

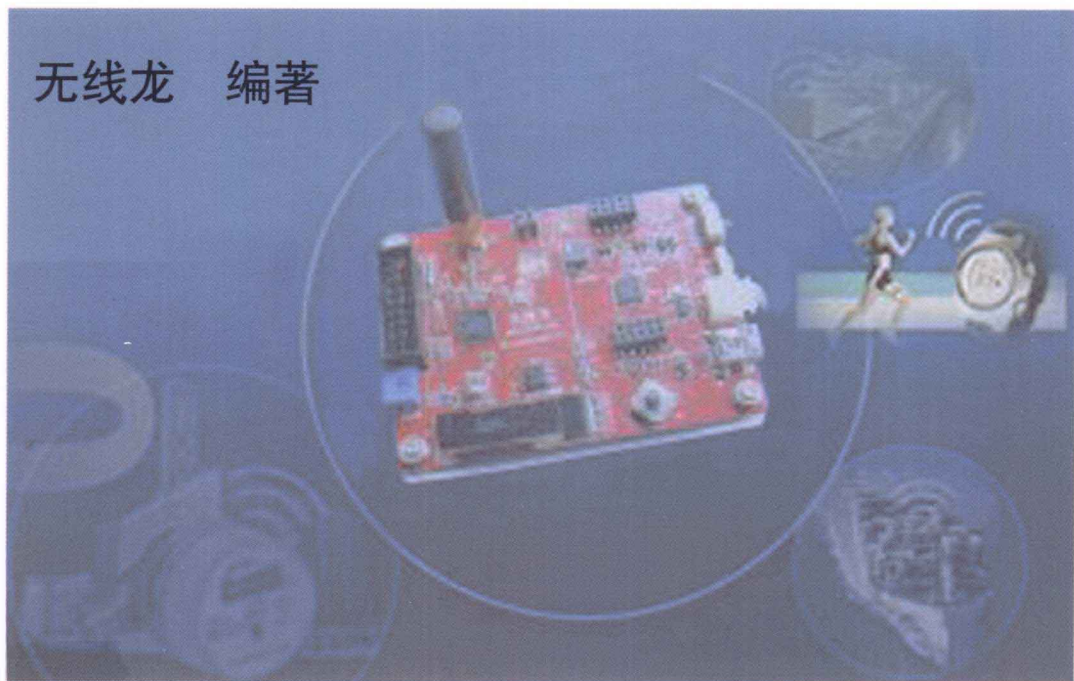
物联网
应用技术
系列教材

WULIANWANG
YINGYONG JISHU
XILIE JIAOCAI

CC430

与无线传感网

无线龙 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

★★★★ |||||★★★★
物联网应用技术系列教材

CC430 与无线传感网

无线龙 编著

北京
冶金工业出版社
2011

内 容 提 要

如何开发低功耗无线传感网络系统,如何开发自组织无线传感网络协议软件,如何设计工作复杂的网络拓扑软件?本书介绍一个运行在 CC430 等片上系统的小型无线传感网络协议栈,像一只被解剖的麻雀,展示了其中奥妙和原理,让读者对无线网络豁然开朗,对无线网络的原理和设计,都会有全新的认识。

本书通过实验,让读者实际体验和了解包括网络管理、数据中心、跳频、范围扩展、加密、低功耗网络等高级无线网络基础。同时对网络协议各层,如 APP 应用层、NWK 网络层、LHAL 硬件逻辑层、无线网络的加密层等,也有一个实际和清晰的了解。

图书在版编目(CIP)数据

CC430 与无线传感网/无线龙编著. —北京:冶金工业出版社, 2011. 10
物联网应用技术系列教材
ISBN 978-7-5024-5720-4

I. ①C… II. ①无… III. ①无线电通信—传感器—高等学校—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 190407 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 程志宏 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5720-4

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011 年 10 月第 1 版, 2011 年 10 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 14.25 印张; 339 千字; 213 页

38.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《CC430 与无线传感网》编委会

主 任：李文仲

编 委：段朝玉 崔亚远 林 涛 王锡强 康 凯
栗学林 浦 钊 蒋冬梅 胡 亚

前 言

采用无线片上系统 (SOC) 实现无线传感器网络, 是一项与物联网相关的重要技术。

MSP430 是一种非常优秀的低功耗微控制器, CC1101 是一种非常可靠的无线收发器, TI 公司将最新的 MSP430F5XXX 内核和 CC1101 无线收发器集成到了单芯片, 推出了全新一代无线单片机 CC430, 为无线传感器网络添加了一颗新星。

