

基于软件无线电的抗干扰通信测试装置

田琳

成都天奥技术发展有限公司 四川 成都 610036

【摘要】：抗干扰容限是评价抗干扰系统性能的重要指标之一，目前对抗干扰容限的测试方法没有统一的标准，本文介绍了一种基于软件无线电和测试仪器构成的扩/跳频抗干扰通信测试装置，主要用于模拟不同制式的通信信号在不同的干扰信号下，研究验证抗干扰容限的测试方法，内容包括装置的构成、关键技术及装置的应用实例。

【关键词】：软件无线电；扩频；跳频；抗干扰容限

引言

直接序列扩频和跳频通信具有频谱宽、工作信噪比低、抗干扰和抗多径效应能力强、可实现码分多址、低截获和低检测概率等特点，正日益取代常规通信而广泛应用于现代军事和商用通信系统中，如CDMA（码分多址）、GPS（全球定位系统）、测控、卫星链路等。

国内外有关抗干扰系统的技术性能指标等多着重于在设计方案中实现其抗干扰能力，但这些设计是否达到预期效果，在实验室如何进行测试目前还未见到相关的资料报道。为了研究抗干扰系统的重要指标抗干扰容限的测试方法，我们建立了一种基于软件无线电和通用仪器构成的扩/跳频抗干扰半实物收发仿真装置，该装置以软件无线电为核心，基带和中频信号都由软件实现，数据采集、收发变频等功能用通用仪器实现。

1 装置组成

装置组成如图1所示，软件基带源、任意波形发生器和矢量信号发生器组成信号产生部分，输出需要的扩/跳频频射频信号，混频器、本振源、示波器和解扩/跳软件组成信号接收部分，对接收到的信号进行采集分析和解调，输出解调信息与原始信息进行比较，对施加的干扰效果进行评估，干扰源用于模拟信号在传输过程中受到的各种干扰信号。

工作原理：在基带部分，数据源及波形文件由软件生成，波形文件的生成用Matlab编辑工具编写并导入信号波形文件，该波形文件通过下载工具加载到两通道的任意波形发生器，任意波形发生器产生I、Q两路调制信号，送到矢量信号发生器的IQ调制输入端，经矢量信号源发生器内部IQ调制器调制后，输出需要的数字调制载波信号作为激励信号。接收端，输入载波信号经混频器与本振信号进行混频，将载波信号下变频至中频信号，输入示波器，示波器作为数据采集器将中频信号变为数字信号，送计算机进行处理，计算机通过相关算法等方法完成解扩，解调等处理，还原得到初始信

源信号。该信号与原始信源进行比较就可以得到误码率等指标，通过改变干扰源的干扰信号强度和干扰类型，就可以得到不同干扰模式下的干扰容限。该装置自身可以构成一套抗干扰通信测试装置，用于验证测试系统的抗干扰性能指标，也可分别作为信号激励和信号接收对收发一体通信系统的接收端和发射端的性能指标进行测试。

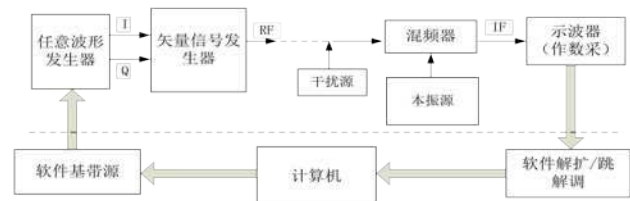


图1 装置组成框图

2 关键技术

在软件无线电通信系统中，当信息发射时，尽可能采用可编程的信号处理技术完成从基带到中频、调制等部分的处理，尽可能晚地将数字信号变为模拟射频信号；当信息接收时，尽可能早地将模拟中频信号变为数字信号，用可编程的数字信号处理完成信号的解扩、解调等各种处理。这样，通信中的各种波形的产生、通信方式、信号处理都是采用软件方法去改变和实现，从而使一步设备可完成目前几十部不同设备的功能。

