

基于小波变换的雷达信号特征提取方法

田野, 雷英杰, 李军

(空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800)

摘要: 基于小波变换, 提出了一种提取雷达信号特征的方法。通过对雷达信号进行小波分解, 设置门限, 将小波变换系数转换为二进制, 然后将二进制小波系数再转换为十进制, 这样就得到了雷达信号的特征。通过目标识别实验, 证明本文提出的方法是有效的。

关键词: 小波交换; 雷达信号; 特征提取

中图分类号: TN957.51 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2006)05-0022-03

特征提取是目标识别中一个非常重要的环节。一个识别系统的识别能力与特征矢量的选取有直接的关系。对雷达目标来说, 寻找有效的特征向量是雷达目标识别的根本问题。以前广泛应用的以频谱表征目标的方法简单、直观、物理意义明确, 但也存在一些本身无法克服的缺点。因为实际采样到的雷达回波数据是非平稳的信号, 其回波具有局部细微特征。常规的傅立叶技术不能对这类信号进行有效分析。因为, 其对应谱图不包含目标的时变信息, 而且实际处理过程中经常会遇到“谱线丢失”现象, 故限制了识别率。而小波变换具有时间-空间定位特性, 并能进行局部细化分析, 对噪声具有抑制作用^[1]。所以小波变换在雷达信号处理中受到了广泛重视。

1 小波变换的优良特性

小波变换(Wavelet Transform)较好地解决了时间分辨力和频率分辨力的矛盾^[2-3]。它继承和发展了Gabor加窗傅利叶变换的局部化思想, 小波变换的窗是可调的时频窗, 在高频时使用短窗口, 在低频时使用长窗口, 即以不同的尺度观察信号, 以不同的分辨力分析信号, 这充分体现了自适应分辨分析的思想, 它与时变、非平稳信号的特性一致^[4-5]。特别是小波变换经过适当离散化后, 能够构成规范化的正交系, 这使小波变换无论在理论上、还是在实际应用中都具有极其重要的意义^[6]。

小波变换是信号 $f(t)$ 与一个在时域和频域上均具有良好局部性质的小波函数 $\psi(t)$ 的内积:

$$W_f(a, b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

式中, $a > 0$ 为尺度因子, b 为位移因子, $*$ 表示复数共轭, $\psi_{a,b}$ 称为小波, 其计算式为

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left(\frac{t-b}{a} \right) \quad (2)$$

在实际计算中, 信号 $f(t)$ 在尺度 a 和点 t 的小波变换通常用卷积表示:

$$W_f(a, t) = f(t) \otimes \psi_a(t) \quad (3)$$

式中, \otimes 表示卷积, $\psi_a(t) = \frac{1}{a} \psi \left(\frac{t}{a} \right)$, 当 a 取2的整数倍时, 此小波变换称为二进制小波变换。

小波理论为多分辨分析、时频分析等提供了统一的分析框架, 它用于信号处理具有如下优点: ①小波变

收稿日期: 2005-12-07

基金项目: 国防科技预研基金资助项目(51406030104DZ0120)

作者简介: 田野(1984-), 女, 山西洪洞人, 硕士生, 主要从事智能信息处理研究;

雷英杰(1956-), 男, 陕西渭南人, 教授, 博士生导师, 主要从事智能信息处理与智能系统研究。

换是线性变换,变换后的信号特征不会发生畸变,而且对于非平稳瞬变信号的分析具有明显的优势,可以将突变信号通过小波变换明显地反映出来;②小波变换能在时域和频域同时对信号进行局部分析,因此使用局部检测器可以取得较好的效果,且计算量较小;③小波变换主要用于宽带信号的处理,而短时傅立叶变换只在窄带信号处理方面具有优势;④小波分析是一种局部细化分析,它能对有限数据信号做比较精细的分析,短数据分析是其优势;⑤由于小波函数是紧支撑的,而傅立叶分析的基是非紧支撑的,正态白噪声的小波变换仍是正态白噪声,而正态白噪声的傅立叶变换为非正态白噪声。

2 雷达回波信号特征的提取

在雷达信号处理中,从雷达回波中提取目标特征不但要能够反映目标的物理特性(比如大小、形状、结构等)外,最重要地还要具有实时性,即提取特征所花费的时间不能太长和代价不能太高,而且特征数据的存储占用空间不能太大。鉴于此原因,提出一种雷达回波信号特征提取方法。

