



第6章 WSN协议技术标准



6.1 技术标准的意义

在传感器网络标准方面，目前国际上已有的标准主要是**ZigBee**、**802.15.4**、**超宽带** (Ultra Wideband, UWB)，这些标准的频段各不相同，且都是针对某些行业、某些领域的作用范围较小的标准。

6.2 IEEE 1451系列标准

1. IEEE 1451标准的诞生

目前市场上在通信方面所遵循的标准主要包括**IEEE 803.2**(以太网)、**IEEE 802.4**(令牌总线)、**IEEE FDDI**(光纤布式数据界面)、**TCP/IP**(传输控制协议/互联协议)等，以此来连接各种变送器(包括**传感器**和**执行器**)，要求所选的传感器/执行器必须符合上述标准总线的有关规定。一般说来，这类测控系统的构成都可以采用如图6-1所示的结构来描述。

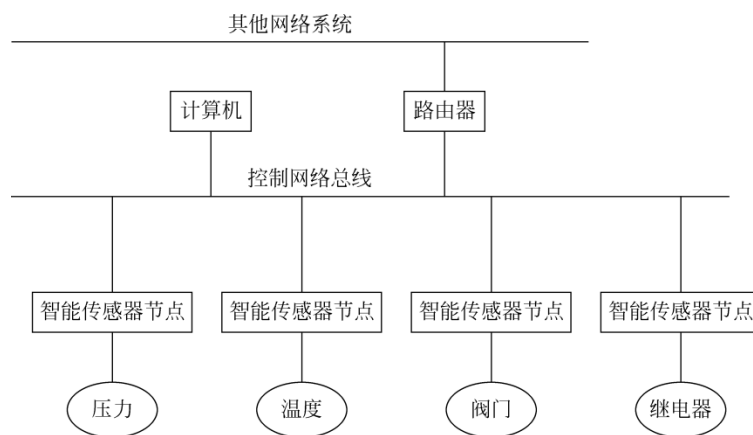


图6-1 一种分布式测控系统结构的示例



1. IEEE 1451标准的诞生

- 图**6-1**简单地表示了一种分布式测量和控制系统的典型应用事例，是目前市场上比较常见的现场总线系统结构图。
- 对传感器/执行器的**生产厂家**来说，希望自己的产品得到更大的市场份额；
- 对于系统集成**开发商**来说，必须充分了解各种总线标准的优缺点；
- 对于**用户**来说，经常根据需要来扩展系统的功能；
- 对于智能网络化传感器接口内部标准和软硬件结构，IEEE 1451标准中都作出了详细的规定。
- IEEE 1451标准将传感器分成**两层模块结构**：**第一层**模块结构用来运行网络协议和应用硬件，称为“**网络适配器**”(Network Capable Appllction Processor, NCAP)；第二层模块为“智能变送器接口模块”(Smart Transducer Interface Module, **STIM**)，其中包括变送器和电子数据表格TEDS。



2. IEEE 1451标准的发展历程

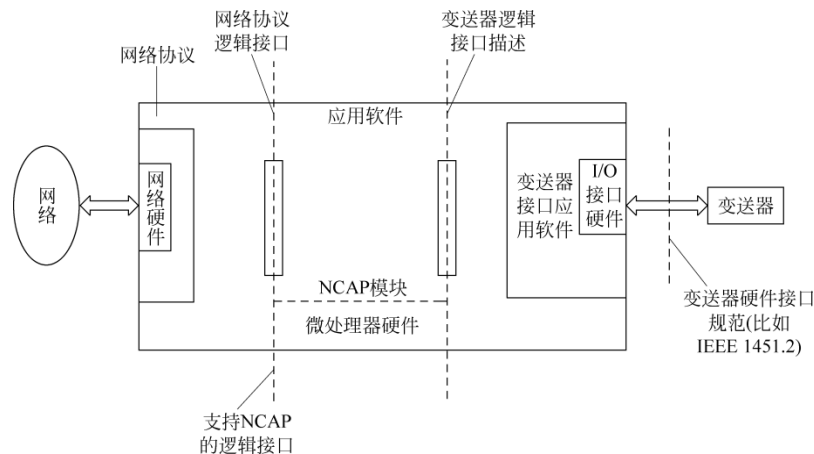
在1994年3月，美国国家标准技术协会和IEEE共同组织一次关于制定智能传感器接口和智能传感器连接网络通用标准的研讨会。在1995年4月，成立了两个专门的技术委员会，即P1451.1工作组和P1451.2工作组。

