

电磁波 CT 数据预处理的研究^{*}

赵磊 殷兴辉

(河海大学计算机与信息学院 南京 211100)

摘要: 电磁波 CT 测井技术利用 CT 接收机接收到的数据来反演重建图像,从而获取地质信息,但数据中含有的噪声将严重影响重建图像的质量,所以对采集的数据进行有效滤波就成为了电磁波 CT 成像的关键一环。针对传统采集方式获取的数据受噪声影响大的问题,对每一通道进行短时连续采样,将采集数据构造成三维矩阵,再把此三维矩阵按采样维和幅值维分解为二维矩阵,逐点进行加权滑动平均预处理,与限幅算数平均滤波方法相比,前者在恢复数据具有更好的平滑度且克服了限幅算数平均滤波对信号失真较大的弊端,能够为电磁波 CT 井间探测提供更准确的数据。

关键词: 电磁波 CT; 预处理

中图分类号: TN014 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.604

Research on the procession of electromagnetic wave CT data

Zhao Lei Yin Xinghui

(Institute of Computer and Information Technology, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: Electromagnetic wave CT logging technology using CT receiver receives the data to reconstruct image, getting geological information, but the data that contains noise will seriously affect the quality of the reconstructed image, so filtering data efficiently has become a key link of the electromagnetic wave CT imaging. Because of the traditional way to get data is deeply affected by noise, proposed taking short quick sampling method to obtain data for each channel, constructed three-dimensional matrix by the data, then decomposed it into two-dimensional matrix, using the weighted moving average procession point by point. According to the method of filtering by limiting arithmetic average, the former one has a better filtering performance in smoothing data in the aspect of recovering data, and overcomes the disadvantage that the method of filtering by limiting arithmetic average will have more serious distortions. It can support more exact data for the cross-hole electromagnetic wave detection.

Keywords: electromagnetic wave CT; process

1 引言

电磁波 CT (computer tomography) 成像技术是地学层析成像技术 (geotomography) 的重要构成部分, 被誉为近年来最具潜力的三大地球物理勘探技术之一。电磁波 CT 成像技术在无损检测以及矿产资源的高效勘探等方面发挥着重要的积极作用。井间电磁波 CT 成像系统包括 CT 发射及接收模块、数据采集预处理、反演重建图像、图像解释说明 4 个组成部分, 如图 1 所示。由于工程中设备都必须安放在地下进行作业, 加之设备的内部噪声, 所以采集到的数据会不可避免地包含各种噪声, 主要包含高斯噪声和脉

冲噪声^[1]。研究表明, 如果对采集的数据不经过滤波预处理而直接进行反演重建图像, 所得图像将会十分模糊, 所以对采集的数据进行预处理在电磁波 CT 图像重建过程中起着非常重要的作用, 直接影响重建图像的质量^[2]。

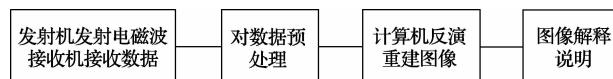


图1 电磁波 CT 成像系统

2 井间电磁波法

电磁波 CT 法首先应用于医学 CT 成像, 在临床领域

收稿日期: 2015-01

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金(11173010)项目

取得了巨大成功,该技术臻于成熟。20世纪70年代中期,美国的测井学家 R. J. Lyle 等人率先利用直线理论,把医学 CT 引入地质领域,把透射层析应用于井间电磁波探测的资料处理,推动了全球范围内地下物探层析技术的应用和研究^[3]。

井间电磁波法是把接收到的数据上传到计算机,对数据预处理后,再由计算机对采集到的数据进行反演推算出探测区的地层结构,相比与传统的盲目性勘探,提高了精度与准确性。如果在接收点放置天线,当两钻孔平行时,场强观测值应为:

$$E = E_0 \frac{e^{-\beta r}}{r} f(\theta) i_e \sin \theta \quad (1)$$

式中: i_e 是接收天线的等效高度, β 是探测区的吸收系数,受多种因素影响, r 是 CT 发射机到 CT 接收机的距离, θ 是天线的方向角, $f(\theta)$ 是方向因子。因为接收天线上的每一点的场强不同,故读出的观测值 E 实际上是某种平均值。 i_e 是与场强沿接收天线的分布、接收天线的几何性质以及接收点周围的介质情况有关的量。这就是场强观测值得公式,它反映了场在空间的分布^[4]。

