

# 轨道交通LTE-M通信系统可靠性探究

钱卫中

上海地铁维护保障有限公司通号分公司 上海 静安 200071

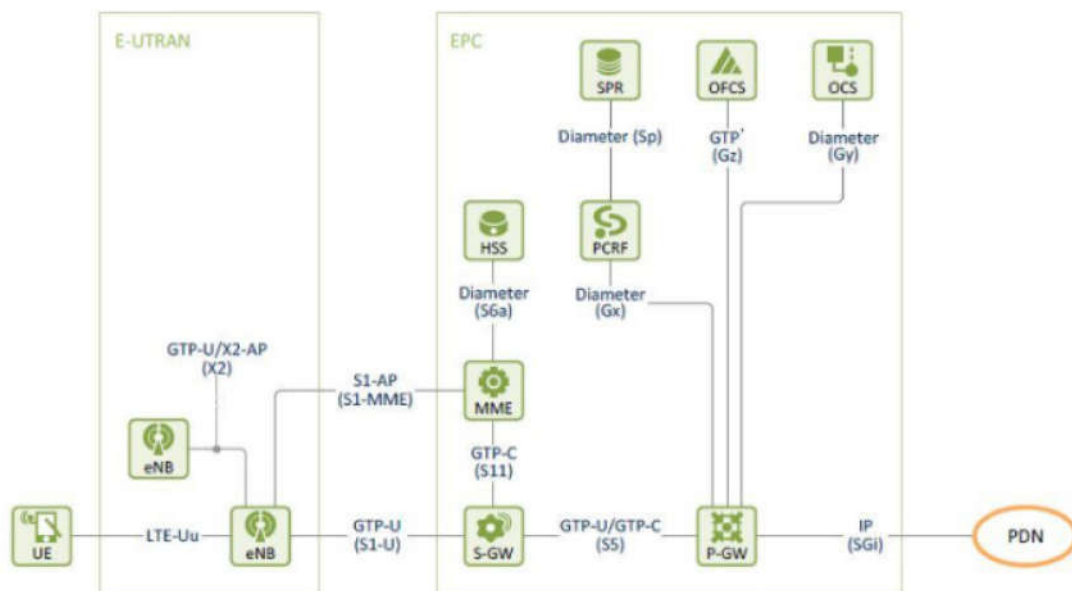
**摘要：**城市轨道交通快速发展、城市化进程的加快，对城市轨道交通运营设备在保证行车安全、提高运输效率、节能环保方面提出了新的需求。采用技术先进、性能稳定、效率优先的全自动运行系统成为轨道交通建设的发展趋势。全自动运行系统是一个系统工程，LTE-M系统作为支撑全自动运行的核心系统之一，其可靠性、安全性及可用性将直接关系到全自动运行系统的安全稳定运行。

**关键词：**轨道交通；LTE-M通信系统；可靠性

**引言：**LTE-M是针对城市轨道交通综合业务承载需求的TD-LTE系统，它在保证基于通信的列车控制系统(CBTC)车地信息传输基础上，可同时承载集群调度业务、列车运行状态监测、视频监控(IMS)、乘客信息系统(PIS)等运营安全信息。轨道交通LTE-M通信系统可靠性是保障轨道交通的一个重要指标。但是由于覆盖、传输、无线干扰等问题，可能会出现数据丢弃或无法使用的情况。为此，本文对轨道交通LTE-M通信系统的可靠性进行探究。

## 1 轨道交通 LTE-M 通信系统的基本原理

轨道交通LTE-M(Long Term Evolution-Metro)通信系统主要基于LTE技术，长期演进(LTE)是移动通信系统中使用的创新高性能空中接口的项目名称。LTE由第三代合作伙伴计划(3GPP)开发，是通用移动通信系统(UMTS)朝向全IP宽带网络的演进。LTE演进无线接入技术—E-Utran可以提供一个框架，以提升数据速率和整体系统容量，降低时延并改善频谱效率和信元边缘性能，如下是LTE系统网络架构。



