

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2018.05.003

LTE-M 信号及信令接口 监测系统设计

蒋海林, 朱 烨, 赵红礼, 唐 涛

(北京交通大学轨道交通运行控制系统国家工程研究中心, 北京 100044)

摘 要: 研究 LTE-M 信号及信令接口监测系统的设计, 首先介绍 LTE-M 系统的网络架构及其互联互通需要开放的接口, 分析对 LTE-M 信号接口及信令接口进行监测和分析的重要性。重点介绍 LTE-M 接口监测系统的信号接口的监测功能, S1、S5、S6a 和 S10 接口的协议栈及接口监测的内容, 详细描述 LTE-M 接口监测系统的整体架构和实现方式, 最后展现接口监测系统所监测的内容。接口监测系统的实现和应用, 将在城市轨道交通 LTE-M 系统的建设和维护过程中发挥重要的作用。

关键词: 轨道交通; LTE-M; 接口监测; 基于通信的列车控制系统; 信号接口; 信令接口

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2018)05-0011-06

Design of LTE-M Interface Monitoring System of Signal and Signaling Interface

JIANG Hailin, ZHU Ye, ZHAO Hongli, TANG Tao

(National Engineering Research Center of Rail Transportation Operation and Control System, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract: The design of a Long Term Evolution for Metro (LTE-M) monitoring system of the CBTC signal and signaling interface is introduced in this paper. The network structure of the LTE-M system was introduced, and the necessity of monitoring the CBTC interface and LTE-M signaling interface was analyzed. The monitoring function of the signal interface was given, and the protocol stacks of the S1, S5, S10, and S6a interfaces were described. Then, the entire structure and implementation methods were described in detail. Finally, the interfaces of the monitoring system were shown. The accomplishment and application of the LTE-M monitoring system will aid in building and maintaining the LTE-M system.

Keywords: urban rail transit; LTE-M; interface monitoring; CBTC; signal interface; signaling interface

1 概述

近年, 我国城市轨道交通呈暴发式的增长态势, 截至 2017 年末, 中国有 34 座城市开通城轨交通运营, 运营线路 166 条, 总长度达 5021.7 km; 21 座城市拥有 2 条及以上城轨交通线路, 城轨交通网络化运营已成趋势。新建的城市轨道交通线路均采用基于通信的

列车运行控制系统 (communications based train control, CBTC)。车地通信系统作为 CBTC 系统的重要环节, 传输列车控制信息和列车状态信息。LTE-M (long term evolution for metro) 系统是基于第四代移动通信技术, 针对城市轨道交通应用环境定制的 TD-LTE (time duplexing-long term evolution) 系统^[1]。LTE-M 系统具有抗干扰能力强、支持综合业务承载以及高速移动数据传输等优点, 已经迅速取代原有的基于 WLAN (wireless local area network) 的车地通信技术, 在城市轨道交通系统中得到了广泛应用。

列车运行控制信息等与安全相关的数据对传输的

收稿日期: 2018-01-22 修回日期: 2018-02-09

第一作者: 蒋海林, 男, 副教授, 从事城市轨道交通车地通信系统研究, lhjiang@bjtu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61471030)

实时性和可靠性要求很高。如果相关信息没有被正确接收,列车将会紧急制动,极大地影响运营效率和安全。为了进行准确的故障分析和故障定位,需要明确列车发生运营故障是否是因为车地通信系统的故障引起。这就需要分析车地通信的数据是否丢失或者延时过大,并且针对性地分析 LTE-M 系统相应的信令流程,判断故障发生的准确时刻和原因。

现有的城市轨道交通通信系统的接口监测对于 CBTC 信号系统与 LTE-M 系统的接口,一般在车载的终端对发送的业务数据进行存储,当发生故障时再手动人工进行分析。而 LTE-M 通信系统的信令分析一般是各厂家通过各自的信令分析设备进行调试分析,但是这种信令分析设备一般仅能分析自己设备的信令。市场上的通用 LTE 信令分析设备和一些高校研究的 LTE 信令分析方法都是针对公网,无法应用于 LTE-M 系统^[2-4]。