信号经小波分解后,可以在不同的尺度上得到一系列的小波变换系数,这些系数完备地描述了信号的特征,因而可以用作分类的特征子集。一般认为,如果信号的波形较为规则,则采用小波系数可以取得较好的分类效果,否则,小波变换结果的离散性将相当大,从而导致分类能力大大降低。另外,考虑到小波变换所得到的系数非常多,如果都作为特征,势必严重降低分类器的性能,而且很不适合实时应用的场合,因此必须进行降维。设雷达回波信号为 $x(t)$,特征向量提取的具体步骤如下:

1)对 $x(t)$ 进行小波变换在不同的尺度上得到一系列的小波变换系数,设第 i 尺度上的系数为 $A_i = \{x_{ij} | j = 1, 2, 3 \dots\}$ 。

2)对于每一尺度设置一个门限,设第 i 尺度上的门限为 δ_i ,将小波变换系数转换为二进制,令

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & x_{ij} \geq \delta_i \\ 0, & x_{ij} < \delta_i \end{cases} \quad (4)$$

3)设置一个步长 k ,再将二进制小波变换系数 r_{ij} 每 k 位转换为十进制,得到的小波变换系数记为 a_{im} 。在雷达目标识别系统中,可以将 a_{im} 作为雷达目标的特征向量。

需要指出,在要求比较高的情况下,可以对每个尺度选择不同的步长,设置不同的门限,将小波系数转换成其它进制。

3 实验结果及分析

以雷达目标一维距离像为例,验证本文提出方法的可行性。图1为雷达目标一维距离像。对雷达信号进行小波变换,取小波函数为'db1',得到3个尺度上的高频系数和第3尺度上的低频系数(见图2)。

