

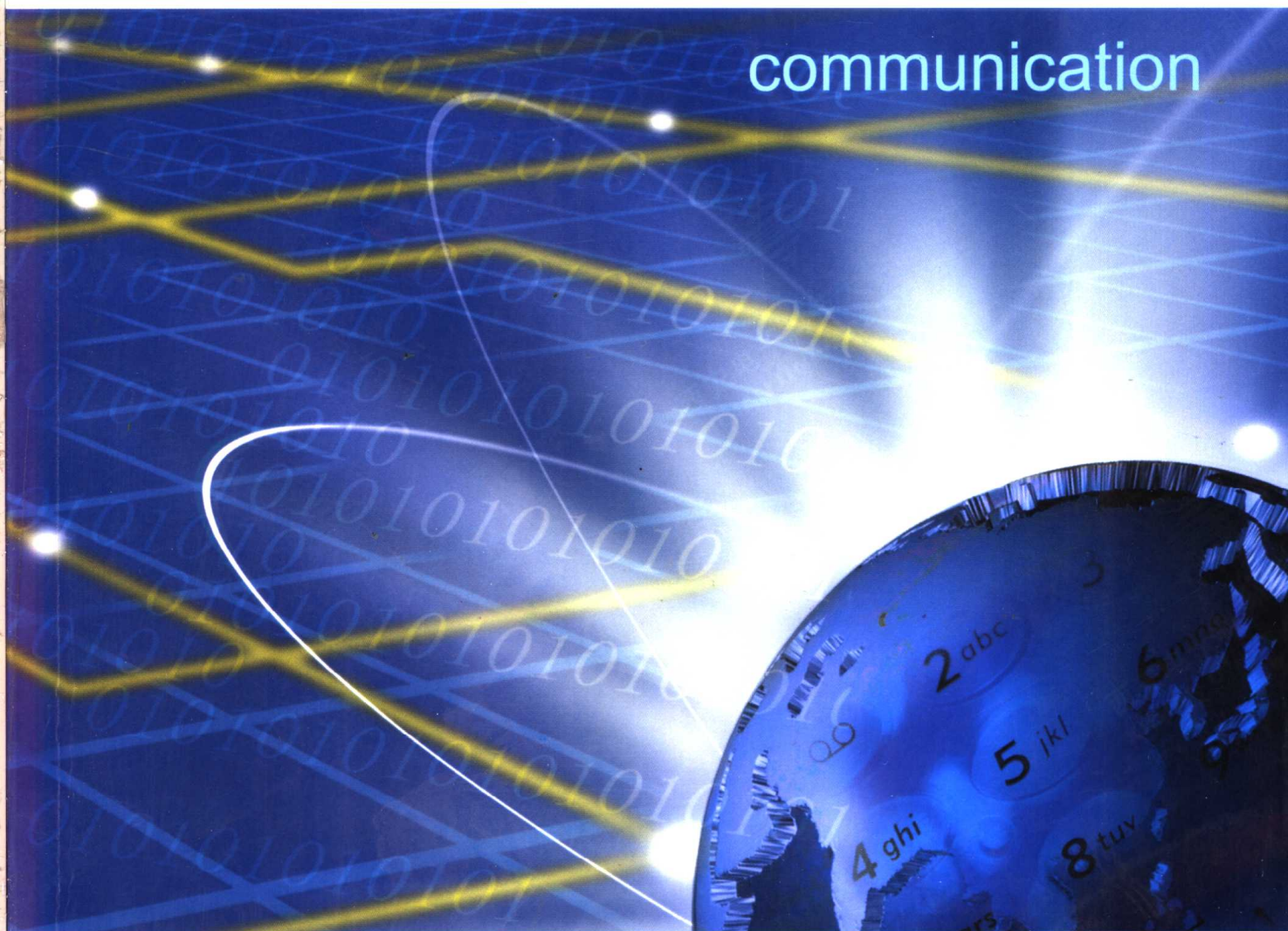


高等学校通信类系列教材

# 扩展频谱通信及其多址技术

□ 曾兴雯 刘乃安 孙献璞 编著

communication



西安电子科技大学出版社

[http:// www.xduph. com](http://www.xduph.com)

21 世纪高等学校通信类系列教材

# 扩展频谱通信及其多址技术

曾兴雯 刘乃安 孙献璞 编著

西安电子科技大学出版社

2004

## 内 容 简 介

随着微电子技术和通信技术的迅猛发展,扩展频谱技术已被广泛地应用于通信系统和其它系统中。本书主要介绍扩展频谱技术的基本理论和扩展频谱系统,包括扩展频谱的理论基础,扩展频谱的几种基本方式和混合扩频方式,扩频系统中所用的伪随机码,扩频信号的相关接收,扩频系统的同步,特殊器件在扩频系统中的应用,扩频多址技术以及扩频技术的实际应用等内容。

