0^\infty \lambda e^{-\lambda t} dt \Big|_{\lambda=G/T_0}$$

$$= Ge^{-G}$$

《数据通信与计算机网络》——信道共享技术

### A.3 随机接入技术：ALOHA

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

通过求导可以得到，当网络负载等于1时，S-ALOHA的吞吐量取得最大值0.368。同时，它的不稳定工作区位于网络负载大于1的区域。与纯ALOHA比，这两方面的性能都得到了提高。

发送一帧的平均时间（帧平均时延），与纯ALOHA相似，只是从帧到达到发送平均需要多等一段 $T_0/2$ 的时间，所以

$$D = T_0 [1.5 + R + N_R ((K+1)/2 + R + 0.5)]$$

同样，可求得帧的平均重发次数为：

$$N_R = \sum_{i=1}^{\infty} i (1 - e^{-G})^i e^{-G} = e^G - 1$$

当吞吐量较小时，纯ALOHA的帧平均等待时间小于S-ALOHA，但随着吞吐量的增大，纯ALOHA的帧平均等待时间会急剧上升，而S-ALOHA可以在更高的吞吐量下工作。

《数据通信与计算机网络》——信道共享技术

### A.3 随机接入技术：ALOHA

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

泊松分布的近似条件。泊松分布的条件是站数很大，每个站的发送帧的概率很小，那么站数达到多少个时，能满足泊松分布的近似条件呢？

以时隙ALOHA为例，通过推导可以得到，有限站数的吞吐量为

$$S = G(1 - G/N)^{N-1} \quad (A-4)$$

当站数趋于无穷时，可得

$$S = Ge^{-G}$$

这就是前面根据泊松分布假设推导出的公式。对(A-4)求极值，得

$$S_{\max} = (1 - 1/N)^{N-1}$$

当有20个站时，吞吐量的最大值为0.377，已经相当接近0.368了。

**轮询与两种ALOHA的比较**

通信量小时，ALOHA的时延小。通信量大时轮询稳定，ALOHA不稳定。

《数据通信与计算机网络》——信道共享技术

### A.4 随机接入技术：CSMA

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

**载波监听多点接入 (Carrier Sense Multiple Access, CSMA)** 是对ALOHA技术的进一步改进。

在ALOHA中，各站要发送数据帧时，不考虑信道当前的状态，即不管信道是忙还是闲，就马上发送数据帧，这存在严重的盲目性。所以ALOHA的吞吐量很低。（开会发言，如果有人正在发言，等别人讲完）

CSMA就是在发送前先监听信道，确定信道是否空闲，再根据信道的情况决定是否发送。当然，代价是要增加载波监听装置。

根据监听策略的不同，CSMA可以分为以下三种类型：

- (1) 非坚持CSMA (Non-persistent)
- (2) 1-坚持CSMA (1-persistent)
- (3) p-坚持CSMA (p-persistent)

《数据通信与计算机网络》——信道共享技术

### A.4 随机接入技术：CSMA

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

《数据通信与计算机网络》——信道共享技术

### A.4 随机接入技术：CSMA

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

三种CSMA策略的特点如下：

**非坚持**一旦听到信道忙，就随机延时一段时间再重新监听。很可能在重新监听前，信道已经空闲了。不能充分利用信道的空闲时间，影响了信道利用率。在通信量不大时，平均时延较大。

**1-坚持**，如果信道忙坚持监听，而一旦听到信道空闲就马上发送数据，可以充分利用信道的空闲时间。但当通信量较大时，若两个以上的站同时监听信道，那么就必然会发生冲突，反而不利于吞吐量的提高。

**p-坚持**在一定程度上可以克服1-坚持的缺点。但p的选择和通信量有关，而通信量通常是变化的，如何选择合适的p较为困难。

由于传播时延的存在，CSMA不能彻底解决碰撞。即便如此，由于有了载波监听功能，在相当程度上减少了发送的盲目性。性能比ALOHA好。

与ALOHA一样，CSMA也可以分时隙。

《数据通信与计算机网络》——信道共享技术

### A.5 随机接入技术：CSMA/CD

**载波监听多点接入/碰撞检测 (CSMA with Collision Detection)。**

CSMA通过在发送前监听信道，降低了冲突的概率。但由于传播时延的存在，冲突还是不可避免的。然而，CSMA一旦开始发送，就不管是否发生冲突（或碰撞）都坚持把要发送的数据帧发完。所以只要发生冲突，信道就被浪费一段时间  $T_0 + \tau$ 。帧长越大，浪费越严重。

