

文章编号: 1002-0268 (2009) S1-0001-06

铁路车辆运行安全监控 (5T) 系统的研究与应用

蒋 荟¹, 马千里², 曹 松¹, 王志华¹

(1. 中国铁道科学研究院 电子计算技术研究所, 北京 100081; 2 铁道部运输局, 北京 100084)

摘要: 车辆运行安全监控系统 (5T 系统) 是中国铁路在面临客货混运、提速、重载的新形势下采取的保障车辆运行安全的重要手段。系统采用多种先进的动态检测技术、信息处理技术和网络技术实现对车辆运行状态的实时动态监测。在专项监测系统报警评判的基础上, 运用多个监测系统的监测信息和技术履历信息, 建立综合报警评判模型, 提高报警的准确性。针对多个监测系统的实时监控问题, 通过搭建统一的监控网络平台, 制定多种监测数据接口标准、优化业务流程、建立运用管理制度等一系列方法, 实现了多系统的系统整合、集中监控和资源共享, 提高了工作效率和工作质量, 对铁路车辆运行安全保障发挥了重要作用。

关键词: 交通工程; 研究与应用; 车辆安全监控; 5T 系统; 运输安全防范

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Research and Application on Railway Vehicle Running Safety Monitor System (5T)

JIANG Hui¹, MA Qianli², CAO Song¹, WANG Zhihua¹

(1. Research Institute of Electronic Computing Technology, China Academy of Railway Sciences Beijing 100081, China;

2 Transportation Bureau of MOR, Beijing 100844, China)

Abstract: Vehicle Running Safety Monitoring System (5T) is a crucial approach to ensure the vehicle running safety when the Chinese railway facing the situation of speed-increased, passenger and freight traffic and overloaded. The system adopts real-time diagnosis, advanced data analysis and network communication technologies to monitor and diagnose the running status of vehicles. A comprehensive risk judge model based on diagnostic information and history information from heterogeneous system was set up to improve the accuracy of fault alarm. In order to integrate heterogeneous system and realize centralized monitoring and data sharing, unified platform, standard data transfer interface, optimized operation procedure and management system were established. By using this system, the safety factor of railway is greatly increased and the work effect and efficiency is also improved.

Key words: traffic engineering; research and application; vehicle safety monitoring; 5t system; transportation safety precaution

0 引言

我国铁路以占世界铁路 6% 的营业里程完成世界铁路 25% 的运输量, 旅客周转量世界第一, 货物发送量世界第一, 换算周转量世界第一, 铁路运输密度

高居世界第一。我国铁路实行客货混运, 运行速度历经 6 次大提速后显著提高, 周转时间减少, 机车交路延长, 列检保证区段延长, 重载货物列车开行线路增多, 客运直达列车对数增加, 使得铁路车辆运行安全面临极大挑战。

收稿日期: 2009-08-20

基金项目: 铁道部科技研究开发计划项目 (2006X028)

作者简介: 蒋荟 (1965-), 女, 江苏宜兴人, 研究员, 研究方向为铁路行车安全监控。 (jianghui@rails.com.cn)

铁路作为国民经济的支柱型产业,国家需要铁路部门进一步挖潜提效,扩大再生产,解决铁路运力制约国民经济发展的瓶颈问题。依靠传统的停车作业检查方式已经无法适应运输形势的发展要求,无法解决安全与效率之间的矛盾。为此,2003年以来,铁道部运输局在借鉴国外成熟经验和全面深入调查研究的基础上,针对当前车辆部门列检工作中的突出问题和主要矛盾,通过自主创新和引进消化相结合,提出了建设车辆运行安全监控系统(简称5T系统)的蓝图。在随后的几年时间内,铁道部组织相关单位,通过采用地对车、车对车等先进的动态监测技术,充分利用智能化、网络化和信息化手段,建立了全路性的5T系统。在铁路沿线建设5T系统探测站,实现地面设备对客货车辆运行安全的动态检测、数据集中、联网运行、远程监控、信息共享,显著地提高铁路车辆运行安全防范能力,确保了第6次大面积提速的平稳过渡。