2.1 数学模型的建立

在装置的发射端，需要根据信源的特点及抗干扰需要设定必要的调制方式、编码方式产生基带信号。为了提高系统的抗干扰性能，通常采用纠错编码、分集或交织、自适应滤波等多种有效措施来抵制可能遇到的各种干扰，使各种干扰的效果与相同功率的宽带白噪声干扰的效果相近。在接收端，经下变频及AD变换后，需要根据发射信号中包括的有用信号的信息内容进行信号的解扩、解调、同步等，恢复出原始的通信信息。仿真建模原理框图见图2。分扩频系统和跳频系统两部分，两部分的差异在于信号产生和信号接收处

理模式不同。

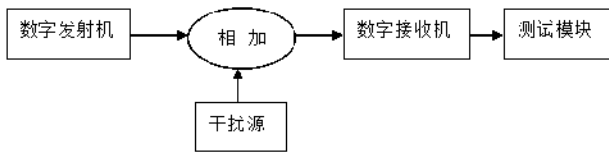


图 2 仿真建模原理框图

2.2 扩频系统的建立

(1) 数字发射机

数字发射机模块用于产生需要的扩频载波信号，原始信息可由模块自动生成或用户导入，首先对信息进行 DBPSK 或 DQPSK 编码，编码后经伪随机码扩频或用户导入码扩频，再经 IQ 调制调制到载波信号上，产生经扩频后的载波信号。其工作原理框图如图 3。

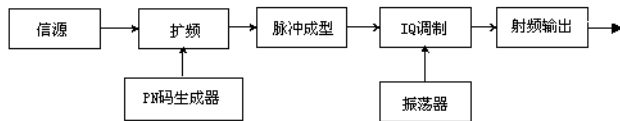


图 3 扩频信号数字发射机工作原理图

(2) 信道模块

信道模块模拟信号的传播路径，包括相加器和干扰源部分。干扰源为带宽的白噪声干扰、窄带干扰和单频连续波干扰，干扰的中心频率点、带宽及信号强度可调。干扰经过相加器叠加于信号。信道模块输出为叠加了干扰信号的载波信号且信干比为已知。

(3) 数字接收机

数字接收机由 PN 码同步模块、PN 捕获模块、环路滤波模块、载波同步模块、时钟恢复模块和解码模块组成。完成对载波的捕获、解扩和解调，恢复原始信息。接收机模块输出为原始信息码。其工作原理框图见图 4。

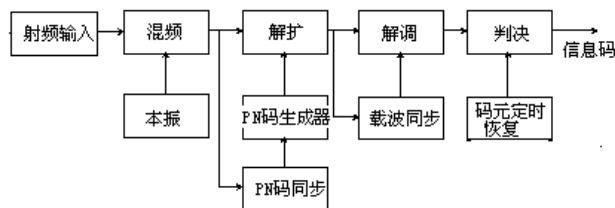


图 4 扩频信号数字接收机工作原理框图

直扩系统数字接收机的信号处理一般分为解扩和解调两部分，接收机先对直扩信号进行解扩，即将直扩信号通过

与本地伪随机序列进行相关处理，将信号压缩到基带信号频带内，由宽带信号恢复为窄带信号；然后再从解扩的信号中恢复出传送的信息，即解调。解扩与解调的顺序一般不能颠倒的，因为在未解扩之前的信噪比很低，一般的解调方法很难实现（如载波提取、门限效应等）。

直扩系统的相关接收，首先需要相关解扩，直扩系统的相关解扩主要由相关器或匹配滤波器完成，直扩系统的解扩方式通常采用外差式相关或基带相关方式。

接收到的信号中有需要的直扩信号，也有各种干扰（如单频或窄带连续载波、宽带干扰等），还有接收机内部的噪声。解扩的过程相当于一次扩频过程，但解扩器对不同的输入信号所起的作用是不同的。对于单频或窄带连续载波干扰，解扩器把它变换成展宽的直扩信号；对输入的不是相同 PN 码调制的宽带干扰信号也进一步展宽。这两种信号经窄带带通滤波器后，只剩下一小部分干扰信号能量，与解扩出的信息调制载波相比较，输出的信噪比大大提高了。由此可见频带展得越宽，功率谱密度越低，经窄带滤波后残余的干扰信号能量就更小。