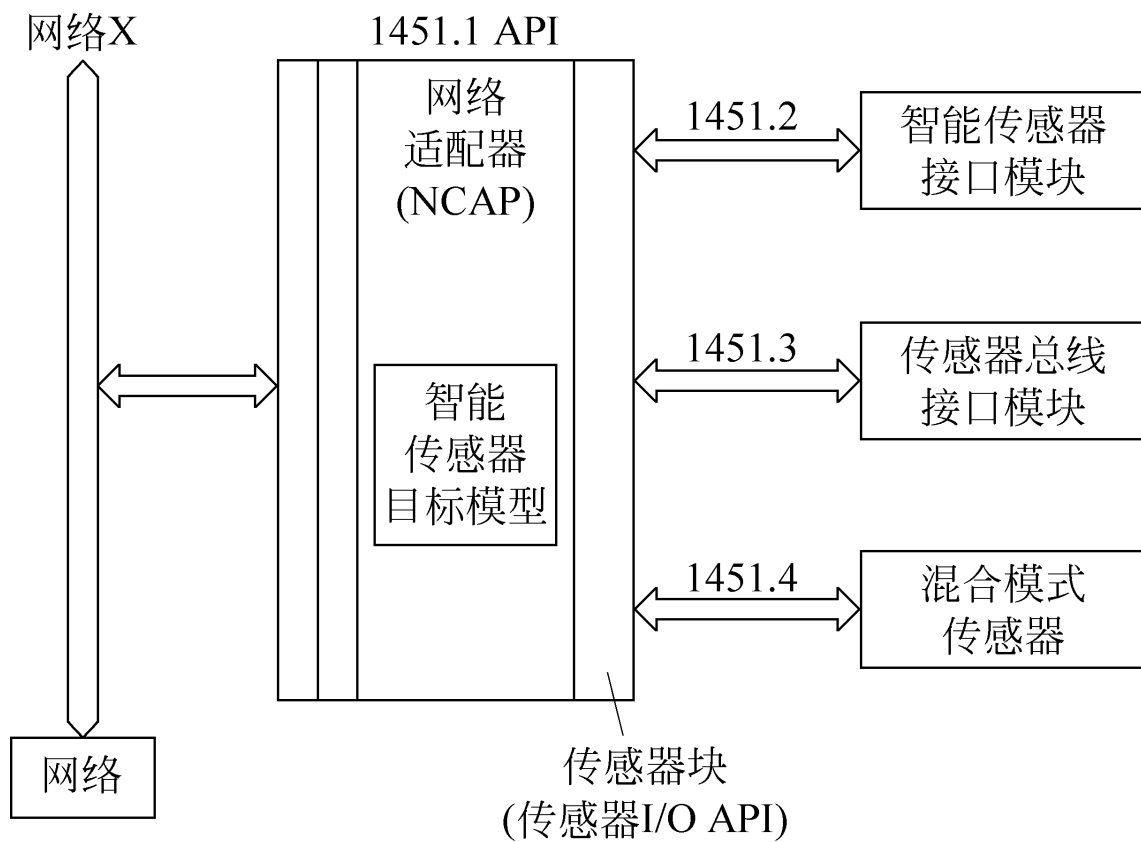
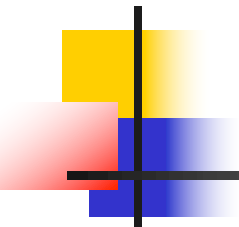
IEEE 1451.1标准在1999年6月通过IEEE的审核批准。

IEEE 1451.2标准在1997年9月通过IEEE的审核批准。

IEEE 1451.3标准称为分布式多点系统数字通信和变送器电子数据表格式，在2003年9月被IEEE核准。

IEEE 1451.4标准称为混合模式通信协议和变送器电子数据表格式，在2004年3月通过了IEEE的认可。







3. IEEE 1451标准的发展动向

IEEE 1451.5提议标准主要是为**智能传感器的连接**提供无线解决方案，尽量减少有线传输介质的使用。需要指出的是，IEEE 1451.5提议标准描述的是智能传感器与NCAP模块之间的无线连接，并不是指NCAP模块与网络之间无线连接。

IEEE 1451.5提议标准的工作重点在于制定无线数据通信过程中的通信数据模型和通信控制模型。它主要包括两个内容：一是为变送器通信定义一个**通用的服务质量**(Quality of Service, **QoS**)机制，能够对任何无线电技术进行映射服务；另外是对于每种无线发送技术都有一个映射层，用来把无线发送具体配置参数映射到**QoS**机制。



6.3 IEEE 802.15.4标准

6.3.1 IEEE 802.15.4标准概述

IEEE 802.15.4标准为低速无线个域网制定了**物理层**和**MAC子层协议**。**IEEE 802.15.4**标准定义的**无线个域网**具有如下特点：

- (1)在不同的载波频率下实现20kb/s、40kb/s和250kb/s**三种不同的传输速率**；
- (2)支持**星型**和**点对点**两种网络拓扑结构；
- (3)有**16位**和**64位**两种地址格式，其中64位地址是全球唯一的扩展地址；
- (4)支持冲突避免的**载波多路侦听技术**(carrier sense multiple access with collision avoidance, CSMA-CA)；
- (5)支持确认**机制**，保证传输可靠性。

IEEE 802.15.4标准主要包括**物理层**和**MAC层**的标准。



6.3.2物理层

IEEE 802.15.4标准规定物理层负责如下任务：

- ①激活和取消无线收发器；
- ②当前信道的能量检测；
- ③发送链路质量指示；
- ④CSMA/CA的空闲信道评估；
- ⑤信道频率的选择；
- ⑥数据发送与接收。

