

[美] Richard A. Poisel 著

通信对抗技术国防科技重点实验室 译

杨小牛 审校

# 现代通信干扰 原理与技术

Modern Communications Jamming  
Principles and Techniques



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

# 现代通信干扰原理与技术

Modern Communications Jamming Principles and Techniques

[美] Richard A. Poisel 著  
通信对抗技术国防科技重点实验室 译  
杨小牛 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是第一本通信对抗专业的实用参考书。本书系统地介绍了现代抗干扰通信技术（主要是直接序列扩谱和跳频扩谱）和抗干扰通信的检测技术，详细讨论了每一种基本抗干扰信号类型的干扰技术，包括干扰直接序列扩谱信号、干扰快跳频扩谱信号、干扰慢跳频扩谱信号和干扰直接序列扩谱/跳频扩谱混合信号。

本书的读者对象是电子战和通信对抗领域的工程师和科技工作者，也可供通信领域的科技工作者参考。

©2004 ARTECH HOUSE, INC.

685 Canton Street, Norwood, MA 02062

本书中文翻译版专有版权由 Artech House Inc. 授予电子工业出版社，未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字：01-2005-0792

### 图书在版编目（CIP）数据

现代通信干扰原理与技术/（美）泊伊泽（Poisel,R.A.）著；通信对抗技术国防科技重点实验室译。—北京：电子工业出版社，2005.6

书名原文：Modern Communications Jamming Principles and Techniques

ISBN 7-121-00701-0

I. 现… II. ①泊…②通… III. 通信抗干扰 IV. TN975

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 040912 号

责任编辑：雷洪勤

印 刷：北京李史山胶印厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销：各地新华书店

开 本：787×1092 1/16 印张：22.5 字数：573 千字

印 次：2005 年 6 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：39.00 元

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。联系电话：（010）68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

# 译 者 序

从 20 世纪 80 年代以来, 出版界出版了大量讨论通信原理与技术、抗干扰通信系统的技术文献, 却没有一本是讨论通信对抗的。刚刚进入通信对抗领域的技术人员不得到处搜寻该领域的技术文献, 并通过学习这些技术文献从“以通信为中心”向“以通信对抗为中心”转变。这也就是作者编写本书的初衷, 从而诞生了第一本通信对抗专业的实用参考书。

本书是 Richard A. Poisel 博士继《通信电子战系统导论》(Artech House 出版社 2002 年出版) 之后的又一本专著, 详细讨论了抗干扰无线电通信的各种对抗技术和方法。本书系统介绍了现代抗干扰通信技术 (主要是直接序列扩谱和跳频扩谱), 抗干扰通信的检测, 以及对每一种基本抗干扰信号类型的干扰技术。

本书以军事通信对抗系统为焦点, 但抗干扰通信已经以便携式电话系统和无线局域网的形式大规模地渗透到民用通信市场。因此, 这里包含的许多信息也是那些从事便携式电话系统和无线局域网设计的人们所感兴趣的。

本书可以作为通信对抗领域工程师和科技工作者的技术参考书, 帮助他们:

- 设计和制造以扩谱抗干扰通信为特定目标的干扰机;
- 评估现代通信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。

本书前言部分和第 1, 2 章由陈鼎鼎翻译; 第 3 章由唐秀玲翻译; 第 4, 5 章由陈良文翻译; 第 6, 7 章由曹国英翻译; 第 8~11 章由金文敏翻译。陈鼎鼎负责全书的统稿和校对, 杨小牛对全书进行了仔细的审校。由于译者技术和翻译水平都有限, 对书中的有些技术术语难免把握不准, 译著中肯定会存在各种错误, 敬请读者批评指正。

译 者

2005 年 3 月于嘉兴

# 致 谢

本书的编写得到了很多人的支持和鼓励。我在陆军实验室度过了整个职业生涯，与我一起为研究最早的跳频截获系统而努力工作的同事们当然是最值得提及的。他们的努力工作和奉献精神为陆军提供了一流的能力，是他们的鼓励使我不断加强了对这些波形的根本理解。我本想一个一个地列出他们的名字，但害怕有所遗漏，他们中的每一个人都应该被遗漏。