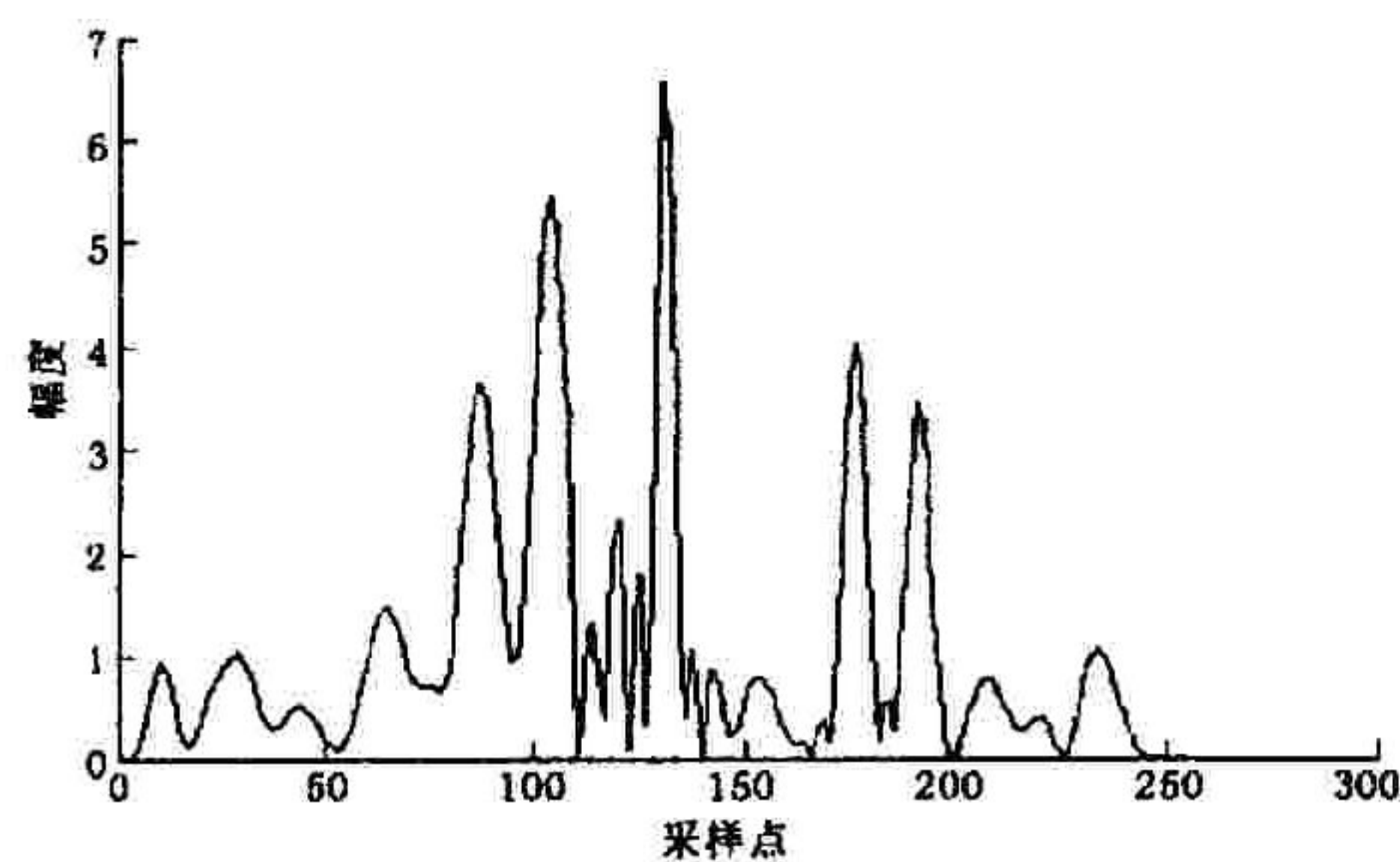


图1 信号原形(雷达目标一维距离像)

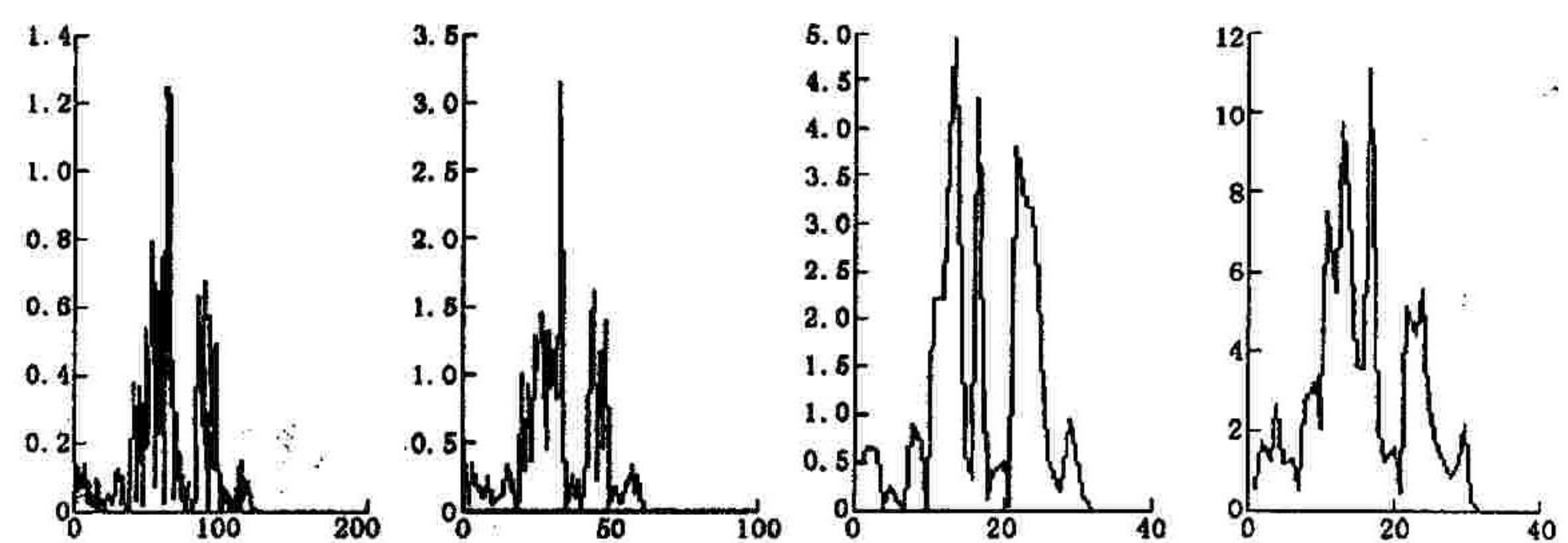


图2 小波变换的3个尺度上的高频系数和第3尺度上的低频系数

然后设置3个的高频系数和第3尺度上的低频系数的门限分别为0.5、1.0、1.5和2。将小波系数转换为二进制(见图3)。

设置步长为10。然后再将二进制小波系数转换为十进制序列。

第1尺度上高频系数为:0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 4, 0, 64, 16, 0, 0, 0, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0。
第2尺度上高频系数为:0, 0, 0, 0, 0, 16, 57, 0, 2, 6, 0, 0, 0。第3尺度上高频系数为:0, 0, 24, 30, 12, 0。第3尺度上低频系数为:6, 10, 43, 47, 20, 2。

