

Maxim > 设计支持 > 技术文档 > 设计指南 > 无线与射频(RF) > APP 1890

关键词: rf, rfic, dsss, fhss, 直序, 跳频, 扩频, 无线, 阻塞, 码序, rf ic, 设计讲座

设计指南1890

扩频通信概述

摘要: 本应用笔记介绍了扩频原理, 内容包括直序扩频和跳频扩频方式。所提供的理论公式可用于性能评估。本文还介绍了扩频技术在CDMA和TDMA中的应用, 给出了码序发生器的结构以及直序扩频(DSSS)和跳频扩频(FHSS)方式的频谱图。

引言

随着扩频技术的推广, 许多该领域之外的电子工程师也希望了解这项技术。许多书籍和网站对这一专题进行了论述, 有些文章简单的解释那些复杂的概念很难被人们接受, 有些则专门详细地论述了几个方面的技术但又忽略其他的(例如: 直接扩频的重点在PRN码的产生上)。

本文将尽可能全面的论述扩频技术所包括的所有方面。

短暂的历史

有关扩频通信技术的观点是在1941年由好莱坞女演员Hedy Lamarr和钢琴家George Antheil提出的。基于对鱼雷控制的安全无线通信的思路他们申请了美国专利#2.292.387。不幸的是当时该技术并没有引起美国军方的重视, 直到十九世纪八十年代才引起关注将它用于敌对环境中的无线通信系统。

短距离数据收发信机中的典型应用是卫星定位系统(GPS)、3G移动通信、WLAN (IEEE® 802.11a、IEEE 802.11b、IEEE 802.11g)和Bluetooth® (蓝牙)技术。扩频技术也为提高无线电频率的利用率提供帮助(无线电频谱是有限的, 因此也是一种昂贵的资源)。

扩频理论的基础

在Shannon和Hartley信道容量定理中可以明显看出频谱扩展的作用:

$$C = B \times \log_2 (1 + S/N) \quad (\text{公式1})$$

式中, C是信道容量, 单位为比特每秒(bps), 它是在理论上可接受的误码率(BER)下所允许的

用于恶劣环境(例如噪声和干扰导致极低的信噪比)时,从上式可以看出,通过提高信号带宽(B)可以维持或提高通信的性能(C),甚至信号的功率可以低于噪底。(公式中没有对这一条件进行限制!)

将公式1中的对数底从2修改为e(自然数),用 $\ln = \log_e$ 表示,侧:

$$C/B = (1/\ln 2) \times \ln(1 + S/N) = 1.443 \times \ln(1 + S/N) \quad (\text{公式2})$$

由MacLaurin级数展开得:

$$\ln(1 + x) = x - x^2/2 + x^3/3 - x^4/4 + \dots + (-1)^{k+1}x^k/k + \dots:$$

$$C/B = 1.443 \times (S/N - 1/2 \times (S/N)^2 + 1/3 \times (S/N)^3 - \dots) \quad (\text{公式3})$$

在扩频技术应用中,信噪比S/N通常比较低。(如上面所提到的,信号功率密度甚至可以低于噪底。)假定较大的噪声使 $S/N \ll 1$,则Shannon表示式近似为:

$$C/B \approx 1.433 \times S/N \quad (\text{公式4})$$

可进一步简化为:

$$C/B \approx S/N \quad (\text{公式5})$$

或:

$$N/S \approx B/C \quad (\text{公式6})$$

在信道中对于给定的信噪比要无差错发射信息,我们只需要执行基本的信号扩频操作:提高发射带宽。这个原理似乎简单、明了,但是具体实现非常复杂。因为基带扩频(可能扩展几个数量级)会导致电子器件相互作用,从而产生扩频和解扩操作。

定义

扩频技术在具体实现时有多种方案,但思路相同:把索引(也称为码或序列)加入到通信信道,插入码的方式正好定义了所讨论的扩频技术。术语“扩频”指将信号带宽扩展几个数量级,在信道中加入索引即可实现扩频。

扩频技术更加精确的定义是:通过注入一个更高频信号将基带信号扩展到更宽的频带内的射频通信系统(图1),即发射信号的能量被扩展到一个更宽的频带内,使其看起来如同噪声一样。扩展带宽与初始信号之比称为处理增益(dB)。典型的扩频处理增益可以从10dB到60dB。

