

## 1、引言

在 LAN 中，站点检测其他站点在干什么，从而相应的调整自己的动作。网路站点侦听载波是否存在并执行相应动作的协议，被称为载波侦听协议。在有线以太网中所使用的 MAC 方法是带冲突检测的载波侦听多路访问 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)。CSMA/CD 协议是对 ALOHA 协议的改进，它确保网络节点在侦听信道忙时不会有新站点同时发送数据，而在无线局域网中使用的 MAC 协议是带冲突避免的载波侦听多路访问 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)。

载波侦听多路接入方法又称为“先听后说”方法。它是 ALOHA 协议的一种改进型。其基本思想是：每个站在发送数据前，先侦听信道上有无其它站正在发送信息。如果信道空闲，则发送数据；否则(信道忙)暂不发送，退避一段时间后再次尝试。

CSMA 是载波检测(侦听)多路访问.它检测其他站的活动情况,据此调整自己的行为.分为以下几类:

1、持续 CSMA(1-persistent CSMA): 当信道忙或发生冲突时,要发送帧的站,不断持续侦听,一有空闲,便可发送. 其中,长的传播延迟和同时发送帧,会导致多次冲突,降低系统性能.

2、非持续 CSMA: 它并不持续侦听信道,而是在冲突时,等待随机的一段时间. 它有更好的信道利用率,但导致更长延迟.

3、p-持续 CSMA: 它应用于分槽信道,按照 P 概率发送帧。即信道空闲时,这个时槽,欲发送的站 P 概率发送,Q=1-P 概率不发送,若不发送,下一时间槽仍空闲,同理进行发送,若信道忙,则等待下一时槽,若冲突,则等待随机的一段时间,重新开始。

以上都是对 ALOHA 的改进。当信道忙时,所有站都不传输帧。IEEE 802.3 以太网 CSMA/CD 所采用的是 1-坚持退避 CSMA/CD。在无线局域网 IEEE802.11 标准中 MAC 层采用 CSMA/CA。

## 2、CSMA/CD 协议简介

### 2.1、CSMA/CD 概述

在以太网中，所有的节点共享传输介质。如何保证传输介质有序、高效地为许多节点提供传输服务，就是以太网的介质访问控制协议要解决的问题。

CSMA/CD（Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect）即载波监听、多路访问/冲突检测方法。

CSMA/CD 是一种争用型的介质访问控制协议。它起源于美国夏威夷大学开发的 ALOHA 网所采用的争用型协议，并进行了改进，使之具有比 ALOHA 协议更高的介质利用率。另一个改进是，对于每一个站而言，一旦它检测到有冲突，它就放弃它当前的传送任务。换句话说，如果两个站都检测到信道是空闲的，并且同时开始传送数据，则它们几乎立刻就会检测到有冲突发生。它们不应该再继续传送它们的帧，因为这样只会产生垃圾而已；相反一旦检测到冲突之后，它们应该立即停止传送数据。快速地终止被损坏的帧可以节省时间和带宽。

CSMA/CD 控制方式的优点是：

原理比较简单，技术上易实现，网络中各工作站处于平等地位，不需集中控制，不提供优先级控制。但在网络负载增大时，发送时间增长，发送效率急剧下降。

### 2.2、CSMA/CD 的原理以及控制规程

CSMA/CD 应用在 OSI 参考模型的数据链路层

它的工作原理是：发送数据前 先监听信道是否空闲，若空闲则立即发送数据。在发送数据时，边发送边继续监听。若监听到冲突，则立即停止发送数据。等待一段随即时间，再重新尝试。

