

基于混沌的DS-UWB通信系统的设计与SDR实现

江沸波, 王玲, 董莉

湖南师范大学 物理与信息科学学院, 湖南 长沙 410081

2008-04-15

摘要: 依据混沌序列的白噪声统计特性、较理想的自相关和互相关特性以及产生简单、码元丰富、抗干扰能力强等特性, 提出了基于混沌扩频序列的DS-UWB 通信系统方案, 并针对混沌DS-UWB 通信系统的特点对同步和安全性能做出了改进, 最后给出了一种基于软件无线电的实现方案, 仿真结果表明本系统有较大的用户容量和较低的误码率。

关键词: 超宽带 混沌扩频 外同步 RAKE接收机 软件无线电

目前, 短距离无线通信技术已经进入前所未有的发展时期, 而超宽带 (UWB) 技术在无线通信领域的应用更是引起了人们的广泛关注。本文提出了一种基于混沌的DS-UWB系统, 能够提供更好的伪随机性和更大的用户容量, 采用了组帧结构的外同步方式, 并通过对CM1、CM2信道的仿真确定在接收端使用3径的RAKE接收机来提高性能。最后提出了一种基于软件无线电思想的实现方法。

1 DS-UWB技术及其功率谱分析

1.1 DS-UWB技术

按照美国联邦通信委员会(FCC)的定义信号带宽大于1.5GHz或信号带宽与中心频率之比大于20%为超宽带。后来FCC又规定带宽超过500MHz可称为超宽带。

发射超宽带信号最常用和最传统的方法是发射时域上很短的脉冲, 这种传输技术称为IR(Impulse Radio), 这种方式下信号不需要载波即可通信。其调制方式多采用脉冲位置调制 (PPM)、脉冲幅度调制 (PAM)、相位调制 (BPSK) 等, 信号编码则多采用跳时编码 (TH-UWB) 和直接序列编码 (DS-UWB)。

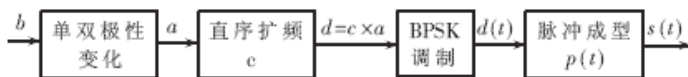


图1 无载波 DS-UWB 系统的信号产生模型

一个典型的无载波DS-UWB系统的信号产生模型如图1所示。

其中 b 为待发射的二进制序列, 其速率 $R_b=1/T_b$ (bps), a 为双极性序列, c 为扩频序列, 其周期为 N_p , d 为扩频后的序列, 其组成元素 $d_j=a_j \times c_j$, 周期为 N_s , 通常假定 $N_p=N_s$, 更具一般性的假设是 N_p 等于 N_s 的整数倍。其速率为 $R_d=R_c=N_s/T_s=1/T_s$ (bps), $p(t)$ 为成型脉冲。

得到的输出信号表达式为:

$$s(t) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} d_j p(t-jT_s) \quad (1)$$

1.2 直序超宽带信号的功率谱密度分析

由于式(1)的信号不是广义平稳的, 需要在原式上增加一个随机相位使其变为广义平稳的^[1]:

$$s(t+\Theta) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} d_j p(t-jT_s+\Theta) \quad (2)$$

由维纳-辛钦定理可求得信号 $s(t)$ 的功率谱密度为:

$$P_{sd}(f) = \frac{|p(f)|^2}{T_s} p_c(f) \quad (3)$$

其中 $p_c(f)$ 是扩频码的频谱, $|p_c(f)|^2$ 是脉冲函数 $p(t)$ 的自相关积分的傅氏变换。由(3)式可知, 一旦脉冲的形状 $p(t)$ 确定, 直序超宽带信号的功率谱密度由扩频码的频谱决定。

由(3)式可得到DS-UWB信号的功率谱密度仿真 ($N_p=10\ 202\ 000$) 如图2所示。

Nios II 嵌入式处理器 设计大赛2007

优秀作品 > 立即下载

- 德州仪器诚邀公众大胆畅想...
- Altera中国大学生电...

热点专题

- 中国电子学会Xilinx杯开放源码硬件创新大赛
- 赛灵思公司Virtex-5系列FPGA
- 3G知识
- IPTV
- 触摸屏技术
- RoHS

杂志精华

- 基于CC2430的无线传感器...
- 无线传感器网络应用系统综述
- 无线传感器网络在野外测量中的...
- 基于竞争的无线传感器网络
- 用于矿井环境监测的无线传感器...
- 具有自适应通信能力的无线传感...
- 基于传感器网络技术的深孔测径...
- 基于无线传感器网络的家庭安防...
- 基于ATmega128L与C...
- 无线传感器网络中移动节点设备...

