



跳频通信干扰与 抗干扰技术

Technology of Frequency Hopping
Communication Jamming and Anti-jamming

那丹彤 赵维康 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

跳频通信干扰与 抗干扰技术

那丹彤 赵维康 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书系统讨论了当前军事跳频通信中干扰和抗干扰的各种技术、方法、手段和途径,并创造性设计了多种干扰源模型和变速跳频通信系统模型,并且详细对比分析了模型的性能、效果和应用前景。

全书共7章,分别为绪论、跳频通信系统、跳频通信仿真模型的建立、跳频通信干扰策略、跳频通信干扰系统设计、变速跳频通信系统设计和变速跳频抗干扰性能分析。

本书主要作为信息与通信工程、通信与信息系统、信号与信息处理、电子科学与技术、侦察技术等专业工程技术人员的学习与培训资料,也可以作为通信和通信对抗等领域工程师和科技工作者的参考书,帮助解决:

- 设计和制造以扩谱跳频抗干扰通信为特定目标的干扰机;
- 评估军事跳频通信干扰与抗干扰系统的期望性能;
- 发现能够在干扰环境中有效对抗通信系统的最佳波形;
- 深入研究变速跳频通信系统。

图书在版编目(CIP)数据

跳频通信干扰与抗干扰技术/那丹彤,赵维康编著.

—北京:国防工业出版社,2013.8

ISBN 978-7-118-08858-8

I. ①跳... II. ①那...②赵... III. ①跳频—通信干扰—研究②跳频—通信抗干扰—研究 IV. ①TN914.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第166571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)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 字数 261千字

2013年8月第1版第1次印刷 印数1—2000册 定价48.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书以复杂电磁环境中通信与通信对抗中的干扰和抗干扰链路系统为研究背景,主要应用 MATLAB - Simulink 工具箱等软件,研究跳频通信干扰系统和变速跳频通信抗干扰系统的设计、性能、应用环境等问题。干扰系统设计主要是针对跳频通信的波形和频谱级仿真模型和实现扩展功能的模块。更为重要的是设计了变速跳频模块仿真模型,跳频通信系统只需添加变速跳频模块即可实现变速跳频通信,书中通过对仿真结果的比对分析了变速跳频通信系统的抗跟踪式干扰效能。变速跳频通信模块设计和实验的目的是提出对抗跟踪式干扰的一种有效策略,从而为复杂电磁环境中通信与通信对抗系统的效能分析和评估提供了有效的途径。

20 世纪 80 年代以来,出版了大量的关于抗干扰通信的理论性能和技术的文献和书籍,但这些文献书籍讨论的多是如何设计通信系统来避免被截获或干扰(即抗干扰)很少包含通信对抗内容和解决通信对抗的策略。无论是设计一个通信系统还是设计一个反通信系统,其基本原理是一样的,但观点各不相同,从而也就产生了微妙的差异。进入通信对抗领域的技术工作者不得不四处搜寻该领域的技术文献书籍,并通过学习这些文献资料从以“通信为中心”向以“通信对抗为中心”再到“通信为中心”转变。这也是作者撰写本书的初衷。作者关注的焦点是跳频通信和通信对抗系统,主要满足通信和通信对抗等领域工程师和科技工作者学习和培训之需,也可以供通信专业的学生和工程技术人员自学以及继续教育参考使用。

本书首先阐述了跳频通信的基本理论,并着重介绍了跳频通信的核心组成部分:跳频频率发生器和跳频序列生成器;然后利用 Simulink 仿真平台建立跳频通信模型、干扰系统模型等,分析各种干扰的传输信号波形、频谱、信息序列以及误码率,干扰系统模型实验的目的是为了具体展示跳频通信的工作原理、跳频通信的侦察与干扰方法以及跳频通信各种干扰方法之间的性能比较;接着设计了变速跳频通信模块,分析跟踪式干扰系统干扰跳频通信系统信号波形、频谱以及误码率,以及干扰植入变速跳频通信模块后的跳频通信系统的信号波形、频谱以

