

基于改进半软阈值降噪法的输电线路故障测距

Measuring the Distance of the Fault Locations on Transmission Line Based on Improved and Semi-soft Threshold De-noising Method

刘莹 唐文秀

(东北林业大学机电工程学院,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 针对我国电力系统输电线路故障的多发性与严重性,为避免因断电造成的巨大经济损失,提出了一种通过检测小波变换的模极大值点来检测输电线路故障信号的方法。利用改进半软阈值降噪法,将在噪声环境下的故障信号与噪声信号有效地区分开来,以实现快速、精确的故障检测与定位。采用 Matlab 语言对 500 kV 输电线路的多种短路故障进行仿真。仿真结果表明,该方法能够有效消除噪声对故障信号的影响,并能实现较准确的故障定位。

关键词: 小波变换 故障检测 Matlab 采样间隔 信噪比

中图分类号: TM726 + 1 **文献标志码:** A

Abstract: Aiming at the faults of electric power transmission lines in our country, i. e., multiple and severity, in order to avoid huge economical loss from power outages, the method of detecting fault signals by adopting wavelet modulus maximum point detection is proposed. With the improved semi-soft threshold de-noising measure, the fault signals and noising signals are separated effectively under noising environment, to implement fast speed and precise detection for faults and measurement of their location. By using Matlab language, various short circuit faults of 500 kV transmission line are emulated. The simulation result of simulation indicates that this method effectively eliminates the influence of noises on fault signals, and the fault positions are located accurately.

Keywords: Wavelet transform Fault detection Matlab Sampling interval Signal to noise

0 引言

电力是国家的支柱能源和经济命脉,随着规模的不断扩大,电力系统出现了输电距离增大、负荷加重等诸多不利因素,其故障对社会经济生活造成的损失不可估量^[1]。准确、可靠的故障检测与测距可以缩短查找故障的时间^[2],保证迅速恢复供电,有效地降低因停电造成的经济损失。所以输电线路短路故障检测是电力系统故障检测的一个重点^[3]。

本文在基于离散小波变换理论检测输电线路短路故障信号的基础上^[4],提出了一种在噪声环境下通过改进半软阈值降噪法来去除噪声污染的方法^[5]。该方法估算出来的阈值介于软阈值和硬阈值之间,且与以往的降噪方法相比,该方法更加接近于真实的小波系数^[6],可达到精确测距的目的。

1 小波变换理论

在连续小波中,基小波 $\Psi_{a,b}(t)$ 的表达式为:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

小波变换在尺度和位移上的离散化处理步骤如下。

① 尺度上的离散化:通常将尺度按幂级数进行离散,即令 a 取 $a_0^0, a_0^1, a_0^2, a_0^3, \dots, a_0^j$, 离散后 $\Psi_{a,b}(t)$ 变为:

$$\Psi_{a,b}(t) = a_0^{-j} \Psi[a_0^{-j}(t-b)] \quad j=0,1,2,\dots \quad (2)$$

② 位移上的离散化:为了保证信息不丢失,对于某尺度 j ,使位移量 b 以 $\Delta b = a_0^j b_0$ 作为采样间隔,其中 b_0 为 $j=0$ 时的均匀采样间隔,此时 $\Psi_{a,b}(t)$ 变为:

$$\Psi_{a,b}(t) = a_0^{-j} \Psi[a_0^{-j}(t - k a_0^j b_0)] \quad (3)$$

$$j=0,1,2,\dots \quad k \in \mathbf{Z}$$

实际中通常取 $a_0=2, b_0=1$, 此时, $\Psi_{a,b}(t)$ 变为:

$$\Psi_{a,b}(t) = 2^{-j} \Psi[2^{-j}(t-k)] \quad (4)$$

$\Psi_{a,b}(t)$ 称为 $\Psi_{j,k}(t)$ 离散小波^[7], 对 $x(t) \in L^2(R)$ 作离散小波变换可得:

$$W_\Psi(j,k) = \langle x(t), \Psi_{j,k}(t) \rangle = \int_R x(t) \overline{\Psi_{j,k}(t)} dt \quad (5)$$