5T系统包括车辆轴温智能探测系统(THDS)、车辆运行品质动态监测系统(TPDS)、车辆滚动轴承故障轨边声学诊断系统(TADS)、货车故障动态图像检测系统(TFDS)和客车运行安全监控系统(TCDS)。其中,THDS通过轨边的红外探测器,动态监测列车轴承温度,发现热轴故障,并通过智能跟踪装置,实现热轴精确跟踪和预报,强化了燃切轴事故防范能力^[1];TPDS利用安装在正线上的测试平台,动态监测通过列车轮轨相互作用连续的垂直力和横向力,并在联网分析处理的基础上,识别车辆运行状态,同时还可监测车轮踏面损伤和车辆超偏载状态。通过对报警车的追踪和处理,重点防范列车脱轨事故发生^[2];TADS通过轨边声学诊断装置,实时在线监测运行车辆轴承故障,将燃切轴事故的防范关口提前^[3];TFDS利用轨边高速摄像技术,实时在线监测通过货车,采用图像智能识别技术和人机结合的方式判别货车隐蔽和常见故障,实现列检作业革命性变革,极大地提高了列检作业质量和效率,改善了货车运输安全性^[4];TCDS利用车载安全监测装置,对客车制动装置、转向架、客车供电系统以及轴温报警器、电子防滑器、车门等设备的安全隐患进行实时监测,并通过车地无线传输,实现客车运行安全全程监控^[5]。5T系统搭建了全路车辆运行安全综合监控网络平台,利用系统整合、数据集成、智能分析与数据挖掘技术,建立起多系统全程在线实时监控、联网多点跨系统综合评判、智能高效的铁路车辆安全监控体系,保证了列车在高速、重载、大密度开行等条件下车辆的安

全。

1 系统建设目标

(1)建成覆盖全路的货车安全监测信息传输网络和基层数据汇聚节点、路局监控中心、铁道部查询中心,将地域上分散的5T地面安全监测设备与各级监测中心联结起来,实现5T系统监测信息的自动收集和集中管理;

(2)实现5T系统监测中心设备共享,统一基础信息编码标准,统一监测数据接口标准,统一数据存储,统一应用软件展现风格;

(3)在铁道部建立数据仓库,依据主题进行数据存储,建立面向车辆监测信息、故障信息、维修信息、履历信息的主题数据库,通过数据抽取、数据挖掘,发现研究、分析、车辆故障之间的关联关系,建立车辆综合报警评判模型,实现故障车辆综合报警自动评判;

(4)实现5T系统数据集中、上下互传、跨系统多种信息横向关联,提高故障车辆预报的准确性;

(5)5T各级系统上下互动,信息交错,提供5T数据集成、综合报警评判、综合查询和分析、跨系统横向关联检索以及为5T各专项应用综合评判提供基于整合的综合集成信息,实现5T各子系统专项应用和基于整合的5T系统综合应用,构成专项应用上下级系统多点间、5T整合综合应用多系统多类之间协同工作的局面;

(6)实现3级联网、3级复示、3级管理系统,实现预警/报警车辆局间互控、全面跟踪,全面掌握路网运行车辆运用情况;

(7)以路网车辆全面监控和信息综合利用为目标,使各级车辆管理、决策部门全面掌握全路车辆运用质量状况,及时调整车辆运用、管理、维修、维护政策和计划,实现车辆检修由定时修走向状态修,为车辆作业、维修部门提供详细的车辆安全监测与管理信息服务,实现5T系统动态检测、数据集中、联网运行、远程监控、信息共享,构筑起集监测控制、安全管理、维修支持、决策分析为一体的货车安全综合监测网络信息系统^[9]。