预先知道扩频码(在某些情况下, 它应该只被传输信息的双方知道)。

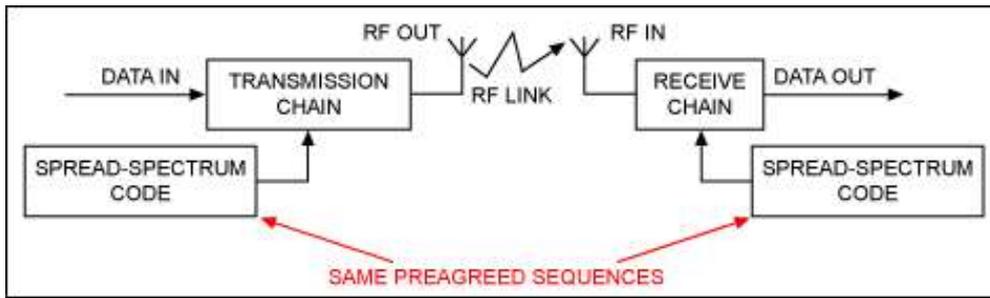


图1. 扩频通信系统, 扩频处理的带宽

扩频处理的带宽

图2对通信链路中信号带宽进行了评估。

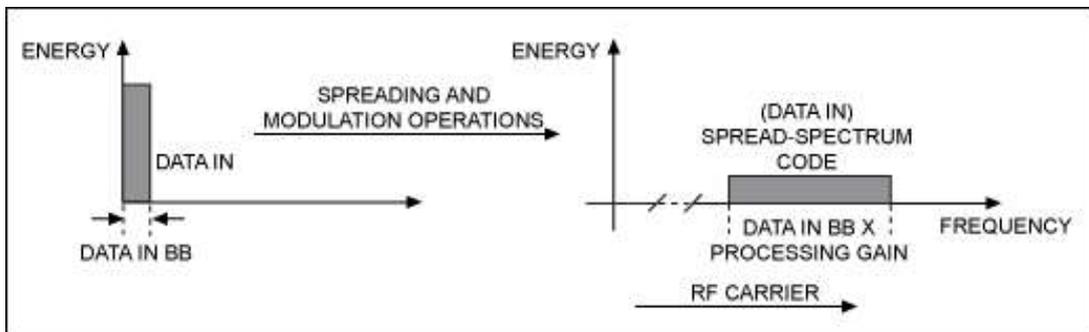


图2. 扩频操作将信号能量扩展到更宽的频带

扩频调作用于通用调制器如BPSK的前端或直接转换。没有接受扩频码的信号保持不变, 不扩频。

解扩处理的带宽

同样, 解扩过程如图3所示:

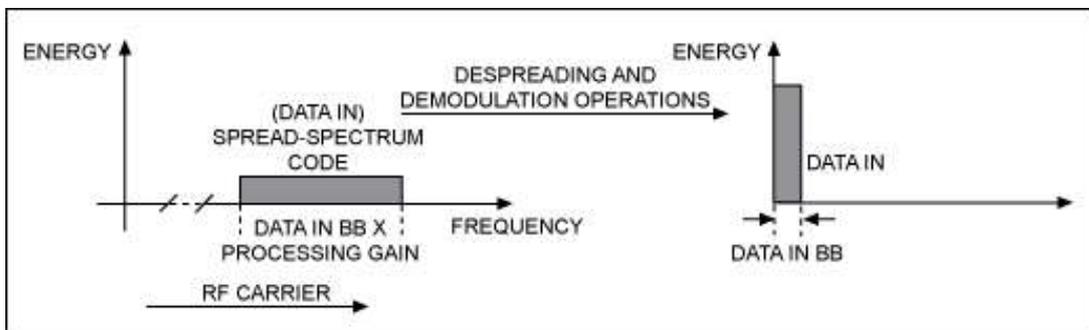


图3. 解扩操作恢复原始信号

解扩通常在解调之前进行。在传输过程中加入的信号(例如干扰或阻塞)将在解扩处理中扩频。

由于扩频消耗的带宽通过多用户识别

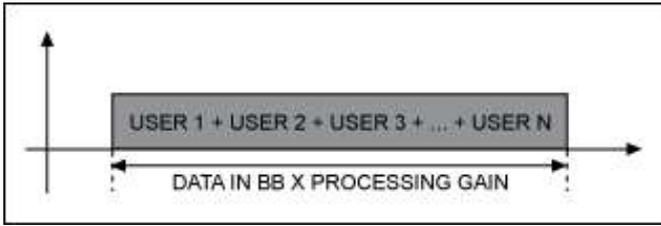


图4. 扩频技术允许多用户共享同一频带

扩频是宽带技术

与窄带技术相比，扩频过程是一种宽带技术。例如，W-CDMA和UMTS属于需要较宽频带(相对于窄带无线电)的宽带技术。

扩频的益处

抗干扰和抗阻塞性能

扩频技术会带来诸多益处，抗干扰特性是其中最为重要的优势。因为干扰和阻塞信号不带有扩频因子，所以被抑制掉。解扩处理后，只有包含扩频因子的所希望的信号会出现在接收器内。如图5所示。

