

文章编号：1005-8451 (2016) 03-0034-03

高速铁路接触网安全巡检系统

张 平¹, 张建辉¹, 李平芳²

(1.装备学院 装备处, 北京 101416; 2.北京汇众思壮图像技术有限公司, 北京 100102)

摘要：基于机器视觉技术设计了高速铁路接触网巡检系统，可安装在时速350 km/h高速列车的机车前部，直接对接触网线路进行实时视频巡视，还可实现高速数据的实时显示、高速存储、管理和回放等功能，具有一定的推广价值。

关键词：接触网巡检；机器视觉；高速铁路

中图分类号：U225 U238 TP39 **文献标识码：**A

Catenary Safety Inspection System for high-speed railway

ZHANG Ping¹, ZHANG Jianhui¹, LI Pingfang²

(1. Department of Equipment, Equipment Academy, Beijing 101416, China;

2. Beijing Estrong Image Technology Co. Ltd., Beijing 100102, China)

Abstract: Based on computer vision, this article designed a Catenary Safety Inspection System for high-speed railway. The System could be installed in the front of the locomotive running at a speed of 350 km/h, inspect the catenary with video in real time, implement the function of real time display, high speed storage, management and playback.

Key words: catenary inspection; computer vision; high-speed railway

高速铁路接触网是铁路线上空架设的为电力机车供电的输电线路，作为电力机车高速运行过程中唯一供电设备的重要组成部分，接触网发生故障将直接影响甚至中断电力机车的正常运行。为确保高速铁路接触网处于良好的运行状态，目前国内主要采用传统的人工步行巡道、轨道车等方式进行巡检。由于高速铁路行车速度高达300 km/h甚至更高速度，处于全封闭状态，特别是增开夕发朝至高铁动卧列车后，传统的人工步行巡道工作天窗点越来越短，检测人员的人身安全不仅无法有效保障，夜间巡检也极其容易发生漏检现象。轨道车的优势是可在行驶过程中实现接触网状态巡检，效率高，但缺点是只有开出之后才能实现巡检。这两种方式都具有明显的局限性。

本文基于机器视觉技术和海量高速数据实时存储技术，设计了高速铁路接触网安全巡检系统，该系统架设在高铁机车前面，即可实现对高速铁路接触网的自动巡检，有效替代人工巡检作业，提升巡检作业质量和效益，能够完全满足高速铁路日常接

触网巡检需求。

1 系统组成

高速铁路接触网安全巡检系统采用分辨率高、拍摄速度快的高速工业相机，连续长时间采集高速铁路接触网接触线、吊弦、承力索以及连接部件等关键部位的图像，通过实时存储、显示完整的接触网图像数据记录，监测员可及时发现存在和可能出现故障的接触网图片来判断是否存在安全隐患，以实现自动巡检功能。该系统组成如图1所示。

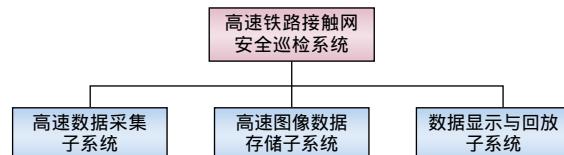


图1 系统组成

2 系统设计

系统硬件部分主要由高速相机、镜头、同步控制器、工控机组成，高速图像数据的存储、显示、回放均在工控机上运行，如图2所示。

2.1 高速图像数据采集子系统

收稿日期：2015-07-04

作者简介：张 平，工程师；张建辉，工程师。

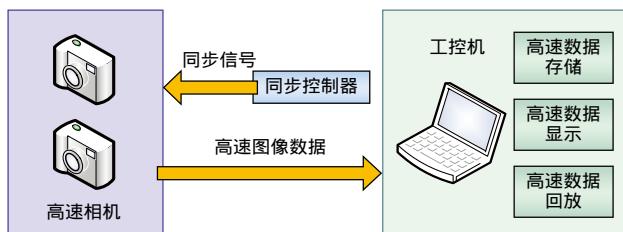


图2 系统硬件结构

高速图像数据采集子系统负责获取接触网关键部件细节和线路状态的高清晰度图像数据，主要由高速工业相机及镜头组成。因目前 k 兆网接口相机难以满足夜晚等低照度条件下拍摄需求，为了确保实现不间断对高铁沿线全景和接触网关键部位的巡视，系统拟使用两台 CameraLink 接口高速工业相机进行拍摄。其中，一台负责对接触网关键部位进行详拍的相机称为局部相机，分辨率为 2448×2050 ，满幅帧频为 15 帧/s；另一台负责对铁路线路状态进行普拍的相机称为全局相机，分辨率为 1392×1040 ，满幅帧频为 20 帧/s。为了保持两个相机的同步，系统采用了同步控制器控制两个相机的帧频(15 帧/s)。

