

主编 赵刚



随书附光盘一张

扩频通信系统 实用仿真技术

KUOPIN TONGXIN XITONG
SHIYONG FANGZHEN JISHU



国防工业出版社
National Defense Industry Press

扩频通信系统实用仿真技术

主 编 赵 刚

编著者 (以姓氏笔画为序)

王 燕 邝 文 刘艳华

李 然 吴文英 张 晋

周 劼 郑小燕 赵 刚

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以 Matlab/Simulink 仿真软件为平台,通过一个完整的扩频通信系统仿真实例,将扩频通信系统所涉及的基本概念和设计思想有机而形象地联系起来。全书共分为 12 章,主要内容包括:扩频通信系统发展历程及关键技术;Matlab/Simulink 基本操作、简单实例及自动代码生成;LDPC 信道编译码及模块仿真;扩频调制及模块仿真;载波调制及模块仿真;通信信道特性及信道仿真;窄带干扰抑制技术及模块仿真;PN 码同步及模块仿真;载波同步及模块仿真;直扩通信系统总体仿真;跳频通信系统原理及系统仿真。

本书深入浅出,图文并茂,追求全面、系统、实用,随书赠送的光盘中包括了各章所介绍的仿真模块源代码,从而使读者能从系统层面上对扩频通信技术有一个全面而直观的认识,并能实际运用。

本书内容是多年来科研成果与教学实践的总结,主要提供给科研院所和企业从事通信产品研发的工程技术人员作为参考,亦可作为高校电子信息类研究生和高年级本科生的相关课程教材。

图书在版编目(CIP)数据

扩频通信系统实用仿真技术/赵刚主编. —北京:国防工业出版社,2009. 10

ISBN 978-7-118-06485-8

I. 扩... II. 赵... III. 计算机辅助计算—软件包, Matlab—应用—扩频通信 IV. TN914. 42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 140635 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 1/2 字数 344 千字

2009 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 35.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422
发行传真: (010)68411535

发行邮购: (010)68414474
发行业务: (010)68472764

前 言

扩频通信是指用于传输信号的信道带宽远远大于信号自身带宽的一种通信方式,它在抗噪声、抗干扰、抗多径衰落、码分多址、信号隐蔽性和保密性等方面具有较传统无线通信方式无可比拟的优势,从而与光纤通信、卫星通信一同被誉为信息时代三大主流通信传输方式。由于扩频通信独具特色,自诞生之日起,就受到军方的极大重视。近十年来,随着信息技术的迅猛发展与日益普及,扩频通信技术已在军用和民用通信领域得到广泛应用,并伴随 GPS 卫星定位、CDMA 或 3G 手机等产品迅速进入大众生活。

扩频通信系统与其他模拟或数字通信系统相比较,其概念更为抽象、技术更为艰深、内容更为庞杂,而市面上大多相关书籍重原理、轻实践,这给广大科技工作者和高校学生对扩频通信技术的学习与掌握带来了较大的困难。基于此,作者在对多年来的科研成果与教学实践进行总结的基础上,对无线扩频通信系统的构成、系统工作原理、系统仿真工具、系统中各个功能单元模块设计方法及仿真算法、直扩及跳频系统仿真流程进行了详细的描述,通过一个完整扩频通信系统仿真实例,将扩频通信系统所涉及的基本概念和设计思想有机而形象地联系起来,深入浅出,图文并茂,使读者能从系统层面上对扩频通信技术有一个全面而直观的认识。

对初次接触扩频通信的读者,建议利用随书赠送的光盘,在阅读本书感觉困难之时,不妨自己动手,在计算机上进行相关内容的仿真实验,通过仿真过程及得到的仿真波形和仿真结果,将非常有助于对概念、算法、指标的直观理解和把握。在数字通信中,同步技术是构成实际无线通信收发的基础,书中的扩频同步技术、载波同步技术、信道编码技术、干扰抑制技术是扩频通信系统的重点,希望读者在阅读过程中予以足够的重视。通过全书学习,读者将全面熟悉并掌握 Matlab/Simulink 仿真工具的具体运用,借助于 C/VHDL 代码自动生成工具,可以很快地将经仿真验证后的算法在 DSP/FPGA 芯片上予以硬件实现,能极大地缩短通信系统产品的研发周期。

全书共分为 12 章:第 1 章作为引论,阐述了扩频通信系统的发展历程、关键技术及系统仿真模型;第 2 章主要介绍了 Matlab 软件的仿真平台,包括 Matlab/Simulink 的库资源及软件的使用方法等,该章中的两个简单仿真实例将使读者快速入门;第 3 章对 LDPC 编码的基本原理和仿真实现进行了详细阐述;第 4 章对扩频调制技术做了介绍,阐述了扩频调制技术的基本原理及仿真实现;第 5 章讨论了载波调制技术(BPSK 调制)的基本原理及仿真实现;第 6 章对信道的各项基本特性和信道中的各种人为和非人为干扰等做了详细说明,仿真实现了高斯白噪声和窄带干扰;第 7 章着重阐述窄带干扰抑制技术,介绍了几种常用的窄带干扰抑制算法,给出了重叠变换 FFT 频域陷波算法的仿真实例;第 8 章讨论扩频通信中的 PN 码同步问题,介绍常用的 PN 码捕获方式和 PN 码跟踪技术,研究了多普勒频移对 PN 码捕获的影响及其补偿技术,最