国内高等学校物联网专业课程设置中, 学习无线传感器网络是一项非常重要的教学内容, 而构成无线传感器网络的核心, 无论是节点、路由器或网关, 都是由像 CC430 这样的低功耗无线单片机构成的, 因此需要全方位掌握无线单片机原理和应用设计。

本书以 TI 公司精简无线传感器网络技术为主线, 通过对 CC430 核心微控制器硬件和软件技术的深度剖析, 让学生和读者对 TI 精简无线传感器网络和协议栈有全方位的理解和掌握, 并同时进行相关动手实践, 全面掌握 TI 精简无线传感器网络和协议栈, 并且使用这些核心技术完成实际物联网组网和应用项目开发。

本书遵循理论结合实践的思路, 以 C 语言编程为主线, 重点强调每个学习环节的基础理论、可视化教学和可动手能力, 让复杂的高频技术和无线通信知识和原理, 分解于每个演示和实验中, 让读者和学生在轻松和循序渐进中, 完成高级课程的学习过程, 使读者对无线传感器技术和 CC430 无线单片机技术有一个较透彻的了解和掌握。

本书从熟悉的无线基础通信知识及基本的硬件工具和平台入手, 让读者首先熟悉贯穿全书无线单片机 CC430 以及一个无线教学平台, 然后引导读者掌握 IAR 高级软件编译和集成调试环境。这是一个非常强大、类似 KEIL 的 C51 编

译和软件调试开发平台。接下来详细介绍了 CC430 无线单片机的硬件结构和基础，为下一步的学习打下基础。

从本书第 2 章起通过 11 组实验，让读者在动手实践中，开始单片机学习实践之旅，实验内容涵盖了 I/O 初始化、定时器使用、中断应用、A/D 应用、串口通信、时钟编程、看门狗、液晶驱动等，用来引导初学者入门。每个实验都给出了详细的原理、实验内容以及建好的 C51 工程和 C51 源代码程序。对于完全没有单片机基础的读者，通过这个阶段的学习实验过程，将能够较容易地对照教材指导，完成实验并初步掌握单片机的基础；对于已经非常熟悉 8051 单片机的读者，也可以将本章看作是一个很好的复习和对无线单片机的熟悉过程。

在读者完成无线单片机的基本训练后，本书进入全书的重点——自组织无线传感器网络，通过对能“开盒即用”、在 CC430/CC1110/CC2510 等片上系统上运行、简单小型无线传感网络协议的详细介绍和大量实验，让读者了解和真实体验典型的网络协议的基础和原理以及 C51 代码是如何在无线传感网络协议工作中工作的具体过程。

小型低功耗无线传感网络通常包含电池供电的设备，这就需要较长的电池使用寿命，以及较低的数据速率与占空比，而且直接相互通信的节点数量也非常有限。利用这个小型网络协议可实现 MCU 资源占用的最小化，从而降低了低功耗无线传感网络的系统成本。

在使用很少资源情况下，这个小型无线网络协议依然能够支持点对点多路由通信，这种选择方案不仅可使用数据中心和网关来存储并发送消息，还能通过范围扩展设备来扩大网络覆盖范围，以支持四次网络跳转。同时还支持串状网络和多种网络拓扑以及高级网络路由等多种自组织无线传感网络功能。

本书的大量实验，让读者实际体验和了解包括 Network Management（网络管理）、Access Point（数据中心）、Frequency Agility（跳频）、Range Extender（范围扩展）、Encryption（加密）、Battery-only Network（低功耗网络）等高级无线网络基础。同时对网络协议各层，包括 Application Layer（APP）应用层，Network Layer（NWK）网络层，Lite Hardware Abstraction Layer（LHAL）硬件逻辑层，无线网络的加密层等，也有一个实际和清晰的了解。

如何开发低功耗无线传感网络系统或开发自组织无线传感网络协议软件，

如何设计工作复杂的网络拓扑软件，这些内容在目前的市售的书籍和资料中尚很少见，但是这个运行在 CC430 等片上系统的小型无线传感网络协议栈，如同被解剖的麻雀，展示了其中奥妙和原理，让读者对无线网络豁然开朗，对无线网络的原理和设计，有了全新的认识。成都无线龙通讯提供了全部网络协议栈 C51 源代码，读者在学习领会的基础上，可以很方便地在 C51 源代码上，自己进行修改和开发各种实际应用。

