

改进高频系数重构算法结合负压波法检测定位

王秀芳^{1,2}, 王鑫²

(1. 北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京 100876;

2. 东北石油大学 电气信息工程学院, 黑龙江 大庆 163318)

摘要:传统基于小波变换的奇异值检测对大突变信号检测效果明显,而对细微变化的信号或受噪声影响的信号奇异值检测不明显。为解决此问题在原基础上做出改进,对小波分解产生的高频系数进行域变换的数学处理方法,做指数变换。筛选一组新的高频系数,再运用小波重构恢复出原信号。通过运用 matlab 实现的仿真结果表明改进方法突出了奇异值的突变效果,也更准确地检测奇异点。通过与负压波法的结合实现对热网泄漏点的定位,该结合仍需大量实验来验证。

关键词:小波分解;高频系数;小波重构;负压波法

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)06-0075-03

Reconstruction Algorithm of Improved High-frequency Coefficients Combined Negative Pressure Wave Method Detection and Location

WANG Xiu-fang^{1,2}, WANG Xin²

(1. School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

2. School of Electrical Engineering & Information, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: Traditional singular value detection algorithm based on wavelet transform has obvious test result on larger mutation signal, but not obvious on the signal which has subtle changes or is affected by noise, leading to considerable error. To solve this problem, make improvements over the original algorithm, the method do the computing processing including the domain transformation and index transformation to the high frequency coefficients which is produced in the wavelet decomposition process, screening a new set of high-frequency coefficients, then using the wavelet reconstruction algorithm to recover the original signal. The matlab simulation results show that the improved method highlights the mutation effect of the singular value, and detects singular points more accurately. Combined with negative pressure wave method, achieve the heating network leak location. The combination still needs a large number of experiments to verify.

Key words: wavelet decomposition; high frequency coefficients; wavelet reconstruction; negative pressure wave method

0 引言

管道分布环境复杂,输送介质和泄漏形式多样,因此目前产生多种泄漏检测与定位的理论与方法。管道泄漏检测技术^[1]主要分为基于硬件和基于软件的两种检测方法。小波分析^[2]和负压波法^[3]是基于软件的检测方法。基于小波分析优势,检测泄漏点对信号进行消噪可以提高检测精度^[4]。分析表明^[5],小波变换系数极值的奇异性准确地反映了管道检测信号的泄漏特征,并且从局部描述了管道泄漏信号的瞬态正则性。同样利用小波变换对管道泄漏压力信号进行分析^[6],

可得泄漏点。压力信号中的奇异点及不规则突变部分,常包含重要信息,是信号重要的特征之一。在故障诊断中故障通常发生在突变处,因此检测突变点具有非常重要的意义^[7]。

负压波法是近几年来国际上颇受重视的管道泄漏检测定位方法,当管道发生泄漏时,泄漏位置会因流体物质损失引起局部密度减小,瞬时压力降低,此时产生的减压波为负压波。负压波法的重点就是确定泄漏处负压波传播到上下游的时间差,确定泄漏位置,小波分析对于瞬态压力波信号的下降沿的确定十分精准,而负压波法适合于快速的、突发的泄漏事故,又避免了小波分析定位的复杂性。

收稿日期:2011-10-27;修回日期:2012-02-02

基金项目:黑龙江省教育科学重点研究项目(12511Z002)

作者简介:王秀芳(1967-),女,河北景县人,教授,研究方向为油气信息传输与处理;王鑫(1988-),女,黑龙江大庆人,硕士研究生,研究方向为现代信号处理技术。

1 小波分解算法

小波分解^[8]是小波变换进行信号分析的第一步,

利用小波变换进行信号分析^[9]的目的是,将信号的频带重新分配,保留某个或某几个频带的有用信息,实现特征信号的提取。根据实际应用的性质,决定信号分解到多少层去,然后选用一种合适的小波,对信号进行分解。小波分解的算法原理如下:

