

# 探地雷达信号的脉冲压缩

孔祥维 王承训 张睿 马晓红

(大连理工大学电子工程系, 大连 116023)

**摘要** 基于探地雷达信号和图象的特点,提出了两种有效脉冲压缩算法。第一种方法经过学习,得出最佳权系数,从而对任意反射信号进行压缩。第二种方法无需已知发射波形,具有较好的实际效果。

**关键词** 探地雷达, 信号, 脉冲压缩

## 1 概论

探地雷达的工作原理是一种具有很大实用意义的科学仪器。目前比较成熟的只是地下管道的探测。因为管道是圆形截面,天线垂直于管道行走时,信号反映在屏幕显示是一条双曲线。但是还存在一个基本问题没有真正得到解决,实际上发射的是一个 ns 级脉冲,由于天线本身的性能限制,发射后又成为带一定拖尾的振荡信号,这一宽度足以覆盖在其后面出现的发射信号,因此要精确分析信号必需将接收信号压缩,使前后发射信号彻底分离。对于接收的雷达信号,由于探测环境复杂莫测又具有实变加性的特点,我们采用了以均方误差最小为准则的自适应滤波器实现脉冲压缩,并加以了改进。

## 2 改进的自适应滤波器

线性有限冲激响应自适应滤波为

$$y(n) = \sum_{i=1}^M w_i(n)x_i(n)$$

式中  $M$  为有限整数,  $w_i(n)$  为滤波因子,  $x_i(n)$  为输入信号,可根据误差信号调整它的  $M$  个权系数。文献[1]推出权系数的矢量迭代公式为

$$w(n+1) = w(n) + 2\mu \|E(n)\| E(n)x(n)$$

$$\|E(n)\| = \begin{cases} k & |E(n)| \geq k \\ |E(n)| & |E(n)| < k \end{cases}$$

$\mu$  为步长因子,且为正常数。 $E(n)$  为误差信号,定

义为期望信号  $d(n)$  与输出信号  $y(n)$  之差。 $k \geq 1$ , 对  $\|E(n)\|$  限幅的目的在于保证满足收敛条件。但我们还应该考虑这样的实际:即离  $n$  时刻越近的数据对滤波器的输出起的作用越大,离  $n$  时刻越远的数据所起的作用越小。故上式改为下式并称  $V^2S$  法。

$$w(n+1) = w(n) + 2V \|E(n)\| E(n)x(n)$$

其中  $V = \begin{Bmatrix} \mu_1 & & 0 \\ & \mu_2 & \\ 0 & & \mu_m \end{Bmatrix}$  为对角阵,  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$

的选择常为指数下降形式,它考虑了观测值离当前时刻的远近。具体实现时,由计算机获取一不经地下传播的发射信号作为学习样本,并取其中一段作为  $V^2S$  学习的输入信号。期望信号  $d(n)$  为此段中幅度最大值所对应的点,即  $d(n) = k\delta(n - n_0)$ ,  $k$  为正常数。有了输入信号和期望信号,选择合适的学习参数,可用  $V^2S$  法进行学习。经学习后得出一系列最佳权系数,使得  $y(n)$  最佳近似于  $d(n)$ 。然后利用学习出的权系数,对任意回波信号进行滤波。仿真实验结果表明:  $V^2S$  算法的自适应滤波器在已知发射脉冲的前提下,当遇到不同的地面环境时,可经过学习,得出最佳权系数,从而对任意反射信号进行压缩。但此方法并没有解决发射脉冲未知时的情况。在实际中,由于在地面的水平位置不同的地方距离目标的远近不同,因此对于地面水平位置不同的地方,地面的模型也不同,即学习的脉冲也应不同。在回波信号不同时,压缩的结果不同,难以都达到理想。加上信号在地下传播时的色散影响很大,即使发射波形已知,发射回来的波形可以变化很大。针对于此,我们又提出

