

城轨全自动运行系统发展历程及展望

张 奇

西安市轨道交通集团有限公司运营分公司 陕西西安 710000

摘 要: 进入 21 世纪后, 城市轨道系统的快速发展和城市现代化进程的加速, 城市交通拥堵问题日益突出。而城市轨道交通系统由于其运量大、效率高等优点, 能够实现大范围的客流聚集和规模出行, 是缓解城市交通拥堵的有效途径之一。之后, 为了提高城市轨道交通的运营和服务, 全自动运行系统 (Fully Automatic Operation, FAO) 应运而生。它依靠高性能计算机, 具有低延时、高可靠性、高集成度等优势, 实现新一代城市轨道交通自动化系统。基于此, 本文将对城轨全自动运行系统的发展历程以及展望进行简单分析。

关键词: 城轨全自动运行系统; 发展历程; 展望

Development history and prospect of urban rail automatic operation system

Qi Zhang

Operation Branch of Xi 'an Rail Transit Group Co., LTD. Xi 'an, Shaanxi 710000

Abstract: In the 21st century, with the rapid development of urban rail system and the acceleration of urban modernization, the problem of urban traffic congestion has become increasingly prominent. The urban rail transit system, due to its large volume and high efficiency, can achieve a large range of passenger flow aggregation and scale travel, which is one of the effective ways to alleviate urban traffic congestion. Later, in order to improve the Operation and service of urban rail transit, the Fully Automatic Operation system (FAO) came into being. It relies on high performance computer, has low delay, high reliability, high integration and other advantages, to achieve a new generation of urban rail transit automation system. Based on this, this paper will make a simple analysis of the development history and prospects of the urban rail automatic operation system.

Keywords: Urban rail automatic operation system; The course of development; Looking forward to

随着我国城市化的持续加快和城市人口的激增, 交通问题日益突出。作为一种快速有效的交通方式, 轨道交通已成为缓解城市交通拥挤的主要手段。近几年, 自动化程度更高的全自动化地铁在巴黎, 香港, 新加坡等发达国家的重要城市中逐渐兴起。全自动运营指的是整个运营过程都是由计算机控制系统来进行, 由自动化手段代替人工操作, 提高了运营效率, 提高了乘客的乘坐舒适性, 减少了运营成本, 减少了人为因素带来的运营风险。

一、城轨全自动系统发展历程

1. 实验探索阶段

有关城轨全自动系统的正式探索, 起始于 1959 年美国纽约时代广场的无人驾驶列车, 在中央火车站的摆渡线上开展研究, 与第二年完成了相关的测试试验, 第三年正式运行, 到 1962 年, 基本实现了无乘务员的载客运

行。在此基础上, 采用了一种固定的闭锁技术, 将不同频率的脉冲信号发送到轨道上, 达到了对列车速度的控制。虽然 FAO 起源于美国, 但它的发展在欧洲。1968 年 11 月, 英国伦敦开始了有人驾驶和无人驾驶混合车的实验, 它在维多利亚开始正式运营。德国柏林的 U9 号线路是由无人驾驶的乘客在 Spichernstrass 和 Zoological Gardens 之间行驶。当然, 在这段时间里, 屏蔽门和列车的启动都是手工操作, 自动化程度并不高, 并不能算是完全自动化。

2. 推广阶段

1981 年 2 月, 日本神户港岛线正式启用, 成为全球公认的 GoA4 轻轨列车; 1983 年 4 月, 法国里尔 Lille1 号线路开始研制 VAL 系统, 第一次使用了站台上将乘客与轨道分离的方式; 1985 年, 加拿大 Expo 高架线引进了

自主研发的ART系统，这是第一次将移动闭塞技术与CBTC技术引入城市轨道交通，使其运行效率得到了极大的提高。中国于2008年北京奥运前夕，将ART系统引入北京东直门机场快线。

3.成熟应用阶段

2010年以后，FAO体系比较成熟，欧盟组织了相关运营商、设备制造商和工业协会，以增强其竞争力。建立了统一的轨道交通市场，并启动了系列的技术和政策。其中，MODURBAN技术研究的主要目的是开发和开发下一代城市轨道交通系统，包括通信、车载、轨旁；欧洲IEC（International Electrotechnical Commission，简称IEC）和欧洲电气标准化委员会通过，这标志着FAO系统已经进入成熟阶段。最为典型的例子，便是2013年4月投入运营的法国巴黎地铁1号线。

