

# UL 网络在地铁的部署与优化

## Deployment and Optimization of UL Network in Subway

吴在霖<sup>1</sup>, 毛利凯<sup>2</sup>(1. 中国联通天津分公司, 天津 300000; 2. 北京电信规划设计院有限公司, 北京 100044)

Wu Zailin<sup>1</sup>, Mao Likai<sup>2</sup>(1. China Unicom Tianjin Branch, Tianjin 300000, China; 2. Beijing Telecom Planning & Designing Institute Co., Ltd., Beijing 100044, China)

### 摘要:

为满足地铁高话务量和高速数据流量的需求,在现有GSM网络的基础上,利用UMTS与LTE(UL)共传输、单芯双向光模块、局点试验台搭建等方案,构造UL网络的地铁室分系统。网络优化后地铁内的导频信道功率、LTE下载速率、UMTS语音业务质量等指标得到显著改善。

### 关键词:

地铁;室内分布系统;共传输;优化;UMTS;LTE  
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2019.05.012  
中图分类号:TN929.5  
文献标识码:A  
文章编号:1007-3043(2019)05-0052-05

### Abstract:

In order to meet the demand for high traffic and high-speed data traffic of the subway, based on the existing GSM network, the UMTS and LTE (UL) co-transmission, single-core bidirectional optical modules and site test-bed construction are used to construct subway indoor distribution system of the UL network. After the network optimization, the pilot channel power, LTE download rate, and UMTS voice service quality in the subway have been significantly improved.

### Keywords:

Subway; Indoor distribution system; Co-transmission; Optimization; UMTS; LTE

**引用格式:** 吴在霖, 毛利凯. UL网络在地铁的部署与优化[J]. 邮电设计技术, 2019(5): 52- 56.

## 0 前言

从上世纪70年代我国第1条地铁竣工开通,至今已过去近半个世纪。在这几十年中,我国已建成通车约4 000 km的地铁线路,排名世界第一。当下室内轨道交通已成为一、二线城市公共交通中最重要的组成部分。仅以国内某一线城市为例,截至2016年,该市轨道交通运营线路共有5条,线网覆盖10个市辖区,运营里程166 km。地铁作为现代化城市重要的交通工具之一,建设力度不断加强。预计2020年该市地铁将形成14条运营线路、总里程513 km的轨道交通系统。据统计2016年该市轨道交通年客运量2.77亿乘

次,日均客运量逾70万乘次。

地铁是用户流量的价值区域,一直以来都较受运营商重视。互联网时代每一个用户无时无刻不在使用网络,特别是乘客在等待与乘坐地铁的过程中,都在利用手机进行娱乐、交流。面对日均几十万逾次的乘客流量,在早晚高峰期,地铁线路中产生的高话务量与数据业务量,当前的GSM网络根本无法满足终端用户对高话务量和高速数据业务的需求。为尽快满足地铁内UMTS用户和LTE用户的使用需求,不断提升用户感知度,地铁内需部署UMTS和LTE网络。

本文通过对某市地铁13个站点的UMTS与LTE共传输部署,研究在地铁现网传输端口光纤资源稀缺,开通割接工期紧张的情形下,如何快速、高效完成通信网络的覆盖,为通信网络建设在复杂场景的实施应

收稿日期:2018-04-16

用提供了参考案例。

## 1 地铁通信系统特点

### 1.1 地铁无线覆盖场景

现行大部分轨道交通位于地下,导致地铁隧道、站厅、站台这样的封闭环境都是信号盲区,列车车廂外壳与高密度人流都会造成无线信号的屏蔽与衰减。

地铁信号覆盖相比于室外站点和传统室内建筑覆盖相比有以下几点区别。

- a) 地铁场景较为复杂,覆盖包括购票厅、乘客通道、站台和隧道区间等。
- b) 每日地铁内高峰期的庞大人流造成用户数、数据业务、话务量的陡增。
- c) 地铁位于地下,几乎都是信号盲区。
- d) 地铁隧道空间受限,多运营商间室分系统干扰大,信号覆盖工程复杂。

