无线通信新技术——超宽带(UWB)

New Wireless Communication Technology——Ultra WideBand

李永辉　陈　东　　王俊青
(西南交通大学峨眉校区　峨眉　614202)　(西南交通大学　成都　610031)

【摘　要】 超宽带(UWB)技术是无线通信中的一个非常有发展前途的技术。介绍了UWB 的概念和工作原理、UWB 信号的时域特征和频域特征,分析了UWB 常用的两种调制技术:脉冲幅度调制(PAM)和脉冲位置调制(PPM)的详细过程。最后对超宽带通信主要特点进行了较深入的分析。

【关键词】 无线通信, 超宽带技术, 脉冲无线电, 脉冲位置调制, 脉冲幅度调制

ABSTRACT Ultra WideBand (UWB) is the technology that has developing fore-grand in wireless communication. This paper presents the concept and the basic principles of UWB, including UWB signal features both in time and frequency domains, then analyzes general two approaches of modulation——pulse position modulation (PPM) and pulse amplitude modulation (PAM). And finally discusses main features of UWB communication in detail.

KEYWORDS wireless communication, UWB technology, pulse radio, pulse position modulation, pulse amplitude modulation

超宽带(Ultra WideBand 简称UWB 技术),也被称为脉冲无线电(IR: Impulse Radio)技术。出现于 20 世纪 60 年代,但其应用一直仅限于军事、雷达定位及测距等方面。直到 2002 年 2 月 14 日,这项无线技术才首次获得了美国联邦通信委员会的批准用于民用通信。超宽带技术由于其优良独特的技术特性,正越来越受到通信学术界和产业界的重视。

1　超宽带的基本概念

超宽带是利用纳秒级窄脉冲发射无线信号的技术,适用于高速、近距离的无线个人通信。按照FCC 的规定,从 3.1GHz 到 10.6GHz 之间的 7.5GHz 的带宽频率为UWB 所使用的频率范围[1][2]。

从频域来看,超宽带有别于传统的窄带和宽带,它的频带更宽。窄带是指相对带宽(信号带宽与中心频率之比)小于 1%,相对带宽在 1% 到 25% 之间的被称为宽带,相对带宽大于 25%,而且中心频率大于 500MHz 的被称为超宽带。以一组数据作对比,如:某超宽带系统,最高频率 5.5GHz,最低频率为 3.1GHz,其相对带宽为 55.8%,以 3GW-CDMA 频谱分配为例作比较,其相对带宽为 5MHz/2 200MHz= 0.23%。

从时域上讲,超宽带系统有别于传统的通信系统。一般的通信系统是通过发送射频载波进行信号调制,而UWB 是利用起、落点的时域脉冲(几十 ns)直接实现调制,超宽带的传输把调制信息过程放在一个非常宽的频带上进行,而且以这一过程中所持续的时间,来决定带宽所占据的频率范围[2]。

与传统的宽带和窄带技术相比,UWB 技术能够在具备更高数据传输率的同时,保持很低的能耗。由 shannon 公式(信道容量与信道带宽成线性关系,而与信噪声比的对数成线性关系)可以验证这一点[2]。

由于UWB 发射功率受限,进而限制了其传输距离,据资料表明,UWB 信号的有效传输距离在 10m 以内,故而在民用方面,UWB 普遍地定位于个人局域网范畴[2]。

2　UWB 信号特征

通常,UWB 信号载体为周期性的单周脉冲序列,单周脉冲使用持续时间为 0.5ns～20ns 的高斯形脉冲或方波脉冲。高斯形脉冲类似于单周正弦波,频谱结构中直流及接近直流的频谱成分较弱,有利于极窄脉冲信号的传输,接收端易于相关检测与识别,使用较多,可表示为:

$$g(t) = 6A\sqrt{\frac{e\pi}{3}}\frac{t}{\tau}\exp\left[-6\pi\left(\frac{t}{\tau}\right)^2\right]$$

式中,A 表示脉冲的峰值幅度,τ是决定脉冲宽度的常数,t 是时间。

单周期脉冲的频谱的表达式为:

$$G(f) = -j\frac{Af}{3f_c^2}\sqrt{\frac{e\pi}{2}}\exp\left[-\frac{6}{\pi}\left(\frac{f}{f_c}\right)^2\right]$$