本书不仅可作为通信及电子信息类专业的研究生或本科生的教材,也可作为相关领域科研人员和工程技术人员的参考书。

☆ 本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

### 图书在版编目(CIP)数据

扩展频谱通信及其多址技术/曾兴雯等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2004.5

(21世纪高等学校通信类系列教材)

ISBN 7-5606-1375-6

I. 扩… II. 曾… III. ①宽带通信系统—高等学校—教材 ②多路通信系统—高等学校—教材  
N. TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 021487 号

策 划 马乐惠

责任编辑 王晓杰 李惠萍

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 2004年5月第1版 2004年5月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 17.375

字 数 405千字

印 数 1~4 000册

定 价 19.00元

ISBN 7-5606-1375-6/TN·0263(课)

**XDUP 1646001—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。

# 前 言

在信息化社会,通信系统担负着信息传输、交换和处理的重要任务。通信技术的发展代表了一个国家科学技术发展的现状,也成为国民经济发展的一个重要的推动力。扩展频谱通信是通信的一个重要分支和发展方向,它是扩展频谱技术和通信相结合的产物。由于扩展频谱技术具有抗干扰能力强、截获率低、多址能力强、抗多径、保密性好及测距能力强等一系列的优点,使得扩展频谱通信越来越受到人们的重视。随着大规模或超大规模集成电路技术、微电子技术、微处理技术的迅猛发展以及一些新型器件的广泛应用,扩展频谱通信的发展迈上了一个新的台阶,它不仅在军事通信中占有重要的地位,而且正迅速地渗透到民用通信中。可以毫不夸张地讲,在现代通信系统,特别是无线通信系统中,没有扩展频谱技术,这些系统要生存都是比较困难的。

本书是作者在总结了多年的科研和教学成果的基础上编写的,主要内容包括:干扰与抗干扰的发展概述和扩展频谱技术的特点;扩展频谱技术的理论基础和扩展频谱技术的直接序列扩频、跳频、跳时和线性调频几种基本方式及其混合扩展频谱技术;扩展频谱系统用的伪随机码的产生方法及特性;扩展频谱系统的相关解扩及其性能;扩展频谱系统的同步方法;特殊器件在扩展频谱系统中的应用,主要介绍声表面波器件(SAWD)及扩频专用集成电路(ASIC);扩频多址技术的原理和应用;扩展频谱技术的应用等。

本书不仅可作为高等院校相关专业研究生或本科生的教材(本课程的先修课程为:通信原理、电路、信号与系统、概率论和随机过程、模拟/数字电路等),也可作为从事扩频通信及相关专业的研究与开发工作的科技人员的参考书。

本书由曾兴雯主编,参加编写的还有刘乃安、孙献璞。曾兴雯编写了第1、2、3、5章和第4章的4.6、4.7节以及第6章的6.1~6.4节;刘乃安编写了第4章的4.1~4.5节、第6章的6.5节以及第8章;孙献璞编写了第7章。

在本书的编写过程中得到了西安电子科技大学通信工程学院的有关专家、教授的支持和帮助,在此表示深深的谢意。对西安电子科技大学出版社的领导和编辑对本书的关心和付出的辛劳我们在此也表示谢意。

由于编者的水平有限,难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2004年1月

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....            | 1  |
| 1.1 通信中的干扰与抗干扰 .....      | 1  |
| 1.1.1 干扰 .....            | 1  |
| 1.1.2 干扰与抗干扰技术的发展 .....   | 2  |
| 1.1.3 抗干扰技术 .....         | 2  |
| 1.2 扩展频谱技术 .....          | 3  |
| 1.2.1 扩展频谱系统的分类 .....     | 3  |
| 1.2.2 扩频系统的特点 .....       | 3  |
| 1.2.3 扩频技术在通信系统中的应用 ..... | 4  |
| 本章参考文献 .....              | 6  |
| 第 2 章 扩频技术及其理论基础 .....    | 7  |
| 2.1 扩频技术的理论基础 .....       | 7  |
| 2.1.1 Shannon 公式 .....    | 7  |
| 2.1.2 信号带宽与信噪比的互换 .....   | 8  |
| 2.1.3 扩频通信系统的数学模型 .....   | 11 |
| 2.1.4 扩频系统的物理模型 .....     | 12 |
| 2.2 直接序列扩频 .....          | 12 |
| 2.2.1 直接序列扩频系统的组成 .....   | 13 |
| 2.2.2 直扩系统的信号分析 .....     | 13 |
| 2.2.3 处理增益与干扰容限 .....     | 17 |
| 2.2.4 软扩频 .....           | 19 |
| 2.2.5 直扩系统的特点和用途 .....    | 20 |
| 2.3 跳频 .....              | 21 |
| 2.3.1 跳频系统的组成 .....       | 21 |
| 2.3.2 跳频系统的信号分析 .....     | 21 |
| 2.3.3 跳频系统的特点和用途 .....    | 24 |
| 2.4 跳时 .....              | 25 |
| 2.5 线性调频 .....            | 26 |
| 2.6 混合扩频系统 .....          | 28 |
| 2.6.1 FH/DS 系统 .....      | 29 |
| 2.6.2 TH/DS 系统 .....      | 30 |
| 2.6.3 TH/FH 系统 .....      | 31 |
| 2.7 各种扩频方式的比较 .....       | 31 |