2 LTE-M 系统架构及接口

LTE-M 系统架构及接口如图 1 所示^[5]。LTE-M 系统包括车载台、接入网和核心网 3 部分。其中,接入网指的是 LTE 基站,包括基带处理单元(base band unit, BBU)和射频拉远单元(remote radio unit, RRU),

核心网包括控制平面的移动性管理实体(mobility management entity, MME)、用户面的分组数据网关(PDN gateway, PGW)、服务网关(serving gateway, SGW)以及归属签约用户服务器(home subscriber server, HSS)。

在 LTE-M 系统中,核心网间数据接口总体架构应符合的规定有互联互通需求的多条线路共用同一个 HSS。在核心网间的漫游架构中,系统采用归属地路由方式,以归属地 PGW 作为信令面和数据面的锚点。因此,在 LTE-M 规范中,规定各 LTE-M 系统应开放基站与核心网间的 S1 接口、SGW 和 PGW 间的 S5 接口、MME 之间的 S10 接口以及 MME 和 HSS 之间的 S6a 接口。

LTE-M 信号及信令接口监测系统用于监测 LTE-M 地铁信号和 LTE-M 系统接口信令,需要监测的接口如图 1 所示,除了以上提到的 S1、S5、S10、S6a 接口外,还监测 CBTC 信号系统与 LTE-M 系统之间的 SGi 接口。接口监测系统具体实施时,要在 LTE-M 的核心网交换机上进行端口镜像,将以上接口的所有数据镜像到监测端口,接口监测设备通过网线与镜像端口相连,捕获所监测端口上的数据,并进行分析处理。

