

MODERN
COMMUNICATIONS

现代通信理论与技术丛书

Radio Antijamming Communications
Fundamentals and Applications

无线电抗干扰通信 原理及应用

● 苟彦新 主编

西安电子科技大学出版社
[http:// www.xduph. com](http://www.xduph.com)

现代通信理论与技术丛书

无线电抗干扰通信原理及应用

苟彦新 主编

苟彦新 王永民
郭建新 史雪瑞 编著

西安电子科技大学出版社

2005

内 容 简 介

本书全面、系统、深入地论述并分析了无线电抗干扰通信的基本理论、关键技术及其应用。

全书共 7 章, 内容包括引论, 扩展频谱通信中的伪随机序列, 扩展频谱通信系统, 自适应天线原理及应用, 抗衰落通信, MIMO-OFDM 原理与技术, 实现抗干扰、抗侦察保护的通信系统设计等。

本书内容丰富, 取材新颖, 反映了 20 世纪 90 年代以来国内外的一些研究成果, 是军事通信和民用通信领域首次较全面探讨和研究无线电通信抗干扰的一部书。

本书可作为通信、雷达、电子对抗专业的高年级本科生和研究生教材或参考书, 也可作为相关专业的工程技术人员的参考书。

* 本书配有电子教案, 需要者可与西安电子科技大学出版社联系, 免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

无线电抗干扰通信原理及应用 = Radio Antijamming Communications Fundamentals and Applications / 苟彦新主编. — 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005. 4

(现代通信理论与技术丛书)

ISBN 7-5606-1497-3

I. 无… II. 苟… III. 无线电通信抗干扰 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 014718 号

策 划 臧延新

责任编辑 阎 彬 臧延新

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http: //www. xduph. com

E-mail: xdupfxb@pub. xaonline. com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西画报社印刷厂

版 次 2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 20 875

字 数 488 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 32.00 元

ISBN 7-5606-1497-3/TN·0298

XDUP 1768001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

序

通信网是国家的重要基础设施之一,通信对国民经济和社会发展的影响非常深远。目前通信理论和技术发展很快,通信网在我国也得到了迅猛的发展。改革开放 20 多年来,我国的电话普及率已增长超过 100 倍。目前我国的第二代蜂窝网 (GSM) 规模居世界第一位;互联网的上网人数居世界第二位。与此相应,在通信领域从事科技工作的人员数量也大为增加。

在这种形势下,新生力量的培养和现有人员的继续教育就成为一项不可忽视的重要任务。加强通信领域新理论与新技术的传播,更是培养通信人才所必须。为了将通信理论和技术最新进展和发展前景及时地介绍给广大科技工作人员和学生,西安电子科技大学出版社依托本校的学科优势,邀请国内通信领域具有丰富理论和实践经验的专家、教授,成立了“现代通信理论与技术丛书”编委会,负责规划这套丛书的出版工作,力争能够出版一批具有较高学术水平和实用价值的著作。

这套丛书主要面向从事通信领域研究和开发的科技工作者、工程师、高年级大学生和在读研究生,以及希望了解该领域发展的各类相关人员。丛书突出内容新颖、全面系统、理论联系实际的特色,在简明扼要讲述物理概念和基本理论的基础上,尽可能地引导读者运用理论解决应用中的实际问题。为了满足目前研究生教学的迫切需要,一些优秀的研究生教材也将纳入到这套丛书中。

这套丛书的编写和出版将是一项艰巨的工作,感谢为出版这套丛书提供了支持和帮助的专家们,他们严谨的态度和深厚的学识是这套丛书顺利出版的保障。也衷心地希望广大读者和相关人员提出宝贵的意见和建议,使这套丛书日臻完善。