|                                            |           |
|--------------------------------------------|-----------|
| 2.7.1 FH 与 DS 的比较 .....                    | 32        |
| 2.7.2 特性分析 .....                           | 33        |
| 2.7.3 处理增益 .....                           | 33        |
| 2.7.4 综合比较 .....                           | 33        |
| 本章参考文献 .....                               | 34        |
| 思考与练习题 .....                               | 34        |
| <b>第 3 章 扩频系统的伪随机序列 .....</b>              | <b>36</b> |
| 3.1 伪随机码的概念 .....                          | 36        |
| 3.1.1 移位寄存器序列 .....                        | 36        |
| 3.1.2 序列的相关特性 .....                        | 37        |
| 3.1.3 伪噪声码的定义 .....                        | 38        |
| 3.2 m 序列的产生方法 .....                        | 39        |
| 3.2.1 反馈移位寄存器 .....                        | 39        |
| 3.2.2 循环序列发生器 .....                        | 39        |
| 3.2.3 m 序列发生器 .....                        | 46        |
| 3.2.4 不可约多项式的个数 $N_1$ 和 m 序列条数 $N_m$ ..... | 48        |
| 3.2.5 m 序列的反馈系数 .....                      | 50        |
| 3.2.6 m 序列发生器结构 .....                      | 52        |
| 3.3 m 序列的性质 .....                          | 54        |
| 3.3.1 m 序列的性质 .....                        | 54        |
| 3.3.2 m 序列的相关特性 .....                      | 56        |
| 3.3.3 m 序列的功率谱 .....                       | 57        |
| 3.4 Gold 码 .....                           | 58        |
| 3.4.1 地址码的选择 .....                         | 58        |
| 3.4.2 Gold 码的产生 .....                      | 58        |
| 3.4.3 Gold 码的相关特性 .....                    | 61        |
| 3.4.4 平衡 Gold 码 .....                      | 61        |
| 3.4.5 产生平衡 Gold 码的方法 .....                 | 62        |
| 3.5 M 序列 .....                             | 65        |
| 3.5.1 M 序列的构成方法 .....                      | 65        |
| 3.5.2 M 序列的性质 .....                        | 69        |
| 3.6 R-S 码 .....                            | 70        |
| 3.6.1 R-S 码的概念 .....                       | 70        |
| 3.6.2 R-S 码的性质 .....                       | 71        |
| 3.6.3 R-S 码的产生 .....                       | 73        |
| 本章参考文献 .....                               | 74        |
| 思考与练习题 .....                               | 74        |
| <b>第 4 章 扩频信号的相关接收 .....</b>               | <b>75</b> |
| 4.1 相关接收的最佳接收机 .....                       | 75        |

