

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.06.027

轮对多通道图像采集触发技术研究*

周威祥, 吴开华*, 蔡 鑫, 诸晓锋

(杭州电子科技大学 生命信息与仪器工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 车辆轮对磨损参数的检测,对保证车辆安全运行具有重要作用。针对动态检测图像采集过程中,运动车辆轮对的定位与图像采集问题,研制了适用于轮对在线检测环境的多通道图像采集触发系统。通过对所选择的车辆检测传感器性能研究,对检出信号进行了优化处理,减小了传感器检测环节引入的误差;通过采用多传感器组实现了对不同运行速度轮对进行速度检测并设计了触发控制核心电路板来实现对多路信号的集中处理;控制软件根据检测结果调整相机拍摄时间,捕捉到达设计位置的轮对图像;利用单片机自有定时中断模块设计了较高精度的软、硬件计时功能。实验及研究结果表明,该多通道图像采集触发系统运行稳定,重复性实验中的触发延时误差小于0.001 s,图像采集的效果与精度达到设计要求。

关键词: 轮对检测; 图像采集; 多通道; 触发系统

中图分类号: TH39;U297.3; TP273 文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)06-0800-05

Research for multi-channel wheelset image acquisition trigger system

ZHOU Wei-xiang, WU Kai-hua, CAI Xin, ZHU Xiao-feng

(College of Life Information Science and Instrument Engineering, Hangzhou Dianzi University,
Hangzhou 310018, China)

Abstract: The detection of vehicle wheel set wear parameters act an important role in ensuring the safe operation of the vehicle. Aiming at the problem of precise positioning of the vehicle wheel sets in the image acquisition process of dynamic detection, a set of multi-channel image acquisition trigger system was designed. Through performance research of the vehicle detecting sensor, detecting signals were optimized and the error introduced by the sensor was reduced; by using multi sensor groups, the detection of different operating speeds of the wheel set was achieved. A trigger controlling circuit board was designed to deal with multi-channel signals; to capture the wheel set image on the position, the shooting time of cameras was adjusted by the control software basing on detecting results, high precision timing function was designed by using the timer module in the microcontroller. Experiments and research results indicate that the multi-channel image acquisition trigger system is stable and the repeatable delay time error is less than 0.001 s. The effect and precision of image acquisition can meet the design requirements.

Key words: wheelset detection; image acquisition; multi channel; trigger system

0 引 言

随着我国轨道交通的快速发展,高速和重载已经成为铁路运输业发展的主题^[1],车辆运行的安全问题也变得更加突出。在整个车辆运行系统中,车辆轮对

作为与钢轨直接接触的部件,是直接影响车辆安全行驶的重要因素^[2],必须及时、准确地加以检测和诊断,以保障行车安全。目前,国内车辆轮对参数检测还是以人工检测为主,大量测量数据需要人工记录,效率低,不便于信息化管理^[3]。轮对参数检测按照检测的实时性主要分静态检测和动态检测,其中动态检测法

收稿日期: 2013-10-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61372155)

作者简介: 周威祥(1988-),浙江温州人,主要从事测试计量技术及仪器方面的研究. E-mail:zwxcclark@gmail.com

通信联系人: 吴开华,男,博士,教授,硕士生导师. E-mail:wukaihua@hdu.edu.cn

是目前国内外车辆轮对参数检测的主要发展方向^[4]。

动态检测方法针对运行状态下的车辆轮对进行测量^[5],主要有:电磁超声检测^[6-7],振动加速检测^[8-10],图像检测^[11-15]等方法。其中图像检测方法具有非接触、检测速度快、自动化程度高等优点。

采用动态图像检测方法实现轮对在线检测,需要对被测物进行准确定位并采集目标图像,对于这种在线动态检测系统中的触发装置,未见相关文献描述。

本研究针对车辆轮对在线检测环境设计一种多通道图像采集触发系统。该系统可实现车辆轮对磨损在线检测中,对多个不同工位车辆轮对的准确定位和对应位置相机的触发控制。

1 多通道采集触发系统设计

本研究设计的多通道图像采集触发系统需要在指定的位置控制相机采集被测轮对的图像。当被测轮对经过时,被传感器检出,产生的信号送至单片机控制模块进行计算分析,确定延时时间,输出准确的相机外触发信号,从而确保被测轮对恰好达到设计位置时,相机完成一帧轮对图像的采集。