二、全自动运行模式设计原则

列车控制系统的差异在于列车运行方式的差异。全

自动运转方式（Fully-Automatic Train Operating Mode, FAM）是一种在全自动运转系统中的工作方式。这种模式的设计采用了“向下兼容”的设计理念，当人工操作钥匙或发生故障时，全自动工作方式可以降低到不自动工作状态。如图1所示，在系统正常运行时，可以远程唤醒全自动运行模式，同时也可以列车回库之后，通过远程控制来实现休眠状态。除此之外，当出现网络通信故障之后，全自动运行模式，便会自动切换到蠕动模式（Creep Automatic Model, CAM）。在此期间，如果发现系统故障，或者需要由人工来完成操作，便可以由全自动运行模式，切换为人工驾驶模式（CM），同时也能够从人工驾驶升级为全自动运行。这种设计能够实现休眠模式、蠕动模式、全自动运行模式和人工驾驶模式的灵活切换，能够在系统出现故障的情况下，仍然可以安全运行，这种兼并模式为城轨运营提供了良好的发展空间。

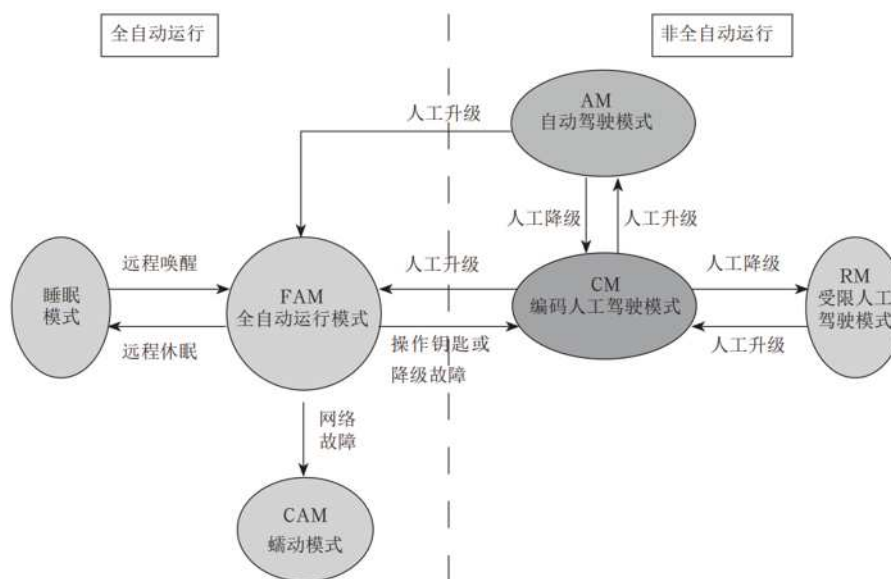


图1 全自动运行模式设计原则图

三、全自动运行系统的关键技术

1.自动驾驶控制技术

FAO在整个线路上都采取了自动驾驶的方式，即自动唤醒，启动，区间行驶，如进站精准停车等功能需求，对列车的安全运行提出了更高的要求。传统的列车控制算法主要是从面向控制的角度对城轨列车的结构、特点进行分析，并从面向控制的观点出发，对其进行识别，但是受车辆自身的因素，比如设备老化等，让模型参数也会出现变化，那么控制精度就会相应有所下降，FAO控制算法充分考虑了外界环境的影响，并在此基础上引入了一种自适应算法，提高了系统的稳定性。此外，

在正线运营中，还会根据线路速度、乘客舒适度等因素，增加了加速、巡航、制动等功能，从而实现对列车的实时调节。同时还能根据不同的环境要求，在停车时将FAO和雨雪模式进行有效切换。

2.安全防护技术

全自动化列车以脱轨和障碍物检测装置来替代驾驶员的监督，在列车行驶的安全距离以内，利用ATP（Automatic Train Protection）保护模式，对列车进行紧急制动。其中，车辆前侧设置了两个摄像头和一台激光传感器，对前方的障碍物进行有效探测。然后，列车向信号系统发送障碍信息，该系统就会发出紧急刹车停止，

并汇报地面ATP以建立防护区域。随后，中央监控中心发出警报，同时联动区间CCTV，查看现场情况，通知人员到事发地点处理安全事故。

3. 联动控制

信号、车辆、供电、机电、CCTV等数据通讯设备是实现自动化运行的基本保证。列车、站台、区间、停车场全面覆盖CCTV，将全部监测数据和维修资料汇集在中央，便于系统之间的互联；车辆调度和乘客调度实现了车辆的远程控制、状态监控和乘客的服务；利用海量的数据，实现对供电、机电、信号、车辆的综合检修和调度，并能对故障的危险性进行预测，确保行车的安全。

