

高频雷达中多目标的识别检测研究*

杨 强 张 宁

(哈尔滨工业大学 哈尔滨 150001)

【摘要】 一直以来,由于多目标聚集时目标回波落入同一或相邻检测单元给多目标的识别和检测带来了困难。本文研究了高频雷达检测平面上目标的多维特征,并基于目标的多维特征提出了多目标聚集时识别和检测的方法,经过实验分析获得了较好的识别检测能力。

【关键词】 高频雷达, 多维特征, 多目标检测

Multi-targets Detection Approach and Recognition In HF Radar

YANG Qiang ZHANG Ning

(Harbin Institute of Technology Harbin 150001)

【Abstract】 It is difficult to recognize and detect multi-targets when multi-targets echo falls into one or nearby detection cell. The multi-dimension feature of target in detection plane of HF radar is studied. A recognition and detection approach based on this feature is proposed while multi-targets congregating. Better performance in experimentation is obtained by this approach.

【Key words】 HF radar, multi-dimension feature, multi-targets detection

1 引 言

在高频雷达回波中检测目标需要目标在角度、距离、多普勒三维空间中的信息。回波信号经过距离变换、多普勒变换和数字波束变换处理后,得到数字波束内的距离-多普勒信息(Azimuth-Range-Doppler:ARD)^[1]。由于高频雷达对速度有很高的分辨能力,而角度分辨则比较差,因此高频雷达中的目标检测往往是在特定波束内距离—多普勒空间(RD)上进行的。

当多个目标回波落入相同或相邻的多普勒单元,不仅使得目标在RD上展宽,而且还会导致检测窗口内噪底估计的抬高,淹没对相邻目标的检测。

研究发现,由于高频雷达相参信号处理后,单目标在RD空间上具有典型的单尖峰特征,目标同时占据距离-多普勒二维的局部区域^[2]。多目标聚集时,由于目标间距离、多普勒的差异,使得多目标聚集的三维特征完全不同于单目标。如果能够同时利用多目标和单目标在幅度-距离-多普勒三维空间中的不同空间特征,分析获得目标的聚集属性,从而可解决多目标聚集时的检测误判。本文针对三维空间中多目标和单目标的空间特征,提出了以识别为主,检测为辅的识别检测方法,并用实验作了验证。

2 高频雷达目标的多维特征

2.1 单目标的空间特征

高频雷达发射的FMICW信号经过目标反射形成回波,回波中携带了目标的距离、速度、方位信息。经过数字信号处理形成了雷达覆盖范围内的波束-距离-多普勒-幅度四维空间。由于高频雷达的速度分辨能力最强,角度分辨最弱,因此目标特征显著的反映在每个波束内的距离-多普勒-幅度三维空间中。研究表明:单目标在该空间中形成了典型的单尖峰,如图1a所示,并且以峰点为中心,相邻点与峰点的幅度关系极为严格。图1b中将这种相邻幅度关系转换成了灰度级别。

2.2 多目标的空间特征

多目标回波落入同一或相邻分辨单元则会使上述严格的幅度关系遭到破坏。高频雷达的目标分辨主要以速度分辨为主,因此当存在两个方位、距离相同,速度相近的目标回波经过数字信号处理后,出现在同一个分辨单元时,目标比邻示意图如图2所示。图中 A 、 A' 分别为多普勒频率 f_0 和 f_0+d 在第 $k-1$ 根谱线上的幅度。由于高频雷达数字信号处理系统是线性系统,而且处理结果是离散化的数字频谱,因此针对上述两个信号,其结果是两个信号数字频谱

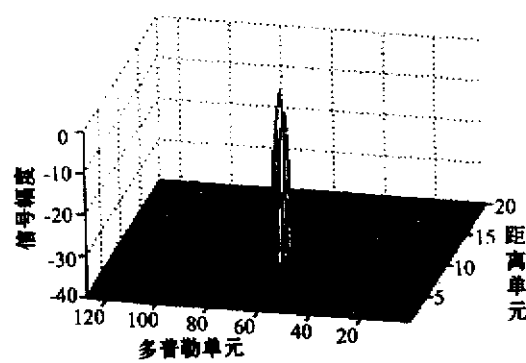


图 1a 单目标空间特性

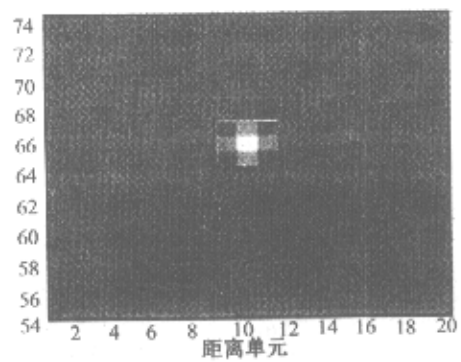


图 1b 单目标幅度特征的灰度表现

结果的和。多普勒频率 f_0 的幅度关系显然受到多普勒频率 f_0+d 的影响,从原来的 (A,B,C) 变成 $(A+A',B+B',C+C')$ 。由于信号频谱能量的集中性,显然上述两个信号频率相隔越远,幅度关系受到的影响就越小,也就越能保持各自的单目标幅度特征。

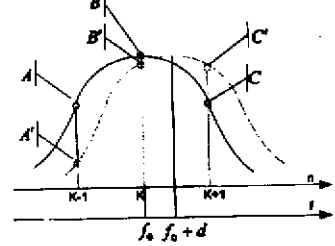


图 2 多目标比邻示意图

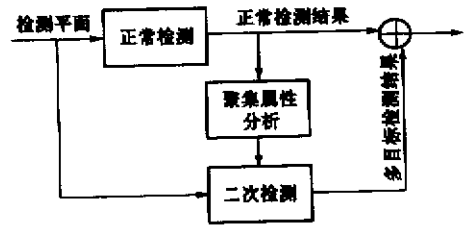


图 3 多目标识别检测机制框图

不仅只有上述速度相近目标聚集时会造成单目标幅度关系的破坏,更一般的情况是在距离、速度二维方向出现目标聚集时,单目标在多维空间上的幅度关系不再维持,而呈现各种情形,例如单尖峰展宽、多目标峰粘连等等。

3 多目标识别检测方法

由于单目标在多维空间中具有明显的幅度关系特征,而且这一特征与多目标聚集时的空间特征完全不同。利用这种差异,可以建立多目标聚集时的检

测机制。为了利用现有的各种检测方法,提高多目标检测效率,多目标的检测过程应当建立在正常检测的基础上进行,经过聚集特征识别,有针对性地进行二次检测,降低漏警的发生。检测机制如图 3 所示。

3.1 聚集特征识别

虽然多目标聚集的情况有很多种可能,但无论哪一种都与单目标特征不同,因此只需要已经检测出的目标的空间特征符合单目标特征,那么目标的聚集属性就可以获得。随着单目标落入分辨单元的不同位置,其幅度关系也随之不同,因此可以根据系统当前分辨单元的大小来量化这种幅度特征的变化,建立幅度特征向量表。当已知目标信号相对分辨单元位置时,考察该目标幅度关系特征向量与幅度特征表中向量特征的匹配程度,匹配则认定该目标为单目标,否则认定为该目标为多目标聚集产生。

定义 x_i 是观测得到的相邻幅度特征向量中第 i 个相对幅度, $d_{i,j}$ 是幅度特征表中的第 j 个标准特征向量中第 i 个相对幅度, y 是观测特征向量与特征表的最小距离,定义如下

$$y = \min_j \sum_i |x_i - d_{i,j}|$$

检验准则 1 为

$$\begin{cases} \text{单目标 } y \leq c_1, \\ \text{多目标 } y > c_1 \end{cases} \quad \text{其中 } c_1 \text{ 为经验值,规定了可以接受的目标幅度起伏量。}$$

研究还发现:无论单目标分辨单元的哪一个位置,相对于中心谱线两侧的谱线相对幅度和属于某一固定值域。例如,图 2 中 $A+C-2B \in C_2$, C_2 为常数值域 $[a,b]$ 。三维空间中,该幅度和可以表示为

$$z = \sum_{i=k-1}^{k+1} \sum_{j=l-1}^{l+1} A_{i,j}, i \neq k, j \neq l$$

其中: $A_{i,j}$ 为相对中心谱线的相对幅度。

通过相对幅度和建立判断准则,判定检出目标的聚集属性。这也解决了在未知信号相对分辨单元位置时的判定聚集属性的问题。

检验准则 2 为

$$\begin{cases} \text{单目标 } y \in C_2 \\ \text{多目标 } y \notin C_2 \end{cases}$$

3.2 二次检测

由于大多数常规检测方法均为滑窗检测,多目标聚集时,产生的谱峰展宽和谱峰粘连使得检测窗口内的噪声估计偏高,此时较弱目标的检测受到了毗邻强目标的影响,从而导致漏警。根据检出目标的聚集属性,判断是否受到多目标的影响。如果受到了多目标的影响,则需要重新进行检测。高频雷达中二次检测可以采用扩大检测窗口、降低门限的方法来提高对该目标附近目标的检测。这里采用了高频雷达二维检测方法^[3]。

4 实验和结果

4.1 目标聚集属性的识别

当目标回波受到噪声的影响时,其频谱幅度存在起伏,起伏的大小与信噪比有关。显然,信噪比越高,幅度起伏越小,相邻的幅度特征关系越能保持稳定。下面就单目标的幅度特征与信噪比的关系进行分析。

考虑到目标落入分辨单元中不同的位置时幅度关系不同,因此以单目标和双目标为例,给出随着目标落入不同分辨单元位置的幅度关系如图 4 所示。图中的粗实线代表了单目标相对幅度和随目标频率的变化。其他一簇曲线是双目标情况下当第一目标落入分辨单元不同位置时,随第二目标频率变化产生的。由此可见,单目标曲线和双目标曲线的差别是非常明显的。正如上述准则 2 所述的,单目标曲线幅度和变化区间为 $[-11, -15]$ 。此外,随着目标频率相互距离的变远,双目标幅度和曲线趋向单目标的情况。

将单目标回波信号按照一定的信噪比关系与高斯白噪声混合,经过高频雷达数字信号处理,获得该目标的频率幅度关系特征,记录其幅度关系。在不同信噪比条件下进行了 100 次实验,根据准则 1 和准则 2 对其目标属性进行判别。判别正确率与信噪比的关系如图 5 所示。

试验表明,随着目标信噪比的增加,识别正确率

随之提高,信噪比大于 10dB 即可获得高于 70% 的识别正确率。此外,由于已知信号相对分辨单元位置,相对幅度匹配方法提供了更为严格的聚集属性判别,对噪声的适应性也要比相对幅度和方法差。

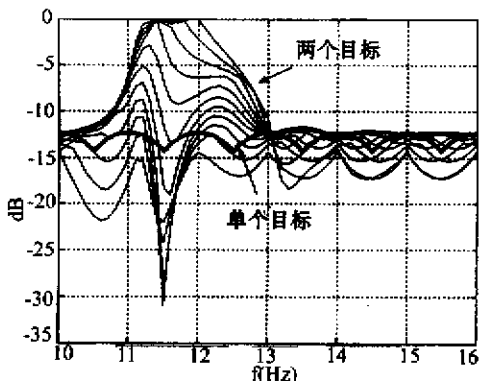


图 4 单目标和双目标的相对幅度和

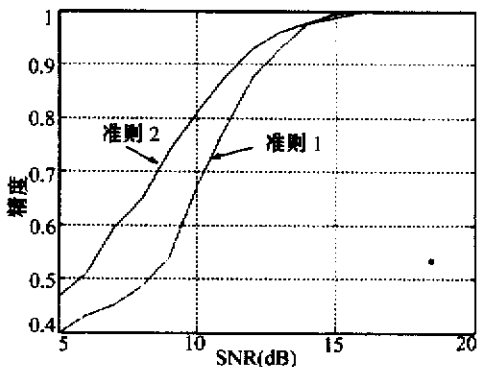


图 5 信噪比和识别正确率

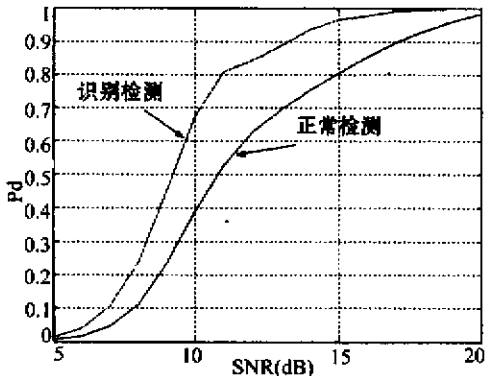


图 6 正常检测和识别检测的发现概率

4.2 多目标的识别检测

考虑到距离、速率任意一维或二维方向均有可能出现多目标聚集情况。为了使问题简单化,以便分析多目标识别检测的性能,这里给出两个目标聚集的情况。当目标落入分辨单元的不同位置时,使双目标的相互位置不断产生变化。在此基础上,在不同信噪比条件下,进行正常检测和识别检测。检测方法采

