基于 DSP 的车轮踏面擦伤检测系统

马 莉，任 健，王泽勇，高晓蓉，杨 凯，王 黎
（西南交通大学 物理科学与技术学院 四川 成都 610031）

摘 要：为了加强高速度电气化铁路机车的安全性，使用 TI 公司 TMS320F2812 芯片设计多通道数据采集传输系统，该系统利用加速度传感器采集列车行进中踏面与轨道产生的振动信号，并利用芯片内的串行通信接口与 PC 机实现通信，完成振动信号的采集传输，采用小波分析处理信号，由于小波分析的多分辨率特性，对非平稳信号的处理比傅里叶变换更有优势。此外，还利用数据的统计特性确定了判断车轮踏面擦伤点的阈值，经过实践验证表明，该系统可以准确检测出踏面有擦伤的车轮。

关键词：踏面擦伤；TMS320F2812；数据采集；小波分析
中图分类号：TP23 **文献标识码**：A **文章编号**：1004－373X(2009)17－149－03

Wheel Tread Scratch Detection System Based on DSP

MA Li, REN Jian, WANG Zeyong, GAO Xiaorong, YANG Kai, WANG Li
(College of Physical Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031, China)

Abstract: In order to reinforce the safety of high－speed electrical train, multi－channel data acquisition and transmission system is designed based on TMS320F2812. Acceleration sensors are used to collect the vibration signal generated by the impact between tread and rail, and the on－chip serial communication interface is used to communicate with PC to fulfill vibration signal transmission. Applying wavelet transform to analyze the signal. It has more advantages than Fourier transform in processing non－stationary signal for the characteristics of multi－resolution. Furthermore, the threshold is acquired via analyzing the statistical characteristic of sampled vibration signal, and practical experiment shows the system can successfully detect the fault wheel.

Keywords: scratch on the wheel tread; TMS320F2812; data acquisition; wavelet analysis

0 引 言

随着电气化铁路在我国的普及，列车已经进入高速度化时代，车轮踏面的擦伤将严重影响车辆与轨道设施的安全和使用寿命。实现自动化检测车轮踏面状况迫在眉睫。随着电子技术的发展，数字信号处理(Digital Signal Processor，DSP)技术取得了巨大的进步，在当今信号处理领域中已占据了主导地位。擦伤振动检测系统采用振动加速度法进行擦伤检测，利用压电式振动加速度传感器将加速度信号转换成电荷量，再通过电荷放大器将电荷量转换成电压信号值传递给 DSP 进行处理，使用小波分析对采集数据进行处理，最终显示轮位踏面擦伤状况。

1 系统布局与工作原理

振动加速度擦伤检测系统通过检测车轮和铁轨动态接触时发生碰撞产生的振动加速度来判断车轮踏面的状态。图 1 为振动加速度法的传感器布局图。其中，L_1，L_2，L_3，L_4，L_5 及 R_1，R_2，R_3，R_4，R_5 为压电式振动加速度传感器，S_1，S_2 为光电开关。由于压电式振动加速度传感器的输出为电荷信号，可选择使用电荷放大器输出与电荷量成比例的电压信号，在后续的采集电路对此电压信号进行采集与转换时，假设列车从左向右行驶，当车轮行驶到 S_1 处时，光电开关被挡断，产生开启采集数据信号，DSP 采集系统对 10 个传感器输出信号进行采集和存储；当车轮行驶至 S_2 处时，光电开关被挡断，产生停止采集信号，采集系统停止数据采集，保存数据进行数据处理，显示处理结果。

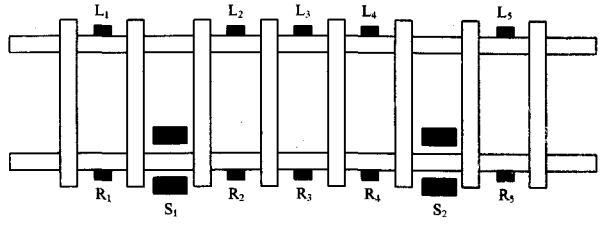


图 1 振动加速度检测装置

2 系统硬件设计

利用压电式振动加速度传感器对加速度信号进行检

收稿日期：2009－01－06

测。采用 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320F2812 作为系统核心,使用片内自带的 12 位 16 通道 A/D 转换器对传感器信号进行采集,因此不再需要另加其他 A/D 转换芯片,只需对相关引脚进行配置并引出通道引脚即可。扩展 RAM 存储器用于存储采集数据,同时扩展 FLASH 存储器用于程序代码的存储;S_1,S_2 光电开关信号作为外部中断送入 DSP;与外部主机的通信采用了 DSP 片内 SCI 接口实现。系统整体结构如图 2 所示。