### 1.2 信号传播模型

机房内基带单元、传输等设备与室外吸顶天线共同组成站厅、站台的通信覆盖。由于地铁的站厅较为空旷,人流比较密集,但移动速度比较慢,站厅的无线覆盖可以采用常规楼宇的天线阵来进行,一般站厅只需要1套POI设备即可满足覆盖需求。使用ITU-R P.1238室内传播模型计算自由空间传播损耗:

$$L = 20 \lg(f) + N \lg(d) + L_{f(n)} - 28 \text{ dB} + X_s \quad (1)$$

式中:

- $N$ ——距离损耗系数,地铁覆盖一般取20
- $f$ ——频率(MHz)
- $d$ ——移动台与发射机之间的距离(m), $d > 1 \text{ m}$
- $X_s$ ——慢衰落余量,取值与覆盖概率要求和室内慢衰落标准差有关,已经在边缘覆盖指标中考虑,此

处不用考虑

$L_{f(n)}$ ——穿透损耗系数, $L_{f(n)} = P \times W$

$P$ ——墙壁损耗参考值,地铁站厅站台以钢筋混凝土建筑为主,根据业内参考值取20 dB

$W$ ——墙壁数目

根据式(1)可计算地铁室内传播路径损耗,并推算相应的站厅及站台的覆盖范围。

### 1.3 合路方式

基带单元、传输等设备与泄漏电缆共同组成地铁隧道内通信覆盖。由于地铁内同时存在多家通信运营商,所以地铁内一般为多运营商、多系统采用POI合路组网方式。若本运营商在地铁内存在资源,则可利用原有光缆组网方式,将机房与隧道内的功分、耦合方式进行简化,机房与隧道内合路方式如图1所示,省略了其余运营商的频分合路。

### 1.4 信号切换

地铁通信覆盖切换主要分为三大类:隧道内切换、站厅与车站出入口切换、站台与隧道切换。

列车在运行过程中跨越不同的小区,伴随着小区信号强弱的变化,信号切换是否成功取决于原服务小区信号衰减率的高低,即在一定时间段内仍要满足边缘RSRP=-105 dBm的要求。

考虑到用户感知度、降低用户投诉率,一般将隧道内切换区设置在隧道中间地段。以地铁内某站点为例,隧道内切换小区强度示意如图2所示。隧道间电平值变化基本呈现“V”字型,谷底即为隧道内切换区。

