

基于 ARM 和 DSP 的齿轮噪声测试系统*

杨森元¹, 卢继敏², 陈洪芳^{1*}

(1. 北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100124;

2. 贵阳新天光电科技有限公司, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 为了解决齿轮噪声传统测量方法受人为因素影响较大的弊端, 开发了一套基于 ARM 和 DSP 芯片的便携式齿轮噪声测试系统, 利用 DSP 强大的运算能力完成了噪声信号的采集与数据的预处理; 基于 ARM 下的嵌入式系统操作平台 WinCE6.0 开发了一套齿轮噪声信号分析及图形显示软件, 结合触摸屏系统完成了测试参数的输入和通信设置, 并在北京齿轮总厂进行了相关的实验。研究表明, 该系统可以分析齿轮毛刺等齿轮噪声信号, 可用于齿轮加工工艺的分析。

关键词: 齿轮噪声; DSP; WinCE

中图分类号: TH825; TH132.41; TP274.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)03-0257-04

Gear mesh noise measurement system based on ARM and DSP

YANG Sen-yuan¹, LU Ji-min², CHEN Hong-fang¹

(1. College of Mechanical Engineering & Applied Electronics Technology, Beijing University of Technology,

Beijing 100124, China; 2. Guiyang Xintian Optech Co., Ltd., Guiyang 550001, China)

Abstract: In order to solve the problems that the traditional gear noise measurement is influenced by human factors, the gear mesh noise measurement and analysis system based on ARM and DSP was designed. The DSP was used to complete the noise signal acquisition and data preprocessing. A set of signal analysis and graphical display software was developed based on WinCE 6.0. Combined with touch screen system, the test parameters input and communication settings were completed. By experimental verification in Beijing Gear Works site, it shows that the system can analyze the gear glitches and other noise signal frequency, and could be used for the analysis of processing gear.

Key words: gear noise; digital signal processing(DSP); WinCE

0 引 言

由于齿轮的传动噪声和振动信号中含有丰富的啮合状态信息, 通过分析齿轮的传动噪声来判定齿轮是否合格已成为齿轮检测中一种非常重要的手段^[1-3]。国内生产的齿轮滚动检查机没有相配套的噪声信号分析仪器, 国外相应的产品价格又比较昂贵; 所以, 国内齿轮生产厂家仍依赖工人凭借经验去“听”齿轮的传动噪声, 并以此判定齿轮是否合格, 这种方法受人为因素的影响较大。

国外埃及阿勒旺大学 Sameh M. Metwalley 等人利

用传声器完成对齿轮箱噪声信号的测量; 他们设计的系统可以完成 6 路信号的噪声测量^[4], 但是该系统仍然需要上位机对齿轮传动噪声信号进行分析, 没有实现便携式的目的。国内一般使用振动信号代替噪声信号进行测量, 计算声压级来分析齿轮箱体的制造误差^[5]。在齿轮的传动噪声检测方面, 目前重庆大学的李君等通过提取齿轮的振动和噪声信号, 开发了一套基于工业控制计算机, 具有虚拟仪器面板的锥齿轮传动质量分析软件^[6]。

基于 ARM 与 DSP 的便携式齿轮噪声测试系统, 本系统实现齿轮传动噪声信号的采集、分析及分析结

收稿日期: 2011-10-27

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2011BAF09B07)

作者简介: 杨森元(1986-), 男, 山东潍坊人, 主要从事齿轮噪声测量方面的研究。E-mail: yangsenyuan@emails.bjut.edu.cn

通信联系人: 陈洪芳, 女, 副教授, 硕士生导师。E-mail: hfchen@bjut.edu.cn

果显示。该噪声测量仪可与齿轮滚动检查机配合使用,分析齿轮的加工工艺。

1 系统工作原理

该系统将人工交互界面、数据存储功能,以及图形显示界面集中在 ARM 模块中,并基于 ARM 下的 WinCE6.0 嵌入式系统操作平台进行开发。DSP 模块主要完成噪声信号的采集、分析及预处理功能;并将 DSP 处理后的数据由 SCI 接口传给 ARM,以进行进一步的分析及图形显示。