及误码率;最后对各种干扰系统和变速跳频通信系统抗跟踪式干扰的性能进行分析比较,选择适合于复杂电磁环境的跳频通信干扰系统,验证了变速跳频通信的抗跟踪式干扰性能,证明变速跳频通信是对抗跟踪式干扰的一种有效途径。

本书共7章。第1章绪论,主要从总体上简要介绍通信与通信对抗的历史、发展状况特点和发展趋势,无线电信号传播的模型、特点、分类和性能指标等以及跳频通信的地位作用;第2章跳频通信系统,主要介绍跳频通信的基础理论,重点是介绍跳频通信系统组成、工作原理、主要技术指标、频率合成器、跳频序列和跳频同步等,并对跳频通信系统抗干扰性能进行了分析;第3章跳频通信仿真模型的建立,主要完成了跳频通信系统数学模型、MATLAB 仿真模型、Simulink 快跳频通信仿真建立,通过模型仿真试验展示了跳频通信的工作原理、波形、幅度、相位和频谱变化情况;第4章跳频通信干扰策略,主要介绍9种通信干扰技术,包括每种技术的分类及特点,重点阐述了针对跳频通信的干扰策略,对跳频通信同步系统和跳频信号的干扰方法;第5章跳频通信干扰系统设计,主要设计了宽带噪声干扰系统、部分频段噪声干扰系统、多频连续波干扰系统以及跟踪式干扰系统;第6章变速跳频通信系统设计,主要讨论了跳频组网与跟踪式干扰的关系、变速跳频通信系统抗跟踪式干扰策略,研究了变速跳频抗干扰技术体制及关键技术,完成了变速跳频模块 Simulink 建模,这也是本书创新性的体现;第7章变速跳频抗干扰性能分析,主要分析变速跳频通信抗跟踪式干扰的性能,介绍了跳频扩谱信号分选以及进行了侦查干扰性能仿真等。

本书主要由那丹彤、赵维康撰写,高大兵、齐凤军、高强、洪作鑫、陈喜龙、孙孚、王昭建、汲雪飞、王金永、吴海权、闫雪松等也参加了组稿、绘图及校对等工作。本书撰写时参考了大量相关文献,长春理工大学宋路教授为本书编写提供了宝贵的指导意见,装甲兵技术学院科研科及训练部给予了大力支持,在此向有关文献作者及给予指导、帮助及支持的同志表示感谢!

军事通信与通信对抗内容涉及多个方面、多个领域,难以很全面、详细地在一本书中全部介绍,且由于水平、经验及时间有限,本书难免有疏漏和不妥之处,敬请读者予以批评指正。

编著者
2013年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 通信与通信对抗现状	1
1.1.1 通信干扰系统研究现状	1
1.1.2 抗干扰通信和电子对抗	3
1.2 无线通信发展	9
1.2.1 信号在 VHF 及其以上频段的传播	10
1.2.2 HF 频段的信号传播	33
1.3 跳频通信地位作用	39
第 2 章 跳频通信系统	42
2.1 跳频通信系统概述	42
2.1.1 引言	42
2.1.2 跳频通信的理论基础	44
2.1.3 伪随机码	50
2.2 跳频通信组成及工作原理	58
2.2.1 跳频系统组成	58
2.2.2 跳频系统工作原理	60
2.2.3 跳频通信 2FSK 调制方式	63
2.2.4 跳频通信主要技术指标	65
2.2.5 跳频信息的发送	69
2.3 跳频通信关键技术	71
2.3.1 频率合成器	71
2.3.2 跳频序列设计	83
2.3.3 跳频通信的同步	93