四、城轨云在全自动运行系统中的应用

近几年，随着我国城市轨道交通技术的发展，各种新的信息化、智能化技术层出不穷，使得整个系统的硬件资源得到了有效的利用，同时也大大的降低了项目的投资和运行费用。目前，我国轨道交通工业的智能化已经由摸索走向了实际，大数据和云计算正在逐步推广到城轨工业。突破了传统服务器资源的限制，通过将虚拟技术和网络技术相结合，构建了一个具有海量存储、动态资源分配和扩展功能、超强计算能力的云计算平台。2017年4月，武汉地铁打破了“按线、分专业”的建设模式，在全国率先提出铁轨线网云平台的建设思路；2019年1月在温州开通的S1线采用单线路、单专业的城

市轨道系统云平台，在云计算的基础上实现了系统的可靠性，并全面提高了运行效率及智能化效果；2019年12月，呼和浩特市地铁的1, 2号线，搭建了云平台系统。可见，在城市轨道交通系统中，实现核心业务的城轨云，是FAO系统进一步发展的必然趋势。

1. 城轨云平台底层架构

城市轨道交通云平台包括采集层、网络层和数据层应用层以及用户层五个层次。其中，数据采集层主要是针对具体的协议和时间进行数据采集，同时借助网络层，将相关数据传送到数据层；数据层通过对多项、海量的数据进行分类存储、计算以及管理等，与应用层一起建立数据库，完成数据整合和深入挖掘；最终通过网络层，来传递控制指令到应用层，完成站场管理、调度决策等；用户层主要以人机交互的方式，来实现信息展示，便于工作人员进行操作。

2. 城轨云平台系统架构

一般来讲，城市轨道交通的云计算平台分为两个层次，即中央和站点，并通过云计算平台进行统一的管理。系统架构见图2，依据冗余原理，建立了灾备中心，并依据不同的业务建立了信号、ISCS和AFC、ACC、CCTV等。

中心级的云平台由生产中心和灾备中心组成，如果中心级的云平台发生故障或者中心之间发生故障，则会切换到站点的备用应用服务，而城市轨道交通通常将生产中心设在控制中心，在车辆段建立了灾备中心，在线