(下转第 12 页)

算法测距误差明显小于模型“硬切换”方法测距误差,且收敛速度快,说明对机动目标定位时,交互式多模型算法明显优于模型“硬切换”方法。

(3)在交互式多模型算法中,采用 IMM3 比 IMM2 能得到更好的性能。但是模型越多,计算量越大。

计算机仿真表明:基于 TOA 和 DOA 信息,对机动辐射源单站无源定位与跟踪的交互式多模型算法是正确有效的,并且由于其隐蔽性、独立性,以及对机动目标的自适应性,使得这种定位方法具有很大的实用价值。

参 考 文 献

- 1 孙仲康等. 单多基地有源无源定位技术. 北京:国防

工业出版社,1996

- 2 J Llinas, E Waltz. Multisensor Data Fusion. Artech House, Norwood, Massachusetts, 1990
- 3 周宏仁等. 机动目标跟踪. 北京:国防工业出版社, 1991
- 4 杨莘元等. 基于运动辐射体 DOA 和 TOA 测量的单站被动定位算法. 电子学报,1996,24(12)
- 5 周一宇等. 利用 DOA 和 TOA 测量对三维运动辐射源的定位与跟踪. 电子学报,1991,19(2)
- 6 尹成友. 基于多传感器的近程目标高精度定位与跟踪的研究[博士学位论文]. 合肥:中国科学技术大学,1997

王杰贵 男,1969 年生,信号与信息处理专业博士生。

罗景青 男,1957 年生,教授,博士,博士生导师。

(上接第 8 页)

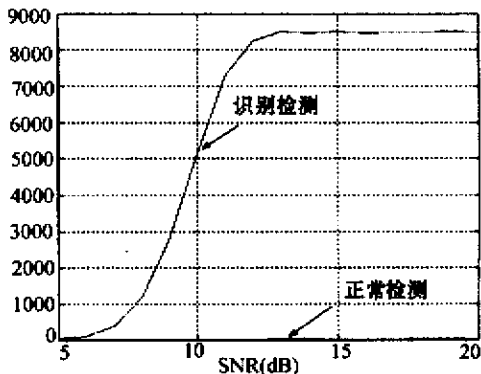


图 7 正常检测和识别检测的多目标识别次数

用了二维 CA 方法。经过 350 个相互不同位置的 100 次实验,正常检测和识别检测的发现概率与信噪比的关系如图 6 所示。

显然,由于识别出多目标的存在,二次检测时噪声估计不受相邻目标的影响,因而识别检测大大提高了目标的发现概率。相反,由于噪声估计受到相邻目标的影响正常检测不易发现目标。检测过程中,经过识别检测发现双目标的次数与正常检测发现的双目标次数对比如图 7 所示。由于受相邻目标的严重影响,正常检测几乎不能发现任何双目标的存在,相反识别检测发现双目标存在的次数多得多,这也表明识别检测提供了较好的多目标检测能力。

5 结 论

雷达探测过程中,保持低的漏警概率是对目标

检测提出的基本要求。然而,当存在多目标编队或多目标聚集时,常常导致检测窗口内的噪声估计偏高,从而影响多目标聚集时弱目标的发现能力。本文通过研究单目标和多目标多维幅度特征关系,首次关注并提出了获得目标聚集属性的方法,利用聚集属性的分析,对可能存在的多目标进行二次检测。经过实验分析,该方法提高了多目标聚集时弱目标的发现能力。由于聚集属性分析的准确度与信噪比相关,因此在低信噪比时可能带来虚警,需要联合其它方法,例如跟踪检测等加以抑制。

参 考 文 献

- 1 Liu Yongtan. Target Detection and Tracking with a High Frequency Ground Wave Over-the-horizon Radar. 1996 CIE International Conference of Radar Proceedings. Beijing, 1996; 29~33
- 2 杨强,刘永坦. 高频地波超视距雷达目标的识别检测方法. 高技术通讯,2000,10(8): 37~41
- 3 R H Khan et al. Aircraft Detection and Tracking with High Frequency Radar. IEEE International Radar Conference, 1995: 44~48

杨 强 1970 年生,1996 年在哈尔滨工业大学通信与电子工程系获得硕士学位。现为通信与信息系统学科博士生。主要研究方向:弱信号检测、高频信号处理。

张 宁 哈尔滨工业大学教授,博士生导师。主要研究方向:数字信号处理系统,制导与信号处理技术等。