

# 第4章

---

## 无线传感器网络通信

## 3.1 无线传感器网络协议结构

### 3.1.1 传统网络协议OSI参考模型

如图3-1所示开放式系统互连网络参考模型（OSI）共有7个层次，从底向上依次是物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。除物理层和应用层外，其余每层都和相邻上下两层进行通信。

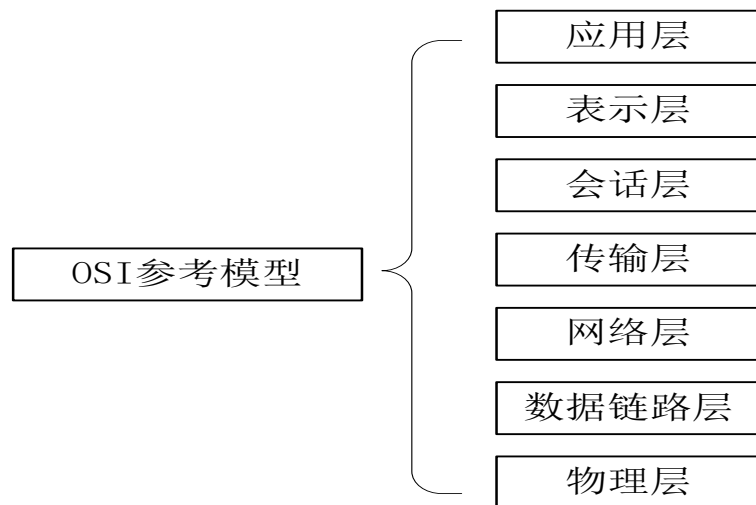


图 3-1 开放式系统互连（OSI）协议参考模型

## 3.1.2 无线传感器网络协议的分层结构

从无线联网的角度来看，传感器网络结点的体系由分层的网络通信协议、网络管理平台和应用支撑平台三个部分组成(如图3-2所示)。

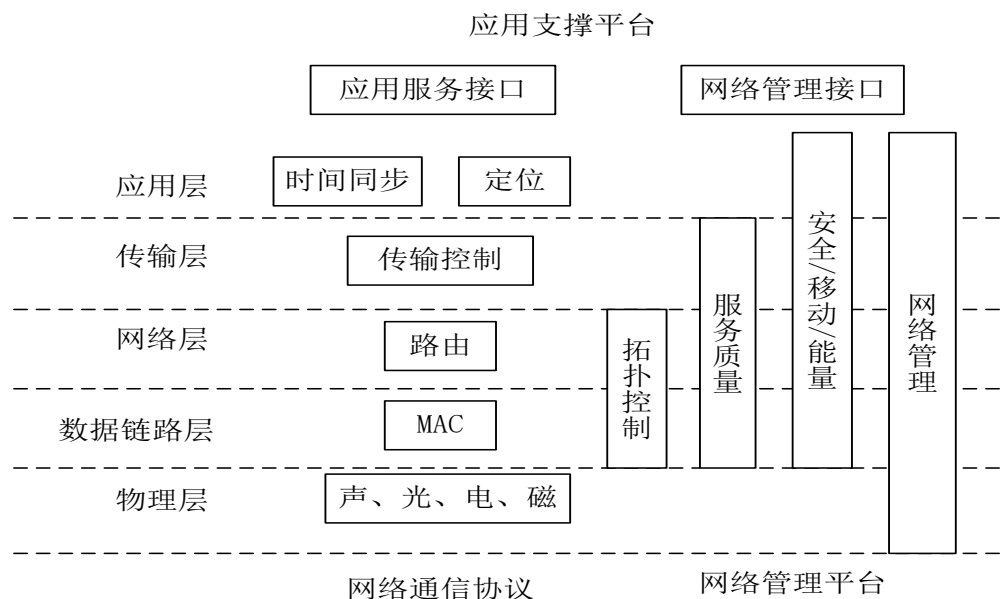


图 3-2 无线传感器网络结点的体系组成

# 1. 网络通信协议

- 类似于传统Internet网络中的TCP/IP协议体系，它由物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层组成(如图3-2所示)；
- 如图3-3所示。MAC层和物理层协议采用的是国际电气电子工程师协会(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)制定的IEEE 802.15.4协议。

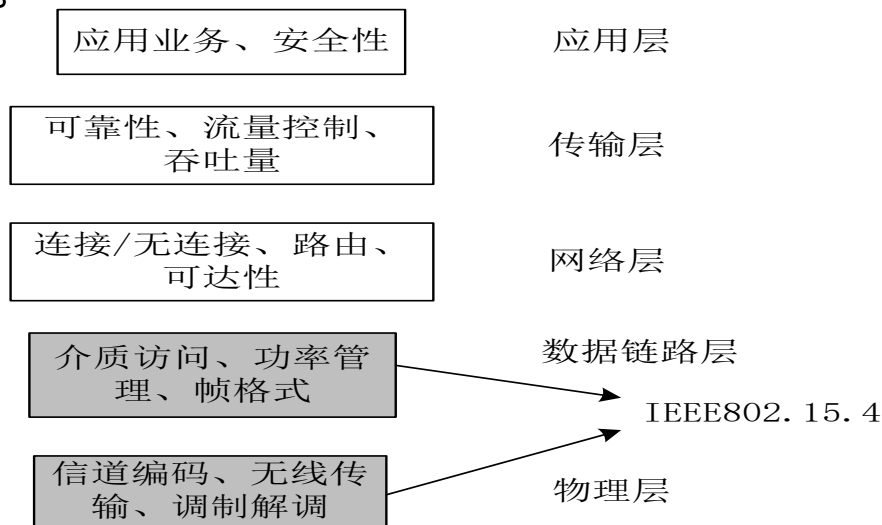


图 3-3 传感器网络通信协议的分层结构



# 1. 网络通信协议

---

- IEEE 802.15.4是针对低速无线个域网 (Low-Rate Wireless Personal Area Network, LR-WPAN) 制定的标准。
- 该标准把低能量消耗、低速率传输、低成本作为重点目标，旨在为个人或家庭范围内不同设备之间低速互连提供统一标准。
- IEEE 802.15.4的网络特征与无线传感器网络存在很多相似之处，所以许多研究机构把它作为无线传感器网络的无线通信平台。



