

组网雷达有源干扰对抗技术研究

张艳艳, 严超

(西安电子工程研究所 西安 710100)

摘要: 组网雷达系统需面对各种类型有源主动干扰的困扰, 如何对干扰进行识别并定位是干扰对抗的首要任务, 测向交叉定位通过对输入干扰信号进行分析获得干扰位置信息, 该方法简便易行, 但在多干扰源的情况下存在虚假定位问题, 现有的多站干扰定位中消除虚假定位算法十分复杂, 不易工程应用。本文提出一种有效方法对有源干扰类型进行识别, 并在识别的基础上对干扰进行定位。仿真表明, 该方法能够有效对干扰源进行定位, 且定位精度能够满足工程需求, 具有较好的应用前景。

关键字: 组网雷达; 干扰识别; 干扰定位; 虚假点。

0 引言

随着高新技术的飞跃发展, 现代电子战对雷达抗干扰技术提出更高的要求, 近年来世界范围内局部战争充分显示, 没用抗干扰能力的雷达在世界战争中几乎没用生存能力^[1], 真实战场中的干扰类型繁多, 根据对雷达的影响, 有源主动干扰分为伪装干扰、模仿(欺骗)干扰和压制干扰。有源干扰的频率与被压制雷达的频率一致。有源伪装干扰分为连续噪声、杂乱无章的脉冲干扰(在时间轴干扰脉冲位置随机)和确定的脉冲信号序列(脉冲幅度和模仿被压制雷达重复周期倍数的周期固定)。有源模仿(欺骗)干扰是指在雷达显示屏上无法与实际目标点迹区分的虚假点迹信号, 其分为一次应答干扰和多次应答干扰。根据对雷达发射脉冲的跟随频率, 分为同步有源模仿(欺骗)干扰和不同步有源模仿(欺骗)干扰。有源压制干扰是由于干扰电平远高于有用信号电平而产生的干扰。按照频谱宽度有源压制干扰分为阻塞式和瞄准式^[2]。

各种类型有源干扰威胁着组网雷达系统, 导致网内各雷达不能正确探测目标, 甚至使得雷达无法正常工作, 组网雷达系统需对抗各种干扰, 对抗中主要的任务就是对有源干扰识别并定位。而在组网雷达中可以对干扰源进行定位, 即收集雷达网内各雷达检测到的干扰源信息并进行相应的信息融合, 确定干扰源的三维空间位置, 实现多站干扰定位。通过多站干扰信息融合, 还可以实现对干扰源的可信度做出判别。采用多平台测角交叉定位是一种经典的定位方式, 可以较好地实现对目标的定位。然而在面对多个干扰目标时, 首先要解决的是目标的分选、配对问题, 如果分选配对发生错误, 定位计算所给出的目标位置将是不可信的(虚假定位)^[3]。为此, 需要有一种有效的对多目标进行分选和配对的算法, 消除交叉定位中的虚假点。目前关于多站干扰定位的虚假点去除算法理论有不少文献进行了介绍, 但多是基于网内各雷达均检测到干扰的前提下进行的, 算法相对复杂, 运算量大, 与实际工程现实有差距, 给工程实现带来一定困难。本文提出一种有效方法对有源干扰类型进行识别, 并提出相应的算法来消除测向交叉定位算法中的虚假点。

1 干扰类型识别和干扰区搜索

1) 获得雷达测量的原始数据

组网雷达系统具有唯一的时间系统, 该时间系统在所有雷达和融合中心中建立。通过融合中心每小时完成一次时间校准, 并记录系统每部雷达之间的基线距离 S_{i-j} 。系统工作时, 每部雷达通过相应的通信接口向融合中心发送以下数据: 当前时间、被检测干扰的方位码、雷达编号和干扰标志。

2) 干扰识别

对有源干扰类型的识别以沿方位测量干扰间的时间间隔(区间)以及干扰区域宽度为基础进行。计算在一个方位角上干扰的数量及干扰间的时间间隔, 确定干扰类型。如果时间间隔不同并大于两个方位角, 则认为作用于雷达的是有源噪声干扰。存在少数干扰, 这些干扰具有相对大的不同的时间间隔, 大于雷达

发射脉冲宽度，特征是确定的脉冲序列，同样属于有源伪装干扰类型。

在小的干扰区域内，以及沿方位角的干扰之间存在相同的时间间隔时，采用同步模仿干扰作用的解决方法。如果在每一个天线旋转周期之后，时间间隔与典型的目标运动速度成比例变化，则这种变化是模仿（欺骗）干扰的特征。

通过概率方法完成在其它干扰背景下的搜索干扰区域。用求和的方法确定在整个天线旋转周期内每个方位角上干扰的数量。然后计算在每个方位角上干扰的平均数量：

$$ma = N/4096 \quad (1)$$

N ——在整个天线旋转周期内的干扰量。

在每个方位角上干扰的平均数量采用试验平均值，对每个方位角计算差值：

$$\Delta m_i = ma - m_i \quad (i = 1, 2, \dots, 4096) \quad (2)$$

式中 m_i ——第 i 个方位角的干扰数量。

然后比较：

$$\Delta m_{i-1} < Pa \quad (3)$$

$$\Delta m_i \geq Pa \quad (4)$$

$$\Delta m_{i+1} \geq Pa \quad (5)$$

当满足这些条件时，当前方位角 A_i 为干扰区域的起始方位角 $A_i = \Theta_{hi}$ 。

如果：

$$\Delta m_{i-1} \geq Pa \quad (6)$$

$$\Delta m_i < Pa \quad (7)$$

$$\Delta m_{i+1} < Pa \quad (8)$$

式中 Pa ——按下式计算：

$$P_a = 2\sqrt{\sum \Delta m_i^2 / 4095} \quad (9)$$

则在这种情况下当前方位角为干扰区域的终止方位角 $A_i = \Theta_{ki}$ 。

当长时间作用于雷达时，为了寻找压制干扰区域，使用标志——在干扰区域信号不存在。

通过在每个旋转周期内减小 ma_i 证实该事件。

如果满足条件：

$$ma_{i-1} > ma_i > ma_{i+1} \quad (10)$$

$$\Delta m_{i-1} \geq Pa \quad (11)$$

$$m_i = m_{i+1} = 0 \quad (12)$$

式中 ma_i ——在第 i 次完整搜索时在一个方位角上干扰的平均数量，这时方位角 A_i 被认为是压制干扰区

域的起始方位角 $A_i = \Theta_{Hi}$ 。

在条件下:

$$m_{i-1} = 0 \quad (13)$$

$$\Delta m_i \geq Pa \quad (14)$$

$$\Delta m_{i+1} \geq Pa \quad (15)$$

方位角 A_i 被认为是压制干扰区域的终止方位角 $A_i = \Theta_{Ki}$ 。

当在搜索时出现几个干扰区域时, 选择干扰数量较多的一个区域:

$$\{K_j = \Delta A_j m_i\} \max \quad (16)$$

式中 ΔA_j ---- 在扇区内干扰方位角的数量。

扇区内方位角起始和终止时间被认定为干扰的起始和终止时间。

3) 根据雷达数据确定干扰发射装置的方位角

在发现干扰区域后 (在几个方位角上干扰连续出现或只有一个方位角无干扰), 用下式计算干扰发射装置的方位角:

$$\Theta_{\Pi, \Pi} = \Theta \rightarrow \text{med}(m_i) \quad (17)$$

式中 m_i ---- 集合 $\{m_H, \dots, m_K\}$ 的元素;

$\Theta_{\Pi, \Pi}$ ---- 干扰发射装置的方位角;

m_H ---- 在干扰区域起始方位角上的干扰数量;

m_K ---- 在干扰区域终止方位角上的干扰数量。

在压制干扰区域按下式计算方位角:

$$\Theta_{\Pi, \Pi} = (\Theta_K - \Theta_H) / 2 + \Theta_H \quad (18)$$

2 干扰定位

以上介绍的方法可获得干扰源的方位角, 并不能确定干扰源的距离信息, 仍然无法对干扰源进行精确定位, 本小节讨论如何获得干扰源的完整位置信息。

用两部或多部圆形搜索雷达, 在无发射信号的重复周期内 (高压关闭状态), 对干扰信号源定位, 来确定干扰发射装置的位置。

如下图 1 所示, 对于单一辐射源, 设辐射源位于 XY 平面的 C 点, 两个观测平台 A(x_1, y_1) 和 B(x_2, y_2)

对该辐射源测向, 测得的方位角为 α_1 和 α_2 (以 x 轴为基准)^[2]。

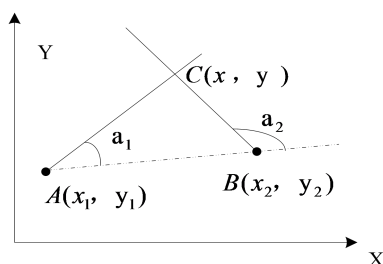


图 1 测向交叉定位基本原理图

1. 根据简单的三角关系，计算坐标：

$$x = \frac{x_1 \tan \alpha_1 - x_2 \tan \alpha_2 + y_2 - y_1}{\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2} \quad (20)$$

$$y = \frac{y_2 \tan \alpha_1 - y_1 \tan \alpha_2 + (x_1 - x_2) \tan \alpha_1 \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2} \quad (21)$$

2. 在坐标测量时剔除重大错误

如果计算的坐标值高于雷达或跟踪目标的战术特性，则计算的坐标被认为是重大错误。在这种情况下坐标被认为无效并剔除。

3. 消除“虚假点”

