

轨道交通装备智能化技术的 研究及应用

丁荣军, 杨卫峰, 唐 军

(南车株洲电力机车研究所有限公司, 湖南 株洲 412001)



摘 要: 提出了轨道交通装备智能化的概念、系统架构, 总结了智能化的技术基础和应用情况, 并对其发展进行了展望。

关键词: 轨道交通; 轨道交通装备; 智能化; 列车通信网络

中图分类号: U2; TP273+.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2012)05-0001-04

作者简介: 丁荣军 (1961-), 男, 博士, 高级工程师 (教授级), 中国工程院院士, 长期从事铁路机车车辆交流传动与网络控制技术的理论研究、技术开发和工程应用工作。

Research and Application of Intelligentizing Technology for Rail Traffic Equipment

DING Rong-jun, YANG Wei-feng, TANG Jun

(CSR Zhuzhou Institute Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Concept and system structure of rail traffic equipment intelligentizing were presented, technic base and application of which was summarized, at the same time, development of it was prospected.

Key words: rail traffic; rail traffic equipment; intelligentizing; train communication network(TCN)

0 引言

2008 年以来, 随着京津城际、武广、京沪等客运专线的开通, 中国逐步拥有全世界运营速度最快、里程最长的高速铁路网。与此同时, 城轨车辆正在迅速增加, 如北京、上海、深圳、广州、天津、长沙、武汉、无锡等近 30 个城市已经或者正在修建城市轨道交通。随着轨道车辆的增多以及运行速度的提升, 用户对设备的可靠性、可用性、可维护性、安全性 (RAMS) 和生命周期成本 (LCC) 的要求也越来越高, 因此很有必要提高轨道交通装备的智能化水平。

轨道交通装备智能化的技术源头可追溯到上世纪 70 年代后期, 微处理器逐步应用到机车车辆单个设备的控制上, 譬如西门子、BBC 在 80 年代初把 8086 微处理器应用于机车的传动控制; 南车株洲电力机车研究所有限公司在 80 年代前期开展了 Z80 单板机控制静止劈相机的研究、试验。随着需要协同控制的对象增多, 产生了基于串行通信的层次化列车通信网络, 并于 1999 年 6 月发展为 IEC 61375 列车通信网络标准。

到目前为止, 轨道交通车载电气设备的控制、状态监视、故障报警大部分都基于列车通信网络 WTB/MVB 进行^[1]。

自进入本世纪之后, 随着现场总线网络、列车骨干网 (Ethernet Train Backbone, ETB)、列车编组网 (Ethernet Consist Network, ECN)、无线通信、物联网^[2]等诸多技术的应用, 轨道交通装备智能化正在加速发展。

1 轨道交通装备智能化的定义

轨道交通装备的发展经历了如图 1 所示的微机化、网络化、智能化发展历程。轨道交通装备智能化是将现有牵引控制、辅助电源、制动、ATC、机务信息、旅客信息等系统的设备运营状态, 通过标准化的网络组成一个统一的感知、识别、交流、诊断与决策的开放式系统, 以支撑列车智能控制、智能监测诊断、智能维护、智能安全和智能旅客服务等功能, 提升列车运行性能、安全性、乘客舒适度, 提高列车运营维护和运营管理水平, 降低列车的能源消耗, 满足国民经济对轨道交通越来越高的要求。

收稿日期: 2012-08-10

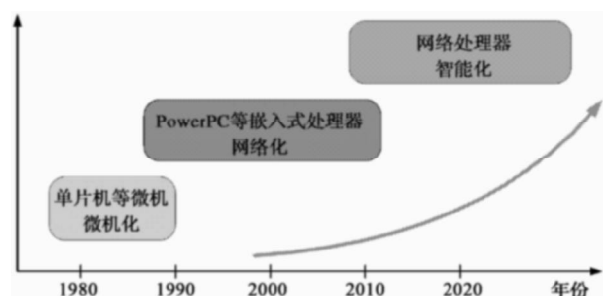


图1 轨道交通装备的微机化、网络化、智能化发展

轨道交通装备智能化涉及传感器及信号处理、通信、数据库、人工智能、分布式计算等多项技术。相比于当前轨道交通装备网络化的特点，智能化要求轨道交通装备朝着人类智慧发展，具体表征为：

①具备人类感官功能：通过智能传感器采集设备的状态和外界环境等数据，使得列车具备视觉、听觉、触觉等感官功能。

②具备观察能力和识别能力：遵循IEEE、IEC等国际标准^[3-4]，通过标准化的协议和服务描述语言，实现设备的地址自动分配，功能自动发现与识别，达到电气设备在线可替换。

