

21 世纪信息与通信技术教程

# 无线超宽带 ( 哉宰月 ) 通信原理与应用

王金龙摇王呈贵摇阚春荣摇徐以涛摇编著

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

无线超宽带 (WLAN) 通信原理与应用 王金龙等编著 北京: 人民邮电出版社, 2006  
世纪信息与通信技术教程  
第五卷 移动通信技术

I 王 Ⅱ 王 Ⅲ 宽带通信系统—无线电通信—通信技术—高等学校—教材 Ⅳ 通信

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 12345 号

## 内 容 提 要

本书是一本专门介绍当前备受关注的无线超宽带 (WLAN) 通信技术的书籍。无线超宽带通信涉及到通信、网络、概率论、信号处理等方面的技术,属于综合性的信息系统。

本书系统地介绍了超宽带通信的基本原理、电波传播、波形及调制、接收机与同步、信道估计、多址技术及组网技术、超宽带应用及开发等方面的内容。

本书条理清楚,内容丰富,实用性强,可供通信和计算机网络类各专业的本科高年级学生和研究生作为专业学习的教材,也可供相关专业的教师和工程技术人员阅读参考。

### 世纪信息与通信技术教程 无线超宽带 (WLAN) 通信原理与应用

◆ 编 者 王金龙 王呈贵 阚春荣 徐以涛  
责任编辑 王晓明

◆ 编 者 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 10 号  
邮编 100061 电话 010-67171000 电子邮箱 100061@163.com  
网址 www.ptpress.com.cn  
北京鸿佳印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开 本 185mm×260mm 1/16  
印 张 15.5  
字 数 380 千字 2006 年 1 月第 1 版  
印 数 1000 册 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

定价: 29.00 元

定价: 29.00 元

读者服务热线: (010) 67171000 印装质量热线: (010) 67171000



# 目 录

第 1 章 引论	1
1.1 概述	1
1.2 窄带通信的基本原理	1
1.2.1 概念	1
1.2.2 分类	1
1.2.3 脉冲无线电 ( 脉冲雷达 )	1
1.2.4 多频带 窄带	1
1.2.5 与其他通信方式的比较	1
1.2.6 特点	1
1.2.7 标准化	1
1.2.8 关键技术及挑战	1
1.3 窄带无线电的主要应用	1
1.4 小结	1
第 2 章 窄带电波传播	1
2.1 窄带信道的电波传播概述	1
2.2 大尺度路径损耗与链路预算	1
2.2.1 自由空间传播的路径损耗模型	1
2.2.2 用于电磁兼容研究的 窄带路径损耗模型	1
2.2.3 链路预算	1
2.3 小尺度衰落与多径传播	1
2.3.1 多径测量	1
2.3.2 多径信道的统计特性	1
2.3.3 窄带的室内信道统计特性	1
2.4 窄带的信道模型	1
2.4.1 窄带室内信道模型	1
2.4.2 $\Delta$ 模型	1
2.4.3 修正的 窄带室内信道模型 ( 自由空间传播的室内信道模型 )	1
2.4.4 窄带传播模型	1
2.4.5 窄带传播模型	1
2.5 确定性模型	1
2.6 小结	1
第 3 章 超宽带波形及调制技术	1
3.1 超宽带波形	1

猿猿猿 摇高斯脉冲信号 .....	猿猿
猿猿猿 摇升余弦脉冲波形 .....	猿猿
猿猿猿 摇多周期 (孕猿猿猿) 脉冲波形 .....	猿猿
猿猿猿 摇高斯脉冲的改进 .....	猿猿
猿猿猿 摇脉冲串 (孕猿猿猿) .....	猿猿
猿猿猿 摇脉冲的产生 .....	猿猿
摇猿猿猿 摇脉冲调制方式 .....	猿猿
猿猿猿 摇基本的脉冲调制方式 .....	猿猿
猿猿猿 摇脉冲间隔调制 (阅猿猿猿) .....	猿猿
猿猿猿 摇脉冲波形调制 (孕猿猿猿, 孕猿猿猿, 孕猿猿猿, 孕猿猿猿)	猿猿
猿猿猿 摇酝进制双正交键控 (酝猿猿猿, 酝猿猿猿, 酝猿猿猿, 酝猿猿猿)	猿猿
摇猿猿猿 摇多频带脉冲调制 .....	猿猿
猿猿猿 摇频谱键控 (孕猿猿猿, 孕猿猿猿) 调制 .....	猿猿
猿猿猿 摇多频带调制的其他方式 .....	猿猿
摇猿猿猿 摇多频带 韵云云调制 .....	猿猿
摇猿猿猿 摇小结 .....	猿猿
第 猿章 摇接收机与同步技术 .....	猿猿
摇猿猿猿 摇概述 .....	猿猿
摇猿猿猿 摇接收机技术 .....	猿猿
猿猿猿 摇粤宰粤晕信道的最佳接收机 .....	猿猿
猿猿猿 摇频率选择性衰落信道下的 砸猿猿猿接收机 .....	猿猿
猿猿猿 摇多址干扰下的信号检测 .....	猿猿
猿猿猿 摇考虑 陨猿猿影响的 砸猿猿猿接收机结构 .....	猿猿
摇猿猿猿 摇定时偏差对接收性能的影响 .....	猿猿
猿猿猿 摇模型 .....	猿猿
猿猿猿 摇孕猿猿的有条件 月砸猿猿敏感性 .....	猿猿
猿猿猿 摇衰落信道下的定时偏差对 月砸猿猿性能的影响 .....	猿猿
猿猿猿 摇孕猿猿对定时偏差的敏感性分析 .....	猿猿
猿猿猿 摇仿真分析 .....	猿猿
摇猿猿猿 摇非数据辅助的定时同步算法 .....	猿猿
猿猿猿 摇基于最大似然比的同步算法 .....	猿猿
猿猿猿 摇基于信号循环特性的同步算法 .....	猿猿
摇猿猿猿 摇数据辅助的定时同步算法 .....	猿猿
猿猿猿 摇基于最大似然比的同步算法 .....	猿猿
猿猿猿 摇通用似然比测试 (阅猿猿猿) 的同步算法 .....	猿猿
猿猿猿 摇别猿猿前导序列的优化设计 .....	猿猿
摇猿猿猿 摇小结 .....	猿猿
第 缘章 摇哉宰月信道估计技术 .....	猿猿
摇猿猿猿 摇最大似然信道估计 .....	猿猿