感谢约翰·考辛基（John Kosinski）审阅了本书全文。

我的妻子戴比（Debbie）总是一如既往地给我带来灵感。没有她绵绵无期的耐心和支持，我不可能完成此书的编写。

# 前 言

本书讨论的现代通信信号是抗干扰(AJ)信号,主要包括直接序列扩谱(DSSS)和跳频扩谱(FHSS)信号,但又不仅仅局限于这两类信号。这些通信技术可以在一定程度上保护信号,防止被截获和干扰,但这些保护是非常脆弱的。本书还将讨论这些信号对电子攻击(EA)的敏感性程度。

现在已经出版了多种讨论如何设计通信系统来避免被截获或干扰(即抗干扰)的书。无论是设计一个通信系统还是设计一个反通信系统,其基本原理都是一样的,但观点各不相同,从而也就产生了微妙的差异。

从20世纪80年代以来,出版界出版了大量关于如何定义抗干扰通信系统的理论性能的技术文献,但这些文献没有一本是讨论通信对抗的。刚刚进入通信对抗领域的技术人员不得不四处搜寻该领域的技术文献,并通过学习这些技术文献从“以通信为中心”向“以通信对抗为中心”转变。这也是作者编写本书的初衷。

作者关注的焦点是军事通信对抗系统,因此,本书充满了浓厚的军事气息。抗干扰通信已经以便携式电话系统和无线局域网的形式大规模地渗透到民用通信市场,因此,这里包含的许多信息也是那些从事便携式电话系统和无线局域网设计的人们所感兴趣的。

本书第1章介绍干扰现代通信信号的概念,介绍基本的信号传输类型,阐述了战术通信网络的概念。

第2章讨论HF、VHF和UHF频段的信号传播,包括传播涉及的基本物理过程,以及一些数学模型。

第3章介绍抗干扰通信中通常使用的几种通信技术,包括这些技术在背景噪声和干扰噪声方面的性能。虽然可以利用模拟通信技术来设计抗干扰系统,但实际上大多数系统都是围绕数字信号设计的,因此,本书不讨论模拟信号。前向纠错(FEC)编码是一种用于对抗信道噪声和干扰的技术。本章还将讨论过多噪声对编码系统产生的影响及其产生的脆弱性;同时简要介绍了基于混沌的系统和超宽带系统。

所有扩谱通信都依赖伪随机序列来产生随机编码。这些序列都是由移位寄存器产生的。第4章简要介绍了线性反馈移位寄存器(LFSR)和线性递归序列(LRS)的概念。

第5章介绍了扩谱系统中与同步和跟踪有关的内容。同步和跟踪环节是电子攻击的有利目标。

第6章介绍对抗干扰目标实施电子攻击的各种典型的基本干扰技术。这些技术包括宽带噪声干扰、部分频段噪声干扰、音调干扰和脉冲干扰。

对付任何辐射目标的大多数电子攻击活动,首先需要测量射频频谱,以确定要攻击的信号是否存在。第7章主要介绍抗干扰目标检测中所涉及各个要素,同时还给出一种有限仿真的结果,以说明这些目标在一般情况下是如何被检测到的。

第8章讨论干扰直接序列扩谱信号时期望达到的性能。

第 9 章讨论对快跳频扩谱信号实施电子攻击时所期望达到的性能。

第 10 章则讨论对慢跳频扩谱信号实施电子攻击时所期望达到的性能。

第 11 章讨论对直接序列扩谱和跳频扩谱混合信号实施电子攻击时所期望达到的性能。

本书给出了大量数学公式，大部分都不包括推导过程。书中涉及各个特性方程都没有支持性推导过程。如果需要了解这些公式推导的详细信息，请参阅各参考文献。不过，要理解本书中的大部分公式，一般都需要读者掌握工程和物理专业大学本科课程中的基本微积分学原理。