系统工作原理如图 1 所示。

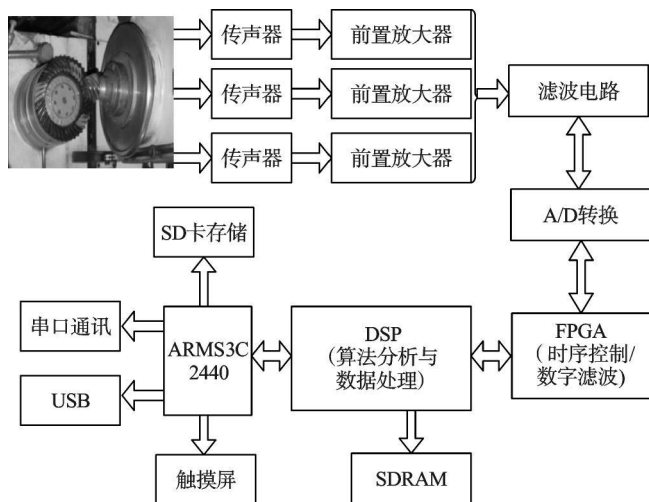


图 1 系统的工作原理

ARM 微处理器具有成本低、功耗低、速度快、性能佳的优势。在 ARM9S3C2440^[7]上移植 WinCE 系统,开发相关的应用程序,可以方便地进行各种参数的输入,并能够反映噪声信号的实时曲线及进行 FFT 分析之后的频谱曲线^[8-9]。笔者能过以 DSP 为核心的下层板完成噪声信号的采集与预处理,将两者结合可以大大提高本系统的数据处理速度。整个系统基于 CCS3.3 和 Visual Studio 2005 进行编程,并采用 220 V 电源供电,能够满足现场测试的要求。

2 系统硬件设计和软件设计

2.1 硬件设计

系统硬件由:信号采集电路、低通滤波电路、放大电路、A/D 转化电路、FPGA 时序控制电路、DSP 微处理器、外扩 SDRAM 存储、ARM 模块等部分构成。

在滚动检查机配对检测时,齿轮副的啮合频率在 5 kHz 以下^[10-11]。该系统选用电容式传声器,其灵敏度为 50 mV/Pa,频率采集范围 10 Hz~20 kHz,可以完成齿轮传动噪声信号的采集。为了滤除 5 kHz 以上的无关噪声信号,该系统设计了 8 阶切比雪夫低通滤波器,

滤除背景噪声。与其他类型滤波器相比,其主要优势在于滚降陡峭,在截止频率处接近于理想的低通滤波器。

根据采样定理,对于频率为 5 kHz 的齿轮噪声信号,采样频率不能小于 10 kHz。本研究假设产生齿轮传动噪声的噪声源有 N 个,若需要全部获得 N 个信号的谐波,采样频率应当设置为 $(10 \times N)$ kHz^[12]。为此,该系统采用 ADI 公司的 16 位 A/D 转换芯片 AD7656,它能够实现 6 通道的同步采样,且其最大转换速率为 250 kSps,最大采样速率时的功耗仅为 160 mW^[13]。

该系统采用 AD7656 的 3 个通道实现信号的同步采样,采集的信号经 FPGA 传给 DSP 进行预处理。A/D 芯片的时序控制通过 FPGA 来完成。FPGA 的使用不仅可以方便地完成时序控制,同时可以在 AD7656 与 DSP 之间起到缓冲电压的作用,也可以为其后续功能的开发提供了大量的外部接口。

DSP 芯片采用的是 TI 公司的 TMS320F2812 芯片,它是一款主频高达 150 MHz,具有丰富 I/O 口的高性能处理器。该芯片有内部 FLASH,便于程序存储,以实现仪器便携式的目的。