信道信号格式与接收机	102
信道估计	103
信道估计	103
信道估计与信道算法的性能评估	104
基于一阶统计量的盲信道估计	105
系统模型	105
估计算法	106
性能仿真	107
同步与信道估计联合设计	108
信道信号模型	108
信道响应估计和帧同步	109
符号同步	110
性能仿真与结论	110
非理想信道估计对接收性能的影响	111
信道模型	111
性能分析	111
结 语	112
第 4 章 多址技术	113
多址方式	113
码分多址的信号波形	113
接收信号处理	114
多址系统性能	115
码分多址方式	116
码分多址的信号波形	116
接收信号处理	117
多址系统性能	118
码分多址技术	119
伪混沌跳时	119
码分多址	120
多载波超宽带多址技术	121
几种多址技术比较	121
系统模型	122
接收机设计	123
码分多址通信系统容量	124
信号模型	124
多用户码分多址系统容量	125
结 语	126
第 5 章 码分多址组网技术	127
码分多址网络基础	127

超宽带概述 .....	1
超宽带网络的体系结构 .....	2
超宽带网络的 协议	3
超宽带网络的路由协议 .....	4
超宽带网络组网原则 .....	5
超宽带组网设计时考虑的物理层模型描述 .....	5
超宽带性能度量及设计目标 .....	6
超宽带网络自组织网的最佳 协议及路由设计 .....	7
超宽带网络关于 网络中的跨层设计 .....	8
超宽带网络位置辅助的路由设计 .....	9
超宽带网络小结 .....	10
第 2 章 超宽带频谱管理与标准化 .....	11
超宽带信号的频谱管理 .....	11
超宽带规范 超宽带信号频谱的必要性 .....	11
超宽带 协议关于 超宽带信号频谱的规范 .....	12
超宽带其他标准化组织关于 超宽带信号频谱的规范 .....	13
超宽带 标准中的 超宽带标准 .....	14
超宽带超宽带与 超宽带 .....	14
超宽带高速 超宽带的主要超宽带技术物理层方案 .....	15
超宽带 超宽带与 超宽带 超宽带的比较 .....	16
超宽带 标准中的 超宽带标准 .....	17
超宽带 超宽带标准 .....	17
超宽带 超宽带在 超宽带的应用 .....	18
超宽带 超宽带的标准提案 .....	19
超宽带 超宽带的历史和现状 .....	20
超宽带其他标准的制订工作 .....	21
超宽带小结 .....	22
第 3 章 超宽带的应用、开发及发展前景 .....	23
超宽带超宽带的的应用 .....	23
超宽带通信 .....	23
超宽带雷达 .....	24
超宽带定位 .....	25
超宽带超宽带通信技术的开发进展 .....	26
超宽带超宽带天线的发展 .....	26
超宽带超宽带芯片设计 .....	27
超宽带超宽带商用产品开发 .....	28
超宽带超宽带发展与应用前景 .....	29
附录 超宽带缩略语 .....	30

## 第 员章 摇引摇摇论

圆园园年 圆月，美国联邦通信委员会（云况）批准限用于军用雷达的超宽带（哉宰月）技术可运用于民用产品上，同年 源月，批准将 猿郧郧和 员郧郧之间的免授权频段分配给 哉宰月使用。自此，此项技术开始引起业界广泛关注。哉宰月在公共安全、军事效能、航空安全、医疗应用以及消费类产品与服务等诸多领域具有独特的应用价值和广阔的市场前景，可以预见今后二三年内，新一代的 哉宰月产品将会陆续进入市场，成为新的亮点。

### 员员 概摇摇述

随着因特网、多媒体和无线通信技术的发展，人们与信息网络已经密不可分，人们对实现高速率、高质量无线多媒体业务的需求越来越迫切，便携式电子设备与因特网之间的短距离高速无线通信已成为未来通信技术的重要发展趋势之一。

为构建短距离高速无线网络，近来国际上提出了无线个域网（宰孕宰）的概念。宰孕宰是在便携式移动计算机和家用电器（诸如数字摄像机、匀郧坎 数码相机、酝郧播 播放机、打印机、投影仪、孕况 孕况等）设备间进行短距离（员米以内）通信的 粤孕宰网络。宰孕宰具有短距离覆盖、面向特定群体、支持高速率多媒体应用并实现无缝连接的特点。在 宰孕宰无线传输技术中，继蓝牙、愿况郧郧之后，超宽带（哉宰月）成为一项最具有竞争力的热门技术。

哉宰月是一种在雷达和遥感中被广泛应用的传输技术，近来作为通信应用在业界受到了巨大的关注。哉宰月的主要特点是传输速率高、空间容量大、成本低、功耗低等，有可能成为解决企业、家庭、公共场所等高速因特网接入的需求与越来越拥挤的频率资源分配之间的矛盾的技术手段。

