

信号变换处理方法在公路观测中的应用

徐 鹏, 吴 中, 张业炜

(河海大学交通学院, 江苏 南京 210098)

摘要:公路地质雷达观测采用单天线往复观测方式时工作量大且判读不便, 各类噪声干扰会对地质雷达测线数据判读精度产生很大影响. 为解决这一问题, 通过数据内在格式的解读生成镜像数据, 通过数据的积分变换来增强有效信号, 通过绘图模块生成的波形图来分析公路检测对象地质特征, 并且达到了与并行观测同样的数据效果, 减少了数据采集工作量, 提高了数据判断精度.

关键词:信号变换; Z 变换; 镜像处理

中图分类号: U412.22

文献标识码: A

文章编号: 1000-1980(2008)01-0125-04

地质雷达在观测高速公路路面厚度、路面裂缝以及分析高速公路路面损坏情况等方面有很大的应用价值. 通过对返回电磁波时频特征和振幅特征的分析, 可以了解到地下层特征信息, 从而达到观测目的^[1].

国外在进行地质雷达观测时, 常采用硬件并行配置方式, 如在进行高速公路观测时将 4 台天线并行安置于观测车头保险杠上, 同时采集一条测线方向的数据^[2]. 由于地质雷达及其部件如天线等采集系统价格昂贵, 国内公路观测尚无法普遍采用天线并置方式, 某些观测区域的环境条件也限制了多台天线的同时使用^[3]. 因此, 国内公路观测大多采用单天线往复观测方式(测线方向相反, 长度相同)^[4]. 这种走向相反的测线给数据后处理和分析带来诸多不便, 因为往复观测得到的数据序列是相反的, 不利于来回 2 组数据的直观比较, 影响工程人员对地质环境的真实判断. 此外, 在进行地质雷达实地观测时, 数据精度也普遍存在问题. 原因是地质雷达数据中存在着各种各样的噪声, 既有外界的随机噪声, 又有地面和地上物体反射引起的规则干扰, 还有仪器本身质量性能问题所产生的误差. 噪声在单偏移距剖面上表现为与直达波同相轴平行的周期性振荡, 掩盖了相对较弱的有效信号, 采集的数据与真实情况有相当大的误差^[5]. 为了解决公路地质雷达探测采用单天线往复观测方式工作量大且判读不便, 各类噪声干扰对地质雷达测线数据判读精度影响很大等问题, 笔者通过数据内在格式的解读生成镜像数据, 通过数据的积分变换来增强有效信号, 通过绘图模块生成的波形图来分析公路检测对象地质特征, 并取得了较好的效果.

1 地质雷达数据变换方法

首先考虑对往复测线数据进行同方向的镜像变换, 以便进行同方向的比较. 所谓镜像变换, 就是从沿某方向的测线生成的数据中提取特征值并对其进行反向变换, 变换后的数据在后处理软件中形成反向序列的图谱. 如 A 至 B 的测线, 在往复观测方式下, 一般先从 A 至 B 进行观测, 再沿测线作适当平行偏移后从 B' 至 A' 进行观测, 这样生成的 A 至 B 的序列地质数据与 B' 至 A' 的序列地质数据是 2 个方向相反的信号波, 在后处理软件中是无法进行比较分析的. 因此, 将 B' 至 A' 的序列数据镜像变换为 A' 至 B' 的序列数据, 便于比较分析, 进行多道测线的镜像变换后, 就可以将往复观测结果等同于并行观测采集结果.

要进行镜像变换, 就必须分析了解地质雷达数据的结构, 而镜像变换的难点就在于对信号数据结构的破译. 在行业标准中, 地质雷达信号数据在计算机上的存储形式是十六进制文件, 文件中含有文件头和文件体. 文件头用以说明检测时所用的天线的频率等参数及文件名称. 文件体数据以固定频率(如每隔 1 ns)返回一个信号值, 该值为一个 4 位数十六进制数值, 代表一个波形特征点. 多个特征点连接成一条完整的信号波, 可反映某一测点不同深度的结构. 笔者发现, 将文件体数据每个特征点的 4 位数值前 2 位与后 2 位对调, 文件

头保持不变 按数据的原有类型可生成反向的地质雷达数据 ,即图 1B'到A'变换成A'到B' ,波形与 A 到 B 相似 ,如同从 A 到 B 进行了 2 次观测.

