

Analysis and Suggestions on Interference between TD-LTE Special Wireless System for Urban Rail Transit and Private Networks in Other Industries

Xiaomeng Gao

Chengdu Rail Transit Line 17 Phase I JD Installation 2 Standard Project Manager, China Communications Mechanical and Electrical Engineering Bureau Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610041, China

Abstract

The construction of urban rail transit is in a period of high-speed development, and the vehicle ground wireless communication system in the special wireless communication system provides the vehicle ground wireless service transmission channel for the subway system professionals, and its safety is very important. In order to ensure that the ground part of TD-LTE vehicle ground wireless communication system using 1785-1805MHz wireless frequency band is not interfered by the wireless special network of other industries, the interference between the systems and the total The condition of storage is analyzed, and the suggestion of eliminating interference is put forward.

Keywords

urban rail transit; subway; TD-LTE; wireless interference

城市轨道交通 TD-LTE 专用无线系统与其他行业专网间干扰分析及建议

高晓梦

中交机电工程局有限公司成都轨道交通 17 号线一期工程 JD 安装 2 标项目经理部, 中国·四川 成都 610041

摘 要

城市轨道交通建设处于高速发展时期, 而专用无线通信系统中的车地无线系统为地铁各系统专业提供车地无线业务传输通道, 其安全性非常重要, 为保证采用 1785-1805MHz 无线频段的 TD-LTE 车地无线通信系统地面部分不受其他行业无线专网干扰, 论文对系统间的干扰及共存的条件进行分析, 并对网络建设提出排除干扰建议。

关键词

城市轨道交通; 地铁; TD-LTE; 无线干扰

1 概述

2015 年 2 月, 工信部发布了“关于重新发布 1785-1805MHz 频段无线接入系统频率事宜的通知”(工信部无^[2015]65 号文) 明确指出了 1785-1805MHz 频段可以用于城市轨道交通行业专用通信, 解决了城市轨道交通车地通信迫切需要的专用频率问题, 该文件对城市轨道交通运营及持续发展具有十分重要的意义^[1,2]。中国乌鲁木齐地铁 1 号线车地无线通信系统采用了 TD-LTE 技术组网, 同时根据 65 号文向新疆维吾尔自治区无线电管理局申请了 1785-1805MHz 频段来使用, 但因为该频段是为了解决交通、电力、石油等行业的频率资源使用问题, 后续如果有其他行业申请使用该频段资源,

可能会存在潜在的干扰问题, 尤其是地面部分, 乌鲁木齐地铁 1 号线正线均为地下部分, 但车辆段及停车场均在地面, 且和地窝铺国际机场等交通部门邻近, 极易和其他无线专网造成互相干扰, 因此在建设同时需要就干扰问题做出分析和处理建议, 以下就是详细分析及避免干扰的建议:

2 乌鲁木齐地铁 1 号线 TD-LTE 无线系统介绍

2.1 号线工程概况

乌鲁木齐轨道交通 1 号线南起三屯碑站, 北至国际机场站, 正线全长 27.6km, 全部为地下线, 其中设置地下车站 21 座, 也均为地下车站, 另外设置车辆基地 2 处, 均为地面基地, 分别是:

- 燕儿窝停车场，位于线路南端三屯碑附近。
- 百园路车辆段：西侧边界与北京北路毗邻，东侧边界与天津北路毗邻；其纬度线与地窝堡国际机场（也属于交通行业，且存在同频段同制式建网需求）基本一致。

2.2 组网方案及网络结构

根据乌鲁木齐地铁 1 号线对无线综合承载平台的建设需求，本项目建设两张基于 TD-LTE 技术的独立运行的网络 A 网和 B 网，两张网络完全独立，并行工作，互不影响，做到重要业务的承载保障。在 A 网上承载地铁信号系统和乘客信息系统、安防系统、车载 FAS 业务；在 B 网上承载信号系统及备用业务。

全线按照链状网结构分别部署两套（A 网 +B 网）完全相同的分布式基带处理单元（BBU）+ 射频拉远单元（RRU）网络，通过传输系统提供的传输通道分别接入地铁控制中心设置的两套 LTE 核心网设备（EPC）。隧道区间采用 RRU+漏泄同轴电缆方式覆盖，车辆段采用 RRU+ 天线方式覆盖。