# 目 录

<b>第 1 章 抗干扰通信和电子对抗</b> .....	(1)
1.1 抗干扰通信 .....	(1)
1.2 网络 .....	(2)
1.3 扩谱技术 .....	(3)
1.3.1 低检测概率 .....	(4)
1.3.2 低截获概率 (LPI) .....	(4)
1.3.3 低利用概率 (LPE) .....	(5)
1.3.4 抗干扰 .....	(5)
1.4 抗干扰信号类型 .....	(5)
1.4.1 直接序列扩谱 (DSSS) .....	(5)
1.4.2 跳频扩谱 (FHSS) .....	(6)
1.4.3 跳时 (TH) .....	(6)
1.4.4 混合体制 .....	(7)
1.5 同步 .....	(7)
1.6 频率范围效应 .....	(7)
1.7 结束语 .....	(8)
参考文献 .....	(8)
<b>第 2 章 无线电信号传播</b> .....	(10)
2.1 信号在 VHF 及其以上频段的传播 .....	(10)
2.1.1 噪声 .....	(10)
2.1.2 自由空间传播 .....	(12)
2.1.3 近地传播 .....	(13)
2.1.4 平坦的地球 .....	(13)
2.1.5 有效天线高度 .....	(20)
2.1.6 地面粗糙度 .....	(21)
2.1.7 衍射损耗 .....	(23)
2.1.8 建筑物内外的传播 .....	(25)
2.1.9 地面不平整度 .....	(25)
2.1.10 林地衰减 .....	(26)
2.1.11 多径接收 .....	(26)
2.1.12 多普勒频移 .....	(29)
2.1.13 室内传播 .....	(30)
2.1.14 60GHz 的氧吸收 .....	(31)
2.1.15 传播模型 .....	(32)
2.2 HF 频段的信号传播 .....	(36)



2.2.1 噪声 .....	(36)
2.2.2 地波 .....	(37)
2.2.3 天波 .....	(44)
2.3 结束语 .....	(49)
参考文献 .....	(50)
<b>第3章 抗干扰通信技术 .....</b>	<b>(53)</b>
3.1 通信系统模型 .....	(53)
3.2 存在干扰和噪声时的调制性能 .....	(54)
3.2.1 调制 .....	(54)
3.2.2 二进制信号接收 .....	(58)
3.2.3 频移键控性能 .....	(60)
3.2.4 相移键控性能 .....	(70)
3.2.5 浑沌移位键控 .....	(81)
3.3 误码控制 .....	(83)
3.4 编码技术 .....	(84)
3.4.1 分组编码 .....	(84)
3.4.2 卷积编码 .....	(88)
3.5 比特交错 .....	(90)
3.6 辅助信息 .....	(91)
3.6.1 干扰机状态信息 .....	(91)
3.6.2 信道状态信息 .....	(91)
3.7 处理增益 .....	(91)
3.8 直接序列扩谱 .....	(92)
3.9 跳频扩谱 .....	(95)
3.9.1 快跳频 .....	(96)
3.9.2 慢跳频 .....	(97)
3.10 直接序列和跳频混合扩频 .....	(100)
3.11 超宽带通信 .....	(102)
3.12 结束语 .....	(106)
参考文献 .....	(106)
<b>第4章 线性反馈移位寄存器与线性递归序列 .....</b>	<b>(109)</b>
4.1 Galois 场 .....	(109)
4.2 移位寄存器 .....	(112)
4.3 最长序列 .....	(120)
4.4 相关函数 .....	(120)
4.5 $m$ 序列的特性 .....	(123)
4.6 乘积码 .....	(123)
4.6.1 Gold 码 .....	(124)