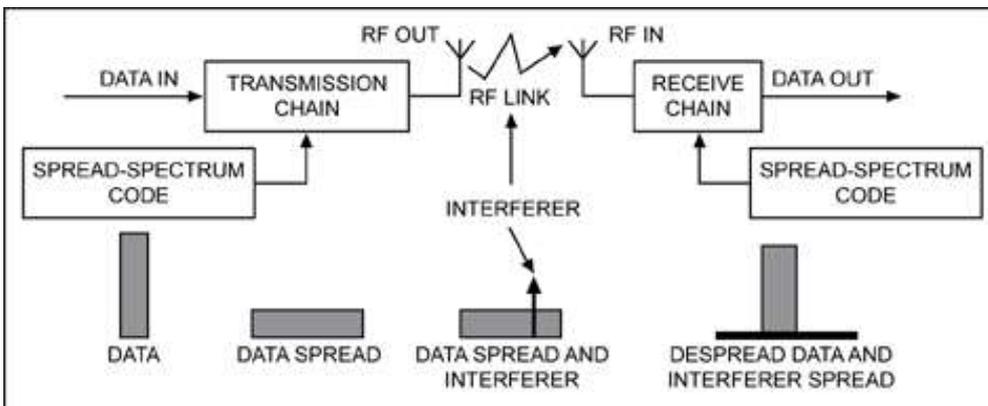


图5. 扩频通信系统，在接收链路中解扩数据信号时，干扰信号的能量被扩展了

如果干扰信号(窄带或宽带)不包括扩频因子，解扩后可忽略其影响。这种抑制能力同样也作用于其它不具有正确扩频因子的扩频信号，正是由于这一点，扩频通信允许不同用户共享同一频带(比如CDMA)。注意扩频是宽带技术，但宽带技术不是扩频，宽带技术不必包括扩频技术。

防止信号拦截

防信号拦截是通过扩频获得的第二个优势。因为没有授权的用户不知道扩展原始信号的扩频因子，所以他们无法解码。没有正确的扩频因子，扩频信号就相当于噪声或者干扰(当然，如果扩频因子很短，则可利用扫描方法进行破解)。值得庆幸的是，扩频通信允许信号功率低于噪底，因为扩频处理降低了频谱密度，参见图6(总能量相同但展宽到整个频域内)。这样，可以将信息隐藏起来，这一效果是直序扩频(DSSS)的显著特点(直序扩频将在后面详细介绍)。其

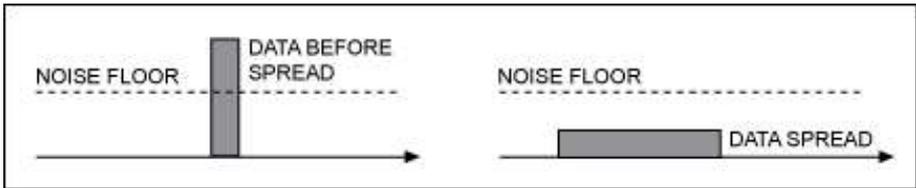


图6. 扩频信号掩埋在噪底以下，若没有正确的扩频因子，接收机则无法“解析”此次发射

衰落抑制(多径影响)

无线信道通常具有多径传播效应，从发射端到接收端存在不止一条路径(图7)。这些路径是由于空气的反射或折射以及从地面或物体，如建筑物等的反射产生。

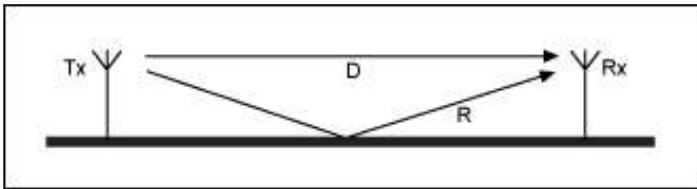


图7. 信号通过多条路径传送至接收机

反射路径(R)对直接路径(D)产生干扰被称为衰落现象。因为解扩过程与信号D同步，所以，即使信号R包含有相同的扩频因子，也同样会被抑制掉。可以对反射路径的信号进行解扩，并将其均方根值叠加到主信号上。