CSMA/CD 控制规程：规程控制规程的核心问题：解决在公共通道上以广播方式传送数据中可能出现的问题（主要是数据碰撞问题）

控制过程包含四个处理内容：侦听、发送、检测、冲突处理

(1) 侦听：

通过专门的检测机构，在站点准备发送前先侦听一下总线上是否有数据正在传送（线路是否忙）？

若“忙”则进入后述的“退避”处理程序，进而进一步反复进行侦听工作。

若“闲”，则按照一定算法原则（“X 坚持”算法）决定如何发送。

(2) 发送：

当确定要发送后，通过发送机构，向总线发送数据。

(3) 检测：

数据发送后，也可能发生数据碰撞。因此，要对数据边发送，边接收，以判断是否冲突了。

(4) 冲突处理：

当确认发生冲突后，进入冲突处理程序。有两种冲突情况：

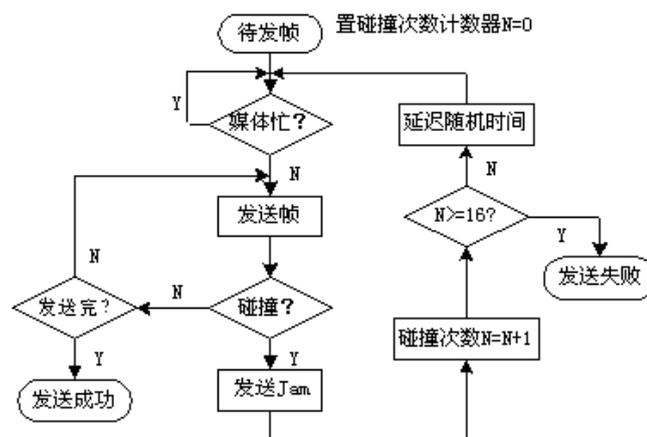
① 侦听中发现线路忙

若在侦听中发现线路忙，则等待一个延时后再次侦听，若仍然忙，则继续延迟等待，一直到可以发送为止。每次延时的时间不一致，由退避算法确定延时值。

② 发送过程中发现数据碰撞

若发送过程中发现数据碰撞，先发送阻塞信息，强化冲突，再进行侦听工作，以待下次重新发送（方法同①）。

(5) 控制流程图（如下）



#### (6) CSMA 控制规程的特征

- ① 简单
- ② 具有广播功能
- ③ 平均带宽： $f = F / n$
- ④ 绝对平等，无优先级
- ⑤ 低负荷高效，高负荷低效
- ⑥ 延时时间不可预测
- ⑦ 传输速率与传输距离为一定值

### 2.3、CSMA/CD 的退避算法

上述两种冲突情况都会涉及一个共同算法——退避算法。

退避算法：当出现线路冲突时，如果冲突的各站点都采用同样的退避间隔时间，则很容易产生二次、三次的碰撞。因此，要求各个站点的退避间隔时间具有差异性。这要求通过退避算法来实现。

截断的二进制指数退避算法（退避算法之一）：

截断二进制指数退避算法并不复杂。这种算法让发生碰撞的站在停止发送数据后，不是等待信道变为空闲后就立即再发送数据，而是推迟一个随机的时间。这样做是为了使重传时再次发生冲突的概率减少。具体的退避算法如下：

a、确定基本退避时间，它就是争用期  $2t$ 。以太网取值为争用期  $51.2\mu s$ 。

对于  $10\text{Mb/s}$  的以太网，在争用期内可以发送  $512\text{bit}$ ，即  $64$  个字节。也可以说争用期是  $512$  比特时间。1 比特时间就是发送 1 比特所需要的时间。所以这种时间单位与数据率密切相关。

b、从离散的整数集合  $[0, 1, \dots, (2^k - 1)]$  中随机取一个数，记为  $r$ 。重传应该推后的时间是  $r$  倍的争用期。上面的参数  $k$  按下面的公式计算：

$$k = \text{Min}[\text{重传次数}, 10]$$

可见当重传的次数不超过 10 时，参数  $k$  等于重传的次数；但是当重传的次数超过 10 时， $k$  就不再增大而一直等于 10。

c、当重传达 16 次仍然不能够成功时（这表明同时打算发送数据的站太多，以致连续发生冲突），则丢弃该帧，并向高层报告。

例如：在第一次重传时， $k=1$ ，随机数  $r$  从整数  $[0, 1]$  中选一个数。因此重传的站可选择的重传推迟时间是 0 或者  $2t$  在这两个时间中随机选择一个。

若再次发生碰撞，则在第二次重传时， $k=2$ ，随机数  $r$  就从整数  $\{0, 1, 2, 3\}$  中选一个数。因此，重传推迟时间是在 0,  $2t$ ,  $4t$  和  $6t$  这 4 个时间中随机地选取一个。