当读者完成了本书的学习以及认真通过了本书的各种实验，那么祝贺您从对缺乏单片机基础跨越到已经具备了良好单片机 C51 软件开发基础，对无线通信，基础物联网，无线传感网络兼备且具有相当实际动手能力和知识、经验的行家。同时也希望读者在此基础上，继续学习 32 位微控制器，学习各种新型无线芯片，学习 ZigBee 无线网络、蓝牙无线网络、GSM/GPRS/3G 和 802.11/Wi-Fi 高速无线网络技术等。

今天物联网技术、无线传感网技术正在以空前的速度向我们走来，也正在改变着世界、改变着我们的生活和未来！愿本书成为读者启航物联网、传感网世界的一叶扁舟，一片桨叶，一丝清风……这也是作者和冶金工业出版社共同的心愿。

作 者
2011 年 8 月

目 录

| | |
|--------------------------|----|
| 第 1 章 无线网络技术基础 | 1 |
| 1.1 无线网络基础 | 1 |
| 1.1.1 什么是无线通信 | 1 |
| 1.1.2 无线通信与有线通信的区别 | 2 |
| 1.1.3 影响无线通信的因素 | 3 |
| 1.2 无线和传播 | 4 |
| 1.3 调制与解调 | 7 |
| 1.3.1 调制 | 8 |
| 1.3.2 解调 | 9 |
| 1.4 短距离无线通信 | 11 |
| 第 2 章 CC430 微控制器内核 | 13 |
| 2.1 CC430 结构原理 | 13 |
| 2.1.1 CC430 概述 | 13 |
| 2.1.2 处理器 MSP430 | 16 |
| 2.1.3 射频 CC1101 | 20 |
| 2.2 编程和调试平台 | 23 |
| 2.2.1 软件编程及调试平台 | 23 |
| 2.2.2 硬件编程与调试平台 | 47 |
| 2.3 基本 C 语言编程 | 50 |
| 2.3.1 标识符与关键字 | 53 |
| 2.3.2 基本语法 | 54 |
| 2.3.3 函数 | 58 |
| 2.3.4 数组 | 61 |
| 2.3.5 指针 | 62 |
| 2.3.6 结构 | 64 |
| 2.3.7 编程应用 | 65 |
| 2.4 相关接口和定时器编程 | 69 |
| 2.4.1 I/O 控制 | 69 |

| | | |
|--------------|-----------------------------|------------|
| 2.4.2 | 按键控制开关 | 70 |
| 2.4.3 | Timer_A1 使用 | 70 |
| 2.4.4 | Timer_A1 溢出中断使用 | 71 |
| 2.4.5 | Timer_A1 定时比较中断使用 | 72 |
| 2.4.6 | 看门狗定时器的使用 | 72 |
| 2.4.7 | Flash 操作 | 73 |
| 2.4.8 | ADC12 的操作 | 74 |
| 2.4.9 | MPY32 使用 | 76 |
| 2.4.10 | DMA 的使用 | 76 |
| 2.4.11 | UART 模式 | 77 |
| 第 3 章 | CC430 无线收发器 | 79 |
| 3.1 | 结构原理与寄存器 | 79 |
| 3.1.1 | 无线控制 | 79 |
| 3.1.2 | 寄存器 | 83 |
| 3.2 | 微控制器接口和配置 | 85 |
| 3.2.1 | 接口 | 85 |
| 3.2.2 | 配置 | 86 |
| 3.2.3 | 通用引脚 | 91 |
| 3.3 | 编程及计算 | 91 |
| 3.3.1 | 数据速率编程 | 91 |
| 3.3.2 | 信道滤波器带宽 | 92 |
| 3.3.3 | 调制格式 | 93 |
| 3.3.4 | 链路质量信息 | 94 |
| 3.3.5 | 交错前向纠错 | 98 |
| 3.3.6 | 频率编程 | 99 |
| 3.3.7 | 输出功率编程 | 100 |
| 3.3.8 | 异步及同步串行 | 101 |
| 3.4 | 系统因素 | 102 |
| 3.4.1 | 跳频和多信道系统 | 102 |
| 3.4.2 | 数据突发/连续传输 | 103 |
| 3.4.3 | 增加输出功率 | 103 |
| 第 4 章 | CC430 典型系统——创新 RF103 | 104 |
| 4.1 | 创新 RF103 教学平台概述 | 104 |
| 4.2 | 创新 RF103 教学平台硬件 | 106 |
| 4.2.1 | 平台概述 | 106 |