2.3 频率指配

根据新疆维吾尔自治区无线电管理局颁发的新无管函【2015】9 号文，乌鲁木齐地铁 1 号线 TD-LTE 网络频率指配如下：

（1）正线地下线路区域

- A 网使用 15MHz 系统带宽同频组网，占用 1785–1800MHz 频带。
- B 网使用 5MHz 系统带宽同频组网。占用 1800–1805MHz 频带。

（2）车辆段 / 停车场地面区域

- A 网使用 5MHz 系统带宽同频组网，占用 1795–1800MHz 频带。
- B 网使用 5MHz 系统带宽同频组网。占用 1800–1805MHz 频带。

2.4 地面部分无线网络配置信息

表 1 系统配置信息如下表

车辆基地无线综合通信系统网络配置信息表	
参数	描述
A 网信道带宽	1795-1800MHz
A 网下行参考信号 RS	14.2dBm
B 网信道带宽	1800-1805MHz

B 网下行参考信号 RS	18.2dBm
双工方式	TDD
同步方式	主用：直接 GPS，备用：1588V2
上下行子帧配比	2：2，特殊子帧配置（DwPTS：GP：UpPTS=10：2：2） DwPTS 传输数据
上行功率控制	启用
基站额定发射功率	8×20W
子载波带宽	15KHz
循环前缀	Normal CP
多天线配置	8T8R，下行 MIMO，上行 SIMO
调制编码方式	自适应调制编码
业务承载带宽	A 网：综合承载，包括 CBTC 业务信息、列车实时状态信息（TCMS）、紧急文本信息、车载 CCTV 监控图像信息、PIS 图像信息。地下带宽需求合计 19Mbps，地面带宽需求合计 10Mbps
	B 网：CBTC 业务信息，合计带宽需求 8Mbps

3 地面部分无线覆盖方案^{[3][4]}

车辆段 TD-LTE 系统无线覆盖配置信息如下：

（1）通信覆盖指标

在百园路车辆段建筑红线内全部地面区域内，覆盖指标满足【RSRP ≥ -95dBm&SINR ≥ 3dB】的概率大于 98%。

（2）覆盖方式

室外采用双极化定向天线覆盖。

（3）站位及定向天线参数

项目	说明	备注
安装位置	车辆段信号楼楼顶（4 层顶面）	
安装方式	楼顶杆塔安装	
天线挂高	预设 30 米	安装在信号楼楼顶
3dB 定向角	65 度	主力覆盖方向西、南
定向增益	15dBi	

4 主要设备及系统无线指标

乌鲁木齐市轨道交通 1 号线无线综合通信系统采用中兴通讯提供的 TD-LTE 设备，其 eNodeB 为 BBU+RRU 分布式基站。BBU 的型号为 B8200，RRU 的型号 R8968 S1800。

本工程采用的 eNodeB 基站设备指标满足 3GPP 系列相关规范要求，同时满足工信部无^[2015]65 号文件相关要求。

5 干扰分析

5.1 干扰场景

轨道交通申请到的频率范围是在 1785–1805MHz 的 20MHz 范围之内，采用 A+B 双网冗余架构，A 网和 B 网配

置不同频率的载波。



图 1

如图 1 所示,地面部分使用的频段是 1795–1805MHz 这 10MHz 的频段,如果地面还有其他行业单位也分配了 1.8GHz 频段,则轨道交通 TD-LTE 系统需要考虑与其他行业的天线空间隔离距离才能实现共存。

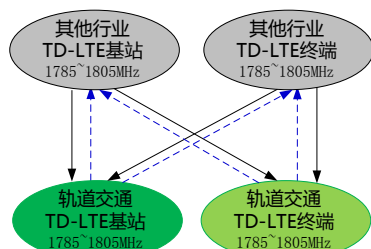


图 2

如图 2 所示,其他行业的 TD-LTE 的基站和终端可能会对轨道交通的基站和终端造成干扰。相反,轨道交通的 TD-LTE 的基站和终端也可能对其他行业的基站和终端造成干扰。