③具备人类的交流功能：基于语义及推理，交通装备能获得自身及相关设备状态数据。

④具备自诊断、自决策功能：通过自身及相关设备的状态数据采集、传输、存储和挖掘，推断或者预判存在的故障或风险，辅助运营部门决策，提高轨道交通的安全性能。

⑤服务更温馨，人性化特点更突出：智能化采用面向服务的架构(Service Oriented Architecture, SOA)，定义网络服务设备纲要(Device Profile for Web Service, DPWS)^[5]。从用户需求出发自上而下定义的服务接口，使得装备提供的功能更加人性化，从而提高轨道交通的舒适性。

2 轨道交通装备智能化的系统架构

轨道交通装备智能化采用开放式的系统架构，遵循相同标准和规范的设备、子系统都可以通过智能网络集成到系统中，通过协作完成一系列特定的功能。

图2是轨道交通装备智能化的系统构架框图。其中，轨道交通装备包括车体、转向架、轮轨、主变流器、电机、辅助变流器等各大部件。智能网络包括列车通信网络、车地无线通信网络和地面数据中心，用于车载设备之间以及车载设备与地面数据中心之间的数据传输。智能决策与评判是基于被采集的数据，通过专家系统分析，判定各部件的运营状态。智能应用是交通装备通过智能网络协同，向用户提供综合性的功能，包括列车及子系统的智能控制、状态监测与诊断、智能维护、智能安全和旅客服务等。

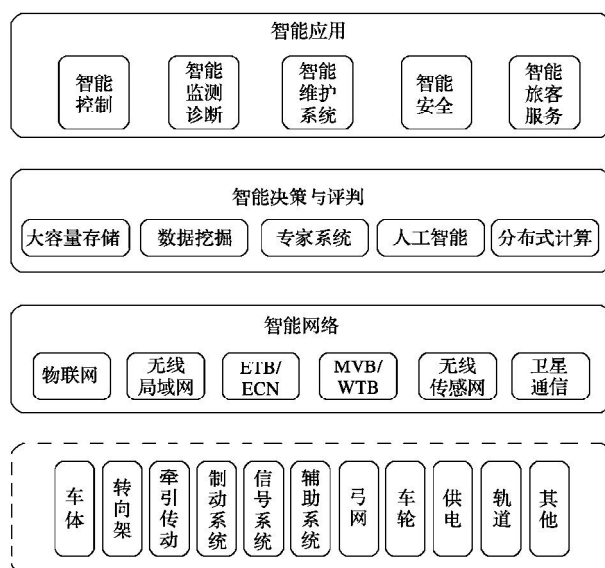


图2 轨道交通装备智能化的系统构架框图

3 轨道交通装备智能化的技术基础

现有控制、通信等系统以及前沿的信息技术构成了轨道交通装备智能化的技术基础，主要包括数据采集技术，网络通信技术，智能决策与评判技术和面向服务架构技术。

3.1 数据采集技术

交通装备是智能化的载体，完成装备状态数据的采集是智能化的前提。对于没有通信接口的机械装备，譬如车体、车轮、轴等部件，需要通过射频电子标签(Radio Frequency Identity, RFID)以及温度、湿度、位置、角度、速度、加速度、电量等传感器获得其状态信息，通过现场总线、以太网或无线传感器网络接入到智能网络中。数据采集技术主要包括高精度传感器、RFID和传感器网络等技术。

3.2 网络通信技术

网络通信技术是交通装备智能化的基础。智能网络采用以太网、无线局域网、移动通信网络为骨干网络，兼容总线技术的集成，其架构示意图如图3所示。

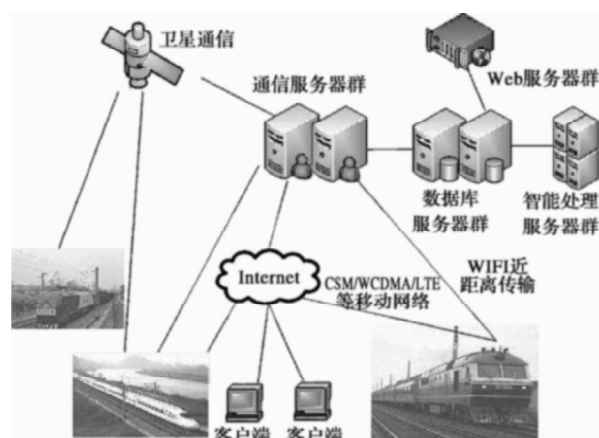


图3 轨道交通装备智能化的通信网络

智能网络中采用的通信技术包括:

①以太网通信技术: 在新IEC 61375标准中, 列车通信网络包括基于实时以太网的列车骨干网和列车编组网, 两者都提供100 Mb/s的通信带宽。以太网通过快速交换、服务质量、实时以太网协议等算法策略, 在提高传输带宽的同时, 保证了实时性和确定性。

②总线通信技术: 目前我国的列车网络一般采用WTB, 车辆和设备网络采用MVB、CAN、RS485、电流环、HDLC等总线。虽然这些总线带宽不高, 但是具备很好的可靠性、实时性和灵活性。

③无线通信技术: 新的IEC 61375标准制定了车—地无线通信网络子标准。通过WCDMA技术的3G移动通信网络和LTE技术的4G移动通信网络, 传输轨道交通装备在途实时状态数据到数据中心。通过IEEE 802.11b/g/n标准高速无线局域网, 下载装备的故障记录、事件记录等历史数据。基于高频微波通信技术, 点式应答器传递列车控制所需的地面信息。

④卫星通信技术: 当采用GPS获得位置信息后, 通过车—地无线通信传输到地面数据中心; 采用北斗卫星时, 可基于卫星短信息通道和车—地通信冗余地进行数据传输, 更好地提高列车运行的安全。

3.3 智能决策与评判技术

交通装备的监测诊断、维护、视频以及旅客信息等数据通过智能网络发送到数据中心, 分布式地进行存储。通过数据挖掘搜索隐藏其中的关联性, 获得系统具有价值的潜在信息, 完成决策和评判。

3.4 面向服务架构技术

交通装备智能化的核心是提供标准化的功能服务接口, 以相互协作完成一系列特定的用户功能需求。协同工作需要下面的基础技术支撑:

①面向服务的架构: 面向服务的架构是软件组件模型, 将应用程序的不同功能单元通过定义的服务接口和契约联系起来, 使得复杂系统的功能单元可以以统一和通用的方式进行交互。正在制定的IEC 62580标准中, 车载系统(视频监控/维护系统/司乘人员支撑系统/运营支撑系统)将采用SOA架构来规范相关设备的应用程序组件及接口。

②网络服务技术: DPWS是关于设备的一个网络服务协议精简子集, 用于规范设备的服务发现、服务寻址、服务加入、客户端搜索和定位服务。DPWS具体包括: DPWS-发现, DPWS-安全, DPWS-描述等服务。IEC 62580标准对车载设备的DPWS进行详细的规范。

上述基础技术已经分别应用在动车组、大功率机车和城轨车辆上。

4 智能化技术的应用

将智能化技术应用在车辆的控制、监测和诊断、维护、安全、旅客信息等方面, 主要有以下实例。

4.1 ATO与车站定点停车

通过自动列车控制ATO、车辆控制单元VCU、牵引控制单元TCU和制动控制单元BCU的协同, 根据乘客舒适度和信号系统移动闭塞的要求, 在各种载荷下完成最佳的启动和停止控制。车站定点停车需要与地面信号系统和屏蔽门系统协同配合, 位置误差服从 $N(0, 132)$ 正态分布, 误差 ± 132 mm、 ± 264 mm、 ± 396 mm和 ± 500 mm以内的概率分别达到68.26%、95.44%、99.74%和99.99%。优先利用再生制动, 将列车的动能转化为电能, 同时减小闸瓦磨损, 避免使用闸瓦造成的粉尘污染、噪声污染。

4.2 智能化节能型辅助系统

辅助系统包括辅助变流器、空调、空压机、照明等设备, 辅助系统与车辆的舒适性相关。为保证旅客舒适性, 避免非必要的高能耗, 实现节能目标, 智能化节能型辅助系统应根据高峰时段或非高峰时段、24 h环境温度、四季温度变化、停车和行车、正常供电工况和扩展供电工况等运营情况, 考虑牵引和再生制动的特点, 量身定制辅助系统的总功率; 充分发挥变频优势, 制订变频策略, 动态调节辅助系统的工作负载。

4.3 共享路权信号系统

低地板车作为一种极具特色的轨道交通车辆, 其特点之一是与普通汽车同在路面开行, 存在共享路权的问题。中国的大中小城市都有采用低地板车的潜在需求, 部分大城市已经开通了低地板车。中国南车正着手开发配套的共享路权信号系统。