LTE-M在轨道交通中的应用主要体现在列车控制系统、安全监控系统、乘客信息系统等方面。LTE通信系统的基本原理主要体现在以下几个方面：

- 基于OFDMA：LTE是基于正交频分多址(OFDMA)。在下行链路中，基于OFDMA的传输方案与多址技术相结合，提供高数据速率容量和高频谱效率，LTE上行链路

开发了一种基于OFDMA的新方案，称为单载波频分多址(SC-FDMA)。SC-FDMA能够实现较低的峰均功率比(PAR)，从而延长移动设备的使用时间。

- 灵活的调制方案：下行链路支持QPSK、16QAM和64QAM数据调制格式，上行链路支持BPSK、QPSK、8PSK和16QAM。

● 移动性：在0至350km/h各种移动速度下，所支持的语音和实时业务的服务质量实现较高的性能。

● 频谱灵活性：E-UTRA系统可部署在不同尺寸的频谱中，包括1.4、3、5、10、15 和 20 MHz，针对小型 IP 数据包提供不到 5 ms 的时延。

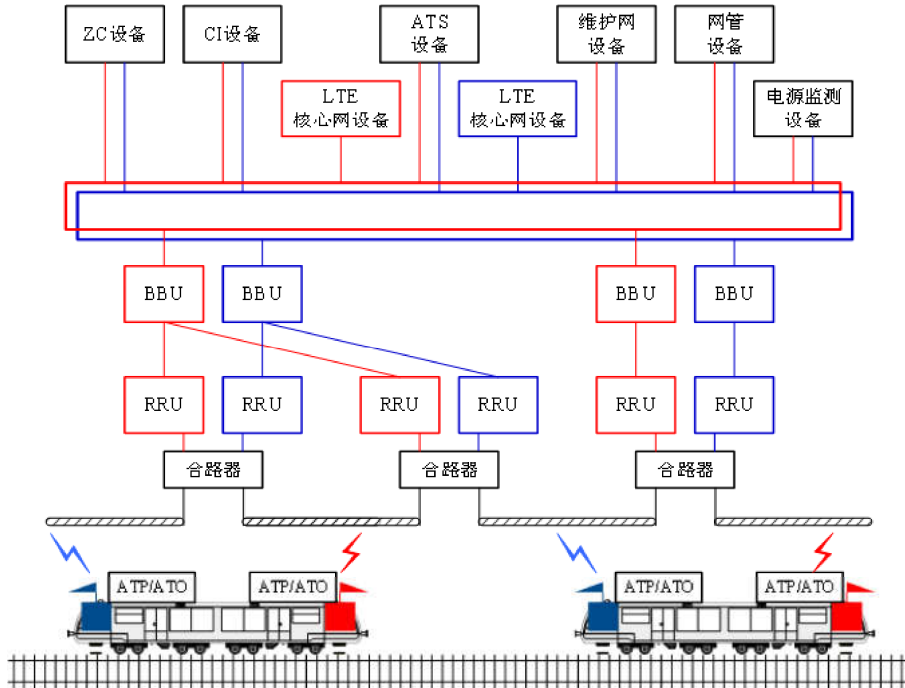
● MIMO：目前，LTE 可在 20 MHz 的频谱上实现 100 Mbps 的下载速率和 50 Mbps 的上传速率。使用多天配置可为更高速率（下行链路高达 326.4 Mbps）提供支持。LTE技术支持高达 4×4 MIMO 的单用户多输入/多输出（SU-MIMO）和多用户多输入/多输出（MU-MIMO）天线配置。

● 低时延：用户面实现最低5ms的时延。

综上所述，LTE-M技术凭借其高速率、低时延、移动性、低复杂度组网灵活等特点，成为了轨道交通通信系统的重要选择。通过实时监控列车的状态、提供乘客信息服务，以及支持安全监控系统，LTE-M在轨道交通中发挥着重要的作用。