## 2 基于UL网络的地铁室分系统构造

构造地铁内的室分系统是一项系统工程,不仅需

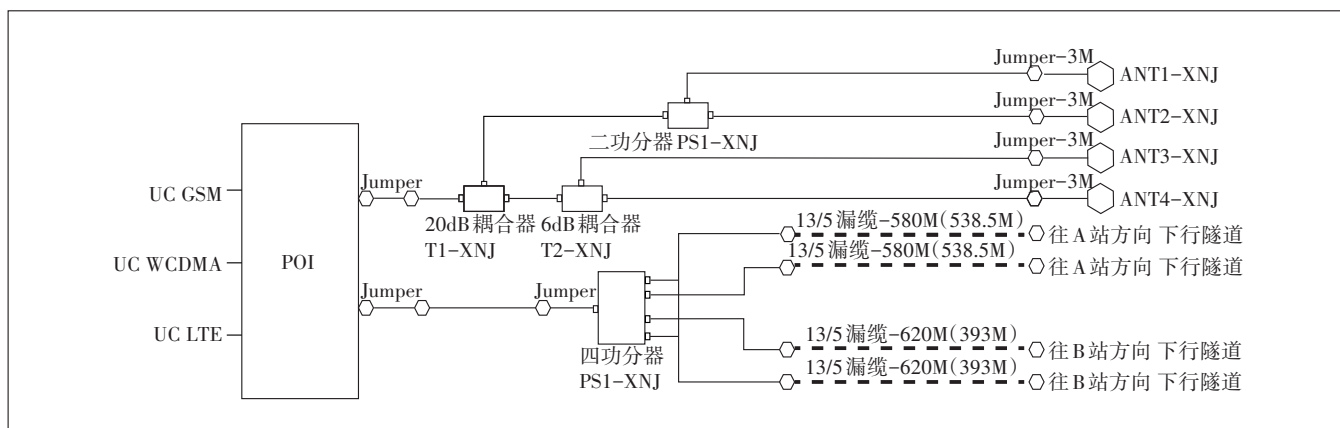


图1 机房与隧道内合路方式示意图



图2 某市地铁隧道内切换小区场强

要考虑新建系统对原有通信网络系统的干扰,同时还要规避对地铁信息的影响;还要合理高效利用原有通信网络系统资源和隧道资源,给网络扩容升级改造等未来需求留有余地。

### 2.1 局内搭建试验台

为降低 UL 网络开通工作对于地铁信号的影响,需要同时对传输系统进行割接。同时由于当前 GSM 传输未成环,为避免割接中造成原 GSM 网络全部断链,需先将原传输设备恢复成环。

以该市地铁某线为例,对于原同一套 GSM 传输设备挂接的范围站点,在同一天凌晨 4 h 的割接工作中完成对应的断站替换。按照预置数据顺序,需要在 4 h 内完成所有的断站替换与传输割接。针对割接的时限要求,采用局点内试验台搭建的方案:将 BBU 站点与接入层的传输设备一并搭建在南门里实验局点中,模拟 UL 实际开通场景,保证割接过程的准确性与及时性。

### 2.2 单芯双向光模块

单芯光模块是利用 WDM 技术,实现一根光纤双向传输光信号。一般光模块有 2 个端口, Tx 为发射端口, Rx 为接收端口;单芯光模块只有 1 个端口,通过光模块中的滤波器进行滤波,同时完成不同波长光信号的发射和接收,因此单芯光模块必须成对使用。

单芯光模块最常用的波长为 1 310/1 550 nm, 1 310/1 490 nm, 1 510/1 590 nm。单芯双向光模块应用场景如下:

- a) 集成 1 550/1 490 nm 或 1 550/1 310 nm 波分复用器。
- b) 单电源+3.3 V/+5 V 供电。
- c) LVPECL/PECL 数据接口。

d) 工作温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ (工业级) $0^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ 。

e) 符合 GR-468-CORE 要求。

f) 符合 Laser Class 1, 达到 IEC60825-1 要求。

g) 可供应符合 RoHS 规范要求的产品。

单芯光模块和传统双纤双向光模块的主要区别在于,单芯光模块配备了波分复用(WDM)耦合器,也就是双工器,根据波长的不同将在一根光纤上传输的数据进行汇合和分离。正因如此,单芯光模块也被认为是 WDM 光模块。为了能够高效地工作,单芯光模块必须配对使用,通过调谐双工器以匹配发射器和接收器的期望波长,实现数据的双向传输。例如,若配对的单芯光模块与设备 A(上行)和设备 B(下行)进行了连接,那么光模块 A 的双工器必须有一个 1 550 nm 的接收波长和一个 1 310 nm 的发射波长。光模块 B 的双工器必须有一个 1 310 nm 的接收波长和一个 1 550 nm 的发射波长。

该市地铁某线站点 BBU 上的 UMPT 主控板都采用单芯双向光模块,从中出一根光纤与传输设备 ATN950B 连接,即 CPRI 口只需出一根光纤,接收和发送共用一根光纤传送多波长光信号,节省了一半的光纤资源。

### 2.3 UL 共 BBU 共传输

随着 SRAN 网络的演进,GSM/UMTS/LTE 逐步共 BBU。为了减少传输承载链路,GU/GL/UL/GUL 多模基站侧多为共传输组网。共传输可降低 CAPEX 和 OPEX,具有简化传输维护的优势。

a) 通过共享传输端口能够减少传输承载链路,利用统计复用技术实现传输带宽共享,从而减少传输成本,提高基站侧最后一公里传输带宽利用率。

b) 共享传输网络可以简化传输配置和维护。

c) 一号线 GSM 业务逐渐转向 UMTS/LTE 业务时,减少传输网络调整,支持平滑演进。

基站共传输分为面板互连共传输、背板共传输以及共主控共传输。为节省传输资源,本次采用的 UL 共传输技术为主控板之间的背板共传输,UMTS 侧不再新增传输链路,共用 LTE 侧 GE 传输。即 UMTS 和 LTE 2 块主控板通过背板连接,UMTS 主控板通过 LTE 主控板的业务口传输 UMTS 数据,共用一个传输端和传输网络,实现传输资源共享(见图 3)。