为了减小这种浪费，CSMA/CD在CSMA的基础上增加了碰撞检测功能，即在发送数据帧的同时，继续监听信道，如果监听到发生冲突，则冲突的双方必须停止发送，从而使信道很快空闲下来，提高了信道利用率。

**冲突检测的方法：**信号电平法；编码规则法；逐比特比较法。

在实际的网络中，当检测到冲突后，除立即停止发送外，还通过发送若干比特的人为干扰（jamming signal）强化冲突，以便让所有用户都知道发生了冲突。

2011-8-31      《数据通信与计算机网络》——信道共享技术      19

### A.5 随机接入技术：CSMA/CD

**争用期 (contention period)**，由于传播时延的存在，每个站发送数据刚开始的一个很短的时间内，仍有可能发生冲突。我们将这段可能发生冲突的时间间隔称为争用期。

总线争用期等于  $T_B + T_J + \tau$ ，而  $\tau \leq T_B \leq 2\tau$ ，所以

$$2\tau + T_J \leq \text{争用期} \leq 3\tau + T_J$$

争用期越是小于一个帧的发送时间，CSMA/CD的优越性就越显著。相反，对时延较大的卫星信道，其争用期可能比帧的发送时间还长，故CSMA/CD不适用于卫星信道。

2011-8-31      《数据通信与计算机网络》——信道共享技术      20

### A.5 随机接入技术：CSMA/CD

与CSMA一样，CSMA/CD也可以分为时隙的和非时隙的，而且每一种也可再分为非坚持、p坚持和1坚持三种情况。实际网络中（如应用最广的以太网）使用的就是1坚持CSMA/CD。

为了保证系统的稳定性，以太网采用了**截断二进制指数类型退避算法**（truncated binary exponential type backoff algorithm）决定重发帧所需的时延。

在需要重发时，该算法从离散整数集合  $[0, 1, \dots, 2^k - 1]$  中随机取一个数，用  $r$  表示，其中  $k = \min[\text{重发次数}, 10]$ 。重发所需时延就是  $r$  倍的基本退避时间（事先约定，如  $2\tau$ ）。重发16次不成功，丢弃该帧，并向高层报告。这种算法，时延随重发次数增大，故称动态退避。即使采用1坚持策略，整个系统也是稳定的。

二进制对数仲裁法BLAM (Binary Logarithmic Arbitration Method)。

2011-8-31      《数据通信与计算机网络》——信道共享技术      21

### A.5 随机接入技术：CSMA/CD

**Fig. 4-4. Comparison of the channel utilization versus load for various random access protocols.**

2011-8-31      《数据通信与计算机网络》——信道共享技术      22

### A.5 随机接入技术：CSMA/CD

参数  $a = \tau/T_0$  称为归一化传播时延，对这三种协议的性能影响很大。归一化传播时延远小于1时，CSMA/CD最好，CSMA其次，ALOHA最差；随着  $a$  的增大，CSMA和CSMA/CD变坏，当在0.5和1之间时，三者差不多。

要让  $a$  小，缩短总线长度，增加帧长或者降低发送速率。

**网络最大吞吐量**

设不发送干扰信号，争用期可能的最小值  $2\tau$ 。一个帧从开始发送，经过  $N_R$  个争用期，到发送成功且信道空闲为止，共需的平均发送时间为：

$$T_{AV} = 2\tau N_R + T_0 + \tau$$

设网络中共有  $N$  个站，每个站发送的概率  $P$ 。则某个站发送成功的概率  $A$  为

$$A = Np(1-p)^{N-1} \tag{A-5}$$

2011-8-31      《数据通信与计算机网络》——信道共享技术      23

### A.5 随机接入技术：CSMA/CD

一个争用期出现的概率为  $1-A$ ，所以出现  $j$  个争用期的概率为  $(1-A)^j A$

因此，平均争用期个数为

$$N_R = \sum_{j=0}^{\infty} j(1-A)^j A = (1-A)/A$$

网络归一化吞吐量

$$S = \frac{T_0}{T_{AV}} = \frac{T_0}{2\tau N_R + T_0 + \tau} = \frac{1}{1+a(2A^{-1}-1)} \tag{A-6}$$

若  $A$  最大，则可获得最大吞吐量。由(A-5)可求得  $A_{\max} = e^{-1} \approx 0.368$

$$S_{\max} = \frac{1}{1+4.44a}$$

2011-8-31      《数据通信与计算机网络》——信道共享技术      24