

兼容GSM-R和5G-R互联互通的 列控系统无线通信方案研究

王建敏^{1, 2}

(1. 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070;

2. 北京市高速铁路运行控制系统工程技术研究中心, 北京 100070)

摘要: CTCS-3 级列控系统通过 GSM-R 无线通信进行车地数据传输, 保障列车安全高效运行。由于 GSM-R 网络业务承载能力有限, 为适应高速铁路未来发展和兼容现有列控系统, 需要研究兼容业务承载能力更强的 5G-R 网络和既有 GSM-R 网络的系统解决方案。提出一种兼容 GSM-R 与 5G-R 互联互通的列控系统无线通信解决方案, 介绍双网融合的分层结构、传输结构和数据传输方案, 并说明双网切换的典型应用场景。

关键词: 列控系统; GSM-R; 5G-R

中图分类号: U285.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2021)05-0042-05

Research on Wireless Communication Scheme of Train Control System Compatible with 5G-R and GSM-R Interoperability

Wang Jianmin^{1, 2}

(1. CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 100070, China)

(2. Beijing Engineering Technology Research Center of Operation Control Systems for High Speed Railways, Beijing 100070, China)

Abstract: CTCS-3 train control system transmits train-trackside data through GSM-R wireless communication to ensure safe and efficient operation of trains. Due to the limited service carrying capacity of GSM-R network, in order to adapt to the future development of high-speed railway and be compatible with the existing train control system, it is necessary to study system solutions compatible with 5G-R network with stronger service carrying capacity and the existing GSM-R network. In this paper, a train control system wireless communication solution based on compatible with 5G-R and GSM-R interoperability is proposed, and the layered structure, transmission structure and data transmission scheme of dual-network integration are introduced, and a typical application scenario of dual-network handover is illustrated.

Keywords: train control system; GSM for Railways; 5G for Railways

350 km/h 客运专线上得到广泛应用。GSM-R 作为铁路专用全球移动通信系统, 对我国铁路事业的安全高效运营发挥了至关重要的作用。但是, GSM-R 网络采用电路交换方式, 即使补充上通用分组无线服务 (General Packet Radio Service, GPRS) 后, 数据业务的承载能力仍然有限。随着铁路事业的不断发展, GSM-R 低速率、高时延的缺点已逐渐不能满足铁路日益增长的业务需求。

在下一代铁路列控系统中, 5G for Railways (5G-R) 将替代现有的 GSM-R 作为车地通信系统。5G 具有大带宽、大连接、低时延等优势, 可实现人与物、物与物的泛在互联, 是支撑经济社会数字化、网络化、智能化转型的关键新型基础设施。

在 5G-R 承载 CTCS-3 级列控系统车地信息传输方面, 列控业务对 5G-R 系统的技术指标需求、系统架构、接口需求、车地传输协议和安全保障机制等, 与 GSM-R 系统均存在较大差异。本文从基于 5G-R 的车地无线通信方案出发, 提出兼容 GSM-R 和 5G-R 互联互通的列控系统无线通信传输方案, 并对基于 GSM-R 和 5G-R 双网融合的 RBC 移交场景进行了详细描述。

1 无线通信在列控系统中的应用

CTCS-3 级列控系统包含地面设备和车载设备, 车载设备通过无线网络与 RBC 进行消息双向传输, 包括注册到网络、建立通信会话、维持通信会话、终止通信会话、无线消息的发送和接收等应用场景。车载设备通过无线网络向 RBC 报告列车位置, RBC 通过无线网络向车载设备发送行车许可

等信息, 车载设备根据行车许可监控列车运行, 保证行车安全。

CTCS-3 级列控系统车地通信原理如图 1 所示。BTS、BSC、ISDN 服务器为 GSM-R 网络通信设备, BTS 和 BSC 属于基站子系统。BTS 是基站收发信机, 主要负责无线传输。BSC 是与交换机相连的基站控制器, 主要负责控制和管理。BTS 在网络的固定部分和无线部分之间提供中继, 移动用户通过空中接口与 BTS 相连。BTS 包括收发信机和天线, 以及无线接口有关的信号处理电路等, 也可以看作是一个复杂的无线解调器。ISDN 服务器作为地面服务器的一部分, 是 GSM-R 网络传输的终端设备, 为车地通信在普通电话线上提供数字信号转送和接收功能, 是 GSM-R 网络侧程控交换机和 RBC 服务器之间的接口设备。

