

# 铁路5G-R语音调度通信系统研究

肖正杰, 张 亮, 孙 迪

(通号通信信息集团上海有限公司, 上海 200071)

**摘要:** 概述 5G-R 的标准进展, 简要地对 5G-R 与 GSM-R 调度通信系统进行分析, 围绕 5G-R 语音调度通信系统, 从系统架构、协议栈、技术实现和性能要求等方面进行深入研究和总结。5G-R 语音调度通信系统通过采用 5G 和 MCPTT 等关键技术, 将实现端到端的全 IP 通信、网络与业务的解耦, 灵活适配未来铁路调度通信需要。

**关键词:** 5G-R; GSM-R; MCPTT; 系统架构; 协议栈; 性能

中图分类号: U285.21

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2022)08-0036-04

## Research on 5G-R Voice Dispatching Communication System

Xiao Zhengjie, Zhang Liang, Sun Di

(Shanghai Branch of CRSC Communication & Information Group Co., Ltd., Shanghai 200071, China)

**Abstract:** This paper summarizes the progress of 5G-R standard, briefly analyzes the differences between 5G-R and GSM-R dispatching communication systems, and deeply studies and summarizes the 5G-R voice dispatching communication system from the aspects of the system architecture, protocol stack, technical implementation and performance requirements. By adopting key technologies such as 5G and MCPTT, 5G-R voice dispatching communication system will realize end-to-end all-IP communication, decoupling of network and service, and flexibly adapt to the needs of future railway dispatching communication.

**Keywords:** 5G-R; GSM-R; MCPTT; system architecture; protocol stack; performance

### 1 铁路5G-R标准进展

为满足铁路数字化转型的需要, 考虑 GSM-R 产品的生命周期, 国际铁路联盟 (UIC) 计划到 2030 年将 GSM-R 逐步过渡到下一代铁路移动通

信系统, 并于 2016 年 3 月发布未来铁路移动通信系统 (Future Railway Mobile Communication System, FRMCS) 用户需求规范。同年 3GPP 工作组 SA1 开始着手研究该用户需求规范, 并完成 R14 标准中网络已经具备功能的差距分析, 并将这些差距列为 3GPP R15 标准中的研究工作。在 R15、R16 标准中, 3GPP SA6 分别完成了第一、第二阶段铁路移动通信系统的研究, 并确定了 FRMCS 需求与第二阶段任务关键业务规范之间的差距。在 R17 标准中, 将完成第三阶段铁路移动通

收稿日期: 2021-07-01; 修回日期: 2022-06-03

基金项目: 通号通信信息集团上海有限公司科研项目 (4600-K1152102)

第一作者: 肖正杰 (1979—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 无线通信、铁路调度通信, 邮箱: xiaozhengjie@crsc.cn。

信系统的研究，改善 FRMCS 的通信网络架构，完成铁路移动通信系统的差距分析。在 R18 标准中，将进行铁路智能客站服务、铁路通信系统互连及迁移方面的研究。

2 5G-R与GSM-R语音调度通信系统的主要区别

语音调度通信系统是保证铁路行车安全和运输安全的重要支撑系统，主要用于铁路沿线工作人员的内部语音通信。因此，铁路从 GSM-R 演进到 5G-R 时，5G-R 也必须支持现有的语音调度通信功能。GSM-R 语音调度通信系统属于数字窄带通信系统，核心技术是在 GSM 电路交换的基础上，叠加组呼 VGCS、广播 VBS、优先级抢占 eMLPP 等铁路专用功能，满足铁路语音调度通信业务的需求。5G-R 语音调度通信系统则属于宽带通信系统，其核心是基于业务与网络承载分离的理念，利用 5G 实现数据的 IP 承载和移动性管理，基于端到端全 IP 交换的技术，在业务层利用 MCPTT 技术实现语音呼叫流程，实现铁路移动语音调度通信功能。因此，从 GSM-R 演进到 5G-R，对铁路语音调度通信业务来说是一次巨大的技术变革，5G-R 与 GSM-R 语音调度通信系统的主要区别如表 1 所示。