樊昌信

前 言

随着科学技术的进步与发展,电子战逐渐成为现代战争中信息作战的主要手段。通信电子战是电子战的主要组成部分。通信对抗与反对抗之间的斗争日益尖锐和复杂,表现在对抗的手段已由单纯的通信电子侦察和反侦察、干扰和反干扰的软对抗(夺取电磁权),发展到摧毁电子设备系统与反摧毁的硬对抗;由消极对抗发展到积极对抗;由单台单站对抗、多台多站对抗发展到针对系统级的综合能力对抗;由单一的时域或频域、功率域对抗发展到时频域、空域甚至速度域的全面对抗;由凭借地形、地物的掩护,超低空突破发展到采用隐身术公开地突防,等等。通信电子对抗与反对抗是矛盾的双方,它们既对立又统一,并且互相转化和渗透,某种技术可以用来对抗,间接地又可以用来反对抗。例如,对抗双方都要采用通信电子侦察技术。在通信对抗中,侦察是为了实施切合实际的干扰和摧毁。在反干扰中,也需要对干扰进行侦察,以便躲过干扰,实施有目的的最佳反干扰,保护通信中心及网络免遭破坏。又如实施欺骗性干扰,可使敌干扰机无法确定真正的目标,达到“鱼目混珠”的目的。而在反摧毁中,也经常使用“诱饵”,使反辐射导弹不能击中真正的目标。

本书主要讨论了通信反干扰、反侦察的基本理论与技术(重点是通信反干扰),也讨论了若干热点问题。这些理论与技术不但适用于军事通信,也适用于现代民用移动通信等。由于通信抗干扰的内容极其丰富,涉及面也很广,因此本书不可能对每个问题与各种技术都作全面严格的分析。详细的分析可参考各章所列的参考文献。书中涉及到的一些技术和理论仅供读者参考。

全书共7章:第1章作为引论,阐述了抗干扰通信的理论与技术,并介绍了现代抗干扰通信中许多新的概念和新的途径;第2章从伪随机序列的概念出发,介绍了抗干扰通信中几种常用的PN序列、序列的产生方法及应用,重点介绍了线性反馈移位寄存器序列的原理及性能分析;第3章讨论了各种扩谱通信体制及其抗干扰原理、扩谱通信系统同步原理、同步性能分析及扩谱系统的实现等,并介绍了声表面波器件及其在扩谱通信中的应用;第4章介绍了自适应天线原理及其应用,重点讨论了自适应天线空域抑制干扰的原理、算法及实现,并对其应用进行了一定篇幅的讨论;第5章介绍了抗衰落通信,重点讨论了抗衰落通信的原理、技术与实现;第6章介绍了MIMO-OFDM原理与技术,重点论述了抗干扰通信中采用MIMO-OFDM的方法与途径,对其关键技

术进行了深入的分析,并给出了仿真结果;第7章从抗干扰、抗侦察的角度出发,阐述了许多抗干扰通信系统设计中的问题,具有一定的实用价值。

本书中的许多内容都是作者在教学与科研工作实践中总结提炼出来的,也参考并借鉴了近年来部分重要的文献和著作。读者在阅读时需注意,如无特别说明,书中的公式、图表、附录等的引用均指同一章内的引用。

本书可作为通信对抗、军事通信、移动通信、通信电子等专业的本科生和研究生的教材,也可作为同类专业的教师、科学工作者的参考用书。

本书由苟彦新担任主编。第1、4、5章由苟彦新编写;第2、3章由王永民编写;第6章由郭建新编写;第7章由苟彦新、史雪瑞编写。史雪瑞对本书的图表及文字做了大量的处理工作。

