

平行轨道交通系统

宁滨

(北京交通大学, 北京 100044)

摘要: 新一代感知、大数据、人工智能、云计算等技术的不断进步, 推动了轨道交通系统体系和内容的全面创新。人工轨道交通系统是实际轨道交通系统的数字化、模型化、软件化定义, 是实际轨道交通系统在计算机世界中的虚拟重构。人工轨道交通系统和实际轨道交通系统共生存在、平行运行、虚实交互, 数据和智能驱动决策, 将引发轨道交通系统智能管理、运营和服务的新范式。

关键词: 平行轨道交通系统; 智能轨道交通系统; 平行系统

中图分类号: TP219

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-6652.201931

Parallel rail transportation systems

NING Bin

Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract: With the development of new perception, big data, artificial intelligence, and cloud computing techniques, the innovation of railway transportation systems is completely promoted. The parallel rail transportation systems are presented, in which the artificial rail transportation systems are the digitalization, modelling, and software definition of real rail transportation systems. The artificial rail transportation systems are the virtual reconstruction of real rail transportation systems in the cyberspace. The artificial rail transportation systems and real rail transportation systems are coexisting, parallel running, and interacting, which enables data-and-intelligence-driven decisions to lead to a new paradigm of intelligent management, operation, and services of rail transportation systems.

Key words: parallel rail transportation systems, intelligent rail transportation systems, parallel systems

1 引言

轨道交通在我国综合交通运输体系中占有重要的地位。作为高效、可持续发展的交通运输方式, 轨道交通是现代城市和区域运行协调发展的大动脉, 是国家社会和经济发展的基础设施和产业。

近年来, 我国轨道交通技术发展、创新迅猛, 轨道交通建设、运营里程全球领先。轨道交通系统涉及人、车、路线、设备、环境等众多因素, 是一个多学科、跨领域的复杂巨系统, 这给轨道交通系统的高效、可靠、安全运营带来了极大的挑战^[1-2]。当前, 物联网、大数据、人工智能、云计算等技术

的发展, 给轨道交通业的发展带来了新的机遇。

参考文献[3-5]对实际轨道交通系统中的车、路线、设备、业务流程、人、环境等所有要素进行数字化、模型化, 在计算机中构造出与实际轨道交通系统等价的软件定义的人工轨道交通系统, 形成实际轨道交通系统与人工轨道交通系统二者共生、平行运行、虚实交互的平行轨道交通系统。人工轨道交通系统指导实际轨道交通系统的模式将引发轨道交通系统智能管理、运营和服务的新范式^[6-7]。

2 平行轨道交通系统的基本组成

平行轨道交通系统由实际轨道交通系统和一个或多个人工轨道交通系统组成。平行轨道交通系

统的框架如图 1 所示。其中,人工轨道交通系统是实际轨道交通系统的数字化、模型化、软件化定义,是实际轨道交通系统在计算机世界中的“等价”虚拟重构。实际轨道交通系统和人工轨道交通系统平行运行、虚实交互,从而完成轨道交通系统的管理、控制、实验、评估等任务。

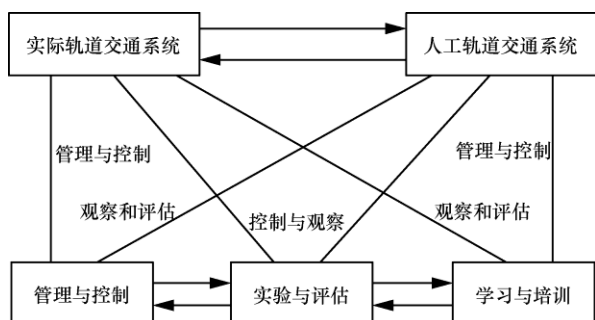


图 1 平行轨道交通系统框架

平行轨道交通系统是 ACP 方法在轨道交通领域的具体应用^[8-10],主要包含 3 个步骤:构建与实际轨道交通系统等价的人工轨道交通系统;在此基础上,通过计算实验认识实际系统各要素间的演化规律;最后,利用这些规律,将人工轨道交通系统和实际轨道交通系统结合,通过平行执行对实际轨道交通系统进行控制、管理与运营,同时,也可对相关人员进行虚拟培训,提高学习效率和对突发事件的应急处置能力。目前,ACP 方法已成功应用于道路交通、亚运会、智能驾驶、能源系统等领域^[11-14]。