后给出扩频同步模块的仿真实例;第9章对常用的载波同步方式进行探讨,引出了 costas 锁相环概念,最后给出载波同步模块的仿真;第10章为信道译码,着重阐述了 LDPC 译码的基本原理和仿真实现;第11章对扩频通信系统的总体仿真做了详细说明,对系统的指标进行了分析并给出了仿真结果;第12章介绍了跳频通信系统,阐明了跳频技术的基本原理、跳频同步方式和跳频跟踪原理,并给出了跳频通信系统的仿真实例。

本书编写组由赵刚、邝文、张晋、李然、周劭、王燕、刘艳华、吴文英、郑小燕9位教师组成,通过集体讨论、分工编写、交叉修改,历经两年完成。赵刚担任主编,负责大纲拟定、组织编写与统稿工作。

虽然本书是在作者多年科研和教学工作的基础上完成的,但由于作者水平有限,疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正(e-mail:zgscu@163.com)。

作者

2009年6月于四川大学

目 录

第 1 章 扩频通信概述	1
1.1 扩频通信发展历程	1
1.2 扩频通信工作原理	2
1.2.1 普通数字通信	2
1.2.2 扩频数字通信	3
1.2.3 扩频通信的工作方式	4
1.3 扩频通信中的关键技术	6
1.3.1 接收同步技术	6
1.3.2 信道编码技术	7
1.3.3 信道抗干扰技术	8
1.4 直序扩频通信系统仿真模型	8
第 2 章 Matlab/Simulink 软件仿真平台	10
2.1 计算机数字仿真技术概论	10
2.1.1 数字仿真的必要性	10
2.1.2 数字仿真技术的发展概况	10
2.1.3 数字仿真流程	11
2.2 Matlab 仿真软件	11
2.2.1 为什么选择 Matlab	12
2.2.2 Matlab 基本操作	15
2.2.3 Matlab 工作界面	19
2.3 Matlab 入门	22
2.3.1 M 语言指令	22
2.3.2 M 语言仿真实例——基于 AWGN 信道(7,4)汉明码的通信系统	27
2.3.3 Simulink 仿真平台	30
2.3.4 Simulink 仿真实例——基于 AWGN 信道 BPSK 调制的通信系统	45
2.3.5 M 程序与 Simulink 模块的数据传递	51
2.4 S 函数与自动代码生成	54
2.4.1 S 函数	54
2.4.2 使用 Real-Time Workshop 自动生成 C 代码	58
2.4.3 使用 VHDL Coder 自动生成 VHDL 代码	60
第 3 章 信道编码	63
3.1 信道编码概述	63

3.2	常用信道编码方式	65
3.2.1	Turbo 码	66
3.2.2	LDPC 码	67
3.3	LDPC 编码原理	69
3.3.1	校验矩阵 H 的构造	69
3.3.2	LDPC 编码方式	71
3.4	LDPC 信道编码模块设计及仿真	73
3.4.1	构造 H 矩阵程序 generate_h.m	73
3.4.2	信道编码主程序 main_encode.m	83
3.4.3	信道编码程序 encode.m	83
3.4.4	仿真分析	85
第 4 章	扩频调制	88
4.1	扩频调制概述	88
4.1.1	常用扩频码	88
4.1.2	扩频调制实现方式	90
4.2	扩频调制模块设计及仿真	90
4.2.1	仿真参数设置	91
4.2.2	扩频调制模块 pn_mod	91
4.2.3	仿真分析	92
第 5 章	载波调制	95
5.1	模拟调制	95
5.2	数字调制	95
5.2.1	二进制幅移键控(2ASK)	96
5.2.2	二进制频移键控(2FSK)	97
5.2.3	二进制相移键控(2PSK)	98
5.3	载波调制	99
5.3.1	BPSK 扩频调制	99
5.3.2	QPSK 扩频调制	100
5.4	载波调制模块的设计与仿真	100
5.4.1	仿真参数设置	100
5.4.2	载波调制模块 bpsk_mod	100
5.4.3	仿真分析	102
第 6 章	通信信道	104
6.1	信道的基本概念	104
6.1.1	信道分类	104
6.1.2	信道特性	105
6.1.3	信道噪声	107
6.1.4	信道干扰	107

