

# 超宽带通信技术及其应用

郑州解放军信息工程大学信息工程学院(450002) 李 瑛 张水莲 俞 飞 罗 飞

**摘 要:** 超宽带 UWB(Ultra-wide Bandwidth)脉冲通信(Impulse Radio)技术与其它通信技术有很大不同,它具有信号功率谱密度低、不易检测、系统复杂度低等优点,尤其适用于室内等密集多径场所的高速无线接入和军事通信。介绍了 UWB 系统的信号表示形式,分析了其特点,并介绍了超宽带通信当前的研究及应用情况。

**关键词:** UWB 脉冲通信 信号 应用

UWB 技术是一种新型的无线通信技术。它通过对具有很陡上升和下降时间的冲激脉冲进行直接调制,使信号具有 GHz 量级的带宽。超宽带技术解决了困扰传统无线技术多年的有关传播方面的重大难题,它具有对信道衰落不敏感、发射信号功率谱密度低、低截获能力、系统复杂度低、能提供数厘米的定位精度等优点。

## 1 超宽带信号及其特点

美联邦通信委员会(FCC)规定:

部分带宽 =  $\frac{2 \times (f_u - f_l)}{f_u + f_l} > 25\%$  或总带宽  $> 500\text{MHz}$  的信号称为 UWB 信号。其中,部分带宽为信号功率谱密度在 -10dB 处测量的值。图 1 为 UWB 信号与窄带信号功率谱密度的比较;UWB 信号格式如图 2 所示。

图 1 展示了功率谱密度与频率  $f(\text{Hz})$  的关系。窄带信号在中心频率  $f_0$  处有一个非常窄且高的峰值。相比之下，UWB 信号在频率范围  $f_l$  到  $f_u$  内具有一个非常宽且低的功率谱密度。图中标注了 -10dB 的带宽测量点。

图 1 UWB 信号与窄带信号功率谱密度的比较

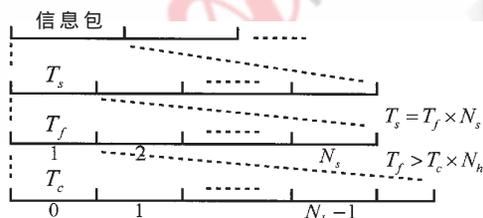


图 2 UWB 信号格式

一种典型的脉位调制(PPM)方式的 UWB 信号形式<sup>[1],[2]</sup>为:

$$s_r^{(k)}(t) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} w(t - jT_f - c_j^{(k)}T_c - \delta d_{\lfloor j/N_s \rfloor}^{(k)}) \quad (1)$$

$s_r^{(k)}(t)$  表示第  $k$  个用户的发射信号,它是大量的具有不同时移的单周期脉冲之和。 $w(t)$  表示传输的单周期脉冲波形,可以为单周期高斯脉冲或其一阶、二阶微分脉冲,从该发射机时钟的零时刻 ( $t^{(k)}=0$ ) 开始。第  $j$  个脉冲的起始时间为  $jT_f + c_j^{(k)}T_c + \delta d_{\lfloor j/N_s \rfloor}^{(k)}$ 。仔细分析每个时移分量:

(1) 相同时移的脉冲序列:  $\sum_{j=-\infty}^{+\infty} w(t - jT_f)$  形式的脉冲表示时间步长为  $T_f$  的单周期脉冲,其占空比极低,帧长或脉冲重复时间  $T_f$  (Frame Time) 的典型值为单周期脉冲宽度的一百到一千倍。类似于 ALOHA 系统,这样的脉冲序列极易导致随机碰撞。

(2) 伪随机跳时: 为减少多址接入时的冲突,给每个用户分配一个特定的伪随机序列  $\{c_j^{(k)}\}$ ,称之为跳时码,其周期为  $N_p$ ,即  $c_{j+iN_p}^{(k)} = c_j^{(k)}$  ( $i, j$  为任意整数)。跳时码的每个码元都是整数,且满足  $0 \leq c_j^{(k)} < N_h$ 。这样跳时码给每个脉冲附加了一个时移,第  $j$  个单周期脉冲的附加时移为  $c_j^{(k)} T_c$  秒。