车载设备发送的消息, 通过有线传输到达车载电台, 车载电台通过无线网络发出车载消息, 经过

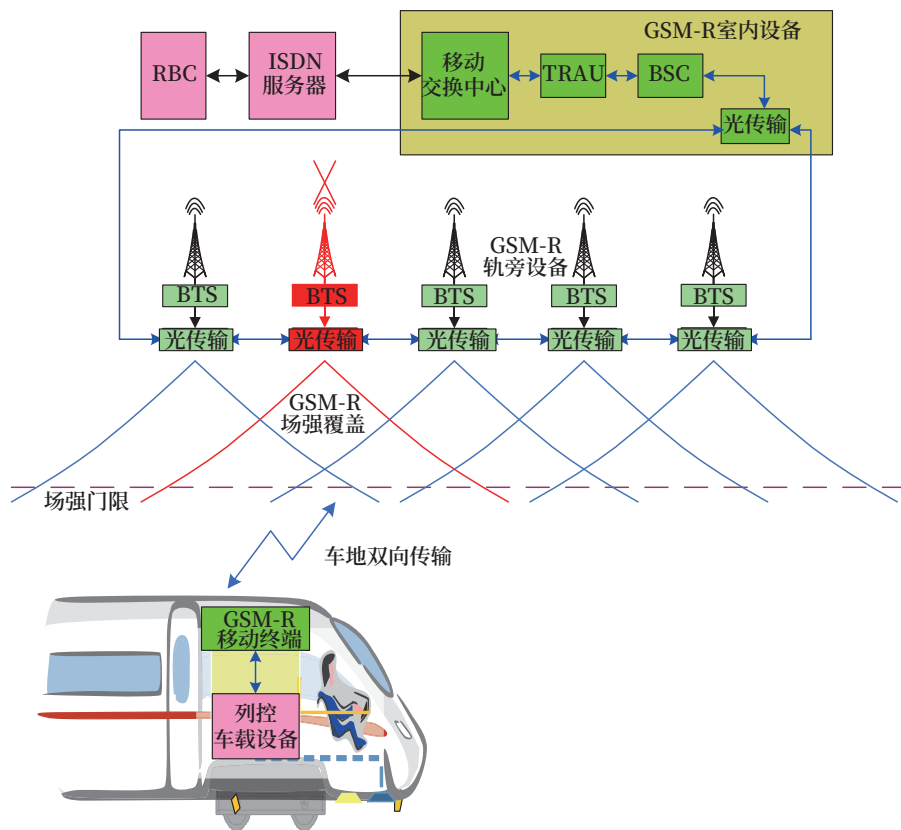


图1 CTCS-3级列控系统车地通信原理图

Fig.1 Schematic diagram of CTCS-3 train-trackside communication

BTS、BSC、TRAU 和移动交换中心，到达 ISDN 服务器，ISDN 服务器将收到的车载消息通过有线传输方式发送给 RBC。同理，需要发送给车载设备的 RBC 消息沿着相反方向通过相同路径到达车载设备。

2 双网融合车地安全通信系统结构

2.1 双网融合分层结构

兼容 GSM-R 和 5G-R 互联互通的车地安全通信分层结构如图 2 所示，主要由应用层（包括车载应用和地面应用）、安全层、数据传输协议栈、GSM-R/5G-R 网络构成。