表1 5G-R与GSM-R语音调度通信系统的主要区别  
Tab.1 The main differences between 5G-R and GSM-R voice  
dispatching communication systems

区别项	5G-R 语音调度通信	GSM-R 语音调度通信
业务交换体制	全 IP 分组交换	电路交换
系统架构	调度业务功能与 5G 网络功能解耦，通过 MCPTT 系统提供语音调度业务功能，5G 网络提供移动通信功能	语音调度业务功能与 GSM 网络功能合一，语音调度业务功能和网络移动通信功能都由 GSM 网络提供
无线空口	OFDMA 多址，256QAM 调制，MIMO 多天线	TDMA 多址，GMSK 调制，天线分集
信源编码	AMR-WB（语音）	FR（语音）

3 5G-R语音调度通信系统

3.1 系统架构

3GPP 对基于 LTE/5G 移动网络的关键任务 (Mission Critical, MC) 通信标准进行了大

量研究，并将 MC 通信业务从关键任务语音通信 (Mission Critical Push To Talk, MCPTT) 拓展到关键任务视频通信 (Mission Critical Video, MCVideo) 和关键任务短消息通信 (Mission Critical Data, MCData)。在 R13 时，3GPP 提出基于组呼业务使能器 (Group Communication Service Enabler, GCSE) 的基于 LTE 的 MCPTT 架构，用于宽带多媒体集群业务的发展；目前 3GPP 在 R17 中正在研究基于 5G 的 MCX 网络架构，也将基于现有的 MCPTT 体系架构，并做好与 5G 系统的适配。

5G-R 语音调度通信系统将基于 3GPP 5G 相关标准，结合铁路的功能号业务等特殊应用需求，对 5G 相关标准进行定制化改造来实现。其总体的网络架构如图 1 所示。

5G-R 语音调度通信系统主要包括如下网络实体。

MCPTT 服务实体：通过集成的 MCPTT 服务器、SIP CORE，为用户提供集群语音业务功能，包括语音各类呼叫控制、话权控制、媒体面处理、优先级抢占、配置管理、身份管理、群组管理、秘钥管理等，也包含 SIP 域的注册、业务选择和信令路由功能。

5G-R 核心网：主要为移动用户提供网络接入控制、注册和连接管理、空闲态移动性管理、会话管理、QoS 管理、网络切片、负载控制和应用业务承载等功能。

5G-R 基站：完成 5G 基站侧的 L1/L2/L3 功能，包括无线资源管理、承载控制、连接态移动性控制、无线接入控制和无线资源调度。

终端：实现 5G 终端侧 L1/L2/L3/NAS 层的功能，内置 MCPTT 客户端实现语音业务的呼叫控制、话权控制、媒体收发、业务呈现及用户相关管理。

在此架构中，5G 核心网和 5G 基站作为承载管道对上层应用提供基于全 IP 的业务，保证承载的可靠性，MCPP 服务器和客户端配合实现呼叫业务流程。

3.2 协议栈

在 5G-R 语音调度通信系统中，协议栈主要涉

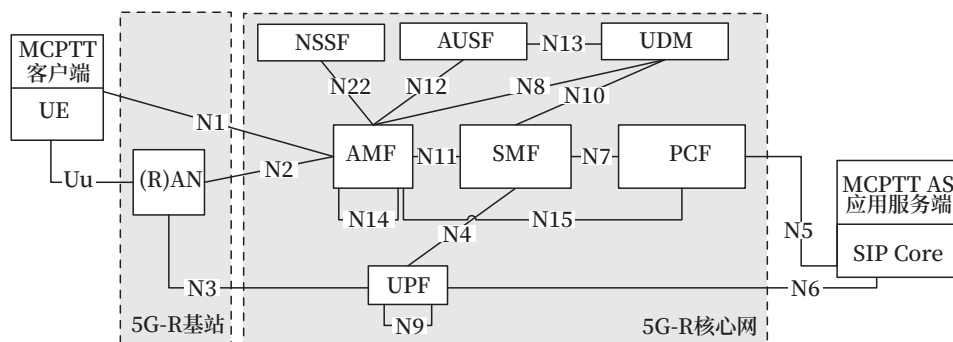


图1 基于5G-R的语音调度通信系统架构  
Fig.1 5G-R voice dispatching communication system architecture