6.2	高斯白噪声信道	108
6.3	窄带干扰信道	109
6.4	通信信道的建模及仿真	111
6.4.1	仿真参数设置	112
6.4.2	信道模块 Channel	112
6.4.3	仿真分析	114
第7章	窄带干扰的抑制技术	116
7.1	窄带干扰抑制算法研究现状	116
7.2	基于时域预测的窄带干扰抑制算法	117
7.2.1	时域线性自适应算法	117
7.2.2	时域非线性自适应算法	119
7.2.3	频域自适应算法	119
7.2.4	各种时域自适应算法的性能对比	121
7.3	变换域干扰抑制算法	122
7.3.1	FFT 重叠变换干扰抑制算法	123
7.3.2	SVD 奇异值分解干扰抑制算法	125
7.3.3	各种变换域干扰抑制算法的性能对比	126
7.4	干扰抑制模块的设计及仿真	126
7.4.1	仿真参数设置	126
7.4.2	干扰抑制模块 anti_interference	127
7.4.3	仿真分析	133
第8章	PN 码同步	136
8.1	常用 PN 码捕获方式	136
8.1.1	串行捕获	136
8.1.2	并行捕获	137
8.1.3	匹配滤波器捕获	137
8.2	PN 码跟踪原理	138
8.3	多普勒效应及补偿	139
8.3.1	多普勒频移的产生原理	139
8.3.2	多普勒频移对 PN 码捕获的影响	139
8.3.3	多普勒频移估计及其补偿技术	139
8.4	PN 码同步模块的设计与仿真	141
8.4.1	仿真参数设置	141
8.4.2	PN 码同步模块 pn_dopple	141
8.4.3	仿真分析	146
第9章	载波同步	150
9.1	常用的载波同步方式	150
9.1.1	插入导频法	150

9.1.2	自同步法	151
9.2	载波同步模块的设计及仿真	155
9.2.1	仿真参数设置	155
9.2.2	载波同步模块 carrier_demod	155
9.2.3	仿真分析	156
第 10 章	信道译码	159
10.1	信道译码概述	159
10.1.1	硬判决与软判决	159
10.1.2	概率译码	160
10.2	LDPC 译码原理	160
10.2.1	LDPC 硬判决译码	160
10.2.2	LDPC 软判决译码	162
10.3	常用 LDPC 译码算法	164
10.3.1	BP 算法	164
10.3.2	Log-BP 算法	166
10.3.3	Min-Sum 算法	166
10.3.4	三种译码算法性能比较	166
10.4	LDPC 信道译码模块设计及仿真	167
10.4.1	信道译码模块 decode.m	167
10.4.2	信道译码主程序 main_decode.m	170
10.4.3	仿真分析	172
第 11 章	直扩通信系统仿真实例	176
11.1	直扩通信系统总体仿真	176
11.1.1	系统仿真构成	176
11.1.2	系统仿真步骤	178
11.1.3	系统仿真分析	181
11.2	信源为数字信号的系统仿真	185
11.2.1	不含信道编码模块情形	185
11.2.2	包含信道编码模块情形	187
11.3	信源为模拟信号的系统仿真	189
11.3.1	不含信道编码模块情形	189
11.3.2	包含信道编码模块情形	192
第 12 章	跳频通信系统	195
12.1	跳频通信系统概述	195
12.1.1	跳频系统的组成及原理	195
12.1.2	跳频的性能指标	196
12.2	跳频序列的产生	197
12.3	常用跳频同步方式	199

12.3.1	模拟跳频系统同步方法	199
12.3.2	数字跳频系统同步方法	199
12.4	跳频跟踪原理	201
12.5	跳频系统设计及仿真	201
12.5.1	仿真参数设置	202
12.5.2	仿真模块 fh_system	202
12.5.3	仿真分析	205
附录	光盘仿真实验文件表	208
参考文献		210

第1章 扩频通信概述

数字通信是指用数字信号作为载体来传输信息的通信方式。数字信号可以是直接产生的,也可以是由模拟信号经过采样、量化等方式变化而来,最常见的数字信号是幅度取值只有0和1的波形,称为“二进制信号”。扩频通信(Spread Spectrum Communication)是数字通信中的一种,它与普通数字通信不同的是加入了扩频调制和解扩部分,这也使得扩频通信成为无线传输中一种行之有效的抗干扰通信技术。扩频技术自20世纪50年代中期美国军方便开始研究,一直为军事通信所独占,广泛应用于军事通信、电子对抗以及导航、测量等各个领域,直到20世纪80年代初才被应用于民用通信领域。

扩频通信即扩展频谱通信,通过扩频调制用一个更高频率的伪随机码将基带信号扩展到一个更宽的频带内,使发射信号的能量被扩展到一个更宽的频带内,从而看起来如同噪声一样,使该系统更具隐蔽性和抗干扰性。接收端则采用相同的伪随机码进行解扩,从而恢复出原始信息数据。按照频谱扩展方式的不同,现有的扩频通信系统可以分为直接序列扩频(Direct Sequence Spread Spectrum)工作方式(简称直扩方式)、跳变频率(Frequency Hopping)方式(简称跳频方式)和混合方式三种。其中直扩方式是最为常用的,也是最具代表性的扩频方式。