2.3.4	跳频信号的解跳与解调	96
2.4	跳频系统抗干扰性能分析	100
2.4.1	几种常见调制方式的误码性能	101
2.4.2	抗宽带噪声干扰性能分析	102
2.4.3	抗部分频带噪声干扰性能分析	103
2.4.4	抗多频连续波干扰性能分析	106
2.4.5	抗跟踪干扰性能分析	109
第3章	跳频通信仿真模型的建立	112
3.1	跳频通信的数学模型	112
3.2	跳频通信的 MATLAB 仿真	113
3.2.1	跳频序列的设计	113
3.2.2	跳频通信模型的 MATLAB 建立	115
3.3	快跳频通信 Simulink 建模	124
3.3.1	Simulink 建模的优点	125
3.3.2	快跳频通信系统 Simulink 模型建立	125
3.3.3	快跳频通信系统各部分功能	129
3.3.4	快跳频通信仿真结果分析	132
第4章	跳频通信干扰策略	133
4.1	跳频通信抗干扰性能	133
4.1.1	跳频速率	133
4.1.2	跳频带宽	134
4.2	通信干扰技术	134
4.2.1	跳频系统的部分驻留干扰	135
4.2.2	噪声干扰	136
4.2.3	音调干扰	139
4.2.4	扫频干扰	146
4.2.5	脉冲干扰	148
4.2.6	跟踪干扰	148
4.2.7	灵巧干扰	148
4.2.8	资源共享技术	149

4.2.9	干扰平台配置	150
4.3	针对跳频通信的干扰技术	150
4.3.1	对跳频通信同步系统的干扰方法	151
4.3.2	对跳频通信信号的干扰方法	151
第5章	跳频通信干扰系统设计	157
5.1	宽带噪声干扰设计	157
5.1.1	噪声调幅干扰信号仿真	157
5.1.2	噪声调频干扰信号仿真	158
5.1.3	宽带干扰信号仿真	160
5.1.4	建立宽带噪声干扰快跳频通信系统模型	160
5.1.5	宽带噪声干扰性能分析	163
5.2	部分频段噪声干扰设计	163
5.2.1	建立部分频段噪声干扰系统模型	164
5.2.2	部分频段噪声干扰性能分析	166
5.3	多频连续波干扰设计	168
5.3.1	随机振幅键控连续波干扰信号仿真	168
5.3.2	随机相移键控连续波干扰信号仿真	169
5.3.3	多频连续波干扰快跳频通信系统仿真	170
5.3.4	多频连续波干扰性能分析	173
5.4	跟踪式干扰设计	177
5.4.1	跟踪式干扰仿真模型	177
5.4.2	跟踪式干扰时间条件	181
5.4.3	跟踪式干扰性能分析	181
第6章	变速跳频通信系统设计	184
6.1	跳频组网与跟踪式干扰的关系	184
6.1.1	网台分选概率	184
6.1.2	跳频跟踪干扰概率	185
6.1.3	跳频电台有效反侦察组网数量	186
6.2	变速跳频通信系统抗跟踪式干扰策略	186
6.2.1	跳频通信抗跟踪式干扰的主要措施	186

6.2.2	采用变速跳频技术	188
6.3	变速跳频抗干扰技术体制及关键技术	189
6.3.1	变跳速控制技术	189
6.3.2	变速跳频数据平衡控制技术	191
6.3.3	变速跳频同步控制技术	191
6.4	变速跳频模块 Simulink 建模	192
第 7 章	变速跳频抗干扰性能分析	199
7.1	变速跳频通信抗跟踪式干扰性能分析	199
7.1.1	Simulink 模型仿真	199
7.1.2	增强干扰性能仿真分析	200
7.2	跳频扩谱信号分选	202
7.2.1	分选参数	203
7.2.2	跟踪度量	205
7.3	侦查干扰性能仿真	208
7.3.1	仿真描述	209
7.3.2	所侦察的统计值	214
7.3.3	仿真结果	214
参考文献	224

第1章 绪论

1.1 通信与通信对抗现状

随着军队信息化进程的加快,军事领域电磁应用日益广泛,电磁空间的斗争会更加激烈并将对争夺未来战争主动权、乃至国家安全与战略利益拓展产生重大影响。现代战争中对电磁频谱的控制权已成为掌握战争主动权的关键环节,通信干扰与抗干扰受到普遍重视,使得通信对抗双方展开了激烈的较量,一方在寻求最佳的抗干扰方法与策略;另一方则在寻找最佳的侦察、识别、截获和干扰的方法和策略。要想保障我方军事通信的安全可靠,通信系统必须具有抗干扰、抗侦察和抗测向等通信对抗能力;要想破坏敌方的军事通信能力,我方也必须具有干扰敌方通信的强干扰源。世界各国在发展军事通信装备时,都非常注重通信与通信对抗中的干扰与抗干扰技术的研究与应用。