及 5G 网络层的协议栈和业务应用层的 MCPTT 协议栈。MCPTT 的控制面和用户面的数据都承载在 5G 网络的用户面，控制面的信令交互主要采用 SIP/SDP 协议，在 5G 网络中使用 5QI 为 69 的资源承载，即表示承载资源的类型为 Non-GBR(不提供最低的传输比特速率保证)，默认的网络优先级为 5，分组时延预算为 60 ms，包错误率小于  $10^{-6}$ ；

用户面的语音数据以 RTP 数据包的形式在网络中进行传输，在 5G 网络中使用 5QI 为 65 的资源承载，即表示承载资源的类型为 GBR(保证传输比特速率)，默认的网络优先级为 7，分组时延预算为 75 ms，包错误率小于  $10^{-2}$ 。各类数据在网络各网元协议栈中的承载情况如图 2 所示。

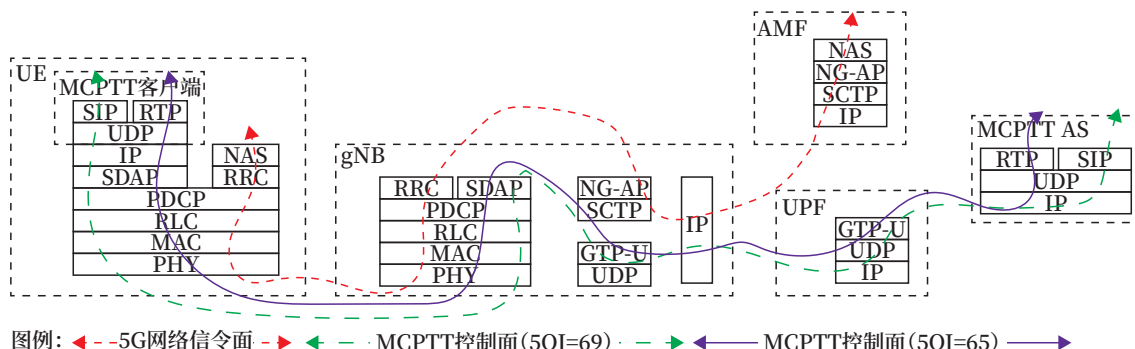


图2 基于5G-R的语音调度通信协议栈  
Fig.2 5G-R voice dispatching communication protocol stack

### 3.3 关键技术实现

如图 3 所示，5G-R 语音调度通信系统关键技术主要包括 5G 技术和 MCPTT 技术。其中 5G 相关技术主要由终端侧基带芯片和 5G-R 网络联合实现，MCPTT 技术主要由终端侧的客户端和 MCPTT 服务器实现。

MCPTT+SIPCore 系统主要实现应用层的 SIP/HTTP 等协议技术，实现用户关键语音通信业务的相关呼叫流程和用户管理；媒体面主要用 RTP/RTCP 等技术，实现语音流的控制、语音编解码转换及混合、语音流的收发。

对于 5G-R 网络来说，除实现 5G 无线侧和网络侧的核心技术外，还需实现 MCPTT 业务系统通过 N5 接口与 5G 网络的 PCF 通信，实现对会话业务端到端的 QoS 控制，保证语音业务的通信质量。

UE 侧需利用 5G 终端芯片提供的网络能力，对话业务的 QoS 控制流程进行定制开发，并在 IP 层之上实现 MCPTT 协议定义的相关呼叫和管理流程，在媒体面实现 AMR-WB 的语音编解码功能，同时考虑基于各类操作系统实现人机接口相关功能。