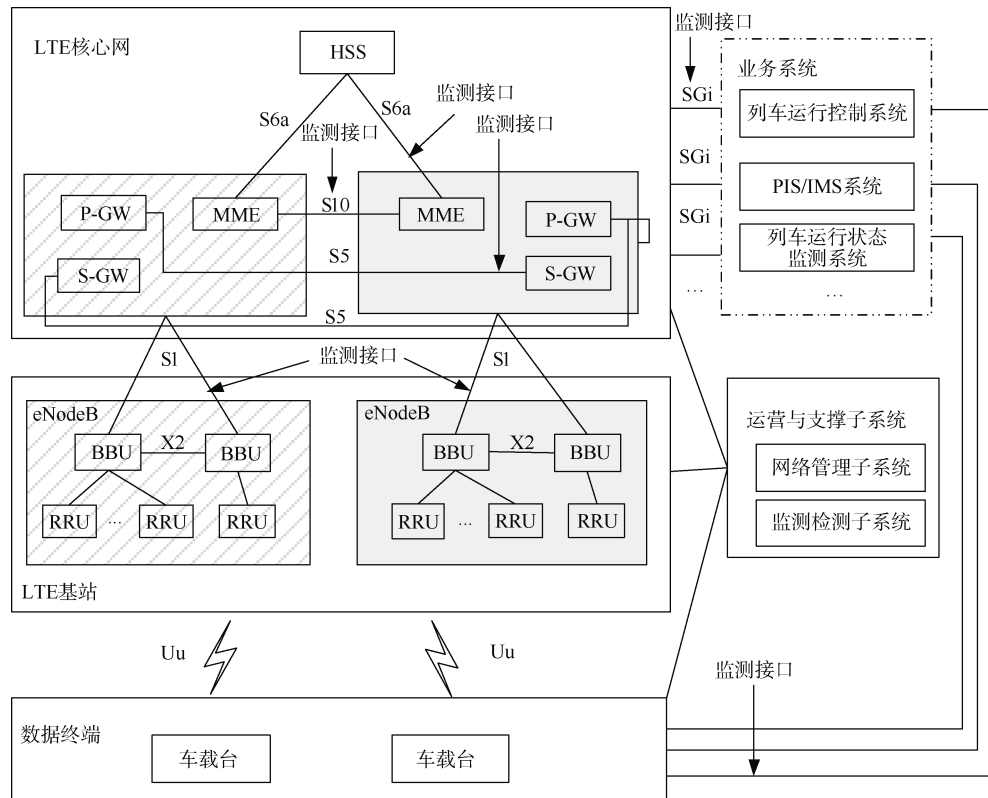


图 1 LTE-M 系统架构及协议接口

Fig. 1 System Structure and Protocol Interface of LTE-M

3 LTE-M 接口监测系统监测数据及协议

3.1 CBTC 业务数据监测

LTE-M 系统的 CBTC 业务数据监测用于监测城市轨道交通 CBTC 系统车载控制器 (vehicle on board controller, VOBC) 与车载无线单元, 监测区域控制器 (zone controller, ZC) 与 VOBC、列车自动监控 (automatic train supervision, ATS) 与 VOBC、联锁 (computer interlocking, CI) 与 VOBC 的数据传输, 记录、定位通信丢包和传输瞬时中断, 分析列车紧急制动是否由车地传输中断导致。

CBTC 业务数据监测的具体功能包括以下 5 方面。

1) 数据捕捉和过滤功能。选择正确的网络接口捕捉业务原始数据, 接口协议满足标准 IP 协议, 可以设置捕捉满足指定特征的网络数据, 过滤不必要的网络分组数据。在捕捉包的过程中, 每个包都带有时间戳, 时间戳保存在捕捉文件中。

2) 数据存储功能。分类存储 CBTC 各种原数据 (含 ZC、CI、ATS 等), 存储的数据可以使用数据分析设备打开、分析。车载数据记录存储时间不少于 144 h (24×7)。

3) 时间同步功能。地面和车载设备支持 NTP (network time protocol) 协议, 存储数据的时间戳必须与通信时钟系统时间保持同步。

4) 业务数据分析功能。根据分类存储的 ZC、CI、ATS 等原数据分析出丢包率、时延等关键网络传输指标。

5) 报表功能。能以标准化的格式输出统计、分析结果。

3.2 LTE-M 信令解析

LTE-M 系统的信令接口监测包括 S1、S5、S6a 和 S10 接口上的信令监测。根据协议类型的不同, LTE-M 系统的信令解析又分成以下 3 部分。

3.2.1 S1 接口协议解析

S1 接口指的是 LTE 系统中基站与核心网 (evolved packet core, EPC) 之间的接口^[6]。在控制面经过 S1 接口传输的信令包括两种, 第一种是 eNodeB 与 MME 之间通信的 S1AP 协议信令; 第二种是终端设备 (user equipment, UE) 与 MME 之间通信使用的非接入层 (non access stratum, NAS) 协议信令。

S1-AP 协议栈自下而上为物理层、数据链路层、Internet 协议 (internet protocol, IP) 层、流量控制传

输协议 (stream control transmission protocol, SCTP) 层、S1-AP 层, 其中运输层采用 SCTP 协议, 它是一个面向连接的协议, 可以在两个端点之间提供稳定、有序的数据传输服务, 如图 2 所示。SCTP 协议较为完善地继承了 TCP (transmission control protocol) 的拥塞控制并改进了其不足之处, 现在广泛地应用于 EPC 网络中的 S1/S6a 接口协议栈中。

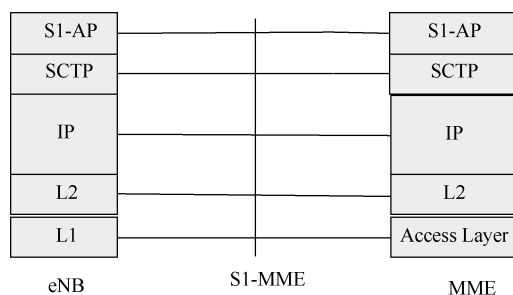


图 2 S1-AP 接口协议栈

Fig. 2 Protocol Stack of S1-AP Interface

NAS 协议是描述 UE 与 MME 直接通信报文格式的协议^[7], NAS 信令报文在 S1 接口传输的时候一般是作为 S1-AP 报文的一个信元, 随着 S1-AP 报文的传输而传输。NAS 信令分为两大类: 一类是移动性管理信息, 即该类型信令主要负责终端的移动性管理, 例如向核心网上报终端的位置信息; 另一类是会话管理信息, 该类型信息主要负责业务面承载的建立、修改和释放等。