由于扩频系统中的射频段工作原理较为简单,其技术难点主要集中在基带信号的信道编码处理和中频段信号接收同步及信道抗干扰上,因此本书将重点讲解这些扩频通信中的关键技术。信道编码的目的是克服信道传输中噪声和干扰对通信的影响。扩频同步包括伪码同步和载波同步两种,如果同步不良,那么接收端对信息的判断就不准确,从而造成严重错误。当干扰强度超出扩频系统自身的干扰容限时,就需要通过信道抗干扰技术将接收信息所含的强干扰进行削弱或消除以保证信息传输的准确性。

本章主要介绍扩频通信的概念、发展历程、工作原理及工作方式分类,对扩频通信中的关键技术进行讨论,并给出了直序扩频通信系统的模型。

1.1 扩频通信发展历程

扩频技术将基带信号的频谱扩展至很宽的频带进行传输,在接收端采用相关接收的原理,将扩展的频谱恢复到基带信号的频谱,从而抑制传输过程中加入的干扰。香农(E. Shannon)信息论的基本理论证明,扩频通信是有效的抗干扰通信方式。香农在1945年、1948年和1949年连续发表了有关信息论和通信加密以及系统安全性等3篇论文,这些理论成为扩频技术的理论依据。扩展频谱的好处可以从信息论的角度来阐述。

根据香农信息论,对于受到加性高斯白噪声干扰的连续信道,信道带宽为 B ,信噪比为 S/N ,其信道容量公式为

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

从公式可以看出:给定的信道容量可以用不同带宽和信噪比的组合来传输。若减小带宽,

则必须增加信噪比来保证信道容量不变。反之,如果信噪比较小,则可以通过增加带宽来保持传输容量不变,这就是所谓的用带宽换功率的措施。扩频通信就是将原始信号的频谱扩展 10 倍~1000 倍,然后再进行传输,从而提高了通信的抗干扰能力,使系统在强干扰环境下仍能保证可靠的通信。

通常音频电话的频率范围为 300Hz~3300Hz,则 $B=3300\text{Hz}-300\text{Hz}=3000\text{Hz}$ 。而一般链路典型的信噪比是 30dB,即 $S/N=1000$,因此有 $C=3000\times\log_2(1001)$,近似等于 30kb/s。假如对上述系统进行扩频传输,在传输速率不变的情况下,将带宽扩展 100 倍,信号可以在 0.25dB 的低信噪比下传输。从这里可以看出,扩频通信系统可以在更恶劣的环境下正常工作。这一点在卫星通信和军事通信中非常重要,卫星通信由于电离层的干扰往往工作在低信噪比条件下,采用扩频通信可以克服这个问题,军事通信则往往采用扩频技术将信号隐藏在噪声中,从而保证信号不被敌人发现。

扩频技术首先应用于军事领域,其发展经历了一个很长的过程,目前扩频技术处于繁荣阶段。扩频技术的发展历程可以分为三个阶段。

1) 第一阶段是雏形阶段

20 世纪 20 年代中期诞生的 RADAR(Radio Detection And Ranging)系统,利用回波证明了电离层的存在,其发射频谱宽度大于回波声音频谱宽度,具备了扩频通信系统的基本特征。

2) 第二阶段是基本模型阶段

这个时期完成了扩频通信的一些关键技术的论证,使得扩频通信的实现具备了足够的条件,并出现了基本的扩频模型。

20 世纪 40 年代,赫蒂(Hedy K. Markey)第一个提出利用跳频技术来实现抗干扰通信系统的构想。迪罗萨(Derosa)和罗戈夫(Rogoff)于 1949 年完成了世界上第一个直接序列扩频系统,并成功运用在新泽西州(New Jersey)和加利福尼亚州(California)之间的通信线路上。

3) 第三阶段是扩频通信的繁荣阶段

20 世纪 50 年代,美国麻省理工学院成功研制出了 NOMAC 系统,这是一种成熟的扩频通信系统。从此,对扩频通信系统的研究十分活跃,扩频通信广泛应用于军事通信、空间探测、卫星侦查、导弹制导等方面。

1.2 扩频通信工作原理

1.2.1 普通数字通信

普通数字通信系统的模型如图 1.1 所示,系统基本组成包括信源/信宿、信道编码/译码、调制/解调、通信信道、同步 5 大部分。

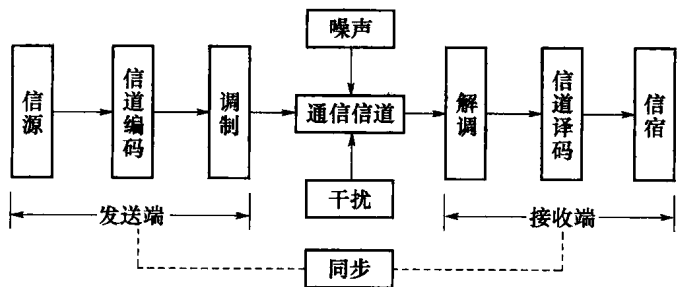


图 1.1 普通数字通信系统结构

(1) 信源/信宿:信源是指发送端由计算机等设备输出的数字信息序列,可以用二进制或多进制表示。信宿是信息传递的终点,到此就完成了整个信息的传输过程。

(2) 信道编码/译码:信道编码是在传输的数字信息序列中加入校验码,信息码与校验码之间具有某种确定的关系。接收端在译码时通过这种关系可以发现或纠正接收信息中的错误,从而降低误码率。

