

浅地层探地雷达回波倒相的自适应处理

张立国, 周正欧

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】针对浅地层探地雷达目标回波相位倒置造成的垂直距离判别不准的问题,提出了一种探地雷达对目标回波相位倒置的自动识别、纠正并统一成像的方法。讨论了均匀平面波对理想导体和理想介质平面垂直入射情况下,反射平面对反射波相位的影响。介绍了探地雷达信号处理的算法,对实测的成像数据进行处理,证明了该算法的有效性,提高了浅地层探地雷达在存在相位倒置情况下的检测能力。

关键词 探地雷达; 相位倒置; 自动识别; 加窗倒相; 二维中值滤波

中图分类号 TN9584.4 **文献标识码** A

Selfadapting Processing of the Reflecting Signal Phase Inversion of Subsurface Ground Penetrating Radar

Zhang Liguó, Zhou Zheng'ou

(School of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Aim at the problem that vertical distance cannot be estimated correctly which caused by reflecting signal's phase inversion, a simple method which can automatically detects phase inversion, corrects it and make a uniform image is putted forward. This paper makes a brief description of the arithmetic of the signal processing for SPR. It also discusses how the reflecting signal's phase is affected by the reflecting surface, when the uniform planewave touch the perfect metal or dielectric surface. It proves the validity of the arithmetic, when the real data is processed. So SPR's ability of detection is improved greatly when there is phase inversion.

Key words SPR; phase inversion; auto distinguish; inverse phase in window; 2D medium filtering

浅地层探地雷达在实际探测中发现,有一部分目标回波信号相位倒置。由于浅地层探地雷达主要是根据回波数据所成的灰度图像发现目标并对其定位的,如果对回波数据不加纠正,统一按回波没有倒相处理,将把电场倒相的目标回波的副瓣(天线发射脉冲副瓣与主瓣的符相位相反)作为目标,这样将造成这些目标的垂直距离判别不准。在目前的探地雷达文献中,还没有关于目标回波倒相的自动识别及统一成像方面的论述。本文从信号处理角度提出了一种简便的方法,通过该方法可以看到,由目标回波倒相造成的距离判别不准被消除了。

1 浅地层探地雷达信号处理的算法介绍

本算法所采用的原始数据图像如图1所示。图中成像的物体由左到右分别是:a 纸杯、b 塑料瓶、c 铁罐、d 玻璃瓶。

收稿日期:2003-04-23

基金项目:信息产业部预研基金资助项目

作者简介:张立国(1979-),男,硕士生,主要从事浅地层探地雷达信号处理算法及其实现等方面的研究。

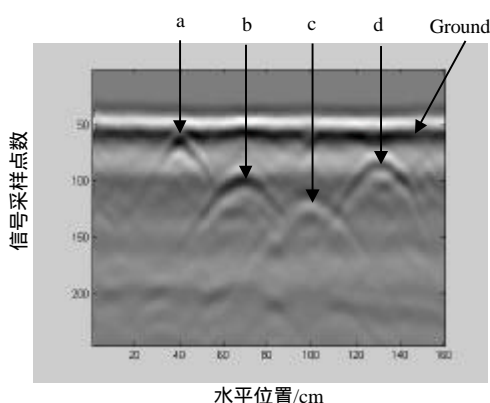


图1 原始数据图像

随着天线的移动,地面反射信号Ground被认为是一个缓变化的信号,所以可以通过平均值法去除地面干扰。均值去背景的算法为

$$w_{mn} = w_{mn} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_{mi} \quad m=1,2,\dots,M, n=1,2,\dots,N \quad (1)$$

式中 w_{mn} 为图像矩阵中的灰度值,即为回波的强度值。 M 为矩阵的行数, N 为矩阵的列数。去除地面干扰后的图像如图2所示。从图中得知,虽然去除了地面的干扰,但是每个目标仍为双曲线,水平分辨率低。为了提高水平分辨率,要在水平方向上对图像进行压缩,即合成孔径(SAR)处理。有关合成孔径的具体算法,由参考文献[5]所示,合成孔径的结果如图3所示。从图中看出,如果不对图像的数据进一步分析,可以说图3上各个目标的分辨力已经很高了。现给出图3中b目标与c目标的各一列数据的曲线,如图4所示。