由于作者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者
2005年3月

现代通信理论与技术丛书编委会

主 任：樊昌信

副主任：王育民 裴昌幸 朱世华

委 员：（以姓氏笔画为序）

王永生 王新梅 卢朝阳 刘乃安

刘增基 张 辉 吴成柯 李兵兵

李建东 易克初 苟彦新 杨家玮

常义林 曾兴雯 葛建华 鲍长春

廖桂生

目 录

第 1 章 引论	1
1.1 引言	1
1.2 通信侦察、通信干扰与通信抗干扰	1
1.2.1 通信侦察	1
1.2.2 通信干扰	5
1.2.3 通信抗干扰	7
1.2.4 信号安全传输中的低的利用概率(LPE)	7
1.3 通信抗干扰理论与技术	7
1.3.1 噪声通信理论	7
1.3.2 抗衰落通信理论	9
1.3.3 UWB 和 UNB 通信	9
1.3.4 电离层变态效应通信	11
1.3.5 空域、时域自适应滤波	11
1.4 MIMO-OFDM 技术	13
1.4.1 MIMO	13
1.4.2 OFDM	14
1.4.3 MIMO-OFDM	15
1.4.4 MIMO-OFDM 系统中的关键技术	15
1.5 抗干扰通信系统的主要技术指标	16
参考文献	17
第 2 章 扩展频谱通信中的伪随机序列	21
2.1 伪随机序列的概念	21
2.1.1 基本概念	21
2.1.2 伪随机序列定义及分类	23
2.1.3 扩谱通信对伪随机序列的要求	24
2.2 几种常见伪随机序列的构造	25
2.2.1 双值自相关序列	25
2.2.2 平方余数码	27
2.2.3 孪生素数码	27
2.2.4 巴克序列	28
2.3 m 序列	29
2.3.1 m 序列的定义	29
2.3.2 m 序列的随机特性	35
2.3.3 m 序列的构造	37
2.4 Gold 序列族	39
2.4.1 m 序列优选对	39
2.4.2 Gold 序列族	41

2.4.3 平衡 Gold 序列	42
2.5 截短 m 序列	45
2.6 M 序列	47
参考文献	48
第 3 章 扩展频谱通信系统	49
3.1 扩展频谱通信概述	49
3.1.1 扩展频谱技术的起源及发展	49
3.1.2 扩展频谱通信的理论基础	50
3.1.3 扩展频谱技术的特点	51
3.1.4 扩展频谱技术的分类	52
3.2 扩展频谱技术原理	53
3.2.1 直扩系统(DS-SS)	53
3.2.2 跳频系统(FH-SS)	68
3.2.3 线性调频扩谱系统(Chirp-SS)	73
3.2.4 跳时系统(TH-SS)	76
3.2.5 混合扩谱系统	76
3.3 扩展频谱系统的同步	79
3.3.1 概述	79
3.3.2 直扩系统的同步	80
3.3.3 跳频系统的同步	86
3.3.4 捕获的判定	88
3.4 声表面波器件在扩谱系统中的应用	106
3.4.1 声表面波器件	106
3.4.2 声表面波滤波器	113
3.4.3 声表面波延迟线	114
3.4.4 其它声表面波器件	127
参考文献	128
第 4 章 自适应天线原理及应用	130
4.1 概述	131
4.1.1 采用自适应天线阵的原因	131
4.1.2 自适应天线阵的技术现状及发展	131
4.1.3 自适应天线阵的组成及重点要解决的问题	131
4.2 自适应天线中的天线阵	132
4.2.1 信号环境	132
4.2.2 天线阵列单元的配置	134
4.2.3 天线阵的性能	138
4.2.4 天线阵各种阵列效应对调零的限制作用	140
4.2.5 关于窄带与宽带信号处理的问题	142
4.3 自适应天线的基本理论	145
4.3.1 自适应天线系统的组成	145
4.3.2 自适应概念和 LMS 自适应算法的实现	146
4.4 原型自适应天线系统——旁瓣对消器	150
4.4.1 电路组成及工作原理	150

4.4.2	性能运算分析	151
4.4.3	旁瓣对消器的应用举例	155
4.5	扩谱通信系统中的自适应天线阵列	157
4.5.1	对扩谱通信系统中应用自适应天线阵列的要求	157
4.5.2	参考信号 $R(t)$ 的实现方法	157
4.5.3	扩谱通信系统中的自适应天线阵列	158
4.5.4	自适应波束形成器在跳频扩谱技术中的应用	161
4.5.5	弗罗斯特自适应波束形成器	163
4.6	频域自适应滤波	166
4.6.1	变换域自适应滤波器	167
4.6.2	基于圆卷积的频域自适应滤波器	167
4.6.3	扩谱信号多个强窄带干扰抑制算法的实现	169
4.7	自适应波束形成算法	171
4.7.1	LMS 算法	172
4.7.2	SMI 算法	172
4.7.3	RLS 算法	173
	参考文献	174
第 5 章	抗衰落通信	175
5.1	衰落信道对通信的影响	175
5.2	信号时间扩展	176
5.2.1	时延域上的信号时间扩展	176
5.2.2	时间扩展信号在频域中的特征	177
5.3	移动引起的信道时变性	180
5.3.1	在时域中分析信道的时变性	180
5.3.2	多普勒频移域中的时变性	181
5.3.3	瑞利信道慢衰落和平坦衰落的性能	186
5.4	抗衰落影响的方法	187
5.4.1	抗频率选择性失真的方法	188
5.4.2	抗快衰落失真的方法	195
5.4.3	减少衰落引起信噪比损失的方法	198
5.4.4	衰落信道的调制类型	200
5.4.5	交织器的作用	201
5.5	衰落信道的主要参数	203
5.5.1	快衰落失真(情况 1)	203
5.5.2	频率选择性衰落失真(情况 2)	204
5.5.3	快衰落和频率选择性衰落失真(情况 3)	204
5.6	抗频率选择性衰落影响的应用	206
5.6.1	GSM 系统中的维特比均衡器	206
5.6.2	直接序列扩频(DS/SS)系统中的 Rake 接收机	208
5.6.3	多径分集的优缺点	214
5.7	小结	214
	参考文献	214