这些序列将是目标的特征向量。

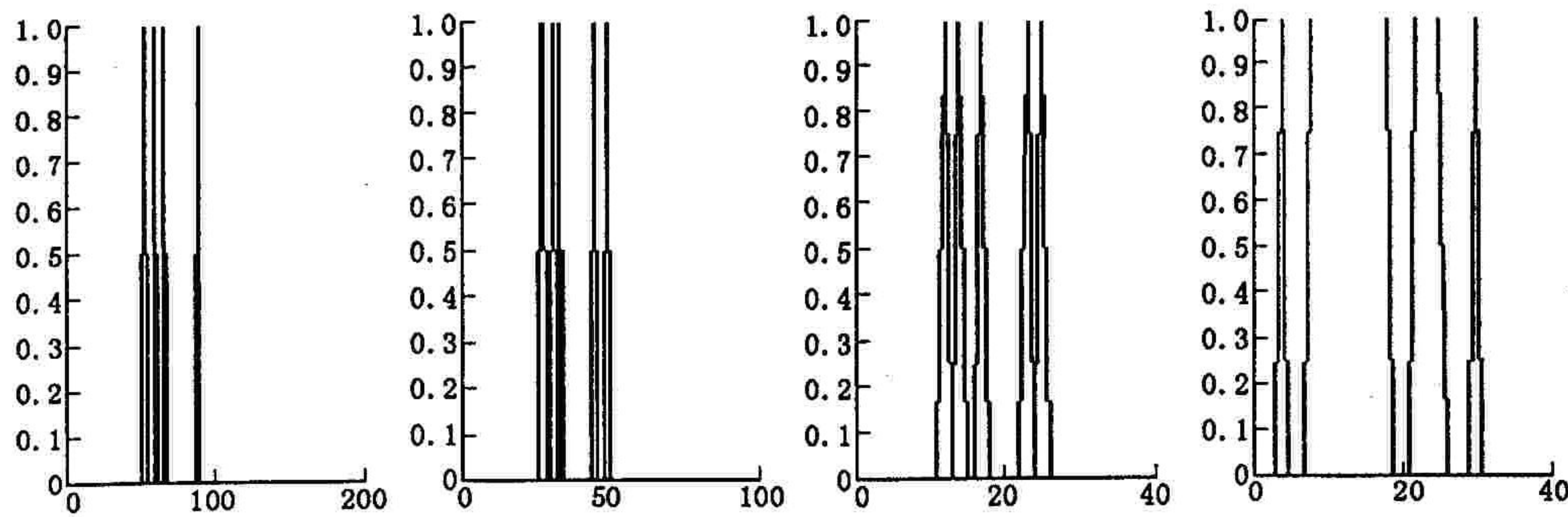


图3 小波变换的二进制系数

4 结束语

本文提出的基于小波变换的提取雷达信号特征的方法,通过对雷达信号进行小波分解,既得到了信号的特征,又压缩了数据。通过目标识别实验,表明本文提出的方法能够适用于大量求解目标识别等问题。

参考文献:

- [1] 丁宏. 采用小波变换对短数据信号的谱估计方法[J]. 电子学报, 1997, 25(1): 11-14.
- [2] Rioul O, Vetterli M. Wavelets and Signal Processing [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 1991, 8(4): 14-38.
- [3] Mallat S, Hwang W L. Singularity Detection and Processing With Wavelet [J]. IEEE Trans. on IT, 1992, 38(2): 617-643.
- [4] Mallat S G. Multifrequency Channel Decomposition of Images and Wavelet Models [J]. IEEE Trans. On Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1989, 37: 209-211.
- [5] Mallat S. A theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation [J]. IEEE Trans. on Patt. Anal. Machine Intell. 1989, 11(7): 674-694.
- [6] Mallat S, Hwang W L. Singularity Detection and Processing With Wavelets [J]. IEEE Trans. on Information Theory, 1992, 38(2): 617-643.
- [7] 冯有前. 小波包基的一种选择方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005, 6(1): 63-65.
- [7] 焦光龙, 冯存前, 丁前军. 基于小波分解的超宽带雷达去噪方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005, 6(2): 66-68.

(编辑:田新华)

A Method of Extracting Radar Signal Features Based on Wavelet Transform

TIAN Ye, LEI Ying-jie, LI Jun

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: The wavelet analysis is a novel mathematical method. It is more effective than the existing methods in data compressing and margin detecting due to its predominant properties in local analysis. Based on wavelet transform, a method of feature extracting of radar signal is presented in this paper. The signal's feature is gained by first computing wavelet transform of radar signal, giving a threshold, transforming wavelet coefficients into binary ones and then transforming the binary coefficients into decimal ones. Many experiments of target recognition demonstrate that this method is effective.

Key words: wavelet transform; radar signal; feature extraction