由于读出单周期脉冲相关器的输出要占用一定的时间,  $N_h T_c / T_f$  应严格小于 1。然而如果  $N_h T_c$  太小,那么多个用户接入时发生冲突的概率仍然会很大。相反,如果  $N_h T_c$  足够大且跳时码设计合理,就可以将多用户干扰近

(接上页)

入到开发标准中,并在驱动程序上进行改进,使其早日成为各类设备的标准接口。USB OTG 扩展了便携式设备之间的连通性,使其脱离 PC,可以实现便携式设备作为主机与现有 USB 外设的连接,以及便携式设备之间连接,更加扩展了 USB 的应用范围。

## 参考文献

- 1 USB-IF. USB On-The-Go Supplement to the USB2.0 Specification. 2001,12
- 2 Compaq, HP, Intel. Universal Serial Bus Specification Revision 2.0.2000
- 3 Philips. ISP1362 Datasheet.2003
- 4 HTTP://www.usb.org (收稿日期:2003-02-23)

似为加性高斯白噪声 AWGN (Additive White Gauss Noise) 信号。

由于跳时码是周期为  $N_p$  的周期序列,那么  $\sum_j w(t-jT_f-c_j^k T_c)$  也为  $N_p$  周期序列,其周期为  $T_p=N_p T_f$ 。跳时码的另外一个作用是使 UWB 信号的功率谱密度更为平坦。

(3) 数据调制:第  $k$  个用户发送的数据序列  $\{d_i^{(k)}\}$  为二进制数据流。每个码元传输  $N_s$  个单周期脉冲,这样增加了信号的处理增益。

在这种调制方式下,一个符号(或码元)的持续时间为  $T_s=N_s T_f$ 。对于固定的脉冲重复时间  $T_f$ ,二进制的符号速率  $R_s$  为:

$$R_s = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{N_s T_f} \text{ 符号/秒} \quad (2)$$

显然,采用上述信号的超宽带脉冲通信系统具有以下特点:信号持续时间极短,为纳秒、亚纳秒级脉冲,信号占空比极低(1%~0.1%),故有很好的多径免疫力;频谱相当宽,达 GHz 量级,且功率谱密度低,故 UWB 信号对其他系统干扰小、抗截获能力强;UWB 系统处理增益很高,其总处理增益 PG 为:

$$PG = 10 \log \left( \frac{T_f}{T_c} \right) + 10 \log(N_s) \quad (3)$$

例如,当某二进制 UWB 通信系统  $T_f=1\mu\text{s}$ ,  $T_c=1\text{ns}$ ,  $N_s=100$ , 比特速率  $R_s=10\text{kbps}$  时,该系统 UWB 信号的处理增益为 50dB。与其他通信系统相比,其处理增益非常高。

另外,UWB 信号为极窄脉冲的序列,故有非常强的穿透能力,可以辨别出隐藏的物体或墙体后运动着的物体,能实现雷达、定位、通信三种功能的结合,适合军用战术通信。

## 2 超宽带信号发射机、接收机基本结构

### 2.1 发射机和相关接收机模型

与传统的无线收发信机结构相比,UWB 收发信机的结构相对简单。如图 3 所示,在发射端,数据直接对射频脉冲调制,再通过可编程延时器件对脉冲进一步时延控制,最后通过超宽带天线发射出去。在接收端,信号通过相关器与本地模板波形相乘,积分后通过抽样保持电路送到基带信号处理电路中,由捕获跟踪部分、时钟振荡器和(跳时)码产生器控制可编程延时器,根据相应的时延产生本地模板波形,与接收信号相乘。整个收发信机几乎全部由数字电路构成,便于降低成本和小型化。

### 2.2 Rake 接收机模型

由于 UWB 信号需要用时域的方法进行分析,多用于户内密集多径(多径可达到 30 条)的条件下,而且每条路径的信号能量都很小,难以对每条信道做出估计,

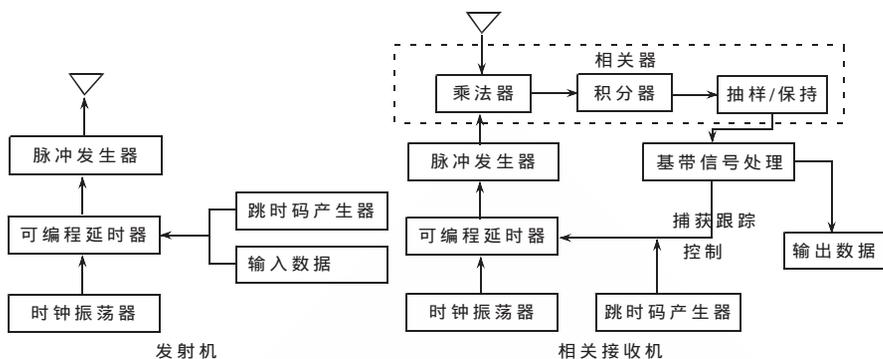


图 3 UWB 信号发射机及相关接收机原理

所以使 UWB 信号的 Rake 接收成为可能。Rake 接收机使原来能量很小的多径信号经过能量合并后提高的信噪比提高系统性能。假设某 UWB 通信系统有  $N_u$  个用户,其发射信号分别为  $s_r^{(1)}(t)$ 、 $s_r^{(2)}(t)$ ... $s_r^{(N_u)}(t)$  某接收机接收到的信号为  $r(t)$ ,如果想得到第一个用户发送的数据,那么其 Rake 接收机的实现框图如图 4 所示。

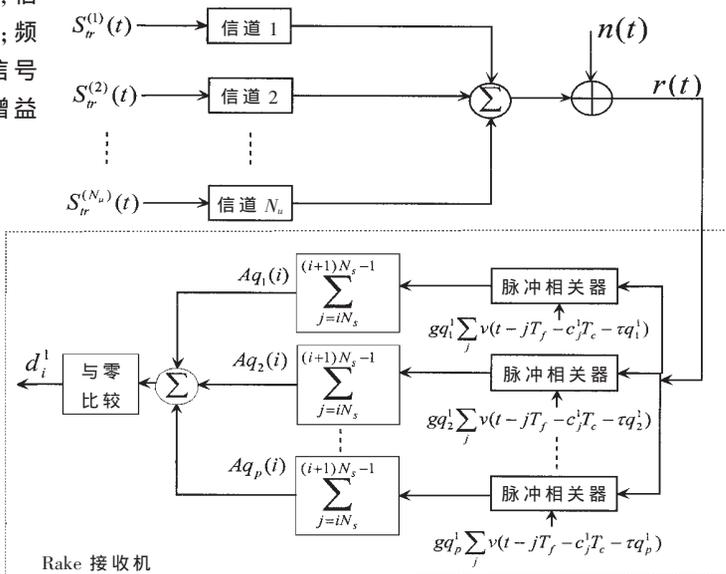


图 4 UWB 信号的 Rake 接收机原理

## 3 UWB 与其他几种无线个人局域网技术的比较

由于 UWB 技术的种种优点,使其成为无线个人局域网 WPAN (Wireless Personal Area Network) 的主要技术之一。WPAN 的目标是用无线电或红外线代替传统的有线电缆,以低价格和低功耗在 10m 范围内实现个人信息终端的智能化互联,组建个人化信息网络。其最普遍的应用是连接电脑、打印机、无绳电话、PDA 以及信息家电等设备。目前实现 WPAN 的主要技术有:IEEE802.11b(Wi-Fi)、Home RF、IrDA、蓝牙(Bluetooth)以及超宽带等五种。

从图 5 可以看出 UWB 技术的优势较为明显,主要不足是发射功率过小限制了其传输距离(如图 6 所示)。也就是说,10m 以内,UWB 可以发挥出高达数百 Mbps 的传输性能,对于远距离应用 IEEE802.11b 或 Home RF 无

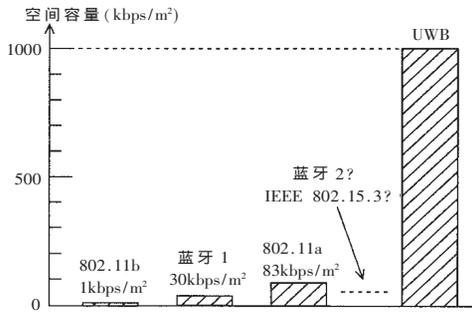


图 5 UWB 与蓝牙、IEEE 802.11 空间容量

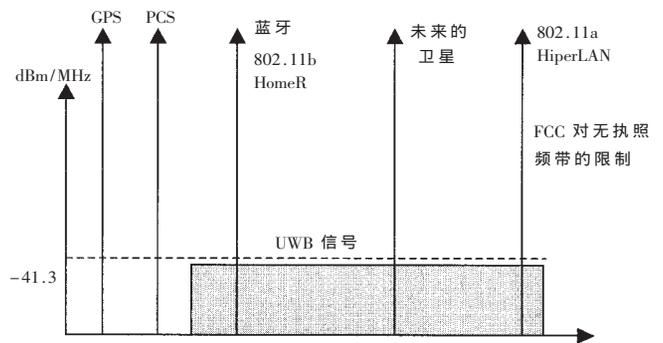


图 6 FCC 对 UWB 功率谱密度的规定

线 PAN 的性能将强于 UWB。UWB 和同为热门的 IEEE802.11b 以及 Home RF 不会进行直接竞争，因为 UWB 更多地是应用于 10m 左右距离的室内。事实上，把 UWB 看作蓝牙技术的替代者可能更为适合，因后者传输速率远不及前者，另外蓝牙技术的协议也较为复杂。

#### 4 国内外研究及发展情况

##### 4.1 国外研究现状

军用方面：早在 1965 年，美国就确立了 UWB 的技术基础。在后来的二十年内，UWB 技术主要用于美国的军事应用，其研究机构仅限于与军事相关联的企业以及研究机关、团体。目前，美国国防部正开发几十种 UWB 系统，包括战场防窃听网络等。

民用方面：由于超宽带技术的种种优点使其在无线通信方面具有很大的潜力，近几年来国外对 UWB 信号应用的研究比较热门，主要用于通信（如家庭和个人网络、公路信息服务系统和无线音频、数据和视频分发等）、雷达（如车辆及航空器碰撞/故障避免，入侵检测和探地雷达等）以及精确定位（如资产跟踪、人员定位等）。索尼、时域、摩托罗拉、英特尔、戴姆勒-克莱斯勒等高技术公司都已涉足 UWB 技术的开发，将各种消费类电子设备以很高的数据传输率相连，以满足消费者对短距离无线通信小型化、低成本、低功率、高速数据传输等要求。

国际学术界对超宽带无线通信的研究也越来越深入。2002 年 5 月 20~23 日，IEEE 举办了一期会议，专门讨论 UWB 技术及其应用。2002 年 2 月 14 日，美国联邦通信委员会(FCC)正式通过了将 UWB 技术应用于民用的议案，定义了三种 UWB 系统：成像系统、通信与测量系统、车载雷达系统，并对三种系统的 EIRP（全向有效

辐射功率)分别做了规定。但是，UWB 技术的协议与标准尚未确定，目前，只有美国允许民用 UWB 器件的使用；而欧洲正在讨论 UWB 的进一步使用情况，并观望美国的 UWB 标准。

##### 4.2 国内研究现状

2001 年 9 月初发布的“十五”863 计划通信技术主题研究项目中，把超宽带无线通信关键技术及其共存与兼容技术作为无线通信共性技术与创新技术的研究内容，鼓励国内学者加强这方面的研发工作。但是国内目前关于 UWB 技术的深入研究仅限于雷达方面，关于 UWB 通信系统的研究还没有形成规模。

##### 参考文献

- 1 M. Z. Win, R.A. Scholtz. Impulse Radio: How it Works. IEEE Communications Letters, Feb. 1998
- 2 R. A. Scholtz. Multiple Access With Time-hopping Impulse Modulation. in Proc. MILCOM, Oct. 1993: 447~450
- 3 Win, M.Z., Scholtz, R.A. Ultra-wide Bandwidth Time-hopping Spread-spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-access Communications. IEEE. Transactions on Communications. Volume: 48 Issue: 4, April 2000:679~689
- 4 Dr. Robert J. Fontana. Ultra Wideband Technology-The Wave of the Future?
- 5 P. H Withington and L. W. Fullerton. An Impulse Radio Communication System. In Proceedings of the International Conference on Ultra-Wide band,Short-Pulse Electromagnetics, NY, USA, Oct. 1992:113~120

(收稿日期:2004-03-18)