IEEE 802.15.4标准定义了27个信道，编号为0~26；跨越3个频段，具体包括2.4GHz频段的16个信道、915MHz频段的10个信道、868MHz频段的1个信道。



6.3.3 MAC子层

MAC层用来处理所有对**物理层**的访问，并负责完成以下**任务**：

- (1)如果设备是协调器，那么就需要产生网络信标；
- (2)信标的同步；
- (3)支持个域网络的关联和去关联；
- (4)支持设备安全规范；
- (5)执行信道接入的CSMA-CA机制；
- (6)处理和维持GTS机制；
- (7)提供等MAC实体间的可靠连接。



6.4 ZigBee协议栈原理

6.4.1 概述

2007 年4 月，德州仪器推出业界领先的**ZigBee** 协议栈（**Z-Stack**）。**Z-Stack** 符合**ZigBee2006** 规范，支持多种平台，包括基于**CC2420** 收发器以及**TI MSP430** 超低功耗单片机的平台、**CC2530** 平台等。**Z-Stack** 包含了网状网络拓扑的几近于全功能的协议栈，在竞争激烈的**ZigBee** 领域占有很重要地位。

1.基本特点

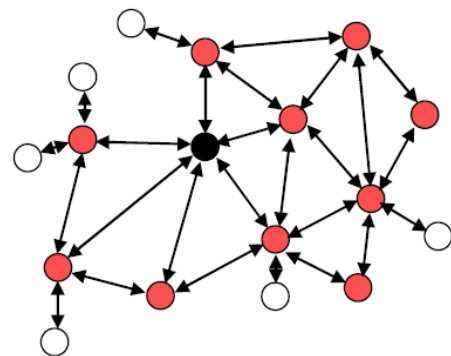
- （1）功耗：
- （2）成本低，
- （3）时延短，
- （4）网络容量大，
- （5）可靠，
- （6）安全，

2. 设备类型

在 **ZigBee** 网络中存在三种逻辑设备类型：**Coordinator**(协调器)，**Router**(路由器)和**End-Device**(终端设备)。**ZigBee** 网络由一个**Coordinator** 以及多个**Router** 和多个**End_Device**组成。

如**6-8**图是一个简单的**ZigBee** 网络示意图。其中黑色节点为**Coordinator**，红色节点为**Router**，白色节点为**End-Device**。

- (1) **Coordinator**(协调器)
- (2) **Router**(路由器)
- (3) **End-Device**(终端设备)





2. 栈配置 (Stack Profile)

栈参数的集合需要被配置为一定的值，连同这些值在一起被称之为栈配置。**ZigBee** 联盟定义了这些由栈配置组成的栈参数。网络中的所有设备必须遵循同样的栈配置。为了促进互用性这个目标，**ZigBee** 联盟为**ZigBee2006** 规范定义了栈配置。所有遵循此栈配置的设备可以在其它开发商开发的遵循同样栈配置的网络中使用。



6.4.2 寻址 (Addressing)

1. 地址类型 (Address types)

ZigBee 设备有两种类型的地址。一种是**64** 位**IEEE** 地址，即**MAC** 地址，另一种是**16**位网络地址。**64** 位地址是全球唯一的地址，设备将在它的生命周期中一直拥有它。

2. 网络地址分配 (Network address assignment)

ZigBee 使用分布式寻址方案来分配网络地址。这个方案保证在整个网络中所有分配的地址是唯一的。

在每个路由加入网络之前，寻址方案需要知道和配置一些参数。

ZigBee2006 协议栈已经规定了这些参数的值：**MAX_DEPTH = 5**，**MAX_ROUTERS = 6** 和**MAX_CHILDREN = 20**。

如果开发人员想改变这些值，则需要完成以下两个步骤：

(1) 首先，你要保证这些参数新的赋值要合法。

(2) 当选择了合法的数据后，开发人员还要保证不再使用标准的栈配置，取而代之的是网络自定义栈配置。

3. Z-Stack寻址 (Addressing in Z-Stack)

为了向一个在**ZigBee**网络中的设备发送数据，应用程序通常使用**AF_DataRequest()**函数。数据包将要发送给一个**afAddrType_t**(在**ZComDef.h** 中定义)类型的目标设备。

```
typedef struct
```

```
{.....
```

```
uint16 shortAddr;//16位网络短地址
```

```
.....
```

注意，除了网路地址之外，还要指定地址模式参数。目的地址模式可以设置为以下几个值：

```
typedef enum
```

```
{
```

```
afAddrNotPresent = AddrNotPresent, //地址未指定
```

```
afAddr16Bit = Addr16Bit,           //16位网络地址
```

```
afAddrGroup = AddrGroup,           //组地址
```

```
afAddrBroadcast = AddrBroadcast    //广播地址
```

```
} afAddrMode_t;
```

因为在**Zigbee** 中，数据包可以**单点传送(unicast)**，**多点传送(multicast)**或者**广播传送**，所以必须有地址模式参数。一个单点传送数据包只发送给一个设备，多点传送数据包则要传送给一组设备，而广播数据包则要发送给整个网络的所有节点。



