



## 第4章

---

# 无线传感器网络MAC层



## 5.1 无线传感器网络MAC协议的分类

---

针对不同的传感器网络应用，研究人员从不同方面提出了多个MAC协议，一般可以按照下列几种方式进行分类。

1. 信道数---单信道、双信道的MAC协议；
2. 信道分配方式---基于TDMA的时分复用固定式、基于CSMA的随机竞争式和混合式3种 ；
3. 节点的工作方式---侦听、唤醒和调度3种 ；
4. 控制方式---分布式执行的协议和集中控制的协议 。

## 5.2 IEEE 802.11协议

### 5.2.1 IEEE 802.11网络拓扑结构

#### 1. Ad Hoc网络形式

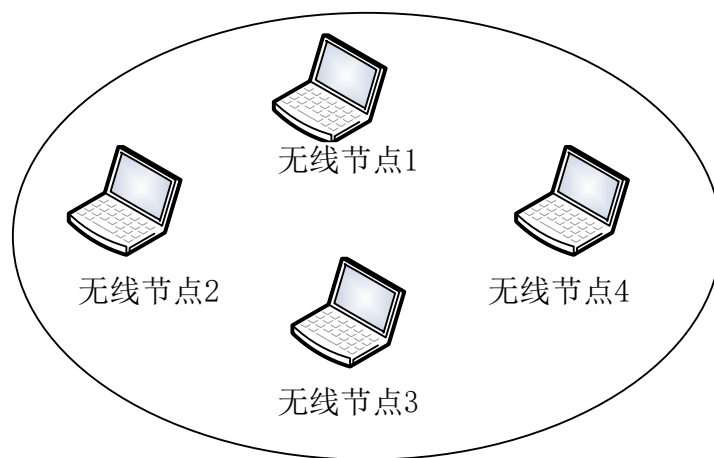


图 5-1 Ad Hoc 网络

## 2. 基础结构网络形式

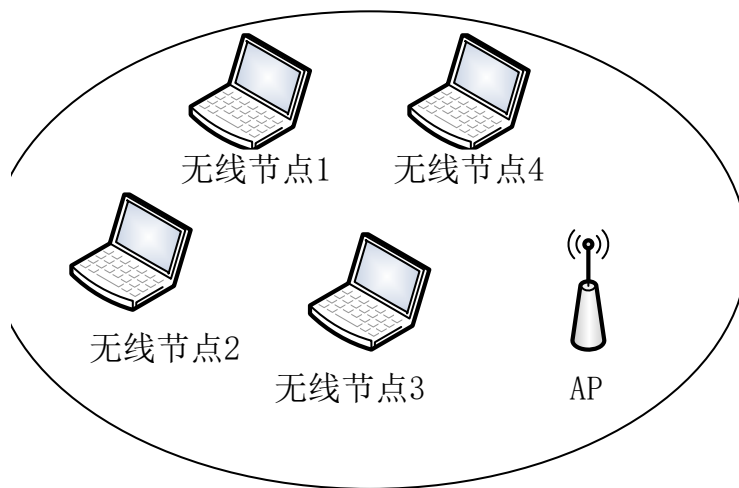


图 5-2 基础结构网络

### 3. 扩展服务集结构形式

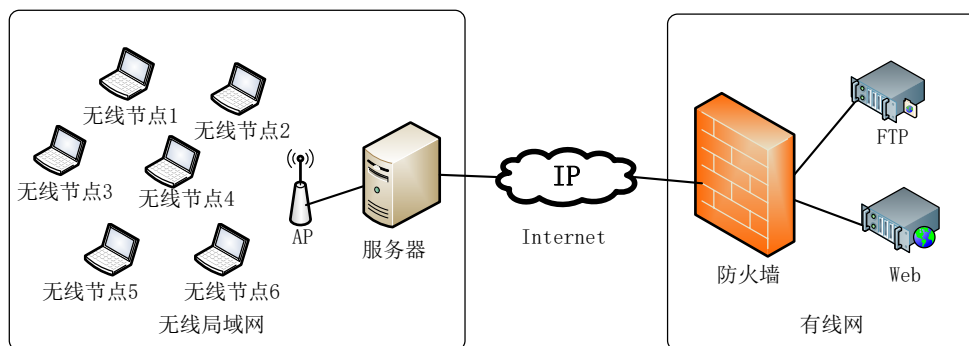


图5-3扩展服务集网络



## 5.2.2 IEEE 802.11 协议MAC层的工作模式

载波监听多点接入**CSMA(Carrier Sense Multiple Access)**称为**载波侦听多点访问协议**。

**CSMA**协议内容：

- (1)1-坚持CSMA;**
- (2)非坚持CSMA;**
- (3)P-坚持CSMA;**
