

基于多采样率的风电多机组远程监测*

杨彦利, 苗长云

(天津工业大学电子与信息工程学院 天津, 300387)

摘要 针对风力机许多部件的振动频率很低, 振动监测的风电机组远程状态监测受限于网络速度而难以实现的问题, 研究了基于多采样率信号处理技术的多机组远程振动监测。通过对风电机组的振动信号进行二次抽样处理, 大大减小了包含风电机组振动信息的数据量。仿真分析表明, 在现有网络条件下, 可实现风电多机组振动数据的广域网传输, 进而可实现风电多机组的远程振动监测。

关键词 风力能源; 风力发电机组; 振动监测; 多采样率信号处理; 远程监测

中图分类号 TK83; TH165.3

引言

随着人类环保意识的提高以及不可再生资源的日益枯竭, 风能受到了广泛关注, 已成为国际上可再生能源领域发展最快的清洁能源之一。截止到2009年底, 全球风机的发电量已占用电总量的2%, 我国的装机总量已位居世界第2位^[1]。风电机组维护的高成本阻碍着风力发电行业的健康发展。据统计, 陆上和海上风电机组的维护费用分别约占其收入的10%~15%和20%~25%^[2]。除了改进风电机组相关部件的设计来提高可靠性外, 降低风电成本的一个有效途径是对风电机组实施有效的状态监测^[3-4]。但风力机故障监测存在其特殊性, 大型风力电场多布置于宽阔边远地区, 恶劣的自然环境对风电机组的维护构成挑战, 而且经常需要多位知名专家对风电机组进行异地诊断^[5], 因此有必要开发风电机组的远程状态监测系统。

目前, 在线式风电机组状态监测和远程故障诊断系统已在风力发电设备中得到应用^[6-7], 部分应用还实现了基于广域网的远程状态监测; 但是, 这些基于广域网的监测系统一般只能实现对功率、转速、电流和风速等参数的监测, 无振动量监测, 存在故障预警功能欠缺等缺点^[8]。由于风电机组振动信息的数据量非常大, 受网络传输速度慢的制约, 基于振动信号的广域网多机组远程实时状态监测系统还有待进一步开发。笔者利用多采样率信号处理技术来研究基于广域网的风电多机组远程状态监测。

1 风电机组振动监测

机械振动是工程技术中普遍存在的一种现象。当机器发生异常时, 一般都会随之出现振动加大并引起工作性能的变化, 如影响工作精度、加剧磨损、加速疲劳破坏等, 继而进一步加剧振动, 造成恶性循环, 直至发生故障和破坏^[9]。大型变速风电机组的振动问题主要集中在4个方面^[10]: a. 风轮的气弹效应; b. 机械传动链的扭曲振动, 可能会受到气动效应和电气特性的激励; c. 偏航运动引起的振动问题; d. 风轮塔架耦合的整机振动。

虽然风电机组的诊断方法有振动监测、超声监测、温度监测、润滑油监测等多种方法, 但由于风力机故障经常以振动形式表现出来, 根据振动信号进行监测与诊断是目前风电机组维护管理的主要手段^[5]。振动监测是设备状态监测领域最常用的方法之一, 通过从时域、频域、时频域等角度对振动信号进行分析, 进而深入了解风电机组的运行状态, 及时发现设备出现或即将出现的故障。

对于风电机组, 振动监测主要用于监测发电机的轴承、主轴承、齿轮箱的齿轮和轴承, 以及机舱等部件的振动情况^[11]。风力机的振动监测具有低转速、动载荷等特点, 低速轴和机舱的振动频率通常低于10 Hz^[11]。由于风力涡轮机组的低速运转限制了振动监测方法对于早期故障的识别, 有效地提取风电机组的低频振动信号已成为风电机组远程状态监测的关键。

* 收稿日期: 2011-03-02; 修改稿收到日期: 2011-04-12

2 多采样率信号处理技术

多采样率信号处理技术就是通过在一个信号处理系统中采用2个或2个以上的采样速率,其目的是减少存储量,降低计算复杂度,以便于信号的存储、传递和处理等。多采样率系统已在通信、语音信号处理、频谱分析、雷达系统和天线系统等领域得到成功应用^[12]。