3. Z-Stack寻址 (Addressing in Z-Stack)

(1) 单点传送(Unicast)

Unicast是标准寻址模式，它将数据包发送给一个已经知道网络地址的网络设备。将**afAddrMode**设置为**Addr16Bit**并且在数据包中携带目标设备地址。

(2) 间接传送(Indirect)

当应用程序不知道数据包的目标设备在哪里的时候使用的模式。将模式设置为**AddrNotPresent**并且目标地址没有指定。取代它的是从发送设备的栈的绑定表中查找目标设备。这种特点称之为**源绑定**。当数据向下发送到栈中，从绑定表中查找并且使用该目标地址。这样，数据包将被处理成为一个标准的单点传送数据包。如果在绑定表中找到多个设备，则向每个设备都发送一个数据包的拷贝。

(3) 广播传送(broadcast)

当应用程序需要将数据包发送给网络的每一个设备时，使用这种模式。地址模式设置为**AddrBroadcast**。



4. 重要设备地址 (**Important device addresses**)

应用程序可能需要知道它的设备地址和父地址。使用下面的函数获取设备地址(在**ZStack API** 中定义):

- **NLME_GetShortAddr()**——返回本设备的**16** 位网络地址
- **NLME_GetExtAddr()**—— 返回本设备的**64** 位扩展地址

使用下面的函数获取该设备的父亲设备的地址:

- **NLME_GetCoordShortAddr()**——返回本设备的父亲设备的**16** 位网络地址
- **NLME_GetCoordExtAddr()**—— 返回本设备的父亲设备的**64** 位扩展地址



6.4.3 绑定（Binding）

绑定是一种两个(或者多个)应用设备之间信息流的控制机制。在**ZigBee2006** 发布版本中，它被称为资源绑定，所有的设备都必须执行绑定机制。

绑定允许应用程序发送一个数据包而不需要知道目标地址。**APS**层从它的绑定表中确定目标地址，然后将数据继续向目标应用或者目标组发送。

注意：在**ZigBee**的**1.0** 版本中，绑定表是保存在协调器(**Coordinator** 当中)。现在所有的绑定记录都保存在发送信息的设备当中。

1.建立绑定表(Building a Binding Table)

有三种方法可以建立一个绑定表：

- **Zigbee Device Object Bind Request**——一个启动工具可以告诉设备创建一个绑定记录。

- **Zigbee Device Object End Device Bind Request**——两个设备可以告诉协调器它们想要建立一个绑定表记录。协调器来协调并在两个设备中创建绑定表记录。

- **Device Application**——一个设备上的应用程序建立或者管理一个绑定表。



6.4.4 路由（Routing）

1. 概述(Overview)

路由对于应用层来说是完全透明的。应用程序只需简单的向下发送去往任何设备的数据到栈中，栈会负责寻找路径。

路由还能够自愈**ZigBee** 网络，如果某个无线连接断开了，路由功能又能自动寻找一条新的路径避开那个断开的网络连接。这就极大的提高了网络的可靠性，同时也是**ZigBee**网络的一个关键特性。

2. 路由协议(Routing Protocol)

ZigBee 执行基于用于**AODV**专用网络的路由协议，简化后用于传感器网络。**ZigBee** 路由协议有助于网络环境有能力支持移动节点、连接失败和数据包丢失。**AODV-混合式路由协议（AD hoc On demand Distance Vector Routing）**

当路由器从它自身的应用程序或者别的设备那里收到一个单点发送的数据包，则网络层(**NWK Layer**)根据路由程序将它继续传递下去。

ZigBee 终端节点不执行任何路由功能。

在**Z-Stack** 中，执行的路由已经优化了路由表记录。通常，每一个目标设备都需要一条路由表记录。但是，通过把一定父亲节点记录与其子所有子结点的记录合并，这样既可以优化路径也可以不丧失任何功能。

6.4.4 路由（Routing）

ZigBee 路由器，包括协调器执行下面的路由函数：(i)路径发现和选择；(ii)路径保持维护；(iii)路径期满。

3. 表存储(Table storage)

路由功能需要路由器保持维护一些表格。

(1) 路由表(Routing table)

每一个路由器包括协调器都包含一个路由表。设备在路由表中保存数据包参与路由所需的信息。

(2) 路径发现表(Route discovery table)

路由器设备致力于路径发现，保持维护路径发现表。

路径设置快速参考(Routing Settings Quick reference)

表6—12 路由设置

设置路由表大小	MAX_RTG_ENTRIES，这个值不能小于4 (f8wConfig.cfg 文件)
设置路径期满时间	ROUTE_EXPIRY_TIME，单位秒。设置为零则关闭路径期满 (f8wConfig.cfg 文件)
设置路径发现表大小	MAX_RREQ_ENTRIES，网络中可以同时执行的路径发现操作的个数



6.4.9 安全

1. 概述

AES/CCM 安全算法是**ZigBee** 联盟以外的研究人员发明的，并且广泛应用于其他通讯协议之中。**ZigBee** 提供如下的安全特性：

- 构造安全 (**Infrastructure security**)
- 网络访问控制(**Network access control**)
- 应用数据安全