共享路权信号系统除了具有城轨交通信号系统常规功能外, 还需要与普通公路红绿灯接口联动, 实现智能的交通管理; 其车载系统还需要有障碍物探测功能, 与BCU配合实现防撞功能, 把可能的对汽车和行人的碰撞伤害减小至最小。

4.4 精简传感器的牵引系统

列车的牵引控制一般需要基于多个传感器采集的数据。传感器的损坏将导致控制系统发生故障。精简牵引系统的传感器数量, 依靠对少数骨干传感器信号的分辨和提取, 获得其他辅助传感器的信息用于牵引控制, 将提高控制系统的可靠性, 降低因传感器损坏导致的故障发生。

4.5 网络设备的自动寻址

车载网络设备的通信地址通过自动分配算法进行配置, 采取自动初运行算法形成设备目录库。设备之间进行数据传输时, 通过统一资源标识和目录库进行自动寻址。通过自动寻址功能, 设备将具有相同的硬件、软件和配置。设备更新和互换后, 无需重新配置即可实现通信。

4.6 基于最小能耗的ATO模式

ATO实现列车加速、减速等自动控制, 保证列车运行的安全性和准时性。城市轨道交通由于线路站点密度高, 列车在运行过程中需要频繁地加速和减速。

列车加速时,需要从电网吸取电能,列车从最高速度开始减速时,又具有极丰富的动能资源。如果在减速过程中能把动能高效地转化成电能回馈到电网中,将极大地降低能量消耗。通过优化ATO相应的控制目标和控制策略,将实现能源最优的列车控制。

4.7 远程监测与诊断

智能监测和诊断系统由数据采集系统、网络传输系统、地面监测和诊断系统组成。数据采集系统由各类高精度传感器、继电器、探头以及探测设备组成。主要采集数据包括:

- ①电压电流数据:网压、网流、蓄电池电压、斩波电流、逆变电流等;
- ②温度数据:电机温度、制动电阻温度、轴温、油温、环境温度等;
- ③压力数据:总风压力、制动缸压力、载荷等;
- ④速度数据:电机转速、列车实际速度等;
- ⑤探测数据:烟火报警探测、水箱水位探测、水管漏水探测等;
- ⑥其他数据:故障数据、记录数据等。

采集的数据通过网络传输系统传输到地面,以此为基础进行监测和诊断。监测和诊断系统一般安装在指挥调度中心,可以实时监测所有在线运营的车辆以及相关线路信息。专家系统综合各类信息,进行故障预警、故障诊断,并指导司机和乘务员进行现场突发事件处理,指导售后维护人员进行车辆回库检修等工作。

4.8 维护与检修

维护与检修是指轨道交通装备将自检自诊断功能接口标准化,通过智能网络支持列车的维护检修。只需要在显示器等人机交互的地方启动检修模式,所有的交通装备即进行自检自诊断,并对异常的结果进行报警。

4.9 自动列车控制系统ATC

自动列车控制系统ATC包括列车自动监控系统ATS、列车超速防护系统ATP及列车自动驾驶系统ATO。ATS可以实现对列车运行的监督和控制,辅助行车调度人员对全线列车运行进行管理;ATP保证列车间隔,实现超速防护;ATO利用车载信息和地面信息实现对列车牵引、制动的控制。3个系统的设备通过智能网络实现数据共享,使列车处于最佳运行状态,提高乘客的舒适度和列车准点率,节约能源。

4.10 安全预警传感网

安全预警传感网是一种针对城轨列车在途状态及安全运营关键设备状态检测而构建的系统,通过状态检测节点全局获取列车运行及列车安全运营关键设备的状态数据,通过异常预警、预判分析等手段,为排除影响列车安全运营不利因素提供数据。

4.11 视频监控与公共安全

视频监控系统是轨道交通公共安全保证的重要组成部分,主要通过视频对车站、列车车厢、车辆段、停车场、综合基地、主变电站(所)、运营控制中心等场所

进行监控,把握轨道交通各站点的物流、人流情况,通过智能的图像识别,提取门、站台等关键位置的安全信息,并将信息融入到列车控制中,避免人身安全事故的发生。

智能化技术的应用根据用户的需求而改变,轨道交通装备智能化以标准化的功能及接口规范,有效地适应用户需求的变化,只需要在系统层面根据用户需求进行软件的变更即可满足用户的需要,不用对所有的设备进行底层软硬件的更新。与此同时,智能化技术将目前分散的各个子系统有机地融合在一起,发挥系统的最大功效,极大地提高轨道交通系统的性能。

