

High Speed Railway Wireless Channel Model for TD-SCDMA Mobile Communication System

Guoqing Hu^{1, 2, a, *}, Chunlai Li¹, Jingjing Liu¹, Jun Pan¹, Jin He^{1, 2, b}, Huali You¹, Zhijiong Wang¹ and Ying Yu¹

¹ Peking University Shenzhen SoC Key Laboratory, Peking University Shenzhen Institution, Shenzhen, China

² School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing, China

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

*Corresponding author: huking@pku.edu.cn

Keywords: High Speed Railway, TD-SCDMA, Wireless Channel Model.

Abstract. The geographical scene of high speed railway(HSR) is complex and changeable. To provide continuous and stable wireless access for high speed rail passengers, it is necessary to analyze the transmission characteristics of wireless channel and establish the wireless channel model. In this paper, the HSR wireless channel model of TD-SCDMA mobile communication system is established based on the field test of 23 thousand and 500 km, which provides an important reference for subsequent related research.

TD-SCDMA移动通信系统高铁无线信道模型

胡国庆^{1, 2, a, *}, 李春来¹, 刘京京¹, 潘俊¹, 何进^{1, 2, b}, 尤华丽¹, 王志炯¹, 余迎¹

¹北京大学深圳研究院系统芯片设计重点实验室, 深圳, 中国

²北京大学信息科学技术学院, 北京, 中国

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

*通讯作者: huking@pku.edu.cn

关键词: 高铁; TD-SCDMA; 无线信道模型。

中文摘要. 高铁经过的地理场景复杂多变, 要为高铁旅客提供持续稳定的无线接入就必须分析高铁场景下的无线信道传输特性, 建立高铁无线信道模型。本文基于长达2.35万公里的高铁无线信道实地测试, 建立了TD-SCDMA移动通信系统高铁无线信道模型, 为后续相关研究提供了重要参考。

1. 引言

截止至2017年12月, 中国高速铁路HSR (High Speed Railway) 总营业里程达到2.5万公里, 占世界高铁运营里程60%以上。随着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, 为时速达到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, 因为高铁经过的地理场景复杂多变, 要提供持续稳定的无线接入就必须分析高铁场景下的无线信道传输特性, 建立高铁无线信道模型。

为了获得最接近高铁乘客移动手机终端的测量数据, 我们采用多个智能手机终端同时搭载一款专业手机信号测试软件, 针对TD-SCDMA (Time Division-Synchronous Code Division

Multiple Access, 时分同步码分多址) 移动通信系统, 直接乘坐中国高铁列车, 在高铁上对其无线信号状况进行了长达2.35万公里的实地测试。通过对实测数据进行分析, 我们建立了TD-SCDMA移动通信系统高铁无线信道模型。

2. TD-SCDMA移动通信系统高铁无线信道模型

本部分将首先给出用于分析高铁场景下无线信号路径损耗的对数距离路径损耗模型, 之后再详细给出各种地理场景下的实地测量数据。

2.1 对数距离路径损耗模型

大量针对高铁路径损耗的研究^[1-6]表明高铁场景下的路径损耗满足对数距离路径损耗模型。所以, 在后续研究中, 我们将采用对数距离路径损耗模型来分析高铁的路径损耗, 表达式如下^[1]:

$$PL(d)[dB] = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

其中, d 为发射端到接收端的距离, $PL(d)$ 为距离 d 的平均路径损耗, d_0 代表参考距离, $PL(d_0)$ 为参考点的路径损耗。 n 为路径损耗因子, 取值与信号传播所经过的地理环境有关。 X_σ 代表均值为零的对数正态分布随机变量, 标准差为 σ , 此对数正态分布可以反映出阴影衰落对路径损耗的影响^[2]。

基于公式(1), 用户端设备UE接收到的信号强度 $Pr(d)$ 可以表示为^[2]:

$$P_r(d)[dBm] = P_t[dBm] + G[dB] - PL(d)[dB] - PL_{other}[dB] \quad (2)$$

其中, P_t 为信号发射功率, G 为天线增益, PL_{other} 是由于馈线和其他设备引起的衰减^[2]。

2.2 TD-SCDMA高铁无线信号实地测量数据

本次测试选取了大城市、中等城市、小城市、山城、郊区、乡村、山地其中地理场景, 相关的测试数据选取地点和对应的高铁路线如下:

大城市场景测试结果选取区域及高铁线路: 北京市, 上海市, 江苏省南京市(京沪高铁); 浙江省杭州市(沪昆高铁); 湖北武汉市(京广高铁); 四川省成都市(重庆-成都高铁)。

中等城市场景测试结果选取区域及高铁线路: 江苏省无锡市、苏州市、常州市(京沪客运专线); 浙江省宁波市、温州市, 福建省福州市、泉州市、厦门市(杭州-厦门高铁); 湖南省长沙市, 河北省石家庄市(京广高铁); 广东省佛山市(深圳-广州高铁)。

小城市测试结果选取区域及其高铁线路: 河北省邢台市、邯郸市, 河南省安阳市、鹤壁市, 湖北省咸宁市、赤壁市、临湘市, 广东省韶关市(京广高铁); 山东省曲阜市, 浙江省镇江市(京沪高铁); 浙江省嘉兴市、余姚市、宁海县、三门县, 福建省福清市、莆田市、漳州市(杭州-厦门高铁); 广东省汕尾市、虎门镇(厦门-广州高铁); 浙江省湖州市、江苏省宜兴市、溧阳市(宁杭客运专线); 安徽省全椒县(合宁线)、六安市(合武线), 湖北省枝江市(汉宜线)。

山城测试结果选取区域及高铁线路: 重庆市, 湖北省恩施市、建始县、宜昌市(重庆-宜昌高铁); 山东省泰安市(京沪高铁); 四川省峨眉山市(成都-峨眉山高铁)、青城山镇(成都-青城山高铁); 江苏省南京市牛首山附近(京沪高铁)。

郊区测试结果选取区域及其高铁线路: 北京市郊区、河北省邯郸市郊区、河南省郑州市郊区、湖北省武汉市郊区、湖南省临湘市郊区(京广高铁); 江苏省南京市郊区(京沪高铁); 上海市郊区, 浙江省嘉兴市郊区、杭州市郊区(沪昆高铁); 浙江省绍兴市郊区、宁波市郊区(杭州-福州高铁); 浙江省湖州市郊区, 江苏省宜兴市郊区(宁杭线); 安徽省六安市郊区(合武线); 广东省汕尾市郊区(厦深线)。

乡村测试结果选取区域及其高铁线路：数据选取地区集中于华北平原、长江中下游平原，京广线河北省、河南省乡村地带，宁杭线江苏省、浙江省乡村地带，合武线安徽省乡村地带，杭州-福州高铁浙江省乡村地带。

山地测试结果选取区域及高铁线路：山东省泰安市附近泰山山脉（京沪高铁）；重庆-宜昌之间的山脉（重庆-宜昌高铁）；四川峨眉山脉（成都-峨眉山高铁）、青城山脉（成都-青城山高铁），浙江省雁荡山脉（杭州-福州高铁）。

经过数据分析，我们得到了大城市、中等城市、小城市、郊区、乡村、山城、山地七种地理场景下TD-SCDMA高铁无线信号接收强度，如公式(3)和图1所示。

$$\left\{ \begin{array}{l} P_r(d) = 46.4368 - 41.7210 \log(d), \text{ 大城市} \\ P_r(d) = 32.1810 - 35.6083 \log(d), \text{ 中等城市} \\ P_r(d) = 18.3478 - 30.6905 \log(d), \text{ 小城市} \\ P_r(d) = 40.5371 - 41.9922 \log(d), \text{ 山城} \\ P_r(d) = 13.9291 - 29.5276 \log(d), \text{ 郊区} \\ P_r(d) = 3.0377 - 25.1572 \log(d), \text{ 乡村} \\ P_r(d) = 60.6369 - 48.9914 \log(d), \text{ 山地} \end{array} \right. \quad (3)$$