# 1. 网络通信协议

---

- (1) 物理层。 传感器网络的物理层负责信号的调制和数据的收发，所采用的传输介质主要有无线电、红外线、光波等。
- (2) 数据链路层。 传感器网络的数据链路层负责数据成帧、帧检测、介质访问和差错控制。介质访问协议保证可靠的点对点和对多点通信，差错控制保证源结点发出的信息可以完整无误地到达目标结点。



# 1. 网络通信协议

---

- (3) 网络层。 传感器网络的网络层负责路由发现和维护，通常大多数结点无法直接与网络通信，需要通过中间结点以多跳路由的方式将数据传送至汇聚结点。
- (4) 传输层。 传感器网络的传输层负责数据流的传输控制，主要通过汇聚结点采集传感器网络内的数据，并使用卫星、移动通信网络、因特网或者其他的链路与外部网络通信，是保证通信服务质量的重要部分。



## 2. 网络管理平台

---

- 网络管理平台主要是对传感器结点自身的管理和用户对传感器网络的管理，包括**拓扑控制**、**服务质量管理**、**能量管理**、**安全管理**、**移动管理**、**网络管理**等。
- (1) **拓扑控制**。 一些传感器结点为了节约能量会在某些时刻进入休眠状态，这导致网络的**拓扑结构不断变化**，而需要通过拓扑控制技术管理各结点状态的转换，使网络保持畅通，数据能够有效传输。拓扑控制利用链路层、路由层完成拓扑生成，反过来又为它们提供基础信息支持，优化MAC协议和路由协议，降低能耗。





## 2. 网络管理平台

---

- (2) 服务质量管理。 **服务质量管理**在各协议层设计**队列管理、优先级机制或者带宽预留等机制**，并对特定应用的数据给予特别处理。它是网络与用户之间以及网络上互相通信的用户之间关于信息传输与共享的质量约定。为了满足用户的要求，传感器网络必须能够为用户提供足够的资源，以用户可接受的性能指标工作。
- (3) 能量管理。 在传感器网络中电源能量是各个结点最宝贵的资源。为了使传感器网络的使用时间尽可能长，需要合理、有效地控制结点对能量的使用。每个协议层次中都要增加**能量控制**代码，并提供给操作系统进行能量分配决策。



## 2. 网络管理平台

---

- (4) 安全管理。 由于结点**随机部署**、**网络拓扑的动态性**和无线信道的不稳定，传统的安全机制无法在传感器网络中适用，因而需要设计新型的传感器网络安全机制，采用诸如**扩频通信**、**接入认证/鉴权**、**数字水印**和**数据加密**等技术。
- (5) 移动管理。 在某些传感器网络的应用环境中，结点可以移动，**移动管理**用来**监测和控制结点**的移动，维护到汇聚结点的路由，还可以使传感器结点跟踪它的邻居。



## 2. 网络管理平台

---

- (6) 网络管理。 网络管理是对传感器网络上的**设备和传输系统**进行有效监视、控制、诊断和测试所采用的技术和方法。它要求协议各层嵌入各种**信息接口**，并定时收集协议运行状态和流量信息，协调控制网络中各个协议组件的运行。



### 3. 应用支撑平台

---

- 应用支撑平台建立在网络通信协议和网络管理技术的基础之上，  
包括一系列基于监测任务的应用层软件，通过应用服务接口和网络管理接口来为终端用户提供各种具体应用的支持。



## 3. 2物理层

---

### 3. 2. 1物理层的概述

#### 1. 物理层的基本概念

- 现有无线网络中的物理设备和传输介质的种类非常多，而通信手段也有许多不同的方式。**物理层的作用**正是要尽可能地屏蔽掉这些差异。



# 1. 物理层的基本概念

---

- 物理层的主要功能如下：

- (1) 为数据终端设备(Data Terminal Equipment, DTE)提供传送数据的通路；
- (2) 传输数据；
- (3) 其他管理工作。物理层还负责其他一些管理工作，如信道状态评估、能量检测等。



# 1. 物理层的基本概念

---

- 通常物理接口标准对物理接口的四个特性进行了描述，这四个特性的内容是指：
  - (1) 机械特性；
  - (2) 电气特性；
  - (3) 功能特性；
  - (4) 规程特性。



## 2. 无线通信物理层的主要技术

无线通信物理层的主要技术包括介质的选择、频段的选择、调制技术和扩频技术。

- (1) 介质和频段选择
  - 无线通信的介质包括电磁波和声波。电磁波是最主要的无线通信介质，而声波一般仅用于水下的无线通信；
- (2) 调制技术
  - 调制和解调技术是无线通信系统的关键技术之一。通常信号源的编码信息（即信源）含有直流分量和频率较低的频率分量，称为基带信号。
  - 调制技术通过改变高频载波的幅度、相位或频率，使其随着基带信号幅度的变化而变化。解调是将基带信号从载波中提取出来以便预定的接收者（信宿）处理和理解的过程。





### 3. 无线传感器网络物理层的特点

---

- 无线传感器网络的低能耗、低成本、微型化等特点，以及具体应用的特殊需求给物理层的设计提出了挑战，在设计时需要重点考虑以下问题：
  - (1) 调制机制；
  - (2) 与上层协议结合的跨层优化设计；
  - (3) 硬件设计。

## 3.2.2 传感器网络物理层的设计

### 1. 传输介质

- 目前无线传感器网络采用的**主要传输介质**包括**无线电、红外线和光波等**。
- 表3.1列出了ISM应用中的可用频段。

表 3.1 ISM 应用中可用频段

频段	中心频率	频段	中心频率
6765~6795kHz	6780kHz	2400~2500MHz	2450MHz
13553~13567kHz	13560kHz	5725~5875MHz	5800MHz
26957~27283kHz	27120kHz	24~24.25GHz	24.125GHz
40.66~40.0MHz	40.68MHz	61~61.5GHz	61.25GHz
433.05~434.79MHz	433.92MHz	122~123GHz	122.5GHz
902~928MHz	915MHz	244~246GHz	245GHz