NAS 报文的传输路径包括两部分, 以上行为例, 第一部分是由 RRC (radio resource control) 协议携带经过 Uu 口从 UE 传输到 eNodeB; 第二部分是由 S1-AP 协议携带经过 S1-MME 接口从 eNodeB 传输到 MME, 虽然 NAS 报文经过了 eNodeB, 但是 eNodeB 并不对该类型的报文进行处理, 这就是所谓的“透明传输”。但是由于 NAS 报文的传输路径一部分是空口环境, 因此 NAS 报文大部分是加密传输的。如果要监测 NAS 信令, 需要先进行解密, 获得明文之后, 再根据协议中的信令格式, 对其进行解码。

S1 接口协议解析实时监测城市轨道交通 LTE-M 系统 S1 接口的信令交互, 对 S1 接口的报文进行解析、呼叫详细记录 (call detailed recording, CDR) 合成, 并与其他接口的信令进行多段关联, 展现出每个终端完整的信令交互流程, 最后准确地显示出监测结果, 呈现给用户。

3.2.2 GTPV2 接口协议解析

GTPV2 (GPRS tunneling protocol version 2)^[8]是

LTE 网络 S5 和 S10 等多个 EPC 接口的协议，是 GTP 协议的升级版^[9]，承载在用户数据报协议（user datagram protocol，UDP）之上，分为信令平面和传输平面。其信令平面定义了多种消息，包括路径管理消息、隧道管理消息、位置管理消息、移动管理消息、信令消息的可靠传递和信息元素等，其协议栈如图 3 所示。

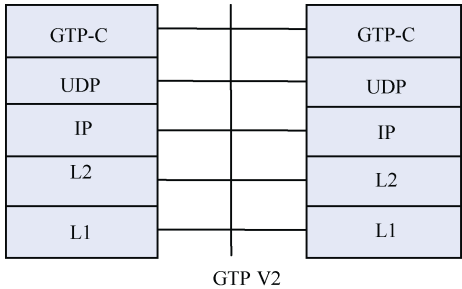


图 3 GTPV2 协议栈
Fig. 3 Protocol Stack of GTPV2

接口监测系统的 GTPV2 协议解析部分用于分析 LTE-M 系统中核心网的 MME-MME 之间的 S10 接口和 SGW-PGW 之间的 S5 接口。软件将这些接口中传输的 GTPV2 信令进行解析，并且统计网元之间的 CDR 流程，以期对 LTE-M 通信系统核心网接口的控制面信令展开分析。

3.2.3 Diameter 接口协议解析

S6a 是 MME 与 HSS 之间的接口，该接口的主要协议为 Diameter 协议^[10]，即 Authentication（认证）、Authorization（授权）、Accounting（计费）（简称 AAA 协议）的协议实体。AAA 协议在 LTE 网络运行中起着重要作用，其协议栈如图 4 所示。

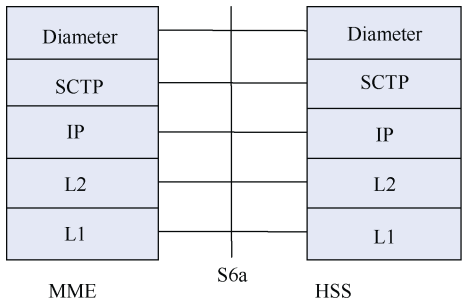


图 4 S6a 接口协议栈
Fig. 4 Protocol Stack of S6a Interface

接口监测系统的 Diameter 协议解析部分用于分析 LTE-M 车地通信系统中核心网内部网元接口控制面的 Diameter 信令，具体指的是 MME 与 HSS 之间的 S6a 接口。软件将这些接口中传输的 Diameter 信令进