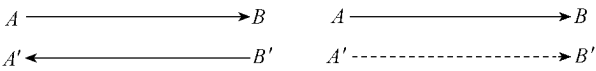


图 1 往复观测结果镜像变换示意图

Fig.1 Mirror transform of result of reciprocating observation

一次往复观测的数据通过镜像处理 结果相当于在同方向上进行了 2 次观测 ,起到了 2 台设备并行观测的效果 ,对于长测线和超长测线 ,可以节省相当大的工作量 .这给高速公路及特殊区域的观测带来很大方便 .

针对地质雷达数据噪声问题 本文采用积分变换方式进行降噪处理 ,以增强有效信号 ,使输出结果更有助于分析判断 .现场观测出的雷达波形比理论上的雷达波曲线要复杂得多 ,除了存在地表的强烈反射波及直接耦合波外 ,还会有噪声的干扰 ,这可能会掩盖掉有用信息(如基层反射波和路基反射波等) .基层、路基反射波十分微弱 ,如何识别这些微弱的有用信息就显得十分重要^[6] .多次覆盖技术能压制随机噪声 n 倍(n 为覆盖次数) ,对规则干扰有显著的压制作用 ,能可靠地观测复杂的地质构造 ,在一定程度上提高观测深度和精度 ,但有效信号并没有得到增强^[7] .

在进行数据编辑处理时 ,要消除由于扩散或高频传输诱发的低频组分 ,消除由于天线接地条件和温度环境造成的零点漂移现象 ,消除强噪声干扰 ,可通过选择适当的增益进行振幅谱、频率谱分析 ,以突出有效反射波 ,压制无效干扰波 .数据降噪处理的重要手段是将信号从一种形式转换成另一种形式 ,称之为积分变换 ,目的在于抑制信号的某些特征 ,使另一些特征表现得更加明显 .常用的积分变换有傅立叶变换、拉普拉斯变换和希尔伯特变换等^[8] .

考虑到地质雷达信号数据的离散特征以及地质雷达信号处理的需要 ,本文引入复 Z 域的概念并对数据进行 Z 变换 ,以增强数据中的有效信号 .连续信号 $x(t)$ 经均匀冲击抽样(地质雷达波的返回)后 ,再对该抽样信号进行拉普拉斯变换 ,得

$$X_s(s) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nt) e^{-snt} \tag{1}$$

式中 : n ——抽样数量 ; t ——采样周期 ; $X_s(s)$ ——拉普拉斯变换 .令 $z = e^{st}$, $t = 1$,就可以给出 Z 变换的定义 .序列信号 $X(n)$ 的单边 Z 变换定义为

$$X(z) = \mathcal{Z}[x(n)] = \sum_{n=0}^{\infty} x(n) z^{-n} \tag{2}$$

式中 Z 表示取 Z 变换 , Z 是复变量 .从数学角度看 ,序列信号 $X(n)$ 的 Z 变换是复变量 $Z-1$ 的幂级数 ,其系数是信号 $X(n)$ 的值 ;从物理意义上看 ,能量型离散信号也可表示功率型离散信号 $X(n)$ 的 Z 变换 , $X(z)$ 是将离散信号 $X(n)$ 展成离散时间(但频率连续)变振幅复简谐波的幅复密度 .从采集到的地质雷达数据来看 ,噪声大多表现为无规律分布的杂点^[9] , Z 变换处理的优势就是能有效滤除这类噪声 .经 Z 变换处理后 ,有效信号得到增强 ,数据的本质地质特征表现更为明显 .

2 数据处理实例

笔者利用 MS VC++ 开发了地质雷达数据处理软件 .该软件系统含有数据读取模块、镜像变换模块、积分变换模块和图形表现模块等 ,其中图形表现模块通过美国 Mapinfo 公司的 GIS 组件 MapX 来实现 .

以美国地球物理测量系统公司(GSSI)的 SIR-10H 型地质雷达检测数据为例 ,进行镜像处理与积分变换 .地质数据选取的是沪宁高速公路上检测到的测线长度相同但方向相反的一组数据 ,分别命名为 test1 和 test2 ,灰度对比如图 2 所示 .

