

Summary of the Study on High Speed Railway Access Network

Guoqing Hu^{1, 2, a, *}, Jin He^{1, 2, b}, Guangjin Ma^{2, c}, Chunlai Li² and Ying Yu²

¹ School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing, China

² Peking University Shenzhen SoC Key Laboratory, PKU-HKUST Shenzhenhongkong Institution, Shenzhen, China

^ahuking@pku.edu.cn, ^bfrankhe@pku.edu.cn, ^cguangjin.ma@pku.edu.cn

*Corresponding author: huking@pku.edu.cn

Keywords: High Speed Railway Access Network, Mobile Communications, Radio over Fiber.

Abstract. Up to 2017, the total mileage of the Chinese high-speed railway (HSR) exceeded 22,000 km. Benefiting from the rapid socioeconomic development and the widely use of smart phones, more and more passengers need to access broadband information services through wireless networks while they are on travel. However, it's a great challenge to supply stable and reliable wireless access services to high speed railway passengers at the speed of 350 km/h. In this paper, we will discuss all the challenges to the HSR access network, and then analyze the existing solutions, which provide an important reference for the follow-up research.

高铁无线宽带接入网技术研究现状

胡国庆^{1, 2, a, *}, 何进^{1, 2, b}, 马光金^{2, c}, 李春来², 余迎²

¹北京大学信息科学技术学院, 北京, 中国

²深港产学研基地北京大学系统芯片设计重点实验室, 深圳, 中国

^ahuking@pku.edu.cn, ^bfrankhe@pku.edu.cn, ^cguangjin.ma@pku.edu.cn

*通讯作者: huking@pku.edu.cn

关键词: 高铁无线接入网; 移动通信; 光载无线接入。

中文摘要.截止至2017年,中国高速铁路HSR (High Speed Railway) 总里程已超过2.2万公里(占全世界高铁里程的60%以上)。随着中国经济的发展和智能手机终端的大规模普及,越来越多的高铁乘客希望能够在高铁列车上享受到无线宽带接入服务。然而,为时速高达350 km/h的高速移动台提供可靠而稳定的无线宽带接入一直是全球通信业的重大挑战。本文首先分析了高铁无线宽带接入网面临的挑战性问题,之后详细分析了现有的各种解决方案,为后续的相关研究提供了重要参考。

1. 引言

截止至2017年6月,中国高速铁路HSR (High Speed Railway) 总营业里程已经超过2.2万公里(占全世界高铁里程的60%以上),铁路运营总里程已经超过12万公里。中国铁路日均发送旅客量607.7万人次,其中高铁日均发送225.3万人次。随着中国经济的发展,乘坐高铁出行,已经成为越来越多的中国人的选择。由于智能手机终端在中国的大规模普及,越来越多的高铁乘客希望能够在高铁列车上享受到无线宽带接入服务。然而,为时速达到350 km/h的高速移动台提供可靠而稳定的宽带接入服务一直是全球通信业的重大挑战。本文首先分析了高铁无线宽带接入网技术面临的挑战性问题,接着给出了现有的技术解决方案。

2. 高铁无线宽带接入网面临的挑战性问题

目前，高铁无线宽带接入网主要面临以下关键问题^{[1]-[3]}：

列车穿透损耗：由于高铁列车都采用由玻璃和金属组成的全封闭式车厢，这就导致高铁列车车厢的穿透损耗高达24 dB，比普通列车车厢的穿透损耗高出7-15 dB。

多普勒频移：由于列车的高速移动，列车内的移动客户端与基站之间的距离会频繁发生改变，这就会引发多普勒频移，影响通信系统的解调性能。

多径效应：由于高铁列车会经历的城市、郊区、乡村、山地、隧道等不同的地理场景，无线信号在传输过程中会产生大量的多径分量，进而引发码间干扰。

无线信道复杂多变：由于高铁列车经历的地理场景复杂多变，这就造成无线信号传播环境的多样性，针对不同的地理场景就需要建立一个适宜的无线信道模型。

高铁无线宽带接入网面临的最严峻的挑战是小覆盖半径与切换问题之间的矛盾：为了给数量庞大的高铁乘客提供更高的带宽，应该选择尽可能小的蜂窝覆盖半径，但是小的覆盖半径在高铁场景下势必会引发频繁的切换，进而引发服务质量QoS的恶化。据中国移动的测量数据，对于没有高铁专网覆盖的地区掉话率达到20-30%，而对于有专网覆盖的高铁地区掉话率仍然高达5.3%^[4]。