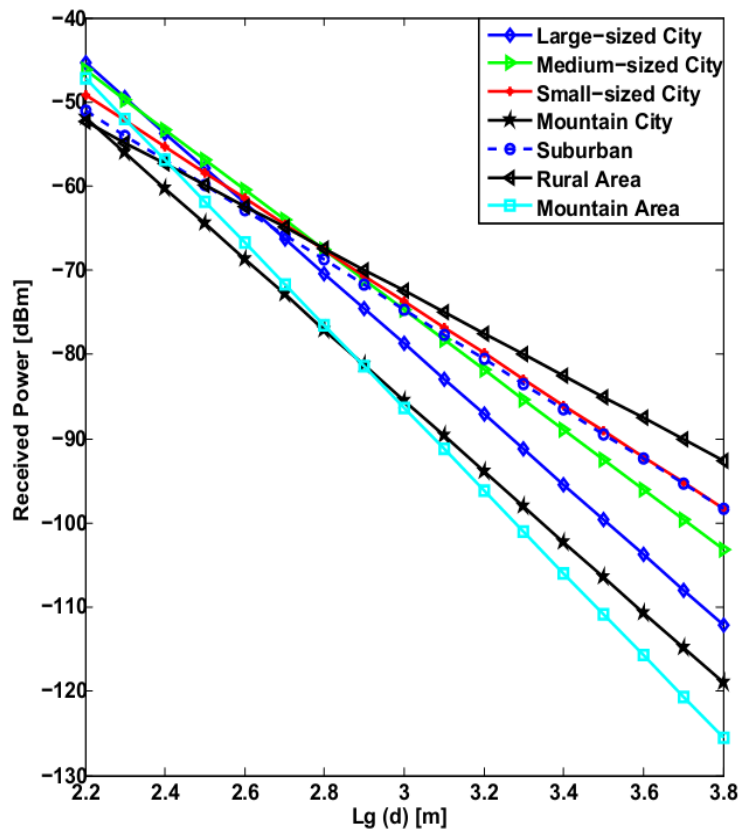


图1 TD-SCDMA高铁无线信号实地测量数据

从图中可以看出，路径损耗因子最大的是山地地区，因为山地地区地势起伏很大，无线信号的传输经常遇到障碍物；大城市由于建筑密度很大并且高度较高，所以路径损耗因子也很大；山城地区由于建筑物较多，再加上群山环绕，无线信道状况跟大城市类似；由于我们选取的郊区地带一般为大中城市的郊区，而这些地带的郊区地面建筑分布与小城市颇有相似

之处，所以图中小城市和郊区的接收强度有些相近；无线信号传输质量最好的是乡村地区，因为这些地区基本没有大的地面障碍物，传输信道比较理想。

3. 结束语

高铁经过的地理场景复杂多变，要为高铁旅客提供持续稳定的无线接入就必须分析高铁场景下的无线信道传输特性，建立高铁无线信道模型。本文基于长达2.35万公里的高铁无线信道实地测试，建立了TD-SCDMA移动通信系统高铁无线信道模型。通过分析我们发现：高铁场景下路径损耗最大的是山区，其次是大城市 and 山城地区，再次是中小城市和郊区，路径损耗最小的是障碍物很少的乡村地区。

致谢

本文由深圳市个人创客项目（GRCK2017042415235934），深圳市基础研究项目（JCYJ20170817113758285、JCYJ20170307164201104、JCYJ20160329161334453、JCYJ20170817112527562、JCYJ20170412153845293、JCYJ20170307164247428、JCYJ20170817113844300、JCYJ20170817112708243、JCYJ20170817113029596、JCYJ20170817112848591、JCYJ20170412153812353、JCYJ20170307172513653），中国博士后基金面上资助项目（2017M620523、2017M622619），深圳市技术攻关项目（JSGG20170414140411874），国家自然科学基金项目（61574005），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] 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.
- [4] 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.
- [5] Guoqing Hu, Jin He, Guangjin Ma, Chunlai Li, Ying Yu, "Summary of the Study on High Speed Railway Access Network", The 2017 2nd International Conference on Electrical Technology and Mechanical Engineering (ICETME 2017), Guangzhou, China, pp.1-4, July 15-16, 2017.
- [6] J. Huang, C.-X. Wang*, R. Feng, J. Sun, W. Zhang, and Y. Yang, "Multi-frequency MmWave massive MIMO channel measurements and characterization for 5G wireless communication systems," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 35, no. 7, pp. 1591-1605, July 2017.