该文采取定点观测方式,即把发射机(或接收机)固定在钻孔中某一深度上不动,而在另一个钻孔中移动接收机(或发射机)进行测量,如图2所示。钻孔1与钻孔2平行,两钻孔相距100 m,地深为50 m,通常为了节省工作量,缩短现场观测时间,作定点测量时,在不影响图像质量前提下可适当放稀发射点的密度,进行优化测量,发射点的密度为接收点密度的1/5~1/10。发射信源由6台CT发射机构成,步长为10 m,接收阵元有26台CT接收机构成,步长为2 m。由此可将接收的数据构成26行6列的二

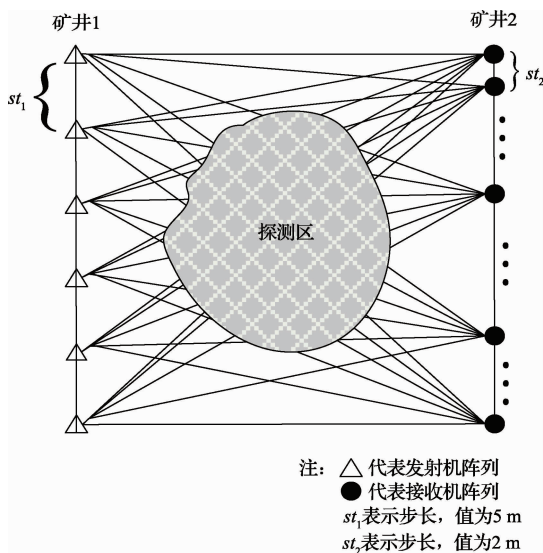


图2 信源阵列和接收阵列示意

维矩阵,其中行表示接收阵元,列表示发射信源,再对该矩阵上每一个元素编码,比如第2行第3列的元素表示为第2通道第3台接收机接收的数据。

3 预处理方法

从前文不难看出,电磁波 CT 重建的关键在于获取有效而准确的数据。工程采集数据过程中遇到的噪声往往都具有很大的不确定性,这其中以高斯噪声为主,另外还有一些设备造成的脉冲噪声,本文对每一通道(这里以第1台发射机发射,第2台接收机接收为例)连续采样40 000次,这样就生成了 $26 \times 6 \times 40\,000$ 三维矩阵。

3.1 限幅算数平均滤波

数据预处理方法很多,比如中值滤波^[5]、卡尔曼滤波^[6-8]等。本文重点以算数平均滤波做实验,介绍其性能。由于考虑到实际,机器设备工作时不可避免的脉冲噪声会对数据恢复产生特别大的影响,使采集值较大幅度地偏离真实值。所以本文在此算法中特意对窗口里的数值设置了阈值(即去掉每次窗口里的最大值和最小值)。具体算法介绍如下:首先设定 $N=500$ 的窗口,计算出在1~500窗口内的所有最大和最小幅度的值并统计个数,然后将这些值设为0(去除),最后对窗口内剩下的所有值进行平均,以此类推。该方法充分考虑了脉冲噪声的影响,恢复出数据信号,但由于对窗口内的值求平均后只得到一个有效值,窗口越大,失真也会越大^[9-10]。

3.2 加权滑动平均滤波

加权滑动平均滤波具体方法如下:

1)将生成的三维矩阵 $26 \times 6 \times 40\,000$ 按采样维和幅值维分解为二维矩阵 $40\,000 \times 6$,再依次选取某一通道某一台接收机,这样其实就是对传统方式生成的二维 26×6 的矩阵中的某一个点进行预处理;

2)对选定通道内数据进行加权滑动均值滤波。由于传统加权滑动平均与算数平均相比时,存在分辨率的问题,故特意对传统加权滑动平均做了如下一些改进:取 $N=1\,000$,先对1到1 000窗口内的值进行加权求平均值,然后对500~1 500的窗口内的值进行加权求平均值,以此类推,这样做的好处就是保证了跟前文提到的算术平均保持了同样的分辨率。由于越早的反馈值与当前像素值的关系成弱相关,越晚的反馈值与当前像素值的关系成强相关。所以具体做法是给滑动滤波算法队列中的值赋以不同的权值来反映这个关系,越早的值分配的权值越小。