接收信号解扩之后进行解调，解调之前必须提取与调制载波同频同相的相干载波，即载波同步。在用相关器解扩的系统中，解扩后的信号恢复了扩频之前的形式，因此，只要使用一般的信息解调方式就可以恢复基带信息完成解调。

由于信号经过信道具有时延及多普勒频移，这就造成了本地码与信号中 PN 码的相位差、定时误差以及载波信号的相位差及频差。所以在接收机中拥有大量的同步结构以保证能够很好恢复出信息码元。

(4) 测试模块

测试模块包括参数估计模块和误码率测试模块。参数估计模块与接收机模块配合完成中频、码速率等参数的测试。误码率测试模块完成接收机接收的信息与发射机原始信息的比较，计算误码率。在用户给定的信干比范围内，改变不同的信干比，测量不同信干比情况下的误码率，并绘制误码率—信干比曲线。

2.3 跳频系统的建立

(1) 数字发射机

数字发射机用于产生需要的跳频信号。原始信息经编码后，调制在中频载波上，中频载波再与由伪随机码控制频率变化的频率合成器进行混频，产生载频随机变化的跳频信号。其工作原理框图见图 5。

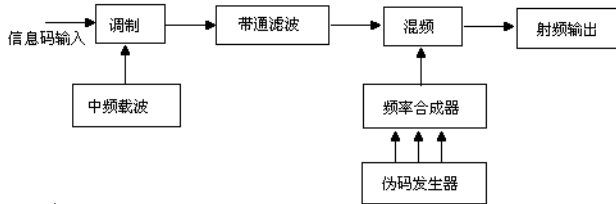


图 5 跳频信号数字发射机工作原理图

(2) 信道模块

信道模块模拟信号的传播路径，包括相加器和干扰源部分。干扰源包括带宽的白噪声干扰、窄带干扰和多频连续波干扰，干扰的中心频率点、带宽、频率点数及信号强度可调。干扰经过相加器叠加于信号。信道模块输出为加干扰信号的载波信号且信干比为已知。

(3) 数字接收机

数字接收机完成载波频率的同步和跳频图案的同步或非相干解调时的位同步，同步后完成信号的解跳，再完成解调，获得原始信息，其中同步是接收机模块的重点和难点。其工作原理框图见图 6。

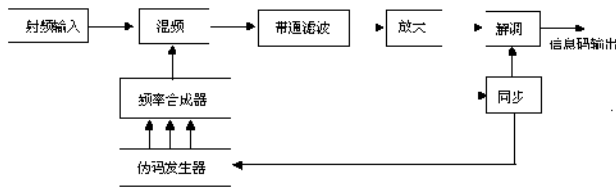


图 6 跳频系统数字接收机工作原理图

跳频系统同步的原理如图 7 所示，图中上部环路完成跳频序列的捕获，下部环路完成跳频序列的跟踪。同步控制用于在捕获和跟踪状态间切换，当捕获成功即转入跟踪阶段；当解跳时未能保持跟踪状态时，控制程序重新进行捕获。