5 轨道交通装备智能化的发展和展望

当前,已经有一系列的项目在推进铁路轨道交通装备的智能化。系统智能集成项目(Intelligent Integration of Railway System, InteGRail)是欧洲旨在推动轨道交通装备智能化的项目之一,主要由西门子、庞巴迪、阿尔斯通、法国铁路公司、UIC等欧洲的轨道交通企业、运营商以及标准化组织开发了一系列的装备集成规范和应用项目原型^[6]。该项目通过智能化集成,提高车辆装备、铁路运营、铁路基础设施、旅客运输等的安全性、可靠性、舒适性。铁路系统的能源管理(Management of Energy in Railway System, MERLIN)是欧洲另外一个智能化的项目,目标是开发轨道交通能源消耗优化策略的架构规范和运营网络,标识和定义铁路运营过程中能源智能管理的场景,通过智能化手段实现列车运行的绿色环保和节能^[7]。InterOS是日本基于以太网的智能化项目,其网络分为控制网络、状态监视网络、信息化网络和轨旁网络。通过异构的智能网络,提供海量信息,构建智能化应用。近几年,我国为了提高高铁运行的安全性,实现列车运行状态监测、维修预测以及安全评估,铁道部、科技部组织国内的企业、科研院所、高校开展了智能列车和智慧型列车项目研究。该项目旨在通过构建数字化平台、数据交换和处理平台、安全评估和决策支持平台以及乘客服务平台,实现对列车的智能化。863项目“城市轨道交通在途监测与安全预警”的目标是通过智能化的手段,实现城市轨道交通车辆的在途状态监测和安全预警,提高城市轨道交通列车的安全性。

轨道交通装备智能化实现了列车的控制、监测、诊断、维护、安全和旅客服务等功能。随着信息技术的发展,特别是云计算、物联网的蓬勃发展和逐步成熟,必将推动如图4所示的轨道交通系统的智能化,实现轨道、路基、接触网、桥梁、隧道、护坡等基础设施以及轨道交通装备的状态监测。列车运行过程中采集基础设施的状态数据,通过网络传输到后续列车或者地面服务器,实现列车、数据中心、基础设施之间的状态数据共享,从而实现轨道交通车辆、运营、运输管理、基

(下转第16页)

为 23 000~43 000 MPa, 亦高于钢。碳纤维由于其“轻而硬”“轻而强”的特点被广泛应用于各个领域。目前, 国内碳纤维产业发展迅速, 技术日臻成熟, 在更高速度等级列车的开闭罩等部位已开始试用碳纤维结构, 较传统玻璃钢结构, 其重量减轻约 1/3, 强度提高 1 倍以上。

新材料的发展和应用推动了高速列车的技术发展, 由于产业规模、结构适应性、成型加工工艺及成本等多种因素制约, 新材料的工程化进度相对滞后。随着科技的进步, 加工设备的大型化、高效化、智能化不断发展, 新材料以及新结构在高速列车的应用会越来越广泛。

3 试验与结论

高速动车组的降阻、减重是实现速度提升的关键技术。设计中, 采用了气动降阻和机械减重降阻相结合的原则: 从整车外形优化、车体表面平顺化、气流的流动控制等方面进行研究, 以减小气动阻力; 从车体、转向架等部件的轻量化及新材料应用进行研究, 实现整车的轻量化, 以减小机械阻力。试验表明, 与 CRH₂ 型动车组相比 CRH380A 头车阻力降低 15.4%, 8 编组整车气动阻力降低约 5%, 车体表面噪声降低了 7%, 列车动力学和综合舒适度指标优良。高速动车组的降阻减重措施不仅降低了运行阻力, 实现了速度提升的目标, 而且同时提高了乘客的综合舒适度, 满足行车安全以

及节能环保的最终要求。

参考文献:

- [1] 南车青岛四方机车车辆股份有限公司(南方). 高速动车组头型技术分析报告[R]. 青岛: 南车青岛四方机车车辆股份有限公司高速列车系统集成国家工程实验室(南方), 2010.
- [2] 南车青岛四方机车车辆股份有限公司. 和谐号 CRH₆ 型城际动车组车内结构轻量化技术分析[R]. 青岛: 南车青岛四方机车车辆股份有限公司, 2011.
- [3] Joseph A Schetz. Aerodynamics of High-speed Train[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 2001 (33): 371-414.
- [4] 南车青岛四方机车车辆股份有限公司. 武广客运专线气动效应试验研究报告[R]. 成都: 西南交通大学牵引动力国家重点实验室, 2009.
- [5] 王子延, 庞俊国. 细薄肋型减阻沟纹湍流减阻特性的实验研究[J]. 西安交通大学学报, 1999, 33(1): 35-38.
- [6] 丛茜, 封云. 三角形沟槽表面流场的数值模拟[J]. 船舶力学, 2006, 10(5): 11-16.
- [7] 宫武旗, 李新宏, 黄淑娟. 棱纹壁面减阻机理实验研究[J]. 工程热物理学报, 2002, 23(5): 579-582.
- [8] 王晋军, 李亚臣. 棱纹面三角翼减阻特性实验研究[J]. 空气动力学学报, 2001, 9(3): 283-287.
- [9] 西南交通大学. 武广客运专线联调联试及试运行试验噪声、模态、振动试验报告[R]. 成都: 西南交通大学牵引动力国家重点实验室, 2009.

(2012轨道电力牵引技术创新论坛主题论文)

(上接第4页)

基础设施等整体的智能化^[8]。

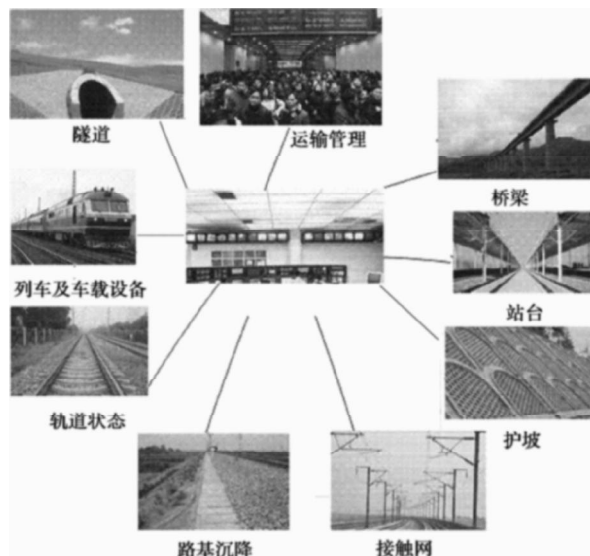


图4 轨道交通的智能化

6 结语

客运专线和城轨交通的蓬勃发展为装备智能化提供了市场支撑, 物联网、云计算等技术的日益成熟为装备智能化提供了技术支持, 装备智能化以及交通系统智能化将是大势所趋。智能化的终极技术在于模型计算, 智能化的终极目标在于高效服务。中国轨道交

通从低速普载向高速重载的发展, 取得了举世瞩目的成就, 在从高速重载向绿色智能的发展上, 通过国家的总体规划和组织, 企业、科研院所和高校的共同努力下, 也必将取得辉煌的成绩。

参考文献:

- [1] 路向阳. 列车通信网络的发展与应用综述[J]. 机车电传动, 2002(1): 5-9.
- [2] Luigi Atzori, Antonio Iera, Giacomo Morabito. The Internet of Things[EB/OL]. [2012-07-19]. <http://himalayas.u-aizu.ac.jp/IoT/survey/atzori-iotsurvey.pdf>.
- [3] IEC 61375-1: Train Communication Network, Part 1: General Architecture[EB/OL]. [2012-07-20]. http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/Artnum_PK/46576.
- [4] IEC 61375-3-4: Train Communication Network, Part 3-4: Ethernet Train Consist Network [EB/OL]. [2012-07-19]. www.iec.ch.
- [5] Devices Profile for Web Service Version 1.1 [EB/OL]. [2012-07-18]. <http://docs.oasis-open.org/ws-dd/dpws/1.1/os/wssdd-dpws-1.1-spec-os.pdf>.
- [6] InteGRail Introductions [EB/OL]. [2012-07-18]. <http://www.integrail.info/>.
- [7] UNIFE Annual Report[EB/OL]. [2012-07-18]. [http://www.unife.org/uploads/UNIFE_Annual_Report_2011\(1\).pdf](http://www.unife.org/uploads/UNIFE_Annual_Report_2011(1).pdf).
- [8] 杨燕, 朱炎, 戴齐, 李天瑞. 智慧轨道交通-实现更深入的智能化[J]. 计算机应用, 2012, 32(5): 1205-1207.

(2012轨道电力牵引技术创新论坛主题论文)