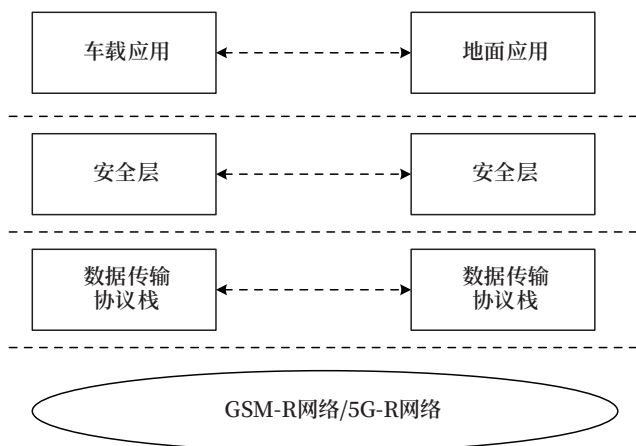


图2 车地安全通信分层结构

Fig.2 Layered structure of train-trackside safety communication

在 CTCS-3 级车载设备的启动过程中，或从地面收到建立通信会话命令，或车载设备控车模式发生改变，或列车走出无线盲区等场景下，车载设备都会主动发起建立通信会话过程，在车载应用和地面应用之间建立通信连接，即应用层建立连接。

在车地通信会话已建立的情况下，如果从地面收到结束通信会话命令，或通信故障导致需要结束通信会话，或司机关闭驾驶台等场景下，车载设备将发起结束通信会话过程，断开车载应用与地面应用之间的通信连接，即应用层断开连接。

由于车载应用与地面应用之间数据传输需要通过无线网络传输，属于开放网络，数据容易被第三方获取，造成安全隐患。安全层具有的加密和解密

功能，对应用层数据进行加密或解密，保证车地数据的安全性，防止第三方获取真实的车地应用数据。

数据传输协议栈负责为车地提供无线通信服务，包括建立车地通信、传输车地数据、断开车地连接，同时保证车地数据传输的可靠性。数据传输协议栈内部又分为传输层、网络层、数据链路层及电台控制模块。电台控制模块负责控制电台注册网络，利用电台进行拨号上网。

车载设备与地面设备建立和断开连接的过程为：车载设备数据传输协议栈的各层协议与地面设备数据传输协议栈的各层协议建立连接。数据传输协议栈建立连接成功后，安全层建立连接，最后由车载应用和地面应用应用层面建立连接。车地应用建立连接后，开始交互车地应用数据，在需要断开时由车地应用发送断开命令。

2.2 双网融合传输结构

兼容 GSM-R 和 5G-R 互联互通的车地安全通信传输结构如图 3 所示。其中 RTU（Radio Transmission Unit）是车载无线传输单元，通过 2 个 RS-422 接口分别与双模电台 MT1 和 MT2 连接。双模电台是指同时支持 GSM-R 和 5G-R 网络的电台，双模电台连接同时支持 GSM-R 和 5G-R 频段的的天线。

车载设备通过地面设备获取网络切换的命令，根据切换命令由 RTU 控制双模电台与地面 RBC 建立 GSM-R 或者 5G-R 网络连接，双模电台内部的控制板根据 RTU 的控制命令决定使用 GSM-R 通道或者 5G-R 通道。

3 数据传输方式

3.1 5G-R网络数据传输方式

5G-R 模式下，车载设备与 RBC 的数据传输结构如图 4 所示。其中连接管理是 RTU 的应用部分，负责整个协议栈的调度工作，以及 GSM-R 和 5G-R 的切换工作。

