

文章编号：1001-2486（2002）02-0031-05

低分辨雷达的目标特征提取方法^{*}

王 伟，张汉华，姜卫东，聂 镭，陈曾平
（国防科技大学电子科学与工程学院，湖南 长沙 410073）

摘 要：基于现役低分辨警戒雷达，研究了进行目标分类和识别的途径，提出了基于波形特征和时间谱信息的目标分类和识别方法，试验分析了基于目标波形信息的特征，得出目标波形信息可用于目标识别的结论。现场试验表明，该方法对目标大小分类和架次识别有好的效果。

关键词：低分辨；雷达；波形；特征提取；目标识别

中图分类号：TN957.52 **文献标识码：**A

The Study of Target Feature Extracting Method Based on Low – Resolution Radar

WANG Wei, ZHANG Han – hua, JIANG Wei – dong, NIE Lei, CHEN Zeng – ping
(college of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :Based on the active service low – resolution radar, the approach to target classification and recognition is studied.The methods of target classification and recognition are proposed according to the information of target waveforms and time – spectrum.The feature extracted by target waveform is analyzed and the useful conclusion is given.The experiment result demonstrates that this recognition method is fine to classify big and small aircraft and recognize single plane and multiple planes.

Key words : low – resolution ; radar ; waveform ; feature extracting target recognition

雷达目标识别是根据目标的后向电磁散射来鉴别目标，是电磁散射的逆问题。当雷达带宽足够宽时，目标后向电磁散射包含了目标的诸如形状、大小、结构等细节信息，这是雷达目标识别的依据^[1]，以此为基础形成了一些有效的目标识别方法^[2-5]。然而，基于宽带雷达目标识别的思想和方法很难用于现役雷达的目标分类和识别，这是由于现役雷达一般不具备径向上和横向上的高分辨，雷达所揭示的目标的信息非常有限，因此，基于低分辨雷达的目标特征描述和提取、目标分类和识别等方面的研究是雷达目标识别一个重要的研究方向，且有广泛的应用前景。

1 低分辨雷达目标分类和识别的思想

低分辨雷达不能揭示目标细节信息，要实现高分辨条件下对目标进行精细识别是不切实际的，然而，由于目标内在的某些属性（如飞机的大小、速度、机动特性等）对目标的回波（包括回波组的波内组织）都产生影响，通过对大量的目标回波波形分析，我们认为在低分辨条件下对雷达目标进行粗分类和识别是可行的，但仍然存在以下困难：（1）目标识别依赖于目标在空间和时间二维上的动态特征信息积累，是一个动态模式识别问题，识别系统的建立（包括数据采集、处理）应采用一种动态结构。（2）目标雷达特征的表现形式及其规律难以描述，特征在时间与空间上不具备良好的稳定性，与多种因素有关，特征描述的物理意义不十分明确。

基于以上的认识，从以下几个方面综合地进行雷达目标分类和识别可望得到好的效果：（1）对雷达回波组进行特征描述和提取，以获得目标回波的动态波形特征和拟稳态特征，并进行目标分类和识别。（2）利用目标的时间谱信息（飞机的航迹、速度）和目标的运动特征进行雷达目标分类。总结起

^{*} 收稿日期：2001-09-13
基金项目：国家部委预研项目资助（4130304-01）
第一作者：王伟（1970—），男，讲师，博士生。

来，低分辨雷达目标识别的框架如图 1。

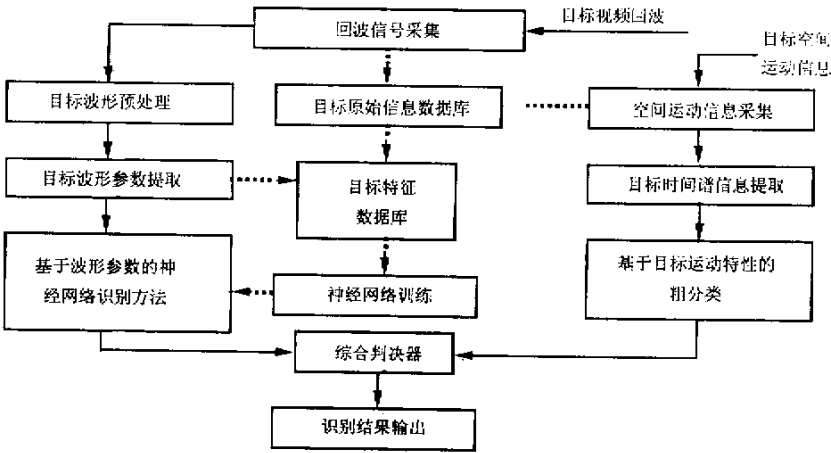


图 1 低分辨雷达目标识别方法流程

Fig.1 The flow chart of target recognition for low resolution radar

图 1 中虚线部分表示对已采集的原始数据进行事后特征提取、识别方法的训练等，框图中实线箭头部分表示目标的实时分类和识别过程。

2 目标波形特征的描述和提取

在低分辨雷达的照射下，目标的结构特征不能直观地体现在雷达回波中，但雷达目标对发射波具有调制作用，因此，目标回波波形携带与目标密切相关的信息，这种目标特征信息很难直观地表征出目标与特征的对应关系，但利用参数方法对目标波形进行分析并选取某些拟稳态参数作为特征（或特征的一种表征）可以对目标进行粗略的分类。对目标回波信息作如下的描述：定义三类雷达目标回波动态特征信息，作为目标特征提取的依据^[6]。

(1) 拟稳态特征信息。它反映了动态过程中目标波形所呈现的渐变的或相对稳定的状态特征，如雷达视频回波的脉冲展宽特性、目标的轮廓像特征等。

(2) 显著状态特征信息。它反映了动态过程中目标波形所呈现的突变状态特性，表现为某些拟稳态特征信息脱离目标类间模糊区而达到易于区分的显著状态，或指突变而导致的反映某类目标较细微结构的波形特性。

(3) 变迁关系特征信息。它反映了动态过程中目标波形所呈现的状态变化规律，这类特征信息主要反映了目标回波时间上的变化特性。这类特征包括波形的扭动规律、跳动形式、丝纹样式等。

具体而言，认为对雷达回波信号的波形进行以下的特性分析和描述对雷达目标分类和识别是有意义的，它包括对单个波形分析、波形间分析，以及在一组波形中由提取的单个波形特征所形成的特征组进行分析。

2.1 单个波形分析方法

单个波形的分析可以得出目标的瞬态特性，它同时也是波形特征组分析的基础。可以对以下几个方面进行分析：

- 波形的有效宽度；
- 波形的对称性；
- 波形的峰值维数；
- 波形峰值间的间歇；
- 波形峰值前、后缘陡峭度；
- 波形峰值形状；
- 波形的抖动频率和强度；
- 波形其他稳定和起伏参量。

2.2 波形间的特征分析方法

对两个或多个波形间的变化规律、两个或多个波形提取的特征的变化规律进行描述和特征提取，

可以获得波形的变迁规律。它包括：

- 多波形间的变化趋势：包括多波形间峰值的变化、峰值的生成和消灭以及峰值的跳动、扭动等分析。
- 多波形间特征量的变化趋势：包括对单个波形提取的特征参量进行统计分析，获得目标波形在该时间内特征变化趋势。

2.3 波形组的总体特征分析方法

对一组波形（给定小姿态角变化范围内的测量数据），可构造为测量矩阵，对该矩阵进行分析和变换可获得目标在小姿态变化下的总体特性。

3 目标时间谱信息提取

定义：目标的空间位置和运动状态随时间变化的动态趋势称为目标的时间谱。目标的时间谱信息与目标特性密切相关，如民航机与战斗机在航速、机动特性上有明显的差异，因此，用时间谱信息作为目标的粗分类是可行的。提取以下信息：

(1) 估计目标的航迹、速度和航向

实验表明，目标航迹、航速和航向可以作为区分军用机和民航机的重要依据，但它作为特征的不利因素是需要对目标作一定时间的观察，因此，实时性不高，但它可以作为目标分类结果的验证。

(2) 估计目标的机动性

由目标的速度曲线估计曲线的均值、方差等参数，它与目标的机动性态相关。对目标的航迹进行分段曲线拟合（如采用二次曲线进行分段拟合），对分段拟合的参数进行分析可以更为准确描述目标的机动特性。

4 识别方法

由于目标的波形特征不仅仅与目标有关，还必须考虑到波形可能会受到雷达工作不稳定的影响（雷达部件的更换等），因此，识别方法的选取必须满足具有重新学习或自学习的功能。研究表明：模糊极大—极小神经网络雷达目标识别方法^[3]，在训练和识别方面都取得好的效果。

5 部分实验结果

基于以上思想研制出基于低分辨雷达的空中目标识别样机。该样机的功能是：实时自动录取检测到的雷达目标的空间位置和速度；实时自动录取感兴趣目标的开窗精采波形；目标精彩波形的事后处理、特征分析和识别方法训练；目标的实时识别和事后识别等。该系统在某现役雷达上对飞机目标进行大、中、小型分类；对一批单架次和一批两架次飞机（一批两架以上飞机目标没有录取到）进行批次识别得到了好的效果。

对感兴趣的目标，在距离上和方位上开窗采集，采样频率 5MHz，距离开窗 256 点，方位开窗 8 度。图 2（a）是在该雷达上采集两架飞机的典型视频回波，图 2（b）为一架飞机的典型视频回波。

表 1 ~ 3 是对图 2 波形的特征提取结果，由结果知，当波形信息有差异时，表征波形的特征参量差异明显，这表明基于波形的特征描述是合理的。

表 1 对图 2（b）目标单个波形特征分析的结果
Tab. 1 The outcome of single wave pattern for Fig. 2（b）

	瞬态能量	方差	主峰展宽度	主峰上升斜率	浅度抖动量	深度抖动量	波峰维数
波形 01	47.7	74.4	12	25.7	1	1	1
波形 02	46.8	75.5	16	23.4	1	1	1
波形 03	43.6	67.5	11	22.2	1	1	1
...	...	...	...	...	...	...	...
波形 n	46.3	80.4	13	24.5	1	1	1

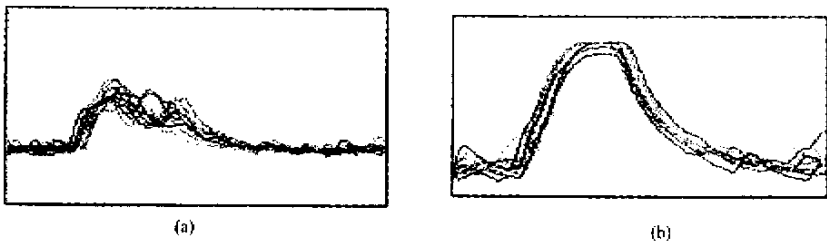


图 2 某雷达采样的目标视频回波数据
(a)两架次目标的波形组 (b)单架次目标的波形组

Fig.2 The airplane echo of radar

表 2 对图 2 (a) 目标单个波形特征分析的结果

Tab. 2 The outcome of single wave pattern for Fig. 2 (a)

	瞬态能量	方差	主峰展宽度	主峰上升斜率	浅度抖动量	深度抖动量	波峰维数
波形 01	26.9	98.4	18	58.1	2	2	1
波形 02	25.2	97.8	16	59.2	2	1	2
波形 03	27.5	89.6	19	53.5	2	2	2
...	...	...	...	...	...	...	...
波形 n	25.6	91.7	17	57.4	2	1	1

表 3 对图 2 目标波形组进行特征分析的结果

Tab. 3 The outcome of serveral wave patterns for Fig. 2

	波形组 总体宽 度	波形组 能量的 均值	波形组 能量的 方差	单波形 方差的 变化量	上升斜 率的变 迁量	浅度抖 动的变 化趋势	主峰数 量的变 迁量	深度抖 动的起 伏量
单架次	21	26.9	1.4	3.7	3.1	0	0	0
双架次	24	46.1	3.9	10.5	14.2	4.8	2.1	5.6