哉宰月技术之所以成为无线通信领域关注的热点之一，是由用户需求和 哉宰月技术的性能特点共同决定的。对于未来的理想无线通信系统，需要解决五个方面的需求，即大数据量、高数据速率、远通信距离、更快的通信速度、更大的网络用户数。然而对于实际的通信系统，是不可能同时实现以上五个方面的要求的，只能进行折衷。最初的通信系统力求延长通信距离，而现在无线通信的发展趋势则是以牺牲通信距离为代价，最大限度地改善其他四个方面的性能，通过网络覆盖来达到通信距离的要求。

当前国际电信市场的迅速发展，也为研发商用 哉宰月通信提供了动力，主要体现在：

（员）无线便携设备的普及化，要求容量高、带宽大、成本小、功率低。

(圆) 频谱资源有限，频段划分拥挤。

(猿) 因特网的高速普及与多媒体技术的飞速发展，公司、家庭、公共场所的高速无线接入因特网需求增长。

(源) 适合于信号处理的半导体器件的成本和功耗下降。

“超宽带”一词包含了许多概念，包括脉冲无线电、无载波调制、非正弦信号和大相对带宽比的无线雷达信号等。直到 1999 年，才以“超宽带（UWB）”统一称呼具有大相对带宽比的无线电信号。

美国摩托罗拉公司的弗雷德里克·埃特曼、威斯康星大学的约翰·坎贝尔、罗马航空研究中心的亨德里克·鲁宾是 UWB 最早的开拓者。埃特曼在 1986 年 9 月 10 日获得的美国专利（专利号 4588281）是 UWB 发展的一个里程碑，标志着 UWB 无线电技术从概念研究推进到实际应用开始阶段。1990 年 UWB 脉冲检测器申请到美国专利；1996 年 UWB 通信方式获得美国专利；1998 年最初的 UWB 通信系统出现。到 20 世纪 90 年代末，UWB 系统的基本设计理论已经建立。之后所做的工作是进一步完善 UWB 系统，并考虑实现 UWB 的各个组成部分。

1997-1998 年，美国空军实施了 UWB 系统开发计划；1998 年美国国防部成立了一个 UWB 开发专家工作组，主要致力于 UWB 雷达和 UWB 通信两个应用领域的技术研究和产品开发。到了 20 世纪 90 年代，因设备制造技术的进步，出现了第一个 UWB 商用系统，目前所做的工作都是对这一系统的具体实现，使得 UWB 的基本构成和具体细节及实现方法等都取得了一定的进展，进一步促进了 UWB 的实用化进程。在 1999 年后，UWB 进入公开开发阶段，并且向民用领域推广，从而得到快速发展。1998 年，美国联邦通信委员会（FCC）开始征集 UWB 通信技术在民用通信中应用的意见，并于 2000 年 9 月批准限于军用雷达的 UWB 技术运用于民用产品上，以提高频谱效率；2004 年 9 月批准了把 3.1-10.6 GHz 之间免授权的频段分配给 UWB 使用。此外，欧洲部分地区也出现了放宽 UWB 使用限制的动向。日本也设立了 UWB 工作小组讨论其产业化问题，该项技术开始引起业界的广泛关注。

美国摩托罗拉公司在 2000 年 9 月召开的开发商会议上公开演示了传输速率高达 480 Mbps 的 UWB 技术。美国高通公司、三星公司也在进行 UWB 无线设备的开发和生产，并且已经达到了即将开始提供 UWB 芯片组工业样品的阶段。尤其值得注意的是，新加坡的三星公司创造了一种建立在生物细胞和非线性动态系统（混沌）之上的调制技术，而这种新技术非常适合 UWB 技术，在 UWB 中，三星技术可用于改善 UWB 接收器设计中现行的相关器相关器方案。在 2000 年的汉诺威 UWB 展会上，三星公司展示了一种以 480 Mbps 的速率在 100m 的距离上传输 100kbps 的无线 UWB 音频设备，其简单性令人惊讶。可以预料，三星技术简单、廉价和低功耗的特点以及电信级的性能将加速 UWB 应用的推广。需要指出的是，目前还没有 UWB 的标准，但是由于商用市场的需求，标准化进程正在加速进行，预计经核准认可的标准要到 2004 年才能发布，因此，对于 UWB 而言，现在的许多工作还处于研究之中。

UWB 在公共安全、军事效能、航空安全、医疗应用以及消费类产品与服务等诸多领域具有独特的应用价值和广阔的市场前景。可以预见今后二三年内，新一代的 UWB 无线电技术产品将会陆续进入市场，成为新的亮点。

## 超宽带通信的基本原理

### 超宽带概念

超宽带无线电是指具有很高带宽比（射频带宽与其中心频率之比）的无线电技术。

美国 FCC 对于超宽带的定义为：

$$\frac{(f_H - f_L)}{f_c} \geq 0.2 \quad \text{或者总带宽为 } \geq 100 \text{ MHz}$$

式中， $f_L$ 、 $f_H$  分别为功率较峰值功率下降 10dB 时所对应的高端频率和低端频率， $f_c$  为载波频率或中心频率，如图 1-1 所示。可见，超宽带信号的带宽不同于通常所定义的窄带带宽。

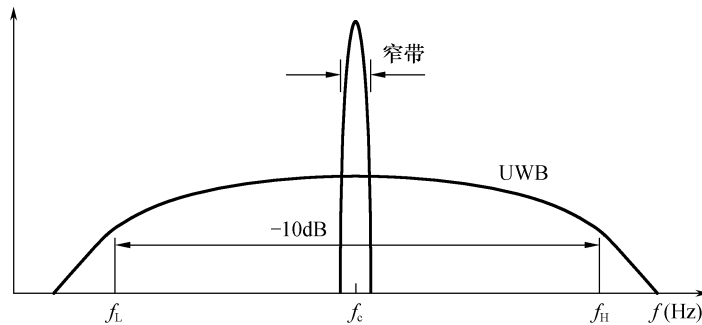


图 1-1 超宽带信号与窄带信号的比较

事实上，目前被称作“超宽带”系统的带宽比未必都是 0.2，美国国防高级研究计划署对超宽带特征的定义是相对带宽大于 0.2。也有一些定义为 0.1 左右，但它们已不是基于正弦载波的无线电系统的概念，而是针对一种采用冲激脉冲作信息载体的非正弦系统。