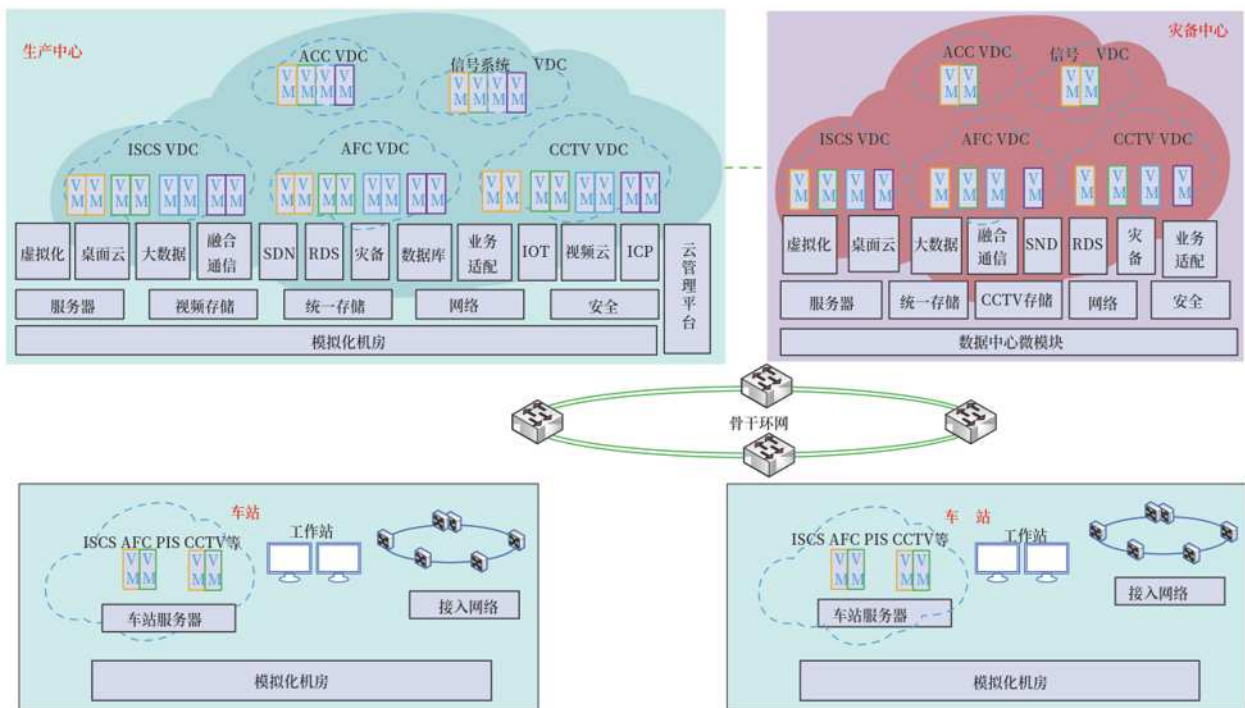


图2 城轨云平台系统架构

路上设置了云节点, 并利用主干环网和接入开关实现了对站点、车辆段和中心云平台的数据通讯。

五、全自动运行系统未来发展趋势

以全自动化运行方式为基础的列车运行系统, 能够在各种运行情况下, 完成原来驾驶员在各种运行情况下的各种作业, 从而达到列车控制、系统联动监测、故障管理、旅客监控管理等多种功能, 更好地保证列车的高效、安全运行。

相比于非自动运行系统, 全自动运行系统在DTO和UTO的基础上取得的进展为:

(1) 降低人工作业、提高自动化、提高准点率, 使城市轨道运行的安全、高效。

(2) 实现高速运行, 减少旅客等候时间, 改善服务质量。

(3) 通过对交通组织和规划的优化, 使出行更加灵活, 满足了客流的变化要求。

(4) 节约了人力资源, 降低了运行成本。

全自动运行系统不但使技术、设备自动化程度得到了极大的提高, 而且使铁路的技术和运行模式得到了全面的改善, 使整个铁路的控制设备的RAMS等级得到了进一步的提高, 从而达到了高安全、高可靠、高自动化的目的。

基于CBTC系统和车地通信, 建立了一套完整的运营解决方案, 实现了ATO的大规模应用。高度集中的自动化控制功能, 使得城轨运输系统日益复杂, 与地面间的各种交通设施也日益增多, 这将极大地制约着今后的铁路运输体系向更为舒适和灵活的发展。在全自动无人驾驶技术的基础上, 国内外对新一代列车控制系统进行了大量的研究, 车车通讯是以联网为基础的智能列车运行控制系统(I2TCS), 可以实现列车的高度智能化和高度自动化运行控制; 可与传统CBTC、CTCS等系统进行交互, 实现系统的互联互通; 可简化设备, 仅保留车上的设备和控制中心, 减少轨旁设备, 进一步降低费用。I2TCS可以在保证安全、可靠的前提下, 实现低能耗, 保证城轨、市域、城际和高速铁路的互联, 是今后的城市

轨道交通控制技术发展的必然趋势。

同时, 城轨云在城市轨道交通中的应用也已进入了一个成熟的阶段, 它将为我国交通大国的智慧交通建设提供有力的支持。这对于城市轨道交通安全、高效的生产经营有着重要的推动作用, 但与国外先进城市轨道交通相比, 目前还处在发展初期。因此, 必须在施工中不断积累经验, 尽早制定出一套统一的技术标准, 并将其与现有的技术规范有机地结合起来, 以达到更好的应用效果。

六、结束语

FAO具有高度的自动化功能, 能够有效地实现人力资源的优化, 减少运营人员的工作压力, 摆脱司机配置的制约, 24小时不停地提供运输服务, 提高运能。同时也提高了设备的自我诊断能力, 减少了人为操作的失误, 提高了系统的安全性。通过合理的调度, 减少多班空载, 达到节省费用和节能的目的。FAO是当前列车高度智能化运行的最佳实践, 也是今后城市轨道交通的发展趋势。自动驾驶系统集成了先进的自动控制、优化控制、人因工程等技术, 使其自动化水平得到了极大的提高。全自动驾驶是目前我国城市轨道交通运营控制技术发展的主要方向, 但仍有许多关键技术有待深入研究, 通过对国内外标准的安全性和要求进行研究, 可以对其潜在的风险进行识别和分析, 为实现自动驾驶系统的安全运行提供保障。

参考文献:

- [1]张艳兵, 王道敏, 肖衍.城市轨道交通全自动驾驶的发展与思考[J].铁道运输与经济, 2015(9): 74-78.
- [2]宋扬.城轨全自动运行系统发展历程及展望[J].交通世界, 2020.
- [3]肖衍, 苏立勇.轨道交通全自动驾驶系统集成技术研究[J].中国铁路, 2015(5): 109-113.
- [4]肖衍, 苏立勇.轨道交通全自动驾驶系统集成技术研究[J].中国铁路, 2015(5): 109-113.
- [5]武长海.城市轨道交通全自动无人驾驶技术应用探讨[J].铁路通信信号工程技术, 2016, 13(5): 54-58.