安全层保证车地数据的安全通信。ALE 层负责管理不同的连接，并且支持在 5G-R 网络下相

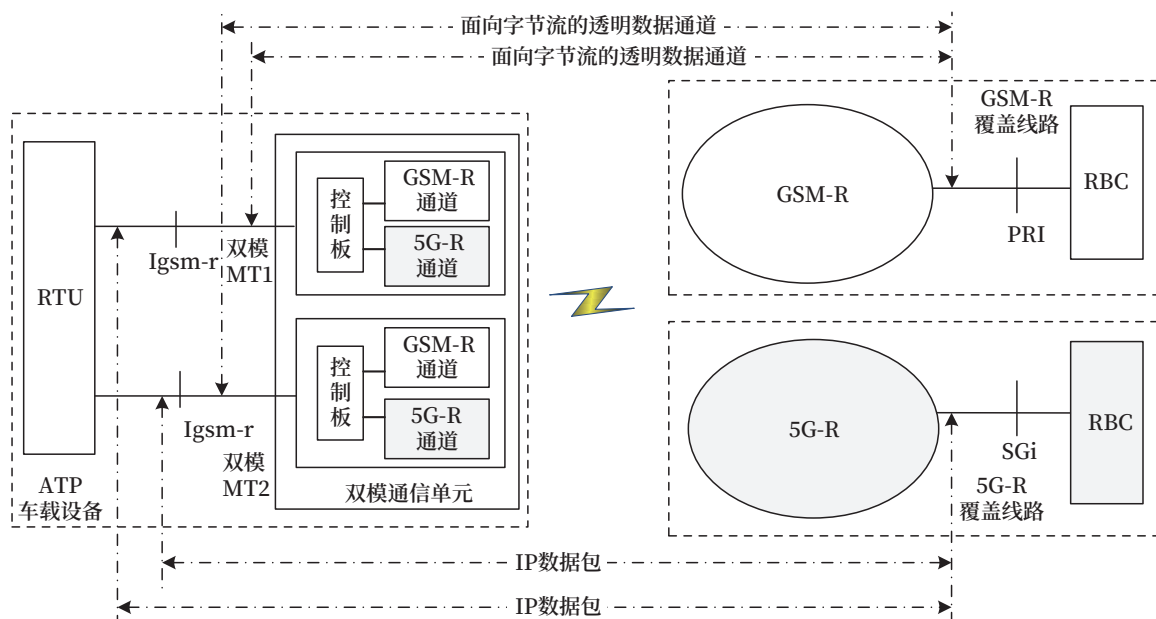


图3 车地安全通信传输结构

Fig.3 Transmission structure of train-trackside safety communication

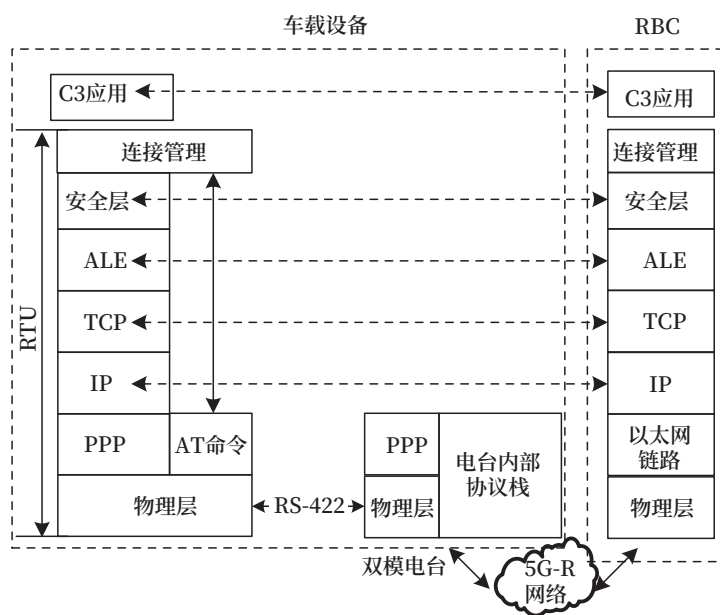


图4 5G-R网络车地安全通信数据传输方式

Fig.4 Data transmission mode of train-trackside safety communication of 5G-R network

邻RBC切换时，同时与2个RBC连接。RTU内置轻量IP协议栈（Light Weight IP, LWIP协议栈），包括传输控制协议（Transmission Control Protocol, TCP层）、网络互连协议（Internet Protocol, IP层）和点对点协议（Point-to-Point Protocol, PPP层），支持TCP/IP协议，以及数据

链路层的PPP协议。RTU的物理层负责RS-422接口数据的接收和发送工作。

地面RBC设备分为支持GSM-R网络的RBC和支持5G-R网络的RBC，其中支持GSM-R网络的RBC采用的是现有方案，支持5G-R的RBC以有线的方式接入5G-R网络，该RBC支持与车载设备同样的对等协议。5G-R的无线网络信号通过支持5G-R的基站转为有线网络信号，经过网关传输车地数据。

发起5G-R网络连接的过程为：车载设备从地面设备收到呼叫命令，车载RTU通过预定的AT指令让双模电台从命令模式转为数据模式。双模电台转入数据模式后，RTU发起PPP连接，PPP连接成功后双模电台成为数据透传设备，并将从网络侧获取的本地IP经PPP链路发给RTU。随后双模电台将转发RTU发出的TCP握手包，与对应IP的RBC建立TCP连接，后续建立安全层及应用层的连接。连接成功后，如果收到车载设备或者RBC应用的断开请求，RTU执行断开流程。

车载设备可同时支持GSM-R网络与5G-R网络，在GSM-R覆盖线路，车载设备通过GSM-R

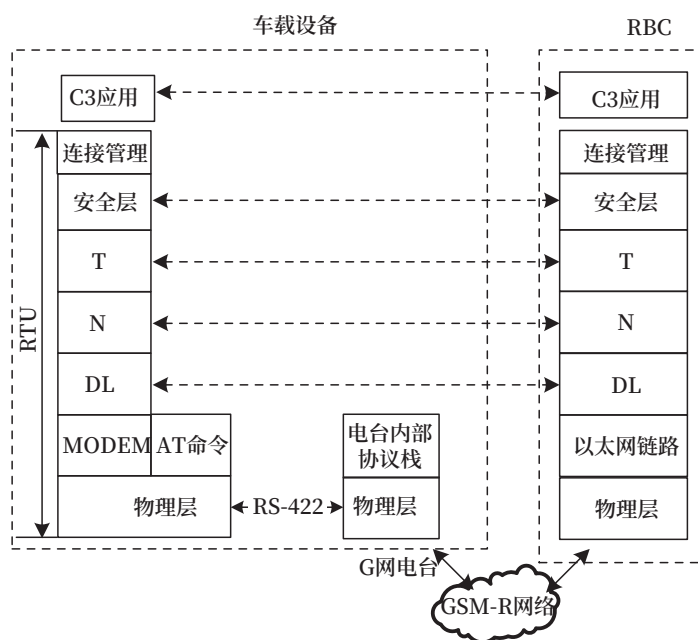


图5 GSM-R网络车地安全通信数据传输方式
Fig.5 Data transmission mode of
train-trackside safety communication of GSM-R network

网络与接入 GSM-R 网络的 RBC 建立连接，在 5G-R 覆盖线路，车载设备通过 5G-R 网络与接入 5G-R 网络的 RBC 建立连接。

3.2 GSM-R网络数据传输方式

GSM-R 模式下，车载设备与 RBC 的数据传输结构如图 5 所示。主要结构与 5G-R 网络相似，区别在于利用 GSM-R 网络传输数据时，不使用 ALE 和 LWIP，利用符合欧标 Subset-037 规范的协议进行数据传输，包括传输层（T 层）、网络层（N 层）、数据链路层（DL 层）和 Modem 模块，地面 RBC 支持同样的协议，通过对等协议实现车地数据的传输。

4 典型应用场景

4.1 5G-R线路的RBC移交

在 5G-R 线路上执行 RBC 移交时，RTU 通过一个双模电台与移交 RBC 保持 TCP 连接，车载设备从地面设备获取到接收 RBC 的 IP 地址，将呼叫信息发送给 RTU，RTU 控制另一个未连接的双模电台通过 5G-R 网络与接收 RBC 建立 TCP 连接，与接收 RBC 建立连接后。列车越过 RBC 边界后，车载设备断开与移交 RBC 的连接。

4.2 5G-R线路的RBC向GSM-R线路的RBC移交

5G-R 线路的 RBC 向 GSM-R 线路的 RBC 移交时，RTU 通过一个双模电台与移交 RBC 保持 TCP 连接，车载设备从地面设备获取到接收 RBC 的电话号码，将呼叫信息发送给 RTU，RTU 控制另一个未连接的双模电台通过 GSM-R 网络与接收 RBC 建立 CSD 连接。列车越过 RBC 边界后，车载设备断开与移交 RBC 的连接。

4.3 GSM-R线路的RBC向5G-R线路的RBC移交

GSM-R 线路的 RBC 向 5G-R 线路的 RBC 移交时，RTU 通过一个双模电台与移交 RBC 保持 CSD 连接，车载设备从地面应答器获取到接收 RBC 的 IP 地址，将呼叫信息发送给 RTU，RTU 控制另一个未连接的双模电台通过 5G-R 网络与接收 RBC 建立 TCP 连接。列车越过 RBC 边界后，车载设备断开与移交 RBC 的连接。