- **ISM**(Industrial Scientific Medical) Band, 此频段( 2.4~2.4835GHz)主要是开放给工业, 科学、医学, 三个主要机构使用, 该频段是依据美国联邦通讯委员会(FCC)所定义出来, 属于Free License, 并没有所谓使用授权的限制。ISM频段在各国规定并不统一。如在美国有三个频段902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz und 5725-5850 MHz, 而在欧洲900MHz的频段则有部份用于GSM通信。  
**2.4GHz**为各国共同的ISM频段。因此无线局域网, 蓝牙, ZigBee等无线网络, 均可工作在2.4GHz频段上。

## 2. 物理层帧结构

- 表3-2描述了无线传感器网络结点普遍使用的一种物理层帧结构。

表 3.2 传感器网络物理层的帧结构

4 字节	1 字节	1 字节		可变长度
前导码	帧头	帧长度 (7 比特)	保留位	PSDU
同步头		帧的长度, 最大为 128 字节		PHY 负载



### 3. 物理层设计技术

---

- 物理层主要负责数据的硬件加密、调制解调、发送与接收，是决定传感器网络结点的体积、成本和能耗的关键环节。
- 物理层的设计目标是以尽可能少的能量消耗获得较大的链路容量。
- 物理层需要考虑编码调制技术、通信速率和通信频段等问题：
  - (1) 编码调制技术影响占用频率带宽、通信速率、收发机结构和功率等一系列的技术参数。
  - (2) 提高数据传输速率可以减少数据收发的时间，



### 3. 物理层设计技术

---

- 在低速无线个域网 (LR-PAN) 的802. 15. 4标准中，定义的物理层是在868MHz、915MHz、2. 4GHz三个载波频段收发数据。在这三个频段都使用了直接序列扩频方式。IEEE 802. 15. 4标准非常适合无线传感器网络的特点。是传感器网络物理层协议标准的最有力竞争者之一。目前基于该标准的射频芯片也相继推出，例如Chipcon公司的CC2420无线通信芯片。
- 总的来看，针对无线传感器网络的特点，现有的物理层设计基本采用结构简单的调制方式，在频段选择上主要集中在433~464MHz、902~928MHz和2. 4~2. 5GHz的ISM波段。



## 3.3 数据链路层协议

---

- 无线传感网络除了需要传输层机制实现高等级误差和拥塞控制外，还需要数据链路层功能。总体而言，数据链路层主要负责多路数据流、数据结构探测、媒体访问和误差控制，从而确保通信网络中可靠的Point-to-Point与Point-to-Multipoint连接。然而，无线传感网络协作与面向应用的性质，以及无线传感节点的物理约束(例如能量和处理能力约束)决定了完成这些功能的方式。



## 1. 媒体访问控制 Medium Access Control

---

- 多跳自组织无线传感网络MAC层协议需要实现两个目标：
  - (1) 对于感知区域内密集布置节点的多跳无线通信，需要建立数据通信链接以获得基本的网络基础设施。
  - (2) 为了使无线传感节点公平有效地共享通信资源，需要对共享媒体的访问进行管理。

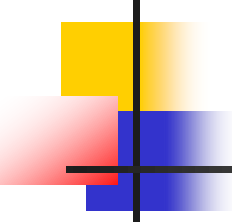


## 1. 媒体访问控制

---

- 无线传感网络的MAC协议必须具有固定能量保护、移动性管理和失效恢复策略。
- 考虑现有的MAC解决方案，主要包含以下几种访问方式：
  - (1) 基于TDMA的媒体访问
  - (2) 基于混合TDMA/FDMA的媒体访问
  - (3) 基于CSMA媒体访问





## 2. 误差控制

---

- 一般而基于ARQ的误差控制主要采用重新传送恢复丢失的数据包/帧。虽然其他无线网络的数据链路层利用了基于ARQ的误差控制方案，但由于无线传感节点能量与处理资源的不足，无线传感网络应用中ARQ的有效性受到了限制。另外，FEC方案具有固有的解码复杂性，需要无线传感节点消耗大量处理资源。因此，具有低复杂度编码与解码方式的简单误差控制码可能是无线传感网络中误差控制的最佳解决方案。



## 3. 4网络层协议

---

无线传感网络的网络层通常根据下列原则进行设计：

- (1) 能量有效性是必须考虑的关键问题；
- (2) 多数无线传感网络以数据为中心；
- (3) 理想的无线传感网络采用基于属性的寻址和位置感知方式；
- (4) 数据聚集仅在不妨碍无线传感节点的协作效应时是有效的；
- (5) 路由协议易于与其它网络(例如Internet)相结合。



## 3.4网络层协议

---

- 为了与信息或数据紧密结合，需要根据数据中心技术设计路由协议。数据中心路由协议采用基于属性的命名，即根据观察对象的属性进行查询。利用数据聚集的设计原则——解决数据中心路由中的内爆和交迭问题。如图3-4所示，Sink节点查询无线传感网络来观测对象的周围环境。收集信息的无线传感网络可理解为一个颠倒的多点传送树，对象区域内的节点向Sink节点发送收集到的数据。

## 3.4网络层协议

- 图3-4中无线传感节点E聚集无线传感节点A和B的数据，而无线传感节点F聚集无线传感节点C和D的数据。

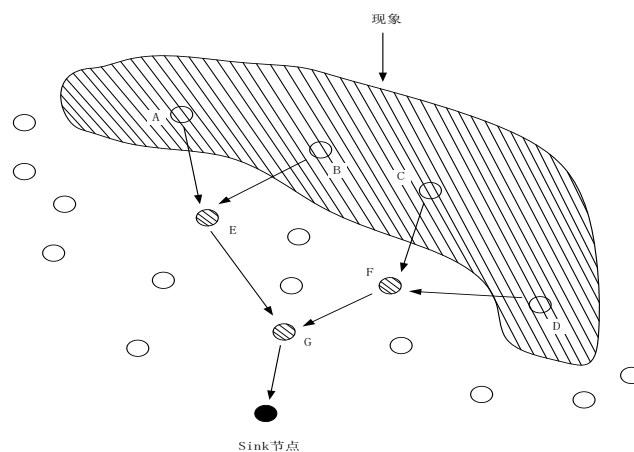


图 3-4 数据聚集

## 3.4 网络层协议

- 网络层设计原则之一是易于与其他网络相结合，如图3-5所示，Sink节点作为其他网络的网关，是通信中枢。用户可根据查询目的或应用类型通过Internet或卫星网络查询无线传感网络。

