doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2017.01.016

引用格式:李强,张洪欣,郭法明,等. 利用匹配追踪算法提取变电站内路径损耗参数[J]. 电讯技术,2017,57(1):95-99. [LI Qiang, ZHANG Hongxin, GUO Faming, et al. Extracting path loss parameters in substation by using matching pursuit algorithm[J]. Telecommunication Engineering,2017,57(1):95-99.]

利用匹配追踪算法提取变电站内路径损耗参数*

李 强**1,张洪欣1,郭法明1,陆 阳2,李建岐2,吕英华1

(1. 北京邮电大学 电子工程学院,北京 100876;2. 全球能源互联网研究院,北京 102209)

摘 要:为了衡量变电站内电磁环境对无线通信设备的干扰,尤其是对无线信道的干扰,采用频域测量方法在110 kV 和220 kV 变电站内分别对430 MHz 和470 MHz 通信频段电磁波路径损耗进行了测量。针对变电站内电磁环境相对复杂的情况,提出了一种利用匹配追踪算法滤除噪声,提取路径损耗参数的方法。根据测量信号的特征,构建了与测量信号匹配而对噪声不敏感的高斯脉冲原子库。与常规的 Gabor 原子库相比,基于构建的高斯脉冲原子库的匹配追踪算法比传统的基于 Gabor 原子库的匹配追踪算法运算速度要快3~4倍,提高了匹配追踪算法的运算速度,减少了计算时间,获得了较好的降噪和信息提取的效果,为变电站内布置无线通信设备提供了理论依据和指导意义。 关键词:无线通信:变电站电磁环境:路径损耗参数;匹配追踪;脉冲原子库

中图分类号:TN925 文献标志码:A 文章编号:1001-893X(2017)01-0095-05

Extracting Path Loss Parameters in Substation by Using Matching Pursuit Algorithm

LI Qiang¹, ZHANG Hongxin¹, GUO Faming¹, LU Yang², LI Jianqi², LYU Yinghua¹
(1. School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;
2. Global Energy Interconnection Research Institute, Beijing 102209, China)

Abstract: In order to evaluate the interference of electromagnetic environment to the wireless communication equipment in the substation, especially to wireless channel, the frequency domain method is used to measure the electromagnetic wave path loss of 430 MHz and 470 MHz in the 110 kV and 220 kV substation respectively. For the condition that the electromagnetic environment of substation is complex relatively, a method is proposed to eliminate noise and extract the path loss parameters based on matching pursuit (MP) algorithm. According to the characteristics of the test signal, Gauss pulse atomic library is constructed, which matches with test signal and is not sensitive to noise. Compared with Gabor atomic library, the speed of matching pursuit algorithm based on Gauss pulse atomic library is faster than that of the MP algorithm based on Gabor atomic library three to four times. The Gauss pulse atomic library improves the calculation speed of MP algorithm and reduces the computing time. The MP algorithm gets a good effect of information extraction and noise elimination, which provides a theoretical basis and guidance for the wireless communication equipment placed in the substation.

Key words: wireless communication; electromagnetic environment in substation; path loss parameter; matching pursuit; pulse atomic library

^{*} 收稿日期:2016-05-05;修回日期:2016-11-02 Received date:2016-05-05;Revised date:2016-11-02 基金项目:国家自然科学基金资助项目(61571063);国家电网公司科技项目(SGRIXTKJ[2015]-796)

1 引 言

当前,我国经济高速腾飞,社会发展对电网建设要求更高,同时也促进了电力工业的快速建设。为满足实际的生产生活需求,必须积极发展智能电网,降低电网的运行能耗,提高其稳定性及安全性。

智能电网的建设,主要是将各级电网作为网架基础,利用各项新技术建立信息通信平台,实现对电力传输、电网运行以及电力业务等多方面的综合管理。为了实现快速、便捷的通信,就必须采用无线设备作为信息感知的末端^[1],但是变电站内电磁环境十分恶劣^[2-3],需要对相应频段的电波传播特性进行具体的研究。

对无线通信中电波传播特性的分析,可以采用理论仿真和现场测量两类方法^[4]。实际工程中通常采用现场测量的方式来确立具体环境的路径损耗模型^[5-6]。但从变电站恶劣的电磁噪声中识别出相应的通信信号是很困难的事情。如果已经知道噪声的频率,可以设置相应的滤波器滤除噪声,但大多数情况下噪声的频率是未知的,所以只能从信号本身的特点出发。本文在变电站内,测量变电站通信信号路径衰减,针对测试信号的特征,构建脉冲原子库,采用匹配追踪算法^[7]提取路径损耗参数,滤除噪声。