5.2 系统间共存指标

5.2.1 基站侧指标 (引自 3GPP TS 36.104)

(1) ACLR 指标

ACLR (邻信道泄漏功率比)指工作信道滤波平均功率与邻近信道滤波平均功率之比,3GPP 标准定义如下:

信道带宽 (MHz)	BS 临信道中心频率偏移	邻信道载波类型	邻信道滤波器类型及带宽	ACLR 要求
1.4, 3.0, 5, 10, 15, 20	$BW_{Channel}$	相同带宽 E-UTRA 载波	方形滤波器 (BW_{Config})	45 dB
	$2 \times BW_{Channel}$	相同带宽 E-UTRA 载波	方形滤波器 (BW_{Config})	45 dB

(2) 带内阻塞指标

干扰信号中心频率位置 (MHz)	干扰信号平均功率 (dBm)	有用信号平均功率 (dBm)	干扰信号中心频率相对于有用信道边缘的最小频率偏移 (MHz)	干扰信号类型
$(F_{UL-low} - 20) \sim (F_{UL-high} + 20)$	-43	$P_{REFSENS} + 6dB$	7.5MHz	5MHz E-UTRA 信号

(3) 邻道选择指标

信道带宽 [MHz]	有用信号平均功率 [dBm]	干扰信号平均功率 [dBm]	干扰信号中心频率相对于有用信道边缘的最小频率偏移 [MHz]	干扰信号类型
5	$P_{REFSENS} + 6dB$	-44	2.5025	5MHz E-UTRA 信号

5.2.2 终端侧指标 (引自 3GPP TS 36.101)

(1) ACLR 指标

信道带宽	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
E-UTRA _{ACLR1}	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB
E-UTRA 信道测量带宽	4.5MHz	9.0MHz	13.5MHz	18MHz
邻信道中心频率偏移 (MHz)	±5	±10	±15	±20

(2) ACS 指标

如下表所示,终端的邻道选择性指标为 33dB。

信道带宽 (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
ACS (dB)	33	33	33	33	30	27

(3) 带内阻塞指标

如下表所示,终端的带内阻塞电平为 -44dBm。

参数	单位	场景一	场景二
$P_{Interferer}$	dBm	-56	-44
$F_{Interferer}$ (偏移)	MHz	$= -BW/2 - F_{offset, case 1}$	$\leq -BW/2 - F_{offset, case 2}$
		&	&
		$= +BW/2 + F_{offset, case 1}$	$\geq +BW/2 + F_{offset, case 2}$

5.2.3 工信部无 [2015]65 号文对系统共存要求

工信部无 [2015]65 号文对 1785–1805MHz 频段的无线技术主要指标如下:

(1) 频率范围:1785–1805MHz

(2) 双工方式:时分双工 (TDD)

(3) 天线端口发射功率:

基站,小于等于 33dBm/MHz;

终端,小于等于 23dBm/MHz。

(4) 上述频段的基站在设台时,与工作于 1710–1785MHz 频段的 IMT 系统基站间的耦合损耗应不小于 50dB。

5.2.4 主要干扰分类

TD-LTE 系统间干扰可分为同频干扰、异频干扰以及因同步问题与以上 2 种干扰的组合干扰。

(1) 同频干扰

此处的同频干扰特指,因其他行业的 TD-LTE 使用了与轨道交通 TD-LTE 相同或重叠的频率资源造成的干扰。

(2) 异频干扰

尽管其他行业的 TD-LTE 使用与轨道交通 TD-LTE 不同的频率资源组网,由于时隙配置的不同,以及无线电波传输时延等原因造成的异频或邻频干扰。

由于 TD-LTE 是时分双工系统,收发同频,通过上下行时隙的划分,并利用全局时钟进行同步,实现双工切换。

不同 TD-LTE 系统间因上下行时隙配置差异对系统的影响如下:

(1) 同步:如果两个系统的时隙配置相同,并且都同步

到 GPS, 则不会出现基站和基站之间, 以及终端和终端之间的干扰。如果传播时延过大, 也可能会出现基站对终端、或终端对基站的系统间干扰。

(2) 异步: 如果两个系统的时隙配置不同, 或者没有同步到 GPS 或其他相同的时钟源上, 则两个系统为不同步系统, 即会出现图二的基站和终端两两交叉的系统间干扰。

5.2.5 共存分析基础

(1) 系统共存准则

为了保证受扰系统能够正常工作, 根据干扰产生的机理和效果, 通常需要遵守以下规避准则。

接收机灵敏度下降 0.8dB 是 3GPP 标准中研究共存干扰时使用的典型值, 一般认为 0.8dB 的降敏是可以接受的。降敏 0.8dB 要求基站接收到的杂散干扰比接收机底噪功率低 7dB。

(2) 传播损耗模型

考察两个 TD-LTE 网络是否满足共存要求, 选用的天线传播模型为 COST231 — Hata。该传输模型公式如下:

$$L_p = 46.3 + 33.9 \log F - 13.82 \log H_b + (44.9 - 6.55 \log H_b) \log d - a(H_m) + C_m \quad (\text{公式 1})$$

其中: L_p 为平坦市区的中值传播损耗 (dB);

F 为频率, 范围 1500MHz–2000MHz;

H_b 为基站天线高度, 范围 30–200m;

H_m 为移动台天线高度, 范围 1–10m;

d 为传播距离, 范围 1–20km;

$a(H_m)$ 为移动台天线修正因子:

$$a(H_m) = (1.1 \log(F) - 0.7) H_m - (1.56 \log(F) - 0.8)$$

C_m 为地形修正因子。

当 TD-LTE 系统使用 1.8G 频段时, $F=1800\text{MHz}$, 基站天线高度 $H_b=30$ 米。上式可以简化为:

$$LP(\text{dB}) = 136.5 + 35.5 \log d - a(H_m) \quad (\text{公式 2})$$

根据本工程环境, $a(hm)$ 取值范围 10 ~ 24dB, 具体值将根据分析环境确定。

5.3 异步系统间共存干扰分析

对异步系统, 存在基站 – 基站, 基站 – 终端, 终端 – 终端的相互干扰。考虑到基站的发射功率、天线挂高、天线增益均比终端要大的多, 因此, 只需分析共存要求最高的基站 – 基站间干扰。

5.3.1 基站允许的干扰信号强度

对于宽带系统, 被干扰基站允许接收干扰强度是根据小

区的带宽、噪声系数等参数来计算得到。

(1) 系统底噪

系统底噪 $\text{Noise} = -174 + 10 \log_{10}(\text{BW}) + \text{NF}$, BW 是系统带宽 (4.5MHz 系统带宽), 单位是 Hz; NF 是噪声系数, 基站噪声系数 4dB。

$$\text{Noise} = -174 + 10 \log(4500000) + 4 = -103 \text{dBm} \quad (\text{公式 3})$$

(2) TD-LTE 系统基站允许接收干扰强度

要使干扰系统对被干扰的 TD-LTE 系统不受影响, 则 TD-LTE 降低接受机灵敏度 0.8dB, 即, 允许接收干扰信号应比系统底噪低 7dB。

$$\text{允许接收干扰信号强度} = -103 - 7 = -110 \text{dBm}。$$

5.3.2 同频干扰分析

(1) 满足要求的最小耦合隔离度 MCL

由于基站接收到的信号为同频干扰, 系统 $\text{ACLR}=0$ 。

满足隔离度要求的 $\text{MCL} = 43(\text{Tx 功率}) + 15(\text{发射天线增益}) + 15(\text{接收天线增益}) - (-110) = 186 \text{dB}$ 。

(2) 满足要求的天线空间隔离距离

$$\begin{aligned} LP(\text{dB}) &= 136.5 + 35.5 \log d - a(H_m) \\ 186 &= 136.5 + 35.5 \log d - 24 \\ 112.5 + 35.5 \log d &= 186 \\ d &= 100 \text{km}。 \end{aligned}$$

