



## 基于公网的工业无线连接方案

常洁

( 中国电信股份有限公司上海研究院, 上海 200122 )

**摘 要:** 工业无线连接向网络化、数字化、智能化方向发展, 已经不能被视为简单的通信网络, 而是组成自动化控制系统的关键子系统。从现有的工业、企业基于公网的无线连接的业务场景出发, 对其需求进行了系统梳理, 提出了业务支持方案构建方向。然后详细分析了现有的面向工业连接服务的标准优劣和技术的成熟度, 最后提出了通信运营商的发展策略。

**关键词:** 公网; 无线连接; 智能化

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2018267

## Scheme of industrial wireless connections based on public network

CHANG Jie

Shanghai Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200122, China

**Abstract:** Industrial wireless connections are developing in the direction of networking, digitization and intelligence, which could not be considered as just a single communication network but as important sub-systems of the automatic control systems. Based on service scenarios of the existing public wireless network, related requirements were systematically studied and the related construction direction was proposed. Then, merits and drawbacks of the existing technology systems in industrial wireless connections, also maturity of the existing technology were analyzed in detail. Lastly, the future development strategies of communication operators were put forward.

**Key words:** public network, wireless connection, intelligence

### 1 引言

本文着重梳理了运营商对于基于公网的工业无线连接的需求现状分析、方案构建及标准梳理, 为近几年的发展指明了方向。2015 年 5 月国务院正式印发《中国制造 2025》, 从国家战略层面描

绘建设制造强国的宏伟蓝图, 其中以工业互联网为重要支撑, 推动互联网与工业融合创新, 建设制造强国和网络强国, 工业连接是工业互联网的基础<sup>[1]</sup>。2017 年中国工业网络节点数将超过 2 亿个, 工业连接的年增长率超过 25%, 需求旺盛<sup>[2]</sup>。根据中国企业数据报告, 截至目前, 国内企业总

数达到2 000万家以上,生产制造企业达到700多万家,其中大部分企业的数字化、智能化程度不高,不同行业、不同业务的连接需求千差万别,信息化改造需求潜力巨大,运营商作为连接的提供商,连接能力为工业互联网的发展提供有力支撑<sup>[3]</sup>。随着运营商4G无线、固网建设的不断深入,NB-IoT网络建设的不断推进和5G试验网络的推动,近几年运营商不断地尝试进入工业企业的厂域连接。除此之外,工业企业无线连接市场受到各方的关注。MulleFire联盟于2015年12月16日正式宣布成立,联盟成员包括诺基亚、高通、英特尔等行业领导企业,旨在将先进的基于3GPP规范的蜂窝技术引入免授权频谱,解决了企业客户难以获取频谱的困难,在网络部署中享受到4G LTE的性能表现和Wi-Fi的简易部署<sup>[4]</sup>。2016年底华为也申请加入该联盟,2017年初该联盟成功发布其1.0版规范,是推向市场的一个重要里程碑。2014年华为企业的业务集团牵头共同推动成立eLTE产业联盟(eLTE宽带无线接入和eLTE行业物联专网,其中eLTE宽带无线接入包含eLTE-licensed和eLTE-U),截至目前有百余家联盟成员,60多个解决方案,全球有390个eLTE商用合同,与行业客户和标准组织推进相关标准的制定<sup>[5]</sup>。uRLLC是5G三大场景之一,工业是其中一块重要业务,专网也在试图攻占uRLLC场景。由此可知,工业企业无线连接市场受到全球及国内产业链各方的广泛关注。

目前工厂企业无线连接组网方式基于授权和非授权两大类,存在4种主要的方式:自有频谱无线LTE专网、第三方频谱无线LTE专网、独立专用LTE网络(多用于城市公共安全)和非授权频谱LTE网络。其中,前3种方式基于授权频谱,最后一种基于非授权频谱。自有频谱无线LTE专网要求行业客户使用自己的授权频谱资源来部署和运营LTE专用网络,由于相对较高的初始资本支出要求,大多数独立行业专网开始部署时都是

