

天地一体化信息网络在铁路领域的应用展望

王开锋¹, 开祥宝¹, 李 明², 高 媛¹, 刘 运¹, 柴金川³

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所, 北京 100081 ;

2. 中国电子科技集团公司第十研究所, 四川 成都 610036 ;

3. 中国铁道科学研究院集团有限公司国家铁道试验中心, 北京 100015)

摘 要: 天地一体化信息网络具备覆盖面广、不受地域限制、建立便捷等优势, 可以与铁路既有通信网络融合互补, 拓展铁路通信服务能力和服务范围。在分析我国铁路通信应用现状的基础上, 从铁路业务、技术发展及智能铁路建设等方面论述天地一体化信息网络的应用需求。提出天地一体化信息网络铁路总体应用框架, 设计网络及卫星终端接入模式和应用模式, 分析天地一体化信息网络在铁路勘察建设、应急救援、铁路运营及安全保障等方向的典型应用需求。

关键词: 天地一体化信息网络; 卫星通信; 智能铁路; 应用技术

中图分类号: TN927

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2021013

Application Prospect of Space-Integrated-Ground Information Network in Railway

WANG Kaifeng¹, KAI Xiangbao¹, LI Ming², GAO Yuan¹, LIU Yun¹, CHAI Jinchuan³

1. Signal and Communication Research Institute, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China

2. The 10th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chengdu 610036, China

3. National Railway Test Center, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100015, China

Abstract: With the advantages of wide coverage, no geographical restrictions and convenient establishment, the space-integrated-ground information network can integrate with the existing railway communication network and expand the railway communication service capacity and service scope. Based on the analysis of the application status of railway communication system in China, the application requirements of the space-integrated-ground information network from the aspects of railway business, technical development and intelligent railway construction were discussed. The overall application framework of the space-integrated-ground information network was put forward, the access mode and application mode of the network and satellite terminals were designed, and the typical application requirements in railway survey and construction, emergency rescue, railway operation and security were analyzed.

Keywords: space-integrated-ground information network, satellite communication, intelligent railway, application technology

1 引言

近年来, 我国高速铁路逐渐向智能化发展, 将铁路与新兴的信息技术融合是智能高铁的主要创新模式^[1], 无线通信系统是铁路的关键基础设施之一, 可为智能铁路的建设与运维提供高性能、高可用的宽带通信网络。当前, 我国高速铁路使用铁路专用数字移动通信系统

(Global System for Mobile Communications-Railway, GSM-R) 作为主要的无线通信平台, 承载铁路调度通信、列车运行控制等关键应用业务^[2]。GSM-R属于窄带移动通信系统, 主要解决语音通信问题, 数据承载能力有限, 无法满足铁路信息化、智能化的发展需求, 建设宽带化、IP化的下一代铁路专用移动通信系统是铁路通

收稿日期: 2021-02-01; 修回日期: 2021-03-01

基金项目: 中国铁道科学研究院集团有限公司基金项目 (No.2020YJ009)

Foundation Item: The Technology Research Programme of China Academy of Railway Sciences Corporation Limited(No.2020YJ009)

信的发展趋势^[3]。

卫星通信作为主要的无线通信技术,与地面通信网络相比,具有覆盖面广、不受地域限制、建立便捷等优势,在国内外铁路行业得到了广泛的研究和应用。MAZZENGA等^[4]研究基于卫星通信和蜂窝移动通信的多个无线网络承载方案,并在意大利撒丁岛约300 km的铁路线路上开展测试。LIU等^[5]提出了一种将卫星与多个无线网络融合的铁路通信系统架构,使用多路径传输控制协议在多个子流上同时通信,提供无缝连接的切换过程。欧洲航天局在2013年开展的SATCOM项目中研究了卫星通信引入和授权框架规范,以支持铁路安全相关的关键业务,主要涉及卫星通信可以支持的应用和服务、与铁路现有地面通信网络的融合方案、卫星通信的经济可行性等内容^[6]。

2 铁路应用对天地一体化信息网络的需求

2.1 铁路卫星通信的发展需求

长期以来,我国铁路以地面通信网络建设为主,卫星通信因为成本、承载能力等多方面因素发展较为缓慢,应用模式单一,主要提供移动电话和窄带数据传输服务。其局限性主要体现在以下几个方面。