| | | |
|------------|------------------------------|------------|
| 4.2.2 | 仿真器 | 107 |
| 4.2.3 | 节点主板 | 107 |
| 第5章 | TI 精简传感器网络 | 117 |
| 5.1 | SimpliciTI 无线网络的设备 | 117 |
| 5.2 | SimpliciTI 网络结构 | 118 |
| 5.2.1 | 地址 | 120 |
| 5.2.2 | 网络连接 | 120 |
| 5.2.3 | 数据帧格式 | 120 |
| 5.3 | 认识 SimpliciTI 协议栈 | 120 |
| 5.3.1 | NWK applications 网络应用层 | 122 |
| 5.3.2 | 对等层面结构的特点 | 123 |
| 5.4 | SimpliciTI 协议栈软件实现 | 123 |
| 5.5 | SimpliciTI 网络实验构架 | 125 |
| 5.5.1 | 实验文件构架简介 | 126 |
| 5.5.2 | 工作流程图 | 127 |
| 5.5.3 | 部分常用基础函数介绍 | 127 |
| 5.5.4 | 部分常用 API 函数介绍 | 130 |
| 5.5.5 | 主函数介绍 | 130 |
| 5.5.6 | 工程文件设置 | 132 |
| 5.6 | SimpliciTI 网络示例 | 133 |
| 5.6.1 | 无线俄罗斯方块游戏 | 133 |
| 5.6.2 | 无线贪吃蛇游戏 | 140 |
| 第6章 | TI 精简传感网络协议栈使用 | 149 |
| 6.1 | Simple_Peer_To_Peer 实验 | 149 |
| 6.2 | AP_as_Data_Hub 实验 | 152 |
| 6.3 | Polling_with_AP 实验 | 157 |
| 6.4 | SimpliciTI 无线传感器网络 | 161 |
| 6.4.1 | SimpliciTI 传感网系统结构 | 162 |
| 6.4.2 | SimpliciTI 传感网资源要求 | 163 |
| 6.4.3 | SimpliciTI 传感网系统演示 | 165 |
| 第7章 | CC430 与物联网 | 175 |
| 7.1 | 网关原理结构 | 175 |
| 7.2 | 典型物联网网关 | 177 |
| 7.3 | 典型网关上集成的无线网络协调器 | 179 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 7.3.1 低功耗传感网络协调器 | 179 |
| 7.3.2 低功耗 Wi-Fi 协调器 | 179 |
| 7.3.3 低功耗蓝牙协调器 | 181 |
| 7.3.4 GPRS/3G 协调器 | 181 |
| 7.4 传感网与互联网路由 | 183 |
| 7.5 传感网与 Wi-Fi 网络互联 | 192 |
| 7.6 传感网与移动网络互联 | 201 |
| 7.7 USB 接口监控传感网 | 206 |
| 参考文献 | 213 |

第 1 章 无线网络技术基础

1.1 无线网络基础

1.1.1 什么是无线通信

当今人们每天的生活都和无线信息息息相关，我们日常生活中使用的各种遥控器、无绳电话、手机、GPS 系统、网卡等等，都是无线技术的实际应用，无线技术已经融入了我们的生活。那么究竟什么是无线通信系统，它又能给我们带来什么呢？

一般来讲，所谓无线，顾名思义就是利用无线电波作为信息的传导；就应用来讲，只要是使用空气作为媒介的信号传输都可称为无线通信。无线通信与有线通信的用途完全相似，两者最大不同在于传输资料的媒介不同。除此之外，正因它是无线，因此无论是在硬件架设还是机动性均比有线通信要优越许多。我们平时的交谈其实就是一种最简单的无线通信，从他人口中发出抑扬顿挫的声音，通过空气，传输到我们的耳朵中，经过我们大脑的处理，转化成为可以理解的各种概念。复杂的无线通信系统，和我们平时最基本的交谈，原理都是一样的。