进行小规模试点,以九江石化为例。第三方频谱无线LTE专网是第三方服务提供商使用其频谱资源来部署和管理无线LTE网络,用于向特定垂直市场中特定行业客户或多个行业客户提供服务,这种模式已经成为国外能源行业的一种常见方法,第三方服务提供商需要当地频谱持有者协商取得该地区的频谱资源。通信供应商TEN(Texas Energy Network,德克萨斯能源网)向Verizon购买德克萨斯州南部地区的700 MHz频谱的A频段和B频段用于石油和天然气行业的通信服务<sup>[6]</sup>。独立专用LTE网络(多用于城市公共安全)由运营商建设专网移动核心网,包括HSS(home subscriber server,归属签约用户服务器)和PGW(PDN gateway,PDN网关)核心网元的建设,用于为城市公共安全等提供有保障的优先接入。此方法可以明显降低无线接入网等基础设施的投资成本,这种模式在欧洲相对普遍。不同区域有不同的频谱分配策略考虑:亚太地区、美国、拉丁美洲、中美洲分配700 MHz频谱,中东非区域的大多数国家、新加坡分配800 MHz频谱,日本分配1 500 MHz频谱,欧洲分配400 MHz和700 MHz频谱。除此之外,其他频率如1.4 GHz和1.8 GHz也有使用的可能。对于非授权频谱的LTE网络而言,前期无需申请频率,但非授权频谱一般位于高频段,干扰不可控,无法提供高可靠性要求的业务。除上述主流的4种方式外,还存在LTE RAN共享(RAN sharing,独立载频共享)方法和运营商用其许可频谱的一部分频谱资源提供专用的LTE网络等。

经过对现有工业企业基于公网的无线连接服务进行分析,可以发现现有工厂无线组网方式多样,多种技术混用,多在非关键生产场景,如用于非产线的数据采集等,少量企业尝试统一网络承载。

## 2 基于公网的工业无线连接服务的业务场景和需求梳理

工业企业的无线连接服务场景可以分为控制



类业务、安防告警类业务、个人公网类业务、交互类业务、计量类业务等。控制类业务是基于公网的系统提供的工业控制服务，例如场景控制或实现远程控制（工业设备的远程控制、云台控制或镜头控制），场景控制需要预先设置多种场景，如生产、休息、会议、夜间、雨雪天等，不同场景下，工业企业厂内的灯光、窗帘、背景等处于不同的工作状态，通过操作终端选择不同场景或根据天气情况自动由系统选择不同的场景，工业系统达到预设的状态。安防告警类业务通过装置的各种终端设备及多种网络，并结合远程的视频监控，共同完成各种监控及报警，例如误闯非授权区域的人员定位及异常监测告警。个人公网业务是为满足企业客户个人公网业务需求的导航、媒体共享等服务，需要与企业专用数据相隔离。交互类业务是指满足工业用户之间通信需求的业务，例如视频组呼业务、语音集群业务、AR/VR业务和紧急呼救服务等。计量类业务实现远程抄表与计费功能等。

根据现有的工业企业的无线连接服务场景，通过研究发现，移动高带宽型工业互联网应用要求稳定的高速带宽覆盖。以AR/VR业务为例，在应用时，20 ms是晕眩的临界点，一旦超过，用户就会产生眩晕感，严重影响体验，而小于10 ms时用户则无感知。移动大型设备密集型数据上传也需要高速带宽的稳定覆盖。网络使用过程中也要体现“专网”效果，确保网络质量，并不断满足客户日益增长的通信需求，做到弹性网络、实时配置、数据安全可靠等。用于实现厂区基础设施监控的低功耗低成本终端接入和用于产线控制的高可靠低时延终端接入是无线工业连接服务需要解决的场景。国际标准组织及相关的行业对工业企业基于公网的无线连接服务的指标均有共性的要求，具体见表1。用户在实际部署前对无线连接服务有一定的期许，包含高带宽、低时延的业务体验和数据本地流转，加之运营商也有其自身

的需求，如扩展服务对象，提升管道价值；减少路由迂回，服务下沉，节省核心网带宽，提升用户体验等。

表1 基于公网的工业无线连接服务的目标指标梳理  
(单位: ms)

典型业务	数据分组时延
语音组呼的呼叫建立时间	≤300
手持话视频	≤100 (直播要求)
非会话视频	≤300 (缓冲流要求)
虚拟工厂工业控制	≤1
AR/VR	≤20 (眩晕感临界点)
	≤10 (用户无感知)
MCPTT业务	≤75
工厂远程计量类	≤150