第 6 章 MIMO-OFDM 原理与技术	217
6.1 OFDM	217
6.1.1 OFDM 的研究历程及其现状	218
6.1.2 OFDM 基本原理及系统组成	218
6.1.3 OFDM 系统的等效数学模型及系统分析	222
6.1.4 OFDM 的优缺点及关键技术	225
6.2 MIMO	226
6.2.1 MIMO 的研究历程及现状	226
6.2.2 MIMO 的基本原理	227
6.2.3 MIMO 的研究内容	231
6.2.4 MIMO 的关键技术	235
6.3 MIMO-OFDM	235
6.3.1 MIMO-OFDM 系统组成及数学描述	235
6.3.2 MIMO-OFDM 中的关键技术	240
6.3.3 MIMO-OFDM 研究前景展望	276
参考文献	277
第 7 章 实现抗干扰、抗侦察保护的通信系统设计	283
7.1 通信干扰策略	283
7.1.1 通信干扰机的目标通信子系统	284
7.1.2 相关干扰对策	285
7.1.3 非相关干扰对策	285
7.2 抗干扰保护的测度	287
7.3 扩谱通信系统的处理增益	287
7.4 干扰效果和干扰效率的计算	291
7.4.1 干扰效果的计算	291
7.4.2 干扰功率的计算	295
7.4.3 卫星上行链路的干扰	296
7.5 抗非线性侦察接收机的扩谱信号设计	299
7.5.1 非线性接收机性能概述	300
7.5.2 抗非线性检测的 FH 信号设计	308
7.5.3 抗非线性检测的 DS 信号设计	310
7.5.4 抗非线性检测的跳时(TH)信号设计	313
参考文献	317
附录 次数 $n \leq 12$ 的不可约多项式表	319

第 1 章 引 论

1.1 引 言

电子信息是高新技术的三大支柱之一。现代军事通信技术是现代电子信息技术的重要领域。无线电抗干扰通信又是现代军事通信、民用通信的支柱。现代通信电子战的首要目标是干扰敌方的通信系统,通信系统是否具有强的抗干扰能力,是能否取得电子战胜利的首要条件。

无线电通信在现代战争中的地位越来越重要。它是现代通信的主要手段,在特定的环境中它是惟一的手段,例如空军、海军、装甲兵等部队的通信,超远程的移动通信,追击战、登陆战等情况下的作战通信。在千变万化的战争中,可以说时间就是生命,谁能争取时间,谁就能赢得战争的胜利。正是由于无线电通信在某些时候是惟一的手段,因此各国对无线电通信的窃听、干扰等技术都竞相投入了可观的力量进行研究。在战时,无线电通信对抗已成为一项重要而无形的电子斗争。

和平时期的军事通信,特别是无线电通信,因划分了频段,合理利用了频率资源及规划组网,所以和民用通信应该“和平共处”,但实际情况并非如此。经常出现民用移动通信对其他通信造成干扰,特别对空军地空通信指挥、民航调度通信等造成严重干扰的情况,影响了正常的训练和飞行。因此,加强军事通信系统抗干扰能力显得尤为迫切。

民用通信,特别是现代移动通信,在电磁环境日趋复杂的条件下,其本身的抗干扰能力也是一个非常重要的指标。

1.2 通信侦察、通信干扰与通信抗干扰

通信对抗也称为通信电子战,主要涉及通信侦察、通信干扰和通信反侦察、反干扰(抗干扰)。为了使读者能更好地理解 and 掌握抗干扰的基本理论和方法,下面对通信侦察和通信干扰作一些介绍。