多通道采集触发系统的示意图如图1所示。该触发系统共有4组,在车辆运行方向的左、右侧各设两组,分别与控制处理单元连接。每组包括3个前后依次放置的接近传感器、一个CCD相机、一个激光源。其中控制处理单元由两路独立的信号处理电路和单片机系统构成,分别对应左、右两侧的信号处理,是整个触发系统的核心部分。触发系统各部分所实现的主要功能如下:

(1) 传感器。用于感应被测物,产生原始检出信号。

(2) CCD相机。负责图像的采集,并将采集到的图像输入到计算机。

(3) 激光源。将线结构激光投射到轮对表面。

(4) 控制处理单元。负责采集和处理传感器检测信号,控制相机外触发信号的生成、延时、输出。

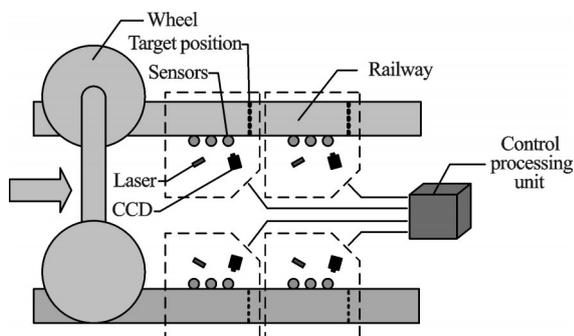


图1 图像采集触发系统示意图

2 关键问题与方法

要保证相机采集时刻与被测轮对的到达时刻的精确同步,采集到清晰的图像,根据前一节中对系统设计方案的描述,需要解决以下几个关键问题。

2.1 多通道设计与实现

要描述轮对状态则需对多个位置进行检测。如图1所示,该系统设计在4个不同的位置每次采集一组轮对图像,因此触发系统需要实现控制四路通道的功能。该系统设计了以单片机组为核心的控制电路,配合控制程序实现了信号采集、处理与控制功能。

由于同侧的CCD相机位置与设计拍摄位置均前后依次安放,车辆以一定方向依次通过,同侧CCD相机的触发时刻不同。基于单片机,通过内部的定时计数器进行计时,可以实现对图像采集时刻的控制。综合考虑该系统传感器数量较多,整体电路设计的简化,本研究采用了以两块单片机为核心的控制处理单元设计方案,两块单片机分别负责一侧各两路通道的信号检测与触发输出控制。

2.2 传感器检测特性处理

在线图像采集的准确与否的核心之一是对被测物的定位准确度。

该系统采用接近传感器来实现对目标的检测。接近传感器每次检测到被测物,都会即时输出一个脉冲,脉冲宽度取决于接近开关的检出持续时间。通过对脉冲的上升沿或者下降沿进行检测可得到该传感器的检出时间。但在实际应用中,由于接近传感器的检测探头具有一定的面积,在不同位置的检测性能不同。

一种典型电感式接近传感器的检出范围曲线如图2所示。在该传感器感应距离内,当被测物从其侧面接近,检出位置取决于被测物与传感器之间的距离。由此带来的问题是同一被测物以不同距离通过接近传感器或者接近传感器自身位置发生变化时,被测物的检出位置都会发生变化。如图2所示,同一被测物分别以1,2两种距离从侧面通过传感器,其检出位置与离开位置都不同。

