

计算机视觉技术在列车运行状态综合检测中的应用^①

宁 静¹ 高品贤¹ 林建辉² (1.西南交通大学 机械工程学院 四川 成都 610031;
2.西南交通大学 牵引动力国家重点实验室 四川 成都 610031)

摘 要: 对国外典型的利用图像处理技术建立的钢轨检测系统进行了介绍。对国外的利用图像处理进行接触网磨损检测的系统进行了总结。回顾了我国利用计算机视觉技术对列车综合参数进行检测的现状和发展,对图像处理技术在我国的高速铁路综合检测车的应用进行了展望。

关键词: 计算机视觉; 钢轨磨损; 接触网磨损; 检测系统

Application of the Computer Vision Technology to the Train Running State Synthesis Measurement

NING Jing¹, Gao Pin-Xian¹, LIN Jian-Hui²

(1.School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2.National Power Traction Laboratory, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Two typical rail inspection systems based on image processing are introduced, especially the system configuration and work principle of the KSIR Inspection cars(Russian). The development of measuring for contact wire wear is summarized. And the status of the train synthesise inspection car in China has been reviewed. In the end, the trend of the inspection based on the computer vision technology in the future has been discussed.

Keywords: computer vision; rail wear; contact wire wear; inspect systems

基础设施安全状态车载检测技术及装备,如轨道、弓网、通信和信号等专项检测车和综合安全检测列车,以及各种随车安全监测装置,是铁路车、机、工、电、辆等各部门获得列车运行安全状态信息、提供养修决策、指导现场作业、评价工作质量和实施科学管理的重要手段,是确保列车按规定的最高速度安全、平稳、不间断运行的技术保障。世界各国铁路都十分重视智能综合监测车的研发与应用。欧、美、日等许多发达国家陆续开发出应用现代高新技术的综合监测车,检测速度大大提高,检测功能更加丰富,检测精度和可靠性也得到提高。

世界高速铁路安全状态检测与故障诊断技术及装

备的主要特点之一就是激光和动态图像处理技术获得了广泛的应用,提高了检测速度、精度和可靠性。

1 在轨道检测中的应用

在上世纪九十年代初,美国的 ORIAN(Optical Rail Inspection and Analysis)系统研制成功。它是计算机视觉系统在轨道检测领域最具有代表性的一个实例,主要用于动态检测钢轨磨损的。本世纪初,计算机视觉系统在钢轨检测中的范围逐渐扩大,俄罗斯研制的综合轨道检测车 KSIR 利用图像处理技术,几乎完成了铁路轨道所有参数的动态检测。它们的研制成功对于我国深入研究在高速铁路轨道上如何利用计算

^① 基金项目:教育部博士点基金(200806141058)

收稿时间:2009-10-28;收到修改稿时间:2009-11-26

机视觉的优点,动态获取轨道参数具有十分重要的借鉴意义。

1.1 测量钢轨磨损的 ORIAN(美国)

1995年美国纽约KLD实验室研制了铁轨测量与分析光学系统ORIAN^[1]。它是一个先进的实时计算机视觉系统,它可在时速175公里/小时以上利用非接触的方法测量钢轨磨损。ORIAN系统安装了激光光源用以照亮目标的轮廓。然后,利用超高分辨率的数字摄像机记录目标横截面光亮的动态视频图像。系统包括两个安装在轨检车轴上的传感器测量头,每个测量头包括两个超高分辨率的数字摄像机,和两个激光发射器模块。

与此同时,英国伯灵顿的William .T.开发了一种时速在60km/h以上用于测量轨道几何参数的系统^[2]。此系统可分别测量铁轨的几何量和钢轨的断面轮廓。轨道的几何参数可以通过实时处理获取。钢轨的断面轮廓数据在实时情况下只能有一些局部的输出,更多的轮廓数据将在后续处理当中获得。并且对在实时和后续处理中输出的轨道几何参数以及钢轨的断面轮廓信息进行了比较。

随后,英国Birmingham大学的Clemens Mair于1998年提出计算机视觉技术应广泛的应用于铁路运行状态的各个检测领域,并对其广泛的应用前景进行了展望^[3],提出铁轨的检测系统、接触网的几何测量等都可以利用此项技术实现。

1.2 综合轨道检测车 KSIR^[4,5](俄罗斯)

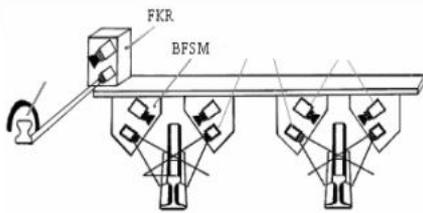


图1 KSIR检测车中 CCD 和激光源的安装位置

从1998年开始莫斯科国立大学铁道工程系等单位针对莫斯科的地铁系统设计了一个利用 CCD 和图像处理技术的非接触式检测车 Non-contact photonic measurement system (KSIR)。该系统包括四个子系统(见图1): BFSM(rail wear, height and track gauge measurement)钢轨磨损,高度和轨距测量; FIP(rail slump measurement)铁轨的水平不平顺测