(1) 卫星通信应用广度、深度不足

卫星通信在铁路中的应用还局限于应急通信等少数场景,未实现规模化、常规化应用,特别是在地面网络覆盖不足的区段卫星通信未能发挥其应有的优势。

(2) 卫星数据通信能力不足

随着铁路信息化、智能化的发展,尤其是西部地区、沿边地区的铁路需要将勘察设计、建设施工、运营维护等阶段的数据实时回传到后方指挥中心和调度中心,这些区域的地面通信能力有限,加之缺乏大流量卫星数据通信能力,导致大流量数据无法及时回传。

(3) 天地融合通信能力不强

铁路通信网络通常只覆盖铁路沿线及枢纽地区,且地面网络因为受时空环境、自然灾害、人为破坏等因素影响,容易因损毁形成通信“孤岛”。没有充分发挥卫星通信网络在抗毁坏、抗灾能力等方面的优势,不具备“随时、随地、随遇接入”的泛在通信能力。

2.2 天地一体化信息网络的主要应用领域

天地一体化信息网络可以在不依赖地面专网的情况下独立成网,直接提供各种通信服务。这对有通信需求但无地面通信设施或建立地面通信设施不经济的地区有重要意义,能够推动铁路行业在建造领域、装备领域、运营领域的应用创新并提供共性服务支撑。

(1) 建造领域。在勘察设计阶段,天地一体化信息网络可以为铁路勘察人员、车辆、勘察设备提供高精位置及勘察信息的实时传输服务,提升复杂艰险山区的铁路勘察效率和精度;在施工阶段,为智能施工机械群提供大带宽、低时延的数据传输能力,实现智能施工机械与指挥系统的协同工作;依托天地一体化信息网络提供的数据传输能力,还可以搭建铁路建设工程管理平台,为铁路建设项目全生命周期的管理和监督提供通信服务。

(2) 装备领域。在灾害监测方面,为气象灾害、地质灾害、地震等潜在危险源的快速识别及实时交互提供广域覆盖、抗损毁能力强的数据传输服务。在列车运行控制及行车调度指挥方面,在铁路既有移动通信网络的基础上引入天地一体化信息网络,形成“天—地—车”一体化的通信体系,提升通信网络服务能力、服务质量及可用性。在基础设施监测方面,依托天地一体化信息网络提供的卫星物联网服务,可以支持铁路基础设施大范围、大接入的智能传感技术,扩展铁路通信网络的空间服务范围,实现铁路轨道、路基、隧道、桥梁、站房、接触网、电务设备等多专业结构状态综合感知。

2.3 天地一体化信息网络承载的主要业务

天地一体化信息网络在铁路领域应用的主要任务是为铁路各类业务提供语音、宽窄带数据及物联网服务,总体可以划分为以下3类。

(1) 铁路智能建造相关业务。为铁路勘察设计、工程施工和建设管理等铁路建设各专业提供全方位、全天候的语音及数据通信服务。

(2) 铁路智能装备相关业务。为铁路通信信号、移动装备、牵引供电及检测监测提供通信服务。与行车相关的业务通常对通信网络可靠性、传输时延等指标有较高的要求,主要包括列车调度命令无线传送、列车运行控制、列车自动驾驶等数据通信业务及铁路作业人员之间的语音通信;与移动装备监测相关的业务通常对网络带宽要求较高,主要包括列车及各类车载设备工况、健康状况等信息的传输;与基础设施、自然灾害相关的业务通常要求广覆盖、大连接,主要包括气象灾害、地震预警、地质灾害、运输基础设备等监测信息的传输。

(3) 铁路智能运营相关业务。为铁路客运服务、运输组织和养护维修提供通信服务,为旅客出行、检售票、智能运维等提供互联网接入和音视频数据传输服务。

3 天地一体化信息网络铁路应用技术体系

3.1 技术路线

天地一体化信息网络在铁路领域的推广应用与铁路

各业务系统的需求紧密结合，同时对铁路应用终端、接口协议、网络接入等共性关键技术统筹规划，在铁路建设、应急救援、铁路运营及安全保障等领域逐步开展应用。总体技术路线如图1所示。