扩频技术在CDMA中的应用

值得注意的是，扩频不是一种调制方式，不应该同其他类型的调制相混淆。例如，我们能够利用扩频技术发射一个经过FSK或BPSK调制的信号。从编码基本理论来看，扩频也能作为实现多址通信的一种方法(多个通信链路同时共存于同一个物理媒介)。迄今为止，主要有三种方式。

FDMA—频分多址

FDMA给每个通信信道分配一个特定的载波频率，用户数受频谱的频段数限制(图8)。在三种多址实现方法中，FDMA的频带利用率最低。典型应用包括无线广播、TV、AMPS和TETRAPOLE。

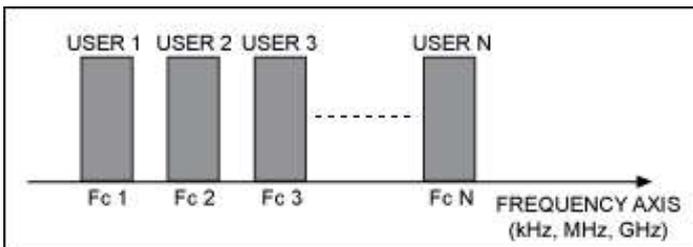


图8. FDMA系统中不同用户所分配的载波频率

TDMA—时分多址

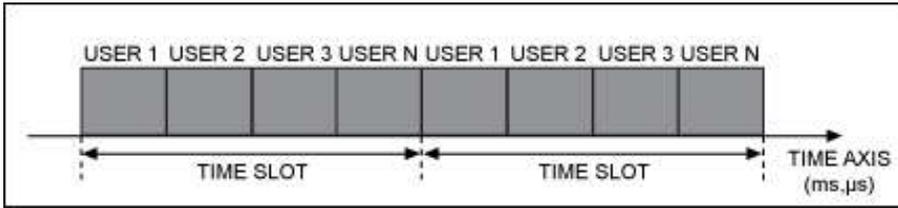


图9. TDMA系统中不同用户所分配的时隙

CDMA—码分多址

CDMA的空间接入取决于扩频因子或码(图10)。从某种角度上讲，扩频是CDMA的一种方式。发射端和接收端需要预先知道定义好的扩频码。典型应用包括IS-95 (DS)、IS-98、蓝牙技术和WLAN。

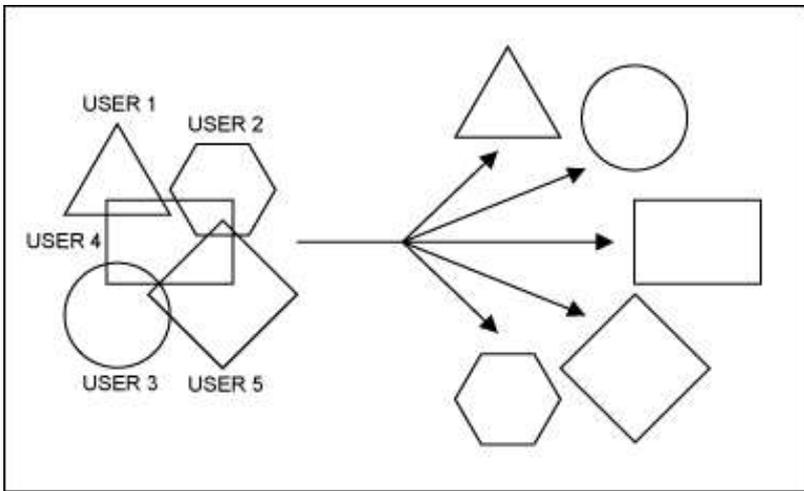


图10. CDMA系统采用不同的扩频因子或码使用相同的频带

实际应用中可以综合利用上述多址方式。例如，GSM组合了TDMA和FDMA，利用不同的载波频率定义了拓扑区域(蜂窝)，并在每一个蜂窝设置时隙。

扩频和编解码因子

扩频的主要特点就是发射机和接收机必须预先知道一个预置的扩频码或扩频因子。在现代通信中，扩频码必须足够长，尽量接近类似于噪声的随机数序列。但是，在任何情况下，他们必须保持可恢复性。否则，接收机将不能提取发射信息。因此，这序列是近似随机的。扩频码通常称为伪随机码(PRN)或伪随机序列。通常采用反馈型移位寄存器产生伪随机码。

图11给出了一个伪随机码的示例。移位寄存器包含8个数据触发器(FF)，移位寄存器中的内容在时钟上升沿逐位左移。移入FF1的数据取决于FF8和FF7的反馈信息。伪随机码PRN从FF8读出。触发器的内容在每个序列的开始处被复位。