根据香农信道容限公式  $C = B \log_2(1 + \frac{P}{N})$ （式中  $B$  为信道带宽， $N$  为高斯白噪声功率谱密度， $P$  为信号功率）。可得，增大通信容量有两种实现方法，一是通过增加信号功率  $P$ ，二是增大传输带宽。超宽带技术就是通过后者来获得非常高的传输速率。

如图 1-1 所示是超宽带信号与典型的传统通信信号的带宽比较。

### 超宽带分类

在第 1.1 节中有关超宽带的定义是从信号带宽的角度描述无线电信号，没有指明相应的实现方式。迄今为止，超宽带无线电通信按实现方式大致可为两大类，即脉冲无线电和多频带无线电。其中，脉冲无线电技术是传统的超宽带技术。多频带无线电的关键是无线电，有关无线电工作原理与关键技术的论述已有很多，这里不再赘述。本书后续的内容中若未加说明，一般是指脉冲无线电。

### 超宽带脉冲无线电（超短脉冲无线电）

脉冲无线电是指采用冲激脉冲（超短脉冲）作为信息载体的无线电技术。这种脉冲传输

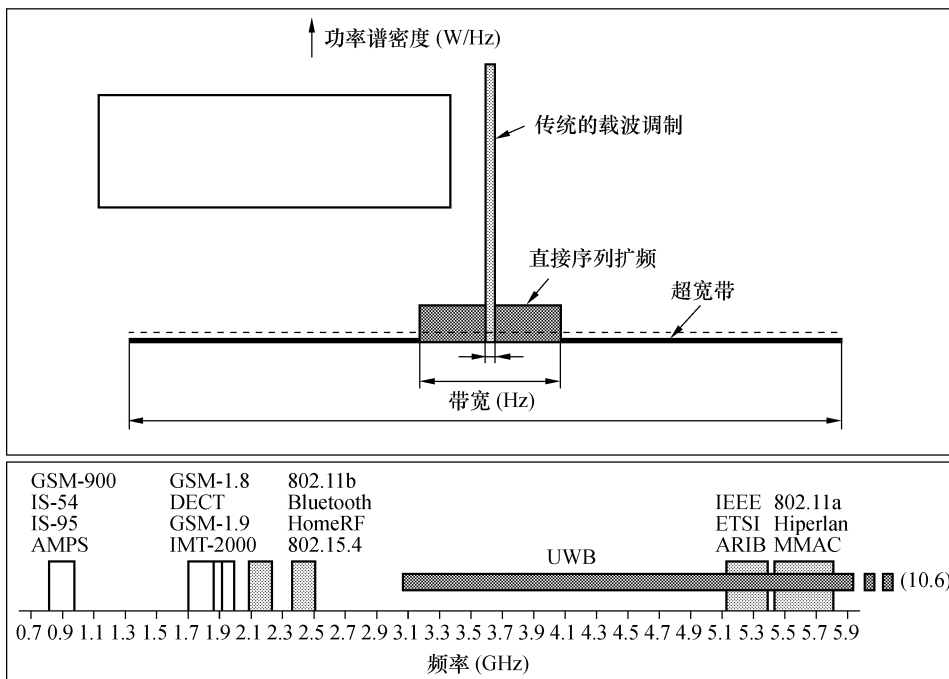


图 1-1 超宽带信号与典型的传统通信信号的带宽比较

技术的特点是，通过对非常窄（往往小于 1ns）的脉冲信号进行调制，以获得非常宽的带宽来传输数据。

### 1.1.2 脉冲波形

为了使天线能将信号能量有效地辐射出去，必须对所用脉冲的频谱特性提出一定的要求（即不含直流分量，低频分量少，信号能量主要集中在射频部分）。因此，脉冲无线电采用高斯函数的各阶导数作为发射脉冲波形，可通过选择脉冲宽度和阶数来获得不同的带宽及中心频率位置。通过分析可以发现，高斯各阶导数的占用带宽大致可以近似等于脉冲宽度倒数的两倍。因此当脉冲宽度低于 1ns 时，就能获得超过 200MHz 的带宽。中心频率的位置会随着求导次数的增加而逐渐上移。

如图 1-2 所示是脉冲信号信号的时域及频域的波形。

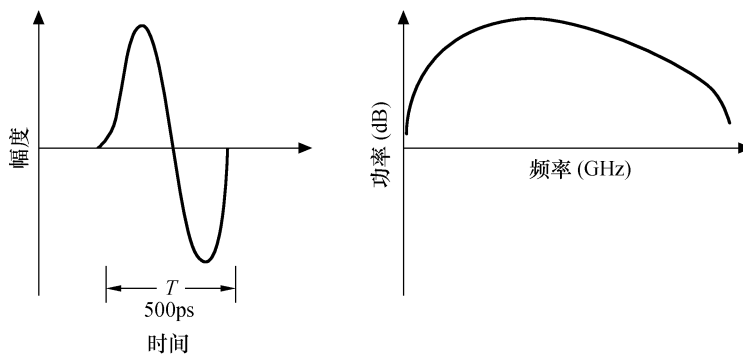


图 1-2 脉冲信号的时域及频域的波形

## 1.1 调制方式

与实际传输速率所对应的符号周期相比，这种纳秒级乃至亚纳秒级的脉冲宽度往往小了几个数量级，因此脉冲无线电传输的是一种低占空比的信号。利用这一特点，系统中常常使用多个脉冲来传递一个符号，从而获得附加处理增益。例如，假定传输速率为  $R_b$ ，脉冲宽度为  $\tau$ ，脉冲重复频率（PRF）为  $f_{prf}$ ，则一个符号可以扩散到  $f_{prf}\tau$  个脉冲上重复发送，附加处理增益将为  $f_{prf}\tau$ 。再考虑到  $f_{prf}\tau$  倍的占空比增益，系统获得的总处理增益将达到  $(f_{prf}\tau)^2$ 。这种处理方式在实现上带来的好处是，在保持系统脉冲宽度和脉冲重复频率不变的情况下，可以通过改变附加处理增益灵活地调整传输速率的高低，实现可变速率。