依托天地一体化信息网络泛在通信能力，重点解决地面通信网络覆盖能力不足和高可靠通信等场景的应用需求。为满足各应用系统差异化需求，可以定制铁路专用终端和应用软件，针对铁路应用环境复杂、终端应用场景多样的特点，使用铁路专用卫星终端、卫星天线等设备接入天地一体化信息网络。同时，融合铁路专用移动通信、公众移动通信、卫星通信多种通信网络，共同

为铁路应用业务提供服务，提高通信可靠性，拓展天地一体化信息网络应用范围。设置铁路运维中心，完成卫星资源管理、路由管理、用户管理等工作，针对使用天地一体化信息网络可能带来的安全风险，采取必要的保障网络安全、信息安全和数据安全的措施。

3.2 应用体系架构

铁路应用业务系统的建设根据天地一体化信息网络的阶段能力与铁路发展需求逐步开展，应用体系架构如图2所示，包含天地一体化信息网络铁路服务平台、应用业务系统、铁路通信网、应用终端、网络安全和运

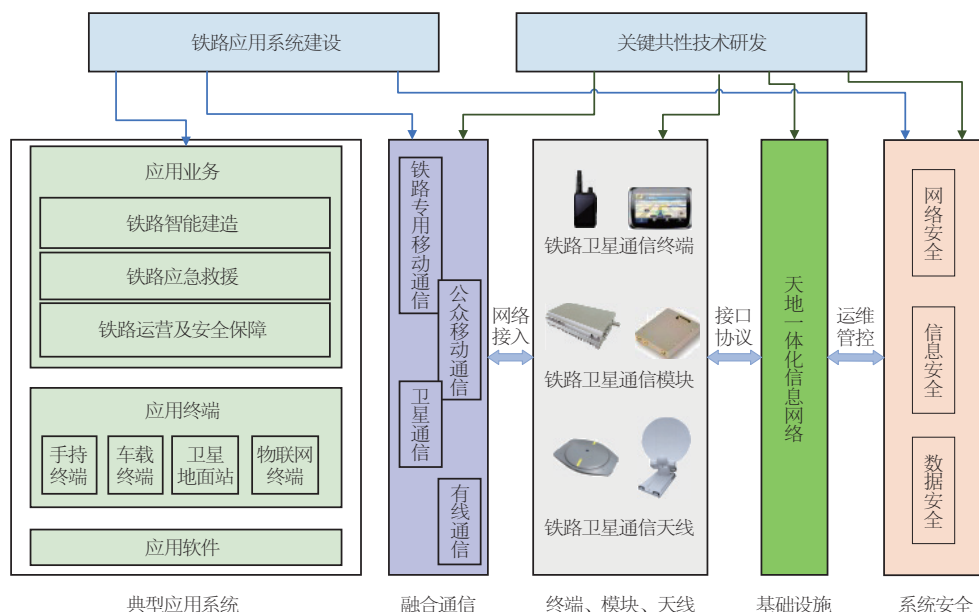


图1 天地一体化信息网络在铁路行业应用的总体技术路线

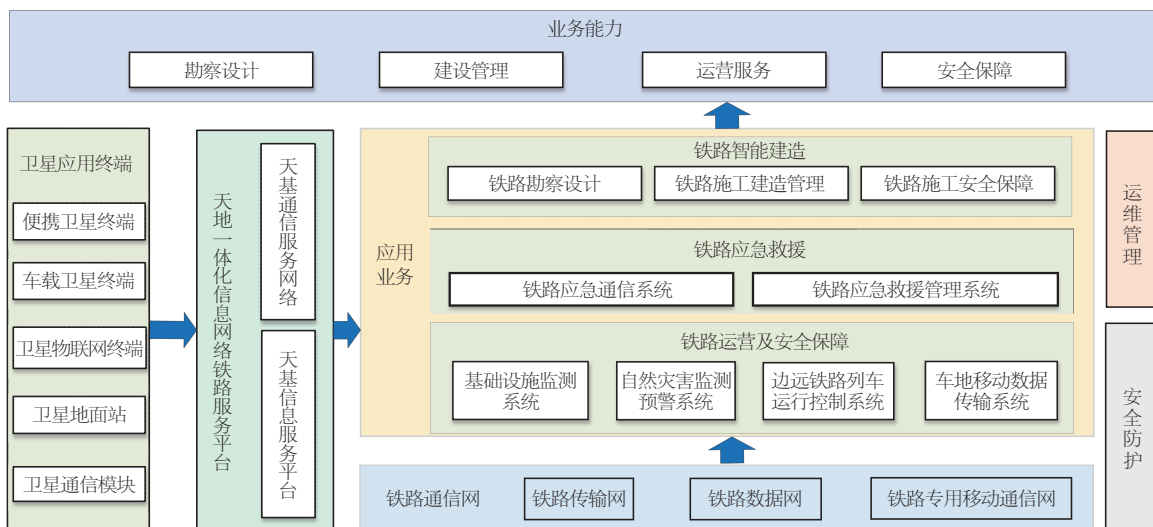


图2 铁路应用体系架构

维管理等。其核心是构建天地一体化信息网络铁路服务平台，利用天地一体化信息网络提升勘察设计、建设管理、运营服务和安全保障等领域的业务能力和效能。

天地一体化信息网络铁路服务平台可为铁路提供天基通信服务和天基信息服务，实现铁路数据的传输和天基信息服务。天地一体化信息网络与铁路传输网、铁路数据网、铁路专用移动通信网等协同完成一体化网络路由、端到端信息传输。

