

386749

TN97
02

无线电干扰和 无线电技术侦察基础

〔苏〕C. A. 瓦金 Л. H. 舒斯托夫 著

《无线电干扰和无线电技术
侦察基础》翻译组 译



66.516



科

C0162647

1977

内 容 简 介

本书应用现代数学方法,比较系统地介绍了无线电干扰和无线电技术侦察的原理。全书共分十章。第一章叙述了判断无线电干扰效果的信息准则和战术准则。第二章至第六章分析了对各种雷达及无线电设备的有源无线电干扰方法及其效果。第七章至第九章讨论了各种无源无线电干扰的方法。第十章专门讨论了无线电技术侦察的方法。

本书可作为高等院校无线电电子对抗专业的教学参考书,也可供从事无线电电子对抗、雷达、通讯和制导等方面工作的有关人员参考。

S. A. Vakin L. N. Shustov

PRINCIPLES OF JAMMING AND ELECTRONIC RECONNAISSANCE

Clearinghouse, 1969

无线电干扰和 无线电技术侦察基础

[苏] C. A. 瓦金 Л. Н. 舒斯托夫 著

«无线电干扰和无线电技术
侦察基础»翻译组 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1977年3月第一版 开本:787×1092 1/32

1977年3月第一次印刷 印张:13 1/4

印数:0001—18,650 字数:303,000

统一书号:15031·153

本社书号:837·15—7

定价: 1.30 元

译 者 序

随着雷达、通讯和火箭技术的发展,以及它们在军事上的广泛应用,无线电干扰和无线电技术侦察在现代军事技术中越来越占据重要的地位,并且已经成为保存自己、消灭敌人的重要措施之一。

解放以后,在以毛主席为首的党中央领导下,我国的无线电电子对抗事业有了很大发展;特别是无产阶级文化大革命以来,粉碎了刘少奇、林彪两个资产阶级司令部,在毛主席革命路线的指引下,无线电电子对抗事业正在得到进一步的发展。我们必须遵照毛主席关于“**备战、备荒、为人民**”的教导,对帝国主义可能发动的侵略战争,特别是对苏修社会帝国主义对我国发动突然袭击,保持高度警惕,做好反侵略战争的一切准备。

本书是根据美国出版的 AD692642、AD692643 所刊载的《PRINCIPLES OF JAMMING AND ELECTRONIC RECONNAISSANCE》转译的,并根据俄文原版《ОСНОВЫ РАДИОПРОТИВОДЕЙСТВИЯ И РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ》(Москва—1968)进行了校对。原版中的序言、引言部分存在着观点错误,无参考价值,在译本中删去;对书中的技术性错误已予以校正。

本书由郑同良、梁百川、郑恩博、崔炳福、张梦庚等同志译出,何自强、赵树芴、柯锡祺、刘佑民等同志校对。在翻译过程中,得到有关单位和不少同志的支持与帮助,在此表示衷心感谢。

由于我们水平有限,译文中错误和不妥之处一定不少,希望广大读者提出宝贵意见。

目 录

第一章	各种干扰手段、方法及其效果的判断准则	1
1.1	准则的一般特性	1
1.2	信息准则	2
1.3	干扰信号的功率特性	9
1.4	压制自动控制系统的干扰信号品质的准则特性	19
1.5	信息损失准则	24
1.6	战术运用准则	25
1.7	目标分配系统	29
1.8	远程引导系统	32
1.9	自身引导系统	47
1.10	干扰的最佳使用方法	53
第二章	对工作在搜索状态下雷达的有源干扰	69
2.1	估算有源干扰所造成的信息损失的方法	69
2.2	连续噪声干扰	79
2.3	压制连续波和准连续波雷达(窄频带雷达)的特性	89
2.4	压制宽频带编码雷达的特性	91
2.5	噪声干扰站的典型方框图	96
2.6	噪声干扰发射机的调制特性	99
2.7	对工作在搜索状态下雷达的脉冲干扰	109
第三章	对信号顺序比较的方向自动跟踪系统的有源干扰	114
3.1	引言	114
3.2	信号顺序比较的方向自动跟踪系统的测向特性	115
3.3	对扫描频率的瞄准干扰	121
3.4	对扫描频率的阻塞干扰	129

3.5	利用平衡调制形成干扰信号的方法	139
3.6	断续干扰	146
第四章	对信号同时比较的方向自动跟踪系统的有源干扰	152
4.1	引言	152
4.2	信号同时比较的方向自动跟踪系统的测向特性	152
4.3	由两点产生的非调制的非相干干扰	160
4.4	非相干干扰对方向自动跟踪系统动态特性的影响	168
4.5	非相干干扰的效果	172
4.6	由两个相干辐射源产生的干扰	174
4.7	周期性输入扰动对方向自动跟踪系统的影响	193
第五章	对距离和速度自动跟踪系统产生有源干扰的方法	204
5.1	引言	204
5.2	对自动测距器的有源干扰	204
5.3	对速度自动跟踪系统的有源干扰	209
5.4	信号载波频率频移的方法	217
第六章	对无线电控制和通讯线的干扰	224
6.1	引言	224
6.2	对无线电控制和通讯线的无线电干扰方程	224
6.3	对指令无线电控制线的干扰形式	228
6.4	对无线电话通讯线的干扰形式	239
第七章	无源无线电干扰	244
7.1	引言	244
7.2	偶极子反射体	245
7.3	空间随机取向半波偶极子的有效散射面积	246
7.4	偶极子反射信号起伏的频谱	253
7.5	无线电波在高浓度偶极子云中的衰减	257
7.6	无源干扰对搜索和目标指示脉冲雷达的压制特性	258
7.7	无源干扰对脉冲相干雷达的作用特性	268

第八章	假目标和雷达陷阱	285
8.1	引言	285
8.2	假目标在目标分配系统中的应用	286
8.3	雷达陷阱在制导和寻的制导系统中的应用	288
8.4	增加假目标有效散射面积的方法	298
第九章	以改变媒质电性能和雷达的目标检测能力为基础的无线电干扰方法	312
9.1	利用空间局部区域电离的方法破坏无线电电子设备的工作	312
9.2	核爆炸对无线电电子系统工作的影响	316
9.3	减小飞行器有效散射面积的方法	322
第十章	无线电技术侦察	336
10.1	无线电技术侦察的使命与职能	336
10.2	排队论在无线电技术侦察中的应用	337
10.3	无线电技术侦察站的方框图	359
10.4	测频的搜索法	362
10.5	测频的非搜索法	372
10.6	载波频率的存储	390
10.7	对无线电电子设备的定向	395
10.8	对无线电电子设备的定位	400
10.9	无线电电子设备类型的识别特性	402
10.10	干扰设备的控制原则	403
参考文献	411

第一章 各种干扰手段、方法 及其效果的判断准则

1.1 准则的一般特性

一般说来,对防空无线电电子设备的干扰可以用下列方法实现:

1. 施放无线电干扰(有源和无源干扰,假目标);
2. 改变媒质的电性能(电离空间,施放吸收性和散射性媒质);
3. 改变目标的散射特性(减小目标的有效散射面积,反雷达伪装).

有源干扰是利用调谐到被压制无线电电子设备频率上的发射机产生的,并且根据具体的被压制对象采用专门的调制.干扰信号可以对有用信号进行遮盖或模拟.因此,可分遮盖性干扰和模拟性干扰.有源干扰也可以引起相应的无线电电子线路变换特性的变化.

目前,无源干扰是用投掷大量能够有效散射电磁波的偶极子的方法产生的.偶极子云反射的信号功率大大超过飞机反射的信号功率.

假目标即雷达陷阱是从飞机或地面上发射的具有很大有效散射面积的飞行器(火箭).利用专门的二次辐射器(有源的或无源的)可以获得很大的有效散射面积.

改变媒质的电性能,可以用人造电离区和在媒质中施放各种吸收性和散射性杂质(例如,烟雾)的方法达到.在异常

区所产生的异常现象会破坏电磁波正常的传播条件。

改变目标的散射特性，可以利用各种反雷达覆盖物和电磁能二次辐射器达到，其结果会使目标的探测发生困难，甚至无法进行。

应用各种无线电干扰手段(无线电干扰、改变媒质的电性能、减小雷达的对比度)的结果，不会引起干扰对象在物质上的破坏，而只能改变干扰对象的信息流量。由于通过无线电电子线路信息流量的变化，引起了整个控制系统信息量的变化，所以降低了所服务的防空武器系统的战斗效果。这实质上反映了无线电干扰的基本原理，即，用无线电技术的方法改变敌方控制系统的信息量，从而降低敌人武器的战斗效果。

因此，为了说明干扰的一般原理和确定估价干扰效果的准则，必须确定各种干扰手段的参数与它们对敌人被压制无线电电子系统战斗效果影响程度之间的关系。

已经确定的两种准则是信息准则和战术运用准则。

信息准则可以估价具体干扰信号的品质，和为使敌人信息受到损失所采取的措施的优劣。

战术运用准则是研究各种干扰手段应用原则的出发点。它们可以估价战斗运用中所采取的干扰组织措施的优劣。

1.2 信息准则

根据干扰信号的样式和被压制无线电电子设备的类型，可以得到不同的信息准则。

对于工作在搜索状态的雷达，利用干扰信号嫡估价遮盖性干扰的品质是很方便的。对于给定的干扰信号样式来说，这种品质准则的合理性可以按照下列方法说明。

在某些限制条件下，遮盖性干扰信号应使对有用信号的

探测概率不超过规定值。就目前所知道的信息保障系统而言，正确工作的一个必不可少的条件是有用信号的先验知识。此知识的程度可以有差异，但无论如何，关于有用信号的某种先验信息，以及关于属于已知类型的信号的特定形式的分布律，总应是已知的。否则，就不可能保证信息系统的有效性。

理想的遮盖性干扰信号应造成这样的状态，即在接收到有用信号之后，信息保障系统仍然保留着先验不确定性。对于这种类型的各种无线电电子设备来说，所指出的遮盖性干扰的性质应该在一段很长的时间内存在。上述情况，排除了为此目的使用确定性信号的可能性，因为它很容易被敌人识别出来，所以不能增加系统的不确定性。而且，确定性干扰信号可以用比较简单的技术措施加以消除，也就是说，它具有较低的潜在遮盖性(当它的功率特别大时除外)。换句话说，遮盖性干扰必须含有不确定性成分。当给定限制条件时，干扰

据文献 [1,2] 所知，熵是随机变量或随机过程不确定性的计量单位。

$$J = \left(\begin{matrix} J_1 \cdots J_i \cdots J_n \\ P_1 \cdots P_i \cdots P_n \end{matrix} \right),$$

式中 J_i 是随机变量的数值；

P_i 是随机变量的数值 J_i 的出现概率；

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1,$$

随机变量 J 的熵 $H(J)$ 决定于下列公式

$$H(J) = - \sum_{i=1}^n P_i \log P_i. \quad (1.1)$$

当其它条件相同时，遮盖性干扰信号中熵最大的那个信号是最好的。

如果随机变量 X 用连续分布密度 $p(x)$ 表示，那么它的熵

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \log p(x) dx. \quad (1.2)$$

相应地，对于用多维分布密度 $p(x_1, \dots, x_n)$ 表示的随机变量来说，其熵：

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} p(x_1, \dots, x_n) \log p(x_1, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_n. \quad (1.3)$$

引用熵作为遮盖性干扰信号的品质特性，在估价干扰的潜在能力时，可以不管被压制设备对它们的具体处理方法。产生遮盖性干扰(不确定性)时，可用功率利用得优劣的直接特性是干扰信号的熵功率。这一概念将在第二章中详细讨论。应该指出，应用干扰信号的熵，在某种程度上，可以估价它们的潜在干扰能力。

模拟干扰和假目标的品质，可以用下列方法估价。真目标可用某些独立的参数集表征。这些参数可以被认为多维空间的各坐标。相应的目标信号可以表示成此空间中的一个矢量。这样一来，真目标可以被认为与特征矢量 $O(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ 一致的矢量，这里 $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ 为定量地表征上述特征各独立参数。

如果 $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ 均为完全确定的数值，那么产生假标志(目标)的问题，将归结为用干扰设备相应地再现特征矢量的各个分量。

对于实际的目标而言，其中每个特征 α_k ，或者是按真目

标集分布的随机变量,或者是每个给定目标的时间随机函数。

换句话说,根据某些独立参数或所有独立参数(特征矢量的各分量)指定一概率分布:

$$\alpha_k = \begin{pmatrix} \alpha_k^1 \cdots \alpha_k^N \\ P_1 \cdots P_N \end{pmatrix},$$

$$\sum_{j=1}^N P_j = 1.$$

式中 P_j 是第 k 个特征取值为 α_k^j 的概率。

上述情况说明引用不确定性描述假标志(目标)特征矢量是必要的。

换句话说,必须用适当的方法指定与假目标特征矢量相应的各个分量的概率分布。

假定,该类型的真目标集 O/T 和同一类型的假目标集 O/F 都含有 m 个单元: $(O_1/T, \cdots, O_m/T)$, $(O_1/F, \cdots, O_m/F)$, 而且假定,已知目标集 O/T 和 O/F 的先验概率分布,那么根据假定,给定用第 k 个特征表示的目标的全概率列为:

$$O/T = \begin{pmatrix} O_1/T & \cdots & O_m/T \\ P_{j1}(O_1/T) & \cdots & P_{jm}(O_m/T) \end{pmatrix},$$

$$\sum_{i=1}^m P_{ji} = 1.$$

对于假目标集而言,也可写出类似的概率列。上述每一个概率列与都用第 k 个特征(即,真目标和假目标的全概率列 α_k) 表示的真目标和假目标所确定的熵一致。利用第 k 个特征表示的假目标再现真目标的优劣,可以用它们的条件熵之差 $I(O_k/F)$ 来估价,即用第 k 个特征表示的假目标的条件熵 $H(O/F)$ 与也是用第 k 个特征表示的真目标的条件熵之差表示:

$$I(O_k/F) = H(O_k/F) - H(O_k/T). \quad (1.4)$$

式中

$$H(O_k/F) = - \sum_{i=1}^N P_i(\alpha_k/F) \sum_{j=1}^m P_{ji}(O_i/F) \log P_{ji}(O_i/F); \quad (1.5)$$

$$H(O_k/T) = - \sum_{i=1}^N P_i(\alpha_k/T) \sum_{j=1}^m P_{ji}(O_i/T) \log P_{ji}(O_i/T); \quad (1.6)$$

$P_i(\alpha_k/F)$ 是假目标第 k 个特征取值为 α_k^i ($j = 1, 2, \dots, N$; $k = 1, 2, \dots, m$) 的条件概率;

$P_i(\alpha_k/T)$ 是真目标第 k 个特征取值为 α_k^i 的条件概率;

$P_{ji}(O_i/F)$ 是出现第 i 个假目标且其相应的特征取值为 α_k^i/F 的条件概率;

$P_{ji}(O_i/T)$ 是出现第 i 个真目标且其相应的特征取值为 α_k^i/T 的条件概率。

为了方便起见, 通常用对目标集 O 求平均的方法所得到的条件熵之差表示再现的优劣, 而不是用通过在其中一个特征的定义域内对概率分布求平均的方法得到的条件熵之差表示。因此, 根据对称性得到:

$$I(O_k/F) = H(F/O_k) - H(T/O_k), \quad (1.7)$$

式中

$$H(F/O_k) = - \sum_{i=1}^m P_i(O_i/F) \sum_{j=1}^N P_{ji}(\alpha_k/F) \log P_{ji}(\alpha_k/F); \quad (1.8)$$

$$H(T/O_k) = - \sum_{i=1}^m P_i(O_i/F) \sum_{j=1}^N P_{ji}(\alpha_k/T) \log P_{ji}(\alpha_k/T). \quad (1.9)$$

条件熵相等

$$H(F/O_k) = H(T/O_k)$$

是假目标完全再现由第 k 个特征表示的真目标的充分和必要

条件 [3,4].

利用所谓库尔巴克散度 [3,5] 表示两种假设的鉴别特性以及用假目标模拟真目标的优劣是很方便的.

它可以定性地估价用假目标特征矢量 $O_F(\alpha_F^1, \dots, \alpha_F^N)$ 描写用真目标特征矢量 $O_T(\alpha_T^1, \dots, \alpha_T^N)$ 表示的真目标的优劣, 而且真目标的 N 个特征中每个特征为离散值的全概率列为:

$$\alpha_T^k = \left(P(\alpha_k^1/T) \cdots P(\alpha_k^j/T) \cdots P(\alpha_k^N/T) \right),$$

而假目标特征矢量的每个分量用相应的全概率列来描写

$$\alpha_F^k = \left(P(\alpha_k^1/F) \cdots P(\alpha_k^j/F) \cdots P(\alpha_k^N/T) \right).$$

根据所采用的符号, 库尔巴克散度 (两种假设之间的差别) 可以写成下列形式:

$$\text{Div} \alpha_k = \sum_{j=1}^N [P_j(\alpha_k/T) - P_j(\alpha_k/F)] \log \frac{P_j(\alpha_k/T)}{P_j(\alpha_k/F)}. \quad (1.10)$$

对于难分辨的目标或同样的目标来说, 当 $P_j(\alpha_k/T) = P_j(\alpha_k/F)$ 时库尔巴克散度等于零.

库尔巴克散度的量度方法比熵的量度方法更方便, 在正态分布的情况下, 它可以得到比较简单的计算公式. 库尔巴克散度完全决定于后验分布.

上面引进的库尔巴克散度公式 (1.10), 可以按照下列推论的方法得到. 假定, 已经给定真目标特征矢量其中一个分量各离散值的先验概率分布 $P(\alpha_k)$, 并且假定, 对于下列两种必择其一的假设, 即对于相当于真目标的特征和相当于假目标(标志)的特征来说, 该特征离散值的后验概率分布 $P(\alpha_k/T)$ 和 $P(\alpha_k/F)$ 也是已知的.

那么, 我们将后验概率与先验概率之比的对数

$$I(\alpha_k^i; \alpha_k/T) = \log \frac{P(\alpha_k^i/T)}{P(\alpha_k^i)} \quad (1.11)$$

定义为随机变量 α_k^i/T 中含有随机变量 α_k^i 的信息量。对数的底根据预先选用的信息量度单位进行选择 [6]。

同样,也可以确定假目标随机变量 α_k^i/F 中含有随机变量 α_k^i 的信息量:

$$I(\alpha_k^i; \alpha_k^i/F) = \log \frac{P(\alpha_k^i/F)}{P(\alpha_k^i)} \quad (1.12)$$

如果公式 (1.11) 和 (1.12) 都用特征矢量同一个分量的随机值表示,那么,假目标与真目标的相似程度决定于公式 (1.11) 和 (1.12) 的差值:

$$I(\alpha_k^i; \alpha_k^i/T) - I(\alpha_k^i; \alpha_k^i/F) = \log \frac{P(\alpha_k^i/T)}{P(\alpha_k^i/F)} \quad (1.13)$$

更准确地说,该差值决定的是存在于随机变量 α_k^i 中认为给定目标是真目标的假设比另一种假设(假目标)大的信息量。如果我们分别对真目标第 k 个特征和假目标第 k 个特征概率列所有可能值 α_k^i 的差值 (1.13) 求平均,那么,我们将相应地得到该特征代表真目标的假设的平均信息量。所以,

$$\sum_{i=1}^N P(\alpha_k^i/T) \log \frac{P(\alpha_k^i/T)}{P(\alpha_k^i/F)} \quad (1.14)$$