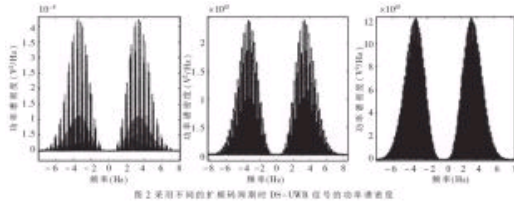


图2 采用不同的扩频码序列的DS-UWB信号的功率谱密度

可见，扩频序列的性能决定了DS-UWB信号的功率谱密度，同时在DS-UWB CDMA系统中，多址干扰（MAI）是影响用户容量的主要因素，而一种好的扩频序列可以有效地减少多址干扰。所以选择合适的扩频序列，对DS-UWB系统的性能起着决定性的作用。

2 混沌扩频序列

混沌信号具有如下性质：既非周期也不收敛，对初始值敏感，还具有类似噪声的宽频谱，尖锐的自相关和近似正交的互相关特性，可以提供无限的混沌序列。正是因为以上的优点，混沌信号在扩频通信中得到了广泛的应用。

同时将混沌信号作为DS-UWB系统的扩频序列，还有着以下独特的优点：

- (1)因为混沌信号类似噪声的频谱，可以避免在公共频带上与其他WLAN和WPAN技术产生干扰。
- (2)混沌信号良好的自相关性可以减少符号间干扰对信道估计的影响，进而减少RAKE接收的径数，简化RAKE接收机的结构。
- (3)因为天线发射信号的全向性，无线网络往往信号的安全性较差，在物理层使用混沌信号加密可以极大地提高信号的安全性。

(4)因为混沌序列有着比传统的扩频序列（例如：m序列、gold码和Walsh码）更好的自相关和互相关特性及序列数目，所以为UWB CDMA系统提供更大的系统容量。

因为Logistic映射产生的混沌序列，具有良好的平衡性、自相关和互相关特性，非常适合用在DS-UWB系统中。本系统中选用Logistic映射作为混沌信号的产生模型：

$$x_{n+1} = 1 - \mu x_n^2 \quad x \in (-1, 1) \quad \mu = 2 \quad (4)$$

3 基于软件无线电思想的系统实现

整个系统的实现如图3所示。

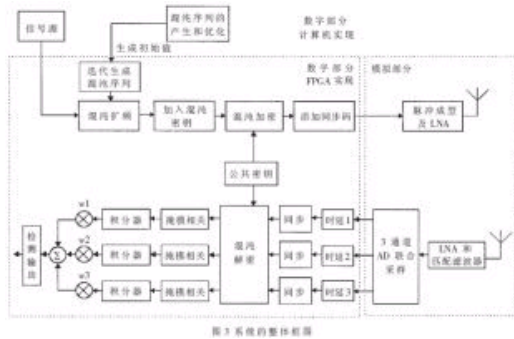


图3 系统的整体框图

根据软件无线电（SDR）的设计思想，整个系统由三部分实现，其中数字部分由可编程的计算机软件和FPGA实现，尽可能减少模拟部分。

因为用于扩频的混沌序列需要优选，但进行优选的过程十分复杂，不适合用FPGA实现，一旦产生了序列，就不需要经常更改，所以在计算机上用程序来实现混沌序列的优选，通过串口与FPGA相连，将初值存入FPGA的存储器内。需要注意的是，因为FPGA只能存储有限精度的二进制数据，所以在计算机软件优选的过程中，混沌序列的初值也必须是有限精度的二进制数据。其优选过程的软件算法如图4所示。为了让混沌序列具有更加优良的性能，并考虑到IEEE802.15.3a中的DS-UWB建议方案，笔者选择混沌码的周期是24的整数倍，并且长度在2 000~4 000。在本系统中，选择 $N_p=2 048$ 。