行解析，并且统计网元之间的 CDR 流程。

4 接口监测系统的整体架构

4.1 软件设计

接口监测系统的软件分为 3 层，分别是数据采集层、数据处理层及应用层。

数据采集层的主要任务是在不影响列车车载终端与地面设备正常通信的前提下，采集 LTE-M S1 接口中的通信报文数据，以其作为接口监测系统信令监测的数据来源。采集到的数据一方面用于在线模块的直接处理，向用户展示通信网络的实时运行状况；另一方面按照时间的顺序以特定的格式存储在硬盘中，作为离线模块的数据分析基础。

S1 接口数据处理按照功能分为 7 个模块，包括：获取 S1-AP 报文模块，S1-AP 解码模块，NAS 解密模块，NAS 解密模块（包括明文和密文），呼叫详细记录（CDR）合成模块，多段关联模块及统计模块。

GTPV2 协议处理模块包括：GTPV2 消息解析及 GTPV2 消息 CDR 合成模块。

Diameter 协议处理模块包括：Diameter 信令离线解析模块及 S6a 口信令交互 CDR 合成模块。

应用层主要是向用户展现接口信令监测的结果，包括 S1-AP 信令和 NAS 信令的解析内容、S1 接口的呼叫详细记录、多段关联结果以及信令统计结果。应用层通过各种形式多种维度向用户传达网络的运行状况。

4.2 可靠性设计

接口监测系统设计的一个基本原则是不改变 LTE-M 通信系统的任何数据，接口监测系统的任何故障不能影响 LTE-M 的正常运行。因此，接口监测系统捕获数据时，采用端口镜像的形式，从交换机的数据通信端口复制所需要监测的数据，而对正常的通信过程不产生任何影响。

为了提高接口监测系统本身的可靠性，系统硬件采用高可靠的机架式服务器，运行操作系统为 Windows Server 2012。同时，在系统中采用硬件看门狗和软件看门狗功能相结合的形式。在系统运行发生故障，如硬件或操作系统停止响应时，硬件看门狗会自动重启服务器，并自动重新运行接口监测软件程序。当接口监测软件程序发生故障时，软件看门狗程序会自动重启接口监测软件程序，保证程序能够正常运行。同时，接口监测系统还周期性地发送系统的状态信息，网管系统可以实时监控接口监测系统的运行状态。