2 系统总体架构

铁路车辆运行安全监控网络信息系统由轨边探测站、基层数据汇聚节点、路局监控中心、铁道部查询中心4级组成,并在列检所和车辆段设监控复示终端。各级中心间以及基层数据汇聚节点与探测站/列

检所/车辆段间通过铁路计算机网络相联。探测站安装车辆运行安全检测装置, 实时检测通过列车各车辆的运行状态; 各级中心收集所辖下级系统的监测数据, 执行监控、追踪、查询、管理、分析、评判等功

能; 列检所/车辆段实时监视探测站测点过车检测情况, 接收上级下达的重点车监控名单及综合评判结果, 并负责报警车辆检查和处理任务的具体执行^[7], 如图 1 所示。

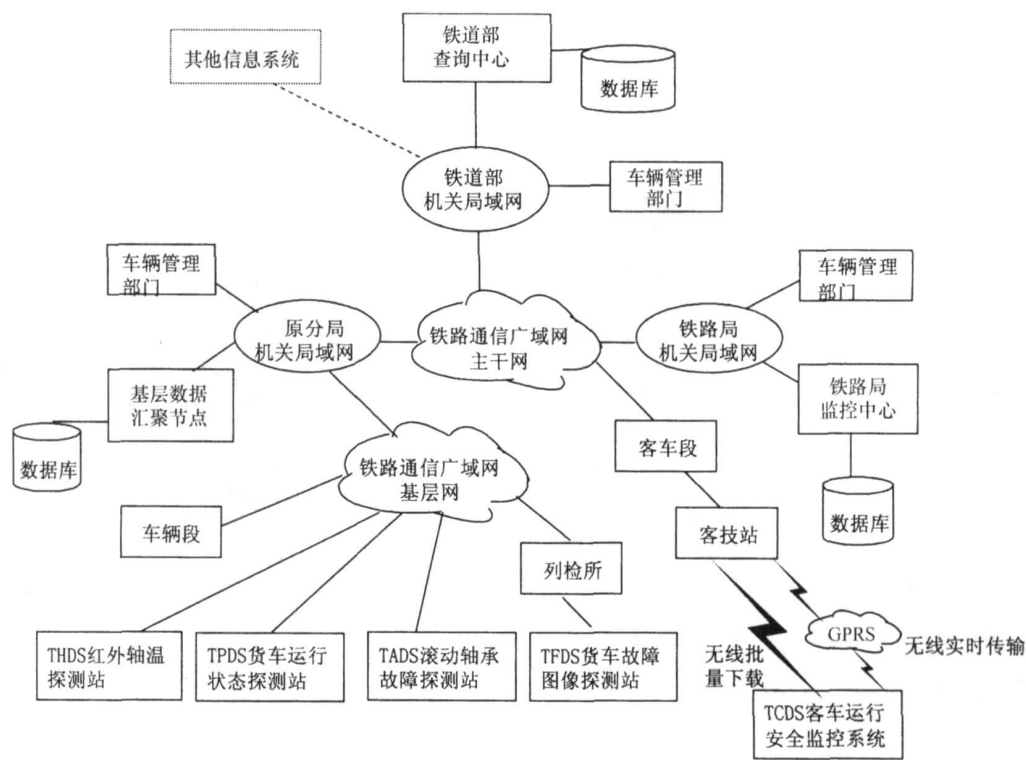


图 1 车辆运行安全监控 5T 系统框架结构图

Fig 1 Framework structure of railway vehicles running safety monitoring system (5T)

5T 系统应充分体现分散检测、集中报警、网络监控、信息共享的基本要求, 实现 3 级联网、3 级复示以及 3 级管理信息系统。3 级联网为: 探测站与基层资料汇聚节点联网、基层资料汇聚节点与路局监控中心联网、路局与铁道部查询中心联网; 3 级复示为: 前方列检所复示 (重点检查、处理问题车辆)、车辆段复示 (主要解决管理和设备维修上的问题)、车辆安全监测中心复示 (及时掌握问题车辆情况, 进行监督并处理, 对疑难问题给予技术支持)。3 级管理信息系统为: 铁道部查询中心系统、铁路局监控中心系统以及铁路基层监控系统。