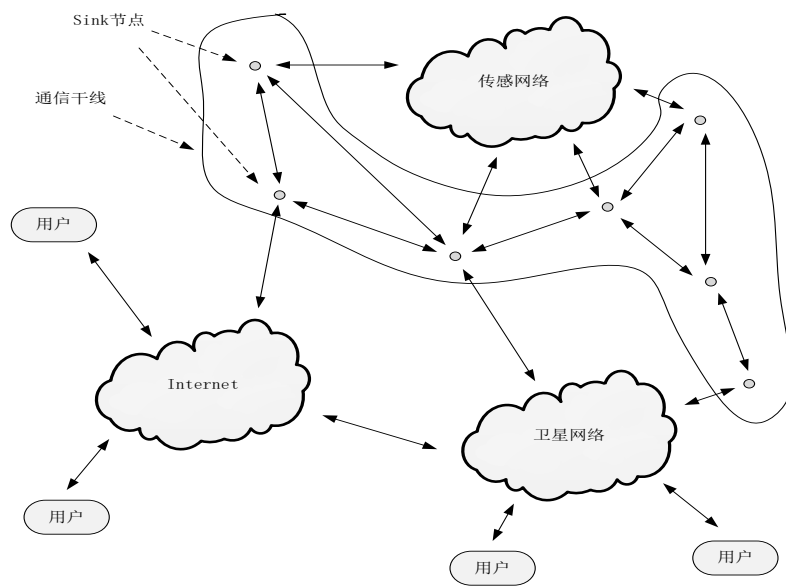


图 3-5 无线传感节点与用户间通过Internet或卫星网络构成的Internet网络

## 3.4 网络层协议

- 网络技术领域的发展水平见表3-3，表中列举的方案采用了上述的一些设计原则。SMECN生成了无线传感网络能量有效的分网图，目的是在保持网络节点连通性的条件下使能耗最小化。另外，定向扩散协议是一种数据中心的分发协议，采用基于属性的命名方案进行数据的查询和收集。

表 3-3 网络层方案回顾

网络层方案	描述
SMECN	生成一个无线传感网络分网图，包括最低能量路径
LEACH	建立簇，使能量消耗最小化
SAR	生成复式树，其根部是距离 Sink 节点 1 跳的邻近点；根据能量和附加 QoS 指标为向 Sink 节点发送的数据选择路径
泛洪法	向所有临近节点广播数据，而不管节点以前是否收到过此数据
闲聊法	向一个随机选择的临近节点发送数据
SPIN	仅向感兴趣的无线传感节点发送数据；有 3 类消息，即 ADV、REQ 和 DATA
定向扩散	在“兴趣”分发中建立从源节点到 Sink 节点的数据梯度



## 3.5 传输层协议

---

一般而言，传输层的主要目标是：

- ①采用多路技术和分离技术作为应用层和网络层的桥梁；
- ②根据应用层的特定可靠度需求在源节点和汇节点间提供带有误差控制机制的数据传递服务；
- ③通过流动和拥塞机制调节注入网络的信息量。



## 3.5 传输层协议

---

- 无线传感节点的能量、处理能力和硬件的限制对设计传输层协议带来了更多的约束。
- 无线传感网络与其他常规网络模式不同，需要根据特定传感应用目标进行布置，应用范围十分广泛。无线传感网络这些特定目标也影响了传输层协议的设计需要。例如，根据不同应用布置的无线传感网络可能需要不同的可靠度等级和常规控制方式。传输层协议的设计原理主要由无线传感节点的约束和特定应用决定。



### 3.5.1 Event-to-Sink传输

- 无线传感网络传输层的Event-to-Sink可靠度是必要的，包括了事件特征到Sink节点的可靠通信，而不是针对区域内各节点生成的单个传感报告/数据包进行基于数据包的可靠传递。图3-6说明了以收集事件到Sink节点数据流的识别符为基础的Event-to-Sink可靠传输概念。

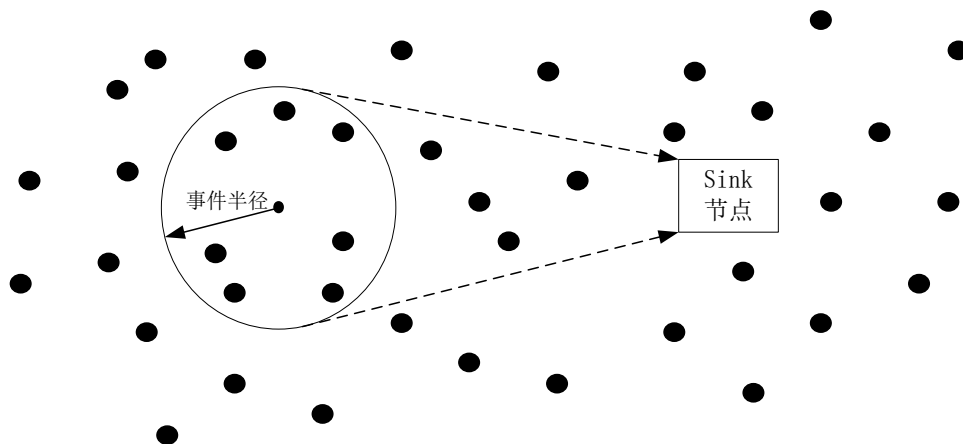


图 3-6 用事件和汇节点表示的典型无线传感网络拓扑  
注：汇接点感兴趣的是事件半径范围内无线传感节点的集体信息而不是其个别数据



### 3.5.1 Event-to-Sink传输

---

- 为了在Sink节点提供可靠事件探测，传输层还需要解决前向路径上可能的拥塞。一旦事件被观察对象覆盖区域(即事件半径范围)内一定数量的无线传感节点感知，这些节点将生成大量的数据，这很容易造成前向路径上的拥塞。过度的网络能力对Sink节点的有效输出是有害的，需要在传输层进行拥塞控制来确保在Sink节点处可靠的事件探测。尽管网络拥塞时数据包丢失(由相关数据流造成)情况可以体现Event-to-Sink可靠度，但在保证Sink节点所需精度等级的同时，合理的拥塞控制机制有助于节省能量。