无线通信是战场上保障作战与指挥的重要手段,现今装备部队车载指控通信系统基本是建立在超短波跳频电台之上,超短波跳频通信具有良好的抗干扰性,低截获概率及强组网能力,可以更好地利用超短波跳频电台进行准确可靠的军事通信,超短波跳频电台日益成为现代军事战术通信中应用最广泛的通信工具之一。超短波跳频通信技术已受到各国军方的重视并得到长足的发展,现在各国都装备有性能优良的超短波跳频电台。要想在现代战争中占据有力地位,我们不仅需要先进的抗干扰电台保障战时的通信顺畅,而且还必须掌握怎样有效地去对抗敌方的通信装备,只有这样才能在通信对抗中掌握主动权。开展对跳频通信对抗的研究,寻求截获、分选识别和干扰跳频通信的方法,已成了当前通信对抗领域紧迫而困难的任务。因此,对于车载跳频通信干扰技术和变速跳频通信抗干扰技术研究具有重要的现实意义。

1.1.1 通信干扰系统研究现状

现代战争都离不开通信,在已经进入信息化时代的今天,信息战将成为战争的主要作战形式,如同任何时候的战争一样,信息战同样离不开用于信息传递的通信。通信的运用又导致通信对抗的产生,通信对抗促进通信技术的发展,而通信技术的发展又使通信对抗更快地发展。通信与通信对抗就是这样一对互相促

进,不断发展的矛盾的两个方面。在现代战争中,不可想象战争的任何一方只使用通信,而不运用通信对抗。通信对抗已成为夺取现代战争胜利的不可缺少的重要手段,世界各国都在努力提高其军事装备的通信对抗能力。

在通信对抗中,谁赢得了通信的主动权,谁就可以取得战争的胜利。现代战争中敌方的指挥与控制设施已经成为首要攻击的目标,如果前线部队不能接收命令,指挥官无法与其下级部队保持联络,失败就无法避免。通信干扰系统是用来产生和发射干扰信号,扰乱敌方无线电通信的电子系统,它可以破坏敌方语音通信和数据链,有效切断指挥控制命令的上传下达。国外许多国家都非常重视通信干扰技术的发展,都投入大量人力、物力、财力进行通信干扰技术的研究。北约很多国家装备有“犀牛”机动式高频波段探测器干扰系统,它采用时分技术,具有多信道干扰能力,可对付频率捷变、猝发或每秒数十跳的跳频通信系统。系统采用12m鞭状天线和V形斜面天线,干扰地波和天波传输。“野蜂”多信道干扰机是戴勒姆—克莱斯勒宇航公司研制的通信干扰机,频率覆盖范围为20~80MHz,能够同时干扰10个信道。其综合电子支援措施系统可探测和识别目标辐射源,并选择适当的干扰调制样式。在系统中增加了一个安装在12m可架设天线杆上的宽带测向天线。戴勒姆—克莱斯勒宇航公司最新开发的通信干扰系统具有更宽的频率覆盖范围,可干扰甚高频(VHF)和特高频(UHF)频段,包括卫星通信、移动电话、无人机载数据链路、GPS和Glonass卫星导航系统。其中,SGS2300H、V、U系列产品是用于干扰高频(HF)、甚高频和特高频话音和数据链路的方舱式通信干扰系统。它们都集成有自动监视子系统,具有较高的输出功率和快速跳频能力,可对付现代通信链路。

随着近年来干扰系统的不断升级、更新和换代,带动了跳频通信抗干扰技术的迅猛发展。其中,法国Thomson-CSF公司的350H系列电台和SYSTEME-3000系列中的TRC-3500电台都利用了自适应跳频模式,能有效地对付阻塞干扰和定频干扰,提高了信道利用率,并改善通信质量^[1]。国外报道的变速跳频电台多是半自动变速或有限种跳速随机可变的,有些可通过随机性信令实现跳速索引。采用跳速多变的方式,可不断打乱敌方的侦察和跟踪部署,是有效的抗跟踪干扰措施之一。现有扫描器还很难锁定这样的信号,因此其防窃听、抗干扰能力更强。抗干扰能力的增强,就需要提高干扰机的性能与技术指标来实现对敌方通信指挥的破坏。现代战争是一场高技术较量的电子战争,通信已成为现代战争中军队的神经网络。战场态势和情报的获得,指挥控制命令的下达都离不开通信系统。能成功干扰敌方的通信装备,使敌人的指挥陷入瘫痪状态,对于战争来说已经胜利了一半。