## 2 LET-M 通信系统类型

### 2.1 无冗余通信系统



## 3 LTE-M 系统应用测试试验

### 3.1 测试环境

测试环境主要包括四个方面：一是硬件环境，硬件平台包含一个主控制单元和两个从控制器，以及一些重要的处理电路。二是软件环境，软件平台是由一个嵌入式操作系统、应用程序引擎和数据库管理系统组成。三

是接口环境，通过调用车载设备(如OBD)提供的接口来完成对LTE-M通信系统的功能测试。四是信号源环境，在测试过程中需要使用到信号源基础设施，以便能够模拟实际情况下移动网络的信号。

### 2.2 双网冗余通信系统

双网冗余通信则是一种更为复杂和可靠的设计策略。在这种设计中，轨道交通的LTE-M通信系统有两个独立的通信网络，如果一个网络发生故障，另一个网络可以立即接管，保证通信的连续性。这种设计的优点是其可靠性和稳定性，因为它可以在一个网络发生故障的情况下保证轨道交通系统的正常运行。然而，这种设计的主要缺点是其复杂性和成本。双网冗余通信需要更多的硬件和网络资源，同时也需要更复杂的网络管理和维护。这种结构能够有效避免来自于外部环境变化带来的影响，提高轨道交通LTE-M通信系统运行的可靠性<sup>[1]</sup>。

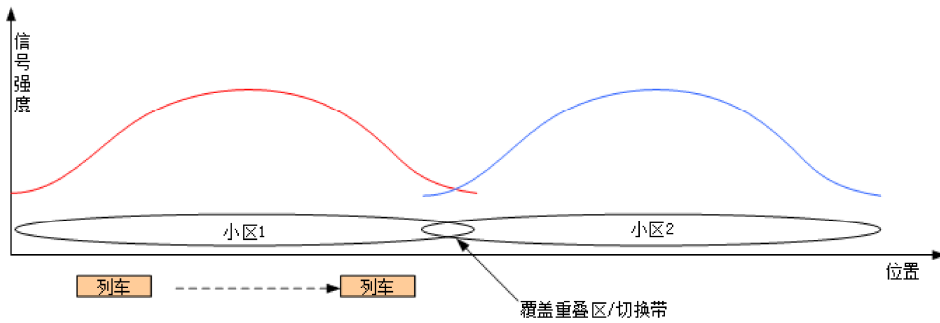
是接口环境，通过调用车载设备(如OBD)提供的接口来完成对LTE-M通信系统的功能测试。四是信号源环境，在测试过程中需要使用到信号源基础设施，以便能够模拟实际情况下移动网络的信号。

### 3.2 LTE-M系统结构设计

LTE-M系统结构设计主要包括通信设备、传输介质

和网络架构三个方面。其中，通信设备是轨道交通通信的基础，而传输介质则是在两个通信设备之间实现的物理连接部分。通常情况下，链路层及物理层负责将无线信号转换为符合轨道交通要求的无线电频率(RF)。此外，传输媒体还包含光缆、放大器和激光器件等。根据轨道交通通信特点不同，车站间通道则要考虑站点之间需要进行无缝切换，同时采用双模通信技术来实现远距离信息交换<sup>[2]</sup>。