- (4)CSMA/CD(CSMA/Collision Detect);**
- (5)CSMA/CA(CSMA/Collision Avoidance)。**

**IEEE 802.11**协议族标准采用**CSMA/CA**机制，该机制可以利用握手的方式来解决隐藏终端的问题。



**802.11**协议族规定了两种不同的**MAC**层访问机制，一种是分布式协调功能(**Distributed Coordination Function, DCF**)，用来传输异步数据，同时也是支持**PCF**机制的基础。另一种访问机制称为点协调功能(**Point Coordination Function, PCF**)，是可选的，它只可用于基本网络配置的拓扑结构。两种工作模式关系如图**5-4**所示。

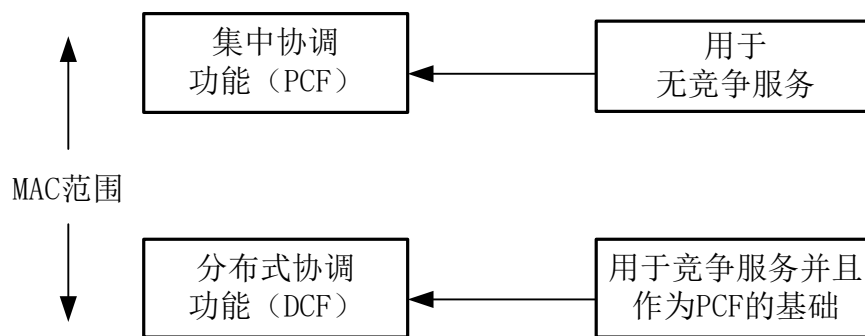


图5-4 IEEE 802.11两种工作模式



## 5.2.3 分布式协调功能 (DCF)

---

### 1. 基本访问

基本访问被视为STA(站点)用于决定是否发送的核心机制。通常，一个STA在满足下列条件之一时，就可以发送一个MPDU (MAC Protocol Data Unit)：

- ① 该STA在没有PC的情况下，按照DCF访问方式工作；
- ② 该STA处在PCF访问的竞争期间；
- ③ 该STA确定当媒介的空闲时间大于或等于一个DIFS；
- ④ 当STA上次收到一个没有正确FCS帧后，STA确定媒介空闲时间大于或等于一个DIFS。