我国在短波、超短波波段干扰与抗干扰通信技术领域已取得了飞速的发展。

目前,已陆续推出了许多类型的短波、超短波跳频通信系统并已投入了批量生产,部分技术指标和性能已达到当代国际先进水平。国内首创的“多合一”的系统控制器、超低功耗天线调谐器、跳频系统伪随机码序列、DDS 频率合成器、音频数字化处理技术、自适应技术、静态无直流功耗谐波滤波技术、射频语音处理技术等获得国家专利的多项先进技术已成功应用到新一代的短波、超短波战术跳频系统中。采用跳频技术的电台在军事通信中得到了广泛应用,极大地提高了军事装备的抗截获和抗干扰能力,也向通信对抗提出了严峻的挑战。开展对跳频通信对抗的研究,寻求截获,分选识别和干扰跳频通信信号的方法,已成了当前通信对抗领域紧迫而困难的重要研究课题之一。国外已经有能同时监视几个相邻信道,扫频搜索速度为 80000 信道/s 的侦察接收机问世,这种侦察接收机截获的跳频图案的概率几乎达到了 100%,这是迄今为止对付跳频通信最理想的干扰手段,与欧美发达国家相比,我国对于有效干扰跳频通信技术的研究和应用还有较大差距,为了在越来越激烈的通信对抗竞争中占据绝对优势,必须加快对跳频通信干扰技术的研究。因而对车载跳频通信干扰系统研制尤为重要,对战争的胜负有着重要的影响。

1.1.2 抗干扰通信和电子对抗

信息时代的到来使我们越来越依赖于无线电子通信。虽然便携式电话系统和个人通信系统使无线射频(RF)通信得到了广泛的应用,但最依赖于无线通信的无疑还是军事领域。多年来,军事部门一直都依赖射频通信来执行战术部队的指挥控制。

由于战术指挥员使用射频通信来实施对其部队的控制,因此敌人对其通信就特别感兴趣。这种兴趣主要体现在两个方面:截获他们发出的信息;阻止信息在发送者和接收者之间成功传输。信息截获者通过截获信息能够获得关于敌方状态和意图的信息,作为情报和战斗信息。

1. 抗干扰通信

无论是为了截获通信还是阻止通信,从对抗角度来说,其目的显然都是阻止成功通信。“抗干扰”通信技术是在敌人有意降低和中断通信机的通信能力时,为保证通信畅通而开发的。

通信电子战(EW)是指为完成通信截获或阻止通信所采取的各种行动的总称。它主要包括三个部分:电子攻击(EA)、电子支援(ES)和电子防护(EP)。

电子攻击是电子对抗(ECM)的新名称,它使用有源信号阻止通信系统有效交换信息。目前大家普遍接受的观点(但不排除其他观点)是,电子攻击主要包括三种活动:干扰;欺骗和定向能(DE)。

根据信息的三个主要原则:相关性、准确性和适时性,干扰主要针对最后一个原则——适时性。如果信息实现成功交换,那么干扰就几乎不能直接影响信息的相关性和准确性。但是,干扰活动能够通过降低交换速度暂时影响信息交换的适时性。干扰还能够影响信息的相关性,因为如果信息到达期望目的地太迟而不能使用,那么这些信息就变得不相关了。

欺骗针对信息的第二个原则——准确性,其意图是通过设计陷阱误导对手。错误的通信信号是任何战术欺骗活动的重要组成部分。这里不对欺骗做详细介绍,因为欺骗本身就是一个范围非常广的主题。

定向能的应用类似于干扰,但它以永久损害或摧毁通信设备为目标。它需要比干扰大得多的能量和功率。

电子支援是对电子攻击的一种辅助功能。它用于测量射频频谱的参数,来检测是否存在的信号,或确定信号的特性。如果干扰企图针对的是根本不存在的信号,那就是浪费能量和时间。