### 3 基于公网的业务支持方案构建方向

工业企业基于公网的无线连接服务的整体方案如图1所示，主要分为几部分：终端、接入网（基站）、核心网、业务网/Internet和工厂厂区等。

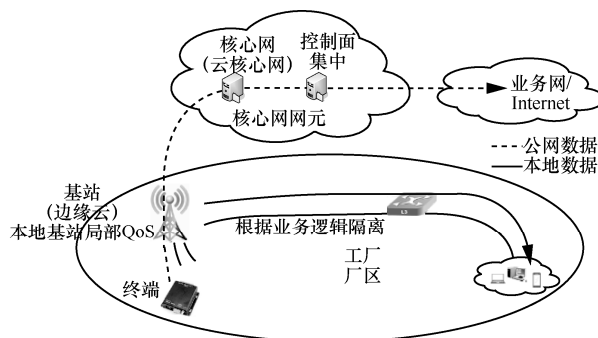


图1 基于公网的工业连接业务的整体方案

基于公网的虚拟工厂专网，公网无线连接方案分为4类：一是工厂专用普通QoS APN+本地业务服务器（本地分流）；二是工厂专用高QoS APN+本地业务服务器（本地分流）；三是工厂专用高QoS APN+集中业务服务器；四是公用普通QoS APN+公网。方案一主要用于安全性要求高的业务，对于QoS并无明确的要求，主要用于厂区内实时性要求不高的本地分流业务，如计量类业务；方案二主要用于实时性要求高的业务，如

AR/VR 业务和集群通信业务等；方案三主要用于工厂多点业务的汇聚，对于实时性的要求没有方案二高；方案四主要用于个人公网业务，实时性要求和安全性要求均不高。

对于公网基站特设高 QoS 的 APN+本地分流的相关业务，需要在工厂覆盖基站特设高 QoS APN；对于低时延应用和企业数据安全等应用采用本地分流业务，本地分流节点采集数据到省集中计费，且尽量减少对终端、基站及核心网的改造，尽量做到透明部署。应做到一种处理框架同时可应对不同部署场景，在部署方式确定后，需要高效地利用尽可能少的业务资源（如虚拟存储介质）以及处理资源（如虚拟 CPU 等），尽可能减少对其他业务平台的要求（如不额外增加传输资源，不增加与互联网业务链路，尽可能少或不对现有网络进行改造等），尽可能降低对后端网络、业务服务器的压力，同时可为终端用户提供更丰富、更迅捷的本地缓存业务。

以集群业务为例，具体见表 2<sup>[7]</sup>。

表 2 专网集群与公网集群的区别

	公网集群	专网集群
服务对象	大众用户，多个行业/企业用户	行业用户或企业用户
多网特点	公网共用	专网专用
网络建设	电信运营商投资建网	绝大部分由行业/企业用户投资建网
网络运营	电信运营商	行业用户或行业运营商
运营目的	公众通信	指挥调度、生产作业
网络覆盖	全国性	区域性
业务应用	通用业务	针对行业业务灵活定制开发
网络利用率	高	中，存在局部区域高强度使用
支持用户量	大	总体少，存在某区域高用户量分布
用户优先级	优先级平等	优先级不同
组呼建立时延	长(800~3 000 ms)	短(≤300 ms)

公网是指由运营商建设、运营的集群通信网络，服务对象是多个行业或企业用户，网络运营

的目的是实现业务盈利。专网是指绝大部分由行业/企业建设、运营的集群通信网络，服务对象是行业或企业用户，网络运营的目的是实现组织管理。不同于现有的专网通信系统，公网需要提升呼叫建立时延、用户优先级（强拆）等保证用户的业务体验。根据 3GPP QoS (TS 23.203) 的规范，QCI 为 3 的端到端时延要求是 50 ms，根据 4G 现网的实测数据，QCI 为 3 时的时延一般为 15~30 ms，也有的达到 200 ms，是 UE→PGW 及 PGW→UE 的时延，并非端到端的时延，基于 4G QoS 能力的虚拟工厂专网尚无法满足全部工厂业务需求。且现在的光纤传输速度约为 200 km/ms，数据在终端和核心网之间来回传送，无法满足工厂毫秒级时延的应用<sup>[8]</sup>，但本地分流能力技术已逐渐成熟。