|            |                |            |
|------------|----------------|------------|
| 4.1.1      | 相关接收机          | 75         |
| 4.1.2      | 匹配滤波器实现        | 78         |
| 4.2        | 扩频相关接收机的结构     | 79         |
| 4.2.1      | 超外差接收机与数字中频接收机 | 79         |
| 4.2.2      | 直接变换接收机        | 81         |
| 4.2.3      | 零中频接收机         | 82         |
| 4.2.4      | 软件无线电接收机       | 82         |
| 4.3        | 相关接收的相关器       | 83         |
| 4.3.1      | 相关与相关器         | 83         |
| 4.3.2      | 相关方式           | 85         |
| 4.3.3      | 相关器的性能         | 92         |
| 4.4        | 直扩系统的相关接收      | 97         |
| 4.4.1      | 直扩系统接收机组成及解扩方式 | 97         |
| 4.4.2      | 直扩信号的相关处理      | 98         |
| 4.5        | 直扩系统的性能        | 101        |
| 4.5.1      | 直扩系统的抗干扰性能     | 101        |
| 4.5.2      | 直扩系统的多址性能      | 107        |
| 4.5.3      | 直扩系统的数据传输性能    | 109        |
| 4.5.4      | 直扩系统的抗截获性能     | 112        |
| 4.6        | 跳频系统的相关接收      | 113        |
| 4.6.1      | 跳频接收机的组成       | 113        |
| 4.6.2      | 跳频信号的相关处理      | 114        |
| 4.6.3      | 跳频系统的抗干扰性能     | 116        |
| 4.7        | 跳频器            | 120        |
| 4.7.1      | 跳频器            | 120        |
| 4.7.2      | 跳频器的组成         | 120        |
| 4.7.3      | 直接式频率合成器       | 121        |
| 4.7.4      | 间接式频率合成器       | 123        |
| 4.7.5      | 直接式数字频率合成器     | 124        |
| 4.7.6      | 跳频图案           | 127        |
| 4.7.7      | 跳频速率的选择        | 128        |
| 4.8        | 扩频信号的信号解调      | 129        |
|            | 本章参考文献         | 129        |
|            | 思考与练习题         | 130        |
| <b>第5章</b> | <b>扩频系统的同步</b> | <b>131</b> |
| 5.1        | 同步不确定性的来源      | 131        |
| 5.2        | 直扩系统的同步        | 133        |
| 5.2.1      | 同步过程           | 133        |
| 5.2.2      | 初始同步方法         | 134        |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 5.3 滑动相关检测 .....                 | 138        |
| 5.3.1 滑动相关同步器 .....              | 138        |
| 5.3.2 “滑动—保持”同步器 .....           | 140        |
| 5.4 直扩同步的跟踪 .....                | 140        |
| 5.4.1 延迟锁定环 .....                | 141        |
| 5.4.2 双 $\Delta$ 值延迟锁定环 .....    | 142        |
| 5.4.3 $\tau$ -抖动环 .....          | 143        |
| 5.5 跳频系统的同步 .....                | 143        |
| 5.5.1 跳频同步的内容和要求 .....           | 143        |
| 5.5.2 跳频图案的同步 .....              | 144        |
| 5.6 跳频系统的扫描驻留同步法 .....           | 149        |
| 5.6.1 基本原理 .....                 | 149        |
| 5.6.2 同步头的结构 .....               | 150        |
| 5.6.3 扫描驻留同步 .....               | 151        |
| 5.6.4 性能分析 .....                 | 152        |
| 本章参考文献 .....                     | 155        |
| 思考与练习题 .....                     | 156        |
| <b>第 6 章 特殊器件在扩频系统中的应用 .....</b> | <b>157</b> |
| 6.1 声表面波器件 .....                 | 157        |
| 6.1.1 声表面波器件 .....               | 157        |
| 6.1.2 声表面波器件的特点 .....            | 162        |
| 6.1.3 声表面波技术的应用 .....            | 163        |
| 6.2 声表面波抽头延迟线 .....              | 164        |
| 6.2.1 声表面波抽头延迟线 .....            | 164        |
| 6.2.2 扩频调制器 .....                | 165        |
| 6.2.3 解扩解调器 .....                | 167        |
| 6.2.4 同步 .....                   | 172        |
| 6.2.5 带固定延迟线的声表面波抽头延迟线 .....     | 177        |
| 6.2.6 频率偏移对相关峰的影响 .....          | 178        |
| 6.2.7 FH/DS 系统的快速同步 .....        | 179        |
| 6.3 声表面波相关/卷积器 .....             | 180        |
| 6.3.1 声表面波卷积器 .....              | 180        |
| 6.3.2 声表面波相关/卷积器 .....           | 183        |
| 6.3.3 应用 .....                   | 183        |
| 6.4 声表面波延迟线 .....                | 184        |
| 6.4.1 固定延迟线 .....                | 184        |
| 6.4.2 声表面波振荡器 .....              | 185        |
| 6.4.3 色散延迟线 .....                | 186        |
| 6.5 专用集成芯片 .....                 | 188        |



|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| 6.5.1 Stel-2000A .....                    | 189        |
| 6.5.2 Intersil 扩频处理芯片 .....               | 195        |
| 6.5.3 SC2001 .....                        | 201        |
| 6.5.4 DCA(Digital Correlator Array) ..... | 204        |
| 6.5.5 跳频处理单元 DE6003 .....                 | 207        |
| 本章参考文献 .....                              | 208        |
| 思考与练习题 .....                              | 208        |
| <b>第 7 章 扩频多址技术</b> .....                 | <b>210</b> |
| 7.1 蜂窝技术及多址技术的基本概念 .....                  | 210        |
| 7.1.1 蜂窝技术的基本概念 .....                     | 210        |
| 7.1.2 多址技术的基本概念 .....                     | 213        |
| 7.2 扩频多址技术的分类及特点 .....                    | 216        |
| 7.2.1 跳频多址(FHMA) .....                    | 216        |
| 7.2.2 码分多址(CDMA) .....                    | 217        |
| 7.2.3 混合码分多址 .....                        | 218        |
| 7.3 码分多址系统的原理与应用 .....                    | 219        |
| 7.3.1 基本原理 .....                          | 219        |
| 7.3.2 Walsh 函数 .....                      | 220        |
| 7.3.3 实际系统应用 .....                        | 220        |
| 7.4 码分多址技术的容量分析 .....                     | 225        |
| 7.4.1 单区制的系统容量 .....                      | 226        |
| 7.4.2 蜂窝系统的通信容量 .....                     | 227        |
| 本章参考文献 .....                              | 230        |
| 思考与练习题 .....                              | 231        |
| <b>第 8 章 扩展频谱技术的应用</b> .....              | <b>232</b> |
| 8.1 地面战术移动通信系统 .....                      | 232        |
| 8.1.1 国外战术跳频电台概况 .....                    | 232        |
| 8.1.2 跳频电台中的主要技术问题 .....                  | 235        |
| 8.1.3 PRC-80 跳频电台简介 .....                 | 238        |
| 8.2 卫星通信系统 .....                          | 240        |
| 8.3 民用移动通信系统 .....                        | 241        |
| 8.4 JTIDS 系统 .....                        | 244        |
| 8.5 GPS 系统 .....                          | 247        |
| 8.5.1 系统概况 .....                          | 248        |
| 8.5.2 GPS 的码和信号 .....                     | 249        |
| 8.5.3 GPS 的定位原理 .....                     | 251        |
| 8.6 无线局域网 .....                           | 252        |
| 8.6.1 无线局域网的特征 .....                      | 252        |
| 8.6.2 无线局域网标准 .....                       | 254        |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 8.6.3 WLAN 的组成及工作原理 ..... | 255 |
| 8.6.4 无线局域网中的扩频技术 .....   | 257 |
| 8.7 蓝牙技术 .....            | 258 |
| 8.8 测距与测速系统 .....         | 261 |
| 8.9 其它方面的应用 .....         | 264 |
| 8.9.1 电力线或照明线扩频载波通信 ..... | 264 |
| 8.9.2 微弱通信 .....          | 265 |
| 8.9.3 矿井通信 .....          | 265 |
| 8.9.4 各种测量 .....          | 266 |
| <b>本章参考文献</b> .....       | 266 |