### 3.4 MCPTT语音呼叫性能要求

影响 MCPTT 通话质量的因素有很多，如协议

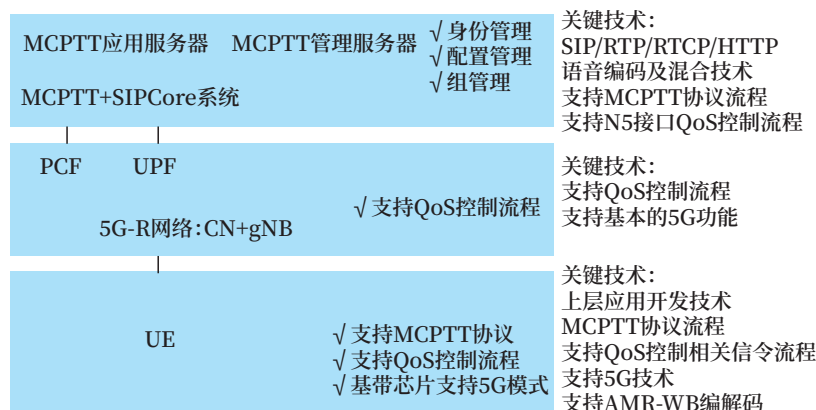


图3 5G-R的语音调度通信关键技术实现

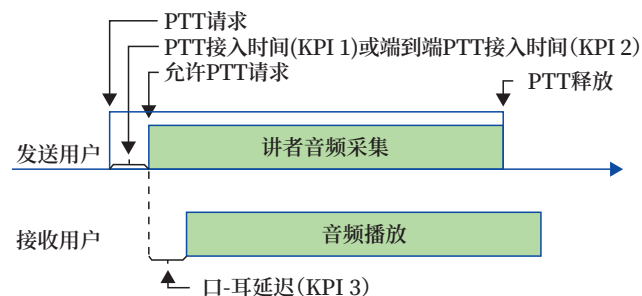
Fig.3 Key technology implementation of 5G-R voice dispatching communication

选择、最小化消息传递、承载技术选择、合适的网络部署等。考虑这些因素，3GPP 定义了 MCPTT 语音呼叫性能要求。

MCPTT 接入时间 (KPI1) 不包括用户加入组的时间，定义为从 MCPTT 用户通过按终端上的 PTT 请求说话，到该用户获得网络的话权指示之间的时间，此时间不包括被叫用户的确认。

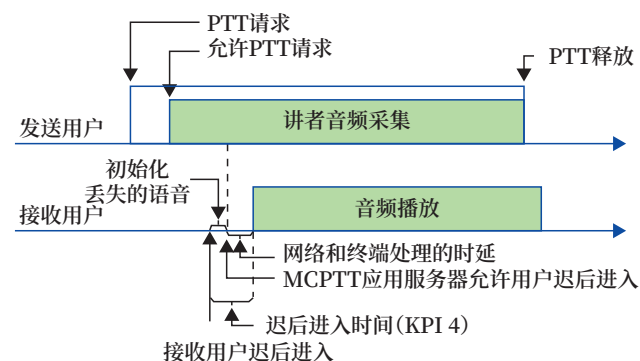
端到端 MCPTT 接入时间 (KPI2) 定义为从 MCPTT 用户通过按终端上的 PTT 请求说话，到该用户获得网络的话权指示之间的时间，此时间包括被叫用户的呼叫建立和确认时间。