依托天地一体化信息网络铁路服务平台提供的基础能力和装备构建应用业务系统，涵盖铁路设计、施工、运营全生命周期。在铁路智能建造方面，包括铁路勘察设计、铁路施工建造和铁路施工安全保障3类业务；在铁路应急救援方面，包括铁路应急通信和铁路应急救援管理2类业务；在铁路的运营和安全保障方面，包括基础设施监测、自然灾害监测预警、边远铁路列车运行控制、车地移动数据传输4类业务。

3.3 网络接口方式

如图3所示，天地一体化信息网络为铁路提供的服务由空间段通信卫星、地面段地基节点组成，承载铁路建设和运营需要的宽带接入、移动通信、物联网通信等业务，实现铁路各业务的语音、图像、视频和数据的传输与通信。另外，根据需要铁路专网可以承载天地一体化信息网络地面通信和信息传输。

在地面段，天地一体化信息网络通过2个互为冗余的地基节点与铁路通信网络连接，实现双网互联互通和深度融合。未来可建设铁路专用地基节点，统一管理铁路卫星用户，监控用户工作状态及服务质量。专用地基节点保障铁路列车控制、列车调度、灾害预警等高实时、高安全要求业务的专线传输，不受其他行业用户干扰。天地一体化信息网络还通过2个互为冗余的地面信息港与铁路通信网络连接，为铁路用户提供地理信息、遥感影像、高精度导航、高精度定位和高精度授时等服务。

在空间段，卫星通信终端通过便携卫星终端、车载卫星终端和卫星地面站等接入，如图4所示。便携卫星终端为手持式、小型化终端设备，具备语音、多媒体数据通信能力；车载卫星终端装备在列车或应急通信车上，具备高速移动能力；卫星地面站可以放置在隧道口等关键区域，提供宽带通信服务，也可以用作通信中继。

4 典型应用系统

4.1 典型应用场景分析

天地一体化信息网络通过与铁路通信网络深度融合和协同通信，构建铁路天地一体化通信体系，不改变原有业务功能及业务逻辑，为铁路应用系统增加卫星通信能力，提高系统应用范围和环境适应能力。