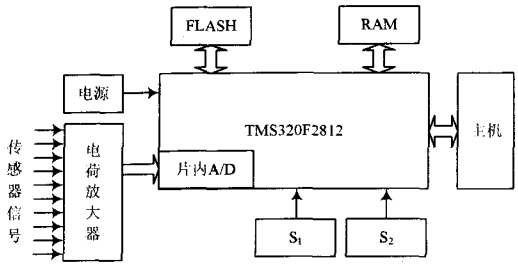


图 2　系统结构框图

2.1　元件性能介绍

压电式加速度传感器采用型号为 YD-12,其主要技术参数如下:

电荷灵敏度为 1～10.99 pC/ms^2;测量加速度范围小于等于 2 000 m/s^2;电缆电容为 135 pF;绝缘电阻为 104 MΩ;截止频率和安装频率大于 20 kHz。

TMS320F2812 是美国 TI 公司推出的 TMS320C28x 系列 DSP 芯片中的一种,该系列芯片是目前国际市场上功能强大的 32 位定点 DSP 芯片。它既具有数字信号处理能力,又具有强大的事件管理能力和嵌入式控制功能,特别适用于有大批量数据处理的测控场合,如工业自动化控制、电力电子技术应用、智能化仪器仪表及电机、马达伺服控制系统等[1]。

2.2　DSP 信号处理流程

软件开发采用 TI 的 DSP 集成开发环境 CCS 2.0,开发语言采用了 C 和汇编的混合方式。主程序可分为 4 个模块,分别为主程序监控模块、SCI 通信模块、A/D 数据采集模块和中断服务程序模块,软件流程图如图 3 所示。软件应完成对多通道模拟信号的采集转换,并在收到正确的主机数据传输指令后将其所采集到的数据按一定的格式传送给主机处理。

本设计中 DSP 的 12 位的模数转换器,软件配置为并发采样双序列模式为例进行 A/D 转换,采用中断读取采集数据。系统初始化完成后即可等待采集中断,采集中断中开启序列 1 的自动化序列转换,序列 1 完成转换后触发中断,在序列 1 的 A/D 中断处理程序中再开启序列 2 的自动化序列转换,等待序列 2 的 A/D 中断到达时,再在中断处理程序中完成采集数据从结果寄存器到储存器的数据转移。

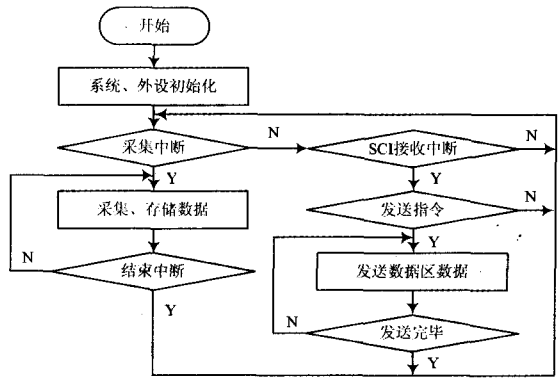


图 3　主程序流程图

3　数据处理

由于小波分析的多分辨率特性[2],对采集到的振动数据分析时主要使用小波分析法,数据处理流程如图 4。小波分析方法在对非平稳信号的处理中比傅里叶变换更有优势。与傅里叶变换不同的是,小波变换通过平移母小波获得信号的时间信息,而通过缩放小波的宽度获得信号的频率特性,小波变换在信号低频处有较好的频率分辨力,在高频处有较好的时间分辨力,正是因为小波变换中的时频窗的可变性使得在检测擦伤信号时有更高的准确率。