2 改进半软阈值降噪法

2.1 半软阈值降噪法

半软阈值降噪法是通过增加一个调节系数 $\alpha (0 <$

修改稿收到日期:2010-09-03。

第一作者刘莹,女,1987年生,现为东北林业大学检测技术及其自动化专业在读硕士研究生;主要从事电力系统故障检测方面的研究。

$a < 1$)^[8],使得估计出来的小波系数 $\hat{\omega}_{j,k}$ 介于硬阈值和软阈值之间,从而更加接近于真实的小波系数,以获得更好的降噪效果。此时,小波系数为:

$$\hat{\omega}_{j,k} = \begin{cases} \sin(\omega_{j,k}) (|\omega_{j,k}| - a\lambda) & |\omega_{j,k}| \geq \lambda \\ 0 & |\omega_{j,k}| < \lambda \end{cases} \quad (6)$$

在不同的信噪比情况下,最佳系数 a 的取值也是不同的,目前还没有一个较为合理的选取原则。在实际应用中,尤其在对信号降噪处理实时性要求很高时,很难对半软阈值系数 a 的最佳取值进行选取和判断。

2.2 改进的半软阈值降噪法

针对半软阈值算法的不足,本文提出了一种改进的半软阈值算法,并将其应用到输电线路故障检测降噪中,以得到更有效的降噪效果^[9]。

在软阈值估算方法中,当 $\omega_{j,k} > 0$ 时可以等价为:

$$\hat{\omega}_{j,k} = \begin{cases} \lambda [(\omega_{j,k}/\lambda) - 1] & \omega_{j,k}/\lambda \geq 1 \\ 0 & \omega_{j,k}/\lambda < 1 \end{cases} \quad (7)$$

若把 $\omega_{j,k}/\lambda$ 看作一个整体,则当 $\omega_{j,k}/\lambda \geq 1$ 时, $\omega_{j,k}$ 可以认为是信号对应的小波系数,予以保留;否则 $\omega_{j,k}$ 被认为是由噪声引起的,予以消除。式(7)可改进为:

$$\hat{\omega}_{j,k} = \begin{cases} \lambda \sqrt{(\omega_{j,k}/\lambda)^2 - 1} & \omega_{j,k}/\lambda \geq 1 \\ 0 & \omega_{j,k}/\lambda < 1 \end{cases} \quad (8)$$

对 $\omega_{j,k}/\lambda$ 进行平方处理,增加每一个系数与 1 的偏离程度,从而促使信号和噪声的分离。

前面讨论的是 $\omega_{j,k} > 0$ 时的情况,对于一般情况有:

$$\hat{\omega}_{j,k} = \begin{cases} \sin(\omega_{j,k}) \sqrt{(|\omega_{j,k}|)^2 - \lambda^2} & |\omega_{j,k}| \geq \lambda \\ 0 & |\omega_{j,k}| < \lambda \end{cases} \quad (9)$$

容易验证,当 $|\omega_{j,k}| \geq \lambda$ 时:

$$|\omega_{j,k}| - \lambda \leq \sqrt{(\omega_{j,k})^2 - \lambda^2} \leq |\omega_{j,k}| \quad (10)$$

软、硬阈值法及改进半软阈值法估算阈值曲线如图 1 所示。从图 1 可以看出,改进半软阈值法估算出来的阈值 $\hat{\omega}_{j,k}$ 介于软阈值和硬阈值之间,且当 $|\omega_{j,k}|$ 不断增大时,估算阈值 $\hat{\omega}_{j,k}$ 越来越接近于 $\omega_{j,k}$,克服了硬阈值法由于 $\hat{\omega}_{j,k}$ 在 $\pm \lambda$ 处的不连续造成重构信号产生

振荡的弊端,也克服了软阈值法由于 $\hat{\omega}_{j,k}$ 和 $\omega_{j,k}$ 存在恒定的偏差而直接影响重构信号与真实信号的逼近程度的缺陷。