# 第 1 章 绪 论

人类社会进入到了信息社会,通信现代化是人类社会进入信息时代的重要标志。怎样在恶劣的环境条件下保证通信有效地、准确地、迅速地进行,是当今通信工作者所面临的一大课题。扩展频谱通信是现代通信系统中的一种新兴的通信方式,其较强的抗干扰、抗衰落和抗多径性能以及频谱利用率高、多址通信等诸多优点越来越为人们所认识,并被广泛地应用于军事通信和民用通信的各个领域,从而推动了通信事业的迅速发展。

## 1.1 通信中的干扰与抗干扰

在现代通信中遇到的一个重要问题就是抗干扰问题。随着通信事业的迅速发展,各类通信网的建立,使得有限的频率资源更加拥挤,相互之间的干扰更为严重,如何防止和降低这种相互之间的干扰,成为一大难题。

现代战争首先是电子战,谁在电子战中取得优势,就会加重谁在战争中取胜的筹码,而失去电子战优势的一方,要取得战争的胜利是很困难的。因为在电子战中处于劣势,将导致通信中断、指挥失灵、部队失控、泄密等事件的发生,这在战争史上不乏其例,中东战争、海湾战争、前南斯拉夫战争等就是很好的佐证。因而电子战越来越受到各国政府和军方的重视,不惜投入大量的人力物力,对电子对抗技术进行研究,以便在电子战中取得优势,进而取得战争的胜利。

### 1.1.1 干扰

在通信中遇到的干扰可分为两类:人为干扰和非人为干扰。人为干扰是一种故意干扰,意在对付方的通信实施干扰,达到破坏对方通信的目的。而非人为干扰,是一种非故意干扰,大多为来自自然界的干扰,如天电干扰、噪声等,这些干扰都是客观存在的,非故意的。由于非人为干扰是客观存在的,对其只能削弱(如滤波、自适应均衡等),不能消除。对于人为干扰,可以消除或削弱。在通信中,不仅要尽可能消除或减少非人为的干扰,而且更要对抗那些敌意的人为干扰,这些人为干扰主要有:

(1) 单频干扰,或称为固频干扰。这种干扰的干扰频率  $f_j$  正好对准对方的通信频率  $f_s$ , 即  $f_j = f_s$ , 形成同频干扰。

(2) 窄带干扰。这种干扰的干扰频率  $f_j$  对准对方的通信频率  $f_s$ , 干扰信号的频带很窄,可以与有用信号频带相比拟。这样,干扰信号的能量可以全部落入有用信号的频带内,从而对有用信号形成干扰。