## 3.5.1 Event-to-Sink传输

---

- 与常规End-to-End可靠度传输层协议不同，事件到中心节点可靠传输 (ESRT, Event-to-Sink Reliable Transport) 协议以Event-to-Sink可靠度概念为基础，提供了不需要任何中介存储的可靠事件探测。ESRT是一种新的数据解决方案，其目的是在无线传感网络中用最少的能量花费完成可靠事件探测。其中包括拥塞控制部分，可实现可靠和节能的双重目标。同时，ESRT不需要各个传感器的标识符，仅需要事件ID。十分重要的一点是，ESRT算法主要在Sink节点上运行，使资源有限的无线传感节点需要完成的工作量最小化。



## 3.5.2 Sink-to-Sensors传输

---

- 可操作二进制码和特定应用查询与命令的Sink-to-Sensors传输需要更高的可靠度，这种要求包括了一定等级的重新传送和确认机制。返回路径上的Sink-to-Sensors数据传输主要由Sink节点发起，因此具有足够能量和通信资源的Sink节点可使用大功率天线广播数据。这有助于减少多跳无线传感网络基础设施传送的数据量，从而节省节点能量。



## 3.6应用层协议

---

### 3.6.1传感器管理协议

- 系统管理通过采用传感器管理协议 (SMP, Sensor Management Protocol) 与无线传感网络进行交互。无线传感网络与其他很多网络不同, 节点没有全局ID, 而且一般缺少基础设施。因此, SMP需要采用基于属性的命名和基于位置的选址对节点进行访问。



### 3.6.1 传感器管理协议

SMP是提供软件操作的管理协议，这些软件操作是以下管理任务所必需的：

- ①将与数据聚集、基于属性的命名和聚类相关的规则引入无线传感节点；
- ②交换与位置搜寻相关的数据；
- ③无线传感节点的时钟同步；
- ④移动无线传感节点；
- ⑤打开和关闭无线传感节点；
- ⑥查询无线传感网络设置和节点状态，重新设置无线传感网络；
- ⑦认证、密码分配与数据通信安全。



## 3.6.2 任务分派与数据广播协议

---

- 无线传感网络的另一个重要操作是“兴趣”分发。用户向无线传感节点、节点的子集或整个网络发送其“兴趣”内容。此“兴趣”内容可与观察对象的某种属性相关，或者与一个触发事件相关。另一种方式是对可用数据进行广播。无线传感节点将可用数据广播给用户，而用户查询其感兴趣的数据。应用层协议为用户软件提供了“兴趣”分发的有效接口的，对较低层操作(例如路由)十分有用。



## 3. 6. 3传感器查询与数据分发协议

---

- 传感器查询和数据分发协议(SQDDP, Sensor Query and Data Dissemination Protocol)为用户应用提供了问题查询、查询响应和搜集答复的接口。这些查询一般不向特定节点发送,而是采用了基于属性或位置的命名。
- 传感器查询和任务语言(SQTL, Sensor Query and Tasking Language)提供了更多服务种类。





## 3.6.3 传感器查询与数据分发协议

SQTL支持3种事件，这些事件用关键词receive、every和expire定义。

- 关键词receive规定了收到一个消息时由无线传感节点生成的事件；
- 关键词every规定了采用计时器定时而周期性产生的事件；
- 关键词expire规定了计时器超时引发的事件。
- 若无线传感节点收到预期消息，而且消息包含一个脚本，则运行此脚本。虽然已经定义了SQTL，但可为各种应用开发不同类别的SQDDP。每种应用中，SQDDP都有特定的执行方式。

## 3.7 无线传感器网络跨层设计

### 3.7.1. 分层设计方法

- 有线因特网或者是传统的无线网络（如蜂窝和无线局域网，以及移动自组织网络）中，大多数设计者都采用分层设计指导思想。图3-7给出了一个采用分层设计方法实现的无线网络设计协议栈示意图，其中每个相邻层次之间可以实现一定的自适应调节，从而优化原有的网络系统。

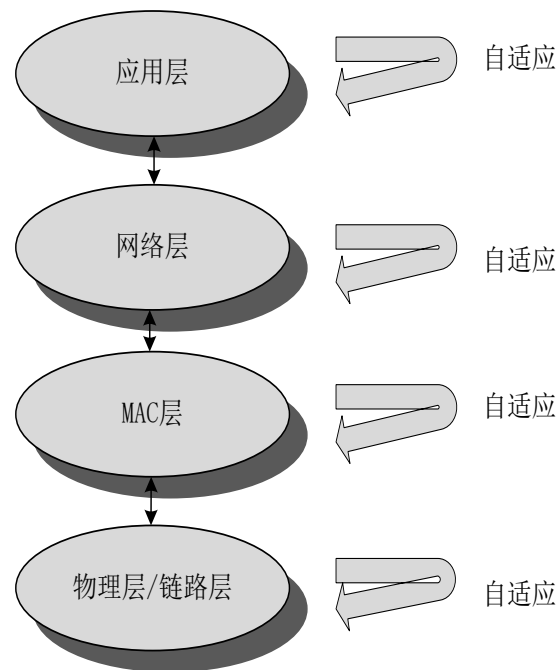
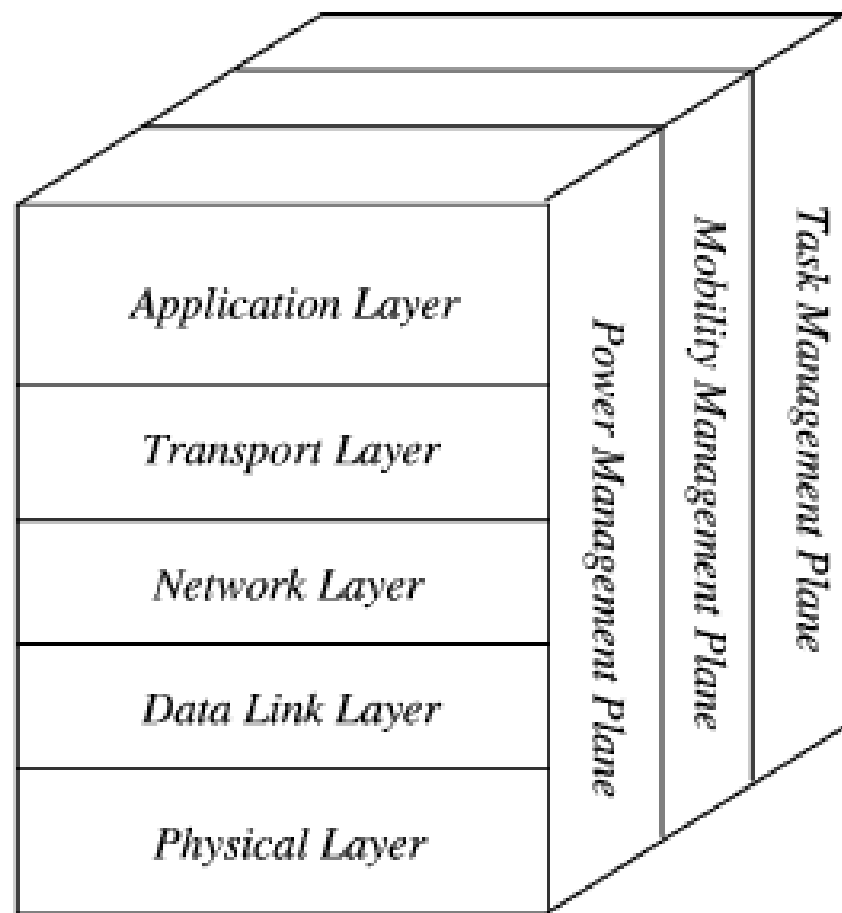
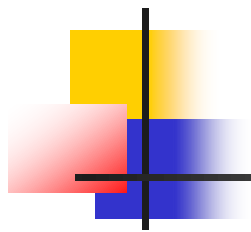