1.2.1 通信侦察

通信侦察是获取军事、外交、经济情况的一种方式。它用无线电侦察设备对敌方的无线电通信设备所发射的信号进行搜索、检测、识别、定位、分析和破译,以获取各种情报,供己方有关部门使用,并且支援干扰系统,进行有效的对敌通信干扰。

1. 通信侦察设备的基本组成

侦察的目的是获取情报以及实施干扰,所以,侦察设备首先应能发现通信信号,然后能分析信号和测定通信发射机的位置等。

发现信号即要求确实地收听到敌台的发射信号,因此要有好的环境与足够高的侦收灵敏度。由于不能预先知道敌台的频率,因此还要求侦察接收机要有相当宽的频率范围,使其能跟踪到需要的频率上去。为了不致错过时机侦察到敌方信号,必须有快速跟踪的搜索和瞄准手段。为了截取敌台的信号,必须具有与敌通信设备相适应的侦察接收机和终端设备,使其检测方式与敌台的发射信号的调制方式相适应。一般通信侦察设备的构成如图 1-1 所示,电台信号被侦察天线截获后,在侦察接收机中加以放大和检测,并送至终端设备,以便对信号进行显示、分析和记录。



图 1-1 一般通信侦察设备的构成

近年来,计算机被广泛应用于侦察设备中,借助于计算机的辅助分析能力,能够比较迅速和准确地识别敌台。特别是计算机技术和数字信号处理(DSP)技术被广泛应用于无线电侦察领域后,利用 DSP/FFT 技术能进行宽频谱的快速分析,使侦察技术有了一个飞速的发展。

2. 通信侦察设备的种类

采用哪种类型的通信侦察设备是根据侦察任务来确定的。如果它的重要任务之一是要确定正在工作的发射台的位置,即测定其方位,就应采用定向接收设备及波形分析、信号分析等手段。这里仅对无线电测向和测向仪稍加说明。

无线电测向的种类较多,按显示方法的不同可分为听觉测向和视觉测向;而按其使用方法的不同可分为固定测向和战术移动测向等。测向仪的组成如图 1-2 所示。

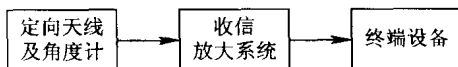


图 1-2 测向仪的组成

测向仪用来测定敌发射机的方位,这一功能是用专门的定向天线来达到的。因此,定向天线是测向仪极其重要的组成部分。

定向天线的种类很多,如环形天线、H 形天线、框形天线和 U 形天线等。现以环形天线为例来说明定向接收的原理。

如果天线以 MN 为轴进行旋转,当天线平面与电波方向同处一个平面时,在接收机上有最强的信号;当天线平面与电波方向垂直时,信号为零。如果将天线旋转一周,接收信号将有两次最大,两次为零。随着天线的旋转,在其它方向上接收的信号也会变化,最终可以得到心字形的方向图。这样,信号最强时,天线平面与电台方向相吻合。由于人的感觉系统对分辨零点最敏感,故实际以测定接收信号的最小点来确定电台方向。近代测向仪是采用固定天线,通过一种角度计的转动来测定方向的。

由于无线电接收到的信号太微弱,不能推动终端设备工作,因而必须有放大设备,它的种类和规格视测向仪的种类而定。

自 20 世纪 80 年代以来,先进的测向设备都采用了高速数字信号处理器和高档微处理器作为方位数据处理与功能控制,这样既加快了测向速度,也提高了测向精度。20 世纪 90 年代以来,由于空间谱技术应用于测向,小波技术与高阶统计谱技术应用于无线电测向,

因此使测向定位的水平得到了极大的提高。测向设备的智能化、软件化程度都迈上了一个新的台阶。

3. 通信侦察的特点

通信侦察不仅在战时进行,平时也在进行。由于电子技术的发展,为配合战役行动的侦察设备不必再配置在军队的战斗地域了,这使侦察设备不易受到敌方的攻击,可不间断地对敌战斗地域以及纵深的通信实施侦察,使己方随时掌握敌方的部署和行动。由于无线电侦察设备可以全天候地工作,因此它送到指挥机关的情报是源源不断的,这些情报成为指挥员掌握敌情的重要来源。