对信号 $f(t)$ 进行小波分解是在假设信号 $f \approx f_j \in V_j$ 的前提下进行的,使其能最佳反映信号 $f(t)$ 的各种信息。信号 f 的采样频率和进行什么样的多分辨率分析决定了 V_j 。

$L^1(R)$ 指 R 上绝对可积函数构成的函数空间。由于 $L^2(R) = \bigoplus_{j \in \mathbb{Z}} W_j$, 所以,对任意函数 $f(t) \in L^2(R)$, 有

$$f(t) = \sum_{j,k \in \mathbb{Z}} \langle f, \psi_{j,k} \rangle \psi_{j,k}(t) \quad (1)$$

特别地,对于 $L^2(R)$ 中的任意子空间 V_j , 有

$$\begin{aligned} V_j &= V_{j-1} \oplus W_{j-1} \\ &= V_{j-2} \oplus W_{j-2} \oplus W_{j-1} \\ &= \dots \\ &= V_M \oplus W_M \oplus W_{M+1} \oplus \dots \oplus W_{j-1} \quad (M > j) \end{aligned} \quad (2)$$

因此, V_j 中的任意函数 f_j 都存在如下多分辨率表示:

$$\begin{aligned} f_j &= f_{j-1} + d_{j-1} \\ &= f_{j-2} + d_{j-2} + d_{j-1} \\ &= \dots \\ &= f_M + d_M + d_{M+1} + \dots + d_{j-1} \end{aligned} \quad (3)$$

其中:

$$f_l(t) = \sum_k c_k^l \varphi_{l,k}(t) \in V_l, l = M, \dots, j \quad (4)$$

$$d_l(t) = \sum_k d_k^l \psi_{l,k}(t) \in W_l, l = M, \dots, j-1 \quad (5)$$

$f_M(t)$ 表示 f_j 的低频成分,而 $d_l(t), l = M, \dots, j-1$ 表示 f_j 在不同分辨率下的高频成分。低频成分可以看成原信号的整体信息,通过小波分析即得到高频成分又称小波系数,即细节部分。

2 改进小波系数的小波重构算法

小波分析得到的一组高频系数(又称小波系数)为 $\{d_{j-1}, d_{j-2}, \dots, d_{M+1}, d_M\}$,但在实际仿真分解出的高频系数提供的突变结果并不十分明显,原因是在小波分解过程中,即使小波系数有突变,但相邻的系数值仍差距较小,奇异点检测不明显,这里提出一种改进方法,具体做法是将小波系数分别取其 e 为底数的指数函数,突出相邻系数的差距,得到一组新的高频系数:

$$\begin{aligned} \{\tilde{d}_{j-1}, \tilde{d}_{j-2}, \dots, \tilde{d}_{M+1}, \tilde{d}_M\} = \\ \{e^{d_{j-1}}, e^{d_{j-2}}, \dots, e^{d_{M+1}}, e^{d_M}\} \end{aligned} \quad (6)$$

再应用小波重构算法恢复原信号,过程如下:

$$c_k^j = \sum_n c_n^{j-1} \langle \varphi_{j-1,n}, \varphi_{j,k} \rangle + \sum_n \tilde{d}_n^{j-1} \langle \psi_{j-1,n}, \varphi_{j,k} \rangle$$

$$= \sum_n c_n^{j-1} h_{k-2n} + \sum_n \tilde{d}_n^{j-1} g_{k-2n} \quad (7)$$

3 仿真对比分析

3.1 仿真实现

通过对小波系数运算处理迭代一系列信号处理后,通过仿真验证该方法的有效性。本实验采用拟定的去噪后的 1000 个采样点,采样频率 1000Hz。利用改进后小波系数再重构的改进算法,小波基选 db4 小波对现场采集的压力信号进行了小波系数改进前后仿真对比,图 1、图 2 为仿真效果图。图中横坐标为选取的 1000 个采样点,纵坐标为分解的小波系数范围。

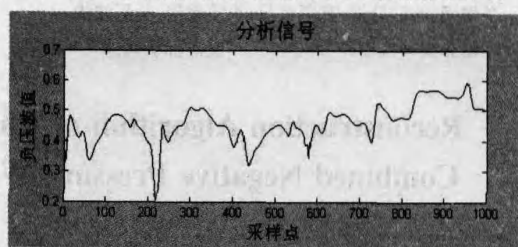


图 1 压力分析信号

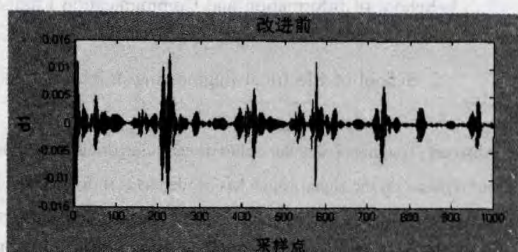


图 2 改进前奇异点检测

3.2 仿真结果分析

通过检测负压波信号奇异值仿真图,可以看到一些明显的突变尖峰信号,它反映了热网管道发生了泄漏情况。由图 1、图 2 仿真图对比可知,在分析信号没有明显突变的情况下,改进前算法仿真在多点测试点均有奇异值,图像小波系数之间差值不大,且出现奇异值时不能准确确定具体某采样点发生奇异,改进后奇异值检测,如图 3 所示,明显看出采样点为 410, 580 位置出现奇异值。通过改进突变较大的小波系数突变更大,检测的奇异值效果更加明显;突变较小的小波系数突变更小,近乎排除突变可能。通过仿真结果可以看出该改进方法检测奇异值的有效性,小波变换法检测瞬态负压波信号波形的下降沿进行泄漏检测,可以准确地提取信号的特征点压力波拐点。由于现场数据有限,该方法的适用范围还有待更多的实验来验证。

4 结合负压波法定位及应用

4.1 负压波法原理

负压波法^[10,11]定位泄漏点原理简单易懂,适用范

围也比较广泛,优点是检测速度快、定位准确、成本费用低。负压波法需要确定泄漏点处的负压波传播到上下游压力传感器的时间差^[12,13]。在上下端采集计算机系统时间保持一致的前提下,为精确确定该时间差,就需要结合小波分析法,准确地定出瞬态压力波波形的下降沿时刻。

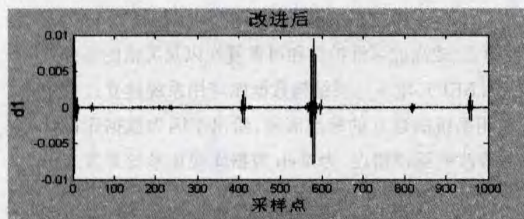


图3 改进后奇异点检测

负压波法检测泄漏位置具体方法如下,管道模型如图4所示,假设负压波在管道中的传播速度为 v ,管道上下游压力传感器捕捉到负压力波到达的时间差为 Δt ,管道总长度为 l ,泄漏点距离上游检测点的距离为 x ,则有下列方程:

$$\Delta t = \frac{x}{v} - \frac{l-x}{v}$$

$$x = \frac{l + v\Delta t}{2} \quad (8)$$

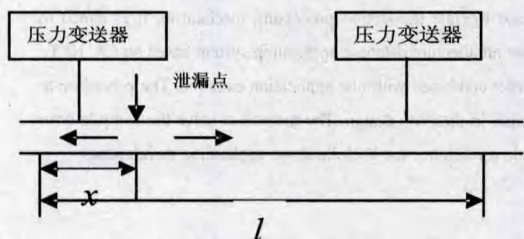


图4 管道模型

管线的长度 l 通过实际测量可得到,压力波传播的速度 v 可以根据流体介质的特性得到,而首末端压力下降的时间点 t_1 和 t_2 根据对压力波形的分析得到,软件的关键是根据现场采集的数据波形进行分析,准确地找到首末端压力下降的时间差。

4.2 热网项目上的应用

本项目根据获得的大庆油田矿区服务事业部某供热系统采集的现场压力信号(见图5),选取去噪后的1000个样点,采样频率5000Hz,负压波速率 v 为1000 $\frac{m}{s}$,现场管道长度 l 为1500米。

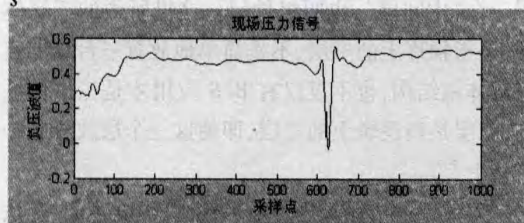


图5 现场压力信号

由检测结果可知,如图6所示发生信号突变在640采样点处,可得知突变时间为 $640/5000 = 0.128s$ 。

$$t_1 = 0.128s, t_2 = 0.073s, \Delta t = 0.055s$$

由负压波定位公式可知,

$$x = \frac{l + v\Delta t}{2} = 777.5(\text{米})。 \text{泄漏点距离上游压力传}$$

感器777.5米远。

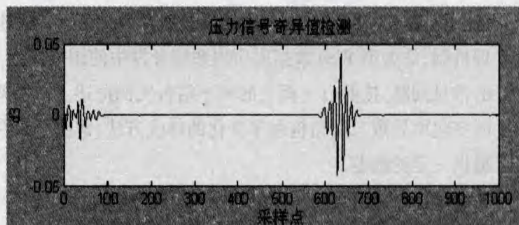


图6 奇异点检测

5 结束语

文中首先对信号处理过程中小波分解产生的小波系数作处理,通过对小波系数取各级以 e 为底数的指数函数,突出奇异值变化,仿真得出该方法使奇异值检测效果更明显。然后通过比较负压波技术结合,运用小波分析得到的突变采样点,可知负压波骤降的突变时刻。小波变换法检测瞬态负压波信号波形的下降沿进行泄漏检测,可以准确地提取信号的特征点压力波拐点。沿管道传播的瞬态负压波中包含有泄漏信息,并根据泄漏产生的瞬态负压波传播到管道两端的时间差进行泄漏定位。

参考文献:

- [1] 李 炜,葛会平.长输管线负压波法最小可检测泄流量的研究与应用[D].兰州:兰州理工大学,2009.
- [2] Ye H, Wang G Z, Fang C Z. Application of Wavelet Transform to Leak Detection and Location Transport Pipelines[J]. Engineering Simulation, 2006, 27(9): 13-15.
- [3] 邓鸿英.基于模式识别的负压波法管道泄漏检测技术研究[D].西安:西安交通大学,2004.
- [4] 李 炜,潘 伟.基于小波变换的输气管道泄漏检测与定位方法研究[J].计算机工程与应用,2003,19(3):55-60.
- [5] 苏维均,廉小亲.负压波定位理论在输油管道泄漏检测系统中的应用[J].微机计算机信息,2002,28(9):9-11.
- [6] 陈任文.小波变换在输油管道泄油实时监测中的应用[J].仪器仪表学报,2005(3):26-29.
- [7] 王 平,靳雁艳,杨洁明.基于小波变换的信号奇异点检测[J].机械管理开发,2005(6):57-59.
- [8] 孙延奎.小波分析及其应用[M].北京:机械工业出版社,2005:52-54.
- [9] 张旭俊.小波分解与小波的平滑重构[J].华北电力,2000,13(3):2-4.

表现层的步骤一样。

3.2 常见错误的处理

在开发中经常出现的一个问题是编译时出现“未能找到带参数的非泛型方法”,包括笔者在内的很多用户在基于 C#. NET 的数据库应用系统开发中都碰到了这个问题,微软的官方教程没有解决这个问题。究其原因,是在 ASP. NET 中 ObjectDataSource 自动配置数据源进行操作的时候,会生成两个字段,一个是^[12]:

```
OldValuesParameterFormatString="original_{0}"
```

另外一个:(以删除操作为例)

```
<DeleteParameters>
```

```
<asp:Parameter Name="original_XML_ID" Type="Int32" />
```

```
</DeleteParameters>
```

OldValuesParameterFormatString 是根据设定的 SQL 语句中的参数确定的,而 Parameter Name 却是根据业务逻辑层中删除函数的第一个参数确定的。比如,业务逻辑层中删除组件是这样定义的,函数中的第一个参数就是 ObjectDataSource 生成的 Parameter Name,如下所示:

```
[System.ComponentModel.DataAnnotations.ObjectMethodAttribute(
System.ComponentModel.DataAnnotations.ObjectMethodType.Delete, true)]
public bool DelXML(int original_XML_ID)
{
    int rowsAffected =
    Adapter.Delete(original_XML_ID);
    return rowsAffected == 1;
}
```

结合 Scott Mitchell 的 ASP. NET 2.0 教程及本人的项目开发研究,解决方法如下:

(1)数据集的设置中将所有 Original_A(A 代表字段)的地方去掉 Original_,只保留 A。

(2)所有的函数的参数都同数据集里一致,包括参数名称及参数个数。

(3)程序中删除所有的 OldValuesParameterFormatString="original_{0}"。

4 结束语

随着信息技术的发展,WEB 数据库系统应用越来越广泛。

基于 C#. NET 的三层架构数据库系统由于其快速方便的开发模式、较高的可维护性和可重复性以及灵活的事务处理机制,在大型数据库应用系统开发中占有非常重要的地位。目前微软的 .net 2.0 提供了强大的数据访问组件,非常方便进行大型数据库应用系统的开发。但是由于系统本身存在的 BUG 及各种教程的滞后性,至今规范化、标准化的使用指导及常见编译错误的处理建议还比较少。

文中的工作可以帮助程序员快速开发 WEB 数据库应用系统,并提高应用程序的性能,减少开发工作量,方便进行软件维护,并为其他相关工作者提供可借鉴的经验。

参考文献:

- [1] Troelsen A. C#与 .NET 4 高级程序设计[M]. 北京:人民邮电出版社,2011.
- [2] 高丕莲,侯德文,蔡小芳. 基于 Web 服务的电子商务中数据集成研究[J]. 信息技术与信息化,2006(6):66-69.
- [3] 叶兴茂,王静波. 软件系统开发中的组件框架技术研究、设计和应用[J]. 国土资源信息化,2005(3):15-19.
- [4] Grundy J, Mugridge W. Constructing Component-based Software Engineering Environments[J]. Information and Software Technology, 2000(4):13-15.
- [5] 王卫军,付晓江. 基于三层体系结构电子政务系统的 JSP 技术[J]. 吉林大学学报,2003,21(1):87-91.
- [6] 盛翊智,谢自美,曾喻江. 电子商务网络中的三层体系结构[J]. 信息技术,2001(11):32-34.
- [7] Voruganti K. Adaptive Hybrid Server Architecture for Client-server Object Database Management Systems[D]. Canada: University of Alberta, 2001.
- [8] 郭靖. ASP. NET 开发技术大全[M]. 北京:清华大学出版社,2009.
- [9] Stallings W. Network Security Essentials: Applications and Standards[M]. [s. l.]: [s. n.], 2003:233-271.
- [10] 黄忠成. NET Framework 3.5 数据库开发圣典-ASP. NET 篇[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [11] 密君英. 基于三层架构的 ASP. NET 项目实战教程[M]. 北京:中国电力出版社,2011.
- [12] Mitchell S. ASP. Net 2.0 数据库指南中文版翻译[EB/OL]. 2006-12-04. <http://www.cnblogs.com/lovecherry/archive/2006/07/02/440840.html>.

(上接第 77 页)

- [10] 谢红,赵光. 管道泄漏信号检测与定位技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2003.
- [11] Chapelle O, Vapnik V N, Bousquet O, et al. Multiple parameters for support vector Machines[J]. Machine Learning, 2002, 46(1):131-159.
- [12] 廉小亲,苏维钧,田黎明. 基于负压波法的输油管道泄漏检

测定位系统[J]. 计算机工程与设计,2007,28(9):2199-2200.

- [13] Twining C, Taylor C. The use of Kernel principal component analysis to model data distributions[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(1):217-227.