鉴于系统对功率有效性的要求比较高，脉冲无线电的调制方式一般采用二进制的脉冲相位调制（PSK）或二进制相移键控（PSK）。在多址接入方式上，有跳时扩频（SS-SS）和直接序列扩频（SS-FS）两种方式可选。典型的组合方案是 SS-SS 和 SS-FS。相比较而言，SS-SS 的优势在于它对远近效应的敏感程度没有 SS-FS 那么高，因为只有当不同用户的信号脉冲正好在位置上出现重叠时，远近效应才会体现出来，从而降低了对功率控制的要求。这也许是早期的 SS-SS 系统在信号占空比很低的条件下选用了 SS-SS 的重要原因。不过，随着对传输速率的要求越来越高，信号占空比势必大大地增加，SS-SS 的优势已不明显。因此 SS-FS 方案现在重新受到研究人员的重视。

### 1.1.1 收发信机的结构

脉冲无线电形象地说明了 SS 直接发射窄脉冲进行通信的特点。与传统窄带通信系统的收发信机相比，超宽带在实现方式上与之有明显的差别：窄带系统一般采用正弦载波调制实现频谱搬移，信道上传输的是射频已调信号，接收机需要经过逐级下变频之后再行解调，以恢复原始信息；脉冲无线电则是直接将经过频谱成形之后的宽带窄脉冲发射出去，信道上传输的是基带信号，接收机主要由一个相关检测器构成，结构比传统窄带通信系统简单得多。和传统的无线收发信机相比，其结构也相对简单。自从 1940 年，发明超外差结构以来，它仍在无线收发信机中占主导地位。目前，一个短距离低功耗的收发信机结构的例子是蓝牙。如图 1-1 所示。

蓝牙采用 SS 调制解调方式。图 1-1 中的 SS 作为信息比特去控制压控振荡器（VCO），从而使得信息通过或高或低的移动载频来传输。

在接收很弱的信号后经过放大，下变频成固定的中频。变频器其实是一个非线性的混频器，会产生很多的镜像、谐波、互调产物，因此还需要进行中频滤波，滤除没有落在中频率范围内的频率分量，而落在中频率范围内的频率分量的大小必须满足系统的要求。

SS 收发信机的结构就要简单得多，如图 1-2 所示。

这种结构也可以用于蓝牙，只是以更低的发射功率传输更高的数据速率。调制方式可以采用很多种，例如：二进制调制、多进制脉冲调制、脉位调制等等。它的脉冲宽度

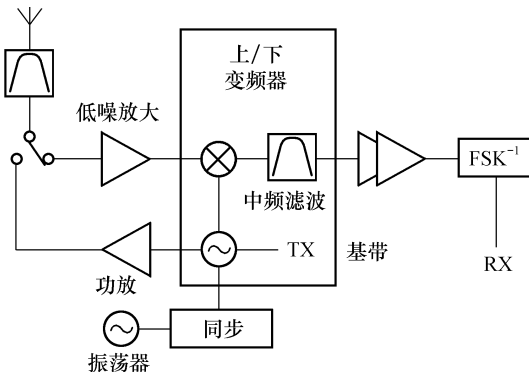


图 1-1 传统的收发信机结构

很窄,若是圆脉冲,则经过成形滤波后,其能量集中在圆脉冲。在这种情况下,功率放大器可以不需要。因为脉冲产生器仅需产生几伏特的电压即可。与蓝牙超外差结构一样,信号在被天线发送之前需要经过一个带通滤波器,但其带宽是圆脉冲,而蓝牙是圆脉冲。在接收端,将天线接收到的微弱信号放大后,经过匹配滤波或相关解调,恢复出有用信号。

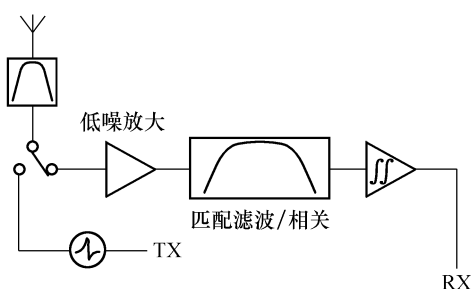


图 10-10 超宽带收发信机结构

通过比较发现,与超外差结构相比,超宽带结构没有振荡器、锁相环、压控振荡器、混频器和功放。这样就使得系统的成本与功耗更低。采用这种结构可以很方便地在传输距离、功耗、传输速率之间选择转换。例如想增加传输距离,则可以利用多个脉冲传相同的信息,这样就增加了信噪比。

当然,对于超宽带还存在许多挑战。有一个关心的问题是,宽带接收机很容易遭受非故意的阻塞干扰的影响,例如一个传统接收机的信号落在超宽带的信号带宽内。这个问题是可以通过精确的匹配滤波、相关或同步接收等方法来解决的。精确的匹配滤波其实现是比较困难的,而相关需要精确的定时,同时多径还会带来更多的问題。系统的噪声也是一个重要的问題,原来的窄带系统可以利用滤波将带外噪声滤除,而超宽带系统则本身带宽就很宽,因此噪声分量就比较高。