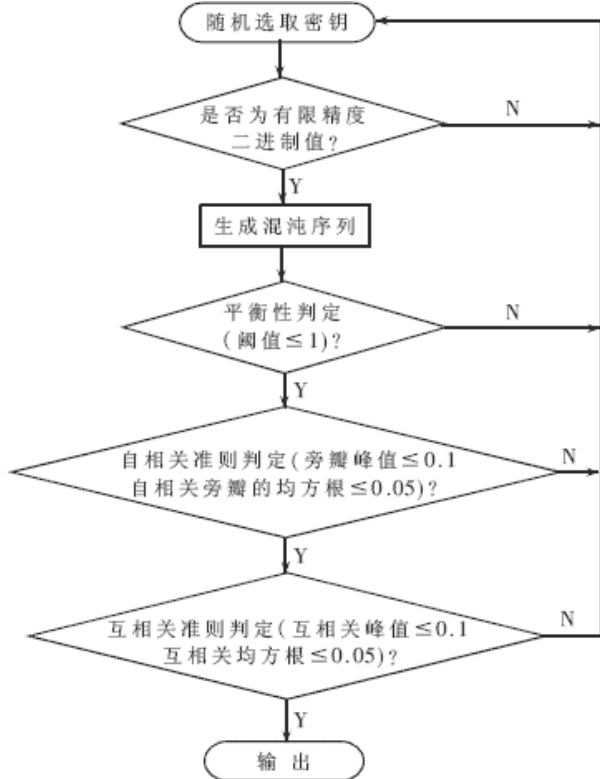


图4 混沌序列优选算法流程

在发射机部分，使用了两个混沌序列，一个用来混沌扩频，另一个用来混沌加密。混沌扩频的过程如图1所示，混沌加密的过程就是简单地用一个发射机和接收机都知道初值的混沌序列与扩频后的信息序列进行模2和运算。

混沌信号的同步：信号的同步分为外同步和内同步两大类：内同步直接从信息数字序列中提取同步信息，不需额外的同步信号功率。常见的方法有：步进串序搜索法、匹配滤波器法和自回归自适应频谱估测法。由于混沌序列的周期较长，步进串序搜索法捕获同步的时间较长，难以满足实际应用的需要，而匹配滤波器法和自回归自适应频谱估测法则需要大量的滤波器，电路复杂，不适合在功率和体积受限的移动终端中使用，所以在本方案中使用外同步法对信号进行同步。

混沌序列生成后，与信息序列进行扩频，扩频后的数据采用物理层组帧的方法来实现加密和外同步。其帧的格式如图5所示。

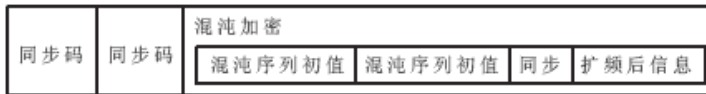


图5 系统的帧结构图

在系统中，使用11位的巴克码作为同步码，因为无论选用何种巴克码始终存在与同步码组码元序列相同的数据码组，为了实现正确的帧同步，还要使用相应的同步保护电路来避免伪同步的发生。同时设定每传输2 048个扩频信息就组成一帧，这样即使同步码在传输过程中被破坏，也可以通过MAC层的重传机制再次获得数据，同时也可以根据通信的不同安全级别，每一帧采用不同的混沌初值进行扩频，进一步提高通信的安全性。

在接收端，当RAKE接收机接收到11位的巴克码时，立刻进入接收状态，如果两次收到的同步码一致，就利用本机的密钥进行解密，否则即说明是伪同步或者是同步码已经受到时间选择性衰落的破坏，则放弃接收，节省功率。因为混沌序列对初值敏感，所以混沌解密后，要对收到的两个初值进行比较，如果一致，则进行最后的同步解扩（在DS-UWB中为掩模相关），否则就放弃接收，节省功率。解扩后的数据经RAKE接收机的最大比（MRC）合并后检测输出最终数据。

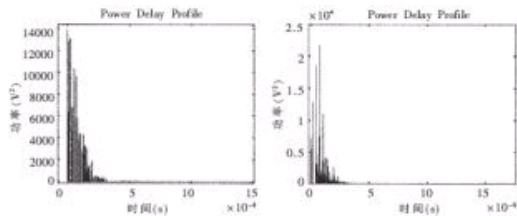


图6 接收信号在CM1、CM2信道下的仿真

在接收机部分：由于UWB技术具有内在的抗多径能力，仅当LOS(视距)与反射信号的传播时差小于脉冲宽度时，才会产生干扰。图6是对IEEE802.15.3a建议采用和衡量UWB系统性能的多径传播信道模型CM1、CM2的功率延迟轮廓线（Power Delay Profile）进行仿真的结果^[1]。

在本实验环境下，采用径数为3的RAKE接收机就能达到比较好的效果。同时考虑到应用UWB的无线终端多为功率和体积受限系统，仅采用最简单的抽头延时线模型来实现RAKE接收，同时还可以通过多次信道仿真取得均值来确定RAKE接收机的加权系数。