无线通信系统主要包括两部分，即发送端和接收端，如图 1-1 所示。

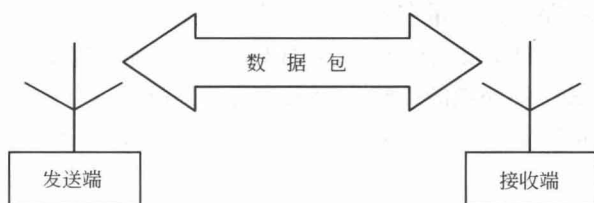


图 1-1 无线通信基本结构

典型的无线通信结构由一个无线发射器（包括数据源、调制器、RF 源、RF 功率放大器、天线、电源）和一个无线接收器（包括数据接收电路、RF 解调器、译码器、RF 低噪声放大器、天线、电源）所构成。发射器的数据通过无线发射出去，接收器天线接收后，进行处理，得到经过校验的正确数据。在远距离的无线通信中，还需要中继站，发送端向外界发送数据信息，由于传输距离远会造成信号出现衰减，需要安装中继站来提高信号传送的质量，接收端把信息接收后处理使用。

无线通信的范围非常广泛，可分为许多种类。按照传输媒介可分为光通信、微波通信、声波通信等等；按照传输距离可分为长距离无线通信和短距离无线通信；按照频段可分为 ISM 频带无线通信、军用频带无线通信、航空频带无线通信等等；按照传输的信息可

分为无线控制、语音无线通信、海量数据无线通信等；按照协议标准来分可分为无线局域网、蓝牙、HomeRF、ZigBee、无线 USB、Wi-Fi、WiMAX、UWB 等等。

无线通信的主要应用范围包括：公共设施自动化、无线宽带网络、仓库和物流管理、医院监护、安全管理、国防军事、交通运输、石油勘探、森林防火、抗洪抢险、国土勘查、无线直播、海关缉私、港口作业、水文监控等等。随着无线技术的不断发展和应用市场的不断扩大，各种无线技术层出不穷，今天整个无线领域已经呈现出了一派繁荣的景象。虽然无线技术产品仍然存在着体积、安全性、价格、能耗、使用费等一系列亟待解决的问题，但我们不得不承认，无线技术的浪潮已经来到我们身边，无论是身处闹市还是远在山村，无论是会议室还是居家你都能深刻地感受到这一点。

21 世纪是无线技术的黄金时代，无线技术深刻地改变我们的生活。

1.1.2 无线通信与有线通信的区别

有线和无线的区别从字面上就可以看出来。有线，顾名思义，就是设备后面拖有一个“尾巴”：有线电视后面的电信线、电话后面的电话线、电脑后面的双绞线等等。这些线最显著的一点就是把设备束缚在一定的区域内，无法灵活移动。对工作时需要不断移动位置的人员，如货物清点员、执行任务的警察、外出急诊的医务人员和外出采访的记者等，时常会带来一些麻烦。相对来说，有线将发送端和接收端限制在一定的物理连线上，当你超出一定区域时，就会失去和网络的联系。而无线通信就不存在以上这些问题。

当然，无线和有线的区别不仅限于线路上，有很多方面两者还存在着显著的不同，下面把两项通信技术做一个简单的比较。

(1) 有线通信必须架设线路；而无线通信无须线路，故开通快并可以节省线路维护费用。

(2) 一般的有线线路通信质量会随着线路的扩展而显著下降，而产生很高的误码率、速度级别也会明显降低；而无线通信方式的误码率较之有显著降低。

(3) 有线通信容易受到环境的影响，而无线通信则没有这些顾虑。

(4) 有线通信通信容量有限，扩展较困难，且费用较高，无线通信则可随时架设，扩展方便。

(5) 在许多场合中布线非常困难，用无线网络连接就可极大地降低组网的成本。

(6) 腐蚀、意外损坏、信号反射等线缆故障常导致网络瘫痪，干扰用户对网络数据的访问，无线则避免出现这些问题。

(7) 有线通信出现故障时，查找困难，无线通信只需维护各个节点，出错时较容易查找原因。

(8) 无线通信可迅速组网，并当一个节点出现故障时，其他节点也可迅速组网。

(9) 无线通信相对有线通信更安全，有线链路更容易被搭线窃链。

(10) 有线网络中，网络设备的安放位置受网络信息点位置的限制；无线网络中，在无线网的信号覆盖区域内任何一个位置都可以接入网络。

无线通信在可靠性、实用性和实时性方面都超出了传统的有线通信方式，尤其是在一些特殊的环境下，更是体现出了其优越性。现今公共设施自动化、网络、仓库和物流管理、医院监护、安全管理、国防军事、水文监控等许多领域，有线技术正在逐渐被无线技