## 3 基于 UL 网络的地铁室分系统优化

### 3.1 系统优化方案

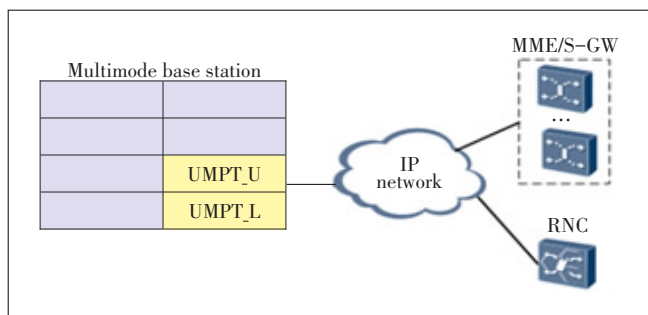


图3 UL共传传输组网

该市地铁某线UL网络开通后,经过DT测试,针对隧道内覆盖较差、用户容量和速率较低、小区切换慢或者无法切换的场景进行了相应的网络优化,LTE与UMTS的优化方案如表1所示。

表1 LTE与UMTS优化方案

特性	LTE	UMTS
覆盖	充分利用现有RRU的功率,提升20 MHz带宽频点的功率	3载波功率降低,提升1、2载波的覆盖,用户主用1、2载波
连续性	单个站点进行PCI和邻区优化调整,保证站与站之间无PCI模三干扰和邻区漏配、错配	调整邻区的切换参数,保障业务连续性
互操作	按照UMTS的语音优化效果进行CSFB回落小区和频点配置,并设置优先级,保证回落到UMTS同频小区。开启基于R9 RIM的FlashCSFB,降低接入时延	开启FastReturn功能,并针对LTE的载波优先级进行配置优化,提升FR返回LTE的准确性,保证CSFB用户挂机后能够快速返回LTE
容量提升速率提升	在1800 MHz的RRU基础上,开通L1800的10 MHz带宽,增加LTE容量。开通1800 MHz带内载波聚合,通过双载波聚合提升速率	不涉及
其他特性	优化不活动定时器,减少用户连接态的时间,降低掉话率,减少连接态用户占用弱覆盖区域的概率。分层进行L1800 2个载波的配置,区分高低优先级	调整UE不活动定时器,使UMTS用户尽快释放,增加Idle态通过弱覆盖区域的几率。调整载波优先级,语音业务优先接入10713,提升同频软切换比例,保证用户感知

### 3.2 LTE网络优化

#### 3.2.1 LTE网络覆盖优化

通过提升LTE小区功率等手段,该市地铁某线整体覆盖率提升,平均电平值由原来的-94 dBm提升到-83 dBm,良好覆盖比例由原来的79%提升到96%,环比提升约17%,优化前后RSRP对比如图4所示,以边缘场强RSRP=-105 dBm作为信号强度要求,从图4中可知,优化前多个站点及隧道中RSRP值较低,易引起网络中断。优化后网络的RSRP值基本大于要求值,覆盖提升显著。

#### 3.2.2 LTE网络容量和速率优化

基于LTE 1800M的RRU支持能力,开通二载波1506频点和载波聚合功能,结合频点优先级(频点1650优先级高于1506)和载波聚合策略(基于辅载波盲配和基于A4测量)优化,载波聚合状态占比超过50%,平均下载速率由原来的49.17 Mbit/s提升到67.54 Mbit/s,环比提升37.36%,用户感知速率提升明显。开通CA功能前后各站点测试数据平均值对比如表2所示。

### 3.3 UMTS网络优化

通过提升UMTS第1、2载波功率等手段,该市地铁某线平均电平值由原来的-80 dBm提升到-76 dBm,良好覆盖比例由原来的81%提升到88%,环比提升9%。覆盖优化后,针对站与站之间的邻区进行详细排查,地上、地下的设备厂商边界进行反复测试和最优邻区的添加、修改。优化后该线路UMTS网络长呼测试基本无掉话。