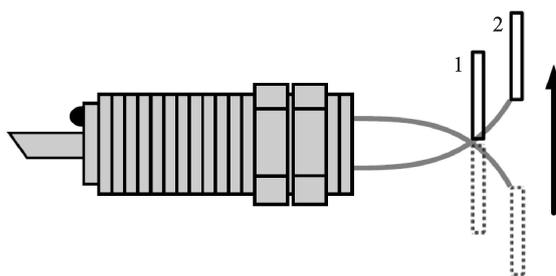


图2 接近传感器检测范围

Omron E2E-X5F1型接近传感器对运行速度 V 为 240 mm/s 的典型的检出信号如图3所示, 频宽 W 为 74.83 ms, 若如图2中1, 2两种位置, 只对脉冲上升沿进行检测的最大偏移为:

$$S = \frac{W}{2} \cdot V = 8.98 \text{ mm} \quad (1)$$

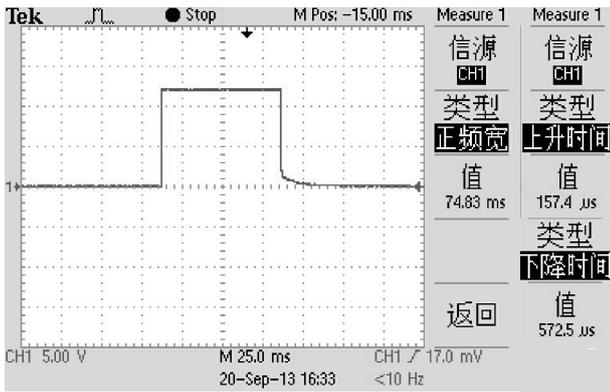


图3 检出信号

为了解决该类接近传感器的这种检测特性带来的误差问题, 可以通过以同一脉冲的两次电平变化的中间时刻为该接近传感器的检出时刻, 从而避免了由于被测物与传感器的距离变化造成的检测误差。

2.3 被测轮对定位方法

若被测轮对以匀速通过, 可使用两个传感器分别获得检出时间 T_1 、 T_2 , 传感器的安装间距为 D , 则其实际运行速度为:

$$v = \frac{D}{T_2 - T_1} \quad (2)$$

设相机与第2个接近传感器距离为 S , 可得延时时间 $t = S/v$, 则被测物到达相机拍摄位置的时间 $T_c = T_2 + t$ 。

但在实际运行时, 由于轮对难以保持匀速通过, 重复采集到的运动轮对图像会产生一定程度的偏移导致影响检测结果的准确性。为减小速度变化带来的误差, 该系统设计了3个依次排列的传感器来检测轮对的加速度:

$$a = \frac{2 \cdot (v_2 - v_1)}{T_3 - T_1} \quad (3)$$

式中: T_1 、 T_3 —1, 3号传感器的检出时间; v_1 、 v_2 —被测轮对在1, 2号传感器与2, 3号传感器之间的平均速度。

则被测轮对从3号传感器到达相机拍摄位置的延时时间为:

$$T = \frac{-v_3 + \sqrt{v_3^2 + 2as_3}}{a} \quad (4)$$

式中: v_3 —被测轮对通过3号传感器时的瞬时速度; s_3 —3号传感器与设定拍摄位置的间距。

2.4 系统计时方法

该系统中每个接近传感器的检出时间, 异步复位信号的延时时间等多处需要计时, 可通过软件或软、硬件结合实现。软件实现方法不适合用于实时性要求高的检测系统。该系统采用软、硬件结合的定时计数方式保证响应的实时性。通过中断优先级的设置, 使计时中断的优先级最高, 从而实现整个系统的不间断连续计时。

检出时间与触发延时时间的确定如图4所示。以图4中所示xs128单片机的定时计数模块为例。该模块由PITMTLD寄存器和PITLD寄存器构成24位计数器, 每经过一个总线周期 $1/f_{BUS}$, 计数器进行一次减1操作。PITTF为溢出标志位, 当PITMTLD和PITLD递减到0时, 该位置1, 触发中断。定时中断周期为:

$$time-out = \frac{(PITMTLD + 1) \cdot (PITLD + 1)}{f_{BUS}} \quad (5)$$

在对应中断服务程序中清除PITTF标志位, 使该模块循环执行, 通过记录定时中断的次数来实现计时。

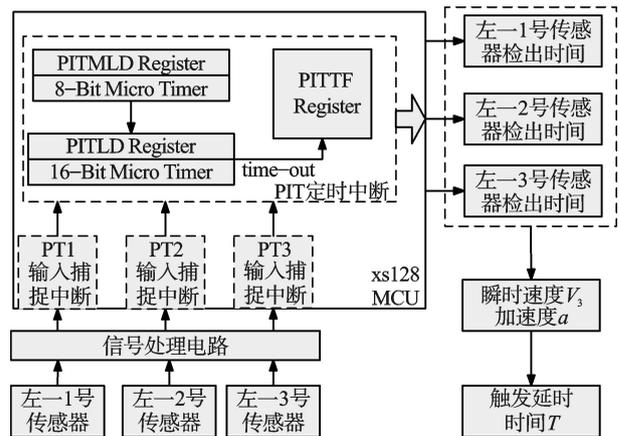


图4 检出时间与触发延时时间的确定

如图4所示左一组, 当接近传感器的检测信号的边沿变化依次被单片机具有相应边沿检测功能的I/O口捕捉时, 触发输入捕捉中断, 系统中中断服务程序中通过计时模块获得传感器检出时间, 根据该组3个传感器的检出时间和传感器间的距离可以计算出瞬时速度 v_3 和加速度 a , 根据公式(4)计算触发延时时间 T 。

2.5 异步复位触发

该系统所设计的异步复位模式下的图像采集时序如图5所示。当异步复位信号到达时, CCD 无论是否完成当前帧的扫描, 立即开始新一帧扫描。异步复位触发信号产生过程: 接近传感器组检测到被测对象时, 产生一组具有3个脉冲信号的 S_1 , S_1 经信号处理电路, 变换为TTL电平的信号 S_2 , S_2 输入到控制处理单元中的单片机, 经过计算得到延时时间 T 并输出触发脉冲 S_3 。异步复位触发信号 S_3 下降沿对应被测物到达设定

拍摄位置的触发采集时刻。 S_4 为触发同步曝光信号。 S_5 为曝光结束后的图像数据输出控制信号。

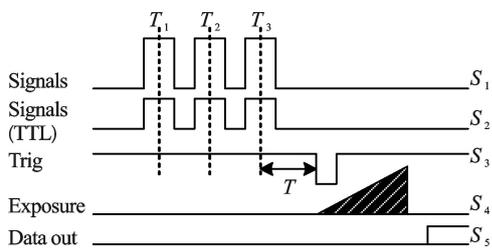


图5 触发模块图像采集时序

3 系统实现

该触发系统设计中选用了 Freescale 公司的 mc9s12xs128 单片机作为核心控制器件。该系列单片机采用 S12X V2 CPU 内核;拥有 4 路 24 位计数器,8 路外部事件触发中断输入端口,可以同时捕捉上升沿和下降沿两种脉冲边沿。

系统一组接近传感器检测信号处理原理图如图 6 所示。由于接近传感器检出信号并非单片机可以接收的 TTL 信号,需要对检出信号进行电平转换。另外,在车辆行驶现场,干扰较强,影响传感器信号的检测。为解决以上问题,本研究使用了 TLP-521 型光电耦合器,该器件体积小、寿命长、无触点、抗干扰能力强,实测对输入信号的响应时间约为 $2\ \mu\text{s}\sim 3\ \mu\text{s}$ 。可以在准确跟随接近传感器检出信号的前提下将其转化为 TTL 信号。

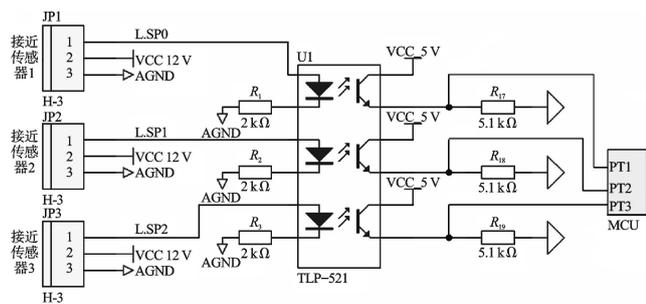


图6 接近传感器信号处理

该系统使用两片 Freescale mc9s12xs128 单片机的 PIT 定时中断模块分别实现左、右两侧的计时功能。通过对 PIT 定时计数器模块的 PITMTLD 寄存器和 PITLD 寄存器进行配置,使该模块在总线时钟为 16 MHz 下的定时中断周期为 0.001 ms。已知定时中断周期,即可通过 PIT 中断的次数实现计时。