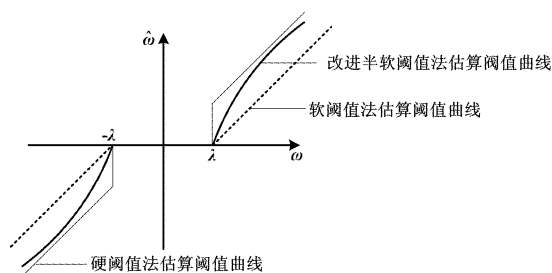


图 1 估算阈值曲线

Fig. 1 Estimated threshold curves

3 故障测距算法的实现

利用检测出故障点反射波的方法进行测距^[10],以极性判别法排除对端母线反射波的影响。测距点到故障点的距离为:

$$D = \frac{1}{2} v \Delta t \quad (11)$$

式中: Δt 为故障后第一个反向行波和故障点反射波到达的时间差; v 为波速。

4 仿真与分析

本文以输电线路 A 相短路故障为例进行仿真^[11]。500 kV 双端供电输电线路总长为 500 km,距 M 端 100 km 处发生 A 相短路故障,其模型如图 2 所示。

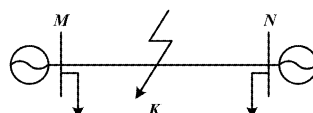


图 2 500 kV 输电线路模型

Fig. 2 Model of 500 kV transmission line

利用 Matlab7.0 建立上述输电线路模型并设置参数^[12],得到的仿真模块如图 3 所示。

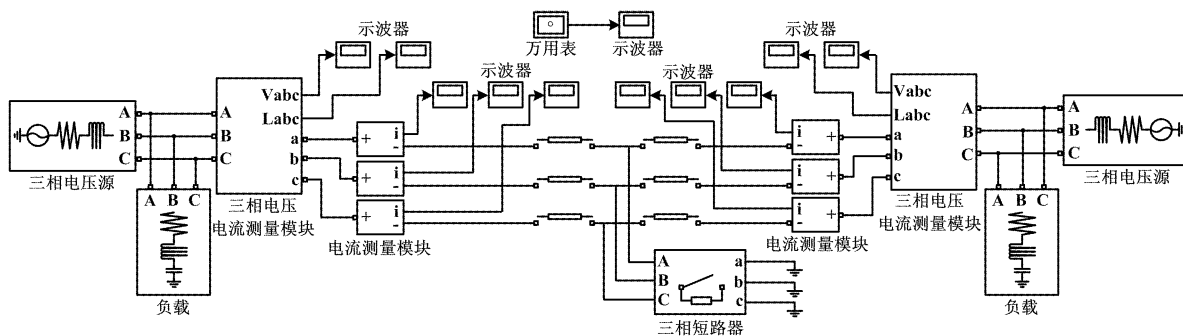


图 3 输电线路仿真模块图

Fig. 3 Simulation module of transmission line

M 端 A 相接地时短路电流信号波形如图 4 所示。

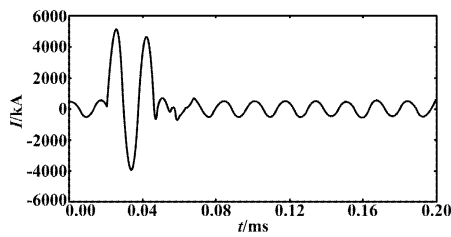
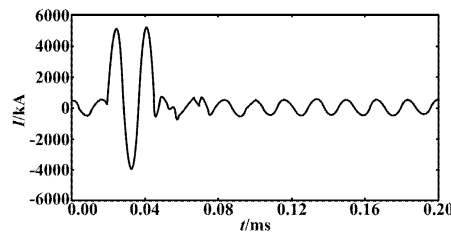


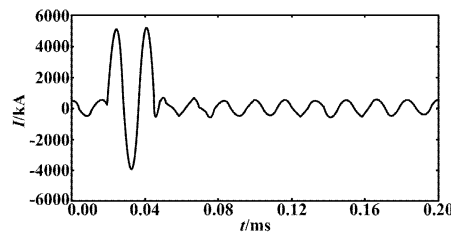
图 4 A 相短路故障电流波形

Fig. 4 Phase A short circuit fault current waveform

对上述含噪声的电流信号分别采用半软阈值降噪法和改进半软阈值降噪法进行降噪处理,得到故障信号波形如图 5 所示。



(a) 半软阈值降噪法



(b) 改进半软阈值降噪法

图 5 故障信号波形图

Fig. 5 Fault signal waveform

从图 5 可以看出,改进半软阈值降噪法有更好的降噪效果。采用改进半软阈值法降噪法,不但克服了传统的软硬阈值方法所固有的局限性;且在降噪过程中不需要对调节系数的最佳值进行估计,弥补了半软阈值法的不足,降噪效果更加有效可靠,可以达到较高的信噪比,适合于实际工程应用。

采用 db5 小波作为小波函数^[13],对采用改进半软阈值法降噪后的故障信号进行 5 层离散小波分解^[14],得到的波形如图 6 所示。

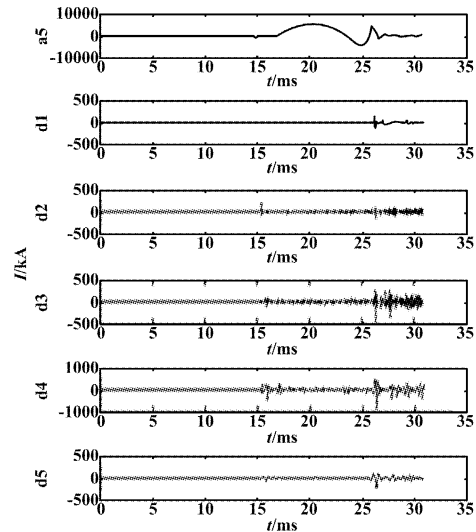


图 6 小波变换波形

Fig. 6 Waveforms of wavelet transform

从图 6 可知,A 相短路故障发生在 0.02 ~ 0.04 s 之间,从而可测出初始行波到达 M 端的时间 t_1 和故障点反射波到达 M 端的时间 t_2 及其时间差 Δt 。

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 26\ 707 \times 10^{-6} - 26\ 039 \times 10^{-6} = 668 \times 10^{-6} \text{ s} \quad (12)$$

故障点距离 M 端的距离为:

$$D = \frac{1}{2}v\Delta t = \frac{1}{2} \times 3 \times 10^5 \times 668 \times 10^{-6} = 100.2 \text{ km} \quad (13)$$

可见采用该方法时绝对误差为 200 m,相对误差为 0.2%。

在距离 M 端 100 km,200 km 处,当发生 A 相接地短路、AB 两相接地短路、AB 相间短路和三相短路时,采用小波变换方法进行了故障仿真^[15],故障仿真结果如表 1 所示。

表 1 故障仿真结果

Tab. 1 Results of fault simulation

故障类型	100 km			200 km		
	故障时间 / μs	故障距离 /km	相对误差 /%	故障时间 / μs	故障距离 /km	相对误差 /%
A 相接地短路	26 039	100.2	0.2	27 148	200.3	0.3
AB 两相接地短路	26 036	99.5	0.5	27 150	200.1	0.1
AB 相间短路	26 041	100.3	0.3	27 145	199.7	0.3
三相短路	26 043	100.5	0.5	27 153	200.6	0.6

(下转第 22 页)

算法性能很差;而 NBP-RPF 算法仍有很充分的粒子在状态空间中传播。

4 结束语

本文采用非参数信念传播的思想,从各节点信息的乘积中进行 Gibbs 采样,并充分利用节点信息,提高了目标跟踪精度。通过正则化粒子滤波增加粒子的多样性,缓解了重采样过程造成的粒子贫乏现象,使粒子滤波算法的精度有所提高。虽然新算法的滤波效率比传统的粒子滤波有所下降,但在如今计算机运行能力的情况下,该方法仍为可行的滤波方法。

参考文献

- [1] 李建中. 无线传感器网络专刊前言[J]. 软件学报,2007,18(5): 1077 - 1079.
- [2] Alexandre T I. Inference in sensor networks: graphical models and particle methods[D]. Boston: Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- [3] Celebi M B, Kara A, Akar B, et al. A new approach to threat tracking on ESM systems by using Kalman filters[C]//Signal Processing and Communications Applications Conference, 2009: 173 - 176.
- [4] Binazzi G, Chisci L, Chiti F, et al. Localization of a swarm of mobile

agents via unscented Kalman filtering [C]// 2009 IEEE International Conference on Communications, 2009: 1 - 5.

- [5] Lee Y W. Development of the multi-target tracking scheme using particle filter[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2007: 1192 - 1201.
- [6] 王昆. 基于粒子滤波器的机动目标跟踪技术[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
- [7] 胡士强, 敬忠良. 粒子滤波算法综述[J]. 控制与决策, 2005, 20(4): 361 - 364.
- [8] Han T X, Ning hunzhong, Huang T S. Efficient nonparametric belief propagation with application to articulated body tracking [C]//2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, New York, 2006(17 - 22): 214 - 221.
- [9] Sudderth E B, Mandel M I, Freeman W T, et al. Visual hand tracking using nonparametric belief propagation [C]// 2004 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 2004: 189.
- [10] Sudderth E B, Ihler A T, Freeman W T, et al. Nonparametric belief propagation [C]// Proceedings of 2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003: 605 - 612.
- [11] Ihler A T, Fisher J W, Moses R L, et al. Nonparametric belief propagation for sensor self-calibration [C]// ICASSP, 2004: 861 - 864.

(上接第 18 页)

5 结束语

本文将小波变换奇异性检测理论和改进半软阈值降噪法应用到输电线路故障暂态行波的检测中,通过单端 A 型行波故障测距算法对输电线路故障进行了定位。同时,利用 Matlab7.0 进行了多种短路故障仿真。仿真结果表明,该方法能够准确地确定奇异点的位置与奇异度的大小,并有效地分析非平稳信号,适合输电线路发生短路故障后暂态信号的检测。改进半软阈值降噪法具有明显的降噪效果,且算法简单,易于实现,为故障测距提供了有利依据。

参考文献

- [1] 刘万顺. 电力系统故障分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998: 20 - 23.
- [2] 崔锦泰. 小波分析导论[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1995: 56 - 60.
- [3] 葛耀中, 徐丙垠, 陈平. 利用暂态行波测距的研究[J]. 西安交通大学学报: 自然科学版, 1995, 29(3): 70 - 75.
- [4] 周建萍, 郑应平, 王志萍. 基于小波分析的输电线路短路故障检测[J]. 华东电力, 2009, 37(8): 1342 - 1345.

- [5] 姜晟, 舒乃秋, 胡芳, 等. 基于小波变换的含噪声行波信号奇异点检测[J]. 电网技术, 2004, 28(10): 45 - 47.
- [6] 王立国, 吴猛, 韩光信. 基于连续小波变换极值点进行故障检测的研究[J]. 吉林化工学院学报, 2002, 19(2): 51 - 53.
- [7] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 45 - 47.
- [8] 苏维均, 周莺. 小波变换阈值降噪方法及在工程中的应用[J]. 测控自动化, 2008, 24(1): 281 - 283.
- [9] 张晨光. 一种新小波阈值去噪算法[J]. 科技创新导报, 2009(4): 3109.
- [10] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007.
- [11] 董新洲, 葛耀中, 徐丙垠. 利用暂态电流行波的输电线路故障测距研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(4): 77 - 80.
- [12] 周伟. Matlab 小波分析高级技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006: 109 - 118.
- [13] 何正友, 钱清泉. 电力系统暂态信号分析中小波基的选择原则[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(10): 45 - 48.
- [14] 王先明, 陶时伟. 小波变换奇异性在电力系统行波故障测距中的应用[J]. 贵州工业大学学报, 2001, 30(3): 50 - 53.
- [15] 王亚, 吕新华, 王海峰. 一种改进的小波阈值降噪方法及 Matlab 实现[J]. 微计算机信息, 2006(6): 18 - 20.