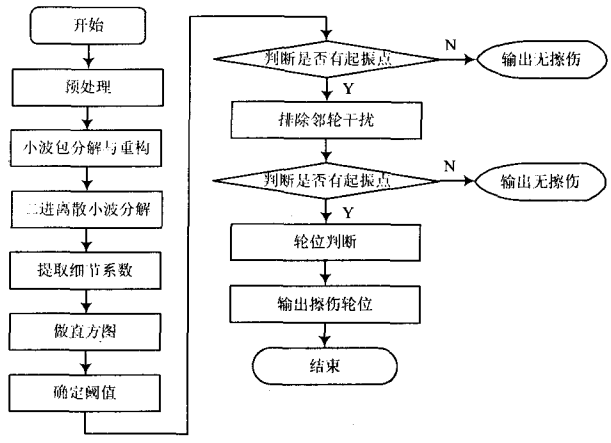


图 4　列车踏面擦伤程序处理流程图

设 $\psi(t) \in L^2(R)$,其傅里叶变换为 $\psi(\omega)$,当 $\psi(\omega)$ 满足允许条件 $C_\psi = \int_R \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < +\infty$ 时,称 $\psi(t)$ 为一个基本小波或母小波,将母小波伸缩平移后得到分析小波或称小波序列:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a,b \in R, a \neq 0 \quad (1)$$

对于任意的函数 $f(t) \in L^2(R)$ 的连续小波变换为:

$$W_f(a,b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_R f(t)\, \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt \quad (2)$$

其重构公式(逆变换)为：

$$f(t)=\frac{1}{C_{\psi}}\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{1}{a^{2}}W_{f}(a,b)\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)\mathrm{d}a\mathrm{d}b \quad (3)$$

由于采样得到的振动数据与真实的振动信号之间存在零点漂移，因此首先要对数据进行预处理，以消除漂移现象[3]。采集到的振动信号为多频信号，包含车轮踏面擦伤振动波、钢轨共振波、钢轨弹性弯曲变形振动波，以及因踏面本身粗糙不同、车轮材质不同引起的振动波等。经过大量的研究人员检测发现，擦伤信号处于振动信号的低频部分，一般在 2 500 Hz 以下，因此处理过程中采用小波包分解-重构法对信号进行滤波，有效地保证了信号的完整性。

车轮踏面擦伤必然引起采样信号幅值的突变，对采样数据使用离散二进小波快速算法，计算所得的小波系数中，突变点对应了二进小波变换后细节系数模的极大值，而这些极值点也对应了擦伤振动发生的时刻。

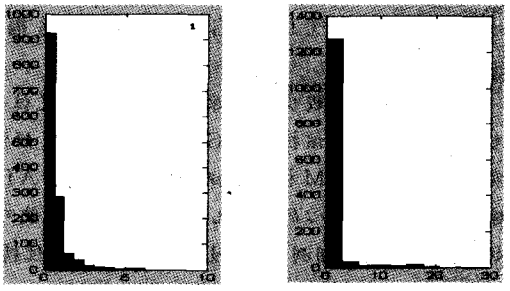
在过去的数据处理中，往往是根据大量的现场实际检测确定一个普遍适用的阈值，即在一个检测现场中使用同一个阈值。首先找出大于阈值的奇异点，然后再做下一步判断。考虑到检测现场过往车辆因车速、车量、检测环境有所不同，因此传感器的测量结果也会不同，同一个阈值可能适用于一种环境的检测，但不能适用于另一种环境的检测，如果还使用同一个阈值必然会导致检测结果的不可靠。观察数据发现，无论是哪种环境，如果车轮踏面存在擦伤，擦伤产生的幅值较大，这种较大的幅值在整个测量信号中占的比例较小，所以可以通过计算细节系数的直方图，以出现概率较小的点所对应的采样点的幅值为阈值处理数据，这样就实现了不同的采样数据根据自身数据的特点得到不一样的判断阈值，从而加大了判断的准确度。

图 5 中给出两组不同采样信号的直方图(信号均来自成都车辆段现场采集)，在 Matlab 中经过程序计算得到阈值，图 5(a)中信号的阈值为 1.56，图 5(b)信号的阈值为4.43。可见，信号本身特性的不同，所得到的阈值也不一样。