(3) 调制/解调:数字调制的目的是将数字基带信号变换成适合信道传输的已调信号。由于基带信号常包含较多低频、直流成分,所以只能在短距离明线或电缆中传输,不适合直接在无线信道中传输。若要进行无线传输,需要把传输信号的频谱搬移到较高的频率范围内,使信号与后面的传输通路相匹配。解调就是调制的反变换,可恢复出调制前的基带信号。

(4) 通信信道:广义来讲它是对传输信息完成某种处理的过程,如图 1.1 中的从调制到解调的过程可称为一个调制信道,从编码到译码的过程可看做一个编码信道。编码信道包含调制信道。狭义信道是指发送端与接收端之间的传输信息通道,实际系统中,这部分存在来自设备、周围环境所产生的各种噪声和干扰,既有自然产生的也有人为制造的。这些噪声和干扰时刻影响着传输的信息,使其发生延时、错误,甚至丢失、泄露等情况。因此,在系统中需要采用同步、信道编/译码等措施来确保信息传输的安全和准确。

(5) 同步:同步是决定一个通信系统能否顺利完成信息传输的关键。通过载波同步、位同步、帧同步等方式可使收、发两端的载波、码元速率及各种定时标志保持一致的时间标准,使整个通信系统有序、准确、可靠的工作。如果存在同步误差或失去同步,则可能使信息发生错位、丢失等情况,甚至导致通信失败。

在数字通信系统中,存在着各种噪声的干扰,接收到的数字码元可能会发生错误,使通信受到影响。可靠性指标主要用误码率(Bit Error Rate, BER)来衡量。误码率是传输错误码元数与所传输码元总数之比。通常,话音数字系统要求的 BER 应小于 10^{-3} ,数字电视系统要求的 BER 应小于 10^{-5} ,计算机网络系统要求的 BER 应小于 10^{-6} 。

1.2.2 扩频数字通信

扩频通信系统结构如图 1.2 所示,在发端输入的信息先经信息调制形成数字信号,然后用扩频码发生器产生的伪码展宽数字信号的频谱,再进行载波调制发送出去。接收端将收到的信号与本地伪码进行相关解扩,再经过解调,恢复出原始的基带信息。

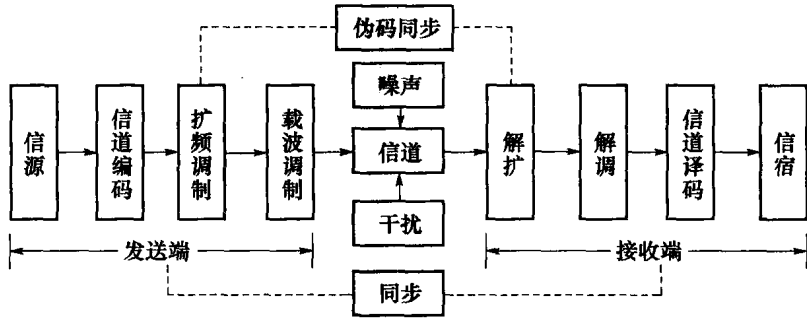


图 1.2 扩频通信系统模型

与普通的数字通信系统相比,扩频通信系统增加了扩频调制和解扩部分,相应的同步部分也要增加伪码同步。

(1) 扩频调制与解扩:扩频过程是将待传输信号乘以一个高速率的伪码,待传输信号的频谱宽度被大大展宽,功率谱密度大大减小。接收端解扩时,将接收的信号乘以与发送端相同的

伪码,有用信号的频谱宽度被恢复,而信道引入的噪声、干扰在解扩的时候与伪码相乘,相当于被扩频,使得落入有用信号频带的干扰功率大大降低。经过带通滤波器,噪声和干扰对有用信号造成的影响被抑制,从而实现了抗干扰。

(2) 伪码同步:伪码同步是指接收端本地伪码与接收信息的伪码需要在码型、码率和相位上基本一致,否则就不能恢复出有用信息,得到的只是一片噪声。收、发端可以提前约定使用同一伪码,保证码型的一致。但是即使相同的伪码,当相位差大于一个码片时也无法顺利解扩。若实现了收、发同步,但不能保持同步,也无法准确可靠地获取所发送的信息数据。图 1.2 扩频通信系统中的同步包括捕获与跟踪两部分,捕获将相位差减小到 $1/2$ 码片内。当同步系统完成捕获后,同步系统转入跟踪状态,使本地伪码的相位与接收到的伪码保持精确的同步。