利用镜像变换模块完成由十六进制向可识别的码制(ASCII 码)的转换 .转换时首先分析所采集的数据的内在规律 ,解译地质雷达数据结构 ,然后按反向序列将需要镜像的测线数据(本例中的 test2)生成镜像数据 test2_reverse .利用 SIR-10H 型地质雷达自带的 Radan 软件打开生成的数据(图 3) ,可见 test2_reverse 与顺向数据 test1 灰度图相似 .

通过积分变换模块对 test2_reverse 进行 Z 变换 ,并将变换后的 test2_reverse 与参照数据 test1 进行比对 ,

如图 4 所示.

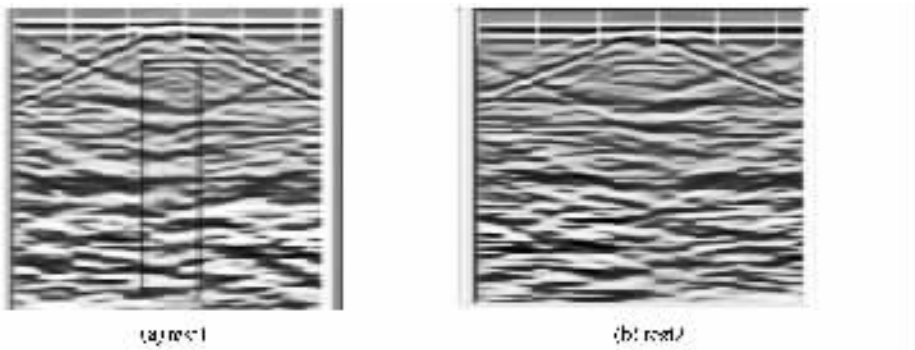


图 2 测试数据灰度对比
Fig.2 Grey contrast of test data

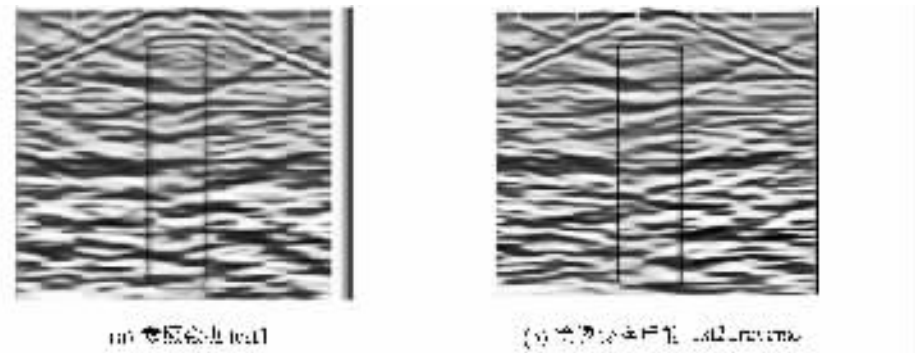


图 3 测试数据 1 与测试数据 2 镜像数据灰度对比
Fig.3 Mirror data grey contrast of test data 1 and test data 2

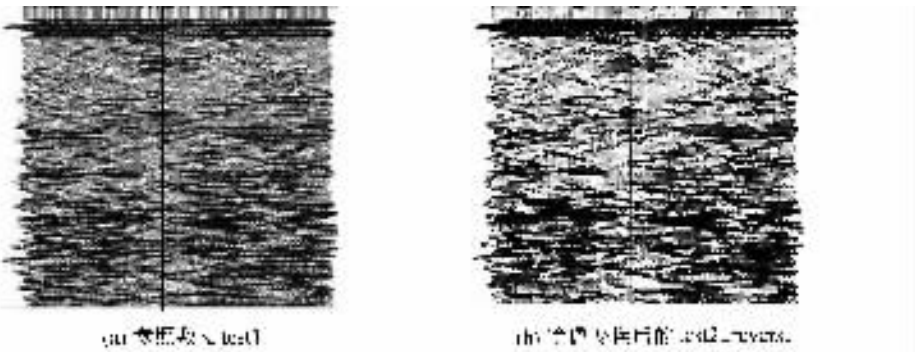


图 4 密集波形对比
Fig.4 Contrast of dense waves

图 4 (a)为 test1.dzt 生成的波形,图 4 (b)为经过积分变换后的镜像数据 test2_reverse 生成的波形.2 条竖线表示缺陷位置.可以看出, test2_reverse 的噪声得到一定程度的抑制,有效信号得到增强.图 4 (a)中的灰色噪声被滤掉,黑色条纹有效信号得到增强,表明 Z 变换对离散信号有明显的抑制噪声的作用.从缺陷处(图 4 中波形稀疏的部分)可以发现,2 个波形图在同一位置出现问题,图 4 (b)表现尤为明显.从提取的较密集波形可以看出,波形图经横向压缩后,与灰度图十分接近.