3 系统主要功能

5T 系统应用软件按照应用的功能层次上划分为面前客户的前台应用软件和提供系统运行支撑的后台应用软件两大类。前台应用软件提供用户应用接口, 主要包括基于 GIS 的实时监控软件、基于 WEB 的 5T 分专项监控查询和基于整合的综合监控查询软件、检

测设备运行状态网络化管理软件; 提供给系统管理人员的基础数据管理与维护、应用系统运行控制软件、数据传输状况展现用户接口等。后台支撑软件主要包括数据传输中间件、数据接口处理与数据校验、数据存储组织管理和数据库更新维护、系统整合与数据集成模型以及综合评判分析、 workflow 管理等后台事务处理、网络安全与传输监控管理软件等。

从应用模式来看, 应用软件采用 C/S 和 B/S 相结合的方式, 并利用地理信息系统增强应用软件的可视化程度。实时监控软件和系统运行管理控制软件等主要采用 C/S 模式; 各级车辆管理人员使用的查询软件主要采用 B/S 模式, 用户只需使用浏览器即可, 提供功能丰富的信息服务, 包括当日信息浏览、报警车查询、灵活多角度的分类查询、过车查询、故障车辆的跟踪监控、形式多样的各类统计报表的自动生成、监测信息的综合分析, 以及数据传输流量的监控等^[8]。

应用系统功能层次结构见图 2 所示。



图2 应用系统功能层次结构图

Fig 2 AHP of application system functional structure

4 系统主要关键技术的研究

5T系统是一个集监测控制、安全管理、维修支持、决策分析为一体的车辆运行安全防范预警系统,在系统的研究和应用中涉及了多种安全动态检测技术、系统整合与信息集成技术,重点解决了检测技术及设备标准、信息整合及多系统业务流程的融合、综合报警评判算法模型与分析方法、数据综合利用和辅助决策支持、机制与相关制度建立等诸多技术关键和难点,并在应用系统研制中强调实用性和易用性。

4.1 多种动态检测技术及设备标准的研究

(1)在THDS系统的研制过程中,技术人员采用探头自适应智能标定技术、双下探技术、智能化的全信息采集和处理模式等多种方法,攻克高精度智能测温技术、车号识别射频技术等关键技术,实现了THDS系统数据处理智能化、设备制式标准化、通信网络数字化和热轴预报智能化。

(2)在TPDS的研发中,科技人员研究和开发高可靠性轨道测试平台和轮轨力动态测试新技术,创新性地研发车辆运行状态识别技术、车轮踏面损伤识别

技术,研制成功车辆运行品质动态监测系统(TPDS),实现了对车辆运行状态、超载、偏载和车轮踏面损伤的集成检测功能。

(3)在TADS系统的研发中,采用声学传感器阵列和自适应技术、系统降噪与高速采集技术、故障诊断与智能识别等技术,建立我国铁路车辆滚动轴承的智能判别模型,实现了不同型号轴承的故障类型及缺陷程度的智能判别,可发现车辆轴承的早期故障,将车辆燃、切轴事故的防范关口前移^[9]。

(4)在TFDS系统研制中,采用冷光源补偿、高速CCD数字摄像头同步拍摄、图像高速传输、数字图像处理、关门车智能识别、车辆精确定位等技术,对运行货车的车底、侧下部进行动态图像采集,实时传输至列检检测中心,室内检车员通过人机结合的方式对采集的图像进行分析,可有效预防危及行车安全的故障^[10-11]。

(5)在TCDS系统的研制中,利用车载安全监测设备,采用智能监测诊断、列车网络、统计模式识别、专家系统等技术,实现对走行部、制动、火灾等危及客车运行安全主要因素的在线实时监控;利用列