抽取和插值是多采样率信号处理的基本模块^[13],如图1所示。抽取就是取出信号序列 $x(n)$ 位于整数倍抽取因子位置上的值作为新的序列,而插值则是在信号 $x(n)$ 的相邻样本间插入 $p-1$ 个样本值,通常是插入零值。抽取过程可表示为

$$y_d(n) = x(Dn), n \in N \quad (1)$$

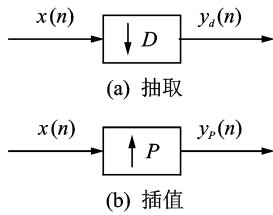


图1 多采样率信号处理的基本模块

假设信号 $x(n)$ 的离散采样率为 f_s ,那么经抽取后,信号 $y_d(n)$ 采样率变为 f_s/D ;经插值后,信号 $y_p(n)$ 采样率为 f_p/D 。为了避免抽取过程产生混叠和插值过程产生镜像,通常需要在抽取前和插值后加入低通滤波器。

3 多机组远程振动诊断

基于多采样率处理技术的风电多机组远程监测系统如图2所示,整个系统包括信号采集及预处理、多采样率处理、广域网传输、数据接收与信号处理、状态监测与故障诊断等模块。每台风电机组上需要安装多个传感器,分别用于采集风电机组的低速轴、高速轴和齿轮箱等关键零部件的轴向、径向振动信号和转速信号。针对风力发电厂的若干发电机组,整个系统的工作过程如下:首先,通过传感器分别采集每台风电机组的振动信号和转速信号,并将采集到的振动信号经预处理后变成离散信号;然后,根据转速信号计算抽样因子,对离散振动信号进行多采样率处理,通过广域网将多采样率处理后的振动信号发送到远程接收端;最后,通过在远程接收端分析接收到的振动信号来识别设备的状态并进行故障诊

断,从而实现对风电多机组状态的远程实时监测。在进行广域网传输的同时,将数据文件保存于本地局域网内,以免由于网络故障而导致数据的丢失,既起到备份数据的作用,也可以用于设备状态的本地诊断。

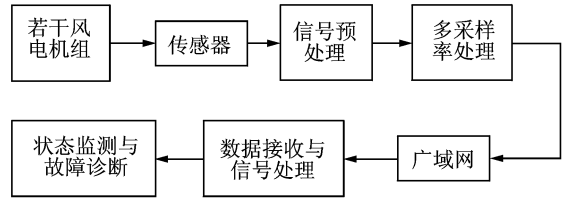


图2 风电多机组远程监测系统框图

多采样率信号处理模块如图3所示,首先计算得到抽样因子,再根据抽样因子来构造低通滤波器,对振动信号抗混叠低通滤波后进行二次抽样处理。对于低速轴和高速轴,抽样因子 D 的计算公式为

$$D \leq 60f_s / (cmn_r) \quad (2)$$

其中: $c \geq 2$,为一常数; m 为谐波次数; n_r 为转子转速。

对于齿轮箱,抽样因子 D 应满足

$$D \leq f_s / (cmf_m) \quad (3)$$

其中: f_m 为转子速度为 n_r 时齿轮的啮合频率。

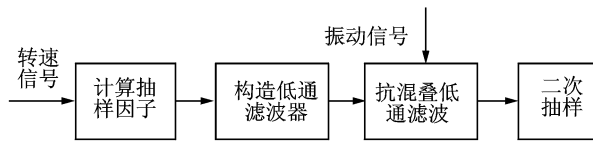


图3 多采样率信号处理模块

图3中的低通滤波器起抗混叠滤波的作用。理想的抗混叠低通滤波器 $h(n)$ 的幅频响应特性^[13]为

$$H(e^{j\omega}) = \begin{cases} 1 & (|\omega| \leq \pi/D) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (4)$$

其中: $\omega = 2\pi f / f_s$ 。

这意味着在抽取前,低通滤波器滤掉了信号中频率高于 $\omega = \pi/D$ 的成分,进而在二次抽样后,以较低的采样频率采集到了风电机组不同监测对象的低频振动信号。

实际应用中,风速随时间的变化会导致风力发电机转子转速具有时变性。根据式(2)和式(3)可知,抽样因子能够自适应地变化,但抽样因子的时变性与其稳定性构成一对矛盾。抽样因子的快速变化会增加后续信号处理的难度。为了便于后续的频谱分析,对于长度为2幂次方的原始数据,可以取抽样因

子为2的幂次方。这样,在兼顾抽样因子自适应变化的同时,在一定程度上稳定了抽样因子。另外,抽样因子太大,会造成相邻两个离散点的时间间隔过大,而远程接收到的数据长度就会很小,这不便于设备的状态监测。由此可知,为了减少数据量需要尽可能增大抽样因子,而从设备监测的角度则限制了大抽样因子的使用,故需要综合考虑来选择抽样因子。