术所取代, 大部分的电子产品都将是无线并可随时在线的。无线技术将深刻改变人们的生活方式。

1.1.3 影响无线通信的因素

无线通信中有很多因素影响其通信速率、覆盖范围、通信距离和通信质量。首先无线电波在空间中传播, 自身就会减弱, 穿过障碍物时会减弱的更加严重, 这种现象称为阻隔, 空气的阻隔是最小的。当然, 影响传输距离的还有周围的电波干扰问题。另外环境因素对无线通信的影响也很大。对于一个无线通信系统本身来说, 自身的参数也决定了通信的质量和效果, 总结起来, 无线通信主要的几项影响因素可归纳如下:

(1) 环境因素。通信距离最远的是海平面及陆地无障碍的平直开阔地, 这也是通常用来评估无线通信设备的通信距离时使用的地理测试条件; 其次是郊区农村、丘陵、河床等半障碍、半开阔环境; 通信距离最近的是城市楼群中或群山中。障碍物越密集, 对无线通信距离的影响就越大, 特别是金属物体的影响最大。

(2) 磁场因素。直流电机、高压电网、开关电源、电焊机、高频电子设备、电脑、单片机等设备对无线通信设备的通信距离均有不同程度的影响。

(3) 天气因素。空气干燥时通信距离较远, 空气潮湿(特别是雨、雪天气)通信距离较近; 在产品容许的环境工作温度范围内, 温度升高会导致发射功率减小及接收灵敏度降低, 从而减小了通信距离。

(4) 输出功率。发射输出功率越大, 信号传播得越远, 通信距离也越远; 从理论上说发射机的射频输出功率可无限增大, 但由于受各种技术规范的制约和成本的限制也不能随意加大。

(5) 接收灵敏度。接收灵敏度反映了接收机捕捉微弱信号的功能, 接收灵敏度越高, 通信距离也越远。但由于受自然界电磁噪声及工业污染、电子元器件固有噪声的影响, -123dBm (即 $0.158\mu\text{V}$) 通常被认为是现代无线电通信工程中纯硬件实现的接收灵敏度的极限值, 很难突破, 如果系统的接收灵敏度已接近这一极限值, 就基本上无潜力可挖了, 再想要提高通信距离只能从其他方面着手了。

(6) 系统抗干扰能力。实际的通信环境总是存在着各种干扰源, 在同样的发射功率和同样的接收灵敏度的前提下, 系统的抗干扰能力越强, 实际通信距离也越远。许多高频工程师都有这样的体会: 在实验室(屏蔽网房)内测试, 调幅机与调频机的发射功率和接收灵敏度都相同, 但在实际环境中测试时, 调频机的通信距离往往是调幅机的若干倍, 甚至调幅机根本就不能工作, 而调频机仍能有较远的通信距离, 原因是调频机的抗干扰能力要比调幅机强得多。相对而言, 调频系统的抗干扰能力优于调幅系统, 而窄带系统的抗干扰能力优于宽带系统, 因此, 带宽越窄, 抗干扰能力就越强, 在同一发射功率和接收灵敏度条件下, 通信距离也越远。

(7) 软件纠错。具有软件纠错的系统, 其通信距离也比无软件纠错的系统远, 但软件纠错一般也只能再等效地改善接收灵敏度 $1\sim 4\text{dB}$ 。

(8) 天线类型及其增益。天线的增益越高, 通信距离也越远。当发射机采用高增益的定向天线时, 能显著提高通信方向上的功率密度(场强), 而接收机采用高增益定向天线时能显著改善信号/噪声比, 并提高接收场强, 从而大幅度提高通信距离。

(9) 天线有效高度。在各种条件相同的前提下，天线距离地平面的高度越高，通信距离越远，特别是在城市环境下，提高天线的高度比增大发射功率对通信距离的影响要大得多。

在实际应用中，应当尽量的减小这些影响，因地制宜的使用无线通信技术。避免在无线通信中使用同频段无线设备，避免干扰，天线要放置在较高地点，与无线接收端尽量可视，避免盲区，避免穿透太多隔墙和金属障碍物等等。遵循以上的这些规律，无线系统才能够高效、准确的收发信息。

1.2 无线和传播

在没有文字的远古时代，人们是怎样传递信息的呢？那时除了刻一些简单的符号外，结绳记事是很重要的一个办法。如果是大事情，就打个大大的结；如果是小事情，就打小的结。不同数量的结也代表不同的意思。