如果在这些条件之外，当STA处于无竞争期以外发起一系列帧交换的时候，发现媒介处于忙状态，则STA随后将调用随机退避算法。

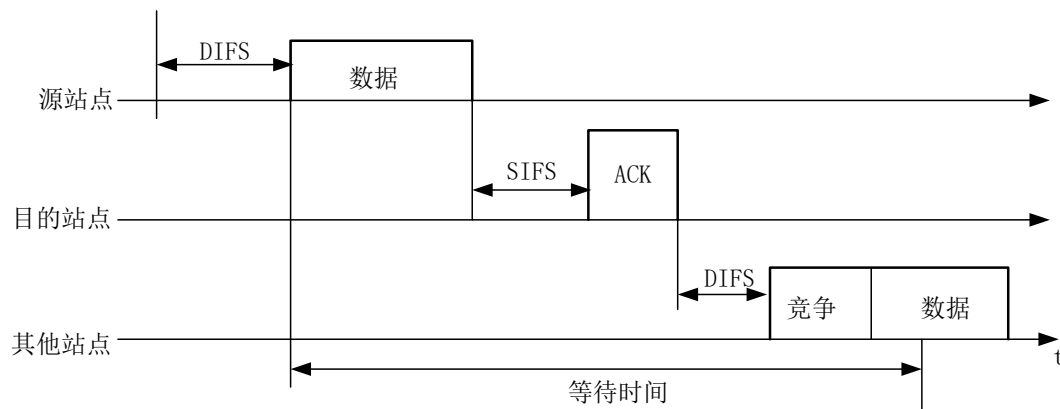


图5-5 DCF基本访问模式

## 2. RTS/CTS访问机制

在无线局域网中，经常会出现隐蔽终端的问题，如图5-6所示。为了解决这种隐蔽终端问题，DCF可利用RTS和CTS两个控制帧来进行信道预约。

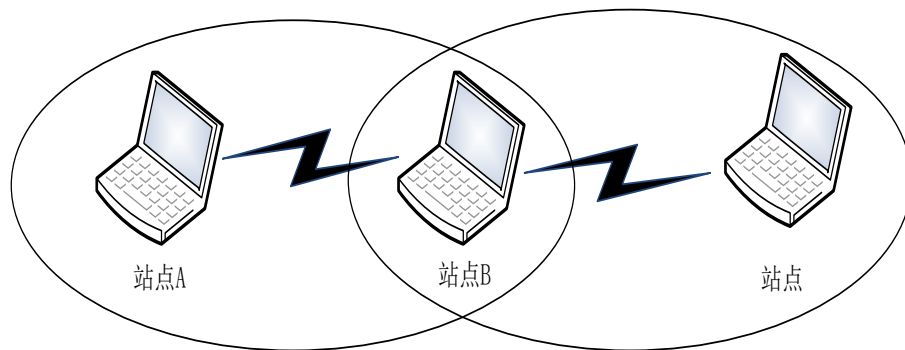


图5-6隐蔽终端问题

802.11 MAC协议中通过立即主动确认机制和预留机制来提高性能，在主动确认机制中，当目标节点收到一个发给它的有效数据帧(DATA)时，必须向源节点发送一个应答帧(ACK)，确认数据已被正确接收到。

RTS/CTS访问机制工作原理如图5-7所示。

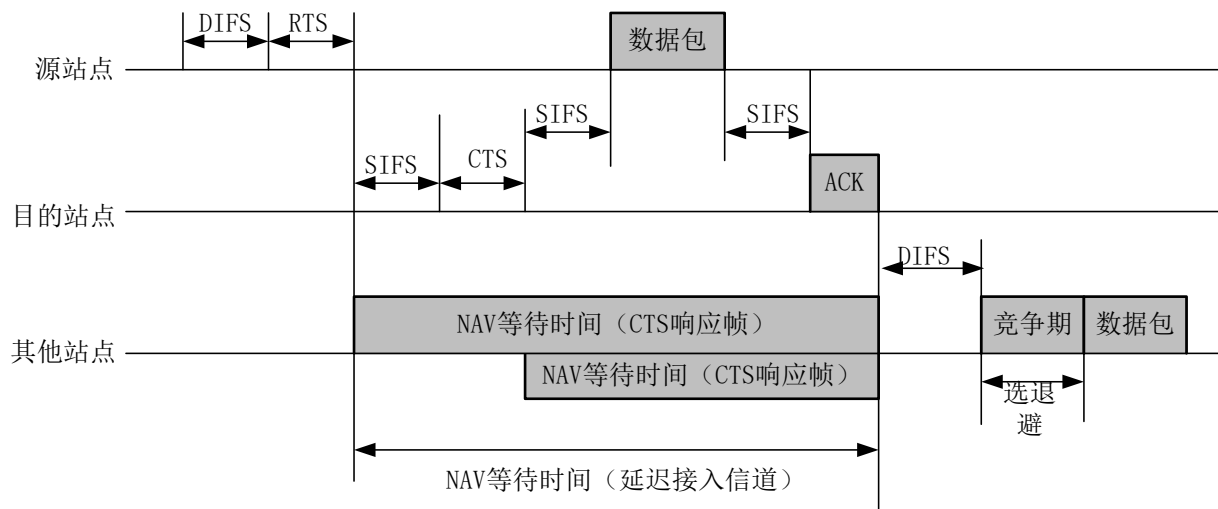


图5-7 RTS/CTS访问机制

### 3. 退避算法

对于要发送帧的STA而言，当该STA通过物理或虚拟载波机制发现媒质忙时，或STA被指出发送没有成功时，STA将调用退避算法。退避算法过程如图5-8所示。

