

24

# 用 Chirp-z 变换获得雷达目标 回波波形特征\*

王一丁 李兴国

(南京理工大学毫米波近感技术研究所, 江苏, 南京, 210094)

TN957.51

**摘要** 探讨了高分辨率雷达视频回波波形特征, 提出对回波信号作 Chirp-z 变换, 以提高频谱的分辨率, 还对两类实测毫米波高分辨率雷达目标回波波形进行了 Chirp-z 变换及 Fourier 变换, 并对两类结果进行了比较, 结果证明对雷达回波波形作 Chirp-z 变换获得的视频波形特征既满足同一目标特征稳定性, 又容易区分两类不同目标。

**关键词** 目标识别, 分辨率, Chirp-z 变换, 毫米波。

雷达回波

## 引言

雷达目标识别技术是现代雷达技术发展的重要方向, 近年来基于高分辨率的目标识别技术越来越引起人们的重视。雷达目标电磁散射理论表明, 目标电磁散射特性频域可粗略地划分为三个区<sup>[1]</sup>: 瑞利区(目标尺寸远小于雷达工作波长), 谐振区(二者大约在同一量级)和光学区(前者远大于后者)。常规雷达一般工作于光学区, 对于低分辨率雷达, 目标可等效为一个散射中心(点目标), 因此低分辨率雷达回波不能反映由许多个散射中心构成的实际目标的特征。高分辨率雷达由于分辨率的提高, 目标回波由多个散射中心产生的信号组成<sup>[2]</sup>, 该高分辨率回波反映了目标的几何特征。在实际应用中雷达目标在高分辨率探测信号的照射下, 可获得目标径向距离的一维投影, 即高分辨率一维距离像<sup>[3]</sup>。该距离像反映了目标的几何特征, 但在实际目标识别应用中, 由于目标闪烁及起伏等原因, 同一目标的距离像变化较敏感, 因此以它作为目标识别的特征量不能满足特征不变性原则。对距离像作频域 Fourier 变换并进行分析, 我们发现 Fourier 频谱距离像特征稳定, 但其频谱分辨率不高, 即两类不同目标的频域特征区别不明显。为了提高频谱的分辨率, 本文提出对回波距离像作 Chirp-z 变换, 可获得频域高分辨率距离像。对实际测试采集的高分辨率雷达回波信号作 Chirp-z 变换, 结果表明: 该频域高分辨率距离像不但满足特征不变性原则, 而且提高了不同目标的分辨率。以它作为目标的特征, 对于目标识别具有重要意义。提高目标频谱的分辨率, 已成为国内外目标识别研究的热点。许多学者研究了利用小波变换提高目标频谱的分辨率的方法, 但小波变换运算量大, 工程实际较困难。本文提出的 Chirp-z 变换方法频谱分辨率高, 而且易于工程实现。

\* 国防预研基金资助项目, 编号 95J5.15  
本文 1996 年 8 月 19 日收到, 修改稿 1996 年 12 月 17 日收到

## 1 Chirp-z 变换的原理

对信号作 FFT 运算, 等效于 Z 变换在单位圆的全部等间隔采样值. 但是, 在很多场合并非整个单位圆上的频谱都有意义<sup>[4]</sup>, 例如, 对于窄带信号过程, 往往只需要对信号所在的一段频带进行分析, 这时, 希望采样能密集在这段频带内, 而对频带以外的部分则可以完全不管. 另外, 有时也希望采样能不局限于单位圆上, 如果信号的极点位置离单位圆较远(见图 1(a)), 则其单位圆上的频谱很平滑(见图 1(c)). 这时很难从中识别出极点所在的频率. 若采样不是沿单位圆而是沿一条接近这些极点的渐进线进行(见图 1(b))则所得的结果将会在极点所在频率上出现明显的尖峰(见图 1(d)), 这样, 极点频率的测定就要准确得多.

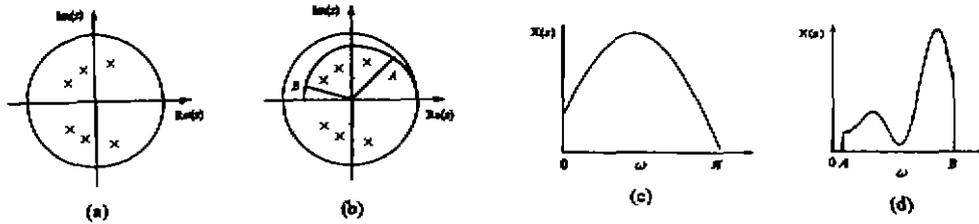


图 1 Chirp-z 变换的原理  
Fig. 1 The principle of Chirp-z transform

螺旋线采样(见图 2)是一种适用于提高频谱分辨率需要的变换, 并且可以采用 FFT 来快速计算, 这种变换也称作 Chirp-z 变换, 它是沿 Z 平面的一段螺线作等分角的采样, 这些采样点可以表达为:

$$Z_k = AW^{-k}, (k = 0, 1, \dots, M-1) \quad (1)$$

式(1)中  $M$  为采样点的总数,  $A$  为起始点位置, 这个位置可以进一步用它的半径  $A_0$  及相角  $\theta_0$  来表示:

$$A = A_0 e^{j\theta_0},$$

式中参数  $W$  可表示为:

$$W = W_0 e^{-j\phi_0},$$

其中,  $W_0$  为螺线的伸展率;  $W_0 > 1$  螺线内缩(反时针方向);  $W_0 < 1$  螺线外伸.  $\phi_0$  为螺线上采样点之间的等分角.

假定  $x(n)$  是长度为  $N$  的有限长信号序列, 则其 Z 变换在采样点  $Z_k$  上的值为:

$$X(z_k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) Z_k^{-n} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) A^{-n} W^{nk}, (k = 0, 1, \dots, M-1) \quad (2)$$

考虑到  $nk$  可以用以下表达式来替换

$$nk = [k^2 + n^2 - (k-n)^2]/2,$$

则上式可写成:

$$X(z_k) = W^{\frac{k^2}{2}} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) A^{-n} W^{n^2/2} W^{-\frac{(k-n)^2}{2}}; \quad (3)$$

如果定义

$$g(n) = x(n) A^{-n} W^{n^2/2},$$

$$H(n) = W^{-n^2/2},$$

则它们的卷积为

$$g(k) * h(k) = \sum_{n=0}^{N-1} g(n) h(k-n) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) A^{-n} W^{n^2/2} W^{-\frac{(k-n)^2}{2}}, (k = 0, 1, \dots, M-1) \quad (4)$$

因此

$$X(z_k) = W^{k^2/2} g(k) * h(k) \quad (k = 0, 1, \dots, M-1), \quad (5)$$

式(5)说明,如果我们对信号  $x(n)$  先进行一次加权处理,加权系数为  $A^{-n} W^{n^2/2}$ ,然后通过一个单位脉冲响应为  $h(n)$  的线性系统,最后,对该系统的前  $M$  点输出再作一次  $W^{k^2/2}$  的加权,这样就得到全部  $M$  点螺旋线采样值. Chirp-z 变换的过程见图 3.

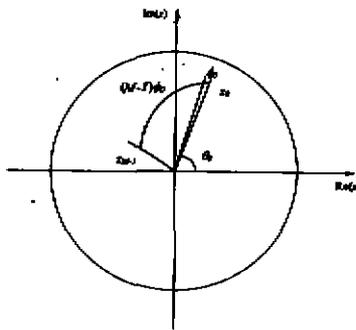


图 2 螺旋线采样

Fig. 2 Sampling along a helix

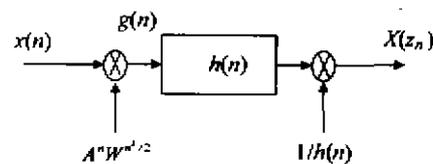


图 3 Chirp-z 变换的线性系统

Fig. 3 The linear system of Chirp-z transform

目标在高分辨率雷达照射下分解为由许多散射点组成,这些散射点经电磁场特性合成,生成反映目标特征的谐振极点.利用目标的极点的幅度、相位值来完成 Chirp-z 变换的参数设置,Chirp-z 变换就可以反映目标的极点信息.其物理意义在于使用 Chirp-z 变换获得能反映目标极点信息具有特征不变性的频域波形.

## 2 目标特征的提取和识别

我们利用不同的角反射体组合成不同的目标类型,使这些目标具有不同的谐振极点.利用 8mm 极窄脉冲高距离分辨率雷达进行对目标探测,在信噪比  $SNR=20\text{dB}$  条件下,获得

不同目标的回波数据如图 4 所示. 从图 4 可以看出时域距离像变化较敏感, 波形的波动比较大, 特征很不稳定. 对两类目标回波作 Fourier 变换如图 5 所示. 虽然两类目标的频谱特征显得稳定, 但两类目标 Fourier 频谱几乎没什么差别, 对目标识别来说毫无意义. 对同样两类目标作 Chirp-z 变换得到如图 6 所示频域距离像. 从图 6 上可以看到两类目标的特征稳定且区别明显. 对比时域和频域的高分辨距离像, 不难看到, 目标闪烁, 起伏等因素对时域距离像的影响很大, 对频域像影响不大, 可见频域距离像特征稳定. 若两类目标频域距离像的波形存在较大差别, 这对区别两类目标十分有利. 对于高分辨探测来说, 一般的 Fourier 频谱分辨率低, 目标间频谱区别不大. 因此需要提高频谱的分辨率, Chirp-z 变换是一种有效的算法. 以回波信号的 Chirp-z 变换获得的频域高分辨率距离像作为目标的特征, 有利于雷达目标的识别.