### 3.3 信号覆盖率

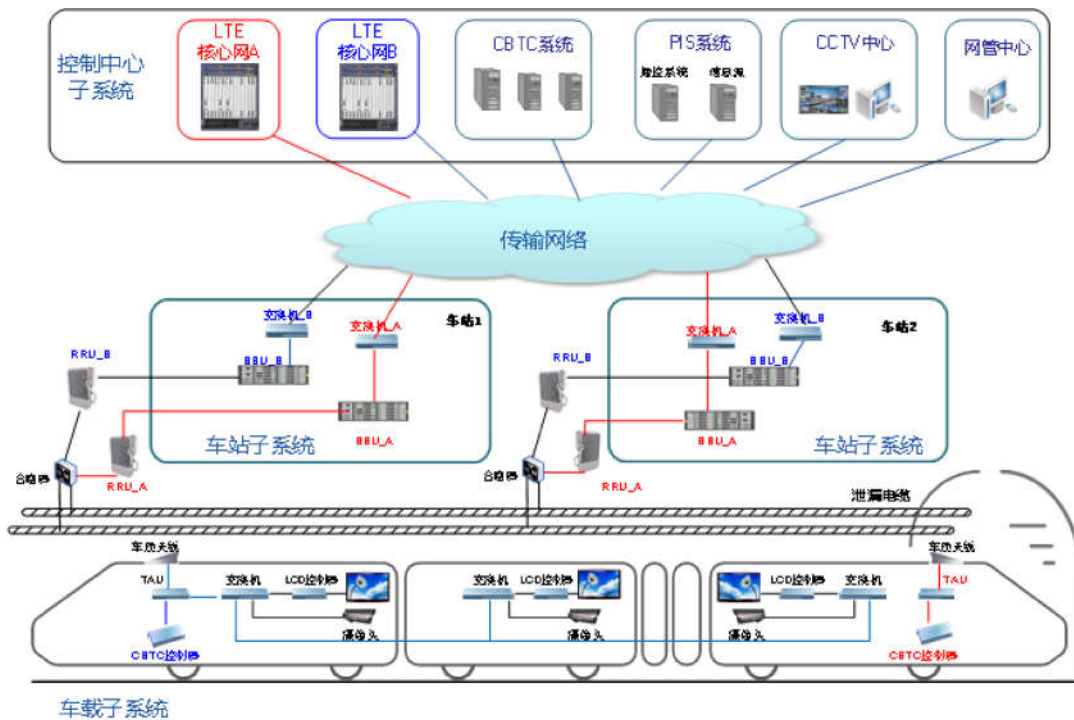


### 3.4 传输性能

轨道交通LTE-M通信系统的传输性能取决于系统采用了何种协议。RS技术已经成为轨道交通行业中数据链路通信的主流方案之一，主要用于列车控制系统和其他公共设

信号覆盖率是轨道交通LTE-M通信系统的一项重要指标，表示在一定时间内，从基站到目的地所接收到的所有移动终端所发射出的信号强度的总和。轨道列车通过轨道发送和接收信号的能力主要取决于轨道基础设施水平、设备性能以及传输特性等因素。为了确保轨道交通运输过程中信号的有效性，轨道需要具备良好的信号覆盖能力。轨道基础设施水平越高，越能提供较高覆盖率，反之亦然。另外，为了保证信号强度测量精度，还要考虑各种干扰源对轨道进行干扰而导致信号中断或衰减的情况。

备之间的高速数据连接。随着信息技术的不断发展，对车辆控制提出了更高的要求，使用冗余AB组网概念，A网综合承载，B网CBTC承载架构，具有集成度更高、功耗更低等优点，能够更好地满足日益增长的市场需要。



## 4 通信系统可靠性能分析

### 4.1 CBTC系统基本结构

CBTC系统是一种基于IEEE 802.16协议的无线通信标准，其基本原理是在列车上安装一台基站终端和一个

无源节点。当列车通过铁路信号机时，列车向目的地移动。而到达终点站后，终端将通过有源节点发送数据到移动网络，从而实现了基站与目的站点之间的双向通信功能。地铁LTE-M通信系统包括三部分：前端模块、远端模块和控制中心模块。远端模块主要负责接收来自车载设备端的下行/上行传输数据，控制中心模块则主要负责处理来自远端模块的信息，并根据具体应用情况对下游链路进行调整<sup>[3]</sup>。

#### 4.2 网络模型的可靠性

轨道交通LTE-M通信系统网络模型的可靠性主要取决于基础设施设计、线路优化和设备调试。良好的基础设施设计可以确保铁路运输安全性，线路优化有助于提高列车运行效率和列车舒适性，设备调试则是保证服务质量的重要步骤。为了确保轨道交通LTE-M通信系统的可靠性能，需要进行适当的设施建设和线路优化来提供足够的带宽资源和稳定的信号覆盖范围。另外，还要做好设备及相关测试工作，以及及时发现并解决安全问题<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 系统部件可靠性