我国是世界上最早建立有组织的传递信息系统的国家之一。早在三千多年前的商代，信息传递就已见诸记载。乘马传递曰驿，驿传是早期有组织的通信方式。

数据通信的发展经历了以下几个阶段：

- (1) 以语言为主，通过人力、马力、烽火等原始手段传递信息；
- (2) 文字、邮政（增加了信息传播的手段）；
- (3) 印刷（扩大信息传播范围）；
- (4) 电报、电话、广播（进入电器时代）；
- (5) 信息时代，除语言信息外，还有数据、图像、文本等。

电磁波（又称电磁辐射）是由同相振荡且互相垂直的电场与磁场在空间中以波的形式移动，其传播方向垂直于电场与磁场构成的平面，有效的传递能量和动量。

电磁辐射可以按照频率分类，从低频率到高频率，包括有无线电波、微波、红外线、可见光、紫外光、X 射线和 γ 射线等等，如图 1-2 所示。人眼可接收到的电磁辐射，波长大约在 380~780nm 之间，称为可见光。只要是本身温度大于绝对零度的物体，都可以发射电磁辐射，而世界上并不存在温度等于或低于绝对零度的物体。

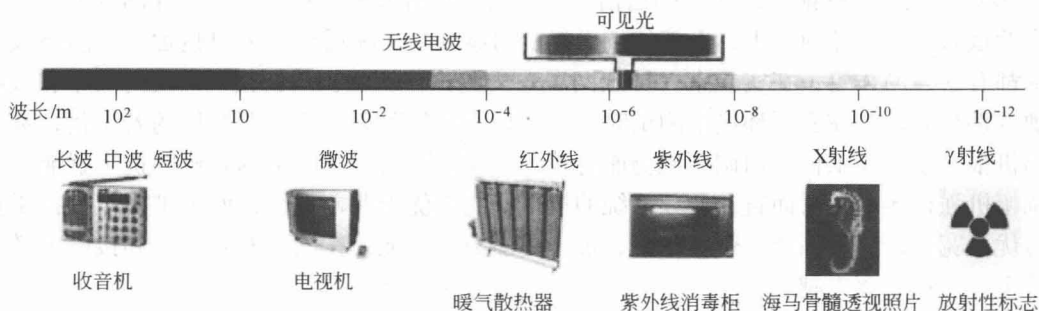


图 1-2 电磁波

波长大于 1mm，频率小于 300GHz 的电磁波是无线电波。无线电波是指在自由空间（包括空气和真空）传播的射频频段的电磁波。

用于空间传输的电波是一种电磁波，其传播的速度等于光速。无线电波可以按照频率或波长来分类和命名，把频率高于 300MHz 的电磁波称为微波。由于各波段的传播特性各异，因此，可以用于不同的通信系统。例如，中波主要沿地面传播，绕射能力强，适用于广播和海上通信；而短波具有较强的电离层反射能力，适用于环球通信；超短波和微波的绕射能力较差，可作为视距或超视距中继通信。

在自由空间中，波长与频率存在以下关系：

$$c = f\lambda$$

式中 c ——光速；

f , λ ——分别为无线电波的频率和波长。

因此，无线电波也可以认为是一种频率相对较低的电磁波。对频率或波长进行分段，分别称为频段或波段，如表 1-1 所示。不同频段信号的产生、放大和接收的方法不同，传播的能力和方式也不同，因而它们的分析方法和应用范围也不同。无线电波只是一种波长比较长的电磁波，占据的频率范围很广。

表 1-1 波段与频段

| 波段名称 | 波长范围/m | 频段名称 | 频率范围/Hz |
|------|-----------------|------|--------------|
| 超长波 | 1000000 ~ 10000 | 甚低频 | 3k ~ 30k |
| 长波 | 10000 ~ 1000 | 低频 | 30k ~ 300k |
| 中波 | 1000 ~ 100 | 中频 | 300k ~ 3000k |
| 短波 | 100 ~ 10 | 高频 | 3M ~ 30M |
| 米波 | 10 ~ 1 | 甚高频 | 30M ~ 300M |
| 分米波 | 1 ~ 0.1 | 特高频 | 300M ~ 3000M |
| 厘米波 | 0.1 ~ 0.01 | 超高频 | 3G ~ 30G |
| 毫米波 | 0.01 ~ 0.001 | 极高频 | 30G ~ 300G |