2. 配置(**Configuration**)

为了拥有一个安全的网络，**首先**所有的设备镜像的创建，必须将预处理标志位**SECURE**都置为**1**。在文件“**f8wConfig.cfg**”文件中可以找到。

接下来，必须选择一个默认密码。这个可以通过“**f8wConfig.cfg**”文件中的**DEFAULT_KEY** 来设置。理论上，这个值设置为一个随机的**128** 位数据。

3. 网络访问控制(**Network access control**)

在一个安全的网络中，当一个设备加入网络时会被告知一个信任中心(协调器)。协调器拥有允许设备保留在网络或者拒绝这个设备访问网络的选择权。

4. 更新密码(**Key Updates**)

信任中心可以根据自己的判断更新通用网络密码。应用程序开发人员修改网络密码更新策略



6.4.10 ZigBee系统软件的设计

I. 系统设计事项

1) ZigBee协议栈

ZigBee系统软件的开发是在厂商提供的**ZigBee**协议栈的**MAC**和物理层基础上进行的，涉及传感器的配合和网络架构等问题。

协议栈分有偿和无偿两种。无偿的协议栈能够满足简单应用开发的需求，但不能提供**ZigBee**规范定义的所有服务，有些内容需要用户自己开发。

有偿的协议栈能够完全满足**ZigBee**规范，提供丰富的应用层软件实例、强大的协议栈配置工具和应用开发工具。

2) ZigBee芯片

现在芯片厂商提供的主流**ZigBee**控制芯片在性能上大同小异，比较流行的有**CC2420**和**CC2530**。

3) 硬件开发

ZigBee应用大多采用四层板结构，需要满足良好的电磁兼容性能要求。



2. 软件设计过程

ZigBee-网络系统的软件设计主要过程包括如下：

1) 建立**Profile**

Profile是关于逻辑器件和它们的接口的定义，**Profile**文件约定了结点间进行通信时的应用层消息。

2) 初始化

它包括**ZigBee**-协议栈的初始化和外围设备的初始化。

3) 编写应用层代码

ZigBee设备都需要设置一个变量来保存协议栈当前执行的原语。不同的应用代码通过**ZigBee**和**IEEE 802.15.4**定义的原语与协议栈进行交互。也就是说，应用层代码通过改变当前执行的原语，使协议栈进行某些工作；而协议栈也可以通过改变当前执行的原语，告诉应用层需要做哪些工作。

6.4.11符合ZigBee规范的传感器网络实例

利用**ZigBee**技术和**IEEE 1451.2**协议来构建的无线传感器结点，它的基本结构如图6-11所示。智能变送器接口模块(STIM)部分包括**传感器**、**放大和滤波电路**、**A/D转换**；变送器独立接口(TII)部分主要由控制单元组成；网络适配器(NCAP)负责通信。

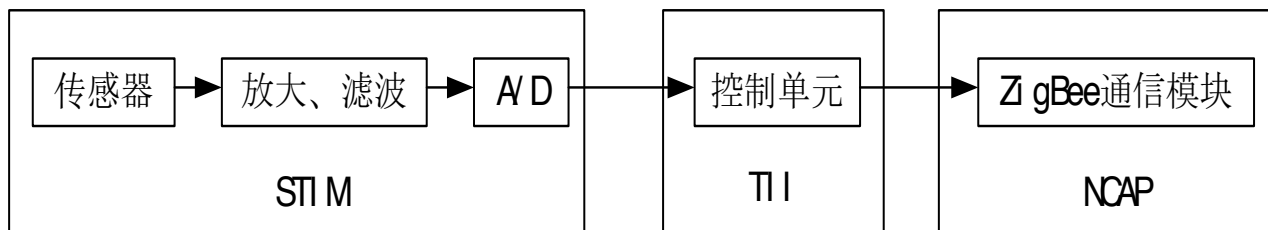


图6-11无线传感器结点的结构实例

6.5蓝牙(Bluetooth)

蓝牙运行在**2.4GHz**的非授权**ISM** ((Industrial Scientific Medical))频段，通信距离只有**10m**左右。蓝牙技术具有不同的通信方式，如**点对点**的通信方式、**点对多点**的通信方式和较复杂的散射网方式。