电子防护是为阻止敌人对友军通信实行电子攻击和电子支援所采取的行动。电子防护的一个典型特征就是掩蔽友军通信,挫败敌人对友军通信进行电子支援的企图。通过向朝着敌人而远离友军通信网络的方向传播信号,而且信号频率和频段都与友军使用的频率和频段相同,能够阻止敌人有效地实现其电子支援企图。电子防护的其他例子还有发射控制(EMCON)和加密。

2. 网络

军用战术指挥控制通常借助射频通信来实现。这些通信一般用网络形式进行,这样许多节点就可以根据需要互相通信。这些网络一般都是预先配置好的,网络中的每个成员都知道网络中的其他成员。如果这些通信被有意干扰或被其他方法拒绝,那么指挥控制过程就会中断,作战就会受到影响。

现在使用的有几种网络形式。①战术射频多对多网络,如图 1-1 所示。这是一种典型的战术按下通话(PIT)网络,小组中的所有人员都可以互相通信。②一对多/多对一网络,如图 1-2 所示,这种配置的典型示例就是甚小孔径卫星(VSAS)网络,其中一个节点作为网络中心。③一对一网络,如图 1-3 所示。这种网络的典型代表是便携式电话、个人通信系统(PCS)和老式的公用电话交换网(PSTN)。在这种网络中,所有节点都能互相通信,但一般每次只有两个节点进行通信。所有这些形式的网络都很容易受到干扰。

为了避免受到干扰——至少是有意干扰,人们花费了大量精力来开发各种对抗技术和方法。如果以避免被截获或检测为目标,那么这类技术可以称为“低截获概率”(LPI)技术或其他类似名称;如果以在存在有意干扰的情况下保持通信畅通为目标,那么这类技术可以称为抗干扰(AJ)技术。

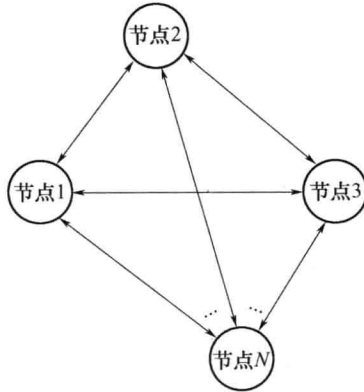


图 1-1 多对多配置的战术射频通信网络

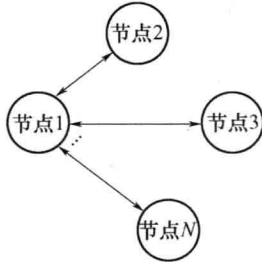


图 1-2 一对多和多对一网络,如 VSAS 网络

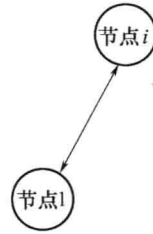


图 1-3 一对一网络

在战术作战行动中,要挫败敌人的射频通信,方法之一就是通过对实施电子对抗措施阻止敌人在网络上进行通信,也就是对通信实施干扰。通信干扰通过向敌方接收机发射与其通信频率相同的能量来实施。

3. 扩谱通信技术

扩谱通信技术是美国国防部开发的,用于阻止敌人的检测、利用和对抗。这些通信技术迅速从纯粹的军事领域应用扩展到民用通信应用中。扩谱通信技术应用的一个例子是便携电话和个人通信系统的码分多址(CDMA)扩谱(SS)第二代标准 IS 95。另一个例子是欧洲及其他地区的地面移动系统(GSM)标准。GSM 也是第二代便携式电话标准,使用跳频技术来实现频率分集。正是因为 IS 95、GSM 和类似技术在全世界的广泛应用,要对抗这些现代通信技术,对这些通信技术有所了解非常重要。21 世纪初,IS 95 将被宽带码分多址(W-CDMA)代替。W-CDMA 技术比 IS 95 增加了一些功能,特别是提高了传输数字信息的能力。扩谱技术在民用通信中的应用将使这些能力在未来很长时间内得到普及。