### 3.4 UL网络业务吸收及指标优化

提取某天10:00—12:00列车在隧道内运行过程中LTE下载平均速率(见表3),从表3可知隧道内下载

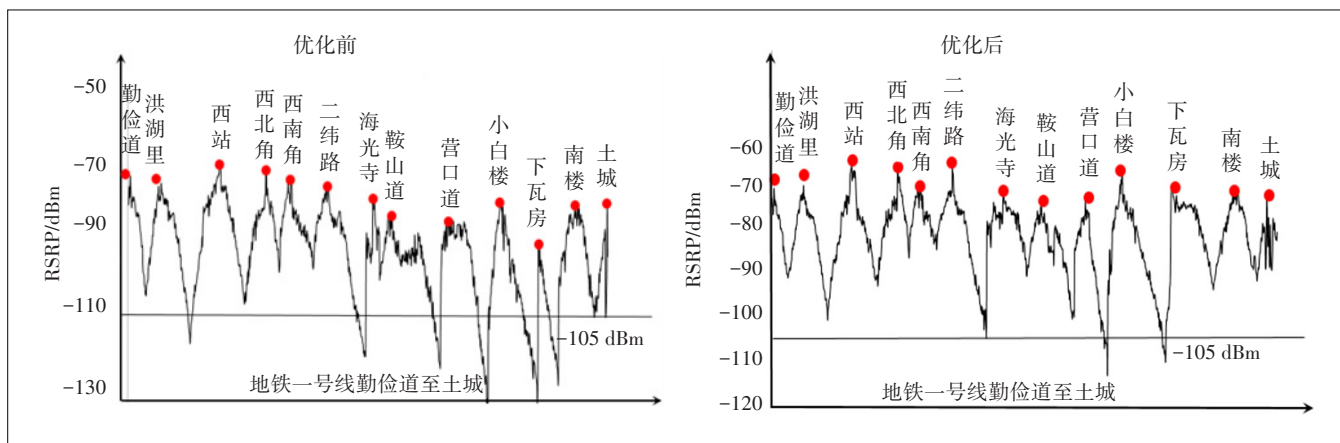


图4 优化前后该市地铁某线RSRP电平值变化



表2 该市地铁某线各个站台的覆盖及速率情况

测试位置	优化前 RSRP/dBm	优化后 RSRP/dBm	优化前 SINR/dB	优化后 SINR/dB	优化前 下载速率/(Mbit/s)	优化后 下载速率/(Mbit/s)
勤俭道	-81.81	-72.15	23.57	27.90	78.240	91.48
洪湖里	-75.78	-73.83	25.03	28.50	75.713	95.67
西站	-69.95	-67.41	27.88	28.23	89.089	87.15
西北角	-78.35	-71.93	26.82	27.19	63.249	82.78
西南角	-76.81	-76.23	25.68	28.58	57.425	68.50
二纬路	-85.30	-71.35	27.56	28.42	74.474	85.84
海光寺	-80.15	-76.44	23.32	29.76	62.096	79.81
鞍山道	-78.47	-78.63	25.52	24.78	67.487	77.79
营口道	-79.53	-75.77	27.12	28.43	95.402	89.24
小白楼	-84.64	-74.76	25.95	28.55	52.562	97.80
下瓦房	-76.76	-72.90	23.88	29.02	66.981	90.03
南楼	-83.04	-69.70	25.75	28.23	65.461	83.41
土城	-74.73	-70.57	24.89	29.41	75.820	92.02

表3 该市地铁某线站点间隧道 LTE 下载平均速率

路段	速度/(Mbit/s)	路段	速度/(Mbit/s)
勤俭道—洪湖里	73.451	鞍山道—营口道	65.344
洪湖里—西站	69.294	营口道—小白楼	55.863
西站—西北角	65.961	小白楼—下瓦房	42.019
西北角—二纬路	73.578	下瓦房—南楼	54.633
二纬路—海光寺	66.236	南楼—土城	50.546
海光寺—鞍山道	49.277		