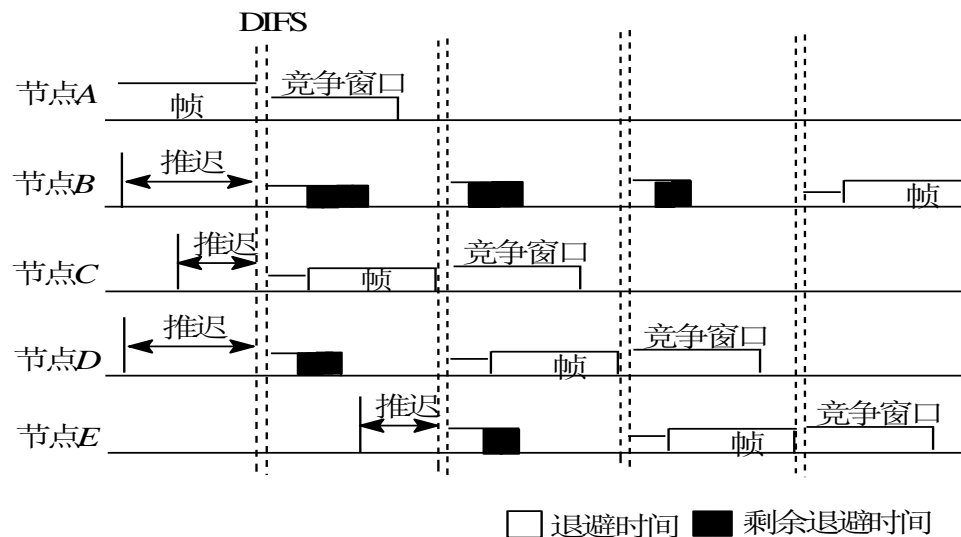


图5-8退避算法过程



## 5. 2. 4集中式协调功能 (PCF)

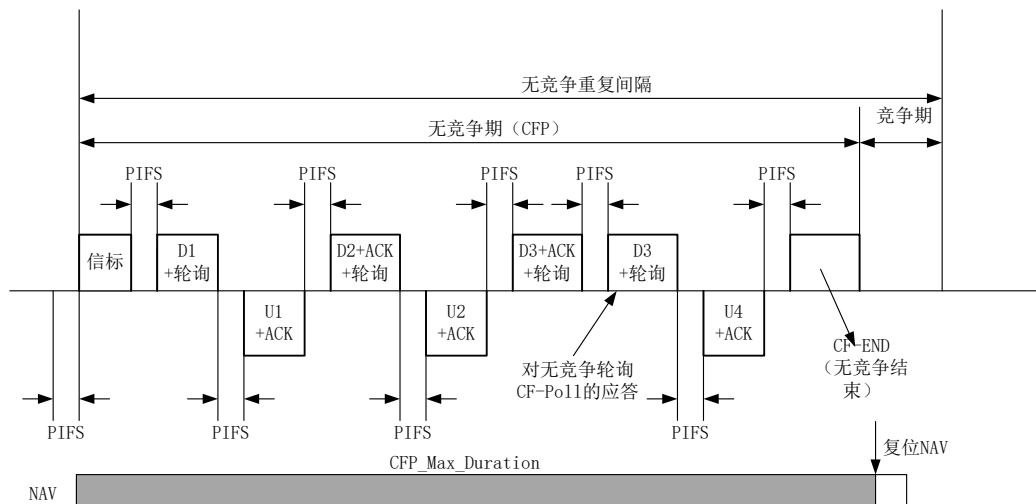
---

1. PCF基本访问

2. 无竞争期间的网络分配矢量操作

### 3. PCF站点的帧发送过程

图5-9为PCF工作模式下PC和STA间帧传输的例子。



注：Dx表示PC发送的分片；Ux表示被轮询SAT发送的分片

图5-9 PCF工作模式下的帧传输



## 4. 无竞争轮询列表

轮询列表是一个隐藏在PC处的逻辑结构，用于强制轮询无竞争可轮询的STA，而不管是否有数据要发送到该STA。



## 5.2.5 DCF与PCF机制的局限性

---

DCF机制支持异步数据传输，在低负载环境下性能较好，由于DCF机制仅仅支持尽力而为的服务，没有基于数据流的区分和优先级的规定，因此对于如VoIP电话、视频会议等需要特定的带宽、延迟和抖动的实时业务不太适合，但无线网络中的一些关键技术，比如RTS/CTS，分段/重组等在一定程度上进行了性能的弥补。

PCF机制通过轮询和应答机制提供无竞争的传输，在某种程度上这种方式类似于令牌网。控制器控制着令牌，使得这一机制适合特定延迟、抖动要求的传输。





## 5.2.6 IEEE 802.11的QoS保障

---

普通的802.11无线局域网标准是没有QoS保障的，为了弥补这一不足，IEEE提出了802.11的增强型标准——802.11e。802.11e增加了对QoS的定义，旨在保证语音和视频等高带宽应用的服务质量。

802.11e引入了EDCF和HCF两种机制，具有IEEE 802.11e QoS功能的STA称为QSTA (QoS-capable STA)，为其他STA提供集中控制的QSTA称为混合协调器(HC)，HC通常由AP担任，此AP也称为QAP。EDCF只在CP阶段使用，HCF在CP和CFP阶段都可以使用，因而是一种混合协调功能。



## 5.3 基于竞争的MAC协议

---

### 5.3.1 S-MAC协议

S-MAC (Sensor MAC) 协议是在802.11 MAC协议基础上，针对传感器网络的节省能量需求而提出的传感器网络MAC协议。S-MAC协议假设通常情况下传感器网络的数据传输量少，节点协作完成共同的任务，网络内部能够进行数据的处理和融合以减少数据通信量，网络能够容忍一定程度的通信延迟。它的主要设计目标是提供良好的扩展性，减少节点能量的消耗。