4.6.2 Kasami 码 .....	(124)
4.7 线性反馈移位寄存器设计 .....	(125)
4.7.1 $m$ 序列线性反馈移位寄存器的合成 .....	(126)
4.7.2 生成 $m$ 序列的其他方式 .....	(126)
4.8 应用 .....	(127)
4.8.1 跳频扩谱 .....	(128)
4.8.2 直接序列扩谱 .....	(128)
4.9 结束语 .....	(128)
参考文献 .....	(129)
<b>第 5 章 扩谱系统中的同步与跟踪</b> .....	<b>(130)</b>
5.1 直接序列扩谱同步与跟踪 .....	(131)
5.1.1 直接序列扩谱同步 .....	(131)
5.1.2 直接序列扩谱跟踪 .....	(137)
5.2 跳频扩谱同步与跟踪 .....	(138)
5.2.1 跳频扩谱同步 .....	(138)
5.2.2 跳频扩谱跟踪 .....	(146)
5.3 结束语 .....	(150)
参考文献 .....	(150)
<b>第 6 章 干扰技术</b> .....	<b>(152)</b>
6.1 干扰策略 .....	(153)
6.1.1 跳频系统的部分驻留干扰 .....	(153)
6.1.2 噪声干扰 .....	(154)
6.1.3 音调干扰 .....	(160)
6.1.4 扫频干扰 .....	(168)
6.1.5 脉冲干扰 .....	(169)
6.1.6 跟踪干扰 .....	(169)
6.1.7 灵巧干扰 .....	(178)
6.2 资源共享技术 .....	(178)
6.2.1 间断观察技术 .....	(179)
6.2.2 功率共享技术 .....	(179)
6.2.3 时间共享技术 .....	(179)
6.3 干扰功率与信号功率之比 .....	(179)
6.3.1 $R^m$ 模型的干信比 .....	(180)
6.3.2 地面反射传播干信比 .....	(180)
6.3.3 Nicholson 干信比 .....	(182)
6.3.4 Egli 模型干信比 .....	(182)
6.4 干扰平台配置 .....	(183)
6.5 结束语 .....	(183)

参考文献 .....	(184)
<b>第 7 章 抗干扰信号的检测</b> .....	(186)
7.1 接收机 .....	(186)
7.1.1 守候接收机 .....	(187)
7.1.2 扫描接收机 .....	(187)
7.2 检波器 .....	(190)
7.2.1 匹配滤波器 .....	(191)
7.2.2 辐射仪 .....	(192)
7.3 滤波器组合 .....	(193)
7.4 直接序列 .....	(195)
7.4.1 对确定信号的检测 .....	(195)
7.4.2 对未知信号的检测 .....	(197)
7.5 跳频 .....	(199)
7.6 性能仿真 .....	(208)
7.6.1 仿真描述 .....	(208)
7.6.2 所侦察的统计值 .....	(212)
7.6.3 结果 .....	(213)
7.7 结束语 .....	(221)
参考文献 .....	(221)
<b>第 8 章 干扰直接序列扩谱系统</b> .....	(225)
8.1 直接序列扩谱的频谱特性 .....	(225)
8.2 直接序列扩谱系统的宽带噪声干扰 .....	(228)
8.2.1 BPSK 和 QPSK .....	(230)
8.2.2 混合系统的宽带噪声干扰 .....	(232)
8.3 直接序列扩谱系统的部分频段噪声干扰 .....	(233)
8.4 直接序列扩谱系统的脉冲干扰 .....	(235)
8.4.1 无编码直接序列扩谱系统的脉冲干扰 .....	(235)
8.4.2 重复编码 BPSK 直接序列扩谱系统的脉冲干扰 .....	(237)
8.5 直接序列扩谱系统的音调干扰 .....	(241)
8.5.1 单音干扰 .....	(242)
8.5.2 多音干扰 .....	(247)
8.6 超宽带信号 .....	(250)
8.6.1 宽带噪声干扰 .....	(250)
8.6.2 音调干扰 .....	(251)
8.6.3 脉冲干扰 .....	(252)
8.7 结束语 .....	(252)
参考文献 .....	(253)