6.5.1蓝牙协议栈简介

蓝牙协议栈的结构

如图6-12所示。

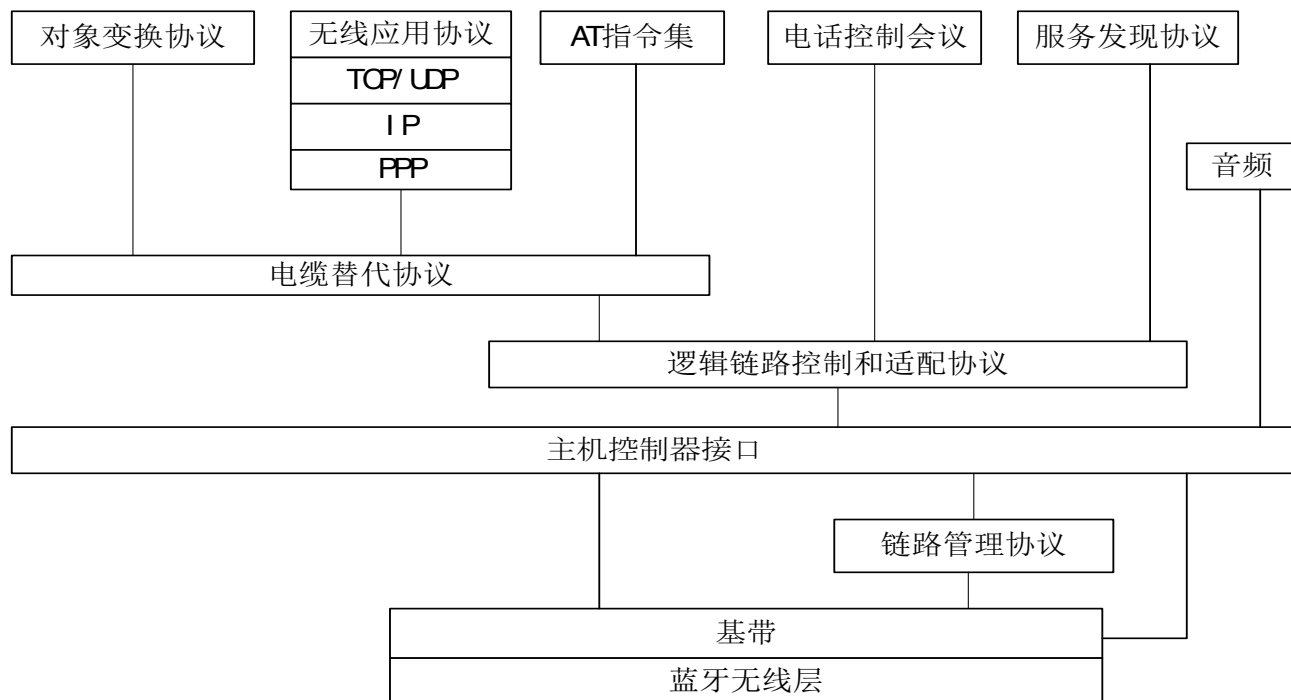


图 6-12 蓝牙协议栈结构图



6.5.2 蓝牙协议栈分析

按照普遍的分类方法，把蓝牙协议栈中的协议组成可以分为以下**三大分类**：

第一类由蓝牙SIG专门针对蓝牙开发的核心规范(Specification of the Bluetooth System-Core)。

第二类是由蓝牙SIG基于现有的协议开发而成的协议子集规范(Specification of the Bluetooth System Profiles)。

第三类是蓝牙SIG采纳的其他组织制订的协议，即根据不同的应用需要来决定所采用的不同协议。



1. 蓝牙无线层

蓝牙无线层，它是蓝牙规范定义的最底层，其主要是完成处理中**接口数据**的发送和接收，包括**载波产生**、载波**调制**和**发射功率控制**等。在蓝牙规范中的无线层规范中定义了蓝牙无线层的技术指标，包括频率带宽、带外阻塞、允许的输出功率以及接收器的灵敏度等。



2. 基带层

蓝牙协议栈中基带层位于蓝牙无线层之上。基带层定义了蓝牙设备相互通信过程中必需的编码/解码、跳频频率的生成和选择等技术。基带层规范还定义了各个蓝牙设备之间物理射频连接，以便组成一个微微网。在基带层可以组合电路交换和分组交换，为同步分组传输预留时间槽，一个分组可占1个、3个或者5个信道，每个分组以不同跳频发送。同时，基带层还具有把数据成帧和信道管理的功能。

微微网是具有社会化媒体功能的社交平台，为国内微电影导演、编剧、演员及创作人员提供交流分享的平台，是第一时间获取微电影行业信息、得到微电影创作机会，并每天分享国内外最新、最火、最潮微电影的平台。