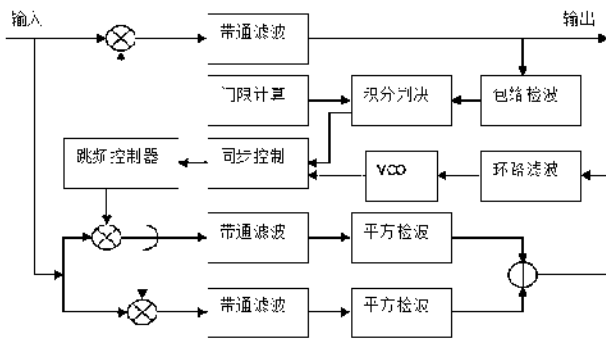


图 7 跳频系统同步原理框图

(4) 测试模块

测试模块包括参数估计模块和误码率测试模块。参数估计模块与接收机模块配合完成中频、码速率等参数的测试。误码率测试模块完成接收机接收的信息与发射机原始信息的比较，计算误码率。在用户给定的信干比范围内，改变不同的信干比，测量不同信干比情况下的误码率，并绘制误码率—信干比曲线。

2.4 高速 AD 转换技术

对于带通信号，带宽越宽，载波频率越高，要求采样率就越高。为了兼顾带宽、采样率及数据采集设备几方面的要求，在接收端我们采用了在中频进行 AD 变换的方法，将射频信号下变频到 70MHz 中频(可根据需要灵活掌握如中频 21.4MHz 等)，在中频进行 AD 变换。数字存储示波器是一种成熟的数据采集设备，可以方便的实现 AD 变换，本装置中采用了一款带宽为 500MHz，采样率为 1.25Gbps 的示波器作为数据采集设备，对 70MHz 的中频信号进行 AD 变换，采集的数字中频信号送数据处理软件进行解扩、解调及数据处理等。在发射端利用任意波形发生器的高速 D/A 将数字波形信号变为模拟 IQ 信号，利用矢量信号发生器的外部 IQ 调制功能，实现扩/跳频射频信号的输出。

3 应用实例

基于以上设计思路，我们构建了半实物的仿真测试系统，不仅可以对扩跳频信号在各种干扰信号下的抗干扰容限指标进行仿真测试，也可控制任意波形发生器、矢量信号发生器、噪声信号发生器、示波器等，利用研制的数字接收机对抗干扰通信设备的抗干扰容限等指标进行自动测试。

实际的扩跳频抗干扰系统自动测试平台组成框图见图 8。在测试短波电台时，只需将信号发生部分换成短波电台，控制短波电台直接产生需要测试的扩跳频信号，信号分析部分增加一台可对通的短波电台即可完成抗干扰容限等主要指标的测试。

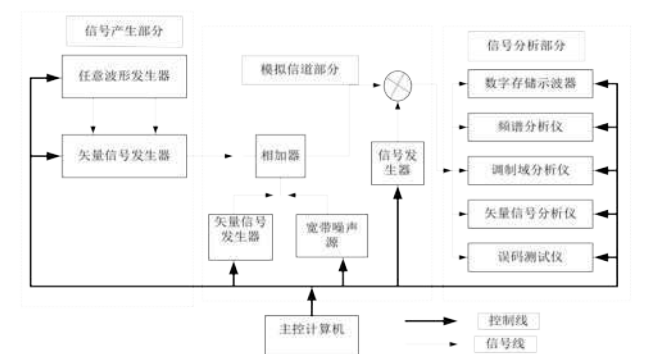


图 8 扩跳频抗干扰系统自动测试平台工作原理框图

4 结束语

基于软件无线电的通信抗干扰测试装置适应了当前通信技术、计算机技术的发展,适合现代电子对抗的要求,提供了一个可扩展、灵活的平台。以基于软件无线电的通信抗干扰装置作为终端的通信网络,必定能提高通信网络的灵活

性、实时性和健壮性。

基于软件无线电的通信抗干扰测试装置能够灵活多变、实时动态地仿真和测试,为抗干扰通信系统的研制和测试提供了一种手段,也是把软件无线电的概念引入通信抗干扰中的一个有益尝试。

参考资料:

- [1] 刘辉,张复春,等.基于软件无线电的抗干扰数字通信系统研究[J].光电与控制,2010(3).
- [2] 戴彤晖,王朕,崔文雄.基于软件无线电的通信抗干扰装置的一种实用结构[J].四川兵工学报,2009(4).