电磁波从发射机天线辐射后，不仅电波的能量会扩散，接收机只能收到其中极小的一部分，而且在传播过程中，电波的能量会被地面、建筑物或高空的电离层吸收或反射；或在大气层中产生折射或散射，从而造成强度的衰减。根据无线电波在传播过程所发生的现象，电波的传播方式主要有绕射（地波）、反射和折射（天波）、直射（空间波）。决定传播方式的关键因素是无线电信号的频率。

沿大地与空气的分界面传播的电波叫地表面波，简称地波，绕射传播，传播途径主要取决于地面的电特性。地波在传播过程中，由于能量逐渐被大地吸收，很快减弱（波长越短，减弱越快），因而传播距离不远。但地波不受气候影响，可靠性高。超长波、长波、中波无线电信号，都是利用地波传播的。短波近距离通信也利用地波传播。

天波是利用天空的电离层折射和反射而传播的电波，也叫天空波。电离层只对短波波段的电磁波产生反射作用，因此天波传播主要用于短波远距离通信。具有两个突出特点：一是传播距离远，同时产生中间静区地带；二是传播不稳定，随昼夜和季节的变化而变化。因此，短波通信要经常更换波段，以保证质量。

空间波又称为直射波，是由发射点从空间直线传播到接收点的无线电波。直射波传播

距离一般限于视距范围。在传播过程中，它的强度衰减较慢，超短波和微波通信就是利用直射波传播的。在地面进行直射波通信，其接收点的场强由两路组成：一路由发射天线直达接收天线；另一路由地面反射后到达接收天线，如果天线高度和方向架设不当，容易造成相互干扰（例如电视的重影）。限制直射波通信距离的因素主要是地球表面弧度和山地、楼房等障碍物，因此超短波和微波天线要求尽量高架。

为了能够无线通信，需要一个无线信道。该信道可依靠电磁波、光波或声波的传播。在这，我们只讨论基于电磁现象的无线信道。

日常生活中，我们经常能够看到各式各样的天线。对于一个无线系统来说，能够正确的发送和接收信息是最基本的要求。天线作为无线通信中不可缺少的一部分，其基本功能就是能接收和发送无线电波。发射时，把高频电流转换为电波；接收时，把电波转换为高频电流。那么，这么多的电波在空气中是如何传播，我们又是如何区分哪些是我们需要的电波呢？

频谱（信道）是我们区别各种电波的一个重要依据，无线通信的频谱（信道）在射频这一段包括了常见的调频收音机、各种手机、无线电话、无线卫星电视等等，由于从几十兆到几千兆的频谱（信道）上，集中了各种不同的无线应用，而且这些无线电传播都使用同一个通信媒介——空气，所以为了保证各种无线通信之间不相互干扰，就需要对无线信道的使用进行必要的管理。信道和 RF 接收器的关系如图 1-3 所示。

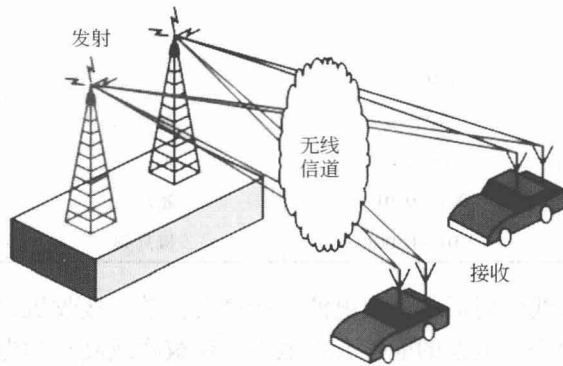


图 1-3 信道和 RF 接收器

各国的无线电管理机构负责管理 RF 信道的使用，在美国这个管理机构是美国联邦通信委员会（FCC），欧洲是欧洲电信标准化协会（ETSI），中国是中国无线电管理委员会。信道管理最基本的规则是无线发送器的使用需要获得许可。

各国的无线管理部门也规定了某些频带不需许可就可以使用，以满足不同的需要，这些频带通常包括 ISM（Industrial、Scientific and Medical 工业、医疗、科学）频带。各国的无线电管理不尽相同。在美国，FCC 管理无线电频谱的分配，可用的免许可证的频带包括：27MHz、260~470MHz、902~928MHz 和最常用的 2.4GHz 频带。其中 260~470MHz 频带对数据传送的类型有所限制，而其他频带则没有这样的限制。ISM 信道在欧洲所分配到的频率为 433MHz、868MHz 和 2.4GHz。中国目前可以使用的 ISM 频率是：433MHz 和 2.4GHz，如图 1-4 和图 1-5 所示。