3. 高铁无线宽带接入网研究现状

目前，国内外针对高铁无线宽带接入网的网络架构主要分为以下几种：卫星链路，移动通信系统链路，RoF 链路^[4]。接下来，我们将分别针对各种方案进行介绍与比较。

3.1 基于卫星的高铁无线接入网

卫星通信可以被应用到高铁无线宽带接入网，源于它自身具有很多优点：覆盖范围很大，无需进行频繁切换；不受通信两点间复杂地理条件、自然灾害或者人为时间的限制；系统可靠性高，通信质量好，通信容量大等^[5]，如图1所示。

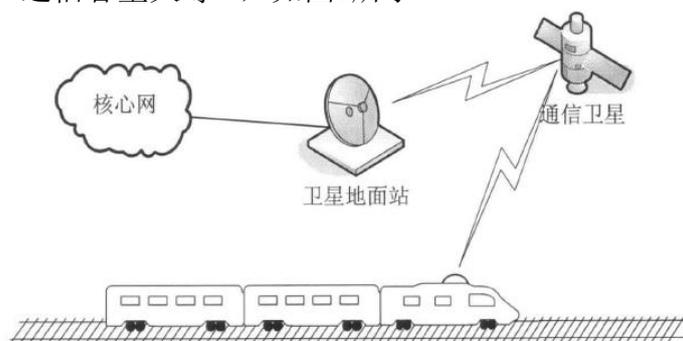


图1 基于卫星链路的高铁无线接入网架构^[5]

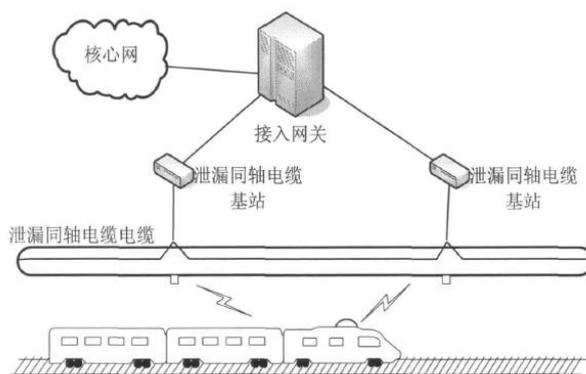


图2 基于泄漏同轴电缆的高铁无线接入网架构^{[5][6]}

3.2 基于泄漏同轴电缆的高铁无线接入网

泄漏同轴电缆LCX (Leaky Coaxial Cable) 是在同轴电缆外导体方向开一些槽孔, 使无线信号从槽孔中泄露到沿线空间, 同时外部无线信号也可经过槽孔感应到漏缆内部, 然后传送到接收端。LCX覆盖频段一般在450 MHz-2 GHz, 主要应用于无线信号传播受限制的地铁、铁路及公路隧道场景。文献[6]针对基于泄露同轴电缆的高铁无线接入网在日本东京到大阪的东海旅客铁道上进行了实地测试, 如图2所示。

3.3 基于移动通信系统的高铁无线接入网

基于移动通信系统的高铁无线接入网架构使用一个基带处理单元BBU (Building Baseband Unit) 控制多个远端射频模块RRU (Remote Radio Unit) 的组网结构来覆盖高速铁路, BBU与RRU通过光纤链路来传输基带信号, 如图3所示。这种BBU+RRU的布网方式已经被中兴、华为、大唐电信、中国移动、中国联通、中国电信等公司应用于中国高铁的覆盖。

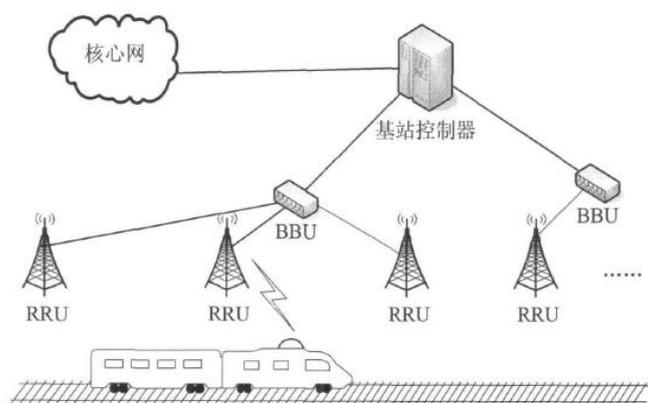


图3 基于移动通信系统的高铁无线接入网架构 [5]