4 实际检测结果

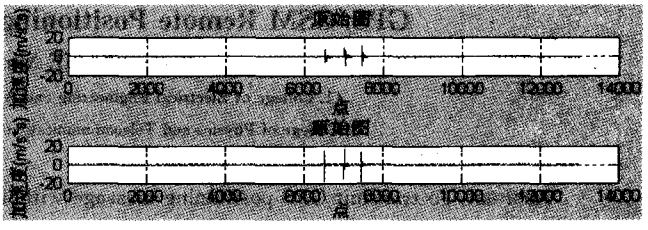
该检测系统在成都车辆段安装进行正确性试验，由检测到的实际过车数据，以及数据处理完成后的显示结果与实际列车状态的对比表明，基于 DSP 的列车踏面擦伤检测系统可以有效地检测出车轮踏面状态。

在验证系统的性能时，首先是使用榔头在轨道上敲击产生振动，检验算法处理是否能够准确地分辨出敲击点，然后进行的实际过车数据采集，并将检测结果与列车的实际状况进行比对。图 6(a)是在敲击轨面三次采集到的原始数据，原始数据中有明显的三个峰值。图 6(b)是检测的结果。可见，该算法准确地捕获了三次敲击。图 7(a)为采集的实际过车数据，图 7(b)是相应的检测结果。从结果中看到，产生该振动的车轮踏面存在一处擦伤。

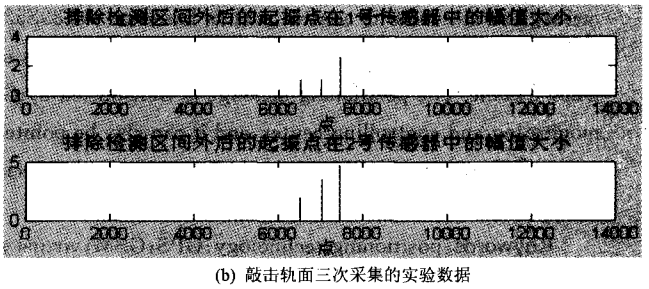


(a) 某一组信号的直方图　　(b) 另一组信号的直方图

图 5　直方图

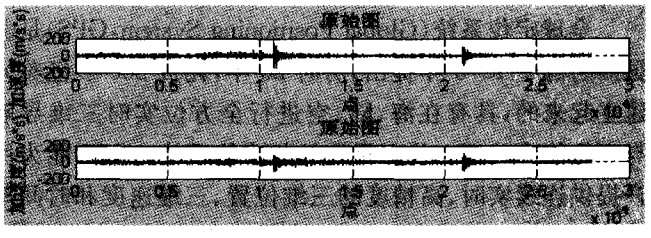


(a) 敲击轨面三次采集的原始数据

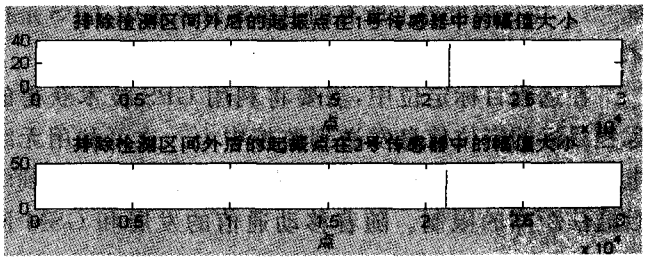


(b) 敲击轨面三次采集的实验数据

图 6　敲击试验检测结果



(a) 采集的实际过车数据



(b) 检测的结果

图 7　实际过车数据和检测结果

(下转第 155 页)

由实验结果可以看出，定位位置结果基本一致，但经纬度、速度存在很小的零漂移，这是正常的，零漂移的大小取决于GPS模块的性能。经过长期实验证实，系统稳定、可靠，定位误差较小，基本上可满足一般的应用要求。若要应用于对定位精度要求较高的场合，可以考虑采用定位精度更高的GPS模块等措施。

4 结 语

实验结果表明，系统运行稳定、可靠，可以实现无距离限制的远程定位。由于采用了虚拟串口技术，所以以较少的资源实现了GPS/GSM远程定位技术，该定位技术可以应用于进行远程定位的多种领域。但是，由于作为定位数据传输网络的GSM网络的固有问题，对系统的实时性有一定的影响。比如，有时会出现收发短消息延时的问题，特别是在网络拥挤的时候，有时还存在较小区域的通信盲区，可以考虑与运营商建立一条专用短消息传输通道来保证远程定位信息的可靠传输。相信随着定位技术、通信技术以及GIS技术的不断发展，本文所讨论的远程定位技术将会得到广泛的应用。

参 考 文 献

[1] 毕军，关伟，申金升. GPS/GSM手持式定位仪的设计与实现[J]. 电子测量与仪器学报，2005，19(3)：38－41.