ARM 模块基于 WindowsCE6.0 微操作系统,便于用户作二次开发。处理器为 ARM9 S3C2440,它的主频为 400 MHz,可用内存为 61 MB,且带有 64 MB 的 Nand-flash,可以满足程序运行及大量数据存储的要求。ARM 模块设置 SD 接口,可以存储的数据高达 8 GB,存放 1 250 MB 点的数据。ARM 模块与 DSP 板子之间通过串口进行数据通信,其最大波特率为 115 200 bps,每秒最多可以传输 7 200 个采样点的数据。因为采样与数据传输是异步的,它可以满足本系统的要求。

2.2 系统软件设计

系统的软件设计是完善整个系统,并最终实现设计目标过程中非常重要的一环。其中,DSP 程序实现 A/D 同步采样控制、FFT 变换、与 ARM 串口通信等功能;ARM 程序由:串口的发送与接收程序、FFT 与 ZFFT 变换程序、图形曲线显示程序、SD 卡存储程序等部分组成。

2.2.1 DSP 模块程序设计

DSP 程序是在 DSP 集成开发环境 CCStudio v 3.3 下,基于 C 语言和汇编语言混合编程来完成。它主要实现齿轮噪声信号的数据采集和计算功能,并响应 ARM9 的控制命令。

DSP 程序的流程图如图 2 所示。

2.2.2 ARM 模块软件设计

ARM 模块的软件是基于 WinCE 平台,在 Microsoft Visual Studio 2005 的智能设备环境下开发的一套软

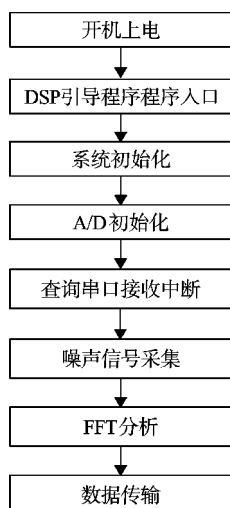


图2 DSP 程序流程图

件。该软件包含参数输入、ARM 与 DSP 之间的命令及数据的传输、算法分析、二维曲线和结果显示等功能。

ARM 模块软件结构如图3所示。

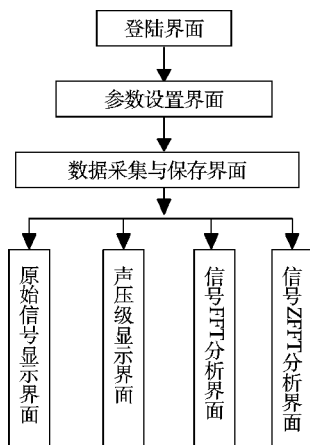


图3 ARM 模块软件结构

该系统的研制目标是实际生产应用,真正实现产学研相结合,为齿轮生产企业服务,为此该软件开发了具有密码验证的登陆界面,增强人机交互性,从而降低企业非专业工人的误操作。

参数设置界面包括:齿轮参数设置和通信参数设置,可以设置主从动轮的齿数、转速等参数,并计算啮合频率。数据采集与保存界面中,控制 DSP 完成3个通道数据采集,并将3个通道数据分别保存,以方便后期检查,为齿轮噪声信号的溯源提供依据;历史数据可以被再次调用,并进行分析。同时该界面作为整个程序的主窗口,可以分别通向原始信号显示界面、声压级显示界面、信号的 FFT 分析界面、细化谱分析界面等子窗口。子窗口分别实现三通道数据原始信号及分析后信号的图形显示和结果显示等。图形显示界面同时可以实现二维曲线的放大功能,可保证用户在该系统的使用时更加方便、快捷。

3 实验

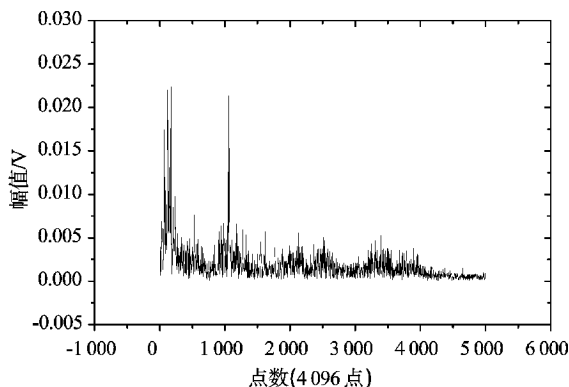
该实验在北京齿轮总厂桥齿厂的齿轮检测车间内进行。实验时,车间内墙壁上均安装有具有吸音效果的石棉板,起到降低车间内外杂音对实验效果的影响。被测对象是一批主动轮齿数为11、从动轮齿数为44的螺旋锥齿轮。实验中,滚动检查机主动轮的转速为700 r/min~1 200 r/min,其啮合频率范围在105 Hz~220 Hz之间。