车动态组网技术、先进的无线通信技术, 解决车载系统海量过程数据高速下载和列车运行状态信息的实时车地传输, 填补了国内铁道客车安全监测诊断技术的空白^[12]。

4.2 系统数据集成与资源共享平台的研究

以往铁路信息系统的建设基本采用独立进行各项系统建设和应用开发的模式, 系统之间关联性差, 极易形成信息孤岛。5T 系统的建设和实施根据我国车辆实行集中统一管理的实际需求, 通过基础设施的整合, 实现了系统软硬件及网络平台的资源共享, 构建起跨系统业务融合、信息共享与信息综合运用的基础环境。在全面分析研究各专项应用子系统需求和检测信息关联性的基础上, 依据主题进行数据存储, 建立面向车辆监测、报警处理、维修履历等主题数据库, 以车号为索引建立不同粒度的共享车辆整合信息, 搭建数据交换、信息共享的平台, 为进行数据集成和信息共享打下坚实的基础。

4.3 安全监测数据接口标准和接口软件的研究

5T 系统的安全检测设备种类繁多, 而且同一类设备还有多个不同生产厂家, 因此研究和制订 5T 系统各类安全检测设备接入的技术要求和数据接口标准是一项重要且细致的工作, 是实现集中监测和信息综合利用的基础。为此, 在全面调查分析各类安全检测设备提供的安全监测信息的基础上, 5T 系统制定了各专项应用系统统一的接口标准, 保证接收数据的完整性和一致性。

数据接口描述包括各种安全检测设备需要传输的数据项, 以及各数据项的数据类型、长度、精度、数据项排列顺序和数据项间分隔方式等, 同时, 还规定了数据接口文件的命名规则、生成时间、存放目录、存取方式和通信协议等。此外, 数据接口还包括监管中心之间以及系统与其他外部信息系统之间数据交换的约定, 并采用 ORACLE 数据库复制技术来实现基础数据的同步一致^[13]。

4.4 信息整合及多系统业务流程的融合

5T 各专项应用系统的检测内容和数据处理的需求虽然不同, 都是对货车安全进行监测, 由于车辆的部件故障之间是可以互相影响的, 因此在 5T 专项数据库的基础上, 以车号为主要线索, 通过信息整合实现相关信息的关联和检索, 对加强车辆安全预警和车辆故障原因分析等工作具有重要的现实意义。THDS 系统结合 TPDS 的踏面损伤报警汇总和 TADS 故障轴承汇总进行热轴综合预报就是一个很好的例子。

随着 5T 系统应用的逐渐深入, 人们发现 5T 系统

与 TMS 系统、HMIS 系统等相关外部系统业务之间存在着千丝万缕的应用需求, 5T 系统与相关外部信息系统之间的联系也日趋紧密。通过 5T 系统和相关外部系统之间的信息交互、信息共享, 把 5T 系统与这些外部系统之间的业务流程紧密地融合在一起, 大大提升了 5T 系统和相关外部系统的综合利用价值, 发挥出单个系统所无法比拟的应用效果。例如: TPDS 系统与超偏载检测监控系统的互联互通, 一方面为实现货车超偏载集中监控提供了科学依据, 实现了多系统的业务融合, 同时车辆部门和货运部门利用超偏载检测信息开展各自专业的工作, 扩大了各自专项系统应用的外延, 提升了信息的综合利用价值。

4.5 综合报警评判算法模型与分析方法的研究

THDS 系统对防止燃切轴事故有重大作用, 但由于其自身技术的局限性, 尚存较多的热轴误报及漏报, 从而影响铁路运输安全和效率。通过深入研究发现, 燃切轴事故与车轮踏面损伤有密切关联, TADS 监测信息与轴承剥离类损伤有密切关联, 可以通过综合 THDS 轴温监测、TPDS 踏面损伤监测、TADS 轴承声学监测, 极大地改善高红外热轴报警质量。为此在铁道部以路网监控车辆为索引建立多系统多测点检测主题数据库, 以车辆轮位为纲汇总全路 THDS、TPDS 及 TADS 监测信息和报警信息, 并通过与 HMIS 系统信息共享, 准确地掌握车辆轴承类型。采用数据挖掘技术创新性地提出热轴报警综合评判模型, 以 THDS 热轴信息为主, 结合 TPDS 的踏面损伤、TADS 滚动轴承故障的声学诊断和轴承型号等信息, 对热轴故障进行智能综合评判, 极大地提高了热轴预报的质量。