2. 基带层

- 蓝牙可以提供**点对点**和**点对多点**的无线通信。在基于蓝牙的网络中，所有设备的**地位**、都是**平等**的。

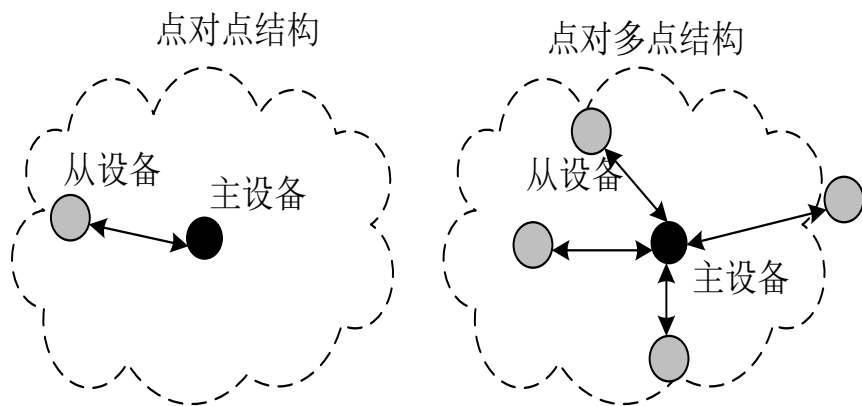


图 6-13 蓝牙微微网结构

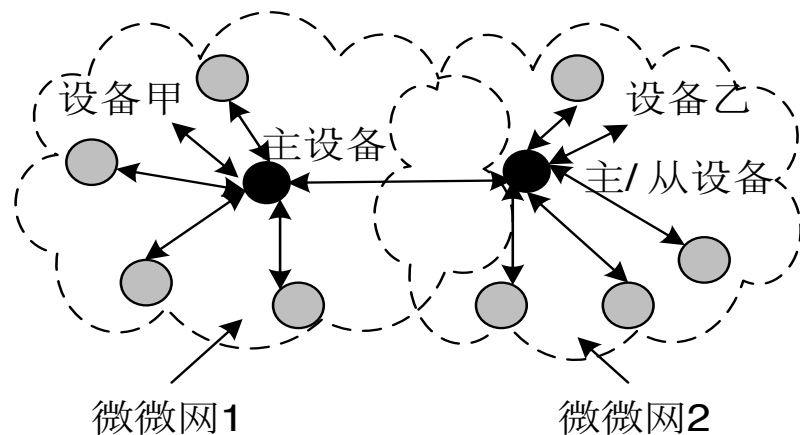


图 6-14 蓝牙散射网结构



6.5.3 蓝牙技术的发展趋势

在Bluetooth SIG发布Bluetooth 1.0规范后，又先后发布了V1.1和V1.2版本。蓝牙V1.1和V1.2的数据传输速率都不超过1Mbps，直到2005年3月Bluetooth SIG发布了新的标准Bluetooth 2.0+DR Enhanced Data Rate)，将传输速率提升至2Mbps。

蓝牙的另一大问题是它的专利主要被几家创始公司所拥有，并且Bluetooth SIG在与IEEE的合作过程中，对IEEE 802.15的工作进行了限制，不允许其对蓝牙标准进行过多的修改，这使得蓝牙作为一个国际标准的推广大打折扣。

就目前来看，其**市场前景还不能判断**，不过，计算机行业、移动通信行业和家电行业都对蓝牙技术十分青睐，认为蓝牙技术将对未来的无线移动数据通信业务产生巨大的促进作用。

蓝牙技术持续发展的最终形态脱离了以**手机为核心的发展构架**，在各类PC周边产品之间以蓝牙技术传输资料的应用正在同步进行，而不是围绕在手机的架构下打转。

蓝牙技术已被公认为是无线数据通信最为重大的进展之一。



6.6 WIFI技术

6.6.1 概述

WIFI技术具有如下四个特点：

（1）无线电波的覆盖范围广。**WIFI**覆盖范围半径可达到**100m**左右，可以在普通大楼中使用。

（2）**WIFI**传输速度快，可以达到**11Mb/s**，但是传输的无线通信质量和传输的安全性能不是很好。

（3）厂商进入该领域的门槛较低。厂商只要在机场、车站、咖啡店等公共场所设置“热点”，并通过高速线路将因特网接入上述场所。

（4）无需布线。**WIFI**最主要的优势在于无需布线，可以不受布线条件的限制，因此非常适合移动办公用户的需要。

1.IEEE802.11WLAN标准

WLAN标准的第一个版本发表于**1997**年，即**IEEE802.11**，定义了介质访问控制层(**MAC**)和物理层。最初的版本主要用于办公室局域网和校园网，用户和用户终端的无线接入业务主要限于数据存取，速率最高达到**2Mb/s**。

2.组网方式

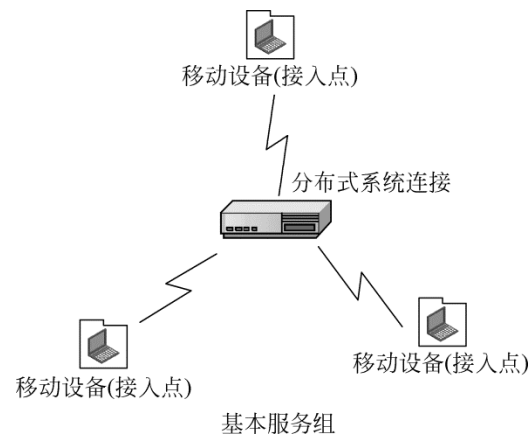
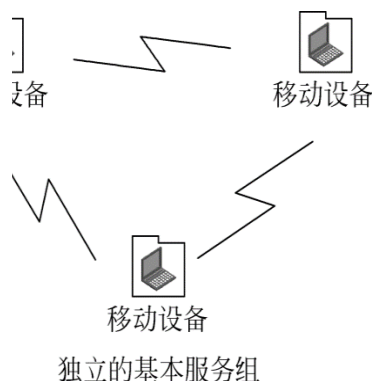
WIFI连接点的网络成员和结构如下：

