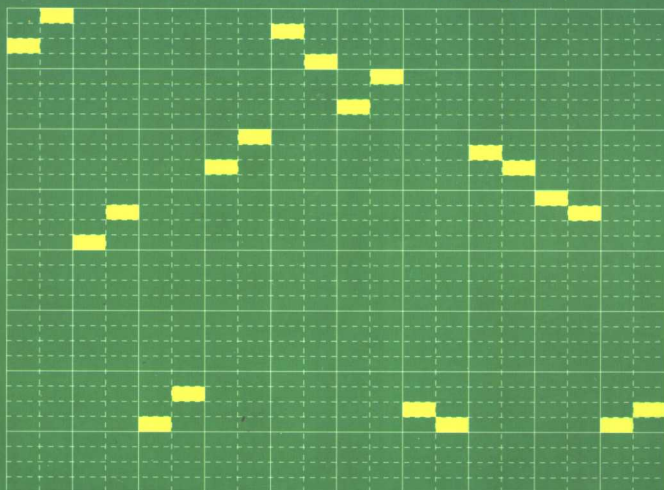


跳频通信

Frequency Hopping Communications

梅文华 等 著

0111001000100111100001110100100111100001



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

跳频通信

Frequency Hopping Communications

梅文华 王淑波 邱永红 杜兴民 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

跳频通信 / 梅文华等著. —北京: 国防工业出版社,
2005. 4

ISBN 7-118-03830-X

I. 跳... II. 梅... III. 宽带通信系统
IV. TN914. 41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 015777 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 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 11 1/8 275 千字

2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 36.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第五届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 张又栋

秘 书 长 张又栋

副 秘 书 长 彭华良 蔡 镭

委 员 于景元 王小谟 甘茂治 刘世参

(按姓名笔画排序) 杨星豪 李德毅 吴有生 何新贵

佟玉民 宋家树 张立同 张鸿元

陈冀胜 周一宇 赵凤起 侯正明

常显奇 崔尔杰 韩祖南 傅惠民

舒长胜

序

军事无线通信是保障现代作战指挥的主要通信手段,特别是在对飞机、舰艇、坦克等运动目标进行指挥时,是惟一的通信手段,在我军信息化建设中占有十分重要的地位。如果军事无线通信装备不采用抗干扰措施,在现代战争的大规模对抗环境条件下,就会出现通信中断、指挥失灵,从而陷入被动挨打的局面。最近几次战争中的高科技电子战已经证明了这一点。

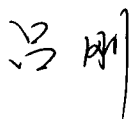
跳频通信是现代军事无线通信抗干扰的主要手段,对于在恶劣的电磁环境中保障我军畅通的通信指挥,具有重大的军事意义。跳频通信的抗干扰效果,在外军的几次局部战争中得到了考验,在我军的重大军事演习中也得到了检验。目前,科研院(所)正在竞相开发新型跳频通信装备,向更高的跳频速率、更好的波形设计、更强的抗干扰能力发展。

本书第一作者梅文华是空军装备研究院的著名学者,空军级专家,在跳频通信领域进行了深入的基础理论研究工作,曾出版了该领域的第一本学术专著《跳频通信地址编码理论》,得到了学术界和工程界的高度评价。为了推动跳频通信技术向更深层次发展,梅文华与其他几位在跳频通信领域有深入研究的作者合作,撰写了《跳频通信》一书。

《跳频通信》一书密切结合国防现代化和武器装备现代化建设,理论联系实际,系统地阐述了跳频序列设计、跳频频率合成、跳频同步和跳频组网等技术,既包含了作者近20年来发表的研究成果,同时也总结了国内外学者在此领域取得的进展,是国内第一部系统阐述跳频通信技术的专著,体现了作者深厚的理论基础和学术造诣。该书内容有创见,在工程技术理论方面有重要突破,得到

了总装备部国防科技图书出版基金资助。相信本书的出版对跳频通信技术的发展,对武器装备的信息化建设,能起到重要的推动作用。

空军装备研究院院长,少将

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters '吕刚' (Lǚ Gāng).