## 1. 周期性侦听和睡眠

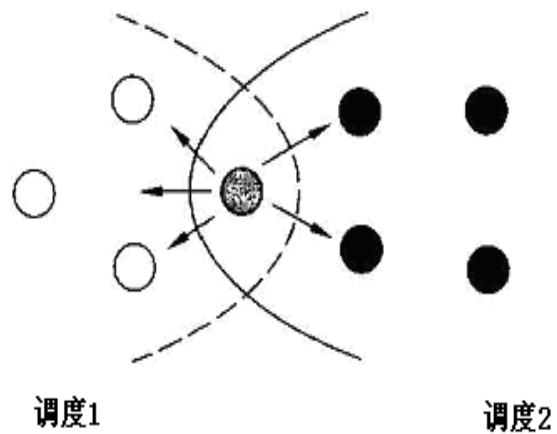


图5-10 协议的虚拟簇



---

2. 流量自适应侦听机制

3. 串音避免

## 4. 消息传递

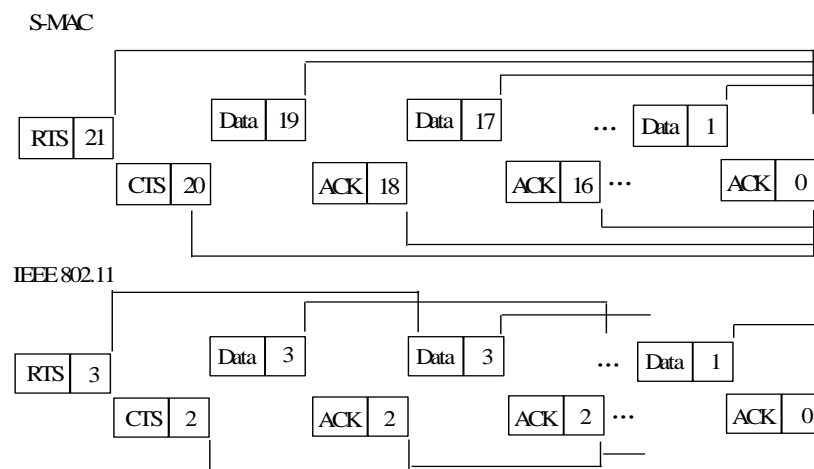


图5-11 S-MAC与IEEE 802.11 MAC协议的突发分组传送

## 5.3.2 T-MAC协议

### 1. 基本工作原理

T-MAC协议在保持周期长度不变的基础上，根据通信流量动态地调整活动时间，用突发方式发送信息，减少空闲侦听时间。如图5-12(b)所示，T-MAC协议相对S-MAC协议减少了处于活动状态的时间。

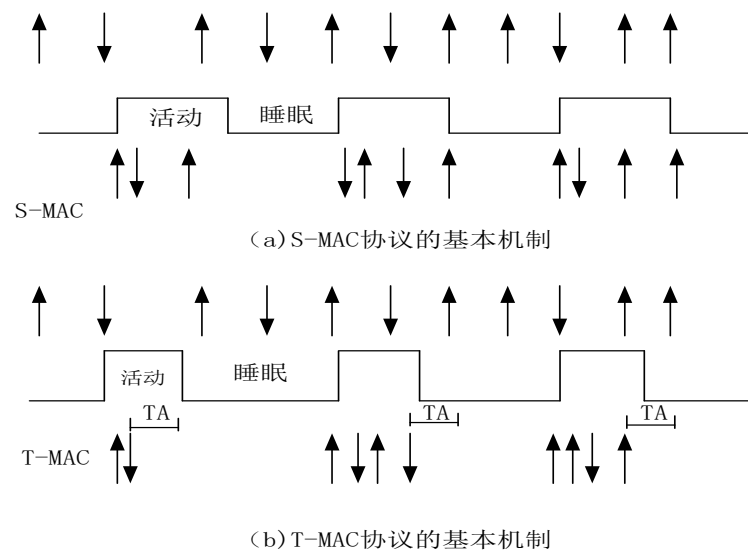


图 5-12 S-MAC和T-MAC的基本机制



## 2. 早睡问题

T-MAC协议提出两种方法解决早睡问题。第一种方法称为未来请求发送(future request-to-send, FRTS)。

另一种方法称作满缓冲区优先(full buffer priority)。当节点的缓冲区接近占满时，对收到的RTS不作应答，而是立即向目标接收者发送RTS消息，并传输数据给目标节点。



## 5.3.3 Sift协议

---

Sift MAC协议是针对基于事件驱动的传感器网络提出的基于竞争的MAC协议。它不同于WLAN的802.11 MAC协议和上面所述的其他基于竞争的传感器网络MAC协议，而是充分考虑了通常传感器网络的以下三个特性：

第一，传感器网络的空间相关性和时间相关性。

第二，不是所有节点都需要报告事件。

第三，感知事件的节点密度随时间变化。





## 5.4 基于时分复用的MAC协议

---

时分复用(time division multiple access, TDMA)是实现信道分配的简单成熟的机制, 蓝牙(Bluetooth)网络采用了基于TDMA的MAC协议。在传感器网络中采用TDMA机制, 就是为每个节点分配独立的用于数据发送或接收的时槽, 而节点在其他空闲时槽内转入睡眠状态。