二次采样后的振动信号经广域网发送到远程接收端,实现振动数据的异地分析。用于振动信号分析的方法有:时域波形、轴心轨迹、瀑布图、全息谱、全频谱、包络分析、AR谱分析、趋势分析、统计分析、自相关分析、自功率谱分析、倒谱分析、细化谱分析、解调分析、幅值谱分析、频谱分析、短时傅里叶变换、小波变换、小波包变换、分数阶傅里叶变换、Wigner-Ville分布、经验模态分解信号处理、高阶统计量信号处理和基于人工神经网络的专家系统等分析方法。通过时域、频域、时频域等角度从振动信号中提取出风电机组的状态特征信息,进而利用振动监测技术实现风电机组的远程状态监测和故障诊断。

4 仿真分析

以德国 Repower 公司的 5 M 风力发电装置为例,其主要参数为^[14]:风轮转速 6.9~12.1 r/min,发电机转速 670~1 170 r/min。假如每个机组布置 32 个传感器,其中 24 个电涡流传感器,其采样频率为 10 kHz,用于低速轴和高速轴等零部件的振动信号采集;其余 8 个为加速度传感器,其采样频率为 20 kHz,用于齿轮箱的振动信号采集。

经每个电涡流传感器采集形成整数型数据的数据量为 40 kB/s,经每个加速度传感器采集形成整数型数据的数据量为每秒钟 80 kB/s,这样,每秒钟就会产生 1 600 kB 的整数型数据。假定压缩成 rar 格式,按照标准压缩方式进行压缩,压缩比大致为 7:1,对于 4 MB 带宽的网络,其网络速度理想值大致为 364 kB/s,只能实现 1 台风电机组振动数据的广域网远距离实时传输。在转速为 12.1 r/min 的情况下,不同部件振动信号的数据量及二次抽样后数据量的对比如表 1 所示。由表 1 可知,1 600 kB 的数据经二次抽样处理后缩减为 85 kB,可实现 29 台风电机组振动数据在 4 MB 带宽的广域网上进行远距离实时传输。

表 1 不同部件振动信号数据量与抽样后数据量的对比

测点	传感器	原始数据量/kB	抽样因子	抽样后数据量/kB
主轴轴承	6 个电涡流	240	128	1.875
齿轮箱低速轴承	3 个压电	240	128	1.875
齿轮箱中间级轴承	3 个压电	240	8	30
齿轮箱高速轴承	2 个压电	160	4	40
电机轴承	6 个电涡流	240	32	7.5
齿轮箱支撑	12 个电涡流	240	128	1.875
发电机支撑	6 个电涡流	240	128	1.875

在转速为 12.1 r/min 情况下,发电机轴的仿真振动信号如图 4 所示,经多采样率处理模块抽样后的仿真振动信号如图 5 所示。由图 4 和图 5 可以看出,经二次抽样后,发电机轴的振动信号及其谐频得到了很好的保留,结合表 1 可知数据量的减小十分明显。

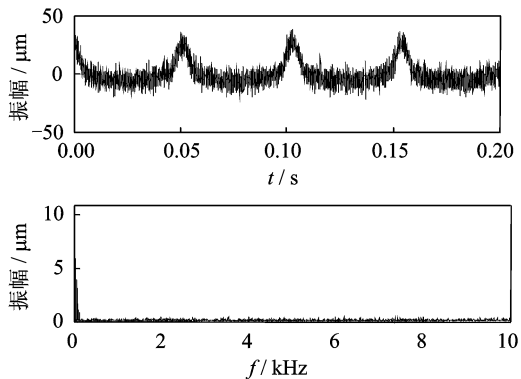


图 4 发电机轴的仿真振动信号及其频谱

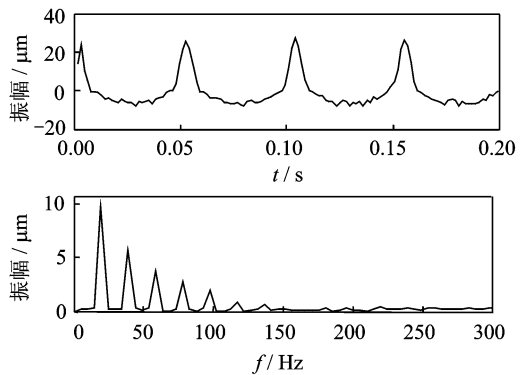


图 5 二次抽样后的仿真振动信号及其频谱

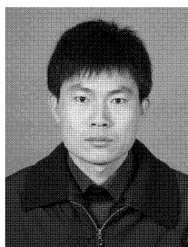
5 结束语

网络速度是基于广域网的远程实时状态检测的瓶颈,针对风力发电机组振动信号的低频特性,设计了用多采样率信号处理技术来处理振动信号,以减

小包含振动信号的数据文件所占用的存储空间。经仿真对比可知,多采样率信号处理技术处理后的振动信号数据量减小十分明显。借助于多采样率信号处理技术,在现有网络条件下可实现基于振动信号的广域网风电多机组状态的远程实时监测。