5 总结

本文提出列控系统可同时支持 5G-R 和 GSM-R 网络的通信方案，实现双网共存阶段 CTCS-3 列控业务的双网共同承载，为 CTCS-3 列控系统由 GSM-R 网络向 5G-R 网络的过渡提供了可行的解决方案。通过 2 个双模电台的设置，可以实现车载设备在任意两种网络的相邻 RBC 之间的网络切换，满足 5G-R 网络和 GSM-R 网络承载 C3 列控业务的需求。

加快推进 5G 技术应用是推动新时代铁路高质量发展、实现交通强国铁路先行的重要领域和重要基础，有利于推动铁路通信技术升级换代，提升铁路安全水平和信息化智能化水平，提升铁路服务品质和效率效益，巩固我国铁路世界领先优势，促进 5G 相关产业链发展、加快 5G 全国布局推广。

参考文献

- [1] 谢和欢. 支持 GSM-R 与 LTE-R 通信的双模车载电台技术研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(8): 53-61.

(下转 99 页)

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50382-2016 城市轨道交通通信工程质量验收规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.

[4] 周承昊. 广州地铁无线集群通信系统网络覆盖的研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2010, 7(3): 69-71.

Zhou Chenghao. Study on Network Coverage of Trunked Radio Communication System in Guangzhou Metro[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2010, 7(3): 69-71.

[5] 黄鹤. 浅析地铁集群专用无线通信系统[J]. 科技创新与应用, 2015(29): 39-40.

[6] 景元广, 袁松. 基于TETRA的无线调度双中心异地容灾建设方案分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(2): 86-90.

Jing Yuanguang, Yuan Song. Analysis of Construction Scheme of Wireless Dispatching Dual-Center Disaster-tolerant System based on

TETRA[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(2): 86-90.

[7] 施冠峰. 城市轨道交通专用无线系统多线路互联互通要点研讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(5): 42-45.

Shi Guanfeng. Discussion on Key Points of Multi-line Interconnection of Dedicated Wireless System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(5): 42-45.

[8] 李雪, 徐益华, 黄彬. LTE-R无线覆盖设计[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(11): 40-43.

Li Xue, Xu Yihua, Huang Bin. LTE-R Wireless Coverage Design[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(11): 40-43.

(收稿日期: 2020-05-26)
(修回日期: 2021-03-25)

(上接 46页)

Xie Hehuan. Research on Dual Mode Car Radio Technology Supporting GSM-R and LTE-R Communication[J]. Railway Communication Signal Engineering Technology, 2020, 17(8): 53-61.

[2] 孙鑫. LTE-R应用于CTCS-3列控系统的研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2016.

[3] 周宇晖. 铁路5G专网系统架构和组网技术研究[J]. 中国铁路, 2020(11): 10-15.

Zhou Yuhui. System Architecture and Networking Technology of Railway 5G Private Network[J]. Chinese Railways, 2020(11): 10-15.

[4] 王同军. 铁路5G关键技术分析和发展路线[J]. 中国铁路, 2020, (11): 1-9.

Wang Tongjun. Key Railway 5G Technology Analysis and Development Route[J]. Chinese Railways, 2020 (11): 1-9.

[5] 何笛丽. 5G在铁路信号控制系统上的应用研究[J]. 数字通信世界, 2020(5): 52-53.

[6] 艾渤, 马国玉, 钟章队. 智能高铁中的5G技术及应用[J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(6): 42-47.

Ai Bo, Ma Guoyu, Zhong Zhangdui. 5G Technologies and Applications in High-Speed Railway[J]. ZTE Technology Journal, 2019, 25(6): 42-47.

[7] 张爽. 铁路下一代移动通信技术LTE-R应用研究[J]. 信息技术与信息化, 2016(4): 87-88.

[8] 葛淑云, 华尧. 基于LTE制式的铁路宽带业务应用与关键技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2013, 10(2): 14-17.

Ge Shuyun, Hua Yao. Research on LTE-R Based Railway Broadband Communication and Key Technologies[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2013, 10(2): 14-17.

(收稿日期: 2021-01-22)
(修回日期: 2021-01-28)