按照当前国内高速铁路运行时速 300 km (即 83.33 m/s) 计算，按照 15 帧/s 计算，两台相机拍摄照片与铁路线长度之比约为 5.56 m/帧 (83.33 m/15 帧)，该值远小于高铁线路跨距和吊弦之间的距离，完全满足接触网安全巡检要求。为了判断局部相机能够满足要求，需对局部相机的每一个像素所代表的实际尺寸进行确认。在铁路接触网巡视过程中，最小物距约为 5 m，铁路柱距约为 50 m，局部相机拍摄的视场约为 $3 m \times 3 m$ ，其分辨率为 2448×2050 ，相面尺寸为 $8.45 \text{ mm} \times 7.07 \text{ mm}$ ，假定镜头焦距为 50 mm，根据图 3 所示的相机的成像原理可知，局部相机拍摄的实际视场在相机的横向感光视野 = 实际横向视场 \times 相面尺寸 / 焦距，即横向视野为 $8.45 \times 3000/50=507 (mm)，那么每一像素所代表的实际长度为 $507/2448=0.2071 (mm)。同理，竖向视野为 $7.07 \times 3000/50=424.2 (mm)，那么每一像素所代表的实际长度为 $424.2/2050=0.2069 (mm)。$$$$

铁路接触网关键部件，以尺寸较小的螺母为例，其厚度约 2 cm，则有约 100 个有效像素用于成像，完全可以辨别螺母是否脱落。因此，无论是横向还是竖向，均完全能够满足接触网关键部位识别要求，

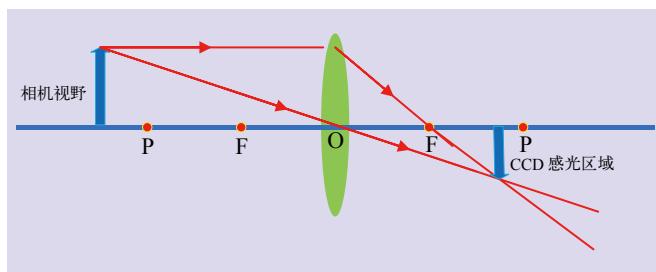


图3 相机成像原理示意图

如图 4 所示。

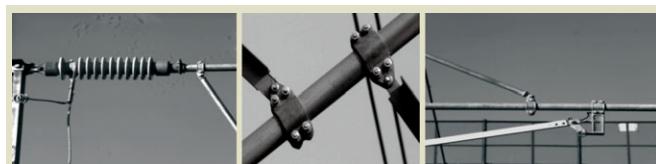


图4 部分关键部件成像效果图

2.2 高速图像数据存储子系统

高速图像数据存储子系统主要负责通过图像采集卡或者相关的压缩算法，实时不丢帧存储高速相机获取的高清图像，以用于实时快视和后续回放大量高清晰图片数据。因此，子系统需要实现 2 台高速相机的高清晰照片同步采集，并将相机采集到的高速照片数据实时存储到工控机的存储设备上面。巡检员可以对记录下的视频数据进行编辑，回放，导入导出，并转换成 AVI，MPEG 等格式的视频文件或 JPEG，TIFF，BMP 等格式的序列图像文件。