是存在于随机变量 α_k^i 中认为所识别的目标是真目标的平均信息量,并且,这是与事实符合的。类似地

$$\sum_{i=1}^N P(\alpha_k^i/F) \log \frac{P(\alpha_k^i/T)}{P(\alpha_k^i/F)} \quad (1.14a)$$

是存在于随机变量 α_k^i 中认为所识别的目标是真目标的平均信息量,而实际上它是假目标。

式(1.14)和式(1.14a)的差值等于 $\text{Div}\alpha_k$ [见公式(1.10)],它确定了用特征矢量第 k 个分量所描述的情况有关的两种必择其一的假设之间的散度值。

由于先验概率分布的独立性，两种必择其一的假设的散度不仅是模拟干扰优劣的一个很方便的准则，而且也是遮盖性干扰优劣的一个很方便的准则。对于遮盖性干扰来说，为了应用这个准则，必须知道仅仅代表干扰信号这个现实的后验概率分布 $p(x_1, \dots, x_n/J)$ 和含有干扰信号与有用信号的合成信号这个现实的后验概率分布 $p(x_1, \dots, x_n/S)$ 。如果多维分布密度是可微分的，并且决定于整个实数轴，那么

$$\begin{aligned} \text{Div}J/S = & \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} [p(x_1, \dots, x_n/S) \\ & - p(x_1, \dots, x_n/J)] \log \frac{p(x_1, \dots, x_n/S)}{p(x_1, \dots, x_n/J)} \\ & \times dx_1 \dots dx_n. \end{aligned} \quad (1.15)$$

上面给出的干扰信号优劣的信息准则的方便之处，首先在于干扰设备的研究者，实际上始终存在着按照这些准则进行具体计算所需的信息量。

正如前面所指出的那样，上述信息准则的独特优点在于，估价干扰信号的品质时，不必纠缠于具体的被压制设备和在干扰条件下敌人采取的措施。为了应用这些准则估价模拟干扰信号和假目标的品质，必须知道它们的后验统计特性。

1.3 干扰信号的功率特性

干扰信号功率的一个重要特性是压制系数。有时，压制系数称为干扰信号品质的功率准则。但是，所研究的压制系数不是作为一个独立的准则，而是作为给定干扰信号与被压制设备的一个功率特性。

所谓压制系数可以理解为，使被压制的无线电电子系统产生指定的信息损失时，在被压制电子系统接收设备输入端线性部分通频带内产生所需的最小干扰信号与有用信号的能

量比。

由于干扰信号的作用，造成的信息损失表现在对有用信号的遮盖、模拟和产生误差，甚至中断信息进入，等等。信息损失的特性取决于干扰信号的样式和被压制设备的形式。

所给定的(在某种意义上讲也是可行的)信息损失是利用战术运用准则预先决定的。

在许多情况下，有用信号可以看作矩形脉冲(特别是在雷达中)来研究。在这种情况下，压制系数用接收机输入端干扰信号与有用信号功率比表示比较方便：

$$k_s = \left(\frac{P_i}{P_s} \right)_{\text{in min}} \quad (1.16)$$

式中 P_i 是干扰信号的功率；

P_s 是有用信号的脉冲功率。

例如，对于高斯白噪声来说， P_i 等于其噪声频谱密度 G 与接收机线性部分通频带 Δf_{re} 的乘积，即

$$P_i = G \Delta f_{re}.$$

在脉冲干扰的情况下，如果脉冲是矩形的，那么， P_i 是干扰脉冲的功率。

如果有用信号是连续的等幅振荡，例如，在调频或调相时产生的振荡，那么， P_s 是信号的瞬时功率，并且在这种情况下等于信号的平均功率。

以后我们将用式(1.16)作为压制系数的定义。如果 P_i 和 P_s 理解为信号平均持续时间内功率的平均值，那么，以所需的最小干扰功率和有用信号功率比表示的压制系数的定义，适用于任意形式的信号。压制系数的数值，只有当干扰信号和被压制设备给定时才能求出。

因此，功率准则与信息准则不同，它需要知道被压制系统的具体特性。