由于通信侦察本身不发射信号,因而它非常隐蔽,不易被敌方侦察到。

通信侦察的特点是:

(1) 侦察距离远。侦察的距离与敌台的辐射功率、电波的传播条件及己方侦察设备的灵敏度等因素有关。在短波、超短波战术通信采用地面波传播的条件下,侦察距离一般在几千米到几十千米。对卫星通信而言,侦察距离可达几万千米。在远距离侦察时,侦察设备可以配置在战区以外,因而受战场态势变化的影响较小。

(2) 侦察范围广。从地域、空域上都可以在十分广阔的范围内实施侦察。频域上,凡是无线电通信工作的频率范围,就是通信侦察的频率范围。

(3) 实时性好。侦察设备可以长时间不间断地工作,只要在我方侦察设备作用的空域、地域和频域范围内,敌方通信电台或系统都能及时被侦察到,且这种侦察是实时的。

(4) 受敌方无线电通信条件的制约大。

通信侦察的主要任务是:

(1) 在时间、空间和频率上搜索,以探测敌通信信号活动。

(2) 确定信号类别,获取信号情报。

(3) 确定辐射源位置。

(4) 决定应采取的行动(如停止监视、连续监视、应用 ECM 等)。

通信侦察涉及以下 4 个与敌通信系统有关的问题:

(1) 它是什么系统?

(2) 它在什么地方?

(3) 它将干什么?

(4) 如何对付它?是干扰压制,还是摧毁?

由于信号环境可能同时包括几百个辐射源,故必须采用先进技术来分类信号和获取信息。低截获概率(LPI)信号的出现,以及通信信号密度的增加、频段的加宽、信号形式的复杂多变及功率谱密度的降低等因素,使通信侦察问题的复杂性增加了,困难更大了。

1.2.2 通信干扰

通信干扰分为自然干扰和人为干扰两类。因为考虑的是电子对抗,所以本书研究的是人为干扰,它是为了破坏敌方通信,而有意识施放的干扰。

1. 通信干扰的类型

通信干扰不同于雷达干扰,它没有消极干扰,只有积极干扰。通信干扰可分为压制性干扰和欺骗性干扰。压制性干扰用强大的干扰功率压制敌收信机的正常接收,使真实信号

模糊不清或完全“淹没”在干扰之中。欺骗性干扰发出和敌方通信十分相似的干扰信号，使敌方通信人员真假难分，有时它可以起到压制性干扰难以达到的目的。

根据通信干扰在技术和战术上的不同特点，大致可以将其分为以下几种类型：

- (1) 按本身的用途与频谱成分可分为瞄准式干扰、半瞄准式干扰和阻塞式干扰。
- (2) 按调制方式可分为键控干扰，音频、杂音调制干扰，脉冲调制干扰以及综合干扰。
- (3) 按照作用强度可分为压制干扰、强干扰和弱干扰。
- (4) 按照辐射方向可分为强方向性干扰、弱方向性干扰和无方向性干扰。
- (5) 按频段可分为甚低频、低频、中频、高频、甚高频、特高频和超高频等。
- (6) 按作用距离可分为本地干扰、近程干扰和远程干扰。
- (7) 按作用时间可分为短时间干扰和长时间干扰。

值得一提的是，对无线电通信消息传输的破坏或削弱，除了用上述电磁波干扰外，对无线信道的破坏同样可以起到破坏或削弱通信消息传输的目的。由于无线信道是个开放的空间，因此对其媒介特性的破坏及扰乱，同样将阻碍信号的传输。例如核爆炸引起的电离层剧烈变动可中断短波通信，在空中投放吸收或反射材料可中断微波通信等。但其代价较大，作用时间有限。