4.6 数据综合利用和辅助决策支持研究

5T 综合应用系统中通过建立专家系统和知识库, 针对数据特征和主题分析需求研究相对应的抽样方法、数理统计分析和数据挖掘方法, 利用智能分析技术来研究 5T 系统监测数据, 为各级车辆管理和现场作业人员提供了 5T 系统的实时报警监控、综合查询分析、跨系统横向关联检索以及为 5T 各专项应用和 5T 综合报警评判, 形成各专项应用上下级系统多点间、5T 整合综合应用多系统间协同工作的局面。

依据 5T 系统综合应用的支持, 全路各级车辆管理者和决策者可以全面了解路网运行车辆的安全监测情况, 掌握车辆运用的整体状况。通过数据分析得到较为科学的数据, 为车辆的运用、管理、维护制度的建立和政策的出台提供了辅助决策依据, 促使全路车辆安全管理由传统向一般转变, 由人控向机控转变, 由粗放管理向集约管理转变, 大大提升了 5T 系统综

合应用的价值,促进了车辆管理向现代化、科学化、信息化迈进。

4.7 管理体制与配套运管修规章制度的建立

铁路货车运用工作是按《铁道货车运用维修规程》(以下简称《运规》)进行的,在 5T 系统的发展过程中,货车运行安全监控 5T 系统应用先进的技术手段,其部分设备的技术指标超出了《运规》的范畴。技术装备上的创新,若不辅以管理体制的更新,将难以充分发挥其作用。因此,铁道部根据 5T 系统建设、应用发展的需求,对现行体制中不适应系统发展的地方进行了相应的调整,2006 年以来相继出台了《5T 系统设备管理办法》、《TPDS TADS TFDS 系统设备检修维护管理规程》、《车辆轴温智能探测系统 (THDS) 设备检修维护管理规程》、《货车安全防范系统 (TPDS、TADS、TFDS) 运用管理细则》、《客车运行安全监控系统 (TCDS) 设备管理检修运行规程》等一系列管理制度,逐步建立和完善了货运安全防范系统的运用管理维护管理体制,促进了 5T 系统的良性发展。

5 应用效果分析及展望

从 2004 年开始,5T 系统在全路 18 个铁路局及铁路公司推广实施。截止到 2008 年底,全路已安装 THDS 4 600 余套、TPDS 70 套、TADS 50 套、TFDS 122 套,在 16 个车辆段的近 700 组客车安装了 TCDS,初步建成覆盖我国主要铁路干线的车辆安全监控网络,大大强化了车辆安全监控力度,2003—2007 年,旅客发送量增长 28.5%,货物发送量增长 52.7%,而全路行车重大、大事故比前 5 年减少了 44.5%,经济和社会效益显著。

5T 系统采用动态监测技术,通过信息整合、综合预报,实现了车辆运行安全监控手段的重大突破,使得铁道车辆安全保障工作由传统向现代转变,由人控向机控转变,由粗放管理向集约化管理转变。5T 系统保障了列车提速、重载和长交路运行的安全,通过列车不停车动态检查,大幅度提高运输效率,加快车辆周转,保障运输畅通。5T 系统促进了车辆安全管理的科学化,为全路车辆技术政策的制定提供了科学依据,为货车的状态修提供了数据支撑,为货车运用管理现代化奠定了坚实基础。