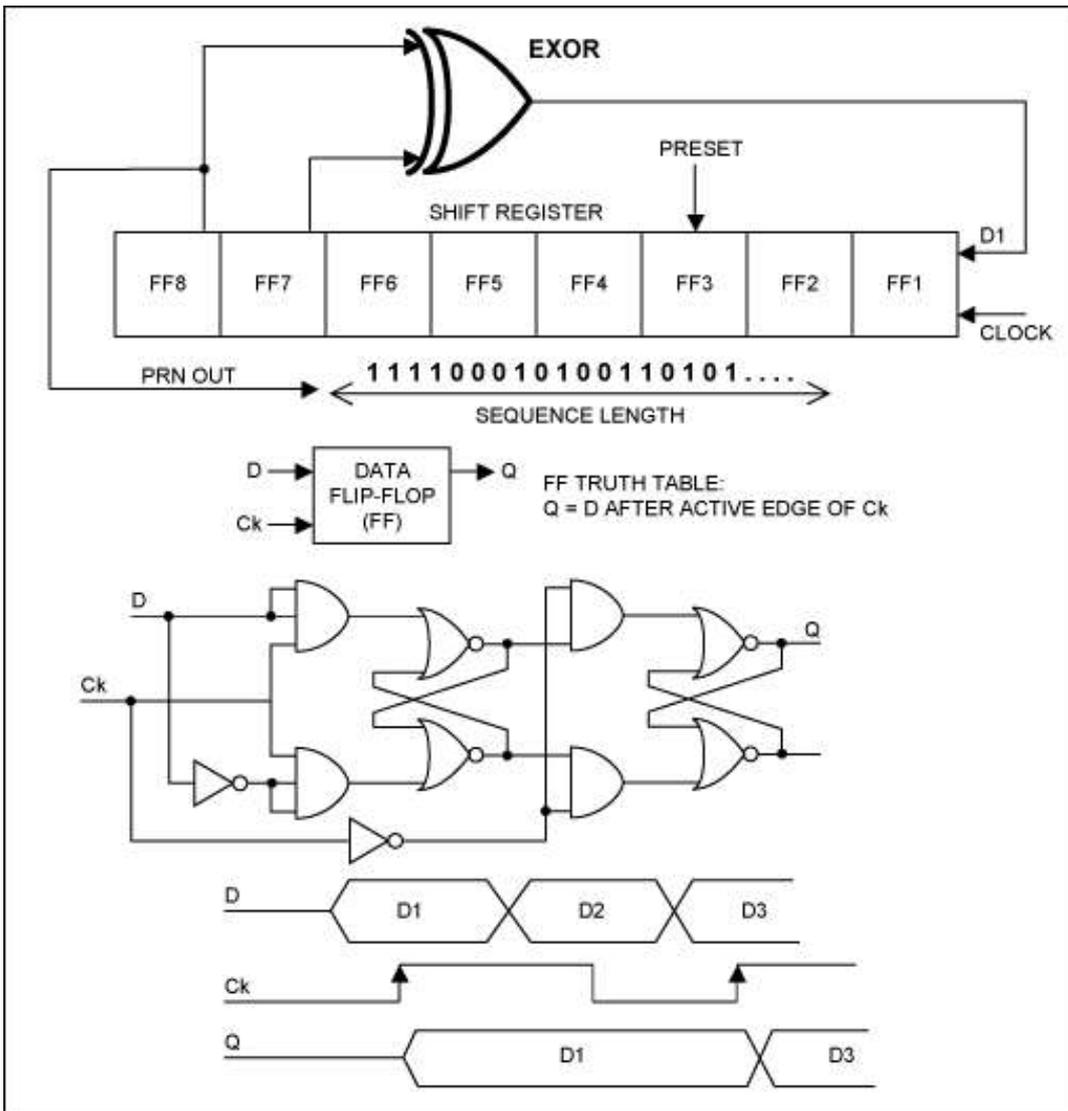


图11. 简易PRN发生器的方框图

许多书籍都讲到了PRN的生成和特性，但这些基本指导已经赶不上其发展的步伐。合适的序列(或序列集)的生成或选择都不是简单地直接完成的。为保证有效的扩频通信，PRN序列必须考虑几条准则，如长度、自相关、互相关、正交性和比特均衡。比较常用的PRN序列是：Barker、M-Sequence、Gold和Hadamard-Walsh等。扩频通信链路使用的序列集越复杂其可靠性越高。但是，付出的代价是解扩操作所需的电子设备也会更复杂(包括速度和性能)。数字解扩芯片可以包含几百万个等效的2输入与非门，开关频率为几十兆赫兹。