一路的相机触发时间计算流程图如图 7 所示。当被测物依次经过接近传感器,接近传感器产生检出脉冲信号,经过信号处理后以 TTL 脉冲信号形式分别到达单片机具有输入捕捉功能的 I/O 口。脉冲信号的边

沿变化使单片机产生外部中断,在对应的中断服务程序中根据导致中断的边沿类型保存同一脉冲信号的两次边沿变化时间,计算该脉冲对应的接近传感器的检出时间,获得该组全部传感器的检出时间后计算相机触发时间,并由特定的 I/O 口向 CCD 相机的外触发信号端口输出稳定、准确的异步复位触发信号,控制相机采集到达设计位置的被测物图像。笔者研制的核心控制电路板和触发控制机箱如图 8、图 9 所示。

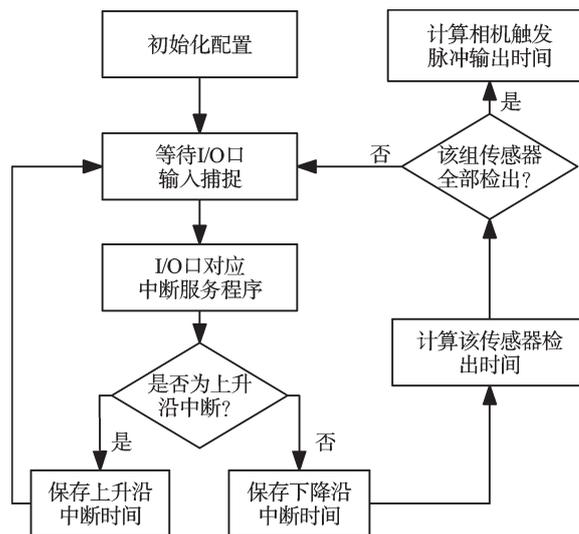


图7 相机触发时间计算流程图

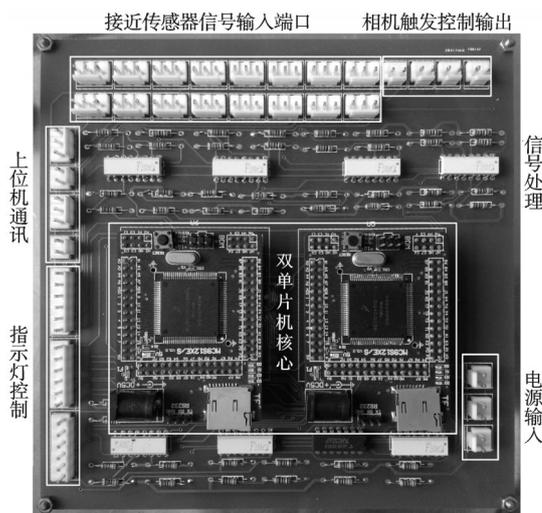


图8 核心控制电路板



图9 触发控制机箱

4 在线检测实验

在运行状态下,为采集到定位准确的轮对图像,图像采集触发系统的关键是控制触发延时误差。笔者研制了多通道图像采集触发系统,并进行了触发延时误差的重复性实验。

该实验所用的接近传感器为 Omron E2E-X5F1,单片机为 Freescale mc9s12xs128,外部晶振频率为 16 MHz。该实验安装一组 3 个接近传感器,被测物以 3 种速度通过接近传感器组到达设定拍摄位置。通过算得的平均速度及加速度计算被测物到达设定位置的延时时间 T 。经过各 100 次检测实验,对延时时间 T 进行统计并按数值从大到小排序,得到的测试数据如表 1 所示。