北京地铁燕房线的实测结果表明, 接口监测系统运行稳定可靠, 有效地提升了 LTE-M 系统的现场维护效率。

4.3 部分分析界面

LTE-M 接口监测系统的 CBTC 信号数据分析界面和 LTE-M 信令分析数据界面分别如图 5 和图 6 所示。

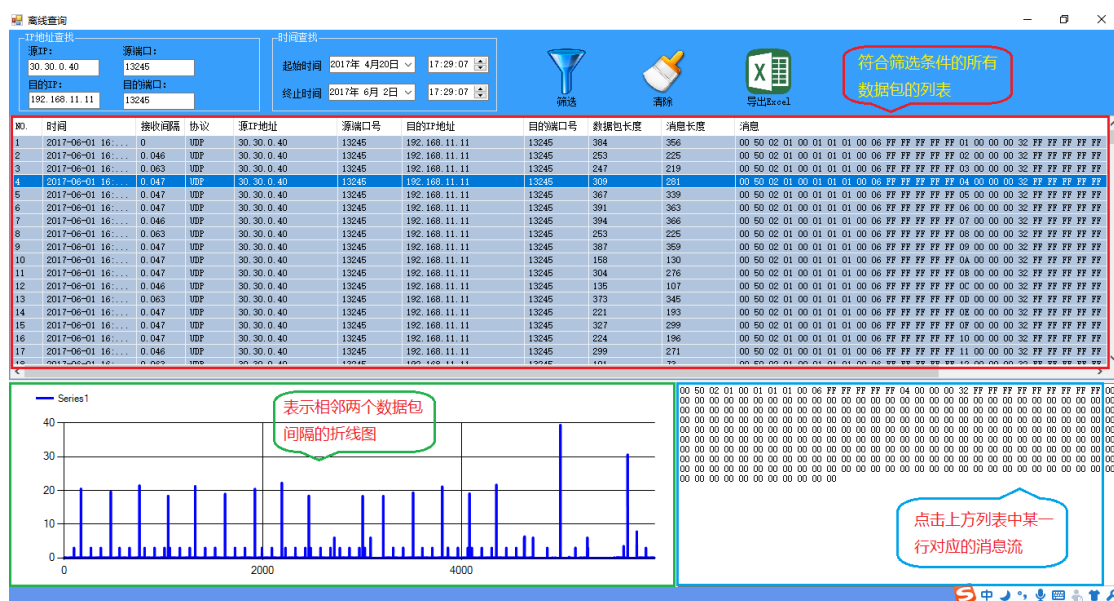


图 5 CBTC 信号数据分析界面
Fig. 5 Analysis of the Interface of CBTC signal

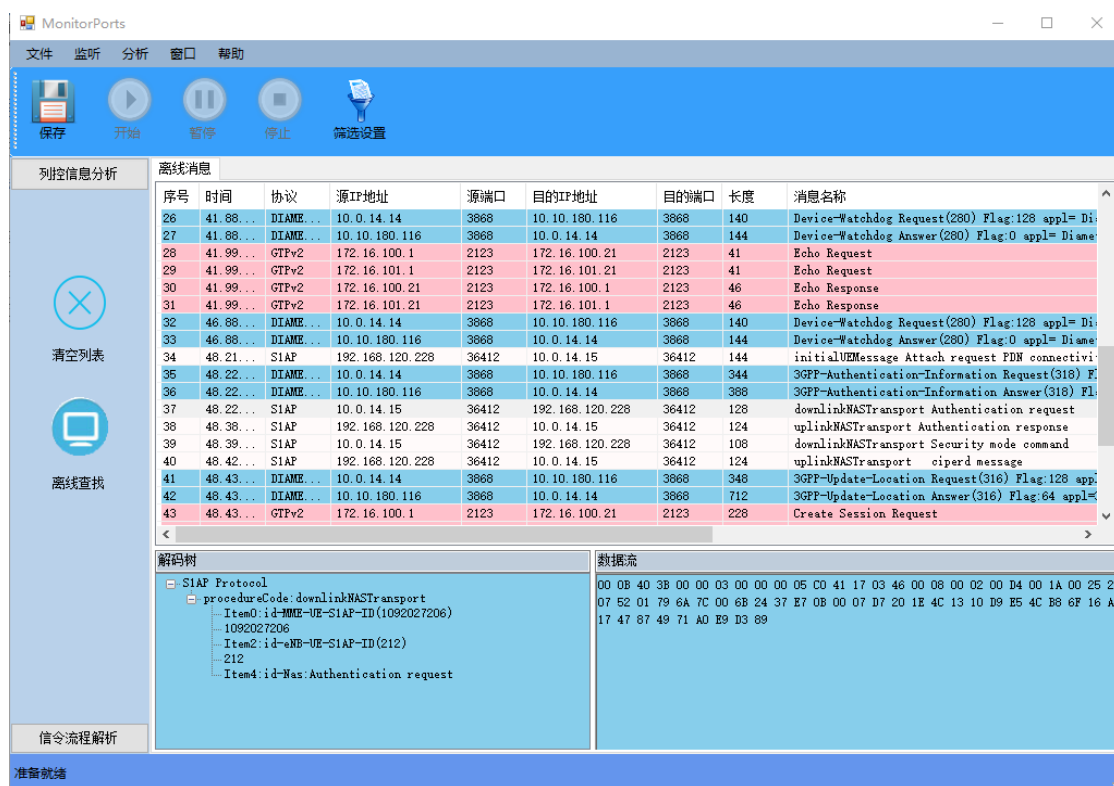


图 6 LTE-M 接口信令分析界面
Fig. 6 Analysis of the Interface of LTE-M Interface

5 结语

首先介绍 LTE-M 系统的网络架构, 分析其对 LTE-M 信号接口及信令接口进行监测的重要性, 然后重点介绍了 LTE-M 信号及信令接口监测系统的功能、协议及实现的整体架构。随着城市轨道交通的发展, LTE-M 接口监测系统将在 LTE-M 系统的设计、实施和日常维护中发挥重要的作用。