对于长时间大容量高速数据的存储，目前主要有直接利用磁盘阵列存储、压缩数据存储、海量高速数据存储等几种方式。磁盘阵列成本较低，存储时间较长，但主要缺陷是不便于携带。压缩数据存储的方式容易导致数据失真。系统使用的两台相机每秒数据量为全局相机产生的数据 (全局相机图像宽度 \times 全局相机图像高度 \times 全局相机图像位深度 /8 \times 帧频) 与局部相机产生的数据 (局部相机图像宽度 \times 局部相机图像高度 \times 局部相机图像位深度 /8 \times 帧频) 之和，即 $2448 \times 2050 \times 8/8 \times 15 + 1392 \times 1040 \times 8/8 \times 15$ ，约 92.50 MB。由于每次需要拍照的时间均长达数小时数据量将达到 TB 级数据 (如 8 h 将达到 2.54 TB)。考虑到系统成本因素，采用大容量磁盘阵列存储有明显的价格缺陷，特别是系统需要部署在高速机车驾驶室，考虑到稳定长时间存储，且占地小，易于便携等因素，本系统采用高性能闪

存控制芯片，并基于 RAID 和 PCIe 等技术研发了一套长时间高速图像数据存储系统，实测读入速度高达 1 700 MB/s，写入速度高达 800 MB/s，并在存储前同步使用 JPEG 硬件压缩技术，当压缩比为 20:1 时，压缩后 8 h 的数据（实测数据完全满足识别需求）约为 130 GB，可大幅降低存储器成本，且在将来铁路提速、系统升级相应提高相机帧频和分辨率的情况下，仍然能够完全满足数据存储需求。

2.3 高速图像数据实时显示与回放子系统

高速图像数据实时显示与回放子系统主要负责显示相机实时拍到的高清图像数据供巡检员人工判别，当发现疑似接触网故障照片后，能够及时定位、回放以供巡检员详查判断接触网是否出现故障。子系统支持多个存储的图像流文件的同步或异步播放，支持流文件的图像可放大、缩小，可查看每个像素点的实际像素值，并能对流文件进行管理，能以图像、表格、曲线（单行或单列）3 种显示方式进行图像文件显示；可显示任意位置任意区域图像的源码以及直方图、方差、统计图；支持任意选定区域内的亮度、对比度调整以及自动对比度、自动色阶等处理；可实现图像的漫游和任意局部显示，以及图像显示位置标定和跳转定位功能；能够将存储的图像文件中的任意起始位置转存为 BMP、TIFF、JPG、AVI、RAW 等格式文件。

2.4 系统软件

系统基于 VC 开发，主要实现了采用 Camera-Link 接口高速工业相机的长时间高速海量数据的实时采集、存储、显示、回放等功能，支持不同图像数据类型的转换和视频流数据的存储。（1）控制高速相机输出信号的采集开始和停止、存储的开始和停止（2）配置相机图像高度、宽度以及相机曝光模式、曝光值以及增益（3）配置可采集卡图像高度、宽度、曝光模式、帧频、缓存、偏移量；（4）配置存储路径等参数。高速相机获取的图像文件，可按照一帧一帧的方式，保存成指定的流文件格式。系统运行与快视效果如图 5 所示。

3 结束语

高速铁路接触网安全巡检系统采用了非接触的



图 5 系统运行与快视效果示意图

图像采集方式，在不影响高速铁路运输秩序的情况下，通过高分辨率工业相机，长时间实时获取高铁线路接触网关键部位和全景图像，对接触网进行巡检，巡检员通过实时快视功能能够直接发现接触网关键部位的安全隐患。测试结果表明，该系统运行稳定、获取图像清晰、巡检效率高、操作简便、易于便携、准确率高，使用时间长，满足运行时速 120~350 km/h 列车在线检测要求。系统可降低巡检人员的作业强度，提高接触网巡检效率和巡视质量，有利于管理调度人员及时判断并响应接触网出现的问题，是未来接触网常态化巡检的重要发展方向。下一步，我们将加大对采集图像的自动化识别力度，在发现故障后能够及时报警，并迅速通过判读公里标、缺陷图片等快速识别故障位置、故障类型，能够同步将相关信息和诊断建议等实时车地传输给临近的车辆段，切实为有效保障高速铁路安全运营作出更大的贡献。

参考文献：

- [1] 余森. 铁路线路智能巡检系统的设计 [J]. 铁路计算机应用, 2013, 22 (6):31-34.
- [2] 于万聚. 高速电气化铁路接触网 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2003:90-92.
- [3] 王凌, 张冰, 陈锡爱. 基于计算机视觉的钢轨扣件螺母损失检测系统 [J]. 计算机工程与设计, 2011 (12):4147-4150.

责任编辑 徐侃春