步分析,可以说图3上各个目标的分辨力已经很高了。现给出图3中b目标与c目标的各一列数据的曲线,如图4所示。

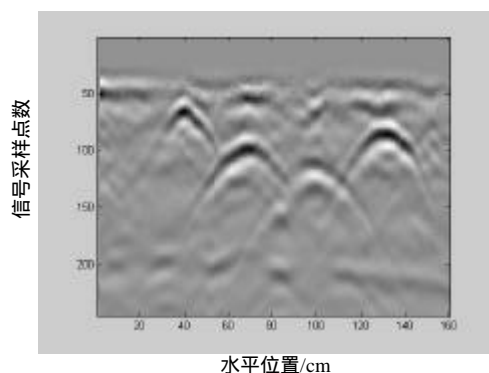


图2 均值去背景后图像

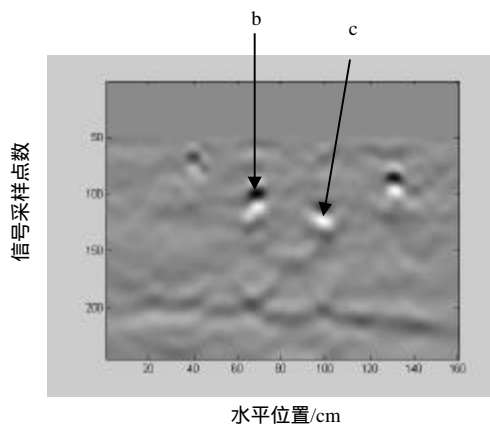


图3 合成孔径后图像

从图4左图中可以看出目标塑料瓶处产生负的最大峰值,在所成的灰度图像中为黑色。而右图中目标铁罐处产生正的最大峰值,在所成的灰度图像中为白色。回推到图2中有同样的结果。如果不加处理而把灰度图中的黑色区视为目标(都按回波不倒相处理),目标的旁瓣(灰度图中为黑色)将会被误认为是实际目标,造成目标的实际深度判别不准。

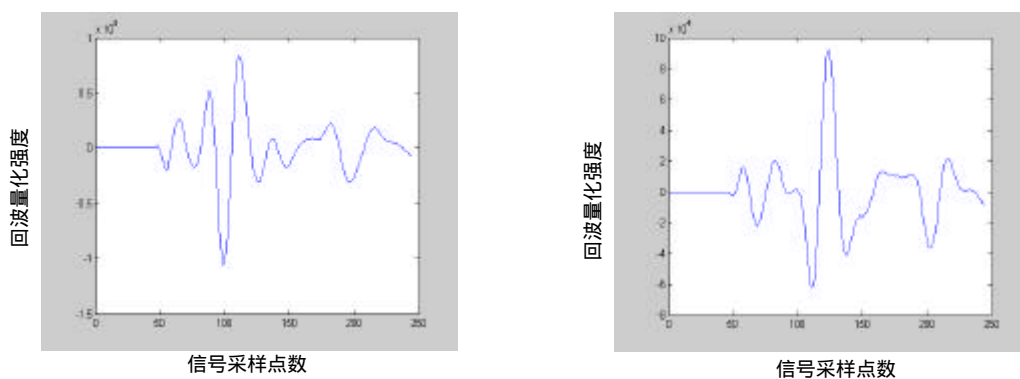


图4 目标回波数据曲线

2 电磁波遇目标后电场相位的变化

这里只对均匀平面波垂直入射于平面分界面的情况作简单说明。

如图5所示理想导体边界是 xy 平面。设入射波的电场为

$$E_x^+ = E_m^+ e^{-jbz} \quad (2)$$

反射波电场可表示为

$$E_x^- = E_m^- e^{jbz} \quad (3)$$

由文献[6]可得

$$E_m^- = -E_m^+ \quad (4)$$

由此可见均匀平面波对理想导体垂直入射的反射波电场相位倒置了。

均匀平面波对理想介质平面的垂直入射,如图6所示。设分界面左边媒质1的磁导率、介电常数分别为 m_1 、 e_1 。分界面右边媒质2的磁导率、介电常数分别为 m_2 、 e_2 。由文献[6]可得