2 路径损耗测量方案

本文在变电站通信室内布置发射设备,在变电站主要设备附近通过频谱仪测量相应信号的接收功率,由发射信号功率和接收信号功率可以求出对应频点和不同位置的路径损耗。

首先选择某市 110 kV 和 220 kV 的变电站进行测量,测试布点以 110 kV 变电站为例,测试点布局如图 1 所示。

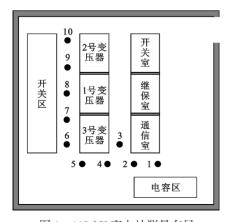
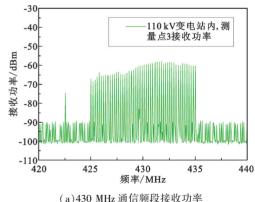


图 1 110 kV 变电站测量布局 Fig. 1 A 110 kV substation measurement layout 在测量过程中,发射天线和接收天线都采用水

平极化方式。发射设备放置在变电站的通信室内,位置固定不变,接收设备放置在变电站内主要敏感设备附近。发射设备由信号源和发射天线组成,信号源采用 AV1441A 射频信号发生器,发射功率设为0 dBm,发射天线采用 Com-power 公司的200~1000 MHz对数周期天线,型号为 ALP-100。接收设备由是德科技的频谱分析仪 N1996A 和接收天线组成,频谱分析仪的检波方式采用峰值检波,测量过程中采用多次测量取平均值,分析带宽(Resolution Band Width, RBW)设为1 kHz,显示带宽(Video Band Width, VBW)设为10 kHz,接收天线使用 Ainfoinc 公司生产的对数周期天线,型号为 DS-3300。带宽覆盖范围30 MHz~3 GHz。

由于无线通信上下行需要分配不同的信道,每个信道需要占用一定的带宽,所以本测量方案采用发射扫频信号的方式来代替实际通信的信号。扫频信号发射功率为0 dBm,430 MHz通信频段扫频范围425.2~435 MHz,步进间隔为196 kHz。470 MHz通信频段扫频范围454.95~475.05 MHz,步进间隔为200 kHz。图 2 所示为110 kV 变电站内第三个测量点不同频段接收到的信号强度,其中测量点3与通信室的发射天线距离为7 m。



(b)470 MHz 通信频段接收功率

图 2 110 kV 变电站测量点 3 不同频段信号接收功率 Fig. 2 Received power at point 3 of the 110 kV substaion in different frequence

3 匹配追踪算法原理

匹配追踪算法是稀疏分解中一种贪婪算法^[8],该算法的原理^[9]是在每次迭代过程中从原子库里选出与原信号最匹配的原子,也称最佳原子,从而构成逐渐逼近的过程,最终完成对信号的稀疏表示,其算法流程如图 3 所示。

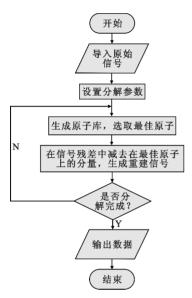


图 3 匹配分解流程图

Fig. 3 The flow chart of matching pursuit algorithm

原始信号可以表示为有用信号 f_s 和噪声信号 f_n ,即 $f=f_s+f_n$ 。因为随机噪声信号没有明显规律,也 没有固定结构,通过建立过完备原子库,在过完备原子库中选取与有用信号结构相似的原子与信号求内 积,保存内积最大项,则 f 可以被分解为

$$f = \langle f, g_0 \rangle g_0 + R^1 f_{\circ} \tag{1}$$

式中: $\langle f, g_0 \rangle$ 表示最佳原子 g_0 和信号 f 的内积, $R^1 f$ 表示最佳原子 g_0 和信号 f 匹配后所得到的剩余残差。接着对残差 $R^1 f$ 进行同样的分解, 得到

$$R^{1}f = \langle R^{1}f, g_{1} \rangle g_{1} + R^{2}f_{\circ}$$
 (2)

式中: R^2f 是信号第二次分解后的残差。匹配追踪算法是一个递推过程,通过不断的从原子库中选取与残差信号 R^nf 最匹配的原子,来完成对 R^nf 的继续分解,经过 n 次迭代后,得到残差公式如下:

$$R^{n-1}f = \langle R^{n-1}f, g_{n-1} \rangle g_{n-1} + R^{n}f_{0}$$
 (3)

则原始信号最终可以表示为

$$f = \sum_{i=0}^{n-1} \langle R^i f, g_i \rangle g_i + R^n f_0$$
 (4)