<b>第 9 章 干扰快跳频系统</b> .....	(257)
9.1 每个数据比特的多个驻留 .....	(259)
9.2 快跳频系统的宽带噪声干扰 .....	(260)
9.3 快跳频系统的跟踪干扰 .....	(261)
9.3.1 跟踪/窄带噪声干扰 .....	(263)
9.3.2 跟踪/音调干扰 .....	(267)
9.3.3 跟踪干扰总结 .....	(270)
9.4 快跳频系统的部分频段噪声干扰 .....	(271)
9.4.1 错误编码信号的部分频段噪声干扰 .....	(273)
9.4.2 窄带噪声干扰机 .....	(274)
9.5 快跳频系统的单音干扰 .....	(275)
9.6 快跳频系统的多音干扰 .....	(275)
9.6.1 未编码快跳频 MFSK 信号 .....	(276)
9.6.2 编码快跳频 MFSK 信号 .....	(276)
9.7 快跳频系统的脉冲干扰 .....	(276)
9.8 结束语 .....	(277)
参考文献 .....	(279)
<b>第 10 章 干扰慢跳频系统</b> .....	(283)
10.1 慢跳频系统的宽带噪声干扰 .....	(283)
10.1.1 未编码 .....	(283)
10.1.2 编码 .....	(284)
10.2 慢跳频系统的部分频段噪声干扰 .....	(285)
10.2.1 未编码慢跳频 MFSK 系统 .....	(285)
10.2.2 编码慢跳频 MFSK 系统 .....	(290)
10.3 慢跳频系统的多音干扰 .....	(296)
10.3.1 未编码慢跳频 MFSK 系统 .....	(297)
10.3.2 编码慢跳频 MFSK 信号 .....	(301)
10.4 慢跳频系统的跟踪干扰 .....	(302)
10.4.1 噪声干扰 .....	(303)
10.4.2 音调干扰 .....	(303)
10.4.3 比较 .....	(304)
10.5 编码 MFSK 干扰 .....	(306)
10.6 结束语 .....	(307)
参考文献 .....	(308)
<b>第 11 章 干扰混合扩谱系统</b> .....	(311)
11.1 相干接收 .....	(312)
11.1.1 相干异步 BPSK 直接序列/慢跳频系统 .....	(313)
11.1.2 相干异步 QPSK 直接序列/慢跳频系统 .....	(314)

11.1.3	相干同步 BPSK 直接序列/慢跳频系统 .....	(314)
11.1.4	相干同步 QPSK 直接序列/慢跳频系统 .....	(315)
11.1.5	宽带噪声干扰相干直接序列/慢跳频系统 .....	(315)
11.1.6	部分频段噪声干扰相干直接序列/慢跳频系统 .....	(317)
11.1.7	多音干扰相干直接序列/慢跳频系统 .....	(319)
11.1.8	窄带噪声跟踪干扰相干直接序列/慢跳频系统 .....	(321)
11.1.9	干扰相干直接序列/慢跳频系统的比较 .....	(321)
11.2	非相干接收 .....	(322)
11.2.1	非相干异步直接序列/慢跳频系统 .....	(324)
11.2.2	非相干同步直接序列/慢跳频系统 .....	(324)
11.2.3	宽带噪声干扰非相干直接序列/慢跳频系统 .....	(325)
11.2.4	部分频段噪声干扰非相干直接序列/慢跳频系统 .....	(327)
11.2.5	非相干直接序列/跳频扩谱系统的多音干扰 .....	(329)
11.2.6	干扰直接序列/慢跳频的性能比较 .....	(332)
11.3	结束语 .....	(334)
	参考文献 .....	(334)
<b>附录 A</b>	<b>Q 函数</b> .....	<b>(335)</b>
A.1	引言 .....	(335)
A.2	马氏 Q 函数 .....	(336)
A.3	广义 Q 函数 .....	(338)
	参考文献 .....	(338)
<b>附录 B</b>	<b>仿真网络</b> .....	<b>(339)</b>
<b>附录 C</b>	<b>缩略语</b> .....	<b>(342)</b>

# 第 1 章 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。截获信息与阻止信息传输两者之间的区别在于, 前者能够利用敌人使用的信息, 但这不是本书讨论的重点; 阻止信息传输是本书后面讨论的主题。