量; FKRR(contact rail measurement)钢轨的接触测量; USI(speed, level and car locating)速度,水平以及定位系统。整个系统包括五个矩阵式 CCD,五个红外线光源,四个线阵式 CCD,四个红外线点光源。该系统可实现在时速70公里/小时以上的全天候在线监测。

2 在接触网磨损检测中的应用

随着高速铁路的飞速发展,及时掌握接触网的准确磨损状态,保证铁路运行的安全可靠显得日趋重要。SNCF(法国铁路公司)和 JNR(日本铁路公司)首先提出了接触网的磨损测量方法。但是前者提出的理论没有实现,而后者提出的方法在实现过程中也受到诸多限制。目前在接触网磨损检测中,非接触测量的方法包括磁场分析,小波反射以及光电检测等方法。纵观目前投入应用的检测系统,利用 CCD+激光组建的系统在实际过程中是最为成功的,其检测原理为首先利用激光照亮接触网的轮廓,然后通过 CCD 采集激光与接触网交汇处反射光带的方法,获取原始图像,再通过图像处理的方法获得接触网的剩余厚度值,从而获得接触网磨损程度的信息(见图2)。

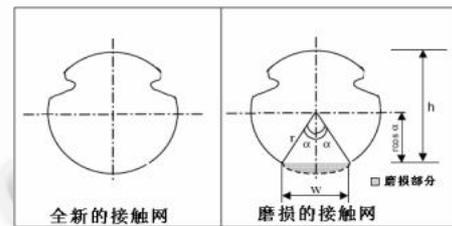


图2 接触网磨损测量的原理

2.1 接触网磨损检测系统 MEDES^[6] (西班牙):

MEDES 系统是由 UPM-DIE 设计, RENFE(西班牙国家铁路)投资并使用的基于计算机视觉原理的接触网磨损检测系统。由于该系统良好的可靠性(此系统可被使用在除去雨雪天气的全天候环境,包括白天和夜晚)以及低廉的成本和信号的可操作性,已申请了西班牙(专利号: 9401633)和欧洲的专利(专利号: 9650002.7)。

在法国的测试结果表明,MEDES 系统的输出结果与列车的运行速度无关,系统的精确度为 $\pm 5\%$,转换为残留厚度的测试误差被控制在 7%以内,且其测试结果有可重复性。

2.2 接触网的自动厚度测量系统 ATON^[7](ATON: Automatic Thickness measurement of Overhead wires Netherlands Railways 荷兰)

荷兰铁路接触网自动厚度测量系统 ATON 是由 TNO TPD 设计的,并最终在荷兰的铁路系统投入了使用。其在线测量时速可达 90~300 公里/小时,可检验大于 9mm 的磨损宽度,从而实现对整个接触网的非接触测量。CCD 获取的图像分辨率在垂直行车方向为 0.15 mm,在行车方向为 2 cm;垂直行车方向的视觉范围为 1100 mm,接触网的高度范围为 4450 mm~6300 mm。该系统可同时检测 2~4 根接触网。该系统适用于全天候的应用环境,但是雨、浓雾和严重的结冰等恶劣气候会对设备的测量结果造成影响。

MEDES 和 ATON 都是利用 CCD+激光的方法来实现在线测量的。二者主要的不同在于 ATON 利用了一个复杂的,特制的伸缩的光学系统而 MEDES 采用了商用的光学系统的电学装置相结合的方式。这样使得 MEDES 系统更易于实现,而且更加易于操作。

2.3 日本接触网检测系统

日本在其新干线上开发了基于 CCD 摄像机的高架接触线检测系统^[8]。其测量原理如下:它用激光束扫描整个接触网交错线区域,当激光束扫到接触网的摩擦面时,会产生不规则的反射光,其中会有部分的反射光反射回光源,这些光线会被 CCD 相机接收,由于激光束是以恒定的速度扫描,因此接收到反射光的持续时间是与磨损线宽度呈正比的。由此,可通过测量激光的反射时间来测量接触网的磨损状况。

2.4 Wire Wear Measurement System 导线磨损检测系统^[9]

WWS 能在 200km/h 的速度下同时测量 4 根接触网的磨损情况。系统可以每 25 mm 计算出一次导线磨损值。

2.5 WIRE CHECK 系统

WIRE CHECK 系统的测量原理在文献 23 中有详细描述。

2.6 俄罗斯系统^[10]