笔者开发的地质雷达数据处理软件功能强大,可根据用户的实际需要提取任意列数和位置生成波形图.以图 5 为例,观察缺陷处波形摆动幅度与其他位置波形的差异,可以看出缺陷处波形摆动幅度较小,说明该处的电导率高,吸收雷达波强烈,雷达波通过

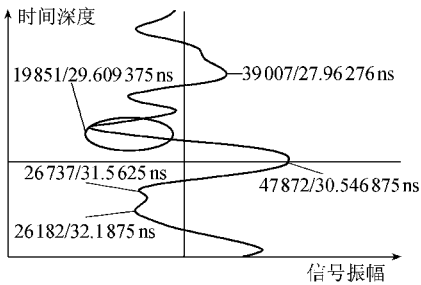


图 5 第 73 列波形有关参数的标注
Fig.5 Labeling for relative parameters of the 73rd wave train

该处时,振幅衰减较快.通过标注功能,可以查出缺陷位于观测数据序列的第几列反射波.标注表达格式为:特征点的十进制数值/反射时间表达的深度(单位为 ns).如图 5 中缺陷的深度为 23.125 ns,位置在第 73 列处左右波形出现连续摆动.根据判断,此缺陷是由裂缝造成的.

3 结 论

- a. 解译 DZT 的数据结构,通过数据的镜像变换得到相互平行且走向相同的连续测线图,便于比对和判读.
- b. 采用 Z 变换,使某些噪声干扰得到抑制,有效信号得到增强,便于工程技术人员更准确地分析数据.
- c. 根据本文方法开发的地质雷达数据处理软件,可以根据用户的实际需要提取任意列数和任意位置的波形并生成波形图谱,精确地将采样点深度、时间和电导率提取出来,为工程技术人员量化分析提供有力支持,使公路缺陷的分析更具针对性、更自如灵活.

参考文献:

[1] 杨金山,王百荣,车殿国.地质雷达技术及其应用[J].黑龙江水利科技,2002(1):12-15.
[2] 胡仁东.地质雷达在高速公路建设中的应用[J].公路,1999(12):70-71.
[3] 郭正言.地质雷达在岩溶地区公路工程勘察中的应用[J].公路,2000(11):50-52.
[4] JTGB01—2003,公路工程技术标准[S].
[5] 周辉,邱东玲.地质雷达数据处理现状和展望[J].地质前缘,2001(2):22-25.
[6] 黄衍农.地质雷达观测成果与分析[J].浙江水利水电专科学校学报,2002(1):10-13.
[7] 袁明德.地质雷达的最新进展[J].地质装备,2001(3):15-19.
[8] 詹毅,李修忠.用连续小波变换分析探地雷达回波信号[J].物探与化探,1999(23):6-8.
[9] 周辉.同时实现地质雷达数据地形校正和偏移成像的方法[J].吉林大学学报:地球科学版,2004,34(3):459-463.

Application of signal transform method to highway observation

XU Peng, WU Zhong, ZHANG Ye-wei

(College of Traffic, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In consideration of the fact that the workload was large and it was difficult to make correct judgment when the single antenna reciprocating observation was adopted in geological radar detection of highways, and that the data judgment precision of geological radar measurement was seriously influenced by all kinds of noise disturbances, the signal transform method was applied to highway observation. By interpretation of internal data format to generate mirror data and by using the integral transformation of the data to intensify the effective signal and reduce noise disturbances, the geological characteristics of the objectives to be detected were analyzed according to the waveform diagram generated by the graphic module, and the same data effect as that of the parallel observation could be reached. The present method decreases the workload in data acquisition and improves the precision of data judgment.

Key words: signal transform; Z-transform; mirror transaction