式中: R"f 是噪声信号。这样就提取了有用信号, 分

离出噪声信号。

4 原子库的构造

在进行匹配追踪算法运算的过程中,其核心问题是选择合适的原子构建过完备原子库^[10],根据应用领域的不同,原子库的构造可以是精心设计的结构化空间,也可以是某个函数经伸缩、平移和调制形成的,这类函数通常选用 Gabor 原子、小波原子、Ricker小波^[11]和 Morlet 小波^[12]等。一般选用 Gabor 原子构建原子库。Gabor 原子是由一个经过调制的高斯窗函数构成,其表达式如下:

$$g_{a}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} e^{-\pi \left(\frac{t-u}{s}\right)^{2}} \cos(\omega t + \varphi)_{o}$$
 (5)

式中:s 是尺度伸缩因子,u 是位移因子, ω 是原子的角频率, φ 是原子的相位。

采用匹配追踪算法对路径损耗进行提取,虽然可以直接应用 Gabor 原子进行分解,但其不具有实际的物理意义。从另一方面考虑,本文通过频谱仪接收信号源发射的扫频信号,其频谱具有脉冲特性,因此选择高斯脉冲函数构建过完备原子库,其形式如下:

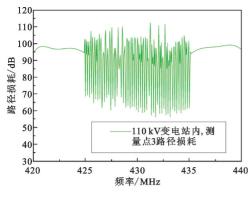
$$g(t) = A e^{-4\pi (\frac{t-t_0}{\tau})^2}$$
 (6)

式中:A 是脉冲幅度值, t_0 是脉冲峰值出现的时刻, τ 是脉冲宽度。

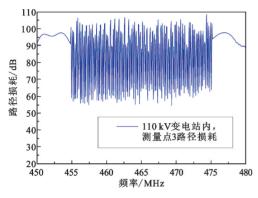
5 数值结果与分析

本文通过选择 Gabor 原子和高斯脉冲原子,分别建立过完备原子库,通过与测量信号求最大内积,分离出变电站内有用的扫频接收信号,完成对变电站内不同频率信道路径损耗的提取。图 4 为提取的430 MHz和470 MHz通信频段的路径损耗随频率变化的曲线。

由图 4 可知,本文采用的匹配追踪算法成功滤除变电站内电磁干扰噪声,实现了对通信信道路径损耗参数的提取,其中测量点 3 在430 MHz通信频段的路径损耗在65 dB左右,在470 MHz通信频段的路径损耗在60 dB左右。从提取的数据可以推断出,在变电站内相同距离的情况下,随着通信频率的增高,损耗越低,也就是说低频的路径损耗大,高频的路径损耗小。



(a)430 MHz 通信频段路径损耗



(b)470 MHz 通信频段路径损耗

图 4 110 kV 变电站测量点 3 信号路径损耗 Fig. 4 Path loss at point 3 in the 110 kV substaion

另外,本文通过对比 Gabor 原子库和高斯脉冲原子库的匹配追踪算法运行的时间来判断两个原子库的选择的优劣情况,结果如表1 所示。

表 1 不同原子库的匹配追踪算法运算时间对比 Tab. 1 Computing time of different atomic library in matching pursuit algorithm

原子库	运算时间/s	
	430 MHz	470 MHz
Gabor 原子库	402.32	813.28
Gauss 原子库	98.33	257.24

从表 1 可以看出,由于 470 MHz 通信频段设置的点数为 100 个点,提取该信号的时间也比较长。430 MHz通信频段设置的点数为 50 个点,提取该信号的时间比较短。总体而言,采用高斯脉冲原子构建的原子库要比传统的 Gabor 原子库计算速度快,运行时间短。

6 结束语

本文通过频域测量方法对变电站内430 MHz和470 MHz通信频段电磁波路径损耗进行了测量,提

出了基于匹配追踪算法提取路径损耗参数的方法。针对测试信号的特征,构建了与扫频信号匹配而对噪声不敏感的高斯脉冲原子库,通过与常用的 Gabor 原子库的对比可以看出,采用高斯脉冲函数作为原子库提取路径损耗的匹配追踪算法要比采用 Gabor 原子库的匹配追踪算法计算结果快 3~4 倍,大大提高了运算速度,降低了计算时间。从算法运行结果来看,获得了较好的降噪目的和信息提取的效果,为变电站内布置无线通信设备提供了理论依据和指导意义。

另外,虽然基于 Gabor 原子库的匹配追踪算法 也能将扫频信号从变电站的复杂电磁环境中分离出 来,但是其提取速度比较慢,不具备物理意义。针对 不同特征的信号,需要建立具有针对性的、与实际信 号相匹配的原子库,才能更好、更有效地使用匹配追 踪算法。