扩频技术的不同调制方式

根据伪随机码(PRN)插入通信信道的位置不同可以得到不同的扩频调制方式。图12是基本的RF前端原理说明。

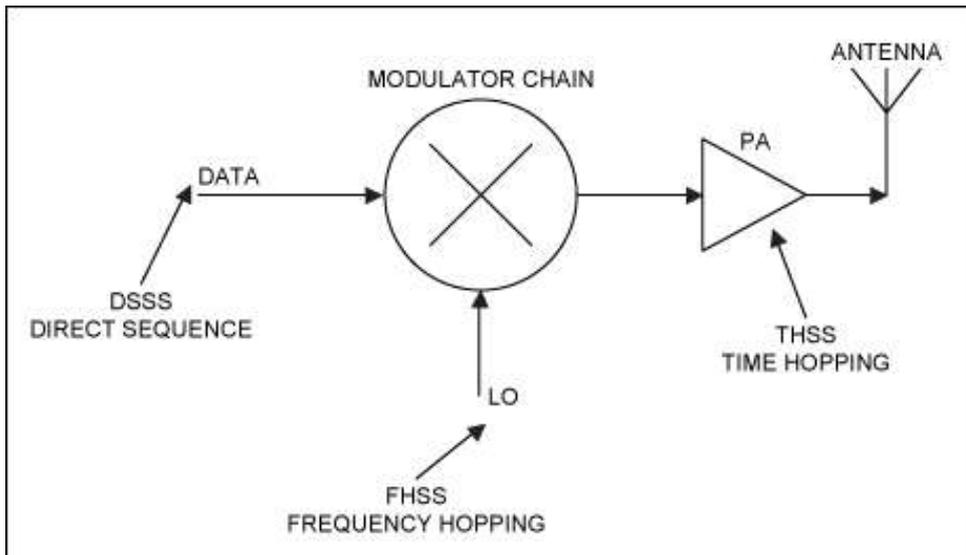


图12. 在发送链路不同位置进行的多种扩频技术

如果在数据上直接加入伪随机序列码，则可得到直序扩频(DSSS) (在实际应用中，伪随机序列与通信信号相乘，产生完全被伪随机码“打乱”了的数据)。如果伪随机码作用在载波频率上，我们得到跳频扩频(FHSS)。如果伪随机码作用于本振端，FHSS伪随机码迫使载波按照伪随机序列改变或跳变。如果用伪随机序列控制发射信号的开或关，则可得到时间跳变的扩频技术(THSS)。这也是一种线性调频脉冲技术，即在一个周期内线性扫描载频。也可以综合上述技术形成混合扩频技术，比如DSSS + FHSS。DSSS和FHSS是现在最常用的两种技术。

直序扩频(DSSS)

直序扩频技术中，伪随机码直接加入载波调制器的数据上。因此，调制器似乎具有更高码率，与伪随机序列的码片速率有关。用这样一个码序列调制射频载波的结果是产生一个中心在载波频率、频谱为 $(\sin x)/x$ 的直序调制扩展频谱。

频谱主瓣(零点至零点)的带宽是调制码时钟速率的两倍，旁瓣带宽等于调制码时钟速率。图13是直序扩频信号的典型范例。直序扩频频谱形状上发生一些改变与实际采用的载波和数据调制方法有关。下面是一个二相相移键控(BPSK)信号，是直序扩频系统中常用的调制类型。