图 3-7 采用分层设计方法实现的无线网络设计协议栈示意图





## 3.7.2跨层设计方法

---

- V. Srivastava和M. Motani在专门针对跨层设计的概念上做了详细的定义，并指出了如何实现无线网络的跨层设计及未来的发展道路。
- 所谓跨层设计的定义，是针对特定的分层结构而言的，一切不符合参考分层通信结构的协议设计称为跨层设计。



## 3.7.2跨层设计方法

---

对于跨层设计的概念，再给出了三种补充解释。

- ①不符合分层结构的例子包括创建协议层间新的接口，重新定义协议层的边界，基于另外一个层设计的细节来设计一个协议层，以及联合调节跨层参数等。
- ②分层结构的破坏也意味着放弃在不同层独立设计协议的奢望。跨层设计的协议提供了其他层处理的一些条件。
- ③跨层设计是定义为一种协议设计的方法。然而，采用这种方法设计的协议大家通常称为跨层设计。



## 3.7.2 跨层设计方法

---

跨层设计也包括相邻协议层的融合和耦合，有时也叫联合设计或联合优化，这种情况并不增加新的接口。通常，实现无线网络的跨层设计的信息交互主要有以下三个途径。

- ①协议层之间直接进行通信；
- ②通过共享信息或数据库来进行信息交互；
- ③采用全新的数据抽象结构，如采用与分层协议栈结构完全不同的堆结构来组织协议。

## 3.7.2 跨层设计方法

图3-8给出了一个无线传感器网络的理想跨层设计模型。各个协议层之间相互依赖，彼此协作，目标就是尽系统所能，最大限度地满足用户应用的需求。可以看出，跨层设计除了包括各个协议层间的自适应问题，而且还包括了各个层之间相互协作和共享信息和资源，以便获取最佳性能准则，如最小的连接链路维护成本、更低的延迟和最长的系统寿命等。

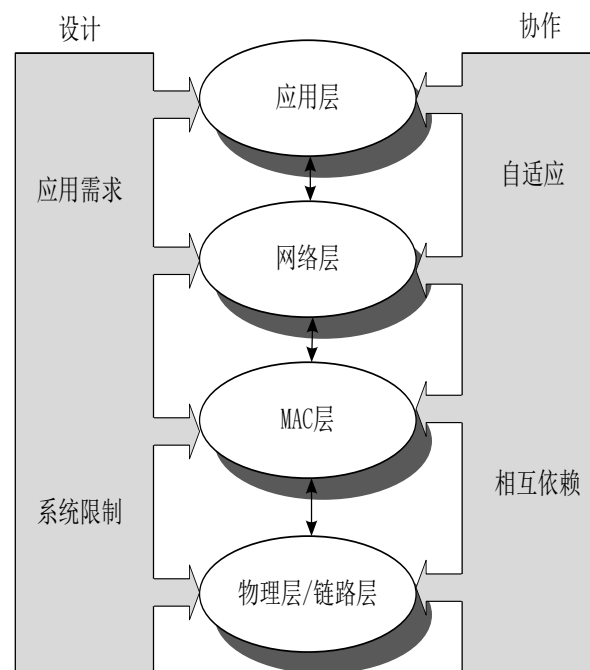


图 3-8 在系统约束限制下的跨层交互和协作

## 3.7.2 跨层设计方法

B. Raman等人提出了几种不同的跨层设计组合解决方案，并且证实了对于特定的应用，如蓝牙无线传感器网络，相比传统的分层设计方法，跨层优化确实带来了更好的系统性能。它们采用的跨层设计成功的关键就是把握了四个要素：采用按需操作；对高层需求的感知；缓存了业务的描述以及采用了相同范围内的操作。图3-9就是跨层设计和组合优化前后的协议栈对比图。