口-耳延迟 (KPI3) 定义为发送用户发出的语音与接收用户扬声器回放该语音之间的时间。MCPTT 时延指标如图 4 所示。

图4 MCPTT时延指标KPI1/KPI2/KPI3  
Fig.4 MCPTT delay indexes KPI1/KPI2/KPI3

迟后进入时间 (KPI4) 用于组呼中用户迟后进入的场景，即用户加入组通话时，已有正在进行的语音传输。KPI4 定义为用户决定监控正在进行的

MCPTT 组呼，到用户扬声器回放该语音的时间。MCPTT 时延性能指标如图 5 所示。

图5 MCPTT时延性能指标KPI4  
Fig.5 MCPTT delay index KPI4

3GPP 对行业用户进行调研分析后，最终提出行业关键任务通信中 MCPTT 语音业务的性能要求，具体如表 2 所示。

表2 MCPTT语音呼叫性能要求

Tab.2 MCPTT voice call performance requirements

MCPTT KPIs	门限 /ms	概率值
MCPTT KPI1- 接入时间	<300	所有 MCPTT 请求的 95%
MCPTT KPI1- 接入时间 (紧急呼叫)	<300	所有 MCPTT 请求的 99%
MCPTT KPI2- 端到端接入时间	<1 000	N/A
MCPTT KPI3- 口耳延迟	<300	所有语音包的 95%
MCPTT KPI4- 迟后进入时间 (加密呼叫)	<350	所有迟后进入呼叫的 95%

(下转 91页)



Chen Guang, Yang Yang. Automatic Generating Algorithm for Accessing Table of Computer Interlocking System[J]. Railway Computer Application, 2015, 24(5): 5-8.

[7] 徐峰. 计算机联锁 CAD 软件设计 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2012, 9 ( 6 ): 44-45.

Xu Feng. Design of CAD Software for Computer Interlocking[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2012, 9(6): 44-45.

[8] 张淼, 黄友能, 任啸宇. 城轨 CBTC 系统联锁表数据安全逻辑验证方法研究 [J]. 铁路计算机应用, 2015, 24 ( 5 ): 53-56.

Zhang Miao, Huang Youneng, Ren Xiaoyu. Data

Safety Logic Verification Method of Interlock Table for Urban Transit CBTC System[J]. Railway Computer Application, 2015, 24(5): 53-56.

[9] 金云, 黄凯腾, 钟朱婷, 等. 一种基于堆栈遍历的联锁表自动生成算法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 ( 1 ): 84-87.

Jin Yun, Kui Kaiteng, Zhong Zhuting, et al. Automatic Generation Algorithm for Interlocking Tables Based on Stack Traversal[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(1): 84-87.

\*\*\*\*\*

(上接 39页)

4 总结

铁路行业是 3GPP 的 5G 标准中重点关注的行业之一，随着铁路行业与通信的不断融合发展，5G-R 标准将会加速完善，以逐步替代 GSM-R 系统，满足铁路行业信息发展需要。5G-R 语音调度通信系统通过采用 5G 和 MCPTT 等关键技术，实现端到端的全 IP 移动通信、网络与业务的解耦，将灵活适配未来铁路丰富的调度管理需要。

参考文献

[1] FRMCS Functional Working Group, UIC. Future Railway Mobile-Communication System User Requirements Specification: FU-7100[S]. France:UIC, 2020.

[2] 3GPP. Study on application architecture for the Future Railway Mobile Communication System (FRMCS): TR 23.790[S]. France: 3GPP, 2018.

[3] 3GPP. Study on application architecture for the

Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) Phase 2: TR 23.796[S]. France: 3GPP, 2019.

[4] 3GPP. System architecture for the 5G System (5GS): TS 23.501[S]. France: 3GPP, 2020.

[5] 龚骁猷. LTE 与有线调度通信系统互联互通的研究与实现 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020 ( 9 ): 39-44.

Gong Xiaoyou. Research and Implementation of Interoperability between LTE and Wired Dispatching Communication System[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020(9): 39-44.

[6] 3GPP. Functional architecture and information flows to support Mission Critical Push To Talk (MCPTT): TS 23.379[S]. France: 3GPP, 2020.

[7] 3GPP. NR and NG-RAN Overall Description: TS 38.300[S]. France: 3GPP, 2020.

[8] 3GPP. Mission Critical Push To Talk (MCPTT): TS 22.179[S]. France: 3GPP, 2020.