- (1) 基本服务单元：网络最基本的服务单元。
- (2) 分配系统：
- (3) 站点：
- (4) 接入点：
- (5) 扩展服务单元：

IEEE802.11只负责在站点使用的无线的媒介上寻址。分配系统和其他局域网的寻址不属于无线局域网的范围。**IEEE802.11**标准定义了两种基本服务单元：**Ad hoc**模式和固定模式。

(1) **Ad Hoc**模式

(2) 固定模式





6.6.2 WIFI协议架构

IEEE802.11标准规范定义了一个通用的媒体访问层(**MAC**)，提供了支持基于**802.11**无线网络操作的多种功能。

1.802.11规范

IEEE802.11标准规范逻辑结构包括了无线局域网的物理层和媒体访问控制层(**MAC**)。逻辑链路控制层(**LLC**)由**IEEE802.2**规范定义，也用于以太网**IEEE802.3**中。

2.无线媒体接入

IEEE802.11标准定义了一些**MAC**层协调功能来调节多个站点的媒体接入，可选择点协调功能和分布式协调功能两种模式。

点协调功能可以在时间要求严格的情况下为站点提供无竞争的媒体接入。

分布式协调功能可对基于接入竞争采取带有冲突避免的载波检测多路访问(**CSMA/CA**)机制。

3.物理层

1997年完成并公布的**IEEE802.11**标准的最初版本支持**3**种可选的物理层:调频序列扩频、直接序列扩频和红外物理层。这三种物理层支持的数据速率为**1Mb/s**和**2Mb/s**。

IEEE802.11标准的物理层标准主要有**IEEE802.11b**、**IEEE802.11a**和**IEEE802.11g**，这些标准分别定义了不同的物理层传输方式、调制方式。**IEEE802.11**标准的扩充版本集中在**IEEE802.11b**、**IEEE802.11a**、**IEEE802.11g**和**IEEE802.11n**。



6.6.3WIFI技术应用

无线局域网的应用范围广泛，室内应用包括大型办公室、车间、酒店宾馆、智能仓库等；室外应用包括城市建筑物群间通信、学校校园网络、工矿企业厂区自动化等。下面介绍几种典型的行业引用。

1. 交通运输

2. 医疗行业

3. 教育行业



6.6 UWB

UWB (Ultra-Wide Bandwidth, **超宽带**)技术是近年来在国际上新兴的一种无线通信技术。一般的通信系统通过发送**射频载波**进行**信号调制**，而UWB通信系统则不同，它没有采用**载波**，而是利用持续时间非常短(纳秒级)的**窄脉冲形式**传输数据，而且数据传输速度可以达到几百Mbps以上。



6.6.3 UWB的发展趋势

在UWB标准之争中，MB-OFDM和DS-UWB各有其技术优势，由于支持这两种技术的两大阵营各不相让，难以达成一致。虽然UWB标准制订的延缓会使超宽频进入市场，但是在学术界、产业界特别是FCC的大力支持下，已有多项UWB方面的专利和多种UWB产品问世，例如，美国风险企业Artimi在2005年发布了具备UWB通信功能的LSI“RTMI-100”，其最大传输速度为800Mbps。同时，UWB技术也有许多新的、挑战性的问题值得去研究，比如UWB设备与传统窄带业务之间的兼容性以及如何共存问题，随着国际上对UWB技术的关注和重视，很多知名高科技公司及科研机构 and 大学都在开展UWB无线通信技术的研究和开发。有理由相信，随着各国科研人员的进一步努力及合作，UWB技术将会更加完善、更加有效地服务人们生活的各个方面，并在无线通信领域产生巨大的影响。



6.8 红外线数据传输技术（IrDA）

IrDA是一种利用红外线进行点对点通信的技术，是由红外线数据标准协会（**Infrared Data Association**）制定的一种无线协议，其硬件及相应软件技术都已比较成熟。

6.9 短距离无线通信技术特点比较

表 6-12 几种短距离无线通信技术的比较

规范	ZigBee	IrDA	Bluetooth	802.11b	802.11a	802.11g
工作频率	868MHz/ 915MHz, 2.4GHz	波长 820nm	2.4GHz	2.4GHz	5.2GHz	2.4GHz
传输速率 Mb/s	0.25	1.52/4/16	1/2/3	11	54	54
数据/语音	数据	数据	语音/数据	数据	数据	数据
最大功耗 /mW	1~3	几个	1~100	100	100	100
传输方式	点到多点	点到点	点到多点	点到多点	点到多点	点到多点
连接设备数	216~264	2	7	255	255	255
安全措施	32、64、128 位 密钥	靠短距离小 角度传输 保证	1600 次/秒跳 频、128 位密钥	WEP 加密	WEP 加密	WEP 加密
支持组织	ZigBee 联盟	IrDA	Bluetooth	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a	IEEE 802.11g
主要用途	控制网络、家 庭网络、传感 器网络	透明可见范 围、近 距 离 遥控	个人网络	无线局域网	无线局域网	无线局域网