式中,$f_c = 1/\tau$是脉冲的中心频率。图 1 演示了一个脉冲宽度为$\tau = 0.5$ns,$A = 10^8$ 的典型脉冲波形,图 2 是

*　2004-04-23 收到,2004-05-10 改回

**　李永辉,女,1976 年生,在读硕士研究生,助教,研究方向:无线与移动通信等。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

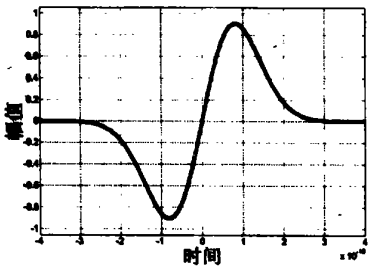

图 1　UWB 单周期脉冲的时域图

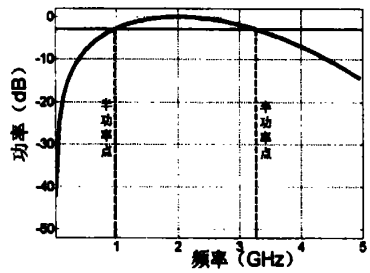

图 2　UWB 单周期脉冲的功率谱

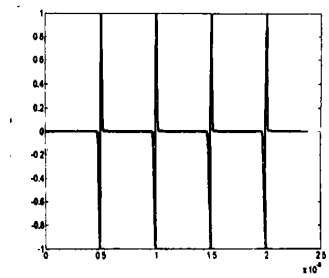

图 3　周期性重复的单脉冲时域图形

其功率频域特性，中心频率 $f_c = 2\text{GHz}$。由图，我们可看到此脉冲的半功率(3dB)带宽大约占 2GHz 带宽。这个例子对应的实际应用包括精确全球定位和高性能雷达[3]。

实际通信中，用于多址通信的UWB 信号载体为周期性单周期脉冲序列，即使用一长串脉冲序列作为传输调制载体，如图 3 所示的脉冲串。脉冲循环周期一般较低，其典型值为单周期脉冲时宽的 100～1 000 倍。这样，在高速率的同时，可保证较低的发送功率。在实际通信中，可利用脉冲序列的幅值、位置携带用户信息[2]。

3　UWB 调制技术

目前较成熟的UWB 调制信号主要有两种：脉冲幅度调制(PAM)和脉冲位置调制(PPM)。PPM 调制又称时间调制(TM - UWB)[4,5]。

3.1　PAM 的原理

1. UWB 单周期脉冲信号表示为 $g(t)$。

2. 通过单周期脉冲信号构成脉冲串：

$$\sum_{j=-\infty}^{\infty} g(t - jT_f)$$

T_f：脉冲重复周期。

3. 加入待传输信息码元，对脉冲幅度进行编码：

$$\sum_{j=-\infty}^{\infty} \delta b_{[j/N_s]} g(t - jT_f)$$

b 表示传送的二进制“0”和“1”的信息序列，每 N_s 个单周期脉冲波形传送一个二进制符号，“[ ]”表示取整运算，δ 表示由信息序列控制的发射脉冲幅值，$\delta b_{[j/N_s]}$ 则表示信号幅值携带了用户信息。

4. 通过跳时码实现多址接入：

$$\sum_{j=-\infty}^{\infty} \delta b_{[j/N_s]} g(t - jT_f - c_j^{(k)} T_c)$$

$c_j^{(k)}$ 为第 k 用户 PN 码的第 j 个码元，$c_j^{(k)} = c_{j+iN_p}^{(k)}$ 其最大值为 $N_{\max}$，PN 码周期为 N_p，T_c 是由 PN 码控制的发射脉冲时延，$t - jT_f - c_j^{(k)} T_c$ 表示了第 k 个用户第 j 个冲击脉冲的起始时刻。

5. 接收端，由多用户复用引起的接收信号为：

$$r(t) = \sum_{k=1}^{N_u} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \delta b_{[j/N_s]} g(t - jT_f - c_j^{(k)} T_c) + n(t)$$

N_u 是用户数，$n(t)$ 是信道干扰。

3.2　PPM 的原理

1. 单周期脉冲信号表示为 $g(t)$，通过单周期脉冲号构成脉冲串：

$$\sum_{j=-\infty}^{\infty} g(t - jT_f)$$

T_f：脉冲重复周期。

2. 加入待传输信息码元，对脉冲位置进行编码：

$$\sum_{j=-\infty}^{\infty} g(t - jT_f - \delta b_{[j/N_s]})$$

δ 表示由信息序列控制的发射脉冲时延。

3. 通过跳时码实现多址接入：

$$\sum_{j=-\infty}^{\infty} g(t - jT_f - c_j^{(k)} T_c - \delta b_{[j/N_s]})$$

即信号的时延携带了用户信息。

4. 接收端，由多用户复用引起的接收信号为：

$$r(t) = \sum_{k=1}^{N_u} \sum_{j=-\infty}^{\infty} g(t - jT_f - c_j^{(k)} T_c - \delta b_{[j/N_s]}) + n(t)$$

PAM 与 PPM 的主要差别在于：前者用信息符号控制脉冲幅度，后者用于控制发射信号的时延。

在典型的UWB 收发信息结构中，首先在发射端由脉冲重复频率发生器控制脉冲发生器，产生一系列的冲激脉冲；然后在调制器中，用待发送的数据对这一系列的脉冲进行脉冲振幅调制或脉冲位置调制，并经由射频滤波器将这一系列载有发送信息的脉冲发送出去；最后在接收端，天线收集到由多径衰落信道传来的UWB 信号，经低噪声放大器将信号能量放大后输入相关解调器。在相关解调器中，用与发射端相同的冲激脉冲序列对射频滤波，再经低通检波、抽样检测恢复原来的信息。