扩谱通信技术是为通信机提供一定程度的电子反对抗(ECCM)能力(假定

干扰采用的是电子对抗技术)而开发的一种通信技术。它是一种低截获概率、低利用概率(LPE)和抗干扰技术。传统的单音干扰机对这些系统的性能几乎不会产生任何影响,迫使干扰方采用不同的干扰体制。

直接序列扩谱通信技术的优点之一是能够重复使用频谱,对民用无线通信同样如此。这种通信技术在频域上互相重叠,允许多个用户共用同样的频率。每个用户都用一个不同的编码来扩展其波形,这进一步促进了 CDMA 技术的发展。IS 95 是直接序列扩谱 CDMA 技术在民用通信中应用的一个范例。

对于干扰技术和策略的分析与对成功的通信技术的分析在细微处有所不同,其中最大的不同是比特误码率(BER)的分析方式不同。通信策略专家强调的是通信的比特误码率要低于 10^{-3} (平均每 1000bit 出现 1bit 错误),要开发比特误码率低于 10^{-3} 的各种通信技术。电子对抗技术则试图将比特误码率提高到 10^{-1} 甚至更高,研究通过提高比特误码率来对抗通信的有效策略。如果能将比特误码率提高到 10^{-1} ,那么干扰机就能够对抗干扰目标实现有效的干扰。

严格地说,抗干扰通信技术指的是与干扰通信系统的行为作斗争的能力。在无线通信环境中完全不受射频干扰的影响是不可能实现的。在合适的环境中,所有射频系统都可能被干扰。抗干扰通用技术包括隐藏信号的技术、使信号在频谱上快速移动的技术和数字信号的冗余编码技术。隐藏信号使拦截者或无意截获者不知道该信号的存在,信号在频谱上快速移动,使传统窄带侦听接收机接收不到该信号。数字信号的冗余编码技术最初不是用于反干扰的,而是用于对付噪声对数字信号的影响的。如果干扰信号与热噪声相类似,那么这一类技术也可以有效地抗干扰。

1) 低检测概率(LPD)

低检测概率系统的目标是以某种方式隐藏信号,以便该信号即使存在,非专门针对该信号的接收机也很难发现该信号。在军用环境中,可能是期望能够与一个没有任何人知道驻守着部队的特定城市进行通信。直接序列扩谱就是一种低检测概率技术。

2) 低截获概率

顾名思义,如果信号不能做到低检测概率,那么不是专门针对该信号的接收机就有可能检测到该信号的存在。但即使这样,也仍然能够为该信号提供一些保护。在某些情况下,这些信号可以做到很难被接收机截获,这种方法就称为低截获概率技术。

3) 低利用概率

在很难或不需要实现低检测概率和/或低截获概率的情况下,仍然有办法避免别人发现该信号携带的信息。例如,当信号是交谈信号,而谈话内容对交流双

方来说是非常敏感的时候,目标就是使该信号不被别人利用,这种技术就称为低利用概率技术。加密就是一种低利用概率技术。

4) 抗干扰

抗干扰信号使干扰机很难有效发挥作用。事实上,实现信号抗干扰使用的各种技术与实现上述低检测概率、低截获概率和低利用概率所用的技术是一样的。在某些情况下,可以对设计参数进行调整,以最优抗干扰技术,使其超过低检测概率、低截获概率或低利用概率等技术,但其基本原理是一样的。

4. 抗干扰信号类型

虽然现在有很多种抗干扰通信技术,但广泛使用的主要是两种:直接序列扩谱(DSSS)技术和跳频扩谱(FHSS)技术。跳时(TH)技术是第三种抗干扰通信技术,但这种技术很少用于抗干扰。直接序列扩谱和跳频扩谱是两种真正的扩谱技术,而跳时只是一种抗干扰技术,是一种非扩谱低截获概率技术。

1) 直接序列扩谱

直接序列扩谱系统对承载数字信号的信息可以在很宽的带宽上进行扩展,使其瞬时占用整个带宽。也就是说,该信号在同一时刻遍布到整个带宽。提取一个能量有限的信号,并将能量扩展到一个很宽的带宽上,使该能量存在于任何特定频率或记录的很小频段上。每个频率上的能量一般都非常小,比该频率上的热噪声还要低。如果接收机只简单地检测此类通信系统相关作战频率上的频谱,那么该接收机将该信号错误地当成噪声,而使该信号逃过检测。要提取该信号需要进行特殊信号处理。