2. 干扰机的工作原理及组成

通信干扰的基本工作形式是点式、阻塞式和瞄准式，这里以瞄准式干扰为例来说明其工作原理与组成。瞄准式干扰机是通信干扰机的基本类型之一，也是应用最广泛的一种干扰机。如图 1-3 所示，对调频信号的干扰，必须要对准其频率，因为实质上干扰效果的好坏首先取决于干扰信号频率重合的准确度。这样，使干扰频率与信号频率准确重合就成为这种干扰系统的关键问题。目前，解决这个问题的主要方法是时间选择法。它的原理是：在某些时间干扰发射机发射，而在很短时间里又停止干扰；在停止干扰的这段时间内要接收敌方信号，并且用一定的方法记忆敌台信号的频率，然后再发射干扰；这时的干扰频率应调整得与记忆频率相一致，这样就可对敌台信号进行最有效的干扰。

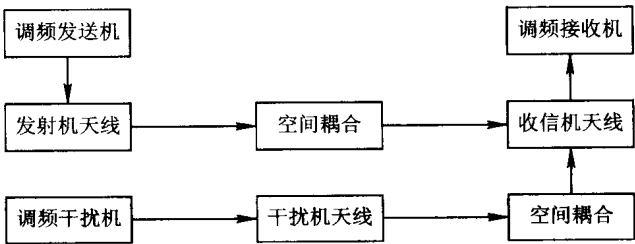


图 1-3 干扰条件下调频通信的相互关系

为了获得最佳的干扰效果，只要求在频率上对准还不够，还必须选择适合的干扰样式。这是因为通信有不同的样式，包括等幅报、音频调幅报、移频报等，与此相对应的最佳干扰样式也应分别为等幅报、音频调幅报和移频报的干扰。对于复杂信号，由于信号呈现不规则的起伏状态，因此一般施放杂音干扰。总之，在具体实施干扰的过程中，应根据对方无线电通信的方式，采取相应的干扰样式。

瞄准式干扰的原理如图 1-4 所示。收信机用来接收敌方无线电通信信号，它具有选择和放大的能力；重合设备用来“记忆”信号与干扰频率，并检查信号与干扰频率重合的准

确程度；发射机用来产生足够功率的干扰信号；调制器用来产生不同样式的调制信号；控制设备控制收发机交替工作。

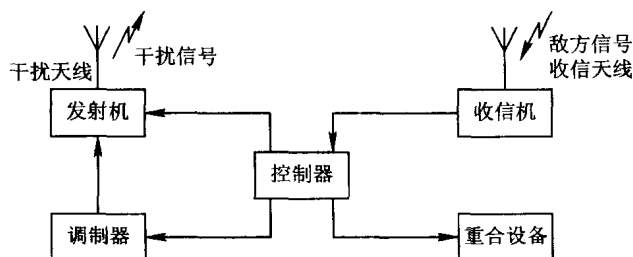


图 1-4 瞄准式干扰机的组成

瞄准式干扰机的工作过程是这样的：当收信机接收到敌方的信号后，便可确定其工作频率和信号样式，然后选择相应的最佳干扰样式，并使干扰的频率和天线的辐射方向对准敌台。这样施放的干扰，可以得到最好的效果。

3. 一体化通信对抗

为了在给定的地点和给定的时间里破坏敌方通信系统，对于干扰机来说要考虑两个基本问题：

- (1) 最佳的干扰波形和干扰策略是什么？
- (2) 对付这种通信系统的干扰的有效性如何？（系统对干扰的易损性如何？）

虽然要获得对这两个问题的精确回答通常是困难的，但必须回答这些问题。其答案与下列因素有关：发射功率电平、距离、频率、系统损耗/效率、天线方向图、噪声电平、调制方式、解调/检测方法、差错控编码、扩谱技术、数据格式、同步技术、系统失真、信道衰落和核效应、自干扰电平、干扰功率电平等。这些因素中有些与系统的设计有关，有些则与系统的应用条件有关。

为了有效地实施干扰，可把侦察、测向、干扰有机地结合在一起，形成综合通信对抗系统。该系统包括指挥控制中心、侦察子系统及干扰子系统等，整个系统在指挥中心的统一指挥下运行。侦察子系统完成对信号的搜索、截获、分选、识别和存储以及目标网台的测向定位；指挥控制中心对侦察数据进行综合分析处理，确定目标的威胁等级、干扰功率和干扰参数等；干扰子系统实施干扰。在干扰过程中，侦察子系统可以随时监视干扰效果，并通过指挥中心对干扰子系统进行调整，充分发挥干扰效能。