为了消除“虚假点”，使用下列方法之一：

a) By moving

对于直线运动的目标可以使用该算法。该算法的基础在于，真实目标沿直线轨迹运动。“虚假点”目标沿曲线轨迹运动。

跟踪所有求出的目标（真实的和“虚假点”的），选择轨迹最直的。这样在求出的一群目标中去除“虚假点”。算法如下：

1) 在给定间距数量的距离上对仿真信息进行积累。对于一对平台(i, j)，根据三角法计算得到干扰目标的位置信息，并按顺序将航迹点坐标(x, y)保存至存储器。

2) 根据每一个顺序积累的航迹点建立最大程度近似真实的航线。

3) 选择具有系数 a_j 最小值的m条航线（用一对相互作用平台之一的平台定向的最大数量，即观察到的目标数量）（方程 $y = ax + b$ ）。系数 a_j 最小值证明航迹的直线性，即找到了真实目标，而不是“虚假点”。

b) By lines

对于在一个航向上直线运动的一组目标，可以使用该算法。该算法的基础是一组真实目标沿平行航迹运动，区别于虚假点。

跟踪所有被找到的目标（真实的和“虚假点”

的），建立其航迹，选择F条平行航迹。

在距离Nk（间距数）上对仿真信息进行积累。对于一对平台(i, j)，在每个运动的间隔上按顺序将计算出的发现航迹点坐标(x, y)保存至存储器。

2) 根据每一个顺序积累的航迹点建立最大程度近似真实的航线。

3) 从建立航迹的总数N中寻找使 a_j 最小的D。系数D选出，但 $D > F$ 。

从被选择的D条航迹中寻找使 b_j 最大接近的F。为了选择具有类似 b_j 的F条航迹，将D条航迹记录

至存储器中，按系数 b_j 增大进行分选。然后用滑窗使F通过存储器，在每一个间距按窗口计算均方根误差（CKO）。如果 $F = 2$ ，则计算的不是均方根误差，而是系数(delta)之间的差值。

然后选择具有最小均方根误差（CKO）的窗口（或delta，如果 $F = 2$ ）。在该窗口中由F条平行航迹，指出真实的目标。

3 仿真结果

仿真实验中，模拟两部雷达对三个干扰源进行检测的情况，图2是雷达所检测到干扰的轨迹图，图3是按照本文介绍的干扰定位方法确定干扰源的位置的效果图。

仿真结果表明，利用本文介绍的干扰定位方法对多站干扰信息进行相关，可有效定位出干扰源的位置信息。

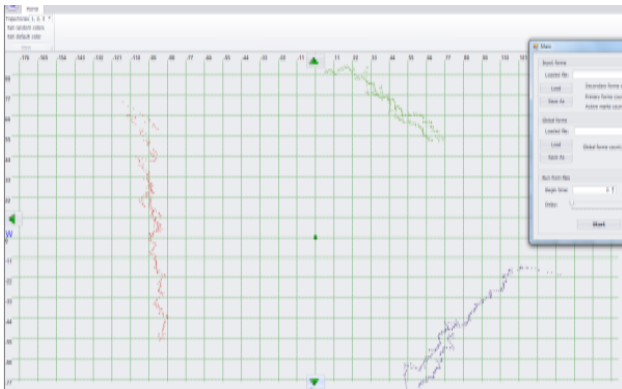


图2 各雷达站检测的有源干扰轨迹图

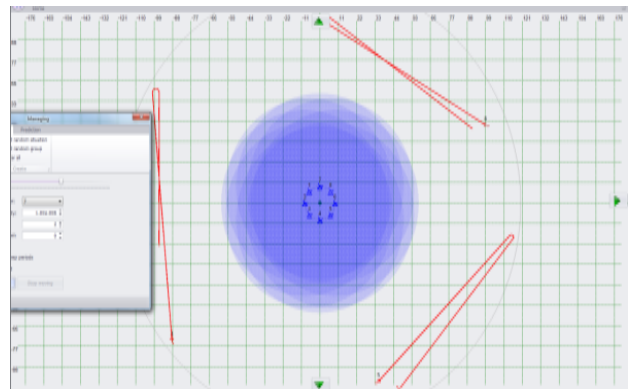


图3 有源干扰定位效果图

4 结束语

干扰对抗是组网雷达系统中重要的任务，对干扰进行识别与定位是有效的对抗方案，本文在对干扰特性识别的基础上，提出相应算法来消除三角法定位干扰时形成的虚假点，该方法可有效对干扰进行定位，并且简单易于实现，为今后的工程应用提供了借鉴。

参考文献：

- [1]王寒松，雷达干扰分析及抗干扰实验[J],中国雷达，2002（3）：29-38.
- [2]魏麦成，田野，陈清远，雷达抗有源干扰性能的综合指标及仿真评估[J],2003(1);32-35.
- [3]胡洪涛，敬忠良，双平台交叉定位去除虚假点的方法研究[J]，航空电子技术，2008（4）：29-32.