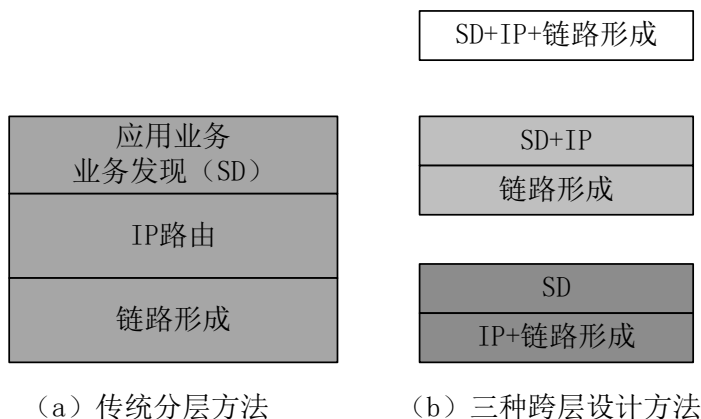


图 3-9 跨层设计和组合优化前后协议栈对比图



## 3.7.3 跨层设计的必要性

- 图3-10给出了一个采用分层和跨层设计的无线传感器网络协议体系结构对比。

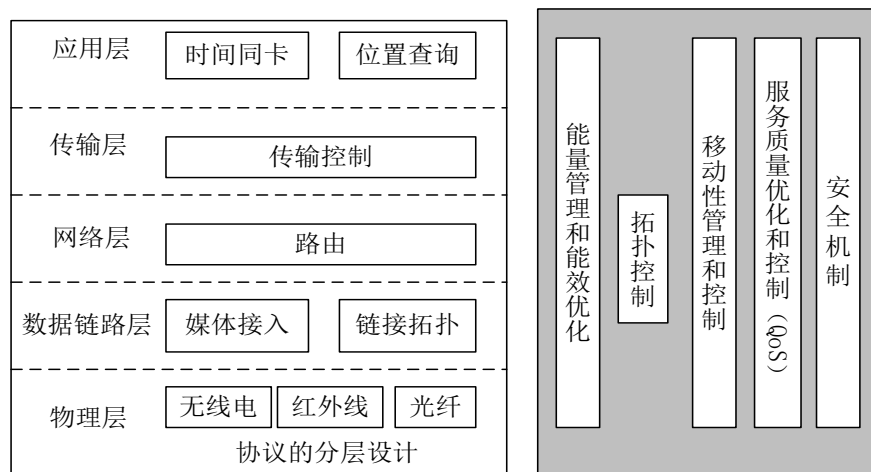


图 3-10 采用分层和跨层设计的无线传感器网络协议体系结构对比



### 3. 7. 3跨层设计的必要性

---

- 在分层的体系结构中，物理层是支撑不同技术标准的物理接入方式，如无线电RF、红外线IR，以及光纤等。数据链路层主要是与介质接入和网络拓扑相关的。网络层主要是解决路由问题。应用层包括了时间同步和位置查询等典型的无线传感器网络应用。而在跨层设计体系结构中，能效管理涉及到所有网络协议层次。QoS问题主要与数据链路层、网络层以及传输层相关。其他的如移动性管理、安全机制、网络管理以及远程管理等都涉及了整个网络协议栈。
- 当然，由于无线传感器网络应用的独特性，有可能采用更加简单实用的网络协议跨层设计体系，如MAC层和网络层的融合一体化设计。



### 3.7.4 无线传感器网络跨层设计主要技术

---

根据优化参数选取的不同和系统优化的目标和应用的不同，常见的跨层设计技术主要理论方法分为以下几种。

- ①分析法：通过拉格朗日乘子法、凸优化等把问题近似简化，得到快速收敛算法和分析结果。
- ②最优控制法：通过最优控制，可以将无线通信系统的跨层优化转化为约束优化类问题。



### 3.7.4 无线传感器网络跨层设计主要技术

---

- ③博弈论法：在多用户的无线传感器网络中，单个节点并不了解其它节点的状态，因而无法协同共享网络资源，只能以分布式方式从自身利益角度出发来竞争网络的有限资源。可以通过博弈论中的Nash均衡理论来协调各个传感器网络节点的行为，从而达到网络的最佳性能。
- ④动态规划法：由于无线通信环境的动态时变性，可通过动态规划法实时选择最优策略，如无线传感器网络的动态路由的跨层设计。



# 1. 基于最优代理的跨层设计

---

- 基于最优代理的跨层设计和优化技术的核心思想就是利用最优代理提供不同协议层间的信息交换和控制，从而改善无线传感器网络的性能。



# 1. 基于最优代理的跨层设计

---

- Weilian Su和Tat L.Lim定义了跨层设计的概念为不同协议层之间的信息共享，从而达到自适应和层间交互的目的。而自适应是指网络协议和应用对信道变化状况的观察和响应能力。基于这种概念，它们提出了一种跨层设计和优化的协议体系架构，如图3-11所示，并利用最优代理技术极大地改善了网络的性能。最优代理可以和网络每个协议层进行信息共享和交换，通过自上而下的应用需求，最优代理反馈信息给底层网络，最优代理包括了协议层间交互和层内信息的交互。