$$E_{m1}^- = E_{m1}^+ \frac{h_2 - h_1}{h_2 + h_1} \quad (5)$$

式中 $h_1 = \sqrt{\frac{m_1}{e_1}}$, $h_2 = \sqrt{\frac{m_2}{e_2}}$, 可见均匀平面波对理想介质平面垂直入射的反射波电场相对于入射波电场是否倒相由 h_2 和 h_1 的大小决定。

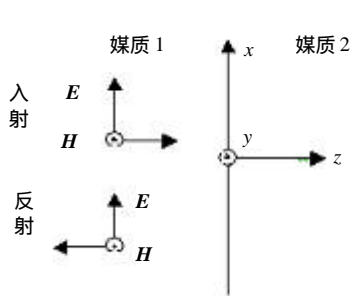


图 5 均匀平面波对理想导体垂直入射

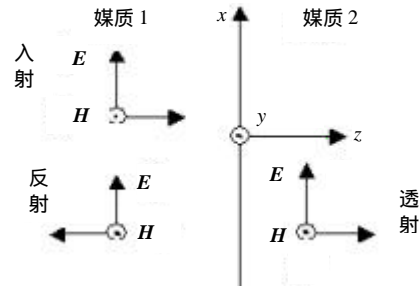


图 6 均匀平面波对介质平面垂直入射

3 浅地层探地雷达回波信号相位倒置的自适应处理

做完合成孔径处理后,令一帧图像的数据矩阵为 $[w_{mn}]$, 其中 $m=1, 2, \dots, M$, $n=1, 2, \dots, N$, M 为矩阵的行数, N 为矩阵的列数。算法如下:

1) 在每个 A 扫描数据列中寻找目标

在每列数据中最大峰值处,即绝对值最大点处为目标垂直坐标。

$$[w, i] = \max(\text{abs}(w_{:,j})) \quad (6)$$

在上式中找出第 j 列数据中最大的绝对值 w , 并确定其所在行(垂直坐标) i 。

2) 判断回波是否倒相

本文设计天线发射电磁波具有负的最大峰值。如果 A 扫描回波目标出现时具有正的最大峰值则证明回波倒相了。在上一步中已确定了第 j 列的第 i 个数据 w_{ij} 为最大峰值,即为目标所在位置,现对其是否倒相进行判断。如果 $w_{ij} < 0$, 则证明该目标的回波有负的最大峰值没有倒相。反之,如果 $w_{ij} > 0$ 则证明目标回波倒相。

3) 对倒相目标回波处理

对倒相目标回波的处理就是对倒相回波数据在给定窗口内取反。如果第 j 列回波信号已倒相,如图7上图所示。根据采集数据的 3~4 个脉冲宽度设计一个窗 Window, 以第 j 列最大峰值数据 w_{ij} 为中心,在此窗口内对数据取反:

$$w_{i+k,j} = -w_{i+k,j} \quad (7)$$

式中 $k = -\text{Window}/2 \dots +\text{Window}/2$ 。回波信号主瓣与副瓣的相位又恢复到初始相位,如图7下图所示。经过倒相目标回波处理后,所有目标回波的最大峰值均为负值,处理后的灰度图如图8所示。