俄罗斯仪器科学科技设计院(TDI SIE)和俄罗斯科学院西伯利亚分院(SB RAS)于 2006 年研制了一种能够进行缺陷探测并测量接触网磨损的非接触检测系统。其基本原理与其他系统类似,但是他们给出了可对图像进行分析的具体算法。由于接触网横截面与激

光柱的交汇处的图像形状为月牙形的图像,可以首先对这个月牙形的光带进行分区(见图 3);然后通过寻找每个图像垂直带的聚集中心来获取底部的期望轮廓线(见图 4)。这种数据处理的方法在“Seyatel”列车上进行了测试,最终数据处理的测量精度为:高度 0.1 mm,横截面 1.5 mm²,能够满足自动检测的需求。

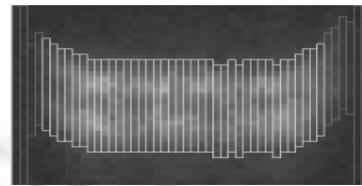


图 3 将交汇处的月牙形图像分割为垂直带

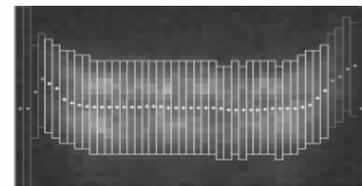


图 4 提取垂直带的聚集中心

表 1 为国外各个系统的参数指标对比。

表 1 国外各个系统的参数指标^[9, 14-17]:

系统名称	测量对象	测量原理	测量范围	光学系统	摄像系统	测量精度	最大检测速度 / km/h	分辨率 / mm	软件平台
MEDES	接触网磨损	接触网磨损由激光束照射,其他由反射光带输入 CCD 摄像机	激光束 1~0.10mm	通用以及专用光学系统	CCD 摄像机,图像计算机系统,EPGA, DSP	1~4	车内	±0.1mm	基于 PC 的 MEDES
ATON	接触网磨损	接触网磨损由激光束照射,其他由反射光带输入 CCD 摄像机	激光束 1~0.10mm	专用激光光学系统	CCD 摄像机, DSP	2~4	车内	±0.15mm	基于 PC 的 ATON
日本	接触网磨损	激光束扫描接触网摩擦面,反射光带输入 CCD 摄像机	激光束 1~0.10mm	专用激光光学系统	激光	100	车内	0.2mm	日本 PSTD
Capener	磨损	激光束扫描接触网摩擦面,反射光带输入 CCD 摄像机	激光束	激光	激光	100	车内	±0.2	基于 PC 的 Capener
WWS	接触网磨损	两个可移动的激光束从接触网摩擦面输入 CCD 摄像机	激光束 1~0.10mm	专用激光光学系统	两个 CCD 摄像机,软件系统	200	车内	±0.2	基于 PC 的 WWS
俄罗斯	接触网磨损	接触网磨损由激光束照射,其他由反射光带输入 CCD 摄像机	0.10mm 的 ATOC-000	三个可移动的激光束	三个 CCD 摄像机	100	车内	0.1mm, 横截面 1.5mm ²	基于 PC 的俄罗斯 RAS

3 我国利用计算机视觉技术对列车综合参数进行检测的现状和发展

由于 CCD 检测是一种直接测量法,它不受机车速度的限制,可以跨越低速到高速进行动态检测,我国也有探讨利用数字图像处理技术进行非接触式尺寸测量的问题。

西南交通大学谢小玲等于 2001 年介绍了基于 CCD 动态检测轨道不平顺的方法,给出了系统检测的原理、总体结构、工作流程和数据分析流程。并且利用实验结果证明了该装置的准确性和可靠性^[11]。

大连交通大学利用 MATLAB 软件对接触网数字图像进行了处理和分析,并给出了相应的试验结果。测量误差与实际比较小于 10%,基本能够满足接触网磨损测量的要求^[12]。杭州电子科技大学于 2006 年利用光电技术对运动中轮对车轮踏面缺陷进行了理论研究^[13]。车轮踏面缺陷包括擦伤和剥落。他们利用数字图像处理技术来处理通过高速 CCD 摄像机获得踏面的轮廓图像。测量装置被安装在铁轨的直线段区域,当车辆以规定速度通过时,设置在铁轨两侧的此装置可以获得深度、长度以及可能存在缺陷的位置信息。提出了一种利用栅格跟踪获得车轮轮廓的方法。理论上,当擦伤长度大于 17mm 和剥落长度大于 2mm 时,可在 2mm 误差范围内识别。测试过程中,列车的运行速度应低于 6km/h。

4 结论

我国铁道科学研究院在安全综合检测车的研制过程中^[14],其轨道检测子系统中采用了 CCD 摄像机+激光光源的方法来实现轨道几何状态检测;其接触网检测子系统中接触网导线的高度、拉出值、锚段关节及线岔处的两线水平及垂直间距的检测也是有计算机视觉系统来实现的;在线路周边环境监视子系统中对列车运行时实时环境的观测也是通过对的图像信息的采集和处理,来加以实现的。

由此,我们有理由相信,在将来的智能化高速线路检测系统中,其地面监测子系统在实施地对车安全监测过程中,通过高速摄影或红外线技术,测试高速列车轮轨动态接触状态,包括车轮相对于轨面的抬升量、车轮与轨面接触点的变化过程、轨距动态扩大量等参数,即可实现动态测试高速列车运行时的轮轨动态运用安全性能;监测和识别高速列车在钢轨上的蛇行失稳状态;监测列车高速运行时的轮轨动态接触状态等功能。

由于计算机视觉系统具有全天候、非接触、在线精确检测、数据输出直观等特点,采用自行研发的高频快速的 FPGA 和 DSP 结合的图像采集与处理高速数字图像处理方法与惯性基准法,超声波检测法等多种检测方法的相互配合和冗余将成为列车

综合检测发展的趋势。计算机视觉技术对列车影运行状态的综合检测的发展将具有广阔的应用和前景。

参考文献

- 1 Daniel LM. Non-contact technology for track speed rail measurements (ORIAN). SPIE, 1995,2458:45-51.
- 2 McCarthy, William T. Track geometry measurement on Burlington Northern Railroad. Proc. of SPIE-The International Society for Optical Engineering. Oakland, CA, USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Bellingham, WA, United States, 1995. 148-164.
- 3 Mair C, Fararooy S. Practice and Potential of Computer Vision for Railways. IEE Colloquium (Digest). Stevenage, United Kingdom: IEE, 1998. 10/1-10/3.
- 4 Popov DV, Ryabichenko RB, Krivosheina EA. Calibration of the CCD photonic measuring system for railway inspection. Proc. of SPIE - The International Society for Optical Engineering. Ultrafast X-Ray Detectors, SPIE - The International Society for Optical Engineering. Bellingham: SPIE. 2005. 1-9.
- 5 Popov DV, Ryabichenko RB. High speed imaging and processing for rail track inspection. Proc. of SPIE - The International Society for Optical Engineering. Bellingham: SPIE. 2005. 367-375.
- 6 Borromeo S, Aparicio JL, Martínez PM. MEDES: contact wire wear measuring system used by the Spanish National Railway (RENFE). Proc. of the Instn MECH. Engrs Part F Journal of Rail and Rapid Transit, 2003,217(3):167-175.
- 7 <http://www.tpd.tno.nl/smartsite103.html>
- 8 Shunichi K, Kazuyoshi N. Overhead Contact Line Inspection System by Rail-and-Road Car. QR of RTRI 2000,41(4):169-172.
- 9 Fararooy S, Mair C. Review of railway overhead wire geometry measurement systems. IEE Colloquium (Digest) Stevenage, United Kingdom: IEE, 1998. 4/1-4/4.
- 10 KUMUMI S, Nagasawa H, Mochizuka H. Development of measuring apparatus for contact wire wear by sodium vapor lamps. IEEE Instrumentation and

(下转第 198 页)

(上接第 161 页)

- Measurement Technology Conference, Piscataway, NJ, United States: IEEE, 2000. 1404 – 1407.
- 11 谢小玲,王黎,赵全轲,高晓蓉,王泽勇. CCD轨道状态研制动态检测装置的研制. 四川大学学报, 2001, (S1):119 – 125.
- 12 刘德仁,葛宰林,毕铁艳. 电力机车接触线磨损数字图像处理研究. 现代制造工程, 2006,(3):100 – 109.
- 13 Kuang Y, Kaihua W, Ruihong W, Peng J. Theoretical research on the measuring method of the running wheel set tread defects based on optoelectronic technique. 2nd International Symp. on Adv. Optical Manuf. ac. and Testing Tech.: Optical Test and Measurement Tech. and Equip, Xi'an: SPIE, 2006: 61502W:1 – 7.
- 14 杜鹤亭,高林奎,张继元. 安全综合检测车的研制. 中国铁道科学, 2003,24(1):49 – 53.
- 15 彭朝勇,高晓蓉. 国外接触网导线磨耗检测系统. 中国铁路, 2007,(4):66 – 68.
- 16 Bazin V, Chugui Y, Kalichkin S, Makarov S, Verkhogliad A, Vykhrstyuk I. A laser structured light system for inspection of wear and defects of contact wire in train's electro-supply network. Third International Symp. on Precision Mechanical Measurements. SPIE, 2006. 1 – 6.
- 17 Borromeo S. Aparicio JL, Automatic systems for wear measurement of contact wire in railways. IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference). Industrial Electronics Society; SICE; Universidad de Sevilla: IEEE. 2002. 2700 – 2705.