1.2.3 扩频通信的工作方式

按照扩展频谱的方式不同,现有的扩频通信系统可以分为如下几种。

1) 直接序列扩频工作方式,简称直扩(DS)方式

直接序列扩频就是直接用具有高码率的扩频码序列在发送端扩展信号的频谱。而在接收端,用相同的扩频码序列进行解扩,把展宽的扩频信号还原成原始的信息。这种系统具有信号发射功率小、抗干扰能力强、抗多径、多址能力强和抗跟踪干扰及抑制远近效应等一系列优点。直扩系统组成框图如图 1.3 所示。

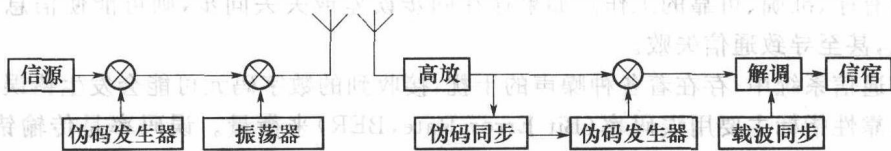


图 1.3 直扩系统组成框图

首先对信源的原始数据进行直序扩频调制、载波调制,然后送入信道。接收机收到信号后,首先由本地伪码产生器产生一个与发送端相同的本地伪码,用此伪码与接收信号经混频器进行时域相乘,即所谓的解扩。对解扩后的信号进行解调,恢复出原始信息。

图 1.4(a)和图 1.4(b)给出了直序扩频前后的频谱图。从图 1.4(a)可以看出基带信号的频宽为 1Hz,图 1.4(b)的信号带宽约为 40Hz 左右,扩频调制以后,信号频谱被大大扩展。

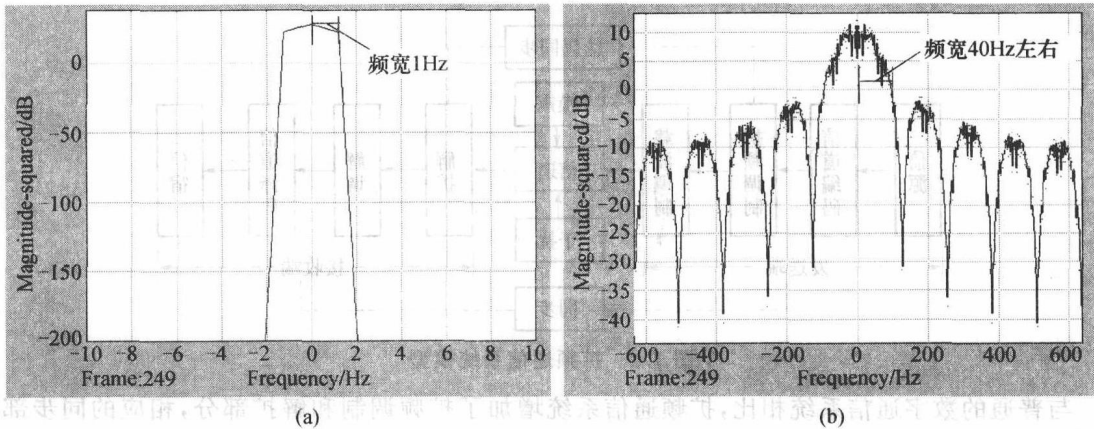


图 1.4 直序扩频频谱图

(a) 直序扩频前频谱图;(b) 直序扩频后频谱图。

2) 跳变频率工作方式,简称跳频(FH)方式

所谓跳频,即载波频率在伪码控制下不断随机跳变。跳频可以看做是载波按照一定规律变化的多频频移键控(MFSK)。简单的频移键控如 2FSK,只有两个频率,分别代表传号和空号。而跳频系统则有几个、几十个,甚至上千个频率,由所传信息与扩频码的组合进行选择控制,不断跳变。与直扩系统不同的是,跳频系统的伪码不是直接传输,而是用来选择信道。跳频系统组成框图如图 1.5 所示。

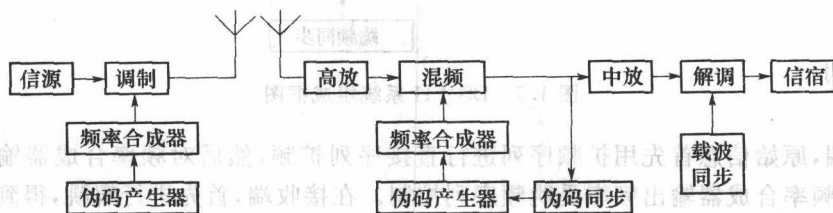


图 1.5 跳频系统组成框图

频率合成器受伪码控制产生一定规律变化的射频频率,用该跳变的频率去调制基带信号,得到载波频率不断变化的射频信号,发送到信道中去。

在接收端,接收到的信号(含噪声和干扰)经过高频放大滤波后送至混频器。接收机的本地载波也是一个频率跳变信号,其变化规律和发送端一致,但与发送频率相差一个固定中频。只要收、发双方的伪码完全同步,就可以使得收、发双方的频率合成器同步输出。经过混频后可以得到一个固定的中频,然后对这个中频信号进行解调就可以获得发送的原始信号。由于干扰和本振频率不相关,因而被滤除,从而达到抗干扰的目的。在这里,混频器实际上是担当了解跳器的角色,将接收的信号转化为一个中频信号。

从图 1.6(a)中可以看出,跳频调制之前,系统只工作在一个频点。图 1.6(b)中系统在跳频调制之后,工作在 4 个频点。如果敌方不知道跳频序列,要跟踪跳频信号会变得十分困难。实际上跳频通信系统在某一个时刻还是工作在一个固定频点,因此它属于一种“时间域上的扩频”调制方式。

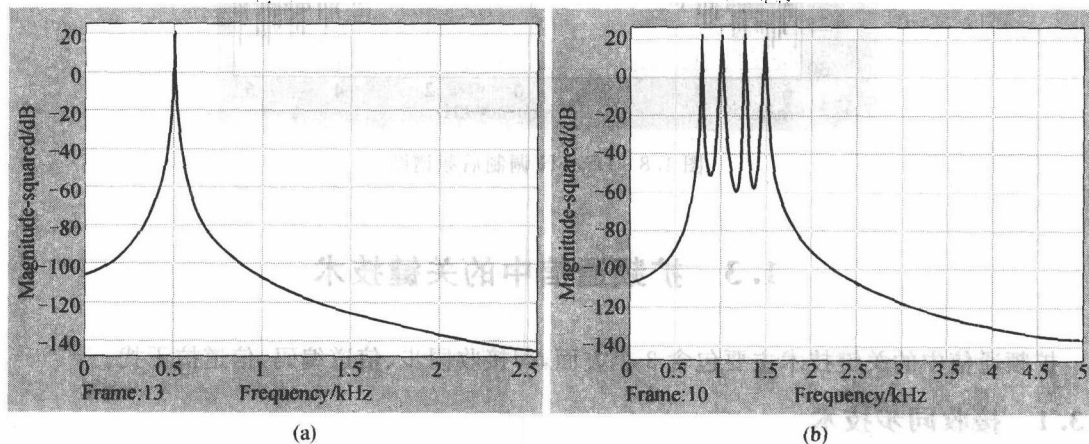


图 1.6 跳频调制频谱图

(a) 跳频调制前频谱图；(b) 跳频调制后频谱图。

3) 混合方式

上述两种扩频方式可以组合起来,构成 DS/FH 混合扩频系统,是一种中心频率在某一频带内跳变的直接序列扩频系统。它可以实现抗干扰、多址组网、定时定位和抗多径等功能。DS/FH 系统组成框图如图 1.7 所示。

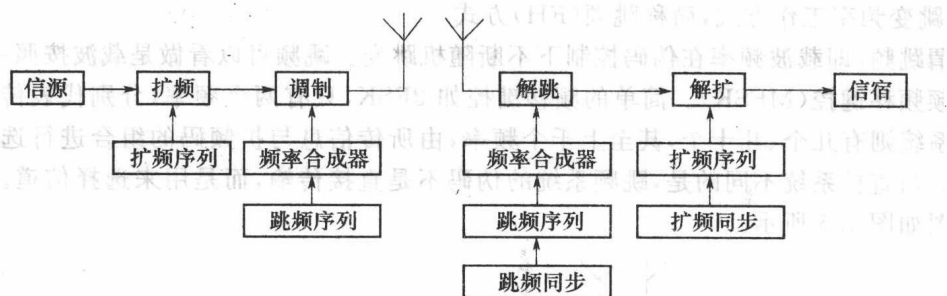


图 1.7 DS/FH 系统组成框图

在发送端,原始信息首先用扩频序列进行直接序列扩频,然后对频率合成器输出的载波进行跳频调制,频率合成器输出频率受跳频序列控制。在接收端,首先进行解跳,得到一个中频的直扩信号,再进行解扩,最后送至解调器将原始信息恢复出来。

图 1.8 与图 1.4(b)、图 1.6(b)比较,可以看出混合扩频通信系统比单一的扩频通信系统拥有更宽的频带。

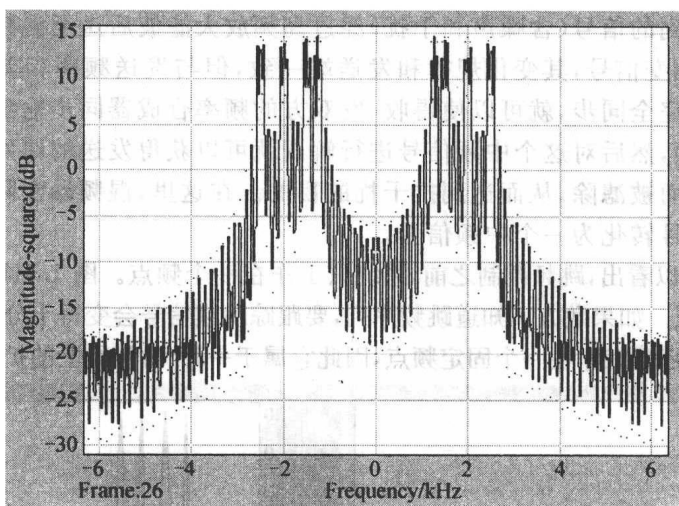


图 1.8 DS/FH 调制后频谱图

1.3 扩频通信中的关键技术

扩频通信中的关键技术主要包含 3 个方面,即接收同步、信道编码、信道抗干扰。

1.3.1 接收同步技术

同步是通信系统中一个非常重要的环节。一般收、发双方不在一地,要使它们协调工作,必须要有同步系统来保证。同步系统工作的好坏,在很大程度上决定了通信系统的质量。

扩频通信中的同步包括伪码同步和载波同步两种,伪码同步过程可分成捕获和跟踪两个阶段。捕获阶段完成扩频码的粗同步,使收信机和发信机之间的伪码相位差小于某一门限,一般为半个码片周期。跟踪阶段进一步调整接收机的伪码相位,完成收信机和发信机之间的精确同步。

载波同步设计中的核心问题是如何改善在低信噪比、大多普勒频移环境下的同步性能。由于严格的功耗约束、小卫星的天线尺寸以及前向纠错等技术的应用,载波同步单元需要在较低的信噪比下工作。低信噪比下常用的同步方案是 PLL(锁相环路)类同步环路。当存在较大的多普勒频移时必须提前进行频率补偿,并且还需要考虑到载波同步相位方差与捕获时间相互制约的关系。

帧同步和位同步也是通信系统所必需的,尽管不如载波同步和扩频同步复杂,但也是决定通信成败的关键技术。

帧同步主要用于时分多路数字传输系统,信号以帧的方式进行传输。由于每一帧的开头和结尾并不能由机器自动识别,所以需要为每一帧加入一个特殊的标志,这就是所谓的帧同步信号。帧同步的方式很多,可以采用幅度特别高的脉冲作为帧同步信号,也可以采用持续时间较长的宽脉冲信号作为帧同步信号。帧同步方法有起止法、集中插入同步法、分散插入同步法等。

位同步也可以称为时钟同步。数字信息经过数字调制后,在信道传输中会受到噪声的影响,同时由于信道带宽有限,解调后的信号有可能成为失真信号,所以必须对它进行抽样、判决、再生,才能恢复出原来发送的整齐规则的基带数字信号。为了在准确的时刻抽样,就必须在接收端恢复出和发送端码元持续时间、相位均相同的位时钟脉冲。这种脉冲成为位同步信号,是数字通信中最基本的同步。如果同步不良,则在接收端对码元的判断就不准确,造成误码率大大增加。实现位同步的方法主要有插入位同步法和自同步法两大类。

1.3.2 信道编码技术

通信的作用在于能将对方不知道的消息及时而且可靠地送达到对方。显而易见,可靠性与有效性是作为一个通信系统所必须具备的两个条件。但是,可靠性与有效性对于同一个数字通信系统是相互矛盾的:若要保证系统的有效性,则要求尽量压缩数据码元所占的时间,从而使信号波形变窄,经过含有噪声干扰的信道之后,产生错误的可能性也随之增加,从而降低了系统可靠性;反之亦然,若要保证系统的可靠性,则要求增大单个数据码片所占时间,这样系统的有效性必然降低。所以,怎样使通信系统可以尽可能在可靠性和有效性这一对矛盾中达到平衡,是设计通信系统时所需要考虑的关键问题。通信理论正是在不断地平衡这对矛盾的过程中发展起来的。

1948年,Shannon(香农)发表了奠定了现代通信系统设计理论基础的论文——《通信的数学理论》,预测通过信道编码增加冗余信息,可以实现可靠的通信,开创了信道编码学科。

信道编码的实质就是在待传送的信息码中按照一定的数学规律增加一定数量的冗余码元(即校验码),使得信息码和校验码之间满足一定的数学运算关系。信息码与校验码按照某种规定好的格式组合在一起,即是将送入信道传输的码字。如果在信道中,码字由于信道噪声或人为干扰产生偏转,出现了错误,此时包含错误的信息码和校验码便不再满足原有的数学运算关系(也存在一种特殊的情况,即出错的信息码和校验码仍然满足之前的数学运算关系,这种情况在设计编码方式的时候应该尽量避免,以免影响整个通信系统的性能)。接收端按照事先约定好的数学关系来对接收到的码字进行运算,如果满足事先约定好的数学运算关系,则认为接收到的码字是正确的;如果不满足,则按照一定的算法进行计算来纠正码字中包含的错误。

目前使用的纠错码,按照构造方法的不同可以分为分组码和卷积码两种。

分组码是先将信息码分组,每一组的校验码元均由本组的信息码元按照一定的数学规律产