5.3.3 异频干扰分析

(1) 满足要求的最小耦合隔离度 MCL 值

由于基站接收到的信号为异频信号, 系统对临信道的压制 $\text{ACLR}=45$

满足隔离度要求的 $\text{MCL} = 43(\text{Tx 功率}) - 45(\text{ACLR}) + 15(\text{发射天线增益}) + 15(\text{接收天线增益}) - (-110) = 141 \text{dB}$ 。

(2) 满足要求的天线空间隔离距离

$$\begin{aligned} LP(\text{dB}) &= 136.5 + 35.5 \log D - a(H_m) \\ 141 &= 136.5 + 35.5 \log D - 24 \\ D &= 6.5 \text{km}。 \end{aligned}$$

5.4 同步系统间共存干扰分析

对于同步的两个系统, 不存在基站 – 基站间干扰。考虑到基站的发射功率、天线挂高、天线增益均比终端要大的多, 因此只需分析共存要求最高的基站 – 终端间干扰即可。

5.4.1 同频干扰分析

(1) 满足要求的最小耦合隔离度 MCL 值

终端的 NF 噪声系数通常为 8 dB, 比基站噪声系数高

4dB。

因此终端允许接收干扰信号强度 = $-110-4=-114\text{dBm}$ 。

由于基站接收到的信号为同频干扰，系统 ACLR=0。

满足隔离度要求的 $\text{MCL}=43(\text{Tx 功率})+15(\text{发射天线增益})+5(\text{车载接收天线增益})-(-114)=177\text{dB}$ 。

(2) 满足要求的天线空间隔离距离

$$\text{LP(dB)} = 136.5 + 35.5 \cdot \log d - a(\text{Hm})$$

$$177 = 136.5 + 35.5 \cdot \log d - 10 = 126.5 + 35.5 \cdot \log d$$

$$d=20\text{km}.$$

5.4.2 异频干扰分析

(1) 满足要求的最小耦合隔离度 MCL 值

由于终端接收到的信号为异频干扰，系统 ACS=33

满足隔离度要求的 $\text{MCL}=43(\text{Tx 功率})-33(\text{ACS})+15(\text{发射天线增益})+5(\text{接收天线增益})-(-110-4)=144\text{dB}$ 。

(2) 满足要求的天线空间隔离距离

$$\text{LP(dB)} = 136.5 + 35.5 \cdot \log D - a(\text{Hm})$$

$$144 = 136.5 + 35.5 \cdot \log D - 10$$

$$D=3.2\text{km}.$$

5.5 共存所需的最小空间隔离距离

其他行业基站与轨道交通基站之间网络配置的不同，需要的干扰隔离距离如下表所示：

干扰场景	系统间天线空间隔离 (km)
同频、异步	100
同频、同步	20
异频、异步	6.5
异频、同步	3.2

6 避免干扰的合理化建议

6.1 频率使用建议

根据上述计算，如果其他行业需要建设 TD-LTE 系统，并且使用轨道交通的已批复的 1795MHz-1805MHz 频率时，需要与轨道交通的地面部分至少保持 20km 的距离，且必须采用完全同步方式，才可避免干扰。

如果其他行业使用与轨道交通地面部分相邻的 1785-1795 频段，则需要的隔离距离为 3.2km，且需采用 2:2 时隙配置。

6.2 网络建设建议

(1) 限制天线挂高 (小于 20m) 和增益，尽量使用低增益天线进行近场覆盖，控制覆盖范围。

(2) 采用 2:2 同时隙配置，统一使用 GPS 信号直接同步。

(3) 实施过程中与其他专网建设单位积极协商，调整天线方位角和下倾角等工程和网络参数。

参考文献

- [1] 工业和信息化部关于重新发布 1785-1805MHz 频段无线接入系统频率使用事宜的通知. 工信部无 [2015]65 号, 2015.
- [2] 关于转发工信部 1785-1805MHz 频段使用事宜通知及有关落实工作的意见. 中城轨 [2015]008 号, 2015.
- [3] 基于 LTE 技术的城市轨道交通车-地通信综合业务承载可行性分析及实验室测试报告, 2016.
- [4] 城市轨道交通 CBTC 信号系统行业技术规范 - 数据通信子系统规范, 2015.