4. 通信网对抗

通信侦察与干扰的最终目的是对敌通信实施有效干扰，切断其信息传递。但随着军事通信向多路由、多节点的网络化通信体制发展，又出现了许多新的问题：通信干扰的有效性如何衡量？到底同时干扰多少个节点、切断多少条路由才能使整个网络瘫痪或失效？选择哪一个节点、哪一条路由才能进行有效干扰？干扰效果又如何评价？等等。要解决这些问题，必须寻求新的途径。

1.2.3 通信抗干扰

所谓抗干扰，就是采取各种技术措施，在各种干扰的条件下还能保证通信正常工作。

1. 常采用的抗干扰措施

常采用的抗干扰措施有频率捷变、实时频率自适应跳变、快速传输(突发通信)等。

频率捷变主要是针对通信干扰中的阻塞和瞄准式干扰的。例如阻塞式干扰,它主要是对某一频率范围实施强干扰,把这一频段内的通信信号淹没在干扰的噪声之中,使在这一频段范围内无法实施通信。如果这时能快速变换通信频率(频率捷变)而跳出这一干扰范围,且能快速沟通联络,快速传递信息实施通信,即使被对方侦察到,但在再次受到干扰前可能已经完成通信。

实时频率自适应跳变技术通过相应的自适应算法,在进行跳频通信过程中自动探测和删除受干扰的频点,使系统在无干扰或弱干扰频点上跳变,提高通信系统的抗阻塞干扰能力。

突发通信是一种时域抗干扰、低截获概率通信的好方式。它利用宽的频带,在一个随机的短时间内突发信息,短暂的发射时间加上随机性,使敌方的检测和测向十分困难,尤其当所用的频率快速变换时更是如此。

2. 新的抗干扰通信体制和系统

新的抗干扰通信体制和系统不但能在杂乱噪声、干扰中检测出信息,而且能够在敌人的欺骗式干扰中辨别真伪。这些新的体制和系统包括:

(1) 高速短波异步 DFH(差分跳频)系统。它利用前后频率的相关性来携带信息,跳速可达 5000 跳每秒。DFH 以高跳速带来高数据速率,同时高跳速还可以极大地提高抗跟踪干扰和多径干扰的能力。

(2) 毫米波噪声通信系统。其丰富的频带资源提供了抗干扰、抗截获的有效途径,并可获得极高的抗干扰增益。例如对于 4.8 kb/s 的数据传输率,利用 2 GHz 的射频带宽,其处理增益可达 56 dB 之多,若再加上自适应调零天线技术,又可对干扰产生 30 dB 的抑制度,系统的抗干扰增益可达 86 dB,这足以让干扰者“望而却步”。同时,毫米波具有很强的抗闪烁能力,电波在核爆炸后能较快地恢复正常。

(3) 隐蔽式紫外光通信系统。它适用于多种近距离抗干扰通信的场合,例如飞行编队的直升飞机间的通信。紫外光通信系统辐射的信号扩散在大气层中被大气吸收,信号强度按指数规律衰减,不易被探测和截获。若通信距离为 2 km,则在 3 km 处就探测不到信号了。要干扰强紫外光散射,目前还是不可能的。当保持无线电寂静时,紫外光通信可用来提供舰船之间的近距离通信。

(4) 现代卫星通信采用的跳变点波束新技术。它可使卫星获得很高的 G/T 和 EIRP 值。在有干扰的环境中,可大幅度改善接收机前端的信干比。可使地球站用小尺寸天线获得较高的吞吐量,用少量的跳变波束簇来覆盖地面面积。在不增加发射功率的条件下,可提高卫星通信的可靠性。

作者在近几年的研究中,根据现代战争电磁环境极其恶劣,电子战斗争极其复杂的局面,提出了“通中扰,扰中通”的攻防兼备的通信对抗新思路,即在设计抗干扰信号时,根据通信干扰和反干扰理论,把被传输的信号经过复杂的多域处理,使通信信号和干扰信号融为一体,在对敌通信造成强干扰的同时,我方可顺利实现信息传输。由于这种信号的抗干扰、抗截获、抗衰落能力特别强,因此既可实现“通中扰”,又可实现“扰中通”或“动中通”。