为进一步验证该方法的可行性，在另一种更为先进的现役雷达上作了类似试验，得到了相似的结果。图 3、图 4 为另一种现役警戒雷达上采集的目标视频回波数据。

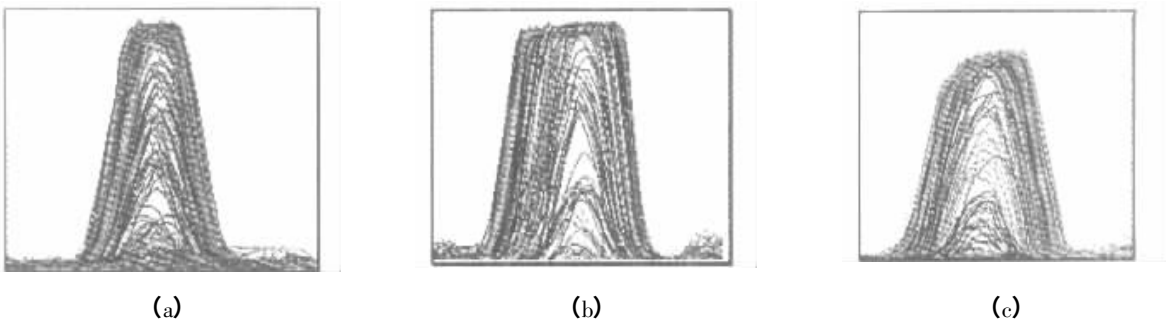


图 3 某雷达采样的目标视频回波数据
(a)、(b)、(c) 为不同类型单架次目标的典型波形组

Fig. 3 The airplane echo of radar

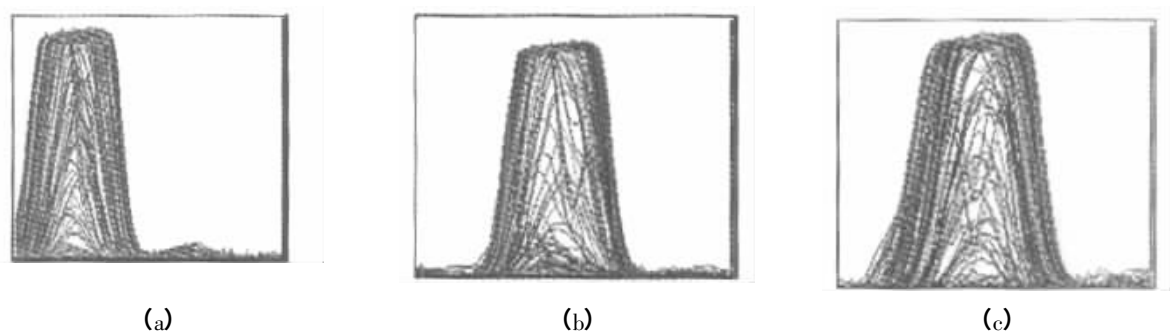


图 4 某雷达采样的目标视频回波数据
(a)、(b)、(c) 为不同类型两架次目标的典型波形组

Fig.4 The airplane echo of radar

由图 3、图 4 可知，典型单架次目标与典型两架次目标的波形组的波内组织（起伏、扭曲、跳动等）是有区别的，这种显著特征和变迁特征在波形参数上也可以较好的描述，是目标架次识别的依据。

6 结论

基于波形特征和时间谱信息，在两种现役警戒雷达上作了识别试验，得到了好的分类、识别结果，表明基于以上分析的目标分类、识别方法是合理的，且对不同雷达具有适应性（对不同雷达，基于神经网络的识别器需重新训练和学习）。

参考文献：

[1] Li H J, Wang Y D. Matching Score Properties Between Range Profile of High - Resolution Radar Target [J] .IEEE Trans AP, 1996, 44 (4) : 444 - 453.

[2] Li H J, Yang S H. Using Range Profile as Feature Vector to Identify Aerospace Objects [J] .IEEE Trans AP, 1993, 41 (3) : 261 - 268.

[3] 陈曾平. 雷达目标结构特征识别的理论与应用 [D] . 国防科技大学, 1994.

[4] 姜卫东, 陈曾平等. 基于一维距离像的目标识别方法 [J] . 现代雷达, 1999, 21 (1) : 19 - 22.

[5] 姜卫东, 陈曾平等. 雷达目标高分辨距离像的特征提取及识别方法 [J] . 国防科技大学学报, 1999, 21 : 55 ~ 58.

[6] 郁文贤. 舰船雷达目标识别的智能化方法研究 [D] . 国防科技大学, 1992.