2005 年 3 月

前 言

随着通信领域的电波斗争愈演愈烈,惯用的定频通信受到了严重威胁。为了保证己方正常可靠的通信,一种抗干扰通信体制——跳频通信系统应运而生。可以说,在现代战争中,如果无线通信装备不采用抗干扰措施,就没有生存能力。

西方国家早在 20 世纪 50 年代就开始进行一系列的抗干扰通信体制和抗干扰技术的理论研究。到 20 世纪 80 年代初,大部分抗干扰技术都已陆续应用于新的通信装备和系统中,而且还在不断地改进和完善。1982 年,英国在马尔维纳斯群岛(福克兰群岛)战争中使用了跳频电台。1991 年的海湾战争中,多国部队为提高通信的抗截获、抗干扰能力,普遍使用了跳频通信装备,如:美国的 SINCGARS 系列超短波跳频电台和联合战术信息分发系统 JTIDS,英国的 Jaguar - V 和法国的 TRC - 950 等超短波跳频电台。

跳频通信技术具有优良的抗干扰性能和多址组网性能,不但在军事通信中得到了广泛应用,而且与我们的日常生活密切相关,在民用移动通信中得到了广泛的应用,如 GSM、HomeRF(家庭射频)、Bluetooth(蓝牙)中都应用了跳频技术。

实现跳频通信,需要在常规定频通信技术的基础上,解决跳频序列设计、跳频频率合成、跳频同步和组网等几个关键技术。本书正是要探讨跳频通信技术的有关知识。

全书共分 8 章。第 1 章阐述了跳频通信技术的背景和有关概念;第 2 章阐述了跳频序列设计技术;第 3 章阐述了跳频频率合成技术;第 4 章阐述了跳频同步技术;第 5 章阐述了跳频组网方法;第 6 章阐述了跳频通信系统的抗干扰能力;第 7 章阐述了跳频通信的应用;第 8 章阐述了自适应跳频通信技术。

本书第1章、第2章、第5章、第6章由梅文华撰写;第3章由杜兴民、王淑波撰写;第4章由邱永红撰写;第7章、第8章由王淑波、梅文华撰写;全书由梅文华统稿。

作者衷心感谢国防科技图书出版基金评审委员会的大力支持,感谢王坡麟编审在本书撰写过程中给予的指导和编辑工作中付出的辛勤劳动。

第一作者衷心感谢周炯槃院士、王小谟院士、王越院士、杨义先教授的悉心指导。许多前辈专家,如空军装备研究院通信所王志衡高工、总参第63研究所赖仪一研究员、北京交通大学李承恕教授等领导的群体在跳频通信领域进行了长期的拓荒性研究,作者有幸得到过他们的指导,在此表示深深的敬意。

衷心感谢空军装备研究院领导的支持,感谢空军装备研究院院长吕刚少将为本书作序。感谢空军装备研究院航空所、通信所领导和专家的支持,感谢总参第61研究所、总参第63研究所、中国电子科技集团公司第10研究所、天津通信广播集团有限公司、熊猫电子集团公司领导和专家的帮助。在本书撰写过程中,崔蕴华高工、黄宏诚高工、廖瑞华高工、蔡善法高工、张申如教授、卢建川研究员、荆建军高工等专家提出过宝贵的建议,在此表示感谢。

目前,还没有一本系统地阐述跳频通信技术的经典著作问世。作者期望本书的出版能够抛砖引玉,为相关专业的科研人员、工程技术人员,以及博士生、硕士生和高年级本科生提供参考。由于作者水平所限,缺点和不足在所难免,欢迎批评指正。

作者

2005年3月

目 录

第 1 章 跳频通信系统概述	1
1.1 通信方与干扰方的博弈	1
1.2 跳频通信系统的原理	8
1.3 跳频通信系统的主要技术指标	15
1.3.1 频率范围	15
1.3.2 信道间隔	15
1.3.3 调制方式	16
1.3.4 跳频带宽	16
1.3.5 跳频频率数目	17
1.3.6 跳频处理增益	17
1.3.7 跳频速率	19
1.3.8 跳频周期	20
1.3.9 初始同步时间	20
1.3.10 迟入网时间	21
1.3.11 同步概率	21
1.3.12 跳频序列周期	21
1.3.13 组网方式	22
1.4 跳频通信技术的发展简史	22
1.4.1 战争中通信员的约定表	22
1.4.2 跳频技术之母 Hedy Lamarr	22
1.4.3 Shannon 信息论的应用	23
1.4.4 第一个实用的跳频通信系统	24
1.4.5 现代战争中的应用	25
1.4.6 民用跳频通信	26