整个FPGA系统采用流水线结构，同时，在接收端采用三通道AD联合采样（使用三个AD转换器并行工作）以适应DS-UWB系统的处理速度。模拟部分选择高斯函数的二阶导数作为脉冲波形，使用自制的电路实现。

4 信噪比和多用户容量分析

图7是在Ns=3时，CM1信道下系统的信噪比与误码率的关系。可见随着信噪比的提高，RAKE接收机的性能优于单接收机，并且当

增大时(实际系统中 $N_s \gg 3$) RAKE接收机的性能将更加优越。图8是在用户数量为20时, CM1信道下系统的信噪比与误码率的关系。

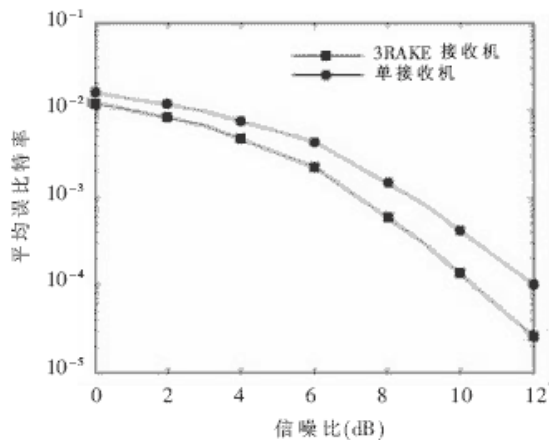


图7 RAKE接收对信噪比和误码率的影响

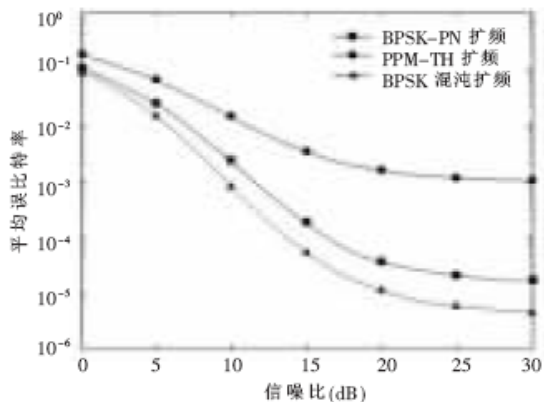


图8 不同的调制方式和扩频码对系统的影响

可见, BPSK调制的用户容量要大于PPM调制, 这也是为什么在实际中选择BPSK调制作为DS-UWB CDMA的调制方式的原因。同时随着信噪比的提高和序列长度的增加, 混沌序列扩频的性能要优于传统的PN码的扩频, 这与前面分析的结论是一致的。

本文基于Logistic映射, 提出了一种新的DS-UWB通信系统, 与传统的DS-UWB系统相比, 其优点在于:

- (1) 采用Logistic映射作为扩频码, 为信号提供更好的伪随机性和更大的用户容量;
- (2) 采用混沌加密, 进一步提高系统的安全性;
- (3) 采用外同步, 能更快地实现混沌序列的同步并节省功率;
- (4) 将信号用帧的方式进行发射, 能进一步节省功率;
- (5) 采用RAKE接收机提高接收端的信噪比;
- (6) 基于软件无线电思想的实现更适合未来通信的需要。

参考文献

- 1 Maria-Gabriella Di Benedetto. Understanding Ultra wide band radio fundamentals[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005
- 2 IEEE 802.11b standard[s]. 1999
- 3 Porcino D, Hirt W. Ultra-wideband radio technology: potential and challenges ahead [J]. IEEE Communications Magazine, 2003; 41(7): 66~74
- 4 Qiu R C, Liu H, Shen X. Ultra-wideband for multiple access communications [J]. IEEE Communications Magazine, 2005; 43(2): 80~87
- 5 凌 聪, 孙松庚. Logistic 映射扩频序列的相关分布[J]. 电子学报, 1999; 27(1): 140~141

在线联系

[添加到收藏夹](#)

关于“基于混沌的DS-UWB通信系统的设计与SDR实现”, 我有如下需求或意向:

用户名: 密码: 验证码: 5829 欢迎注册

相关应用

- IEEE 802.15.3协议MAC层概述

《电子技术应用》编辑部版权所有

地址：北京海淀区清华东路25号电子六所大厦

联系电话：82306084 / 82306085 传真：62311179 京ICP备05053646号

推荐分辨率1024*768 IE6.0版本