TDMA机制的一些特点非常适合传感器网络节省能量的需求: TDMA机制没有竞争机制的碰撞重传问题; 数据传输时不需要过多的控制信息; 节点在空闲时槽能够及时进入睡眠状态。

## 5.4.1 基于分簇网络的MAC协议

对于分簇结构的传感器网络，基于TDMA机制的MAC协议如图5-17所示，所有传感器节点同时划分或自动形成多个簇，每个簇内有一个簇头节点。簇头负责为簇内所有传感器节点分配时槽，收集和處理簇内传感器节点发来的数据，并将数据发送给汇聚节点。

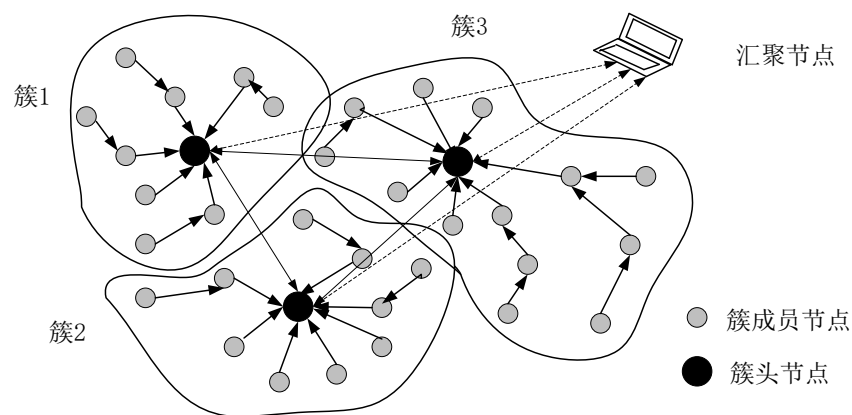


图 5-17 基于分簇的TDMA MAC协议

## 5.4.2 DEANA协议

DEANA协议的时间帧分配如图5—18所示。

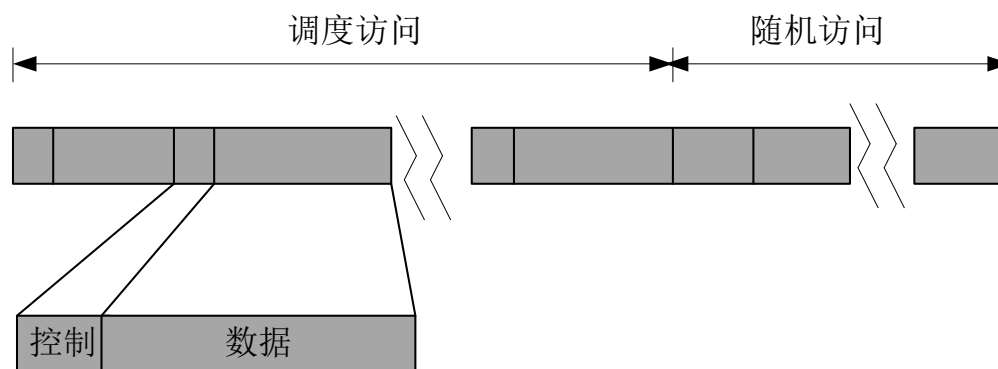


图 5-18 DEANA 协议的时间帧分配



## 5.4.3 基于周期性调度的MAC协议

---

基于周期性消息调度的MAC协议。该协议采用周期性的消息发送模型，构建节点周期性消息发送调度机制，保证节点之间无冲突地使用无线信道，是一个确定性的基于消息调度的TDMA类型的MAC协议。协议假设所有节点之间都是时间同步的，节点发送的消息由多个固定长度的分组组成，每个消息都有生存时间的限制，消息产生后必须在给定时间内发送出去，否则该消息即使发送出去也没有意义。时间被划分为连续的长度相同的时槽，时槽长度是发送一个固定分组需要的时间。