表 1 触发延时 T

序号	T_{v1}/ms	T_{v2}/ms	T_{v3}/ms
1	0.597 38	0.448 06	0.298 68
2	0.597 36	0.448 04	0.298 65
3	0.59736	0.448 03	0.298 64
...
98	0.596 52	0.447 36	0.298 07
99	0.596 51	0.447 33	0.298 05
100	0.596 51	0.447 32	0.298 03

从重复性实验可以得到,被测物实际重复性触发延时误差均小于 0.001 s。

在保证触发延时误差的前提下,本研究采用异步复位逐行扫描相机以及激光线光源照明,在线采集到的典型轮对轮廓图像如图 10 所示。



图 10 轮对轮廓图像

如图 10 所示,相机准确地采集到了运动轮对的图像,激光线光源投射在轮对表面形成的曲线清晰可见,为后续图像处理与参数计算提供了良好的图像数据。

5 结束语

本研究针对车辆轮对在线检测的实际需要,设计了一种多通道在线图像采集触发系统。该系统以单片机组为控制核心,综合考虑并解决了车辆实际运行时的速度变化、接近传感器检测特性在轮对检测应用中的优化处理、系统计时与相机异步复位触发的延时实现等问题,实现了车辆轮对图像的准确在线采集,可为后续图像处理和分析提供良好的原始图像以保障轮对参数检测的精度。

参考文献(References):

- [1] 张卫华,王伯铭. 中国高速列车的创新发展[J]. 机车电传动,2010(1):8-12,69.
- [2] 吴开华,张建华,严 匡,等. 轮对综合参数光电自动检测系统[J]. 仪器仪表学报,2006,27(3):298-301.
- [3] 张志峰,高 岩,任宇芬,等. 非接触测量在轮对参数检测技术的应用[J]. 激光与红外,2010,40(10):1125-1130.
- [4] 李 剑. 轮对动态检测系统应用[J]. 铁道车辆,2012,50(4):39-42.
- [5] 牛牧笛,冯其波,陈士谦,等. 列车轮对在线动态测量方法的评述[J]. 铁道机车车辆,2006,26(2):32-35.
- [6] 冯剑钊,米武军,王淑娟. 基于电磁超声的轮对踏面缺陷在线检测装置[J]. 科技创新导报,2009(30):71-72.
- [7] 彭建平,王 黎,高晓蓉,等. 基于 EMAT 技术的轮对踏面探伤仪[J]. 仪表技术与传感器,2009(1):18-20.
- [8] 罗世辉,金鼎昌,陈 清. 轮对纵向振动与机车车辆相关问题研究[J]. 铁道学报,2005,27(3):26-34.
- [9] 黄采伦,余小华,陈安华,等. 基于频谱细化的列车轮对轴承故障在线检测[J]. 中国工程科学,2007,9(7):61-64,75.
- [10] 张 庆,赵延安,贾维银,等. 铁路车辆轮对轴承不解体检测系统[J]. 振动、测试与诊断,2004,24(1):65-68.
- [11] 赵 勇. 基于激光图像的轮对踏面磨耗动态测量[J]. 激光与红外,2012,42(7):743-746.
- [12] 邵双运,崔建英,陈士谦,等. 轮对几何参数在线检测系统研究[J]. 现代仪器,2007,13(4):39-41.
- [13] 赖冰凌,李俊卿. 轮对参数在线自动检测方法的研究[J]. 铁道机车车辆,2007,27(3):13-16.
- [14] 冯 常,任宏伟,李 声,等. 火车轮对参数检测系统误差原理分析[J]. 计算机测量与控制,2005,13(5):413-414,42.
- [15] WU Kai-hua, LI Zheng-jie, BAN Tao. Online Measurement for Geometrical Parameters of Locomotive Wheel Set [C]// 2009 International Conference on Optical Instrument. Shanghai, 2009.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

周威祥,吴开华,蔡 鑫,等. 轮对多通道图像采集触发技术研究[J]. 机电工程,2014,31(6):800-804.

ZHOU Wei-xiang, WU Kai-hua, CAI Xin, et al. Research for multi-channel wheelset image acquisition trigger system[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(6):800-804.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>