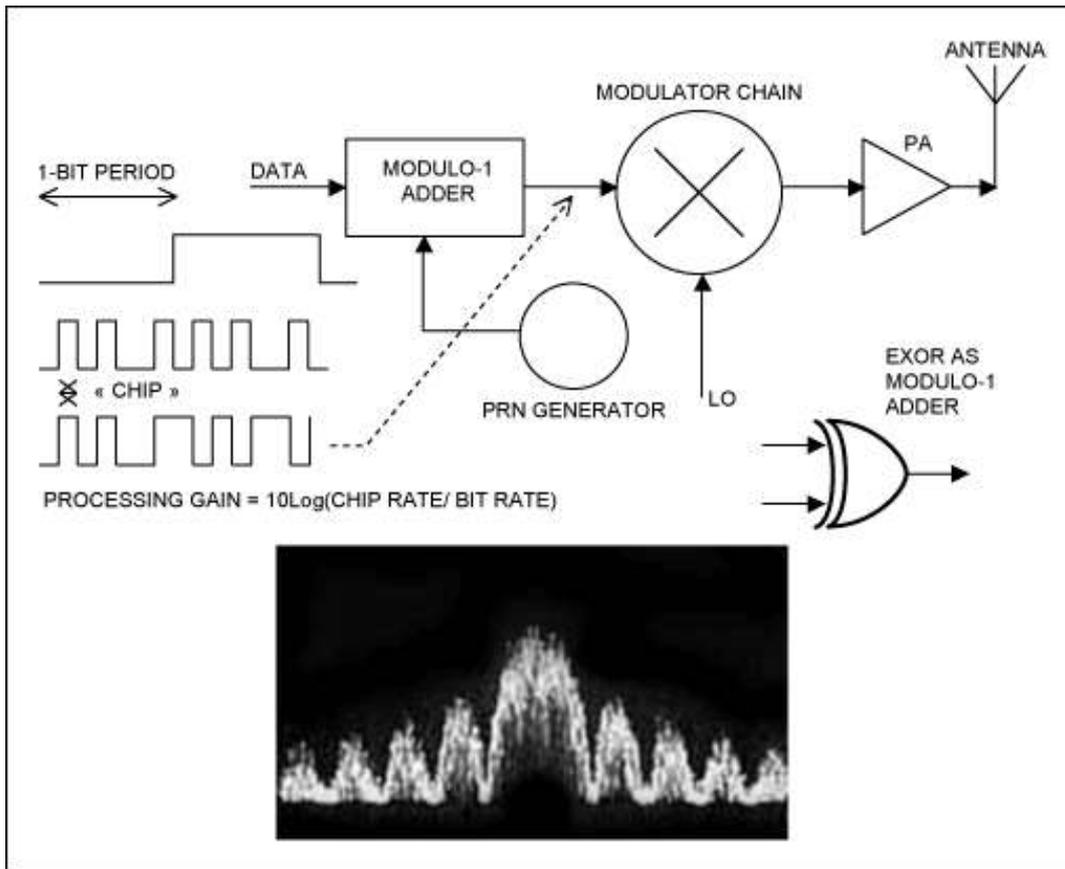


图13. DSSS信号的频谱分析图，原始信号(未扩频)仅占中心主瓣的一半。

跳频扩频(FHSS)

顾名思义，FHSS中载波在一个很宽的频带上按照伪随机码的定义从一个频率跳变到另一个频率。跳变速率由原始信息的数据速率决定，我们能够识别出快速跳频(FHSS)和慢速跳频(LFHSS)。后者(最通用)允许几个连续的数据位调制同一频率，FFHSS是在每个数字位内多次跳频。

跳频信号的发射频谱同直序扩频有很大差别。跳频输出在整个频带上是平坦的(如图14所示)，而不再是 $((\sin x)/x)^2$ 包络。跳频信号的带宽是频率间隙的N倍，N是每个跳变信道的带宽。