2) 跳频扩谱

与上面描述的直接序列扩谱系统相反,在跳频扩谱系统中,任何给定瞬时时刻的窄带数据信号只占用一个信道,而且通常是窄带信道。在传统的低 VHF 频段,频率被划分成宽度为 25kHz 的多个信道,这使信道变得更窄。因此,跳频扩谱系统在任何时刻都占据 25kHz 带宽。在低 VHF 频段,大约有 2400 个这样的信道可供使用,各系统通常设计使用这些信道中的一部分(子集)。为方便实施,这些子集(称为跳频点集)的大小一般都是 2 的幂。

跳频扩谱可以进一步分为快跳频(FFH)和慢跳频(SFH)。两者一般是根据在特定跳频驻留时间上发送的数据比特数来区分的。如果一次跳频发送多个数据比特,那么它就称为慢跳频,如果每发送一个数据比特要跳频多次,它就称为快跳频。在这里的慢跳频系统中,每跳发送的数据比特数用 L_S 表示,快跳频系统中每发送一个数据比特跳频的次数用 L_F 表示。

跳频扩谱比频率分集具有更多优点。在不同频率上传输同样的信息提高了信息到达接收机的正确概率,而采用多条可能的路径将信号从发射机发送到接

收机会造成衰减。这种衰减与频率无关,如果发射机或接收机正在移动,那么衰减将会随运动而发生变化。

数字跳频通信系统一般使用频移键控(FSK)调制方式,特别是在接收机端采用非相干检测的二进制频移键控(BFSK)调制。在二进制频移键控中,一个数据比特在两个频率的一个频率上作为音调发送。这些音调一般在载频上下有所偏移,而载频经常在频谱中变化位置。

3) 跳时(TH)

在特定的条件下,检测扩谱信号的最佳方法是采用辐射仪。该装置在一段时间内测量辐射仪覆盖带宽内的能量,这一段时间称为积分时间。在该时间段结束后,辐射仪决定是发送一个传号还是发送一个空号。跳时技术将随机改变传输的时间,从而使辐射仪在大部分时间上测量到的都是噪声。

军事上多年来使用的常规按下通话(PIT)通信就是一种跳时形式,因为网络上各次传输之间的时间是随机的。试图收听这些通信的接收机调谐到该网络的频率时,在大部分时间上收听到的都是噪声。

现代通信系统设计的一种形式——超宽带(UWB)通信就是利用跳时技术来实现抗干扰保护。它与直接序列扩谱和跳频扩谱一样,也允许多个用户共享同一个频谱。虽然这种技术并不限于应用在短距离网络连接上,但短距离网络连接是该技术的主要应用领域。要适用于实际距离,需要相当大的辐射功率。超宽带技术将信号扩展到更宽的带宽上,这可能会与同一频谱中的其他类型通信互相干扰。

4) 混合体制

上述抗干扰技术可以结合起来使用,以利用各种技术的优点。最常用的混合体制是将直接序列扩谱与跳频扩谱结合起来。在这种结合中,直接序列扩谱的加密特性和跳频扩谱的频率分集都能够被利用。基带数字信号首先利用直接序列扩谱技术形成一个(相对)宽带的信号,然后该信号使用跳频点集中的频率在该频谱上进行跳频。这样的信号很难检测,比单独采用任何一种调制技术都能更加可靠地通信。

5. 同步

根据战术军事通信的特征,适应无线电台动态入网和离网非常必要。即使网络的标准组成部分是提前建立的,也必须使新节点能够加入网络。另外,战术网络上的通信是断断续续的。没有交换时,振荡器会发生偏差。因此,同步是这些网络中需要解决的一个重要问题。对于非扩谱网络来说,这并不困难。当没有其他发射机使用某信道时,一个发射机每次只在正确频率上传输。但是,对于跳频扩谱网络来说,新的发射机一般不知道网络在该时刻正在使用