### 功率谱密度

信号的功率谱密度特性也是决定发送方案的一个重要因素。理想的超宽带信号应该近似于白噪声,即功率谱密度(PSD)应该为平坦的且幅度越低越好,这样才不会对现有的窄带系统造成明显的干扰。周期性窄脉冲的PSD由离散谱线构成,加上脉冲调制之后,功率谱得到一定的平滑,不过更强的平滑作用是通过伪随机跳时码实现的,而且平滑特性的好坏与伪随机码的选择密切相关。如果采用脉冲调制,由于信号均值为零,功率谱中不含离散谱线,完全由高斯脉冲的频谱决定,其平坦度与白噪声仍有很大的差距,也要通过伪随机序列进行平滑。因此,近来的一个研究热点就是,如何通过选择调制和多址接入方式的组合及设计理想的伪随机序列,来获得更好的功率谱密度特性。

### 多频带超宽带

为了提高频谱利用率,很多人开始考虑采用多带调制。一个超宽带信号仅需占用圆脉冲的带宽,而不必是一个脉冲。这就提供了一个将传统无线通信系统设计理论与超宽带的优势相结合的机遇。很多公司都开始独立地开发多频带超宽带传输系统,从而可更有效提高频谱利用率。多带传输系统是将可用的超宽带频谱划分成若干个子带,每个子带的宽度不小于圆脉冲通信时,可以根据信息速率、系统功耗的要求以及与其他系统共存的要求等,动态地使用部分或全部的子带,通过同时发送多个不同频带的超宽带信号来提高频谱的利用率。这些超宽带信号是不会相互干扰的,因为它们的频率不同。多带超宽带信号频谱图如图 10-11 所示。

这些信号可以同时被传送,以提高信息传输速率或用来进行多址接入,允许更多的用户同时进行通信。一些标准的调制方法可以用在每一个超宽带信号上。在接收端,超宽带信号必须在解调前进行分离。多带信号如图 10-12 和图 10-13 所示。