天地一体化信息网络在铁路行业中的应用重点围绕地面通信设施缺乏或者薄弱的区域，在工程勘察设计、

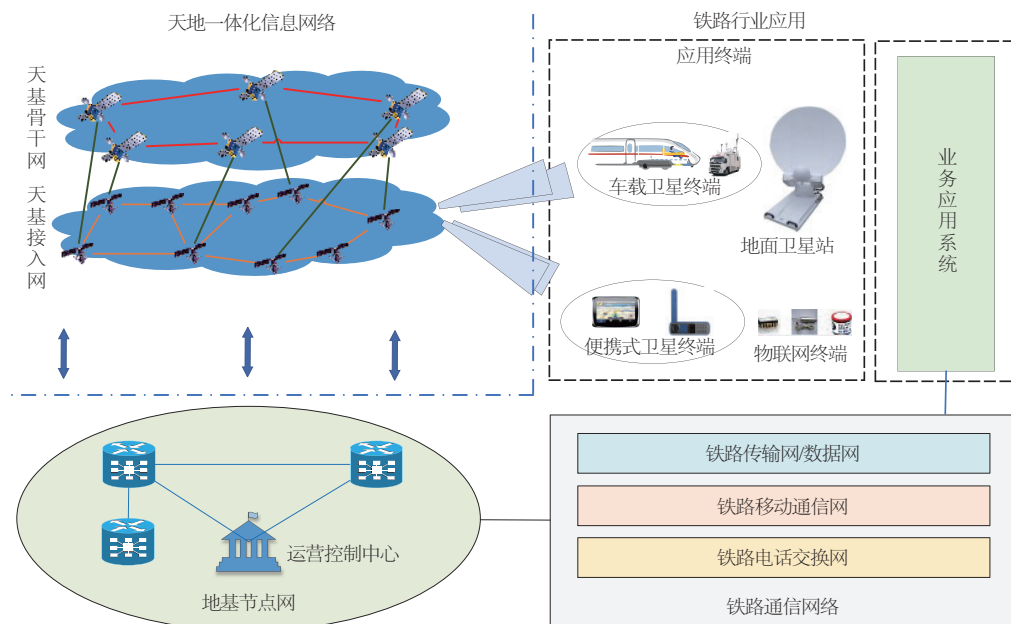


图3 天地一体化信息网络与铁路应用接口方式

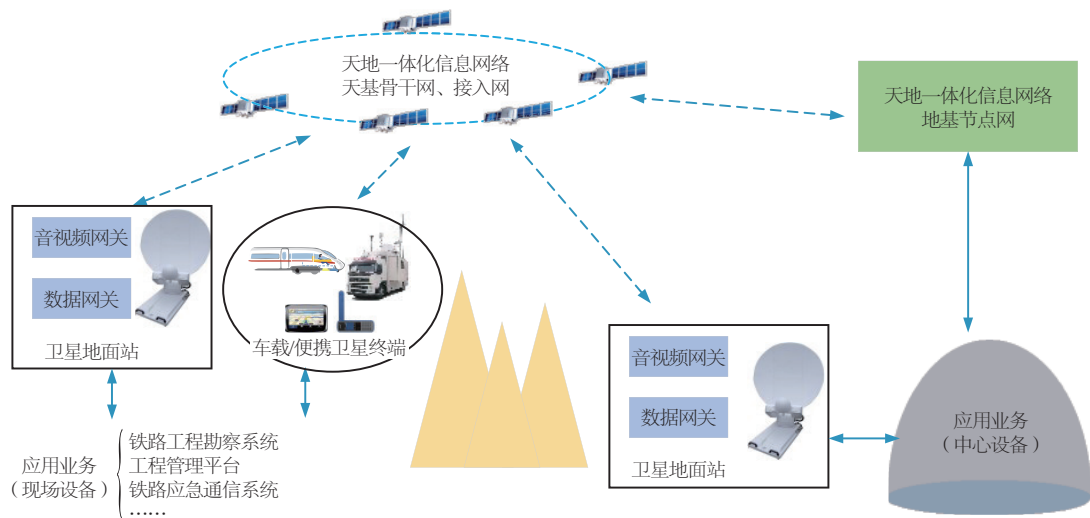


图4 卫星通信终端接入模式

施工管理、运营维护、灾害监测预警和应急处置过程中提供超视距、高性能、大容量、低时延、高可靠的信息传输保障服务。天地一体化信息网络可应用于图5所示的场景及业务系统。