## 5.4.4 TRAMA协议

---

流量自适应介质访问(traffic adaptive medium access, TRAMA)协议将时间划分为连续时槽, 根据局部两跳内的邻居节点信息, 采用分布式选举机制确定每个时槽的无冲突发送者。同时, 通过避免把时槽分配给无流量的节点, 并让非发送和接收节点处于睡眠状态达到节省能量的目的。TRAMA协议包括邻居协议NP (neighbor protocol)、调度交换协议SEP (schedule exchange protocol) 和自适应时槽选择算法AEA (adaptive electional gorithm)。



# 1. NP协议

NP协议在随机访问周期内执行，节点通过NP协议以竞争方式使用无线信道。协议要求节点周期性通告自己的节点编号ID，是否有数据需要发送以及能够直接通信的邻居节点的相关信息，并实现节点之间的时间同步。节点间通过NP协议要获得一致的两跳内拓扑结构和节点流量信息，为此协议要求所有节点在随机访问周期内都一直处于活动状态，同时要求通告信息要广播多次。



## 2. SEP协议

调度交换协议SEP用来建立和维护发送者和接收者的调度信息。在调度访问周期内，节点周期性向邻居广播它的调度信息，如在赢时槽中发送数据的接收者，或者放弃该赢时槽等调度信息。



### 3. AEA算法

节点有发送、接收和睡眠三种状态。在调度访问周期内的给定时槽，节点处于状态当且仅当它有数据需要发送，且在竞争者中有最高的优先级；节点处于接收当且仅当它是当前发送节点指定的接收者；其他情况下，节点处于睡眠状态。每点在调度周期的每个时槽上运行AEA算法。该算法根据当前两跳邻居节点内的优先级和一跳邻居的调度信息，决定节点在当前时槽的活动策略：发送，接收，睡眠。





## 5.4.5 DMAC

---

传感器网络中一种重要的通信模式是多个传感器节点向一个汇聚节点发送数据。所有传感器节点转发收到的数据，形成一个以汇聚节点为根节点的树型网络结构，称为数据采集树(data gathering tree)。DMAC协议就是针对这种数据采集树结构提出的，目标是减少网络的能量消耗和减少数据的传输延迟。

DMAC协议的核心思想是采用交错调度机制。

DMAC协议采用ACK应答机制，发送节点如果没有收到ACK应答，要在下一个发送时间重发。节点正确接收到数据后，立刻发送ACK消息给发送数据的节点。为了减少发送数据产生的冲突，节点在等待固定的后退时间(backoff period, BP)后，在冲突窗口(content window, CW)内随机选择发送等待时间。接收节点在发送ACK消息时，采用短时间段(short period, SP)的固定延迟。



---

DMAC协议中几个主要机制:

1. 自适应占空比机制
2. 数据预测机制
3. MTS分组机制



## 5. 4. 6其他类型的MAC协议

---

### 1. SMACS/EAR协议

SMACS/EAR (self-organizing medium access control for sensor networks/eaveg drop and register)协议是结合TDMA和FDMA的基于固定信道分配的MAC协议。其基本思想是为每一对邻居节点分配一个特有频率进行数据传输，不同节点对间的频率互不干扰，从而避免同时传输的数据之间产生碰撞。



## 2. 基于CDMA方式的信道分配协议

CDMA机制为每个用户分配特定的具有正交性的地址码，因而在频率、时间和空间上都可以重叠。在传感器网络中应用CDMA技术就是为每个传感器节点分配与其他节点正交的地址码，这样即使多个节点同时传输消息，也不会相互干扰，从而解决了信道冲突问题。

CSMA/CA和CDMA相结合的MAC协议是采用一种CDMA的伪随机码分配算法，使每个传感器节点与其两跳范围内所有其他节点的伪随机码都不相同，从而避免了节点间的通信干扰。