本文在去除变电站环境噪声,提取路径损耗参数的过程中,只用了匹配追踪算法,下一步工作的重点是深入研究利用其他类型的滤波算法来提取变电站内路径损耗参数。

参考文献:

- [1] 陈超群. 无线传感网络在智能变电站中的应用研究 [D]. 昆明:云南大学,2013.
 - CHEN Chaoqun. The application study of wireless sensor network in intelligent substation [D]. Kunming: Yunnan University, 2013. (in Chinese)
- [2] 嵇建飞,杨逸飞,袁宇波,等. 智能变电站就地智能设备电磁兼容抗扰度试验分析[J]. 高电压技术,2015,41(3);998-1007.
 - JI Jianfei, YANG Yife, YUAN Yubo, et al. Experimental analysis of EMC immunity for field installed intelligent equipment of intelligent substation [J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(3):998-1007. (in Chinese)
- [3] 黄益庄. 变电站智能电子设备的电磁兼容技术[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(15):6-9.
 HUANG Yizhuang. EMC technology for IED in substations [J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (15):6-9. (in Chinese)
- [5] 陈一天,余爱民. 2.4 GHz 无线局域网在室内外传播的路径损耗分析[J]. 电讯技术,2005,45(1):35-39. CHEN Yitian, YU Aimin. Analysis of 2.4 GHz WLAN indoor and outdoor transmission path loss[J]. Telecommunication Engineering,2005,45(1):35-39. (in Chinese)
- [6] 侯群,高立. 无线局域网室外覆盖路径损耗计算分析及规划布局建议[J]. 电讯技术,2011,51(8):101-104.

HOU Qun, GAO Li. Calculation of WLAN outdoor coverage path loss and system deployment suggestion [J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51 (8): 101 - 104. (in Chinese)

- [7] 尹忠科,王建英, Pierre Vandergheynst. 在低维空间实现的基于 MP 的图像稀疏分解[J]. 电讯技术, 2004, 44 (3):12-15.
 - YIN Zhongke, WANG Jianying, PIERRE Vandergheynst. MP-based image sparse decomposition; realized in a lower space[J]. Telecommunication Engineering, 2004,44(3): 12-15. (in Chinese)
- [8] 董青松. 地震信号处理中谱分解技术研究[D]. 长春: 东北石油大学,2014.
 - DONG Qingsong. Research on spectral decomposition of seismic signal processing [J]. Changchun: Northeast petroleum University, 2014. (in Chinese)
- [9] MALLAT S, ZHANG Z. Matching pursuit with time-frequency dictionaries [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41 (12):3397-3415.
- [10] 朱会杰,王新晴,芮挺,等. 改进的匹配追踪在方波信号滤波中的应用[J]. 解放军理工大学学报,2015,16(4):305-309.
 - ZHU Huijie, WANG Xinqing, RUI Ting, et al. Implication of improved matching pursuit in de – noising for square wave [J]. Journal of PLA University of Science and Technology, 2015, 16(4):305–309. (in Chinese)
- [11] LIU J. Time-frequency decomposition based on Ricker wavelet [J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2004, 23(1):1937-1940.

[12] LIU J. Matching pursuit decomposition using Morlet wavelets [J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2005, 24(1):786-789.

作者简介:



李 强(1985—),男,辽宁营口人,北京 邮电大学博士研究生,主要研究方向为无线 通信与电磁兼容;

 ${\bf Email:qiang_lee@~bupt.~edu.~cn}$

张洪欣(1969—),男,山东滨州人,2004年于北京邮电大学获博士学位,现为教授、博士生导师、宽带通信与微波技术中心主任,主要研究方向为无线通信与电磁兼容、通信信号处理、电磁辐射信息安全、生物电子等;

郭法明(1989—),男,山东聊城人,北京邮电大学硕士研究生,主要研究方向为电磁兼容;

陆 阳(1984—),男,江苏徐州人,2012 年于北京邮电 大学获博士学位,现为全球能源互联网研究院工程师,主要 从事电力通信新技术研究工作;

李建岐(1969—),男,陕西岐山人,1993年于东北电力 大学获硕士学位,现为全球能源互联网研究院高级工程师, 主要从事电力通信新技术研究及应用研发工作;

吕英华(1944—),男,辽宁锦州人,1988 年于北京邮电大学获博士学位,现为教授、博士生导师,主要研究方向为计算电磁学、电磁兼容、生物医电工程、天线和电磁散射、计算机信息技术等。