## 1.1 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。这种技术还有助于抗截获, 但这不是本书讨论的主题。

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);
- 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: (1) 干扰; (2) 欺骗; (3) 定向能 (DE)。

根据信息的 3 个主要原则: 相关性、准确性和适时性<sup>[1]</sup>, 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。电子防护的一个例子是掩蔽友军通信，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。

问题自然就提出来了：当通信使用了抗干扰技术时，通信干扰如何才能很好地阻止信息传输？这就是本书讨论的主题。从 20 世纪 80 年代开始公开出版了一些关于通信抗干扰技术的文献。在此之前，美国国防部在该技术领域的绝大部分投资都是保密的和不可公开的。

从那时开始，至今已经出版了多本关于抗干扰通信技术和系统的书。但这些文献的主题都是如何设计通信系统来挫败对抗技术，即如何在存在故意干扰的情况下进行通信。而本书的重点恰好相反，它讨论的是当干扰目标采用了抗干扰技术时，如何有效对其实施干扰。这两种情况所遵循的基本物理原理是一样的，只是它们使用技术的目的不同而已。

本书的大多数例子和具体讨论都以地面移动通信为基础，其结果可广泛应用于陆军和海军陆战队的军事行动中。但是这里讨论的技术都是一些基本技术，可以应用于所有军种，准确地说，是可以应用于使用射频通信的所有军种。当然，抗干扰电子对抗（AJ ECM）的讨论结果同样可以应用于民用通信态势。特别地，许多讨论都可以直接应用于前面提到的便携式电话系统和个人通信系统。显然，在军事作战中，我们的敌人经常会利用民用通信手段进行指挥控制<sup>[2, 3]</sup>。

## 1.2 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，这样许多结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。一种是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（PTT）网络，小组中的所有人员都可以互相通信。还有一种是一对多/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，其中一个结点作为网络中心。最后一种是一对一网络，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，所有结点都能互相通信，但一般每次只有两个结点进行通信。所有这些形式的网络都很容易受到干扰。

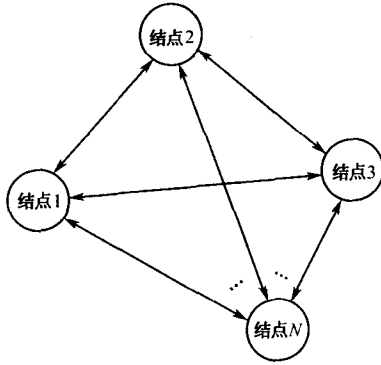


图 1.1 多对多配置的战术射频通信网络

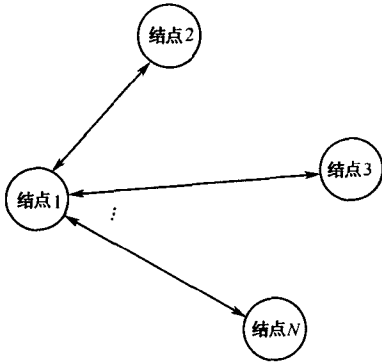


图 1.2 一对多和多对一网络，如 VSAS 网络

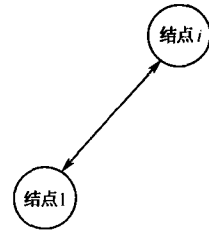


图 1.3 一对一网络

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，那么这类技术可以被叫做“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，那么这类技术可以被称为抗干扰 (AJ) 技术。

在战术作战行动中，要挫败敌人的射频通信，方法之一就是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。关于通信干扰的更多信息可参阅参考文献[4~8]。

### 1.3 扩谱技术

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 1000 比特出现 1 比特错误），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。本书的第 3 章将证明，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。

这里只对频谱扩展技术作简要介绍。扩谱技术的详细内容将在后面几章讨论。

### 1.3.1 低检测概率

低检测概率（LPD）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。

### 1.3.2 低截获概率（LPI）

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