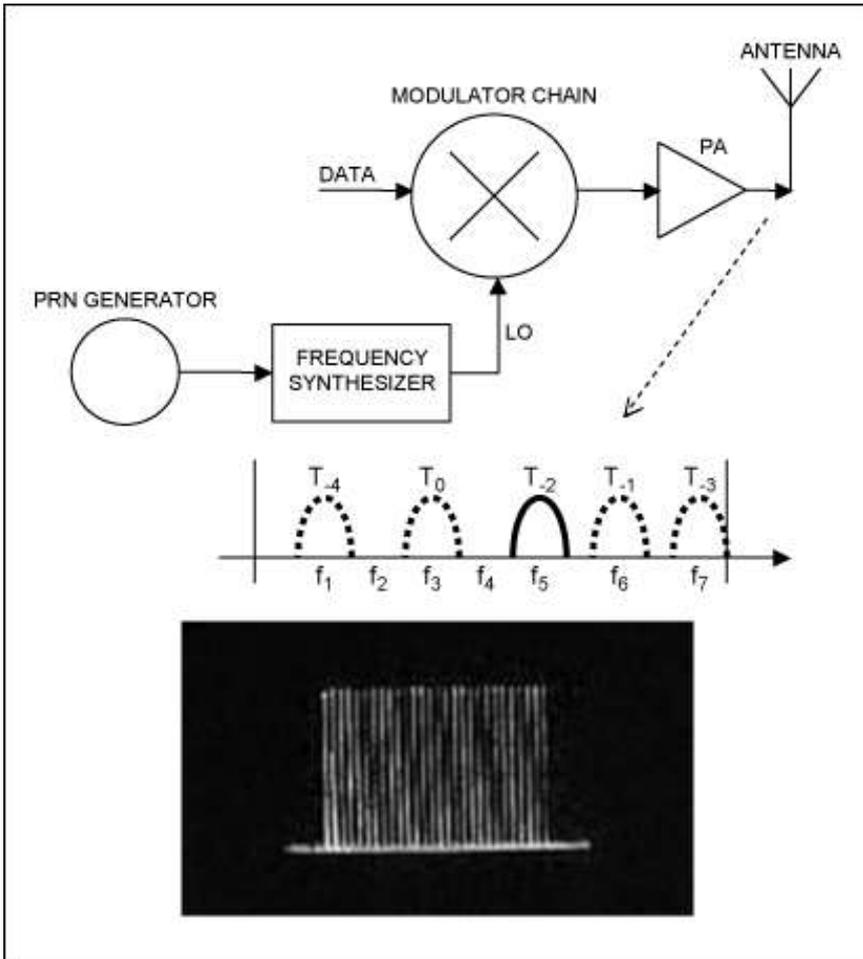


图14. FHSS扩频信号的频谱分析图

时间跳变扩频 (THSS)

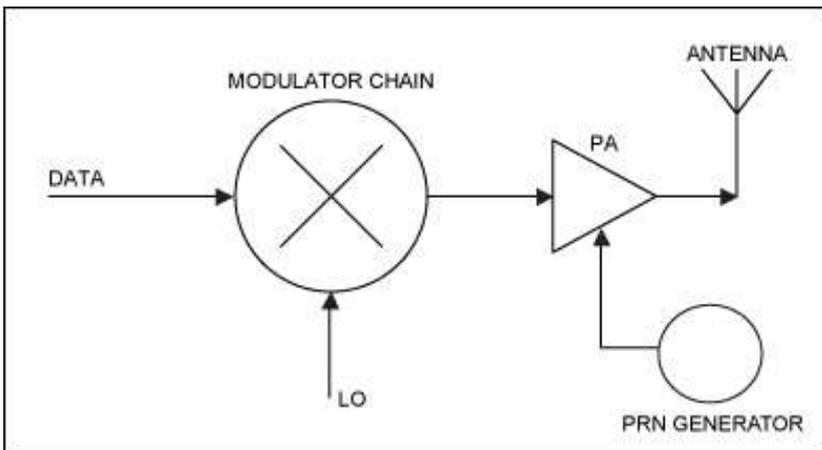


图15. THSS方框图

图15所示为时间跳变扩频技术，该项技术到目前为止没有大的突破，利用伪随机序列控制PA的通/断。

系统实现和结论

一个完整的扩频通信链路需要运用各种先进的技术和工艺：射频天线，大功率、高效率的功

最难以实现的电路是接收通道，特别是对DSSS的解扩，因为接收端必须能够重新恢复原始信息，并且做到实时同步。码的识别也称为相关运算，它是以数字域实现的，需要进行快速的、大量的二进制加法和乘法运算。

到目前为止，接收机设计中最复杂的问题是同步问题。与扩频通信的其它技术相比，发展同步技术花费了更多的时间、金钱，也消耗了更多的人力、物力。目前，能够解决同步问题的方法有许多种，大多数方案需要大量的分立元件。DSP与特定用途集成电路(ASIC)的出现为其带来了重大突破。DSP提供高速的数学运算能力，在对扩频信号划分后进行分析、同步和去相关运算。借助于超大规模集成电路(VLSI)技术，ASIC降低了系统成本，并通过创建基本模块架构使其适合于多种应用。

IEEE是美国电气和电子工程师学会的注册服务标志。

Bluetooth是Bluetooth SIG, Inc.的字标，徽标是Bluetooth SIG, Inc.拥有的注册商标。

Maxim已得到授权使用这些标志。

下一步

EE-Mail 订阅EE-Mail，接收关于您感兴趣的新文档的自动通知。

© Aug 01, 2003, Maxim Integrated Products, Inc.

The content on this webpage is protected by copyright laws of the United States and of foreign countries. For requests to copy this content, contact us.

APP 1890: Aug 01, 2003

设计指南1890, AN1890, AN 1890, APP1890, Appnote1890, Appnote 1890

©2016 Maxim Integrated | 联络我们 | 工作机会 | 法律声明 | 隐私权政策 | COOKIE 政策 | 网站地图 | 关注我们: