

# 雷达中的微多普勒技术及展望

中航飞机西安飞机分公司 杨淳红

**【摘要】**微波雷达中的微多普勒效应成为近年来一个新的技术研究热点，目标的微多普勒特征能够刻画其精细、独特的特性。文章首先介绍微多普勒效应的概念，分析其产生机理，阐述了雷达目标微多普勒特征提取的经典时频分析方法，揭示其应用，并展望微多普勒技术的发展。

**【关键词】**微运动；微多普勒；特征提取；时频分析

## 1. 引言

在现代信息化战争条件下，现有的目标识别技术已不能满足现代高技术战争的要求，雷达目标研究所需要的数据不仅仅是目标的整体运动信息，还需要更多、更精细目标数据，比如目标所处状态及其姿态的变化等，因而微波雷达目标的微多普勒效应成为近年来一个新的技术研究热点。

微多普勒效应最初是被引入到相参激光雷达系统中用来测量物体的运动性质<sup>[1]</sup>。微波雷达中的微多普勒效应是美国海军研究实验室的Victor C.Chen博士1998年在研究联合时频域分析应用于雷达图像和信号处理试验时，从得到的行人运动逆合成孔径雷达实验数据中发现并从此开始研究。

微多普勒效应是指运动目标除了主体移动外，目标或其任何结构部件还存在微运动（振动、旋转、翻滚、进动、章动等小幅度运动），这种微运动在雷达回波信号上引起附加的多普勒频率调制，并在主体移动产生的发射信号多普勒频率附近产生边频，使得目标多普勒频谱展宽的现象<sup>[1]</sup>。如直升机旋转的旋翼叶片、汽车发动机引起的车身振动、飞鸟扑动的翅膀、行人摆动的手臂和腿等。

雷达目标回波中包含的微多普勒信息能够精细刻画目标的形状、结构、散射特性及其独特的精细运动特性，更进一步反映目标的类型和运动意图。目标精细的微多普勒特征信息与目标物性参数之间具有特定的对应关系，被视为目标独一无二的特性，微动特征的提取为雷达目标的分类和识别及微弱目标的检测提供了稳定性好、可靠性高的新途径。

## 2. 目标微多普勒特征提取方法

微多普勒的产生是由于目标的微运动所引起的雷达回波的微多普勒频率调制，其中所包含的目标各结构部件的微运动信息反映了目标的微动特性，从雷达回波中的微多普勒特征信息可以进一步反演出目标的形状、结构、姿态、表面材料的电磁参数、运动特征等信息，因此雷达目标微多普勒特征的提取是微多普勒技术研究的关键。

要分析并利用目标的微动特性，从微动目标雷达回波中提取出目标的微多普勒特征信息，关键在于对微多普勒雷达回波信号瞬时频率的高精度估计。由于目标微动具有时变性，所以由微动引起的微多普勒回波信号也具有时变、非平稳的特点，它反映了多普勒频移的变化特性和瞬时特性，回波信号的频谱组合是作为时间的函数而变化的。因此，目标微动特征的提取需要用时变信号处理方法，经典时变信号分析方法是时频分析。作为时间和频率的二维函数，时频分析能够同时对时间和频率成分进行细致分析，给出了信号在不同时间和不同频率处的能量分布特性。

时频分析方法可分为线性时频变换和双线性时频变换。线性时频变换是由傅里叶变换转化而来，最典型的是短时傅里叶变换

(STFT)。双线性时频变换反映的是信号能量的时频分布，典型形式是Wigner-Vaile分布(WVD)及其改进形式Cohen类时频分布等。

### 2.1 短时傅里叶变换(STFT)

短时傅里叶变换基本思想是在信号傅里叶变换前乘上一个时间有限的窗函数，并假定非平稳信号在分析窗的短时间段内是平稳的，然后沿时间轴移动窗函数，计算出各个不同时刻的频谱，得到信号的时变特性。短时傅里叶变换关键在于选择合适的窗函数，窗函数大小决定短时傅里叶变换的时间分辨率和频率分辨率。选择较宽的窗，则频率分辨率较高，但时间分辨率差；选择较窄的窗，则时间分辨率较高而频率分辨率较差。这类分析方法只能提供信号粗略的时频分布，频谱扩展比较宽，分辨率低，优点是在对多信号进行分析时不会产生交叉干扰项。

### 2.2 Wigner-Vaile分布(WVD)

Wigner-Vaile分布(WVD)是一种高分辨率的时频变换，避免了线性时频分布中时间分辨率和频率分辨率的相互制约，能够更准确地反映时变微多普勒频率特性及其局域联合时频信息。双线性WVD变换比其他线性变换有更好的联合时频分辨率，但因其双线性性质，对于多分量信号存在严重的交叉项干扰的问题。