第2章 跳频序列设计	28
2.1 跳频序列概述	28
2.1.1 跳频序列的作用	28
2.1.2 跳频序列的汉明相关	29
2.1.3 跳频序列设计与 TOD	32
2.1.4 跳频序列设计的一般要求	33
2.2 跳频序列设计的理论限制	34
2.2.1 限定频率数目和序列长度条件下汉明相关的 下限	34
2.2.2 限定汉明相关条件下序列数目和序列长度的 理论限	35
2.2.3 非重复跳频序列族的理论限制	36
2.2.4 宽间隔的非重复跳频序列族的理论限制	38
2.2.5 限定平均汉明相关条件下用户数量的界限	39
2.3 素数跳频序列族	39
2.3.1 素数跳频序列族的构造	39
2.3.2 素数跳频序列族的性能	41
2.3.3 素数跳频序列族达到的理论限	43
2.4 基于 m 序列构造最佳跳频序列族	44
2.4.1 构造方法概述	44
2.4.2 m 序列的基本原理	45
2.4.3 基于 $GF(p)$ 上的 m 序列构造最佳跳频序 列族	51
2.4.4 基于 $GF(p')$ 上的 m 序列构造最佳跳频序 列族	57
2.4.5 基于 m 序列构造一次重合跳频序列族	61
2.5 基于 GMW 序列构造最佳跳频序列族	66
2.5.1 GMW 序列的构造	66
2.5.2 基于 GMW 序列构造最佳跳频序列族	69
2.5.3 基于 GMW 序列构造最佳跳频序列族的广义	

模型	71
2.6 宽间隔跳频序列族的构造	72
2.6.1 宽间隔跳频的意义	72
2.6.2 对偶频带法构造宽间隔跳频序列	74
2.6.3 宽间隔跳频序列族的汉明相关性能	75
2.6.4 构造实例	76
2.7 其他跳频序列族	80
2.7.1 基于 RS 码构造跳频序列族	80
2.7.2 基于 Bent 序列构造跳频序列族	80
2.7.3 基于 p 元伪随机序列构造跳频序列族	80
2.7.4 基于混沌映射序列构造跳频序列族	81
2.7.5 蓝牙跳频序列族	81
2.8 跳频序列发生器专用模块	82
2.8.1 标准化与模块化	82
2.8.2 封装形式与外形尺寸	83
2.8.3 引脚信号与电气特性	84
第3章 跳频频率合成器	88
3.1 跳频频率合成方法	88
3.1.1 概述	88
3.1.2 直接频率合成法	90
3.1.3 间接频率合成法	92
3.1.4 直接数字合成法	96
3.1.5 DDS/PLL 组合频率合成法	96
3.2 DDS 的工作原理和性能特点	101
3.2.1 工作原理	101
3.2.2 性能特点	103
3.3 DDS 输出信号的频谱特性分析	106
3.3.1 理想参数波形输出 DDS 输出信号的频谱特性 分析	106
3.3.2 实际参数波形输出 DDS 输出信号的频谱特性	

分析	111
3.4 抑制 DDS 杂散的措施	124
3.4.1 Wheatley 相位抖动注入法	124
3.4.2 幅度抖动注入法	125
3.4.3 采用压缩技术增加 ROM 容量法	126
3.4.4 控制字与 2^B 互素法	128
3.5 典型的 DDS 芯片	129
3.5.1 典型的高速 DDS 芯片	129
3.5.2 典型的中速 DDS 芯片	130
3.6 DDS 芯片在跳频频率合成器中的应用	131
3.6.1 DDS 芯片 AD9854 简介	131
3.6.2 硬件设计	138
3.6.3 幅度均衡和软件设计	139
第 4 章 跳频同步	143
4.1 概述	143
4.1.1 术语	143
4.1.2 跳频同步的要求	145
4.1.3 同步信息的捕获	147
4.1.4 同步信息的跟踪	149
4.2 捕获模型	151
4.2.1 搜索策略	151
4.2.2 数学模型	152
4.2.3 性能度量参数	156
4.3 跟踪模型	158
4.3.1 数学模型	158
4.3.2 信号形成过程	160
4.3.3 误差信号表示式	163
4.4 跳频同步的方法	166
4.4.1 同步方法的类型	166
4.4.2 同步方法的比较	167