(3) 正弦脉冲干扰。这种干扰类似于单频干扰,不同点在于其发送是以脉冲形式发送的,其峰值功率较强。

(4) 跟踪式干扰。由一个频率跟踪系统和干扰机组成，先测定通信频率，然后将干扰机干扰信号频率对准通信频率进行干扰。

(5) 转发式干扰。这种干扰首先把有用信号接收下来，再经放大和噪声污染后发送出去，对有用信号实施干扰。

(6) 宽带阻塞式干扰。这种干扰是在整个信号的通信频带内施放很强的干扰信号，其干扰功率与带宽成正比，使通信一方在整个通信频带内都无法保证正常的通信。

1.1.2 干扰与抗干扰技术的发展

在通信对抗中，一方要破坏对方的有效通信，而另一方则要尽力摆脱对方的干扰，保障自己的通信畅通无阻，因而干扰与抗干扰技术在这种对抗中得到发展，图 1-1 为战场通信对抗的发展过程。最早的干扰采用单频干扰，当通信一方受到此干扰时，只好通过改变通信频率来躲避这种干扰；当干扰一方发现干扰无效后，也随之改变干扰频率，使干扰频率再次对准通信频率，实施干扰。最初的通信对抗就是采用这种捉迷藏的方式进行的，改变的频率也不是很多。后来，通信频率数增加，可以不断地改变频率，干扰一方就采用跟踪式干扰方式，对通信一方进行干扰。随着科学技术的发展和扩频技术的问世，通信对抗发展到了一个新的水平。通信采用跳频方式，其频率不断地、随机地跳变，加大了干扰的难度。干扰一方采用转发式干扰，将跳频信号接收下来，经加噪声放大后转发出去，对跳频信号实施干扰。对付这种转发式干扰，一是提高跳频速率，使之达到转发式干扰无法干扰的程度；再者采用多网、引诱和其它的电子反对抗措施(ECCM, Electronic Counter-Counter-Measures)，对抗转发式干扰。对付上述的反对抗措施之一，是采用宽带阻塞式干扰，但这种干扰由于频带很宽，所需干扰功率相当大，使用比较困难，而且极易受到对方导弹的攻击。

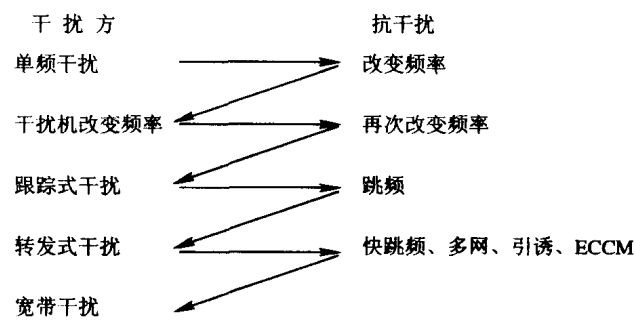


图 1-1 战场通信对抗发展图

由此可见，通信对抗的双方在对抗中发展，在对抗中提高，到底谁战胜谁还很难预料。但可以预言，对抗的双方将在对抗中得到进一步的发展和完善，因而对抗也会更加激烈。

1.1.3 抗干扰技术

当前采用的抗干扰技术主要有以下几种。

1) 扩展频谱技术

扩展频谱技术具有很强的抗干扰能力，可以抗击多种人为干扰，是发展非常迅速的一

种抗干扰技术。本书将详细介绍扩展频谱技术及其在通信中的应用。

#### 2) 开发强方向性的毫米波频段

在短波波段,电波的传播方式主要是靠天波传播,超短波也主要靠天波和视线传播。由于这些波段拥挤,因而相互之间的干扰比较严重。在毫米波波段,频段很宽,采用视线传播,方向性很强,有利于增加抗干扰性能。

#### 3) 加密技术

加密技术用于防止传送的信息被敌方截获、窃听,它在保密通信中是一个重要的技术手段。

#### 4) 猝发通信技术

这种通信方式在通信的时间上有很大的随机性,在非常短的时间内,将要发送的信号发送出去,其它时间处于静止状态,使干扰机很难捕捉到这种猝发信号,因此具有很强的抗干扰的能力。如流星余迹通信就属于这种通信。

#### 5) 天线零相技术

这种技术是将天线方向图的零点对准干扰机,而将主瓣对准发信机,这样,对接收机而言,既能接收到有用信号,又可将干扰信号大大地衰减,从而达到抗干扰的目的。

#### 6) 分集技术

分集技术包括空间分集、频率分集、角度分集、极化分集等。采用分集技术,可改善系统性能,提高系统抗干扰的能力。

## 1.2 扩展频谱技术

扩展频谱系统具有很强的抗干扰性能,其多址能力、保密、抗多径等功能也倍受人们的关注,被广泛地应用于军事通信和民用通信中。

扩展频谱系统是指发送的信息被展宽到一个很宽的频带上,这一频带比要发送的信息带宽宽得多,在接收端通过相关接收,将信号恢复到信息带宽的一种系统,简称为扩频系统或 SS(Spread Spectrum)系统。

### 1.2.1 扩展频谱系统的分类

扩频系统包括下面几种扩频方式:

- (1) 直接序列扩频,记为 DS(Direct Sequence);
- (2) 跳频,记为 FH(Frequency Hopping);
- (3) 跳时,记为 TH(Time Hopping);
- (4) 线性调频,记为 Chirp。

除了上面四种基本方式以外,还有这些扩频方式的组合方式,如 FH/DS, TH/DS, FH/TH 等。

### 1.2.2 扩频系统的特点

#### 1. 抗干扰能力强

由于利用了扩展频谱技术,将信号扩展到很宽的频带上,在接收端对扩频信号进行相

关处理即带宽压缩,恢复成窄带信号。对干扰信号而言,由于与扩频信号不相关,则被扩展到一个很宽的频带上,使之进入信号通频带内的干扰功率大大降低,相应地增加了相关器输出端的信号/干扰比,因而具有较强的抗干扰能力。扩频系统的抗干扰能力主要取决于系统的扩频增益,或称之为处理增益。对大多数人为干扰而言,扩频系统都具有很强的对抗能力。