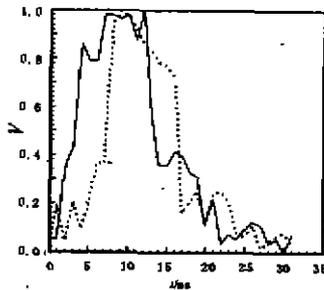


图 4 时域波形

Fig. 4 Time domain waveform

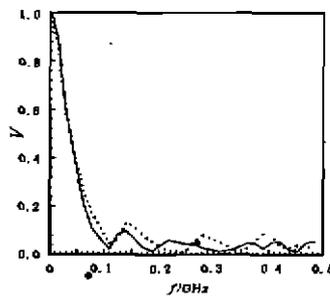


图 5 FFT 谱

Fig. 5 FFT spectral

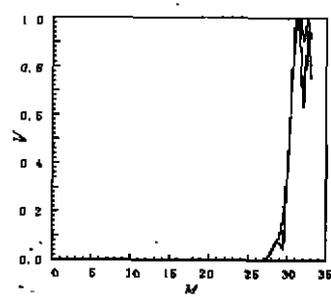


图 6 Chirp-z 变换波形

Fig. 6 The waveform of Chirp-z transform

在得到雷达目标的特征模式后, 即可进行目标识别. 设已知类型的目标的 Chirp-z 变换域特征量波形  $S_i(m)$ , 待识别未知目标的特征量为  $S_j(m)$ . 采用最近邻域的模板匹配方法完成识别. 最近邻域法是根据第  $i$  个已知目标模式的特征与第  $j$  个未知目标的特征的距离  $d_i$  最小来确定的, 其度量距离公式如下:

$$\min(d_i) = \min \sqrt{\sum_m [S_i(m) - S_j(m)]^2} \quad (6)$$

最近邻域法是一种直接的识别方法, 它的物理意义是对照本身模式寻找一种最接近自己特征的模式归为自己一类. 由于运算简单, 最近邻域法是最常见的目标识别方法之一.

分别对上述两类角反射体的实测数据进行分类识别, 结果见表 1, 此结果表明 Chirp-z 变换识别率最高.

表 1 不同特征模式下对两类目标的识别率

Table 1 The distinguishing percentage of two different targets

目 标	时域波形		FFT 谱		Chirp-z 变换波形	
	判 A	判 B	判 A	判 B	判 A	判 B
目标 A	63%	37%	51%	49%	89%	11%
目标 B	42%	58%	44%	56%	9%	91%

虽然实验中我们采用的是静止目标,但本文提出的方法旨在提高频谱分辨率,反映目标的极点特征,而目标的极点特征具有特征不变性,故此方法同样适用于运动目标.

### 3 结语

本文提出的目标特征提取方法,是一种好的尝试. Chirp-z 变换的优点在于可提高频谱分辨率. 其中的参数选择带有优化最佳的含义. 从它的物理意义来看,用 Chirp-z 变换做特征提取尤其适合于高分辨率雷达. 参数选择的优化还有待进一步探讨.

### 参考文献

- 1 何松华,孙文峰,郭桂蓉. 电子学报,1996(3): 32~36
- 2 肖顺平,郭桂蓉,庄钊文,陈曾平. 系统工程与电子技术,1996(6):55~61
- 3 Donald R. Wehner. *High Resolution Radar*. New York. Artech House,1987:1~400
- 4 邹理和. 数字信号处理. 北京:国防工业出版社,1990,149~159

## EXTRACTION OF RADAR TARGET WAVEFORM FEATURE USING CHIRP-Z TRANSFORM

Wang Yiding Li Xingguo

(*Institute of Millimeter Wave Near Sensing Technique,*

*Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China*)

**Abstract** The video waveform feature of high resolution radar was discussed. Using the Chirp-z transform, the extraction of high resolution waveform feature was presented. Two types of practical millimeter wave high resolution radar target waveforms were studied by Chirp-z transform and Fourier transform. The results prove that by using the Chirp-z transform the extraction of radar target video waveform feature can satisfy the stability principle of target feature and can easily recognize two different targets.

**Key words** target recognition, resolution, Chirp-z transform, millimeter wave.