

Target Acquisition in  
Communication Electronic  
Warfare Systems

# 通信电子战系统 目标获取

Richard A. Poisel 著  
楼财义 陈鼎鼎 等译  
杨小牛 审



E96/2

2008

# 通信电子战系统目标获取

Target Acquisition in Communication Electronic  
Warfare Systems

[美]Richard A.Poisel 著  
楼财义 陈鼎鼎 等译  
杨小牛 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

1-58053-913-0 Target Acquisition in Communication Electronic Warfare Systems

Copyright©2004ARTECH HOUSE,INC.

685 Canton Street, Norwood, MA 02062

本书中文翻译版专有出版权由 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：01-2007-4588

### 图书在版编目（CIP）数据

通信电子战系统目标获取 / （美）理查德（Poisel,A.）著；楼财义，陈鼎鼎等译. —北京：电子工业出版社，2008.3

书名原文：Target Acquisition in Communication Electronic Warfare Systems

ISBN 978-7-121-06002-1

I. 通… II. ①理… ②楼… ③陈… III. 军事通信—通信对抗—电子战 IV. E96 E919

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 017722 号

责任编辑：竺南直

印 刷：北京市海淀区四季青印刷厂

装 订：北京牛山世兴印刷厂

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

开 本：850×1168 1/32 印张：11.5 字数：286 千字

印 次：2008 年 3 月第 1 次印刷

印 数：4000 册 定价：29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

# 作者简介

Richard A.Poisel 于 1969 年在美国密尔沃基工程学校获电子工程学士学位，于 1971 年在 Purdue 大学获得电子工程硕士学位。1971 到 1973 年期间服兵役。其后就读于威斯康星大学，并于 1977 年获得该校电气与计算机工程博士学位。从 1977 年到 2004 年他一直为同一家政府机构工作，该机构数次易名，现在叫做美国陆军研究、开发和工程指挥、情报与信息战实验室。1993 到 1994 学年，Poisel 博士就读于麻省理工学院斯隆管理学院并获得工商管理硕士学位。Poisel 博士最初是一个研究工程师，但最终在 1997 到 1999 年期间晋升为实验室负责人。1999 年他被任命为首席科学家，并重新回到位于亚利桑那州 Huachuca 堡的陆军情报中心，担任指挥组的技术顾问。现在他是 Raytheon 导弹系统公司的高级技术人员。

# 译者序

目标获取是通信电子战(EW)系统中必不可少的系统功能之一。一般而言,它包括检测环境中是否存在指定频率的信号和判断这些信号是否为目标信号两方面功能。整个过程需要对信号参数进行测量,并且这种测量要尽可能做到自动化。

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)和《现代通信干扰原理与技术》(Artech House 出版社 2004 年出版)之后的又一本专著,全面介绍了通信目标获取的各种传统方法和现代高分辨率技术,介绍了对具有随机参数的确定性信号和随机信号的最佳检测技术,还介绍了利用诸如模糊逻辑和证据推理等人工智能技术有效管理目标获取的方法。

本书是一本指导如何应用窗口技术进行频谱估计,评估这些技术对目标获取过程的影响效果的实用参考书。无论是出于利用还是对抗的目的,本书介绍的这些技术都有助于设计开发获取通信目标的最佳途径。无论是电子战系统的设计师还是操作人员,都可以利用本书提供的方法衡量电子战系统在密集射频环境中的作战效能。因此,本书是进行通信电子战目标获取系统设计和评估的完全手册,是通信目标获取的实用“宝典”。

本书面向从事通信电子战系统开发设计工程实践的技术人员,以及那些对通信电子战系统中的目标获取方法感兴趣的工程师和科学家们,是一本用于解决实际系统设计中遇到的具体问题的参考书。

本书前言部分和第 1~4 章由陈鼎鼎翻译；第 5, 6 章由曹国英翻译；第 7 章由楼财义翻译；第 8 章由李新付翻译；第 9 章由张东坡翻译；第 10, 11 章和附录部分由张春磊翻译。楼财义、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，王敏也参与部分章节的审校工作。由于译者技术和翻译水平有限，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

2007 年 8 月于嘉兴

# 原著前言

目标获取是通信电子战(EW)系统中必不可少的系统功能之一。一般而言,它包括检测环境中是否存在指定频率的信号和判断这些信号是否为目标信号两方面功能。整个过程需要对信号参数进行测量,并且这种测量要尽可能做到自动化。

本书面向具有工程实践经验的技术人员,比如那些对通信电子战系统中获取目标信号的基本方法感兴趣的工程师和科学家们。要理解本书的内容需要具有相关技术专业学士学位的专业水平。本书适合初次涉及电子战领域的科技人员,并在各章最后列出了参考文献,这些参考文献为那些有志于从事相关研究工作的科技人员提供更详细、更深入的材料。

第1章简单介绍目标获取问题,同时介绍通信系统模型和电子战中的通信系统设置。

信号一般分为随机信号和非随机信号两类。后者又通常称为确定性信号,因为对这种信号,只要知道信号在任一时刻的值,那么就能确定该信号在该时刻之后(和之前)的值。而前一种信号的一个或多个参数具有随机的特性,因此即使知道该信号某时刻的信号值,也不能确定其他时刻的信号值。这种信号称为随机信号。随机信号只能用概率术语来描述。

第2章介绍统计过程的背景材料,并比较确定性过程和随机过

程。与通信电子战系统相关的大部分信号都是具有一个或多个随机参数的确定性信号。通信理论是沿着一定的路径发展的，现代通信系统就是利用这些概念设计的。例如，用于将信号从一个频率转换到另一个频率（即频率变换）的振荡器是正弦的。正弦函数的特征是众所周知的，也许除了未知的（也可能是随机的）幅度和相位外，其余都是确定的。为了帮助读者回忆相关基础理论，本章简单总结傅里叶变换的内容。当然，详细的傅里叶变换过程介绍超出了本书的讨论范围。

第 3 章简单介绍射频 (RF) 频谱搜索技术。当我们关注的目标不一定一直出现在同一个频率点上时，就需要搜索 RF 频谱。对于静态的情况而言，目标总是固定的，搜索起来比较简单。事实上，在这种情况下根本不需要搜索，我们只要将接收机调谐到目标所在的已知频率点上就可以了。但在多数情况下往往不是这样，我们还需要借助一定的搜索技术。这取决于有限的可用资源与相关目标数量之间的比较。

第 4 章向读者介绍目标检测中使用的假设检验概念。假设检验是一种用最优算法来确定特定条件是否为真的统计学技术。

目标参数的估计非常重要，它可以确定某信号是否为目标信号。第 5 章介绍用于电子战目标获取的目标参数估计基本原理。我们关注的目标参数不仅仅是活动信号的频率，还包括信号的调制类型和功率电平，上面只提到少数几个。

我们所关心的最重要的参数也许是目标信号的频率。第 6 章介绍目标频谱估计方法。但这里讨论的方法的频率分辨率相对较低。在这种意义上，分辨率是指辨别两个频率间隔非常小的信号的能力。



在电子战系统应用的很多实际场景中，存在许多信号，RF 频谱非常拥挤。在这种情况下，分离信号的能力就变得非常重要。

第 7 章向读者介绍确定性信号的检测方法。正如前面提到的那样，来自通信目标所感兴趣信号的许多参数多半是已知的。虽然这些信号一般都具有一个或多个随机参数，但大多数信号都是某种类型的正弦信号。因此，确定性信号的检测方法很重要。

与第 7 章相对应，第 8 章介绍随机信号的检测技术。通常，对要检测的信号了解得越少，检测的性能就越差。如果信号是完全知道的，那么最好的检测技术是使用匹配滤波器。我们可以设计出这样的滤波器来最佳检测这种已知信号，关于最佳的含义见第 7 章。如果信号的一个或多个参数是未知的，那么该匹配滤波器就不再是最优的，这时必须引入其他检测方法。

正如前面提到的那样，传统信号检测方法的信号分辨率很低，在拥挤的 RF 环境中很难获得很好的结果。现在已经提出几种高分辨率技术来解决这个问题。第 9 章就介绍这些方法。第 9 章对其中两种方法进行了详细介绍，而对其他技术只做一般说明，并以表格的形式比较了大多数已知的高分辨率频谱估计方法。

第 10 章介绍用于自动或半自动信号识别过程的两种人工智能方法。本章并不打算详细论述这个领域的内容，只是介绍了该领域的几种入门技术，并给出这些技术的实际证明。

在任何实际系统中，实施电子战的过程都是非常复杂的，因为从来都没有足够的资源来完全截获所有的目标。第 11 章介绍资源分配的方法和利用有限的资源评估系统性能的方法。

本书不是一本电子战目标获取方面的教科书，而是一本用于解

---

决实际系统设计中遇到的具体问题的参考书。当然本书也可以作为电子战目标获取速成的参考书。

我非常感谢我的两位在情报和信息战实验室 (I2WD) 工作的同事。约翰·科辛斯基 (John Kosinski) 仔细审阅了本书手稿。我同样感谢玛利亚·赖特 (Maria Wright) 为本书的及时出版所做的工作。

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电子战	1
1.2 通信和电子战	3
1.3 信号检测	4
1.4 信号搜索	11
1.5 符号表示	12
1.6 结束语	12
参考文献	13
第 2 章 确定信号和随机过程	16
2.1 傅里叶变换	16
2.1.1 几个重要的傅里叶变换	18
2.1.2 几个重要特性	24
2.2 确定性信号	25
2.2.1 确定性信号的能量和功率	27
2.3 随机过程	28
2.3.1 集合 (Essemble)	28
2.3.2 功率谱密度	31
2.3.3 平均、自相关和自协方差函数	32
2.3.4 平稳和广义平稳过程	33
2.3.5 遍历过程 (Ergodic process)	34

2.3.6 循环平稳过程	34
2.4 随机信号	34
2.5 白噪声	42
2.5.1 噪声中的信号	43
2.6 结束语	44
参考文献	44
<b>第3章 目标搜索方法</b>	<b>45</b>
3.1 一般搜索	48
3.2 指定搜索	52
3.3 结束语	53
参考文献	54
<b>第4章 信号检测的假设检验</b>	<b>55</b>
4.1 假设检验	55
4.2 接收机工作特性	58
4.3 似然比	60
4.4 假设检验	62
4.4.1 贝叶斯准则	63
4.4.2 极小极大准则	68
4.4.3 Neyman-Pearson 准则	70
4.5 多个测量	72
4.6 多个假设	73
4.7 结束语	73
参考文献	74
<b>第5章 目标参数估计</b>	<b>75</b>
5.1 信号参数估计	75

---

5.2 克拉美—罗界限 .....	77
5.2.1 AWGN 中信号的 CRLB .....	81
5.3 最大似然估计 .....	93
5.4 结束语 .....	103
参考文献 .....	103
<b>第 6 章 谱估计</b> .....	<b>105</b>
6.1 周期图谱估计方法 .....	105
6.1.1 平均周期图 .....	109
6.2 Blackman - Tukey 谱估计 .....	114
6.3 窗 .....	115
6.3.1 其他窗 .....	117
6.3.2 窗小结 .....	120
6.4 频域检测器的性能 .....	128
6.5 结论 .....	129
参考文献 .....	130
<b>第 7 章 确定性信号的检测</b> .....	<b>131</b>
7.1 已知参数的确定性信号的检测 .....	132
7.1.1 匹配滤波器检测 .....	133
7.1.2 匹配滤波器的性能 .....	137
7.2 未知参数的确定性信号的检测 .....	140
7.2.1 正交检测器 .....	141
7.2.2 GLRT 检测 .....	146
7.2.3 具有未知参数的正弦载波的检测 .....	157
7.2.4 用于弱信号检测的局部最佳检测 .....	161
7.2.5 贝叶斯线性模型 .....	177

7.2.6	加性高斯白噪声 (AWGN) 中正弦未知参数的最大似然估计 (MLE) .....	182
7.2.7	存在脉冲噪声时未知参数确定性信号的最佳检测 .....	187
7.3	结束语 .....	191
	参考文献 .....	192
<b>第 8 章</b>	<b>随机信号的检测</b> .....	<b>194</b>
8.1	参数未知随机信号的检测 .....	194
8.1.1	随机信号的 GLRT 检测 .....	194
8.1.2	随机信号的局部最佳检测 .....	200
8.2	辐射计 .....	202
8.2.1	辐射计检测器 .....	203
8.2.2	辐射计性能 .....	205
8.2.3	辐射计模型 .....	206
8.2.4	不确定噪声功率 .....	212
8.2.5	本振偏移 .....	215
8.3	结束语 .....	217
	参考文献 .....	217
<b>第 9 章</b>	<b>高分辨率谱估计</b> .....	<b>220</b>
9.1	自回归滑动平均模型 .....	221
9.1.1	滑动平均模型 .....	224
9.1.2	自回归模型 .....	225
9.1.3	自回归滑动平均模型 .....	227
9.1.4	最大熵谱分析 .....	234
9.1.5	模型阶数的确定 .....	240
9.1.6	自回归谱分析的分辨率 .....	245
9.2	谱线估计法 .....	250

---

9.2.1	最小二乘法	252
9.2.2	Prony 方法	252
9.2.3	修正 Prony 方法	253
9.3	信号子空间技术	254
9.3.1	Pisarenko 方法	260
9.3.2	Pisarenko 求根法	265
9.3.3	MUSIC 算法	265
9.3.4	最小范数法	268
9.3.5	主分量谱估计	270
9.4	最大似然法	271
9.5	分辨率比较	272
9.6	谱峰确定	280
9.7	结束语	281
	参考文献	285
<b>第 10 章</b>	<b>目标识别的人工推理</b>	<b>288</b>
10.1	证据推理	288
10.1.1	组合规则	292
10.1.2	Dempster-Shafer 方法的局限性	300
10.2	模糊逻辑	301
10.2.1	模糊与清晰集合	301
10.2.2	关系	305
10.2.3	通用隶属函数	306
10.2.4	模糊 If-Then 规则	313
10.2.5	模糊推理	313
10.3	结束语	325
	参考文献	326

---

第 11 章 资源分配	328
11.1 排队	328
11.1.1 排队论的统计学	330
11.1.2 Kendall-Lee 表示法	332
11.1.3 排队关系	334
11.1.4 $M/M/1$ 模型	335
11.1.5 其他队列类型	338
11.2 结束语	339
参考文献	340
附录 A 拉格朗日乘数法	341
附录 B 凸函数	343
参考文献	347
缩略语	348



# 第1章 绪 论

电子战（EW）是提高指挥员军事作战能力的有效工具之一。从应用效果上，电子战的作用类似于炮火，只不过电子战是一种间接手段。说电子战是一种间接手段，是因为在使用电子战时，目标和阵地不一定要在视觉直线上，而只需要目标在无线电视距内，而无线电视距往往远远大于视觉视距。

电子战应用的直接效果是短暂的，当电子战能量消失后，该效果也就消失了。但这并不是说其整体效果是短暂的。事实上，应用电子战技术和方法可以对敌方的作战行动产生重大影响。

本章对电子战及其主要组成部分作一简单介绍。本书其他各章着重论述通信电子战这一具体领域，该领域非常重要，值得进行深入讨论。

## 1.1 电子战

电子战是指对电子设备实施反制的各种活动。电子战主要包括三个部分：电子支援（ES）、电子进攻（EA）和电子防护（EP）<sup>[1]</sup>。本书讨论的内容主要集中在电子支援的组成部分之一：目标检测。

电子支援为电子进攻提供支持功能，包括提取目标信号的有关信息，以实现更有效的进攻。电子支援执行的四个主要功能都是无源的，它们是：