3.1 实例一

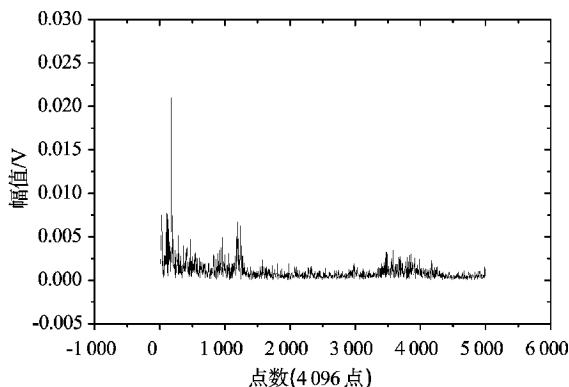
本研究对存在毛刺的齿轮,在剔除毛刺前后的传动噪声信号进行了采集。实验中,该检测系统设置的噪声信号采样频率为10 kHz,采样点数为4 096个点。

本研究采集到经过FFT变换后的噪声信号曲线如图4所示。从图4中可以看出,FFT后的齿轮噪声信号出现峰值的点为第54点,其对应的频率为齿轮副的啮合频率132 Hz。

本研究对修齿前后的噪声信号作FFT变换后发现,修齿前,在原始信号啮合频率的四倍频(1 059 Hz)处出现多个谐波(如图4(a)所示),且谐波的幅值较大,判断齿轮有隐患。经过修齿剔除毛刺后,采集的齿轮噪声信号作FFT变换(如图4(b)所示),在四倍频处的谐波有了明显的改善。



(a) 修齿前 FFT 分析后的信号

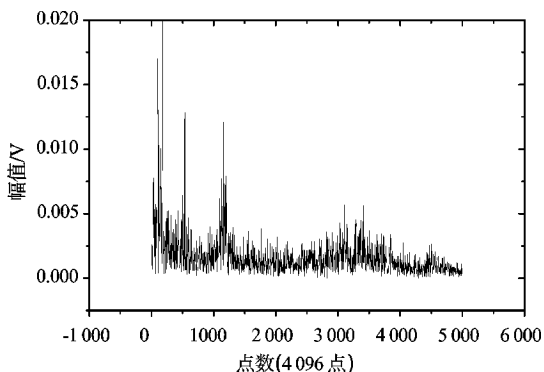


(b) 修齿后 FFT 分析后的信号

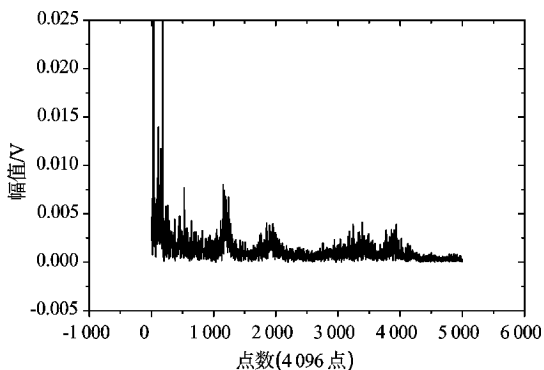
图4 存在毛刺齿轮在声信号FFT变换曲线

3.2 实例二

主动、从动两个齿轮同时出现铣齿痕的齿轮副消除铣齿痕前后的传动噪声信号 FFT 分析曲线图如图 5 所示。



(a) 修齿前 FFT 分析后的信号



(b) 修齿后 FFT 分析后的信号

图 5 两个都有铣齿痕的齿轮噪声信号分析

FFT 变换后的齿轮噪声信号出现极值频率的点是第 70 点, 该点所对应的频率即齿轮的啮合频率是 180.66 Hz。在 223 点及 476 点分别出现了多个谐波, 且谐波的幅值较大, 怀疑该配对齿轮副的主动轮和从动轮都存在问题。经检测, 在两个齿轮上都有铣齿痕迹。