轨道交通LTE-M通信系统的可靠性主要取决于网络设备、传输线路和供电设备。这些部件都是由工程技术人员来负责制造和安装，因此可靠性也受到工程人员能力的影响。另外，可靠性还受一些外部因素的影响，例如，轨道几何形状和轨距的选择，电缆材料的性能以及电磁干扰等因素。为了确保LTE-M通信系统能够正常工作，工作人员需要仔细考虑并安排好相关的设计和施工。LTE-M通的可靠程度将直接关系到用户使用感受，所以工作人员在进行质量控制时应该格外谨慎。

#### 4.4 通信可靠性

LTE-M的可靠性主要取决于信号质量和网络服务质量两个方面。信号质量是指轨道交通线上车辆运行所产生的噪声水平，而网络服务质量则包括轨道交通线上车辆行驶的便利性、乘客乘车安全度以及运营管理维护难度等因素。信号质量越高，信道越稳定，网络服务质量就会相应提高，反之亦然。因此，为了确保轨道交通LTE-M通信系统能够可靠运行，应提高轨道交通线路环境适应性，加强与基础设施相关联的操作规范，如设备检查、参数设定、日志记录等，建立良好的维护机制，定期对轨道交通线进行检测，及时发现问题并采取有效措施解决问题，提升故障诊断能力，通过适当增加传感器数量或安排专门人员负责监测系统中各部件性能数据，及时掌握故障隐患。

#### 4.5 无线通信

目前，地铁上使用的无线通信系统主要是基于2G技

术的TETRA (Terrestrial Trunked Radio) 系统。和LTE-M都是轨道交通通信系统中的重要角色，但他们在可靠性方面的表现存在一些差异。TETRA是一种经过时间检验的通信技术，以其卓越的稳定性、抗干扰能力、系统冗余和安全性而闻名。然而，TETRA的数据传输速度相对较低，这可能在需要处理大量数据的场景中成为一个挑战。

另一方面，LTE-M是一种新兴的通信技术，它利用LTE的高速数据传输能力，为联网设备提供了一种高效的通信解决方案。LTE-M在处理大数据量的应用中具有显著优势，但其可靠性可能受到网络覆盖、信号干扰和设备兼容性等问题的影响。因此，虽然TETRA和LTE-M在可靠性方面都有各自的优势，但他们也有各自的挑战。在选择最适合的通信技术时，需要考虑具体的应用需求和环境条件。

### 5 轨道交通技术发展的方向

当前，世界各国轨道交通技术发展呈现出显著的多样性特征：一是与铁路比较，地铁、轻轨等高速轨道具有更高的速度和安全性。二是相较于飞机、汽车和火车而言，人类对地面轨道交通系统提出了更多的功能性要求。而对于我国而言，轨道交通技术正处于不断进步之中，成为现代化交通运输体系中不可缺少的一部分。除此之外，还有许多新的轨道交通技术正不断涌现并逐步完善起来，比如LTE-M通信技术正在被广泛应用，可以带来更为安全和更丰富的应用体验。

#### 结论

轨道交通LTE-M通信系统是利用OFDM原理，具有良好的可靠性，冗余通信系统能够避免由于设备故障而导致数据丢失或中断，使用户在使用过程中更加方便和安全，且双网冗余通信系统可以提供更高的传输效率，同时也具备高容错率。为此，LTE-M通信系统可以根据不同情况使用不同类型的码型来保证其安全性和稳定性。

#### 参考文献

- [1]彭传贤.城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)枢纽换乘站频段规划方案研究[J].城市轨道交通研究, 2023, 26(05):124-127.
- [2]郑继平, 曹美阁, 刘晓磊等.轨道交通LTE车地无线综合通信网络方案设计与研究[J].城市建设理论研究(电子版), 2019(15):157.
- [3]张科博.城市轨道交通LTE车地无线通信系统干扰检测技术研究[D].上海应用技术大学, 2019.
- [4]朱东飞, 洪婷.城市轨道交通车地通信综合承载系统(LTE-M)性能测试与分析[J].城市轨道交通研究, 2017, 20(05):171-175.