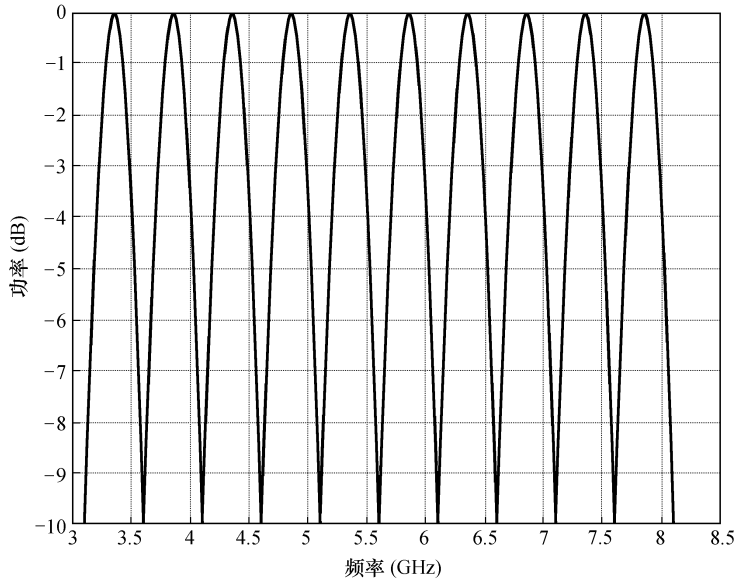


图 1-10 多带信号频谱图

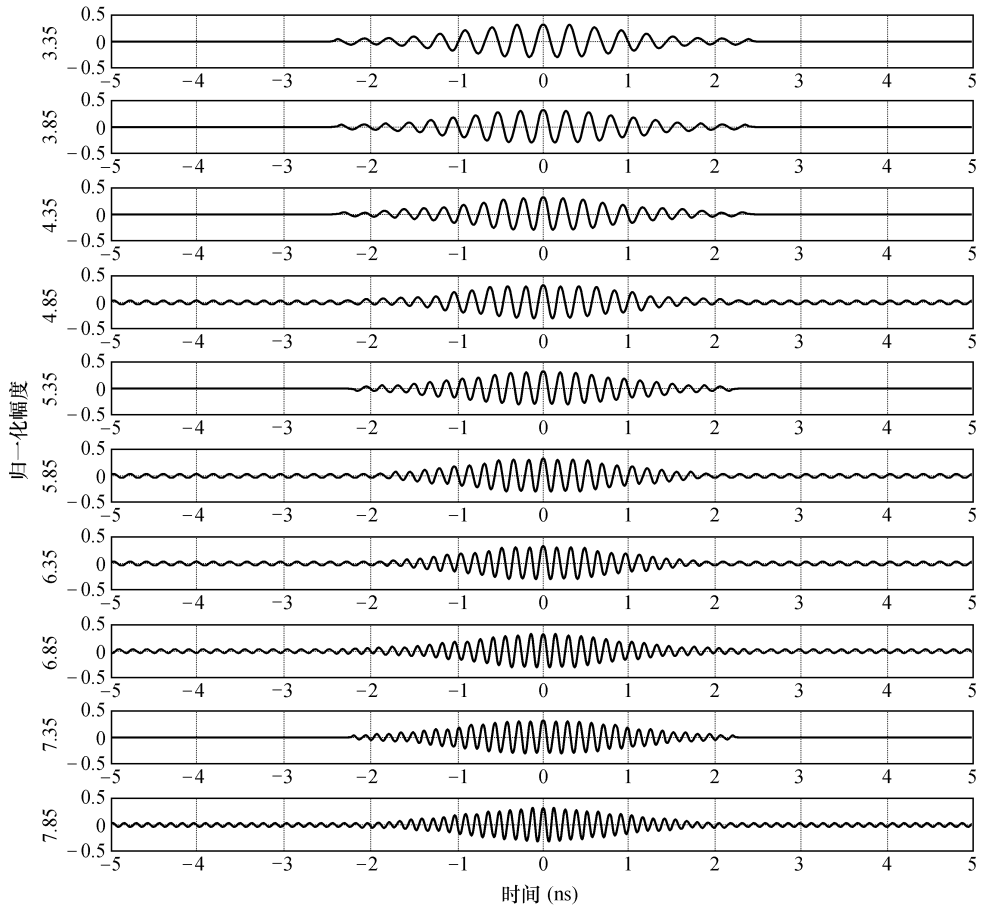


图 1-11 并行多带传输波形图

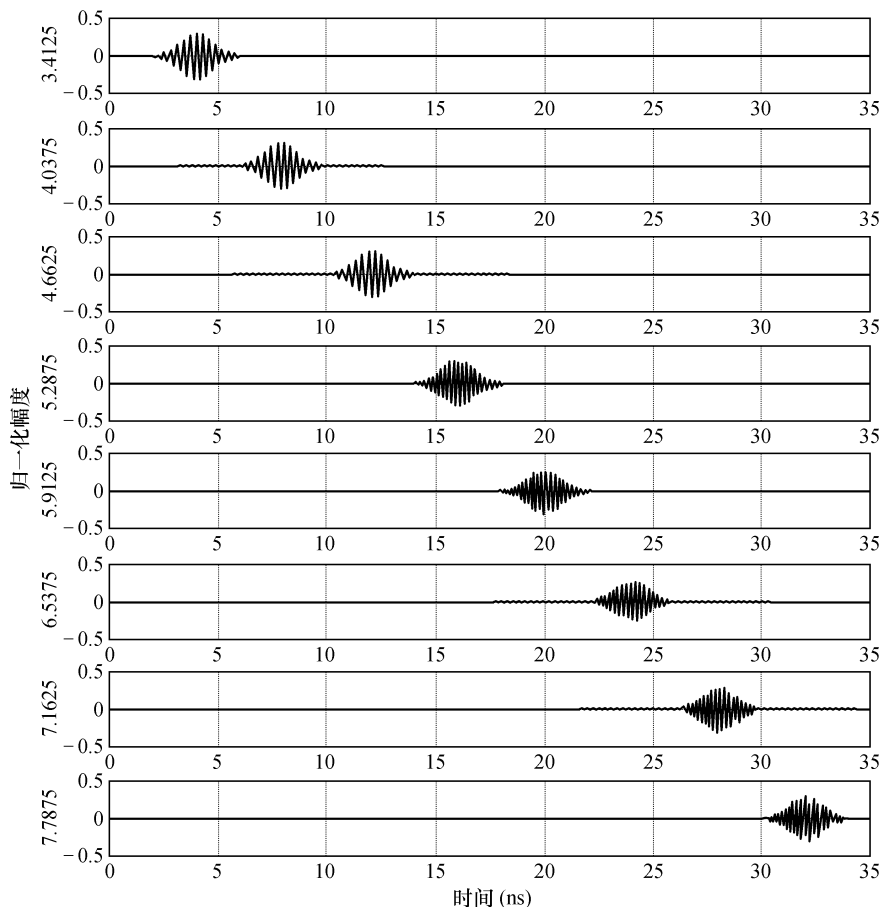


图 1-10 多带串行传输波形图

多带调制的一个优势就是具有很强的灵活性，低比特率的系统可以采用很少的子带，而高比特率的系统可以采用很多的子带。它还可以灵活地适应不同的无线频谱使用规则，而不必像蓝牙一样要协调世界各地的频谱分配。

为了简化收发信机，子带信号也可以顺序发送。这样就可以采用传统的无线设备结构。

另外，多带传输系统还可以提高与其他系统的共存级别。例如，多带传输系统可剔除已受近距离其他设备影响的频带。如果 UWB 系统与 IEEE 802.11 系统共存，则可以不使用图 1-11 中 IEEE 802.11 的子带来减小或回避两者的干扰。

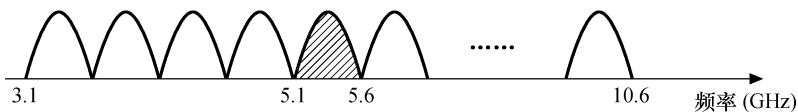


图 1-11 多子带频率划分

### UWB 与其他通信方式的比较

#### UWB 与常规无线电的比较

与常规无线电的系统构成（包括 云、网、端、管、控、信、安）相比，超宽带无线电系

统的特点可概括如下。

(员) 不需要产生正弦信号，直接发射受跳时 孕晕码和信息比特控制的冲激脉冲序列，因而具有很宽的频谱和很低的平均功率。

(圆) 超宽带无线电信号的频谱和中心频率由脉冲波形决定。

(猿) 系统结构简单、体积小、成本低。由于直接发射冲激脉冲序列，不需要上、下变频，系统结构更为集成和简化。超宽带无线电衰落失真小，信号处理也较常规无线电简化。研究表明 [缘]：脉冲发射机和接收机前端可集成在一个芯片上，再加上时间基准信号和一个微控制器，就可构成一部超宽带通信设备。