修齿的过程是: 工人在现场用砂轮对齿轮进行打磨, 尽可能减少明显的铣齿痕, 但是不能消除。因此可以看到, 在磨齿厚在啮合频率的 3 倍频和 7 倍频处, 虽然频率的幅值有了明显的改善, 却依然存在较大的幅值。

经过大量实验后发现, 存在质量问题的齿轮副, 它们的齿轮噪声经过频谱分析后, 可以看到在特征频率的 2、3、4、5 倍频处会出现多次谐波, 这些谐波间的差往往是主动轴或从动轴转频。合格的齿轮在其几倍频处没有幅值较大的谐波。经过实验验证, 说明该齿轮噪声测试系统能够检测出齿轮生产过程中不合格的产品。

4 结束语

笔者基于 ARM 和 DSP 设计了一套便携式齿轮传动噪声测试系统, 能够到生产车间采集齿轮传动的噪

声信号, 并进行信号处理。该系统在使用过程中不用借助于上位机, 因而达到了检测仪器便携式的设计要求; 同时它具有体积小、重量轻、采集速率快、数据存储量大、数据分析准确可信等优点。

在实际生产中, 该系统配合齿轮滚动检查机使用, 可以较好地提高企业生产效率与准确度, 具有较高的实用价值。

参考文献(References):

- [1] 刘甜, 吴小平, 陈洪芳, 等. 基于 DSP 和 FPGA 的锥齿轮传动噪声测试分析系统设计[J]. 机械传动, 2010, 34(5): 65-67.
- [2] SMITH J D. Gear Noise and Vibration[M]. 2nd ed. England: Cambridge University, 2003.
- [3] 庄葆华, 李真. 齿轮近代测量技术与仪器[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.
- [4] METWALLEY S M, HAMMAD N, SHAWKI A. Vehicle gearbox fault diagnosis using noise measurements[J]. *Journal of Mechanical Engineering Research*, 2010, 21(6): 116-125.
- [5] CHENG Guang-min, XU Yu-dong, ZENG Ping. Experimental Study on the Gearbox Noise of Car based on Order Analyzing Method[C]//2010 International Conference on Measuring Technology Mechatronics Automation Engineering, ICMTMA, 2010: 196-199.
- [6] 郭晓东, 黎勇, 张明德, 等. 汽车变速器模态分析及振动噪声测试实验研究[J]. 现代制造工程, 2004(4): 86-87.
- [7] Samsung Electronic Co., Ltd.. S3C2440A 32-BIT CMOS Microcontroller User's Manual[M]. Samsung Electronic Co., Ltd., 2004.
- [8] ZHAN Yi-min, MAKIS V, JARDINE A K S. Adaptive state detection of gearboxes under varying load conditions based on parametric modeling[J]. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2006(20): 200-205.
- [9] MILLER A J. A New Wavelet Basis for the Decomposition of Gear Motion Error Signals and Its Application to Gearbox Diagnostics[D]. PA: The Pennsylvania State University, 1999.
- [10] 周满平, 陈洪芳, 林家春, 等. 齿轮传动噪声测量系统的研究[J]. 机电工程, 2011, 28(5): 516-519.
- [11] 魏协奔, 郑文. 齿轮箱噪声测量及分析装置的设计[J]. 机电工程技术, 2011, 40(4): 59-62.
- [12] DAVOLI P, GORLA C, ROSA F, et al. Transmission Error and Noise Emission of Spur Gears[C]//10th International Power Transmission and Gearing Conference, 2007: 443-449.
- [13] 张自伟, 陈健, 吴小丹, 等. 基于 DSP 及 AD7656 的电能质量在线监测终端的设计[J]. 江苏电机工程, 2008, 27(2): 35-38.

[编辑: 张翔]