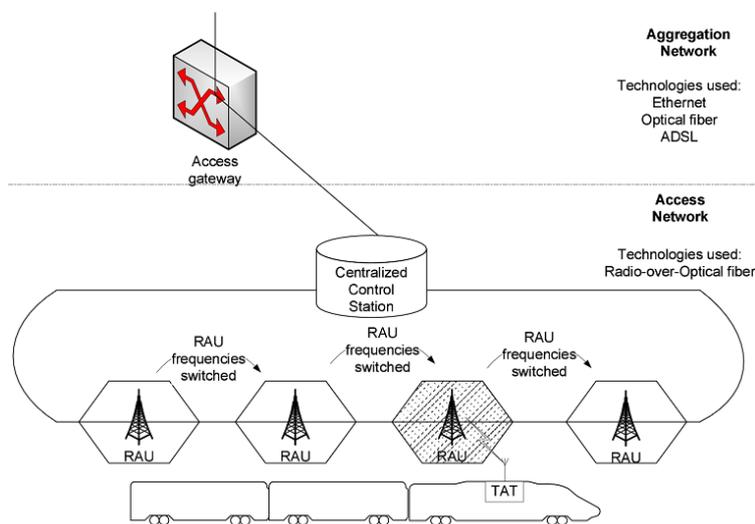


图4 基于RoF的高铁宽带接入网系统架构[7]

3.4 基于RoF的高铁无线接入网

光载无线通信RoF (Radio over Fiber) 是一种将光纤通信和无线通信结合起来新型无线宽带接入技术。在中心站CS (Central Station), 数字基带信号首先经过射频RF (Radio Frequency) 副载波调制到光载波上, 之后通过光纤链路传输到基站BS(Base Station), 到达基站后再经过光电转换, 恢复成射频信号, 进行放大后再通过天线发送到移动台。RoF技术将大量价格昂贵的交换、控制和信号再生等设备集中到了中心站, 而基站只需要完成简单的光电转换, 使

众多远端天线单元共享这些昂贵的设备，从而大幅减少了基站的能源消耗和建设成本。由于无线射频信号是在光纤中传输的，而光纤的传输损耗（约为0.2dB/km）远低于无线传输媒介的损耗，这样可以实现无线射频信号的远距离传输。

文献[7]将RoF系统应用于高铁宽带接入网，中心站CS一段连接骨干网，另一端通过光纤连接远端天线单元RAU(Remote Antenna Unit)，如图4所示。RAU将光纤中的射频信号在光电转换后通过天线发送到列车顶部的接入点，再通过接入点组成车厢内局域网连接车内移动台。

4. 结束语

本文首先分析了高铁无线宽带接入网面临的列车穿透损耗、多普勒频移、多径效应、无线信道、频繁切换等挑战性问题；之后详细分析了现有的高铁无线宽带接入网各种解决方案，为后续的相关研究提供了重要参考。

致谢

本文由2017年深圳市基础研究自由探索项目（毫米波5G无线传输特性关键问题研究），国家自然科学基金项目（61574005），深圳市基础研究项目（JCYJ20160329161334453、JCYJ20170412153812353、JSGG20170414140411874、高频大功率高可靠性硅基GaN HEMT器件关键技术研究、面向芯片应用的石墨烯器件和电路SPICE模型、先进硅基板超高速多通道光电芯片集成模块关键技术、面向数据中心光互联的空分复用光交换网络基础研究），深港产学研基地产学研项目（场效应太赫兹器件的关键技术研究）资助。

References

- [1] Guoqing Hu, Anpeng Huang, Tammy Chang, Xiang Cheng, Hequan Wu, LinzhenXie, Anshi Xu, Zhangyuan Chen, "A Sensor-Based Seamless Handover Solution for Express Train Access Networks (ETANs)," *IEEE Communications Letters*, vol.16, no.4, pp. 470-472, April 2012.
- [2] Guoqing Hu, Anpeng Huang, Ruisi He, Bo Ai, Zhangyuan Chen, "Theory analysis of the handover challenge in Express Train Access Networks (ETAN)", *China Communications*, vol. 11, no.7, pp. 92-98, July 2014.
- [3] Guoqing Hu, Guangjin Ma, Chuanlai Li, Yongchi Xu, Jin He, Ying Yu, Yandong He, "An Empirical Analysis of the Radio Propagation Characteristics in High-Speed Railway Environment", 2017 International Conference on Electrical, Mechanical and Computer Engineering (ICEMCE 2017), IET, Chengdu, China, pp.1-4, May 25-28, 2017.
- [4] Cheng-Xiang Wang, Ammar Ghazal, Bo Ai, et al., "Channel Measurements and Models for High-Speed Train Communication Systems: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 2, pp. 974-987, 2016.
- [5] Xiaoxi Yu, "Research on network coverage and handover of high speed railway broadband wireless access network", Master Thesis of Beijing Jiaotong University, Oct.2012.
- [6] K.Ishizu et al., "Bullet-train Network Architecture for Broadband and Real-time Access," in 12th IEEE Symposium on Computers and Communications, (ISCC 2007), Aveiro, Portugal, July 2007, pp. 241-248.
- [7] B. Lannoo, D. Colle, M. Pickavet, P. Demeester, "Radio-over-fiber-based solution to provide broadband internet access to train passengers", *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no.2, pp. 56 – 62, Feb. 2007.