一种基于线性预测数据外推离散傅立叶变换的方法来实现脉冲压缩,提高分辨率。

### 3 线性预测数据外推离散傅立叶变换方法

在频谱分析中我们知道宽脉冲信号的频谱相对较窄,反之宽频谱的信号反映较窄的时域信号。它们之间的关系在数学中是富氏变换和反富氏变换的关系。这种关系完全是相对的。因此如果人为地将接受到的信号看成是“频域”信号,反变换成“时域”信号,并进一步利用外推的方法将信号展宽,再将展宽的信号作反变换就可获得压缩的窄脉冲信号。我们将此想法应用到二维探地雷达图象中。算法如下:

(1) 将二维探地雷达图象变换成一维信号,即对每一行进行处理。

(2) 产生均匀分布的平稳白噪声  $N(t)$ 。

(3) 按顺序从图象中提取其中一行,并将其灰度转化为信号的幅值  $S(t)$ 。

(4) 将平稳白噪声  $N(t)$  作为幅角信号,而将灰度作为幅度信号,分别截取使长度为 256,将这两项作为频域信号,然后进行 IFFT,得到变换后的实部  $R(t)$  和虚部  $I(t)$ ,在此看作是时域信号。

(5) 利用 Burg 算法<sup>[2]</sup> 分别估计  $R(t), I(t)$  的 AR 参数。

(6) 利用 AR 参数对  $R(t)$  和  $I(t)$  进行线性预测数据外推,使外推后的结果为  $R(t), I(t)$ 。长度均为 1024。

(7) 将  $R(t), I(t)$  进行 FFT,恢复其原信号域,并计算其结果的幅度  $E(t)$ 。 $E(t)$  即为  $S(t)$  进行脉冲压缩的结果。

从以上可以看出,用此方法进行脉冲压缩,无须输入信号、噪声及地面的统计先验知识,而实际上这些先验知识也很难获得且在不同的环境中是不同的。采用均匀分布的平稳白噪声作为幅角信号,反映在时域中只是在时间上有平移,经过反变换后并不影

响其幅度的位置。此种方法能够较好地提取出目标信号,抑制噪声信号,使处理后的图象更具直观性,具有较好的效果。



图1 原始探地雷达图像

Fig. 1 Original subsurface radar image



图2 经第二种方法处理后的结果

Fig. 2 The result after treating with the second method

### 4 结论

本文针对探地雷达信号和图象的特点提出了两种脉冲压缩算法,结果表明用线性预测数据外推离散傅立叶变换方法进行脉冲压缩具有较好的实际效果,且与发射波形无关。经过脉冲压缩后的目标呈现出狭窄的曲线条,有一定的离散性,我们可以直接对目标曲线拟合,然后进行参数估计,有可能较准确地估计出地下管道的深度和管径。

### 参考文献

- 1 项楚骥等. 一种归一化变步长自适应滤波的快速跟踪算法. 信号处理, 1992, 8(2): 103~110.
- 2 王宏禹. 随机数字信号处理. 北京: 科学出版社, 1988, 264~280.



孔祥维,大连理工大学电子系副教授,主要研究领域为图象图形处理,模式识别。

# Subsurface Radar Signal Pulse Compression

Kong Xiangwei, Wang Chengxun, Zhang Ru, Ma Xiaohong

(Dalian University of Technology, Dalian 116023)

**Abstract** This paper studies signals and images obtained by a subsurface radar, presents a adaptive filter and a linear predicate data expand discrete fourier transform which realize the pulse compression.

**Keywords** Subsurface radar, Signal, Pulse compression

(上接 494 页)

# Fuzzy Competitive Vector Quantization for Image Compression

Xu Yong, Chen Hexin\*, Dai Yisong\*

(Changchun Institute of Posts and Telecommunications, Changchun 130012)

(\* Jilin University of Technology, Changchun 130025)

**Abstract** Based on the analysis of neural network competitive learning algorithms and fuzzy C-means algorithms, two new fuzzy competitive learning algorithms (FCL1 and FCL2) have been proposed, and the fuzzy membership functions have been investigated. Both the theoretical analysis and the experimental results have proven that the proposed fuzzy competitive learning algorithms are efficient for image vector quantization compression coding.

**Keywords** Image compression, Fuzzy competitive learning, Vector quantization, Neural network