参 考 文 献

- [1] World wind energy association[EB/OL]. [2010-08-12]. <http://www.wwindea.org/home/index.php>.
- [2] Lu Bin, Li Yaoyu, Wu Xin, et al. A review of recent advances in wind turbine condition monitoring and fault diagnosis [C]// IEEE Power Electronics and Machines in Wind Applications. Lincoln, Nebraska, USA:Innovation Center,2009: 1-7.
- [3] Yang Wenxian, Tavner P J, Crabtree C J, et al. Cost-effective condition monitoring for wind turbines [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(1): 263-271.
- [4] 任玉亭. 振动监测技术在风力发电机组的应用[J]. 内蒙古电力技术, 2010, 28(2): 8-12.
Ren Yuting. Application research of vibration supervision technology on wind power generating units [J]. Inner Mongolia Electric Power, 2010, 28(2): 8-12. (in Chinese)
- [5] 周洋. MW级风力发电机组监测系统[D]. 沈阳:沈阳工业大学, 2009.
- [6] 盛迎新, 周继威. 风电机组在线振动监测系统及应用[J]. 振动、测试与诊断, 2010, 30(6): 703-705.
Sheng Yingxin, Zhou Jiwei. Online wind turbine vibration monitoring system and its application [J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2010, 30(6): 703-705. (in Chinese)
- [7] 陈长征, 周洋. 基于MSP430的风力发电机振动监测系统[J]. 信息技术, 2010(3): 72-75.
Chen Changzheng, Zhou Yang. Wind turbine vibration monitoring system based on MSP430 [J]. Information Technology, 2010(3): 72-75. (in Chinese)
- [8] 王惠中, 王小鹏, 李春霞. 基于数据挖掘的风力发电设备在线故障诊断平台[J]. 风机技术, 2010(1): 47-50.
Wang Huizhong, Wang Xiaopeng, Li Chunxia. The on-line fault diagnosis platform for wind power generation equipment based on data mining [J]. Compressor Blower & Fan Technology, 2010(1): 47-50. (in Chinese)
- [9] 龙泉, 刘永前, 杨勇平. 状态监测与故障诊断在风电机组上的应用[J]. 现代电力, 2008, 25(6): 55-59.
Long Quan, Liu Yongqian, Yang Yongping. Applications of condition monitoring and fault diagnosis to wind turbines [J]. Modern Electric Power, 2008, 25(6): 55-59. (in Chinese)
- [10] 姚兴佳, 刘颖明, 刘光德, 等. 大型风电机组振动分析和在线状态监测技术[J]. 沈阳工业大学学报, 2007, 29(6): 627-632.
Yao Xingjia, Liu Yingming, Liu Guangde, et al. Vibration analysis and online condition monitoring technology for large wind turbine [J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2007, 29(6): 627-632. (in Chinese)
- [11] 蒋东翔, 洪良友, 黄乾, 等. 风力机状态监测与故障诊断技术研究[J]. 电网与清洁能源, 2008, 24(3): 40-44.
Jiang Dongxiang, Hong Liangyou, Huang Qian, et al. Condition monitoring and fault diagnostic techniques for wind turbine [J]. Power System and Clean Energy, 2008, 24(3): 40-44. (in Chinese)
- [12] Vaidyanathan P P. Multirate digital filters, filter banks, polyphase networks, and applications; a tutorial [J]. Proceedings of the IEEE, 1990, 78(1): 56-93.
- [13] Crochiere R E, Rabiner L R. Interpolation and decimation of digital signals—a tutorial review [J]. Proceedings of the IEEE, 1981, 69(3): 300-331.
- [14] 甘军明, 许伟民, 赵红兵, 等. 一些风力发电装置的结构和主要技术参数[J]. 发电设备, 2010(3): 228-231.
Gan Junming, Xu Weimin, Zhao Hongbing, et al. Structure and main technical parameters of wind power generation facilities [J]. Power Equipment, 2010(3): 228-231. (in Chinese)



第一作者简介:杨彦利,男,1979年4月生,博士后、讲师。主要研究方向为设备状态监测与信号处理。曾发表《Nonuniform extrema resampling and empirical mode decomposition》(《Chinese Journal of Electronics》2009, Vol. 18, No. 4)等论文。

E-mail:yy1070805@163.com