#### 4 面向工业连接服务的本地分流技术标准分析

预计到 2020 年，各类新型业务和应用不断涌现，将带来 1 000 倍的数据流量增长以及超过 500 亿量级的终端设备连接<sup>[9]</sup>。为了解决未来工业网络指数级的流量增长以及用户毫秒级的业务体验需求，除了需要增加频谱带宽、提升频率利用率外，核心网需要通过本地分流加上不同 QoS 等级的 APN 连接等方式建立基于公网的虚拟工厂专网，有效避免核心网数据传输瓶颈的出现，从而缓解网络数据面过于集中在核心网以及所有数据必须经过集中式核心网可能带来的问题，同时保证不同业务的不同特性。

市场研究公司 Juniper Research 发出警告，“为防止未来几年内高达 7 倍以上的数据成本的上升，全球移动运营商必须尽快提升对数据分流技术的使用率”<sup>[10]</sup>。现有的本地分流技术主要包含 3GPP 提出的 LIPA (local IP access, 本地 IP 接入) 技术<sup>[11]</sup>、ETSI (European Telecommunication Standard Institute, 欧洲电信标准化协会) 提出的 MEC



(mobile edge computing, 移动边缘计算) 技术<sup>[11]</sup>、3GPP 提出的“全分离式网络架构”<sup>[12]</sup>和 5G 核心网的 UPF 等。

LIPA 技术是 2009 年在 3GPP SA#44 会议上由沃达丰等运营商联合提出的本地分流技术。LIPA 技术最初是基于 HeNB(home enhanced node B, 家庭基站) 网络提出的, 其含义是用户的业务流数据直接从家庭基站进行接入, 不经过运营商的核心网络, 相对于运营商的核心网络来说, 这部分业务直接从 HeNB 分流出去, 减轻了核心网的负荷和传输成本。整体方案如图 2 所示。需要注意的是, LIPA 方案需要终端支持多个 APN 的连接, 同时需要增加新的接口以实现基于 APN 的 PDN 传输建立, 其优势在于可以保证端到端的实现, 但是由于需要对终端和网络进行改动, 同时还受制于部署的家庭基站的数量, 近几年 3GPP 标准未有更新版本, 进展相当滞后。

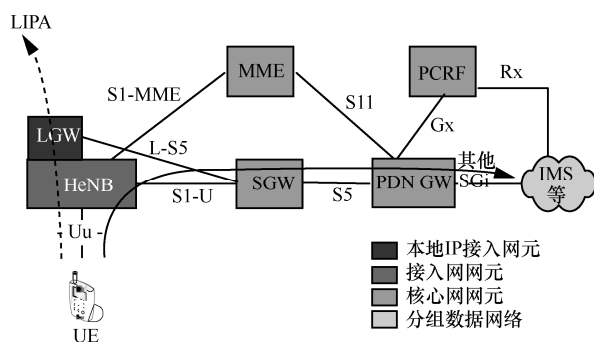


图 2 LIPA 基于 L-S5 的本地网关的方案

ETSI 于 2014 年 9 月成立了 MEC 工作组, 针对 MEC 技术的服务场景、技术要求、框架以及参考架构等开展深入研究。根据 ETSI 定义, MEC

技术主要指通过在无线接入侧部署通用服务器, 从而为无线接入网提供 IT 和云计算的能力。本地分流是业务应用的本地化、近距离部署的先决条件, 也因此成为 MEC 平台最基础的功能之一, 从而使无线网络具备低时延、高带宽传输的能力。如图 3 所示, 用户可以通过 MEC 平台直接访问本地网络, 本地业务数据流无需经过核心网, 直接由 MEC 平台分流至本地网络。用户也可以访问公网业务, 包括两种方式: 一是 MEC 平台对所有公网业务数据流采用透传的方式直接发送至核心网; 二是 MEC 平台对于特定 IP 业务/用户通过本地分流的方式从本地代理服务器接入 Internet。本地分流方案需要在 MEC 平台对终端以及网络透明部署的前提下, 完成本地数据分流。也就是说, 基于 MEC 的本地分流方案无需对终端用户与核心网进行改造, 降低了 MEC 本地分流方案现网应用部署的难度。由于 MEC 的本地分流方案对终端与网络是透明的, 因此现在的发展势头相对于 LIPA 本地分流技术发展势头更为强劲。但是 4G 标准没有定义 MEC 的使用, MEC 不可实现端到端的解决方案。当前, MEC 在 LTE 中的应用为本地分流简化计费, 或者采用厂商私有方案解决标识和计费问题。MEC 作为 5G 的原生特性, 由 ETSI 提出, 逐渐被 3GPP、IMT-2020 等标准组织接纳并重视。3GPP 已正式接受 MEC 作为 5G 架构关键议题, 2016 年 4 月, 3GPP SA2 接受 MEC 议题作为 5G 架构的一部分, 3GPP 5G 架构与 MEC 方向吻合, 如均采用本地路由机制, 核心网选择 UPF, 把流量路由到本地 DN。IMT-2020 组织于