## **2. 可进行多址通信**

扩频通信本身就是一种多址通信,即扩频多址(SSMA, Spread Spectrum Multiple Access),用不同的扩频码构成不同的网,类似于码分多址(CDMA)。CDMA 是未来全球个人通信的首选多址方式。虽然扩频系统占据了很宽的频带,完成信息的传输,但其很强的多址能力保证了它的高的频谱利用率,其频谱利用率比单路单载波系统还要高得多。这种多址方式组网灵活,入网迅速,适合于机动灵活的战术通信和移动通信。

## **3. 安全保密**

扩频通信也是一种保密通信。扩频系统发射的信号频谱密度低,近似于噪声,有的系统可在 $-20\sim-15$  dB 信噪比条件下工作,对方很难测出信号的参数,从而达到安全保密通信的目的。扩频信号还可以进行信息加密,如要截获和窃听扩频信号,则必须知道扩频系统用的伪随机码、密钥等参数,并与系统完全同步,这样就给对方设置了更多的障碍,从而起到了保护信息的作用。

## **4. 数模兼容**

扩频系统既可以传输数字信号,也可传输模拟信号。

## **5. 抗衰落**

由于扩频信号的频带很宽,当遇到衰落,如频率选择型衰落,它只影响到扩频信号的一小部分,因而对整个信号的频谱影响不大。

## **6. 抗多径**

多径问题是通信中,特别是移动通信中必须面对,但又难以解决的问题,而扩频技术本身具有很强的抗多径的能力,只要满足一定的条件,就可达到抗干扰甚至可以利用多径能量来提高系统性能的目的。而这个条件在一般的扩频系统中是很容易满足的。

# **1.2.3 扩频技术在通信系统中的应用**

扩频系统具有许多优点,特别是具有很强的抗干扰性能,越来越受到人们的重视,其应用领域也在不断地扩大。目前扩频技术的应用主要在军事通信上,这是由它良好的抗干扰性能决定的。据权威人士预测,今后的军事通信,特别是战场通信,只有扩频通信系统能胜任,因而各国军方对此都十分重视,投入了大量的人力、财力进行研究。除了在军事通信中的应用外,扩频技术正迅速地渗透到民用通信的各个领域,并显示出了强大的生命力。扩频技术正广泛地应用于通信、雷达、导航、测距、定位等领域。表 1-1 为扩频技术在这些领域应用的实例。

表 1-1 扩频技术应用实例对比表

| 序号 | 名称或型号                                                                                 | 扩频类型                                                             | 主要参数                                                                                                                                             | 应用对象          |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1  | 短波跳频电台<br>a. Scimitar-H(美)<br>b. VRC-15(英)                                            | a. 慢跳频(5~30 跳/秒)<br>b. 直接序列<br>c. 线性调频                           | 1.6~30 MHz 间隔;<br>50 kHz 跳宽, SSB 话<br>音、电报, 600~2400 b/s<br>数据                                                                                   | 军用通信          |
| 2  | VHF 战术电台<br>a. SINCGARS-V(美)<br>b. Jaguar-V(英)<br>c. Scimitar-V(英)<br>d. Shamir 系列(以) | a. 慢跳频(50~100 跳/秒)<br>b. 快跳频(500 跳/秒)                            | 30~88 MHz, 25 kHz<br>间隔; 分段或全频段跳;<br>16 kb/s 数字保密话<br>600~2400 b/s 数据                                                                            | 军用通信          |
| 3  | UHF 战术电台<br>a. Have Quick(美)<br>Have Clear<br>b. VEC-450(英)<br>Jaguar-U               | 慢跳频(50~100 跳/秒)                                                  | 225 ~ 400 MHz;<br>25 kHz 间隔; 分段跳;<br>10 kb/s; 数字保密话或<br>SSB 模拟保密话 600~<br>2400 b/s 数据                                                            | 军用通信          |
| 4  | 联合战术信息<br>分布系统(JTIDS)                                                                 | a. TDMA: DS+FH<br>b. DTDMA: DS+FH+TH<br>c. 自适应天线阵                | 频段: 900~1215 MHz<br>带宽: 25 MHz; 16 kb/s<br>数字保密话; 2.4 kb/s<br>LPC 保密话; 数传<br>2106/7.8125 ms 可挂<br>1553B 总线, M32 直扩<br>3.8 万跳/秒, 通信、导<br>航识别多功能综合 | 三军联合<br>作战    |
| 5  | 数字微波中继(美)                                                                             | ECCM 措施:<br>a. 扩频调制解调器<br>b. 低比特纠错编码<br>c. 自适应调零天线<br>d. 自适应码速控制 |                                                                                                                                                  | 美陆军战<br>术微波通信 |
| 6  | 卫星通信(美)<br>a. AN-USC-28<br>b. TSC-94A<br>TSC-100A                                     | a. 直接序列<br>b. 直接序列+跳频<br>c. 跳频                                   |                                                                                                                                                  | 美国卫星<br>通信    |
| 7  | 跟踪和数据中继卫星<br>系统(TDRSS)(美)                                                             | 直接序列                                                             | 上行用 S 频段时, 数<br>据率 36/72 kb/s, PN 码<br>率 11.232 Mc/s, PN 码<br>长 1023D;<br>上行用 Ku 频段时,<br>数 据 率 72/216 kb/s,<br>PN 码速率 3 Mc/s                     | 航天飞机<br>通信    |