4 实验结果与分析

为了评价该方法对于接收信号的去噪能力,本文以接收到的第1通道第2台接收机为例,如图3所示。

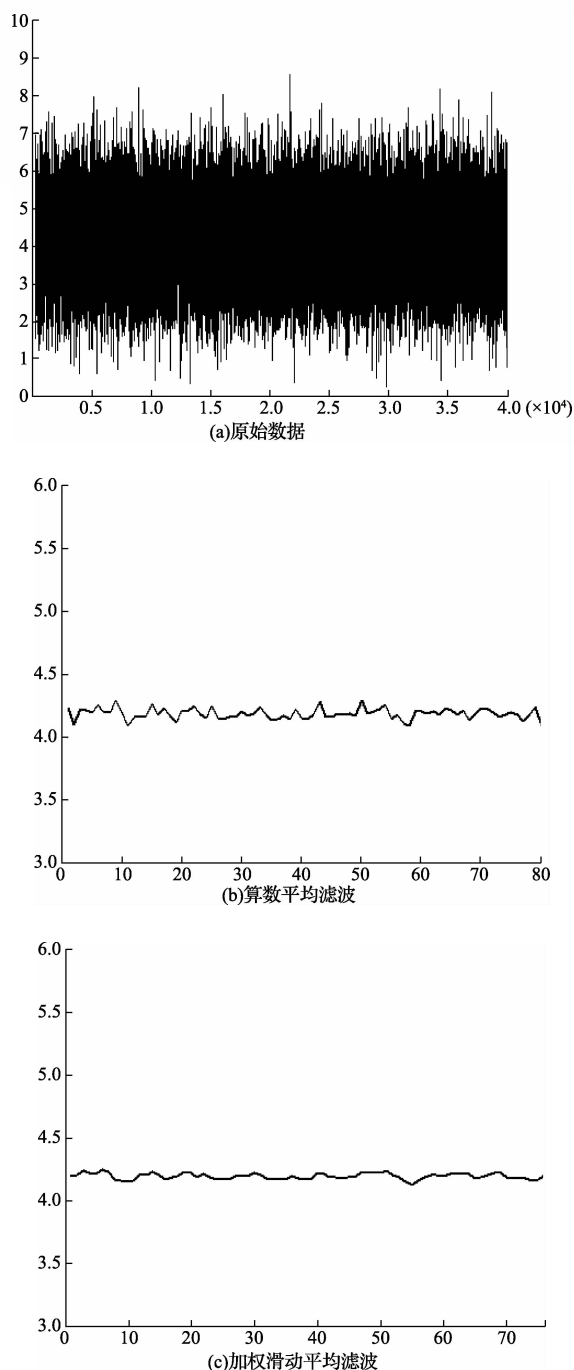


图3 接收信号去噪能力

为了便于比较,引入均方根误差(RMSE)、信噪比(SNR)作为评价指标^[11]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (2)$$

$$SNR = 10 \log \left(\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2} \right) \quad (3)$$

式中: x_i 为原始信号在*i*时刻的采样值; $\hat{x}_i$ 为预处理后该时刻的重构值;*N*为数据长度。评价指标如表1所示。

表1 实验信号降噪指标

信号	均方差	信噪比/dB
含有噪声信号	1.76	8.2
限幅平均滤波	0.031	17.8
加权滑动平均滤波	0.008	37.6

由实验结果可知,虽然限幅滑动平均滤波考虑到脉冲噪声的影响而设置了阈值,但与加权滑动平均相比,仍然毛刺较多(信号跳变较大),平滑度没有加权滑动平均好,理由很简单,因为算数平均只是简单地对窗口内值求平均,并没有考虑相邻窗口的数据的差异,而滑动加权平均则很好的解决了这一问题,再加之根据越远的数据对当前数据影响越小的权重分配思想,又很好地弥补了算数平均失真严重的弊端。综上,在该系统中,采用加权滑动平均对数据进行预处理。

5 结 论

本文利用加权滑动平均滤波,采用短时采样的方法将传统电磁波CT接收的二维矩阵(26×6)扩展到三维矩阵($26 \times 6 \times 40\,000$),再按采样维和幅值维构造新的二维矩阵($40\,000 \times 6$),每个矩阵实际上含有6个不同的通道,选取其中一个进行处理,每处理一个就相当于处理了传统二维矩阵(26×6)中的一个元素,如此再对整个三维矩阵逐一处理,就能得到 26×6 的矩阵中的每一个值,而这个矩阵正是后续反演所要用到的数据。所以加权滑动平均滤波方法的优越性明显,是一种井间电磁波CT数据预处理有效的处理方法。

参 考 文 献

- [1] 黄魁东,张定华,金炎芳.锥束CT图像的自适应滤波预处理方法[J].核电子学与探测技术,2009,29(5):1025-1029.
- [2] 王天荆,郑宝玉,杨震.基于滤波的压缩感知信号采集方案[J].仪器仪表学报,2013,34(3):573-581.
- [3] 谭振坤,冯登超,陈刚,等.医学超声病灶图像预处理[J].国外电子测量技术,2014,33(3):89-91.
- [4] 岳崇旺.井间电磁波层析成像研究与应用[D].吉林:吉林大学,2007.
- [5] 陈建,郑绍华,余轮,等.基于方向的多阈值自适应中值滤波改进算法[J].电子测量与仪器学报,2013,27(2):156-161.
- [6] 王建平,徐恒,李奇越.基于卡尔曼滤波的矿井移动节点定位算法研究[J].电子测量与仪器学报,2013,27(2):120-126.
- [7] 蔡挺,刘明雍,黄博.基于中心微分Kalman滤波的重力/惯性组合导航[J].国外电子测量技术,2013,32(1):22-24.

(下转第60页)

- [2] 邢峰. 基于蚁群算法的车身振动主动控制研究[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(7): 2103-2105.
- [3] 陈章位, 于慧君. 振动控制技术现状与进展[J]. 振动与冲击, 2014, 28(3): 73-77.
- [4] 周凌波, 张方, 姜金辉. FTF 自适应主动控制算法的参数研究及应用[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(5): 44-51.
- [5] 邝昊, 黄毅, 王佳茜, 等. 基于 CompactRIO 的变姿态超长柔性臂架振动主动控制系统研究[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(增刊 2): 87-92.
- [6] 蒋新花, 丁德宝, 沈庆宏. 应用于桥梁结构健康监测的低噪声振动测量系统实现[J]. 电子测量技术, 2014, 37(2): 116-119.
- [7] WANG H J, XING F, YOU ZH, et al. Study of high-precision earth sensor with triple-FOV [J]. Instrumentation, 2014, 1(2): 23-29.
- [8] 李舜酩, 郭海东, 李殿荣. 振动信号处理方法综述[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(8): 1907-1915.
- [9] CHENG W, HE ZH J, ZHANG ZH S. Vibration source number estimation of a shell structure [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(12): 142-146.
- [10] 肖丰霞, 闫廷光. 基于 LabVIEW 的数据采集与信号处理系统[J]. 信息技术与信息化, 2014, 12(47): 112-113.
- [11] 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW 8. 20 程序设计从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [12] 杨志东, 丛大成, 韩骏伟, 等. 正弦扫频振动控制中的信号综合与信号分析[J]. 振动工程学报, 2008, 21(3): 309-313.

作者简介

黄燕, 1991 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为振动主动控制。

E-mail: yanhuang050930101@163.com

张方, 1962 年出生, 博士, 教授。主要研究方向为复杂结构动载荷识别、噪声与振动控制、振动信号数据分析等。

E-mail: zhangf@nuaa.edu.cn

姜金辉(通讯作者), 1981 年出生, 博士, 讲师。主要研究方向为振动测试与数据处理、动载荷识别、虚拟仪器设计与实现。

E-mail: jiangjinhui@nuaa.edu.cn

(上接第 54 页)

- [8] 王笑天, 杨志家, 王英男, 等. 双卡尔曼滤波算法在锂电池 SOC 估算中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(8): 1732-1738.
- [9] 陈铭. 电磁波层析成像方法与应用研究[D]. 荆州: 长江大学, 2013.
- [10] 龚声蓉, 刘纯平, 王强. 数字图像处理与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [11] 徐超. 基于形态滤波和提升小波变换的漏磁信号处理研究[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(8): 23-25.

作者简介

赵磊, 1988 年出生, 工学硕士研究生, 主要研究方向为电磁波 CT 成像。

E-mail: 15996460438@163.com