### 2.3 Cohen类时频分布

Leon Cohen提出一种对通过核函数对Wigner-Vaile分布(WVD)进行平滑的时频分析方法Cohen类。Cohen类既保持了高时频分辨率有大大地减小了交叉项干扰。通过选择不同的核函数，就可得到不同性能的时频分布。

## 3. 微多普勒技术应用

基于雷达目标的微多普勒特征，微多普勒技术在军、民用方面将存在广阔的应用前景。从目前国内外研究现状来看，雷达微多普勒技术应用主要集中在以下几方面：

### (1) 空间、空中及地面目标分类和识别

基于目标的微动特性，对空间碎片的大小、数量、分布及轨迹的探测和分类识别有助于人造卫星的运行和航天测绘；可对弹道导弹弹头和诱饵进行真假目标的识别，对炮弹落点进行精确估计；依据不同的外形结构及运动特性对各种飞机和直升机进行分类识别；依据不同发动机所引起的车身振动分类识别各型坦克、装甲车、汽车等。

### (2) 微弱目标的探测和识别

微弱目标信号常常会被淹没在背景杂波中，然而基于微多普勒效应，可以从中检测出微弱目标信号。例如，对生物目标心脏跳动及呼吸时胸腔运动或喉部的振动的探测以及从高海杂波背景中检测出航海浮标和漂浮的冰块等微弱海面目标，对其进行识别分类可应用于军事侦察和灾害救援领域。对桥梁振动的检测也有助于桥梁健康监测，为桥梁的维护和寿命的延长提供帮助。

### (3) 生物目标的运动识别

生物目标的运动识别，微多普勒效应在

人的个体识别、生物医学、运动医学、医学诊断、物理疗法和康复医学有重要的意义。依据鸟类的尺寸和扑翼的频率可以用时变多普勒谱带宽来分辨鸟的种类。其他生物目标如四足动物的运动模式和特性的研究在分类识别和计算机图形学与动画制作领域有重大价值。

## 4. 微多普勒技术展望

微波雷达中的微多普勒技术的研究和应用时间并不是很长，还存在许多问题和挑战，需要更深入的研究，未来微多普勒技术的发展将会有以下几方面发展趋势：

### (1) 从单基到多基的发展

现有目标微多普勒的参数估计和特征提取大都基于单基雷达。由于微多普勒效应与目标所处方位有关，单基雷达目标由于自身的遮挡效应对雷达视线影响，使得目标回波不能更完整和精确地反映目标的运动细节。而多基雷达具有多个发射机和接收机，分布在多个节点位置上，可从多个不同视角观测目标，得到更加完整和精确的目标多普勒和微多普勒信息，从而产生更清晰的目标运动图像。

### (2) 建立精准目标微多普勒综合数据库

目前，许多运动模型的建立主要还是靠经验模型，并不完善和精确，针对目标所具有的多种特征不同方面的侧重研究，特征参数提取的重点可能不同，因此，更完善精准的目标综合数据库的建立也是一个重要的研究发展方向。

### (3) 微多普勒的目标辨识应用范围的推广

目前基于微多普勒特征的目标识别分类都是基于目标的行为运动，而人脑经过训练可以分辨并处理微多普勒信号，因此，将微多普勒推广到听觉领域是可行的，可以利用侦测目标的运动音素对不同的运动方式进行分类。

### (4) 穿墙环境下微多普勒的检测

微多普勒对微弱目标的检测和对人类运动微多普勒特征的成功提取，为穿墙环境下的雷达微多普勒技术应用提供了可能，可用于探测有无生命迹象及其运动等，例如地震或爆炸后，生物活体的探测、定位和监视，以及单兵作战的活动检测，在军事侦察和灾害救援等领域有广泛的应用前景。

## 参考文献

- [1]Victor C.Chen.雷达中的微多普勒效应[M].电子工业出版社,2013:07.
- [2]李康乐.雷达目标微动特征提取与估计技术研究[D].国防科学技术大学博士学位论文,2010.
- [3]李明.雷达目标识别技术研究进展及发展趋势分析[J].现代雷达,2010(32):10.
- [4]倪迎红,陈玲.雷达目标识别及发展趋势预测[J].电讯技术,2009,11(49):11.
- [5]张群,罗劲,何劲.雷达目标微多普勒效应研究概述[D].2010国防空天信息技术前沿论坛论文集.