速度最低为 42 Mbit/s, 可满足地铁内终端用户对于网络使用的需求。

连续 4 天中早高峰 06:00—09:00 期间 UMTS/LTE 业务量变化如图 5 所示, 该市地铁某线 UMTS 的话务量保持在 24 Erl 左右, 数据业务流量随着 LTE 的开通基本上维持在 5~8 GB, LTE 业务的数据业务流量保持在 70 GB 以上。

随着运营商 LTE 的 1 800 MHz 第 2 载波开通, 由于第 2 载波的带宽仅 10 MHz, 且与 GSM1800 存在干扰, 覆盖范围较小, 用户感知弱于主载波。通过优化, 2 个载波的业务占比由 2:1 优化到 3:1, 使用户更好地体验 20 MHz 带宽, 同时 10 MHz 带宽作为载波聚合进行速率辅助提升, 2 个载波业务吸收情况如图 6 所示。

#### 4 结束语

近年来, 地铁已经成为通信高业务量和高业务速率的重点室内场景, 通信各运营商对地铁的室内分布系统均做了大量的部署以提升用户的感知体验。本

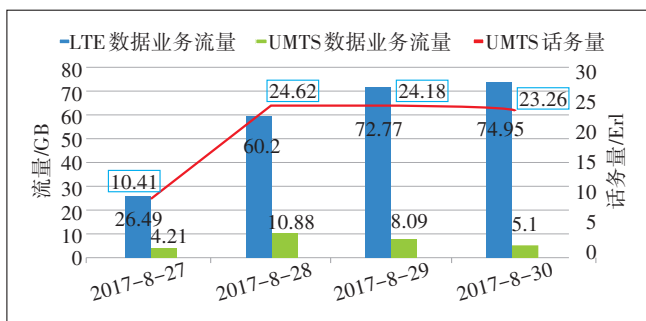


图5 该市地铁某线连续3天 UMTS/LTE 业务量变化

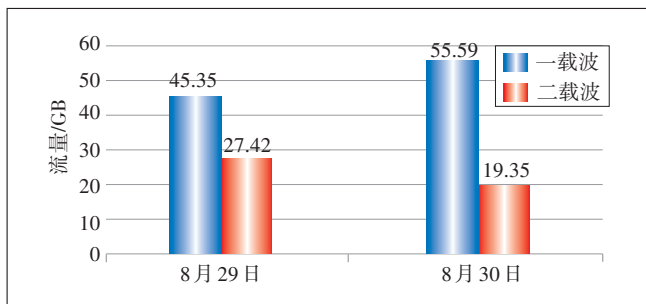


图6 该市地铁某线 LTE 2 个载波业务吸收情况

文介绍了对某市已有 GSM 网络的地铁进行基于 UL 网络的升级改造及优化, 对地铁这一场景的网络构造与优化提供了一定的借鉴和参考。

#### 参考文献:

- [1] 熊武. WCDMA 室内分布系统设计要点[J]. 中国新通信, 2017, 19(12):60.
- [2] 张成国, 李文明. 长期演进(LTE)技术在地铁无线通信中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(1):112-117.
- [3] 关强. 城市轨道交通中商用无线移动通信的引入[J]. 都市轨道交通, 2014, 27(2):94.
- [4] 尤扬, 曹恒, 曹凡. 长株潭城际铁路移动网络覆盖方案研究[J]. 邮电设计技术, 2013(2):34-37.
- [5] 何思源. WCDMA 网络 3G 回落 4G 的优化分析[J]. 无线互联科技, 2017(21):3-4, 11.
- [6] 范磊. 4G 移动通信技术的特点及其发展趋势[J]. 科技与创新, 2014(22):148.
- [7] 赵云峰. 北京地铁 4G 网络建设方案探讨[J]. 2016(1):51-56.
- [8] 程鑫, 王天怡. LTE 技术在长春市地铁 1 号线的应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(4):51-56.

#### 作者简介:

吴在霖, 工程师, 硕士, 主要从事移动网规划建设管理及政企客户项目相关工作; 毛利凯, 工程师, 主要从事移动网无线规划设计相关工作。