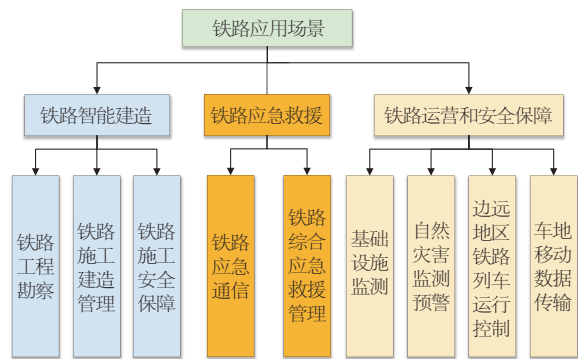


图5 典型应用场景及业务系统

4.2 铁路智能建造

4.2.1 铁路施工建造管理

信息化是铁路工程建设向现代化发展的必由之路，信息化实现的主要方式是建设铁路工程管理平台^[10]。目前铁路工程管理主要依靠地面公共网络传输，然而铁路空间跨度大，通常在几百上千千米，施工区域广、自然环境复杂，地面公网通信质量差异大，部分区域公网覆盖有限，无法满足铁路施工阶段对全线区域化覆盖、一体化通信和数据传输的需求。铁路施工沿线的地面公网建设成本高、建设周期长，而依托天地一体化信息网络，可以为铁路工程管理提供方便快捷的通信组网服务

和稳定可靠的实时大容量数据传输服务。

4.2.2 铁路施工安全保障

地震、滑坡、泥石流等地质灾害具有突发性、不确定性等特征，对铁路建设安全存在严重的威胁，特别是在西部地质环境复杂区域，即使是小规模灾害也可能导致建设秩序的紊乱甚至引发危及生命安全的重大事故。天地一体化信息网络对地面网络的依赖程度比较低，抗损毁能力强，在传输灾害预警等信息时相比地面网络具有天然的优势。同时，天地一体化信息网络覆盖范围广，在远离铁路施工的区域仍可组网，有利于构建广域的监控网络，提高灾害监测预警效能。基于天地一体化信息网络的铁路气象灾害预警系统架构体系如图6所示。

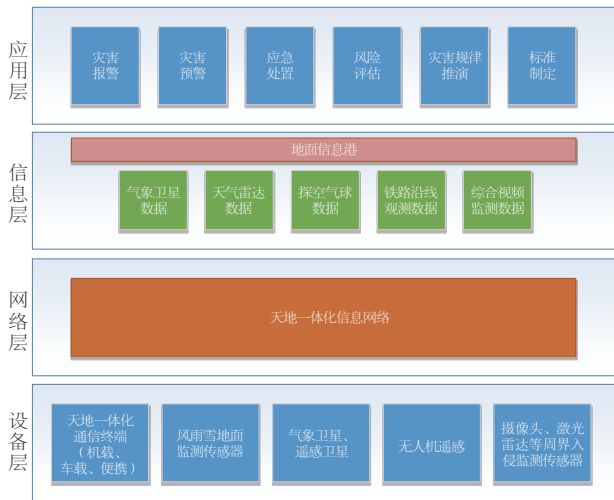


图6 基于天地一体化信息网络的铁路气象灾害预警系统架构体系

4.3 铁路应急救援场景

4.3.1 铁路应急通信

重大灾害发生后往往地面通信基础设施被不同程度地损毁,出现通信中断或者不稳定等问题。目前,铁路应急通信系统存在组网复杂、无法快速部署、传输带宽较低等问题,无法满足应急现场大容量数据实时传输的需求。综合采用天地一体化信息网络、蜂窝移动通信、数字移动通信等技术,可以聚合天基、空基、地基的传输能力,动态融合多种异构网络,实现天地网络资源的按需动态组网,多种通信方式相互融合,取长补短,共同构成一体化应急通信体系。

4.3.2 铁路综合应急救援管理

铁路综合应急救援管理系统主要服务于铁路运营业务,实现安全应急处置全过程管理,为决策人员提供应急大数据查询、信息互通、协同处置、决策支持等能力。建设基于天地一体化信息网络的铁路综合应急救援管理系统,可以提升应急处置过程中的响应速度,增强应急救援指挥的协调联动能力,提升应急救援与处置的整体水平。

参考文献:

- [1] 王同军. 中国智能高速铁路体系架构研究及应用[J]. 铁道学报, 2019, 41(11): 1-9.
WANG T J. Research and applications of China intelligent high-speed railway architecture[J]. Journal of the China Railway Society, 2019, 41(11): 1-9.
- [2] 姜永富. 我国铁路专用移动通信技术发展思路探讨[J]. 中国铁路, 2019(4): 73-78.
JIANG Y F. Development of China's railway dedicated mobile communication technology[J]. China Railway, 2019(4): 73-78.
- [3] 王开锋, 张琦, 李辉, 等. 基于云计算的下一代铁路移动通信网络架构[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(2): 161-165.
WANG K F, ZHANG Q, LI H, et al. Next generation railway mobile communication network architecture based on cloud computing[J]. Railway Standard Design, 2019, 63(2): 161-165.
- [4] MAZZENGA F, GIULIANO R, NERI A, et al. Integrated public mobile radio networks/satellite for future railway communications[J]. IEEE Wireless Communications, 2017, 24(2): 90-97.
- [5] LIU Y, NERI A, RUGGERI A, et al. A MPTCP-based network architecture for intelligent train control and traffic management operations[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017, 18(9): 2290-2302.
- [6] European Space Agency. SATCOM Rail[EB]. 2013.
- [7] 汪春霆, 翟立君, 李宁, 等. 关于天地一体化信息网络典型应用示范的思考[J]. 电信科学, 2017, 33(12): 36-42.
WANG C T, ZHAI L J, LI N, et al. General idea of application system for space-integrated-ground information network[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(12): 36-42.
- [8] 国家铁路局. 关于印发《中长期铁路网规划》的通知[EB]. 2016. National Railway Administration. Notice on printing and distributing the "Medium and Long-term Railway Network Planning" [EB]. 2016.
- [9] 李寿兵. 智能环境下的铁路勘察设计[J]. 铁道标准设计, 2018, 62(10): 1-5, 12.
LI S B. Railway survey and design under intelligent environment[J]. Railway Standard Design, 2018, 62(10): 1-5, 12.
- [10] 王同军. 基于BIM的铁路工程管理平台建设与展望[J]. 铁路技术创新, 2015(3): 8-13.
WANG T J. Construction and prospect of railway engineering management platform based on BIM[J]. Railway Technical Innovation, 2015(3): 8-13.
- [11] 赵有明. 高速铁路基础设施服役状态检测技术[J]. 铁道建筑, 2015(10): 1-6.
ZHAO Y M. Detection technology of service state of high speed railway infrastructure[J]. Railway Engineering, 2015(10): 1-6.
- [12] 王俊, 王江丽. 高速铁路防灾安全监控系统设计[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(S1): 39-45.
WANG J, WANG J L. Design of disaster prevention and safety monitoring system for high-speed railway[J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(S1): 39-45.
- [13] CAO Y, MA L C, XIAO S, et al. Standard analysis for transfer delay in CTCS-3[J]. Chinese Journal of Electronics, 2017, 26(5): 1057-1063.

[作者简介]



王开锋 (1983—), 中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所副研究员, 主要研究方向为铁路通信技术。

开祥宝, 中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所研究员, 主要研究方向为铁路信号技术。

收录声明

本刊对发表的文章，拥有出版电子版、网络版版权，并拥有和其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬中已经包含上述费用。

Space-Integrated-Gound Information Networks has the copyright to publish electronic edition, online edition of the published articles, and has the right to exchange information with other sites. The expenses have been included in the fee paid by editorial department.

道德声明

本刊发表的论文是作者独立取得的原创性研究成果，无一稿多投；论文内容不涉及国家机密；未曾以任何形式用任何文种在国内外公开发表过；论文内容不侵犯他人著作权和其他权利。若发生一稿多投、侵权、泄密等问题，论文作者将承担全部责任。

The authors of *Space-Integrated-Gound Information Networks* guarantee that their submitted articles are original and contain nothing confidential. The said article is only submitted to *Space-Integrated-Gound Information Networks*. The said article has not been published before and has not been submitted elsewhere for print or electronic publication consideration. The said article is no way whatever a violation or an infringement of any existing copyright or license from the third party. Otherwise, the authors of the said article shall take the blame for the violation or infringement of the related copyright and the leakage of secrets.

天地一体化信息网络

Space-Integrated-Ground Information Networks



发行代号：国内80-791 2021年3月20日出版 定价：60.00元



天地一体化信息网络

第二卷 第一期

二〇二一年三月