# 1. 基于最优代理的跨层设计

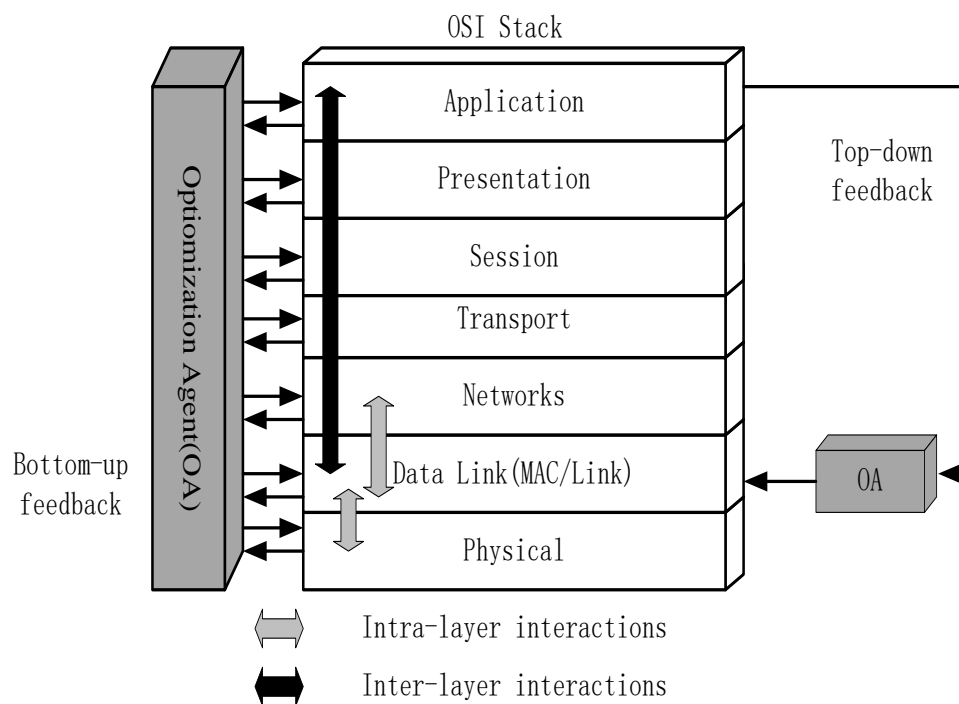


图 3-11 一种基于最优代理的跨层设计和优化的协议体系架构

# 1. 基于最优代理的跨层设计

- 图3-12给出了一个简单的跨层设计路由协议的样例，物理层给网络层提供了反馈信道状况条件(这里采用了信噪比SNR)的信息给路由代理，从而实现了最优的路由选择和决策，从而改善了网络的平均分组延迟和网络的吞吐率。

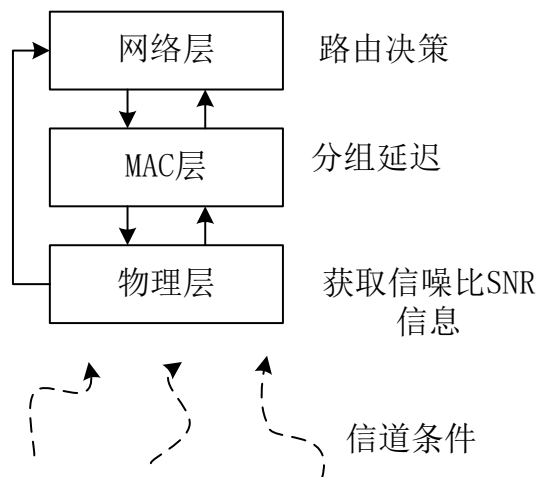


图 3-12 一个简单的跨层设计路由协议样例





## 2. 基于能效管理的跨层设计

---

- 基于能效的无线传感器网络的协议栈设计必须首先考虑网络的应用特点，并结合对容错性、抗干扰性、节能指标等关键指标的具体要求来展开。也可以借鉴现代网络及无线通信、信息处理等领域的先进技术和研究方法。



## 2. 基于能效管理的跨层设计

---

- 对传感器网络按应用进行分类，并针对不同类别的特点，设计和优化网络实现机制。主要分类依据包括以下几点。
  - ①移动性：传感器节点、汇聚网关以及被观察对象三者间相对位置是否变化以及变化的频繁程度。基于移动性进行网络设计，可以采用更合理的网络路由更新频率，在保证路由协议正常功能的同时，减少路由维护的开销，降低功耗以及更合理地在不同节点之间分配和协调观察任务。



## 2. 基于能效管理的跨层设计

---

- ②数据传输模型：基于考虑网络上需要传输什么类型的数据流，以及按照什么方式传播。比如向节点发送的环境参数采样数据，按照发送的时机可分为连续型、事件驱动型、查询驱动型以及混合型几种。数据传播方式也有广播、组播、单播等方式之分。
- ③实时性：不同的应用对于监测数据实时性的要求显然是不同的。



## 2. 基于能效管理的跨层设计

- ④节点部署和配置方式：采用人工方式可以安排节点间的位置关系，系统设计时可以对网络拓扑做一些合理的假设。如果采用随机方式，则节点密度和节点间距就很难预测，这就要求系统设计能适应各种网络拓扑。如需要支持新节点随时加入，则要求具有保证不中断系统正常运行的机制。同样，传感器网络的能量管理和低功耗设计也必须结合实际跨层进行，这里除了强调协议栈的优化设计支持外，还必须要考虑节点级的低功耗技术。为了达到减小传感器节点的功耗，延长整个网络使用寿命的目的，需要设计和实现超低功耗的传感器、微处理器，特别是射频通信的超低功耗芯片也是发展的必然方向，而且还要进行芯片和协议的软硬件协同设计。

### 3. 基于QoS保证的跨层设计

■ Qian Zhang等针对在无线因特网中传输多媒体业务的需求下，提出了一种支持QoS的跨层设计一般结构。如图3-13所示，监测现场的无线终端(Mobile Host)或者无线传感器节点可以通过基站(Base Staion)或者汇聚节点将采集的信息(如声音或视频等)实时传送到一个远程的用户，或者将远程的多媒体信息发送到现场的控制传感器。这些多媒体信息传输必须满足用户的QoS需求，如带宽、延迟和延迟抖动等。

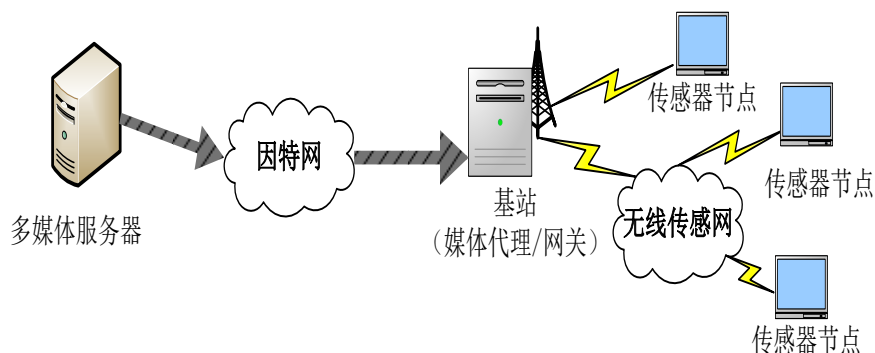


图 3-13 多媒体信息在无线传感器网络传输的一般结构



## 3. 基于QoS保证的跨层设计

---

- Qian Zhang等提出了一种动态自适应代理的跨层设计技术，来满足因特网用户的多媒体业务传输的延迟需求。其实，我们也可以采取这样一种跨层设计策略，在应用层把具体的应用信息(如IP语音、视频等)反馈告诉给MAC层，然后MAC层可以根据这些信息区分服务，从而来保证服务质量(比如802.11e的MAC协议)。