[2] 张守信. GPS技术与应用[M]. 北京：国防工业出版社，2004.

[3] 俞侃，卢俊波. GSM短消息技术在车辆监控方面的应用[J]. 现代电子技术，2004，27(16)：21－22，25.

[4] Liu Qiang，Lu Huapu，Zhang Hongliang. Research and Design of Intelligent Vehicle Monitoring System Based on GPS/GSM[A]. ITS Telecommunications Proceedings，2006 6th International Conference on[C]. 2006(7)：1 267－1 270.

[5] Lin C E，Chih－Ching Li，An－Sang Hou. A Real Time Remote Control Architecture Using Mobile Communication [A]. Instrumentation and Measurement Technology Conference，2002. IMTC/2002. Proceedings of the 19th IEEE[C]. 2002(2)：901－906.

[6] Navman NZ Ltd. LA000516A Jupiter 21 Datasheet[Z]. http://www.navman.com/oem，2005.

[7] 陈银溢，郭圣权. GPS与GSM组合定位和发送[J]. 华北工学院学报，2004，25(5)：378－381.

[8] 梅烨，杜清珍. TC35i在远程压力监控系统中的应用[J]. 自动化仪表，2006，27(12)：59－62.

[9] 王富东，邵光庆. 单片机多串口通讯技术及其应用[J]. 仪器仪表学报，2002，23(3)：262－264.

[10] 吴名陵，汪小澄. 单片机多路模拟串口的实现及其性能分析[J]. 自动化仪表，2008，29(10)：67－69.

作者简介 杨 艇 男，1987年出生，福建平潭人，硕士研究生。研究方向为模式识别。
何明华 男，1971年出生，福建福清人，教授。研究方向为嵌入式系统与系统级芯片设计。
苏凌杰 男，1985年出生，福建罗源人，硕士研究生。研究方向为智能化信息处理与控制。

（上接第151页）

5 结 语

基于DSP的设计方案所形成的踏面擦伤检测系统充分利用数字信号处理的优点，具有检测速度快，存储数据容量大等特点，采用了适合分析非平稳信号的小波变换的方法检测擦伤点，并且在处理过程中充分利用了数据本身的统计特性，通过计算直方图达到自适应阈值的目的，而且系统最终可以由擦伤点判别擦伤轮位，方便了工作人员的检修工作。

参 考 文 献

[1] [美] Texas Instruments Incorporated. TMS320C28x系列DSP的CPU与外设(上、下)[M]. 张卫宁，译. 北京：清华大学出版社，2004.

[2] 唐晓初. 小波分析及其应用[M]. 重庆：重庆大学出版社，2006.

[3] 王济，胡晓. Matlab在振动信号处理中的应用[M]. 中国水利水电出版社，2006.

[4] 苏涛，蔡建隆，何学辉. DSP接口电路设计与编程[M]. 西安：西安电子科技大学出版社，2003.

[5] 季小林，高晓蓉. 基于TMS320F2812的数据采集系统[J]. 微计算机信息，2007，23(2)：169－171.

[6] 任晓鹏，李征，张红瑞，等. 运用小波变换捕捉信号的奇异点[J]. 计算机工程与设计，2007(11)：2 762－2 764.

[7] 倪然，马庆春，迟宝权，等. 车轮踏面擦伤检测技术及数据分析方法[J]. 自动化技术与应用，2006(5)：59－61.

[8] 唐向宏，岳恒立，郑雪峰. Matlab及在电子信息类课程中的应用[M]. 北京：电子工业出版社，2006.

[9] 张渝，王黎，高晓蓉，等. 国内外车轮踏面损伤检测技术综述[J]. 机车车辆工艺，2002(1)：1－8.

[10] 张明，丁常富，韩中合. 小波分析在振动信号处理领域中的应用[J]. 电力情报，2001(3)：5－7.

作者简介 马 莉 女，1986年出生，青海西宁人，硕士研究生。主要从事光电检测及数据处理方面的研究。