若连续多次发生冲突，就表明可能有较多的站参与争用信道。但使用上述退避算法可使重传需要推迟到平均时间随重传的次数而增大（也称为动态退避），因而减少发生碰撞的概率，有利于整个系统的稳定。

### 3、CSMA/CA 协议简介

#### 3.1、CSMA/CA 概述

无线局域网标准 802.11 的 MAC 和 802.3 协议的 MAC 非常相似，都是在一个共享媒体之上支持多个用户共享资源，由发送者在发送数据前先进行网络的可用性检测。在 802.3 协议中，是由一种称为 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)的协议来完成调节，这个协议解决了在 Ethernet 上的各个工作站如何在线缆上进行传输的问题，利用它检测和避免当两个或两个以上的网络设备需要进行数据传送时网络上的冲突。在 802.11 无线局域网协议中，冲突的检测存在一定的问题，这个问题称为"Near/Far"现象，这是由于要检测冲突，设备必须能够一边接受数据信号一边传送数据信号，而这在无线系统中是无法办到的。

鉴于这个差异，在 802.11 中对 CSMA/CD 进行了一些调整，采用了新的协议 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)或者

DCF(Distributed Coordination Function)。 CSMA/CA 利用 ACK 信号来避免冲突的发生，也就是说，只有当客户端收到网络上返回的 ACK 信号后才确认送出的数据已经正确到达目的地址。

### 3.2、CSMA/CA 工作原理及控制规程

载波侦听多路访问 / 冲突避免 (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA)。此种方案采用主动避免碰撞而非被动侦测的方式来解决冲突问题。可以满足那些不易准确侦测是否有冲突发生的需求，如无线局域网。

CSMA/CA 协议主要使用两种方法来避免碰撞：

a、设备欲发送帧，且侦听到信道空闲时，维持一段时间后，再等待一段随机的时间依然空闲时，才送出资料。由于各个设备的等待时间是分别随机产生的，因此很大可能有所区别，由此可以减少冲突的可能性。

b、RTS-CTS 握手 (handshake)：设备欲发送帧前，先发送一个很小的 RTS (Request to Send) 帧给目标端，等待目标端回应 CTS (Clear to Send) 帧后，才开始传送。此方式可以确保接下来传送资料时，不会发生冲突。同时由于 RTS 帧与 CTS 帧都很小，让传送的无效开销变小。此方案应用于，无线局域网的 IEEE 802.11 标准。

CSMA/CA 通过这两种方式来提供无线的共享访问，这种显式的 ACK 机制在处理无线问题时非常有效。然而不管是对于 802.11 还是 802.3 来说，这种方式都增加了额外的负担，所以 802.11 网络和类似的 Ethernet 网比较总是在性能上稍逊一筹。