平行轨道交通系统的运行模式主要有 3 种。

(1) 管理与控制

在该模式下,人工轨道交通系统和实际轨道交通系统实时交互,通过平行执行对轨道交通系统的运营状态进行预测、管理和控制。

(2) 实验与评估

在该模式下,主要进行各种场景和方案的分析、评估以及优化。

(3) 学习与培训

该模式主要供操作人员、调度人员、管理人员进行学习和培训。

针对具体任务,典型的平行轨道交通系统包括平行高速铁路系统、平行城市轨道交通系统等。

3 平行高速铁路系统

平行高速铁路系统的基本框架^[3]如图 2 所示。

人工高速铁路系统是实际高速铁路系统的映射,主要利用代理方法构建,包括设备代理、人员代理、运行环境和规则库等。在各自的运行环境下,代理根据规则库中的规则运行,既可以模拟已发生的事件,也可以推演、预测系统可能发生的行为和状态。为了保证人工高速铁路系统与实际系统的等价性,需要对设备代理、人员代理、运行环境、规则库进行合理性验证和行为一致性验证。根据实际高速铁路系统感知的数据和系统行为,反复迭代校正人工高速铁路系统,从而保证人工高速铁路系统的可信性。

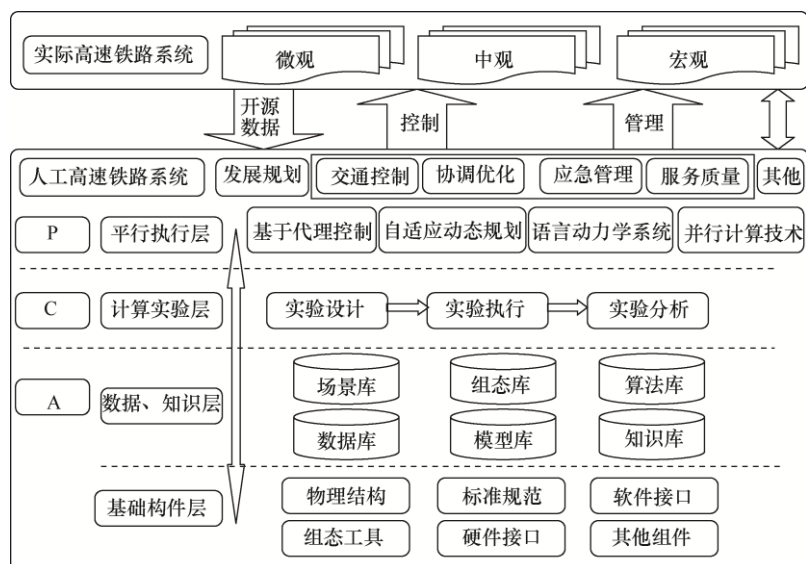


图 2 平行高速铁路系统基本框架

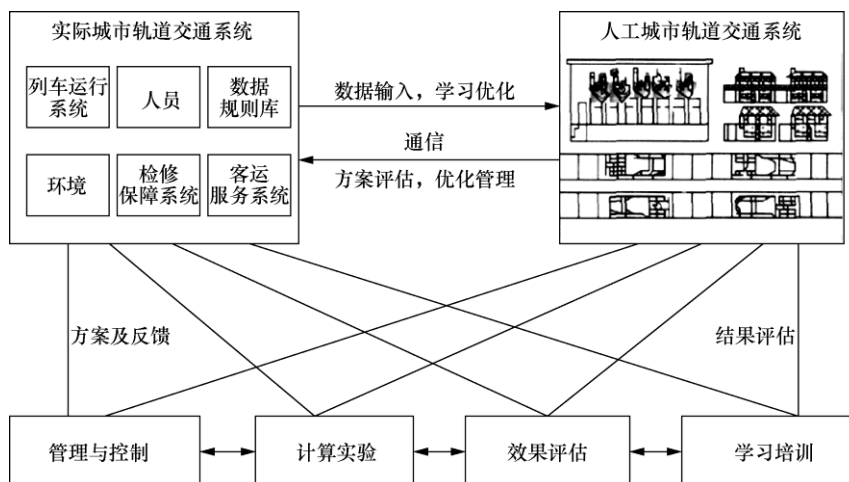


图3 平行城市轨道交通系统框架

在列车运行、调度、服务和应急等方面，借助人工高速铁路系统可以进行各种实验，低成本、高效率地完成方案评估和优化。同时，也可以对高速铁路列车运行控制系统、指挥调度系统等进行测试。通过实时通信获取实际高速铁路系统数据，人工高速铁路系统可对系统状态、方案进行推演、预测、评估、管控。

4 平行城市轨道交通系统

城市轨道交通系统在城市客运交通体系中起着非常重要的作用，保证其安全、可靠、高效运行是重要的研究课题。平行城市轨道交通系统包括实际城市轨道交通系统和人工城市轨道交通系统^[4]两部分，其系统框架如图3所示。