4　UWB 系统的特点[6]

1. 传输速率高。在 10m～100m 范围内，UWB 传输速率可达到 50Mb/s～250Mb/s。

2. 带宽极宽。

3. 消耗电能小。而UWB 发送瞬间脉冲电波，并且在需要时才发送脉冲电波，所以，耗电小。

（下转第 37 页）

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

就能显示出三维图形。也可以编程读取 3D 模型文件并显示,在程序运行时导入 3D 模型。将 3D 模型存储成max 型文件。这种文件实际上是三维形体曲面片的顶点描述及其法向量的描述,因此很容易用OpenGL 的图形函数读入并重新显示。

3.2　3D 模型驱动

为实现对三维飞机模型的实时驱动,首先要建立一个定时器,定时器由函数 SetTimer(nID, simulationStep,NULL)完成。simulationStep 是仿真步长,为了达到实时效果,仿真步长要和空战仿真步长一致。定时器每隔一个仿真步长产生一个WM_TIMER 消息。WM_TIMER 的消息处理函数OnTimer()每隔一个仿真执行一次,在函数OnTimer()中更新飞机三维模型的位置和姿态,实现对三维模型的驱动。

驱动三维模型通过OpenGL 提供的模型变换来完成,模型变换包括平移变换和旋转变换,平移用glTranslate(x,y,z)函数,x,y,z 分别是模型在三个坐标轴方向平移的偏移量;旋转用glRotate(angle, x,y,z)函数,angle 是旋转角度,(x,y,z)是旋转轴方向,平移和旋转变换是通过矩阵操作实现的。在进行变换之前,应当把当前矩阵设置成为单位矩阵,即调用glLoadIdentity();函数。这是在作变换操作之前必须的第一步,因为变换就是把指定的矩阵乘以当前矩阵,再把这个结果赋给当前矩阵。如果当前矩阵不是单位矩阵,则所得的值必然会包括以前变化的结果。驱动飞机三维模型的代码如下:

```
glLoadIdentity();
glTranslatef(xc, yc, zc);
glRotatef(yr, 0.0, 1.0, 0.0);
glRotatef(zr, 0.0, 0.0, 1.0);
glRotatef(xr, 1.0, 0.0, 0.0);
```

其中:xc、yc、zc 为飞机的三个坐标分量,xr、yr、zr 分别是飞机的坡度 γ、航向角 Ψ、俯仰角 θ。

3.3　轨迹线的绘制

研究空战效果运用情况时,为了更直观的观察飞机运动过程,需要绘制空战中飞机的轨迹线、高度线(飞机轨迹点到地面的垂线)、轨迹投影线。程序代码(略)。

3.4　视点漫游

视点漫游就是可在空间任意点上观看空战场景。它可以实现显示空域、显示比例随意变换和从任何角度观察。利用视点漫游有利于了解空战进程,分析空战效果。视点漫游功能是利用OpenGL 提供的视点变换功能实现的,视点变换和模型变换相似,当视点进行平移和旋转时,视点坐标系中的物体就相当于在世界坐标系中作反方向的平移和旋转。视点变换和模型变换的实现函数是一样的。程序运行时的显示效果图(略)。

参 考 文 献

1　杨双华,王以伦,张立勋等. MFC 构架下的OpenGL 动画技术. 应用科技,2001(3):31～32

2　凌　云,储林波. 用Visual C++ 中的MFC 和OpenGL 建立三维图形应用环境. 微型机与应用,1998(4):8～10

(上接第 34 页)

4. 保密性好。UWB 保密性表现在两方面:一方面是采用扩频码,接收机只有已知发送端扩频码时才能解出发射数据;另一方面是系统的发射功率谱密度非常低,几乎被湮没在各种电磁干扰和噪声中,具有较好的隐蔽性。

5. 发送功率非常小。

5　结束语

在当今信息数字化与通信飞速发展的时代,低频、高带宽是低成本高速通信所期待的。超宽带技术的采用对于解决当今在通信领域中的容量与有限的频谱资源分配等问题提供了一条有效的途径。国外已有多家公司开发出了UWB 系列产品,我们相信UWB 技术将会更加完善、更加有效地服务于我们的生活,它是一项很有发展潜力的高速无线接入技术。

参 考 文 献

1　James D Taylor. Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems. CRC Press,1995:1～9

2　Jeff Foerster, Evan Green, Srinivasa Somayazulu et al. Ultra-Wideband Technology for Short- or Medium-Range Wireless Communications. Intel Technology Journal Q2, 2001:1～11

3　Kaveh Pahlavan, Prashant Krishnamurthy 著. 刘　剑,安晓波,李春生等译. 无线网络通信原理与应用. 北京:清华大学出版社,2002:75～76

4　Mode Z Wiu, Robert A Scholtz. Impulse Radio: How it works. IEEE COMMUNICATION LETTERS, 1998, 2(1):10～13

5　R A Scholtz. Multiple Access with Time-Hopping Impulse Modulation. MILCOM '93, Bedford, MA, 1993:11～14

6　岳光荣,葛利嘉. 超宽带无线电综述. 解放军理工大学学报(自然科学版),2002,3(2):14～20

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net