参考文献

- [1] 城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)总体规范: T/CAMET 04005.1—2018[S]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2017.
Long Term Evolution for Metro (LTE-M) Generic specification: T/CAMET 04005.1—2018[S]. Beijing: China Urban Rail Transit Association, 2017.
- [2] 李艳, 张治中. LTE 网络 S1-AP 监测方案的研究与实现[J]. 电信科学, 2013, 29(1): 31-38.
LI Yan, ZHANG Zhizhong. Research and implementation of S1AP monitor in LTE Network[J]. Telecommunications science, 2013, 29(1): 31-38.
- [3] 蒲伟, 贺力军, 杨力. LTE 网络测试仪 S6a 接口信令监测的实现[J]. 现代电信科技, 2012(6): 17-20.
PU Wei, HE Lijun, YANG Li. LTE network monitoring system S6a interface Diameter Protocol monitoring[J]. Modern science & technology of telecommunications, 2012(6): 17-20.
- [4] 冉滴, 张治中. 基于 LTE 网络 GTPV2 协议的 CDR 合成

- 方案研究与实现[J]. 计算机光盘软件与应用, 2014, 17(23): 291-292.
- RAN Di, ZHANG Zhizhong. Research and implementation of CDR method of GTPV2 protocol based on LTE network[J]. Computer CD software and applications, 2014, 17(23): 291-292.
- [5] 城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)总体规范: T/CAMET 04005.2—2018[S]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2017.
Long Term Evolution for Metro (LTE-M) Generic specification: T/CAMET 04005.2—2018[S]. Beijing: China Urban Rail Transit Association, 2017.
- [6] 3GPP TS 36.413 v9.10.0, S1 Application Protocol (S1AP) (Release 9)[S]. Valbonne: 3GPP, 2014.
- [7] 3GPP TS 24.301 V9.16.0, Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS) (Release 9)[S]. Valbonne: 3GPP, 2014.
- [8] 3GPP TS 29.274 V9.14.0, Evolved General Packet Radio Service (GPRS) Tunnelling Protocol for Control plane (GTPv2-C) (Release 9)[S]. Valbonne: 3GPP, 2017.
- [9] 3GPP TS 29.060 V9.14.0, GPRS Tunnelling Protocol (GTP) (Release 9)[S]. Valbonne: 3GPP, 2014.
- [10] 3GPP TS 29.272 V9.13.0, Mobility Management Entity (MME) and Serving GPRS Support Node (SGSN) related interfaces based on Diameter protocol(Release 9) [S]. Valbonne: 3GPP, 2014.

(编辑: 王艳菊)

深圳地铁与腾讯合作发布“生物识别+信用支付”地铁售检票系统



在 2018 (第四届) 中国智慧城市国际博览会现场, 深圳地铁与腾讯、广电运通共同发布了拥有生物识别、无感支付等功能的“生物识别+信用支付”地铁售检票系统解决方案。

“生物识别+信用支付”地铁售检票系统解决方案具备单人脸模式、人证合一模式和人脸加指静脉 3 种识别认证模式, 可以满足地铁乘客出行的不同业务场景。系统上线后, 可支持 65 岁以上的老人刷脸加身份证免注册与免费乘坐; 可支持普通乘客注册人脸信息及支付账户后, 生物识别过闸, 信用支付; 可支持工作人员直接刷脸无感进出站。

深圳地铁与腾讯合作的乘车码自今年 5 月 8 日上线以来, 总开通用户数已超过 661 万, 日均使用客流已经超过 100 万人次。生物识别闸机上线后, 不仅可支持在线开通刷脸乘车功能, 还能为市民提供刷脸无感乘车, “先享后付”的体验。

摘编自 <http://www.chinametro.net/2018-08-22>