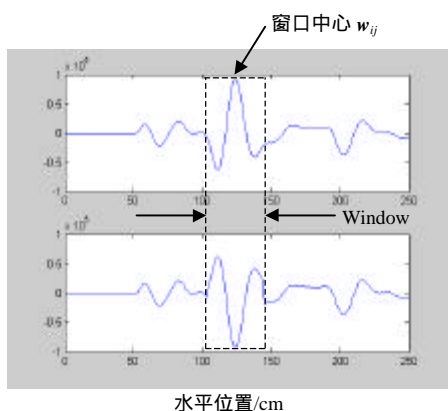


图7 c目标回波倒相处理

注：虽然在没有目标时也会对背景做出同样的处理，但这对结果的影响不大。

4) 对处理后的图像进行二维中值滤波。

在图8中可以看到目标的边沿和一些背景处有些不连续点,为了消除其影响,在以上处理的基础上做加窗的二维中值滤波,算法为

$$[w_{mn}] = \text{medfilt2}([w_{mn}], [p, q]) \quad (8)$$

式中 $[w_{mn}]$ 为图像数据矩阵, $[p, q]$ 为二维中值滤波的窗口, 取 $p=5, q=8$ 。可见目标的边沿和一些背景处有些不连续点被消除了, 如图9所示。

在图3合成孔径后的图像中, c目标的回波倒相了。其主峰在第120个采样点处为正值, 在所成的灰度图中为白色。若用黑色确定目标, 即将其副瓣第110个采样点处误认为目标。相差了10个采样点的距离。在图9做完相位倒置自适应处理的图像中, c目标回波相位被恢复为原始相位。该列第120个采样点处为黑色的目标, 相位倒置的影响消除了。

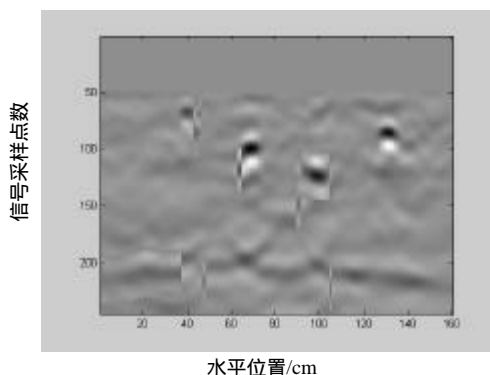


图8 相位倒置自适应处理结果

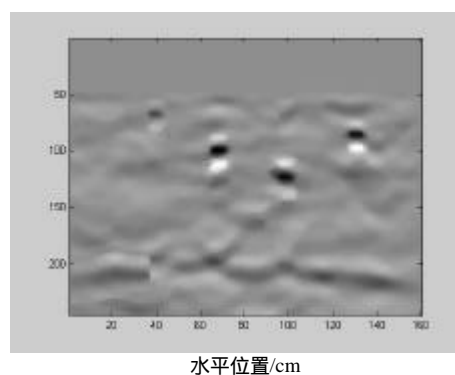


图9 做加窗的二维中值滤波结果

4 结束语

从本文的分析得出, 浅地层探地雷达回波倒相是不可避免的。但本文所提出的浅地层探地雷达回波信号相位倒置的自适应处理方法完全解决了某些目标由于回波信号相位倒置造成的垂直距离判别不准问题。从而提高了浅地层探地雷达的检测能力。

参 考 文 献

- [1] Polat B, Meincke P. Ground penetrating radar imaging of buried metallic objects[J]. IEEE International Sym-APS, 2001, 4(1): 264-267
- [2] Hansen T B, Johansen P M. Inversion scheme for ground penetrating radar that takes into account the planar air-soil interface[J]. IEEE Trans-GRS, 2000, 38(1): 496-506
- [3] Duflos E, Hervy P, Nivellet F, et al. Time-frequency analysis of ground penetrating radar signals for mines detection applications[J]. IEEE International Conference-SMC, 1999, 1(1): 520-525
- [4] Daniels D J. Subface-penetrating radar[M]. London: The Institution of Electrical Engineers, 1996
- [5] 孔令讲, 周正欧. 浅地表探地雷达中改善成像分辨率的一种有效方法[J]. 信号处理, 2002, 16(6): 506-508
- [6] 陈国瑞. 工程电磁场与电磁波[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1998

编辑 刘文珍