(源) 与同样具有 孕晕级带宽的无线电技术相比，超宽带无线电比红外通信更具穿透力，比毫米波通信更加便宜。

圆 与其他有关无线网络技术的比较

超宽带无线电技术可用于组成移动无线网络，与其他有关无线网络技术的比较见表 员圆。

表 员圆 不同网络技术的比较

技 术	提供的业务	成 本	主要应用范围
超宽带网络	多媒体	低	室内、短程应用
Wi-Fi	多媒体	高	室内
蓝牙	语音	低	室内
WiMAX	语音	中	室内

尤其值得注意的是，超宽带无线电技术与“蓝牙”技术有下列不同之处。

(员) “蓝牙”采用基于传统正弦载波的高速跳频传输方式，高速跳频的目的主要是为了以很短的频率驻留时间避开时延多径信号；超宽带无线电发射的是由信息和用户地址码共同控制脉冲起点的冲激脉冲串，与传统正弦载波通信有本质的不同，每秒可达数百万个脉冲，其波形的特殊性、低占空比和超短脉冲宽度使得多径信号的影响大大降低，比“蓝牙”更加适合于多径环境复杂的城区和室内无线通信场合。

(圆) “蓝牙”的标准传输距离为 员皂和 员皂；超宽带无线电的通信距离根据不同用途而定，目前开发出的产品的通信距离有 员皂、员皂和 员皂以上等，可用于室内通信、组成大范围蜂窝网和无线 孕晕网络。

(猿) “蓝牙”的传输速度较低；而超宽带无线电能提供更高的传输速率，更适应未来的无线多媒体业务的需要。

(源) 在相同的平均发射功率的情况下，“蓝牙”抗干扰能力较弱，而超宽带无线电具有极强的抗干扰能力，因此更适用于军事用途。

随着无线通信的不断发展，无线通信已由原来提供远距离通信向短距离传输发展，通过频率的空间复用，使得在有限的频率资源条件下满足通信业务发展的需求。无线通信的发展趋势使得对系统容量的评价不仅仅是考虑单位时间的点对点传输速率，“空间容量”（即每平方米每秒的传输速率）也成为重要的衡量指标。根据 缘公司的研究报告，缘公司的空间容量为 员，而“蓝牙”的空间容量为 员，缘公司的空间容量为 员。

空间容量为  $10^6$  以上, 超宽带无线电空间容量为  $10^8$  以上。可见, 在空间容量方面, 超宽带无线电比现有类似系统具有更大的优势。

### 超宽带无线电特点

与其他传统的无线通信技术相比较, 超宽带无线电技术主要有下列特点。

#### 超宽带无线电发射功率低

无线电波空间传播的“开放性”是无线电通信较之有线通信的固有不足。超宽带无线电的射频带宽可达  $10^6$  以上, 且所需平均功率很小, 信号功率谱密度低, 被隐蔽在环境噪声和其他信号中, 难以被检测到。另外, 超宽带无线电脉冲比传统无线信号更加难以探测, 例如, 超宽带无线电系统在多个成对配置的接收机和发射机之间, 采用一种独特的时序编码, 在整个超宽带内每秒发射数百万个低于噪声级的编码脉冲。这些传输采用极低的发射功率, 以提供难以被探测和截听的安全传输, 而且由于波形的持续时间极短, 更易于实现多用户通信中的分组突发传输。

在短距离应用中, 超宽带无线电发射机的发射功率通常可做到低于  $10^{-3}$  W, 这是通过牺牲带宽换取的。FCC 规定超宽带无线电的发送功率谱密度必须低于美国放射噪声规定值  $10^{-16}$  W/(Hz·m<sup>2</sup>)。因此, 从理论上来说, 相对于其他通信系统, 超宽带无线电信号所产生的干扰仅相当于一宽带白噪声。所带来的好处体现在两方面: 一是可使超宽带无线电系统与同频段的现有窄带通信系统保持良好共存性, 这对于提高无线频谱资源的利用率, 缓解日益紧张的无线频谱资源大有好处; 二是使得超宽带无线电信号隐蔽性好, 不易被截获, 保密性高。

#### 超宽带无线电处理增益高

超宽带无线电系统的处理增益主要取决于脉冲的占空比和发送每个比特所用的脉冲数, 可以得到比目前实际扩谱系统高得多的处理增益。

#### 超宽带无线电多径分辨能力强

由于常规无线通信的射频信号大多为连续信号, 其持续时间远大于多径传播时间, 多径传播效应限制了通信质量和数据传输速率。由于超宽带无线电采用持续时间极短的窄脉冲, 其时间、空间分辨力都很强, 因此系统的多径分辨率极高 (脉冲的多径分辨率为  $1/\tau$ ), 接收机通过分集可以获得很强的抗衰落能力。如果多径脉冲要在时间上发生交叠, 其多径传输路径长度应小于脉冲宽度与无线电传播速度的乘积。大量的实验表明, 对常规无线电信号多径衰落深达  $10^{-3}$  的多径环境, 对超宽带无线电信号的衰落最多不到  $10^{-1}$ 。

下面对多径传播作定量分析。扩频带宽为  $10^6$  Hz 的 FHSS 蜂窝系统和 DS-SS 系统可以分辨时延差异略小于  $10^{-6}$  s 的多径信号。在室外环境中, 时延可能有好几微秒, 因此一些多径信号要采用 RAKE 技术加以分辨和接收。但室内信道中多径时延常为纳秒级, 它无法在相对窄带的 FHSS 信道中进行分辨, 因此类似于 FHSS 这样的系统必须克服严重的 RAKE 衰落, 它要求信号必须在静态信号级的  $10^3$  以上, 才能达到规定的性能。而带宽超过  $10^6$  Hz 的超宽带无线电系统, 能分辨出时延小于  $10^{-6}$  s 的多径信号, 然后采用 RAKE 接收机可获得足够的信号能量。

超宽带无线电系统性能受信道传播和多径的影响很大, 需要对超宽带无线电传播环境进行深入研究, 以更精确地预测超宽带无线电系统的性能和优化收发信机的设计。

#### 超宽带无线电传输速率高