续表

| 序号 | 名称或型号       | 扩频类型                    | 主要参数                                                                        | 应用对象                    |
|----|-------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 8  | 全球定位系统(GPS) | 直接序列                    | 码速 10.23 Mc/s                                                               | 定位                      |
| 9  | 卫星数据通信(美)   | 直接序列                    | 4 GHz 频段, 带宽 5 MHz, 数据率达 192 kb/s                                           | 卫星地面站, 个人计算机与公共数据库相连    |
| 10 | 无线分组数据网     | 直接序列                    | 频段 1710 ~ 1850 MHz, 带宽 20 MHz, 扩频码 128 与 32 码片/比特, MSK 调制, 数据率 100/400 kb/s | 多个数据终端互相通信、用无线信道构成分组交换网 |
| 11 | 移动无线电话网     | a. 直接序列(用 APC)<br>b. 跳频 | 频段 850 MHz, 带宽 20 MHz, 每用户码率 32 kb/s, 误码率小于 $10^{-3}$                       | 民用移动通信                  |
| 12 | 局部数据网       | 直接序列                    | 用光纤传输                                                                       | 多个数据终端用一个信道实现任务, 选址通信   |
| 13 | 无线电定位       | 直接序列                    | 频段 420~450 MHz                                                              | 无线电定位                   |
| 14 | 无线局域网(WLAN) | a. 直接序列<br>b. 跳频        | 频段 902~928 MHz<br>2400~2483 MHz<br>信息速率 200 kb/s ~ 11 Mb/s                  | 计算机通信, 高速数据传输           |
| 15 | 无线 IP       | a. 直接序列<br>b. 跳频        | 频段 2400~2483 MHz                                                            | Internet                |

## 本章参考文献

- [1] Eric Ribchester. Frequency - Hopping Radios Outwit "Smart" Jammers. Microwaves. Nov. 1979
- [2] R. Dixon. 扩展频谱系统. 北京: 国防工业出版社, 1982
- [3] 李振玉, 卢玉民. 扩频选址通信. 北京: 国防工业出版社, 1988
- [4] 王复荣. 扩频抗干扰通信技术及其军事应用. 通信技术与发展. 1991, 1~2



## 第 2 章 扩频技术及其理论基础

从 20 世纪 40 年代起,人们就开始了对扩频技术的研究,其抗干扰、抗窃听、抗测向等方面的能力早已为人们熟知。但由于扩频系统的设备复杂,对各方面的要求都很高,在当时的技术条件下,要制成适应军事和民用需要的扩频系统是不可能的,因而扩频技术发展缓慢。进入 20 世纪 60 年代后,随着科学技术的迅速发展,许多新型器件的出现,特别是大规模、超大规模集成电路、微处理器、数字信号处理(DSP)器件、扩频专用集成电路(ASIC)以及像声表面波(SAW)器件、电荷耦合器件(CCD)这样的新型器件的问世,使扩频技术有了重大的突破和发展,许多新型系统相继问世,并在实际的使用和实验中显示出了它们的优越性,使扩频通信成为未来通信的一种重要的方式,因此受到了人们极大地重视。

本章首先介绍扩频技术的理论基础,然后分别介绍扩频技术中的各种扩频方式,以及它们各自的特点。

### 2.1 扩频技术的理论基础

扩频技术是把要发送的信号扩展到一个很宽的频带上,然后再发送出去,系统的射频带宽比原始信号的带宽宽得多。这样做,系统的复杂度比常规系统的复杂度要高得多,付出的代价是昂贵的,能得到什么好处呢?可以从著名的香农(Shannon)定理来看。

#### 2.1.1 Shannon 公式

Shannon 定理指出:在高斯白噪声干扰条件下,通信系统的极限传输速率(或称信道容量)为

$$C = B \lg \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \text{ b/s} \quad (2-1)$$

式中:  $B$  为信号带宽;  $S$  为信号平均功率;  $N$  为噪声功率。

若白噪声的功率谱密度为  $n_0$ , 噪声功率  $N = n_0 B$ , 则信道容量  $C$  可表示为

$$C = B \lg \left( 1 + \frac{S}{n_0 B} \right) \text{ b/s} \quad (2-2)$$

由上式可以看出,  $B$ 、 $n_0$ 、 $S$  确定后, 信道容量  $C$  就确定了。由 Shannon 第二定理知, 若信源的信息速率  $R$  小于或等于信道容量  $C$ , 通过编码, 信源的信息能以任意小的差错概率通过信道传输。为使信源产生的信息以尽可能高的信息速率通过信道, 提高信道容量是人们所期望的。

由 Shannon 公式可以看出: