

# 通信对抗干扰效果 客观评估

■ 王继祥 韩慧 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 通信对抗干扰效果 客观评估

王继祥 韩慧 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

通信对抗干扰效果客观评估 / 王继祥, 韩慧著. —  
北京: 国防工业出版社, 2012. 7

ISBN 978-7-118-08003-2

I. ①通... II. ①王... ②韩... III. ①通信抗干扰—  
评估 IV. ①TN975

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 124662 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)

天利华印刷装订有限公司印制

新华书店经售

\*

开本 850 × 1168 1/32 印张 5 1/4 字数 146 千字

2012 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 39.00 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

随着电子技术的飞速发展及其在军事领域的广泛应用,电子战的地位不断提高,作用日益增强。通信电子战作为电子战的一个组成部分,人们最常见且最熟悉的通信对抗方法,是利用通信对抗干扰装备对敌方的通信系统进行干扰,使敌方的通信系统无法正常工作,指挥信息无法传送。作为进攻中的主要应用手段,其干扰效果将影响到整个战争的进程。而在进行通信对抗干扰装备的研制过程中,也必须通过通信对抗装备的试验对其干扰效果进行评估,以确保干扰装备在战场上发挥应有的效能。因此,无论是在作战中还是在通信对抗试验领域均需要对通信对抗的干扰效果进行有效的评估。在实际的战争中,可以依据战争的结果与通信对抗起到的作用而评估其作战效果。例如在海湾战争中,美国及其盟国部队在空袭伊拉克前,就对伊拉克的通信指挥系统进行了压制性的干扰,使伊拉克的通信指挥系统处于瘫痪状态,无法对联合作战部队实施有效的反击,从而使美国及其盟国部队在空袭过程中几乎没有受到损失,这表明美军的通信对抗装备在这次战争中起到了很大的作用,干扰效果达到了预期的要求。而和平时期,在通信对抗装备的研制过程中,干扰效果评估的方法只能是在模拟实战的环境下,利用通信对抗装备的鉴定、定型等试验以及通信对抗部队的训练来进行。近年来,通过多种通信对抗装备鉴定试验项目的实施,通信对抗干扰效果评估方法在外场试验领域取得了重大突破,为通信对抗武器装备的发展起到了较大的促进作用,但由于通信对抗装备的快速发展,在通信对抗干扰效果评估领域还存在许多尚待研究完善的问题。随着通信对抗内场仿真试验系统的建设完成,通信对抗干扰效果评估领域的问题越来越明显,语音

评估只能使用主观评估,数据通信只能在数据终端进行,这些问题在一定程度上都阻碍了通信对抗装备试验的有效进行,阻碍了通信对抗内场仿真试验系统的充分利用,因此通信对抗试验评估方法需要尽快地完善与推进。

本书针对通信对抗试验领域的特点,对通信对抗试验干扰效果评估的方法进行了深入的研究。研究工作包括内场仿真试验评估体系的建立;针对不同的通信方式采取不同的干扰效果评估方法;基于小波理论的语音信号干扰效果评估方法与基于调制识别理论的通信信号干扰效果评估方法。

全书共分 8 章:

第 1 章 介绍了通信对抗与通信对抗试验的相关概念以及本书研究的背景和意义,提出了通信对抗试验干扰效果评估的基本方法与存在的问题。

第 2 章 建立了一套通信对抗试验评估体系,归纳了现有评估指标与方法,给出了评估模型,并利用层次分析法对通信对抗干扰效果进行了综合评估。

第 3 章 系统地介绍了连续小波、离散小波与小波包的基本内容,并分析了几种常用的小波,为后续小波理论在通信对抗干扰效果评估领域的应用打下基础。

第 4 章 介绍了语音信号的常用处理方法,在分析语音信号特点的基础上,利用小波包原理选择了最佳基,提出了利用可变窗短时互相关的方法,在复杂的电磁环境下对语音信号进行了有音与无音的准确分段。

第 5 章 在详细分析语音信号处理的基础上,提出了利用小波能量进行通信对抗干扰效果评估的方法;定义了小波谱距离的概念,并将小波谱距离测度应用到了通信对抗试验中语音信号干扰效果的评估领域。

第 6 章 分析了利用通信信号调制识别理论对多种通信信号识别的方法,提出了正确评估干扰效果的信号识别方法,建立了提取的特征参数与干扰效果评估级别的关系。利用调制识别理论对

通信对抗干扰效果进行了评估,解决了通信对抗试验中对通信系统仿真效果不理想造成的评估效果不准确的问题。

第7章 随着小波理论的发展,在各行各业的应用也越来越广泛,小波理论在数字调制识别理论中也得到了应用,特别是在PSK信号的识别上,表现出了其特有的优势。本章在掌握小波理论识别BPSK信号的方法基础上,研究利用小波变换对BPSK信号的识别方法,选取BPSK信号干扰效果评估的特征值,对BPSK信号进行干扰效果评估的方法研究,将小波理论首次应用到PSK信号干扰效果的评估领域。

第8章 回顾全文的研究内容,总结了通信对抗干扰效果评估领域的新技术应用。

感谢王伯昶研究员,在课题研究过程中给予的帮助,使我能够顺利完成本书中的相关研究工作。

感谢我的同事陶业荣、孙光等,在建模、信号处理等方面给予了很大的帮助。

感谢我的同事任哲、叶立邦、陆俊,文中的许多应用软件都是在他们帮助下设计完成的,使本书的数据处理工作得到圆满的完成。

感谢我的同事刘广建,在进行语音信号干扰效果评估过程中,得到了他无私的帮助,提供了大量的原始数据,为顺利完成语音信号的评估打下基础。

感谢所有支持与帮助过我的领导和朋友。

由于水平有限,书中难免会存在错漏之处,欢迎读者批评指正。

作 者

# 目 录

<b>第 1 章</b>	<b>绪论</b> .....	1
1.1	通信对抗 .....	1
1.2	通信对抗装备试验 .....	3
1.2.1	按照试验场地划分 .....	3
1.2.2	按照试验手段划分 .....	5
1.3	通信对抗干扰效果评估的研究现状 .....	5
1.3.1	内外场试验评估技术具有一定的局限性 .....	6
1.3.2	语音信号的干扰效果评估逐步向客观评估 方向发展 .....	8
<b>第 2 章</b>	<b>通信对抗干扰效果评估体系</b> .....	10
2.1	引言 .....	10
2.2	通信对抗干扰效果评估方法分类 .....	11
2.2.1	按照评估方法分类 .....	11
2.2.2	按照通信信号的接收过程分类 .....	13
2.2.3	按照信号的分析方法分类 .....	14
2.3	评估指标选取的原则 .....	16
2.4	评估指标与评估模型 .....	17
2.4.1	时域覆盖率 .....	17
2.4.2	频域覆盖率 .....	17
2.4.3	调制域 .....	18
2.4.4	信息域 .....	18
2.4.5	能量域 .....	20

2.5	综合评估 .....	23
2.5.1	综合评估的表示方法 .....	23
2.5.2	评估指标的选取 .....	24
2.5.3	综合评估算法 .....	25
<b>第3章</b>	<b>小波基础理论 .....</b>	<b>29</b>
3.1	引言 .....	29
3.2	小波的特性 .....	30
3.3	几种常用的小波 .....	31
3.4	多分辨率分析 .....	38
3.5	连续小波变换 .....	40
3.6	离散化小波 .....	41
3.7	小波包 .....	42
3.8	小波能量特征 .....	44
<b>第4章</b>	<b>语音信号处理 .....</b>	<b>45</b>
4.1	引言 .....	45
4.2	语音信号的产生 .....	45
4.2.1	语音的发音器官 .....	46
4.2.2	语音发音分类 .....	49
4.2.3	语音信号的特性 .....	50
4.3	语音信号处理基础理论 .....	53
4.3.1	短时域处理方法 .....	53
4.3.2	短时傅里叶变换 .....	56
4.3.3	同态信号处理 .....	57
4.3.4	线性预测分析 .....	58
4.3.5	隐马尔可夫模型 .....	59
4.3.6	矢量量化(VQ) .....	60
4.3.7	人工神经网络 .....	60
4.3.8	语音混沌现象和分形理论 .....	61



4.4	语音信号干扰效果评估方法的预处理 .....	62
4.4.1	语音信号的端点计算 .....	62
4.4.2	常用语音段与非语音段的分段方法 .....	64
4.5	时间同步法检测语音信号的端点与分段 .....	66
4.5.1	时间同步法检测语音信号端点与分段的 原理 .....	66
4.5.2	仿真实例 .....	67
4.6	可变窗短时互相关函数的语音信号分段方法 .....	70
4.6.1	短时互相关函数的定义 .....	70
4.6.2	具体的分段方法 .....	71
4.6.3	仿真结果 .....	72
<b>第5章</b>	<b>基于小波的语音通信信号干扰效果评估 .....</b>	<b>77</b>
5.1	引言 .....	77
5.2	语音信号的干扰等级划分 .....	78
5.2.1	语音干扰程度划分法 .....	78
5.2.2	平均意见得分法 .....	79
5.2.3	军用标准划分法 .....	80
5.3	常用语音信号的干扰效果评估方法 .....	80
5.3.1	主观评估法 .....	81
5.3.2	客观评估法 .....	83
5.4	利用小波能量评估语音信号干扰效果 .....	86
5.4.1	基于人耳听觉特性的小波包基的选择 .....	87
5.4.2	基于小波能量的干信比特特征选取 .....	93
5.4.3	实验步骤与仿真结果 .....	94
5.4.4	小波能量测度与干扰效果 MOS 分值的 对应关系 .....	97
5.4.5	统计相关 .....	99
5.5	基于小波谱失真测度的语音干扰效果评估 .....	99
5.5.1	几种常用失真测度表示法 .....	99

5.5.2	小波谱失真测度 .....	103
5.5.3	实验结果与分析 .....	105
<b>第 6 章</b>	<b>基于调制识别理论的内场仿真试验通信干扰效果 评估 .....</b>	<b>108</b>
6.1	引言 .....	108
6.2	内场仿真试验系统 .....	110
6.2.1	内场仿真试验系统的组成 .....	110
6.2.2	通信干扰装备内场仿真试验流程 .....	111
6.2.3	通信干扰效果评估流程 .....	112
6.3	通信信号的调制与识别 .....	113
6.3.1	通信信号的调制与解调 .....	113
6.3.2	通信信号调制识别理论与方法 .....	119
6.4	特征值的选取 .....	125
6.4.1	通信信号调制识别特征值的选取 .....	125
6.4.2	通信干扰效果评估特征值的选取 .....	129
6.5	仿真实例 .....	132
6.5.1	AM 信号干扰效果评估结果 .....	132
6.5.2	ASK 信号干扰效果评估结果 .....	134
<b>第 7 章</b>	<b>基于小波识别特征的通信对抗干扰效果评估 .....</b>	<b>136</b>
7.1	引言 .....	136
7.2	MPSK 通信信号识别方法 .....	137
7.2.1	MPSK 信号的调制原理 .....	137
7.2.2	PSK 信号常用识别方法 .....	140
7.2.3	基于小波理论的识别方法 .....	142
7.3	基于小波的 BPSK 通信对抗干扰效果评估方法 .....	148
7.3.1	小波的选取 .....	148
7.3.2	特征值的选取 .....	149
7.3.3	BPSK 干扰效果评估方法 .....	151

7.4	BPSK 信号干扰效果仿真实验结果 .....	155
<b>第 8 章</b>	<b>通信对抗干扰效果评估领域的新技术应用 .....</b>	<b>158</b>
8.1	小波理论在通信对抗试验中的应用 .....	158
8.2	建立通信对抗干扰效果评估体系 .....	160
8.3	提高通信对抗干扰效果的评估精度 .....	162
8.4	调制识别理论在通信对抗干扰效果评估领域的 应用 .....	163
<b>参考文献</b>	.....	<b>165</b>

# 第1章 绪 论

## 1.1 通信对抗

现代军事与现代电子战已成为不可分割的统一体。在现代军用电子技术发展战略中,电子战技术的发展在很大程度上促进了其他军用电子系统的快速发展,忽视了电子战技术的研究和电子战装备的研制这都将会影响军事现代化水平的提高。从海湾战争、科索沃战争等多次战争中可以看出,电子战已在现代战争中起到了举足轻重的作用。各个军事国家都逐步认识到电子对抗装备在战争中的重大作用,竞相发展电子战武器装备,积极开展适合现代战争需要的电子对抗装备的研制,以适应未来战争的需要,时刻准备在战争中快速达到制电磁权的目的,从而获得战争的胜利。电子对抗理论是在第二次世界大战以后,随着世界各国的武器改进和提高而出现的新的作战理论。它是一个总概念,即凡是使用电子设备和系统的领域都存在电子战。电子战的对象是一切利用军事电子技术的装备和系统,包括通信、雷达、导航、C<sup>4</sup>ISR、制导、红外、光电、水声等,因此,这些领域都属于电子战的范畴。显然通信电子战是电子战领域的主要组成部分。

下面首先介绍几个常用的电子对抗领域的概念。

电子对抗(Electronic Warfare, EW)在国外称为电子战、电子斗争、无线电电子斗争等。根据最新的资料,电子对抗领域由以下几个概念组成。

电子对抗:使用电磁能、定向能、水声能等的技术手段,确定、扰乱、消弱、破坏、摧毁敌方电子信息系统、电子设备等,保护己方电子信息系统、电子设备的正常使用而采取的各种战术技术措施

和行动。其内容包括电子对抗侦察( Electronic Warfare Reconnaissance, EWR)、电子进攻( Electronic Attack, EA)和电子防御( Electronic Protection, EP)3个部分。

电子对抗侦察:使用电子技术手段,对电磁(或水声)信号进行搜索、截获、测量分析、识别,以获取敌方电子信息系统、电子设备的技术参数、功能、类型、位置、用途以及相关武器和平台类别等情报信息的侦察。它包括电子对抗情报侦察和电子对抗支援侦察。

电子进攻:使用电磁能、定向能、水声能等技术手段,扰乱、削弱、破坏、摧毁敌方电子信息系统、电子设备及相关武器或人员作战效能的各种战术技术措施和行动。它包括电子干扰、反辐射摧毁、定向能攻击、计算机病毒干扰等。

电子防御:使用电子或其他技术手段,在敌方或己方实施电子对抗侦察及电子进攻时,保护己方电子信息系统、电子设备及相关武器系统或人员的作战效能的各种战术技术措施和行动。

电子对抗的种类分为雷达对抗、通信对抗、光电对抗、无线电导航对抗、敌我识别对抗、引信对抗、制导对抗、遥控遥测、水声对抗、导弹突防对抗、计算机网络对抗、计算机病毒对抗以及 C<sup>4</sup>IRS 对抗等。

由电子对抗的分类可见,通信对抗是电子对抗的一个类型,在国内早期的文献中将通信对抗翻译为 Communication Countermeasures,而国外的文献将通信对抗称为通信电子战( Communication EW),为了与国际接轨并达到概念上的统一,我们有时也将通信对抗称为通信电子战。通信对抗的定义为:使用电子或其他技术手段,对敌方通信设备进行侦察、干扰和摧毁,削弱、破坏其正常工作,保护己方无线电通信设备的正常使用而采取的战术技术措施和行动。通信对抗所包含的内容和电子对抗的内容相一致,同样也分为通信对抗侦察、通信对抗干扰以及通信对抗反干扰、通信对抗反侦察等,其定义如下:

通信对抗侦察( Communication EW Reconnaissance):对敌方通

信信号进行搜索、截获、测量分析、识别、监视以及对通信设备测向、定位,以获取其技术参数、功能、类型、位置、用途等情报的一种电子对抗侦察。包括通信对抗情报侦察(Communication EW Intelligence Reconnaissance)和通信对抗支援侦察(Communication EW Support Reconnaissance)。

通信对抗干扰(Communication EW Jamming):利用通信对抗干扰设备发射专门干扰信号,破坏或扰乱敌方无线电通信设备正常工作能力的一种电子干扰。

通信对抗反干扰(Communication EW Anti-jamming):为消除或削弱敌方通信对抗干扰的有害影响,保障己方通信设备正常工作而采取的战术技术措施。

通信对抗反侦察(Communication EW Anti-reconnaissance):为防止己方通信信号和通信设备的技术参数、数量、配置和部署变动等情报被敌方电子侦察而采取的战术技术措施。

## 1.2 通信对抗装备试验

通信对抗试验的目的就是对通信对抗装备的性能指标进行鉴定,检验其是否达到了研制总要求预定的战技指标,是否满足了作战的使用要求。通信对抗装备是信息化战争的最基本要素之一,它的鉴定与设计定型试验是其全寿命周期管理过程中的一个重要环节。通信对抗试验的分类方法有多种,这里主要根据两种常用的分类方法进行了划分:一是按照试验场地划分;二是按照试验手段划分。

### 1.2.1 按照试验场地划分

通信对抗装备试验场是为了检验通信对抗设备的作战效果或训练战勤人员,由通信对抗设备与通信设备进行对抗性试验,以模拟敌我双方通信对抗过程的试验场所。通信对抗试验按照试验场地可分为外场试验和内场仿真试验。

## 1) 外场试验

外场试验是在接近准实战的电磁信号和地理环境下的实装对抗试验,是在自然的大气环境下进行的试验。试验时被试装备与参试装备均在野外条件下部署,使通信信号与干扰信号均在自由空间中传播。外场试验的优点是被试装备可以按照实际距离布站,通信信号与干扰信号的产生、传播、接收等比较接近实际情况,可以最大程度地接近实战需要,得到近实战条件下的干扰效果评估。

## 2) 内场仿真试验

仿真就是通过建立实际系统模型(包括数学模型、物理效应模型),并利用所建模型对实际系统进行试验研究的过程<sup>[1]</sup>。内场仿真试验是建立在控制理论、相似理论、信息处理技术、计算机技术以及微波暗室技术等基础之上的,以计算机和其他物理效应设备为工具,利用系统模型对真实的对抗装备进行的试验。

在内场仿真试验中按照信号注入方式可分为辐射式仿真试验与注入式仿真试验:辐射式仿真试验即在微波暗室进行的缩比试验,将对抗装备与通信装备按照一定的比例进行的缩比试验;注入式仿真试验即将干扰装备与通信装备的辐射信号通过射频注入口将干扰信号与通信信号分别注入到仿真试验系统,其信号传输环境为仿真的模拟系统。按照仿真技术又可分为半实物仿真试验和数学仿真试验:半实物仿真试验是指在仿真试验系统中接入试验实际的通信与通信对抗装备;数学仿真试验是指首先建立试验所需的通信与通信对抗装备的数学模型,并将这些数学模型转化成仿真计算模型,通过仿真模型的运行达到对试验系统进行试验的目的。数学仿真具有经济性、灵活性和仿真模型通用性等特点,数学仿真一般运用到装备的研制阶段,目前在通信对抗试验中很少运用。

内场仿真试验的优点是试验可重复,情景可再现,环境可控,保密性强,节约大量的人力、物力等,目前在国内外许多靶场都得到了很好的应用。

## 1.2.2 按照试验手段划分

通信对抗试验按照试验手段可以分为实物试验、半实物模拟试验、全数字仿真试验3种。

### 1) 实物试验

实物试验是指试验所需的通信装备按照通信对抗装备作战对象的要求,用实际作战电台选设,它可以如实地检测出通信对抗装备对此类通信装备的干扰情况。这种试验由于多种条件的限制,一般很少可以实现。

### 2) 半实物模拟试验

半实物模拟试验是指在试验中,无法按照通信对抗装备作战对象的要求全部得到型号相同的通信装备,而只有利用频段相同、通信体制相同、部分信号特性相似的通信装备或通信环境模拟装备以及仿真系统来替代,试验结论由模拟、替代及推论的理论给出。这种方法在大多数试验中得以利用。

### 3) 全数字仿真试验

全数字仿真试验是一种利用模拟计算机仿真的试验,不需要任何的实体设备,这种试验方法一般用于武器装备的前期开发,作为摸底试验的结果。在通信对抗装备鉴定与设计定型试验中,一般不采用这种试验方法。

## 1.3 通信对抗干扰效果评估的研究现状

所谓评估就是评价与估量。而通信对抗干扰效果的评估即对通信对抗装备在一定的条件下,对某型号、种类的通信装备、通信系统的通联效果干扰进行评价与估量,评估其对通信系统的压制或欺骗干扰的能力,瘫痪敌方通信系统的程度、延迟敌方通信联络的时间等。通信对抗干扰效果的评估分为作战效能评估、装备试验干扰效果评估两种。通信对抗作战效能的评估即评估通信对抗干扰系统在战场环境中能够成功地对敌方无线电通信



链路进行干扰和压制的程度。在装备试验中的干扰效果评估一般为检测满足战术技术指标程度的一种度量,它是一些具体的物理量。

### 1.3.1 内外场试验评估技术具有一定的局限性

多年来,各国都力图在实战的电磁环境下检验和鉴定通信对抗装备的战技性能,并投以巨资,建立了大量的各种类型和地理环境的电子对抗装备试验场。但是,随着电子、计算机、信号处理等技术的快速发展,应用到通信系统的高科技越来越多,通信效果越来越好,通信质量越来越高,受干扰的难度越来越大。通信系统的快速发展促进了通信对抗装备的发展,要检验通信对抗装备在复杂电磁环境下的作战效能,就必须对系统的战术技术性能和作战效果进行大量的试验、测试和评估。因此通信对抗内外场试验技术得到了较快的发展。

在国外,许多国家如美国、俄罗斯、以色列等军事强国都发展、建立了电子对抗装备试验靶场,这些靶场都担负着各个国家电子对抗装备的检验、测试、试验等任务,部分靶场还担负了电子对抗部队的训练任务,促进了各自的电子对抗装备的发展,如以色列的拉斐尔(Rafael)武器试验与鉴定中心和电子战靶场。由于国外电子对抗试验靶场建设较早,发展较快,在电子对抗试验中均有一套评估指标体系与评估方法,可以对电子对抗装备进行比较精确的鉴定,保证了电子对抗装备在战争中发挥其巨大的制电磁权的作用,为战争的胜利打下了基础。但是由于保密的原因,各国对自己的试验方法及试验评估方法都保持在保密状态,因此,虽然国际上电子对抗装备发展如此迅速,但在公开报道中很少见到电子对抗试验方法及干扰效果评估的详细资料。

虽然外场试验技术有着不可替代的作用,但是随着试验技术的发展,人们都意识到了外场试验存在的缺点。在外场进行试验时,由于场区范围广、参试设备多、组织工作量大,不仅需要大量的人力、物力和财力,而且难以达到接近实战电磁环境下试验的效