人工城市轨道交通系统包括列车运行系统、客运服务系统、检修保障系统、运行环境、人员、社会环境、数据规则库等模块，其中的基本组件根据规则相互作用，以自下而上的形式呈现出实际轨道交通系统的整体行为和系统功能。

基于人工城市轨道交通系统，可开展诸如客流分析、列车的日常运营、突发事件的应对、轨道交通路线规划等方面的计算实验。根据实际轨道交通系统的感知数据，可掌握实际系统的状态变化，不断地在线调节人工城市轨道交通系统上运行的管控方案，最终使管控方案达到人工指导实际的目的，从而使城市轨道交通系统可靠、安全、高效地运营。

5 结束语

轨道交通系统智能化是发展的必然趋势。感知

技术、大数据、人工智能技术的发展促使实际轨道交通系统的数字化、模型化和软件定义化。通过在计算机世界中重构实际轨道交通系统，构建覆盖轨道交通系统全生命周期的智能运营、维护和综合管理的人工轨道交通系统平台，使得人工轨道交通系统和实际轨道交通系统虚实交互、平行运行，将有助于全面提高列车运行的安全性和效率，提升对旅客的智能化服务水平。

参考文献：

- [1] 宁滨. 智能交通中的若干科学和技术问题[J]. 中国科学: 信息科学, 2018, 48(9): 1264-1269.
NING B. The problems of scientific and technical in intelligent transportation[J]. Scientia Sinica (Informationis), 2018, 48(9): 1264-1269.
- [2] NING B, TANG T, GAO Z Y, et al. Intelligent railway systems in China[J]. IEEE Intelligent Systems, 2006, 21(5): 80-83.
- [3] 宁滨, 王飞跃, 董海荣, 等. 高速铁路平行控制与管理研究框架[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2010, 7(4): 11-21.
NING B, WANG F Y, DONG H R, et al. Framework of parallel control and management for high-speed railway systems[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2010, 7(4): 11-21.
- [4] 宁滨, 王飞跃, 董海荣, 等. 基于 ACP 方法的城市轨道交通平行系统体系研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10(6): 22-28.
NING B, WANG F Y, DONG H R, et al. Parallel systems for urban rail transportation based on ACP approach[J]. Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(6): 22-28.
- [5] NING B, TANG T, DONG H R, et al. An introduction to parallel control and management for high-speed railway systems[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(4): 1473-1483.
- [6] DONG H R, ZHU H N, LI Y D, et al. Parallel intelligent systems for integrated high-speed railway operation control and dynamic scheduling[J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2018, 48(12): 3381-3389.
- [7] DONG H R, NING B, CHEN Y, et al. Emergency management of urban rail transportation based on parallel systems[J]. IEEE Transac-

- tions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(2): 627-636.
- [8] 王飞跃. 人工社会、计算实验、平行系统——关于复杂社会经济系统计算研究的讨论[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1(4): 25-35.
WANG F Y. Artificial societies, computational experiments and parallel systems, a discussion on computational theory of complex social-economic systems[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2004, 1(4): 25-35.
- [9] 王飞跃. 计算实验方法与复杂系统行为分析和决策评估[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(5): 893-897.
WANG F Y. Computational experiments for behavior analysis and decision evaluation of complex systems[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(5): 893-897.
- [10] 王飞跃. 平行系统方法与复杂系统的管理和控制[J]. 控制与决策, 2004, 19(5): 485-489, 514.
WANG F Y. Parallel system methods for management and control of complex systems[J]. Control and Decision, 2004, 19(5): 485-489, 514.
- [11] WANG F Y. Parallel control and management for intelligent transportation systems: concepts, architectures, and applications[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(3): 630-638.
- [12] 吕宜生, 陈圆圆, 金峻臣, 等. 平行交通: 虚实互动的智能交通管理[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(1): 21-33.
LUY Y S, CHEN Y Y, JIN J C, et al. Parallel transportation: virtual-real interaction for intelligent traffic management and control[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 21-33.
- [13] 刘腾, 王晓, 邢阳, 等. 基于数字四胞胎的平行驾驶系统及应用[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(1): 40-51.
LIU T, WANG X, XING Y, et al. Research on digital quadruplets in cyber-physical-social space-based parallel driving[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 40-51.
- [14] 张俊, 王飞跃, 方舟. 社会能源: 从社会中获取能源[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(1): 7-20.
ZHANG J, WANG F Y, FANG Z. Social energy: mining energy from the society[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 7-20.

[作者简介]



宁滨 (1959–2019), 男, 中国工程院院士, 北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室教授, IEEE Fellow, IRSE Fellow, 曾任 IEEE ITSS 轨道交通分委会主席, 获国家科技进步奖二等奖 3 项、特等奖 1 项, 省部级科技奖 8 项, 发表论文 180 余篇, 出版专著 3 部。