随着 5T 系统覆盖范围的不断扩大,将逐步消除动态监控盲区,形成一个遍布全路的全方位、全立体的车辆运行安全监控网络。5T 系统应用的不断深化以及相关业务系统的业务融合与信息共享,将全面

提高全路重要关口的车辆动态检查手段,保证作业质量,提高作业效率,使运输效率进一步提高,车辆运行安全保障方式将呈现出多样化、层次化,车辆安全防范预警能力将提升到新的更高水平。

参考文献:

References:

- [1] 刘瑞扬. 建设地对车综合安全监控网络信息系统 [J]. 铁路计算机应用, 2005, 14 (4): 18—20
LIU Ruiyang Building Integrated Ground Vehicle Operation Safety Monitoring Network Information System [J]. Railway Computer Application, 2005, 14 (4): 18—20
- [2] 陈伯施, 刘瑞扬. 地对车安全监控体系 5T 系统信息整合与应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006
CHEN Boshi, LIU Ruiyang Integration and Application of Ground Vehicle Operation Safety Monitoring Information System [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2006
- [3] 刘瑞扬, 王毓民. 铁路货车运行状态地面安全监测系统 (TPDS) 原理及应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005
LIU Ruiyang, WANG Yumin Theorem and Application of Lorry Performance Detection System [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2005
- [4] 刘瑞扬, 王毓民. 铁路货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统 (TADS) 原理及应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005
LIU Ruiyang, WANG Yumin Theorem and Application of Trackside Acoustic Detection System [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2005
- [5] 李百泉, 刘瑞扬, 张军. 货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统 [J]. 中国铁路, 2006 (9): 35—38
LI Baiquan, LIU Ruiyang, Zhang Jun Trackside Acoustic Detection System [J]. Chinese Railways, 2006 (9): 35—38
- [6] 刘瑞扬, 王毓民. 铁路货车运行故障动态图像监测系统 (TFDS) 原理及应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005
LIU Ruiyang, WANG Yumin Theorem and Application of Trouble of Moving Freightcar Detection System [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2005
- [7] 刘瑞扬. 铁路货车运行故障动态图像监测系统 (TFDS) 原理及应用 [J]. 中国铁路, 2005 (5): 26—27
LIU Ruiyang Principle and Application of TFDS [J]. Chinese Railways, 2005 (5): 26—27
- [8] 刘瑞扬, 杨京. 铁路客车运行安全监控系统 (TCDS) 原理及应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005
LIU Ruiyang, YANG Jing Theorem and Application of Train Coach Running Safety Diagnosis System [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2005

(下转第 18 页)

某一信息源数据失效时, 利用其他信息源数据实现系统稳定有效的输出, 提高了系统的可靠性。相对于以往基于单信息源的方法, 本技术在环境适应性、识别准确性等方面的性能得到了很大提高。

参考文献:

References:

- [1] WIERWILLE W W, ELLSWORTH L A. Evaluation of Driver Drowsiness by Trained Raters [J]. Accident Analysis and Prevention, 1994, 26 (5): 571—581.
- [2] PAPADELIS C, CHEN Z, KOURTIDOU-PAPADELI C, et al Monitoring Sleepiness with On-board Electrophysiological Recordings for Preventing Sleep-deprived Traffic Accidents [J]. Clinical Neurophysiology, 2007 (118): 1906—1922.
- [3] LAL S K L, CRAIG A. Driver Fatigue: Electroencephalography and Psychological Assessment [J]. Psychophysiology, 2002 (39): 1—9.
- [4] NILSSON T, NELSON T M. Development of Fatigue Symptoms during Simulated Driving [J]. Accident Analysis & Prevention, 1997, 29 (4): 479—488.
- [5] HAYASHI K, ISHIHARA K, HASHIMOTO H, et al Individualized Drowsiness Detection during Driving by Pulse Wave Analysis with Neural Network [C] // Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems Vienna, Austria; [s n], 2005: 901—906.
- [6] GRACE R, BYME V E, BIERMAN D M, et al A Drowsy Driver Detection System for Heavy Vehicle [C] // Proceedings of the 17th Digital Avionics Systems Conference Bellevue, USA; [s n], 1998: 136/1—136/8.
- [7] GU Haisong, JI Qiang, ZHU Zhiwei, et al Active Facial Tracking for Fatigue Detection [C] // Proceedings of the Sixth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision Orlando, FL, USA; [s n], 2002: 137—142.
- [8] HIZEM W, KRICHEN E, NI Y, et al Specific Sensors for Face Recognition [C] // Proceedings of International Conference on Biometrics Hong Kong, China; [s n], 2006: 47—54.
- [9] ERIKSSON M, PAPANIKOTOPOULOS N P. Eye-tracking for Detection of Driver Fatigue [C] // Proceedings of IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Boston, USA; [s n], 1997: 314—319.
- [10] SINGH S, PAPANIKOLOPOULOS N P. Monitoring Driver Fatigue Using Facial Analysis Techniques [C] // Proceedings of IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems Tokyo, Japan; [s n], 1999: 314—318.
- [11] SMITH P, SHAH M, VITORIA L N. Monitoring Head/Eye Motion for Driver Alertness with One Camera [C] // Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition Barcelona Spain; 2000: [s n], 636—642.
- [12] SMITH P, SHAH M, VITORIA L N. Determine Driver Visual Attention with One Camera [J]. Intelligent Transportation Systems, 2003, 4 (4): 205—218.
- [13] ITO T, MITA S, KOZUKA K, et al Driver Blink Measurement by the Motion Picture Processing and Its Application to Drowsiness Detection [C] // Proceedings of The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems Singapore; [s n], 2002: 168—173.
- [14] LIU X, XU F L, FUJIMURA K. Real-time Eye Detection and Tracking for Driver Observation under Various Light Conditions [C] // Proceedings of Intelligent Vehicle Symposium Versailles, France; [s n], 2002: 344—351.
- [15] CHU J W, JIN L S, TONG B L, et al A Monitoring Method of Driver Fatigue Behavior Based on Machine Vision [C] // Proceedings of Intelligent Vehicle Symposium Parma, Italy; [s n], 2004: 351—356.

(上接第 6 页)

- [9] LIU Ruiyang The Formation of Ground-to-Train Safety Monitoring System in China [C] // Proceedings of 8th International Heavy Haul Conference Rio de Janeiro, Brazil; Riocentro, 2005.
- [10] 刘瑞扬. 客车运行安全监控系统 [J]. 中国铁道科学, 2007, 28 (2): 15—23.
LIU Ruiyang. Train Coach Diagnosis System [J]. China Railway Science, 2007, 28 (2): 15—23.
- [11] 赖冰凌, 王新宇. Relief 算法在关门车故障自动识别中的应用 [J], 铁路计算机应用, 2007, 16 (1): 21—23.
LAI Bingling, WANG Xinyu Application of Relief Algorithm to Valve Closing Trouble Automatic Recognition [J]. Railway Computer Application, 2007, 16 (1): 21—23.
- [12] 中华人民共和国铁道部. 铁运【2008】257 号, 车辆轴温智能探测系统 (THDS) 设备检修维护管理规程 [S]. 北京: 铁道出版社, 2009.
P. R. China Ministry of Railways Equipment Repair and Maintenance Regulation of Trace Hotbox Detection System, China Railway Publishing House Beijing, 2009.
- [13] 刘春煌, 桑苑秋, 李继先, 等. 沪宁线行车安全监控信息网络技术方案和管理中心的研究 [J]. 中国铁道科学, 2002, 23 (6): 15—23.
LIU Chunhuang, SANG Yuanqiu, LI Jixian, et al Study on the Technical Solution for Integrated Railway Traffic Supervision Information Network and Management Center for Shanghai-Nanjing Line [J]. China Railway Science, 2002, 23 (6): 15—23.