4.4.3	同步方法的应用	168
4.4.4	同步性能的分析	169
4.5	自同步法的同步	171
4.5.1	等待搜索式自同步法	171
4.5.2	快速扫描式自同步法	172
4.6	同步字头法的同步	175
4.6.1	同步信息与同步频率	175
4.6.2	初始同步	177
4.6.3	勤务同步	178
4.6.4	迟入网同步	179
4.6.5	跳频通信数据平衡关系	180
4.6.6	同步过程	181
4.7	实际系统的跳频同步方案	183
4.7.1	超短波跳频电台同步方案	183
4.7.2	跳频卫星通信系统同步方案	188
第5章	跳频组网	195
5.1	跳频网络拓扑结构	195
5.1.1	网络拓扑结构	195
5.1.2	跳频网络拓扑结构	196
5.2	跳频组网方式	198
5.2.1	跳频组网分类	198
5.2.2	同步正交组网	199
5.2.3	同步非正交组网	201
5.2.4	异步非正交组网	203
5.2.5	同步组网的时基同步	206
5.3	跳频组网过程	208
5.3.1	跳频工作状态及其转移关系	208
5.3.2	呼叫	210
5.3.3	迟入网	211
5.4	跳频参数管理	213

5.4.1	跳频参数管理的作用	213
5.4.2	跳频参数管理的内容	215
5.4.3	跳频参数管理的设备	217
5.4.4	跳频参数管理的实施	218
5.4.5	多台同车的跳频参数管理	218
第6章	跳频通信系统的抗干扰能力	221
6.1	干扰信号及其影响	221
6.1.1	典型的干扰波形	221
6.1.2	通信干扰对语音可懂度的影响	223
6.1.3	常用的调制解调方式	224
6.2	抗宽带噪声干扰性能分析	226
6.2.1	FH/MFSK 系统	226
6.2.2	FH/DPSK 系统	227
6.3	抗部分频带噪声干扰性能分析	227
6.3.1	FH/MFSK 系统	227
6.3.2	FH/DPSK 系统	231
6.4	抗多频连续波干扰性能分析	232
6.4.1	FH/MFSK 系统	232
6.4.2	FH/DPSK 系统	234
6.5	抗跟踪干扰性能分析	236
第7章	跳频通信的应用	240
7.1	短波跳频电台——CHESS 系统	240
7.1.1	短波跳频电台发展概述	240
7.1.2	CHESS 系统概述	243
7.1.3	CHESS 系统的结构	244
7.1.4	CHESS 系统采用的新技术	248
7.1.5	CHESS 系统的通信方式	251
7.2	超短波跳频电台——SINCGARS 系列	252
7.2.1	超短波跳频电台发展概述	252
7.2.2	SINCGARS 电台概述	254

7.2.3	SINGARS 电台的组成	256
7.2.4	SINGARS 电台的技术指标	257
7.2.5	SINGARS 电台的特点	258
7.2.6	SINGARS 电台的现状与发展趋势	259
7.3	联合战术信息分发系统	261
7.3.1	概述	261
7.3.2	JTIDS 的网络结构	262
7.3.3	JTIDS 的同步方式	264
7.3.4	JTIDS 的加密方式	266
7.3.5	JTIDS 的信息类型	268
7.3.6	JTIDS 的数据包格式	269
7.3.7	JTIDS 的信息容量	271
7.3.8	JTIDS 的导航原理	272
7.3.9	JTIDS 的终端设备	273
7.3.10	JTIDS 的系统特点	274
7.3.11	JTIDS 的发展概况	275
7.4	民用跳频——蓝牙技术	276
7.4.1	概述	276
7.4.2	蓝牙的技术指标	278
7.4.3	蓝牙跳频序列	279
7.4.4	蓝牙跳频序列选频原理	280
7.4.5	蓝牙设备的连接	284
7.4.6	蓝牙同步技术	286
第8章	自适应跳频通信技术	288
8.1	概述	288
8.1.1	基本概念	288
8.1.2	自适应跳频系统的结构	289
8.1.3	自适应跳频通信过程简介	290
8.2	自适应跳频关键技术	291
8.2.1	实时信道评估技术	291