**RTS-CTS 握手 (handshake)** 实际上就是在发送数据帧之前先对信道进行**预约**。下面为了方便解释这种技术的主要原理请大家先看图 1-1。

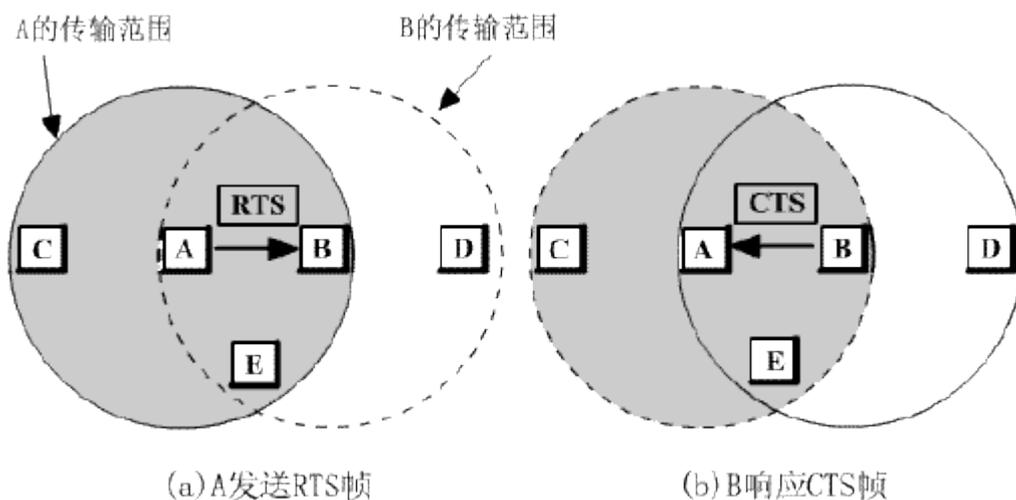


图 2-1 CSMA / CA 协议中的 RTS 和 CTS 帧

① 在图 2-1 中：

- 站 B、站 C、站 E 在站 A 的无线信号覆盖的范围内。而站 D 不在其内。
- 站 A、站 E、站 D 在站 B 的无线信号覆盖的范围内，但站 C 不在其内。

② 如果站 A 要向站 B 发送数据，那么，站 A 在发送数据帧之前，要先向站 B 发送一个请求发送帧 RTS(Request To Send)。在 RTS 帧中已说明将要发送的数据帧的长度。站 B 收到 RTS 帧后就向站 A 回应一个允许发送帧 CTS(Clear To Send)。在 CTS 帧中也附上 A 欲发送的数据帧的长度(从 RTS 帧中将此数据复制到 CTS 帧中)。站 A 收到 CTS 帧后就可发送其数据帧了。现在讨论在 A 和 B 两个站附近的一些站将做出什么反应。

- 对于站 C，站 C 处于站 A 的无线传输范围内，但不在站 B 的无线传输范围内。因此站 C 能够收听到站 A 发送的 RTS 帧，但经过一小段时间后，站 C 收听不到站 B 发送的 CTS 帧。这样，在站 A 向站 B 发送数据的同时，站 C

也可以发送自己的数据而不会干扰站 B 接收数据(注意：站 C 收听不到站 B 的信号表明，站 B 也收不听到站 C 的信号)。

- 对于站 D，站 D 收听不到站 A 发送的 RTS 帧，但能收听到站 B 发送的 CTS 帧。因此，站 D 在收到站 B 发送的 CTS 帧后，应在站 B 随后接收数据帧的时间内关闭数据发送操作，以避免干扰站 B 接收自 A 站发来的数据。

- 对于站 E，它能收到 RTS 帧和 CTS 帧，因此，站 E 在站 A 发送数据帧的整个过程中不能发送数据。

③ 虽然使用 RTS 和 CTS 帧会使整个网络的效率有所下降。但这两种控制帧都很短，它们的长度分别为 20 和 14 字节。而数据帧则最长可达 2346 字节，相比之下的开销并不算大。相反，若不使用这种控制帧，则一旦发生冲突而导致数据帧重发，则浪费的时间就更大。虽然如此，但协议还是设有三种情况供用户选择：

- 使用 RTS 和 CTS 帧；
- 当数据帧的长度超过某一数值时才使用 RTS 和 CTS 帧；
- 不使用 RTS 和 CTS 帧。

④ 尽管协议经过了精心设计，但冲突仍然会发生。

例如：站 B 和站 C 同时向站 A 发送 RTS 帧。这两个 RTS 帧发生冲突后，使得站 A 收不到正确的 RTS 帧因而站 A 就不会发送后续的 CTS 帧。这时，站 B 和站 C 像以太网发生冲突那样，各自随机地推迟一段时间后重新发送其 RTS 帧。推迟时间的算法也是使用二进制指数退避。

⑤ 为了尽量减少冲突，802.11 标准设计了独特的 MAC 子层，这里不具体说明。

### 3.3、CSMA/CA 的退避算法

在 IEEE 802.15.4 CSMA/CA 机制中，网络协调器在网络中，会发出信标给所有的可感应节点，而对于有数据需传送的设备来说，它们会向网络协调器要求进行传送，由于在一个时间内只能有一个设备进行传输，因此所有想要传输

的节点设备就会通过 CSMA/CA 机制来竞争传输媒体的使用权。所有准备传输数据的设备，会监测目前的无线传输媒体是否有其他设备在使用中，如果为空闲，此时，这些设备会产生一个倒退延迟时间，来错开这些设备同时送出数据而造成碰撞的可能。若目前的无线传输媒体是忙碌中的，则这些设备将会在监测到媒体为空闲后，再进行 CSMA/CA 的竞争。

在 IEEE 802.15.4 CSMA/CA 算法中,CSMA/CA 算法是用于节点间数据传输时的信道争用机制，此算法中有三个重要的参数由每个要传送数据的设备去维护：Nb、CW 和 BE。

#### 1、Nb(后退次数，Number Of Back):

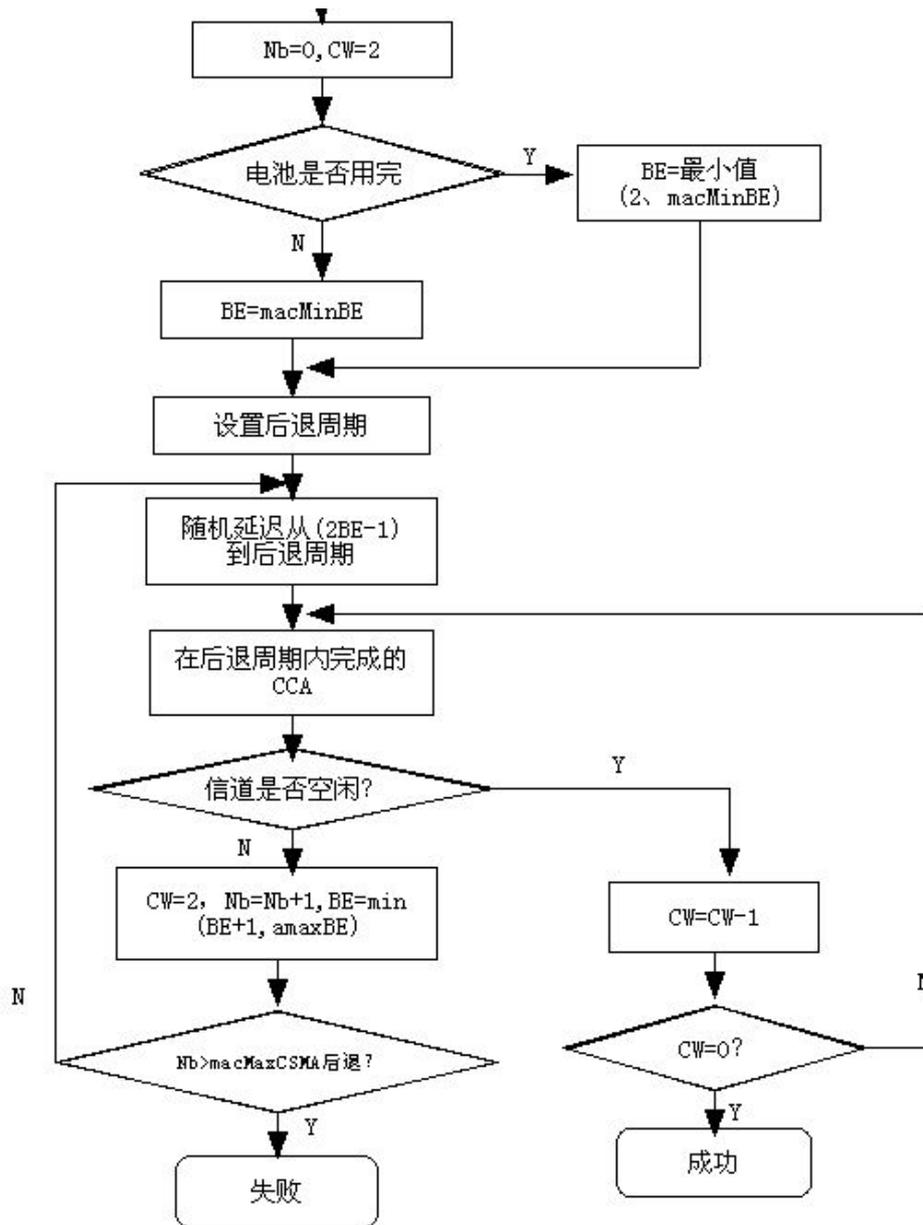
Nb 的初始值为 0，当设备有数据要传送时，经过一段后退时间后，发送 CCA 检测，若检测到信道忙，则会再一次产生倒退时间，此时 Nb 值会加 1，在 IEEE802.15.4 中，Nb 值最大定义为 4，当信道在经过 4 次的后退延迟时间后仍为忙，刚放弃此次的传送，以避免过大开销。

#### 2、CW (碰撞窗口的长度，content window length):

也就是后退延迟时间的长度，单位是 Backoff，一个后退周期的定义在 MAC PIB 中由参数 aUnitBackoffPeriod 给出，为 20symbol 的时间。CW 的初始值为 2，最大值为 31。

#### 3、BE(后退指数，Backoff exponent):

取值范围为 0~5，15.4 推荐的默认值为 3，最大值为 5。当 BE 设为 0 时，则只进行一次碰撞检测。在 IEEE 802.15.4 中，失败的次数(重传)最多 3 次。图 2.19 是 CSMA / CA 算法流程；其中在步骤(3)是完成 CCA 的部分。



3.1 CSMA/CA 协议工作流程图

### 3.4、无线网络 MAC 层的特点

在无线局域网中，由于无线信道的共享性和数据传输的组播性，发送方在发送数据的过程中进行冲突检测比较困难。且对某个节点来说，其刚刚发出的信号强度要远高于来自其他节点的信号强度，也就是说它自己的信号会把其他的信号给覆盖掉。WLAN 媒体访问控制(MAC)层采用的 CSMA/CA 协议，该协议用避免冲突检测代替 802.3 协议使用的冲突检测，采用冲突避免机制尽量减小

冲突碰撞发生的概率，以提高网络吞吐性能与迟延性能。此外无线局域网中还存在一下几个问题：

### 3.4.1 Near-far effect

由于接收用户的随机移动性，移动用户与基站间的距离也是随机变化的，若各移动用户发射功率一样，那么到达基站的信号强弱不同，离基站近信号强反之则弱，通信系统的非线性则进一步加重，出现强者更强的现象，这就是远近效应。

远近效应存在于点到多点环境，一个基站对应多个移动终端，假设终端发射功率相同，但距离基站距离不同，基站接收到的信号大小不同，大信号可能将小信号当做干扰信号覆盖（当前的通行系统存在不同的解决办法，保证基站收到的信号大小差不多）。

### 3.4.2 隐藏站问题（Hidden station Problem）

拓扑：AP1---AP2---AP3

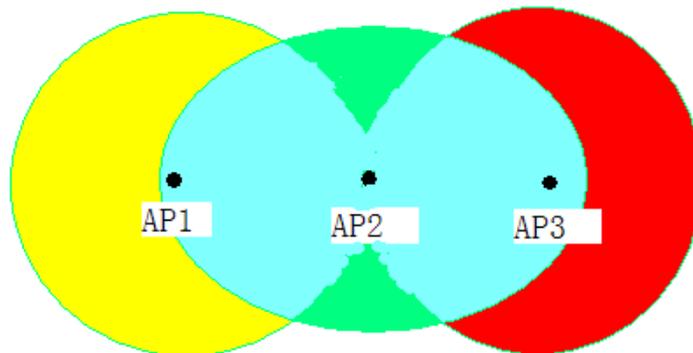


图 3.2 无线网络拓扑图 1

假设由于信号覆盖的范围问题，中间的 AP2 能接收到 AP1 和 AP3 的信号，而 AP1 与 AP3 无法感觉对方的存在。AP1 与 AP3 由于传输范围无法互相覆盖或者遇到其他障碍物阻碍的情况下，无法检测到碰撞的发生，不能使用 cd 机制，必须由接收端 AP2 来控管确认取得传输的权利。

### 3.4.3 暴露站问题（exposed station problem）

拓扑：AP1---AP2---AP3---AP4

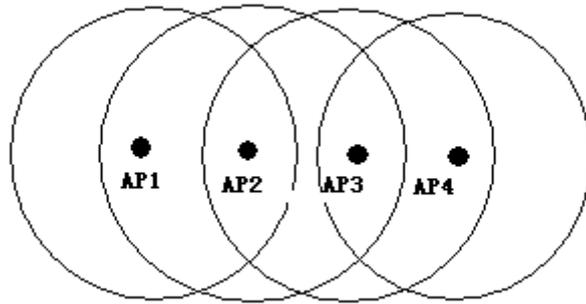


图 3.3 无线网络拓扑图 2

假设信号传输距离只能到达相邻的站，即 1-2-3,2-3-4 组成两个传输范围，若这时 ap2 向 ap1 发送信号，ap3 也想和 ap4 通信，但是由于 ap3 检测到媒体上有信号，于是，为了避免冲突，就不像 ap4 发送数据。其实 ap2 像 ap1 发送数据并不影响 ap3 像 ap4 发送数据，这种能检测到媒体上已存在信号，但又不影响发送数据的问题叫做暴露站问题。

#### 4、CSMA/CD 和 CSMA/CA 的主要差别

两者最重要的区别就在于 CSMA/CD 是发生冲突后及时检测，而 CSMA/CA 是发送信号前采取措施避免冲突。

CSMA/CD：带有冲突检测的载波监听多路访问，可以检测冲突，但无法“避免”

CSMA/CA：带有冲突避免的载波侦听多路访问，发送包的同时不能检测到信道上有无冲突，只能尽量“避免”。

1、两者的传输介质不同,CSMA/CD 用于总线式以太网,而 CSMA/CA 则用于无线局域网 802.11a/b/g/n 等等。

2、检测方式不同,CSMA/CD 通过电缆中电压的变化来检测，当数据发生碰撞时，电缆中的电压就会随着发生变化；而 CSMA/CA 采用能量检测(ED)、载波检测(CS)和能量载波混合检测三种检测信道空闲的方式。

3、信道的利用率不同

CSMA/CA 协议信道利用率低于 CSMA/CD 协议信道利用率。但是由于无线传输的特性，在无线局域网不能采用有线局域网的 CSMA/CD 协议。信道利

用率受传输距离和空旷程度的影响，当距离远或者有障碍物影响时会存在隐藏终端问题，降低信道利用率。

具体最高的信道利用率与传输速率有关。在 IEEE802.11 b 无线局域网中，在 1Mbit/s 速率时最高信道利用率可到 90%，而在 11Mbit/s 时最高信道利用率只有 65%左右。

4、上面已经对 CSMA/CD 和 CSMA/CA 的二进制退避算法进行了较详细的介绍在 CSMA/CD 协议中第  $n$  次重发尝试以前，延迟的时间应该是  $r t$ ， $r$  是均匀分布的随机整数，在  $[0, 2^k]$  选取，其中  $k=\min(n,10)$ 。当  $n=16$ （极限值），即连续发生 15 次重发碰撞仍未成功发送时，则作为差错向上层报告发送失败。而在 CSMA/CA 中退避时间由  $N_b$ (后退次数，Number Of Back)、 $CW$  (碰撞窗口的长度，content window length)、 $BE$ (后退指数，Backoff exponent)这三个参数共同决定。

5、本节点处有冲突并不意味着在接收节点处就有冲突。

综上，在 WLAN 中实现 CSMA/CD 是比较困难的。

## 5、总结

无线局域网标准 802.11 的 MAC 协议 CSMA/CA 和 802.3 的 MAC 协议 CSMA/CD 非常相似，都是在一个共享媒体之上支持多个用户共享资源，由发送者在发送数据前先进行网络的可用性。最大的不同点在于 CSMA/CA 其采取避免冲突工作方式。而 CSMA/CD 采取了冲突检测的工作方式。

两者之间没有孰优孰劣之说，它们适用于不同的应用场合，在有线局域网中 CSMA/CD 明显要比 CSMA/CA 有更好的性能表现，但是在无线网络，施行冲突检测是不可能的，带冲突避免的载波侦听多路接入协议(CSMA/CA)也就有了用武之地。