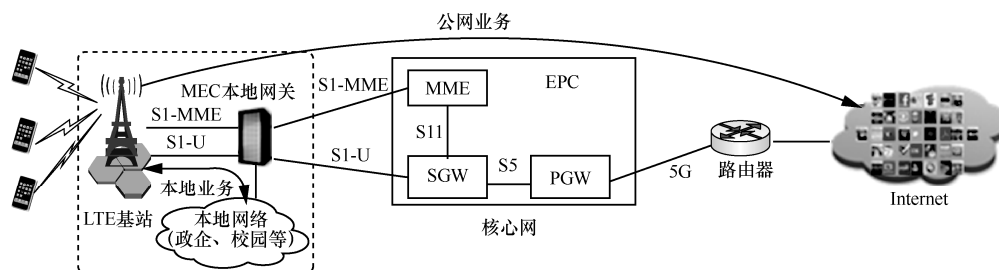


图 3 基于 MEC 的本地分流方案示意图

2016 年提出的 5G 网络架构白皮书里, MEC 作为 5G 的重要组成, NGMN 已经同意将 MEC 纳入 5G 需求和架构中 (NGMN P1 Project)。未来 5G 环境下 MEC 有可能发挥更重要的作用。

在目前的现网环境下, LIPA 方案和 MEC 方案均不是最优的解决方案。

2016 年 7 月, 3GPP 首次提出了 CU 分离方案, 核心网用户面下沉即可实现本地分流。2017 年 R14 阶段, 3GPP 将再次向分离式的核心网构架演进之路出发。当前 EPC 架构中 MME/PCRF/HSS 等网元已经单纯处理控制面的功能, 而 SGW 和 PGW 兼具承载和转发的功能。截至 2017 年 9 月 R15 的版本, 3GPP 提出了“全分离式”的网络架构, 如图 4 所示。在此架构下, SGW、PGW 和 TDF (traffic detection function, 流量检测功能) 被分离为控制面和用户面两部分 (SGW 分离为 SGW-C 和 SGW-U, PGW 分离为 PGW-C 和 PGW-U, TDF 分离为 TDF-C 和 TDF-U)。控制面和用户面的分离使得网络用户面功能摆脱“中心化”的囚禁, 使其既可灵活部署于核心网, 也可部署于接入网 (或接近接入网), 这就是所谓的核心网用户面下沉, 与此同时, 也保留了控制面功能的中心化。控制面可集中控制/计费/配置,

用户面可以拉远分布式部署, 部署更为灵活。基于现有 LTE 网络实现 CU 分离是实现工厂连接所需的本地分流的更好解决方案, 基于 3GPP 标准, 更具有规范性和现有网络的互通性, 且方案简洁, 控制面的集中控制易于维护, 用户面分散增加了部署的灵活性, 对原有网元没有大的新增功能要求, 统一基于 APN 进行路由控制和 QoS 控制。

5G 架构对现有的网络进行了较大的变革, 以网络功能为单位, 功能实现模块化, 实现服务化的架构, 其中移动性管理集中在 AMF (core access and mobility management function)、SMF (session management function, 会话管理功能), 分布式的用户面功能 (user plane function, UPF) 无需汇聚点, 同一个会话可以有多个 UPF, 实现了 CU 的分离。未来 5G 下可进一步优化相关技术, 针对工业低时延高可靠的应用场景, 将核心网部分控制功能如会话管理、区域性移动性管理功能下沉至无线网, 与无线网控制面功能集成部署, 使基站具备智能感知、业务控制、本地路由、内容快速分发及灵活计费的能力 (全功能基站为主的本地化的网络拓扑架构)。通过将特定业务相关的控制功能贴近接入网侧部署, 可以减少核心网功能部署层级偏高带来的回传时延。可通过在全功

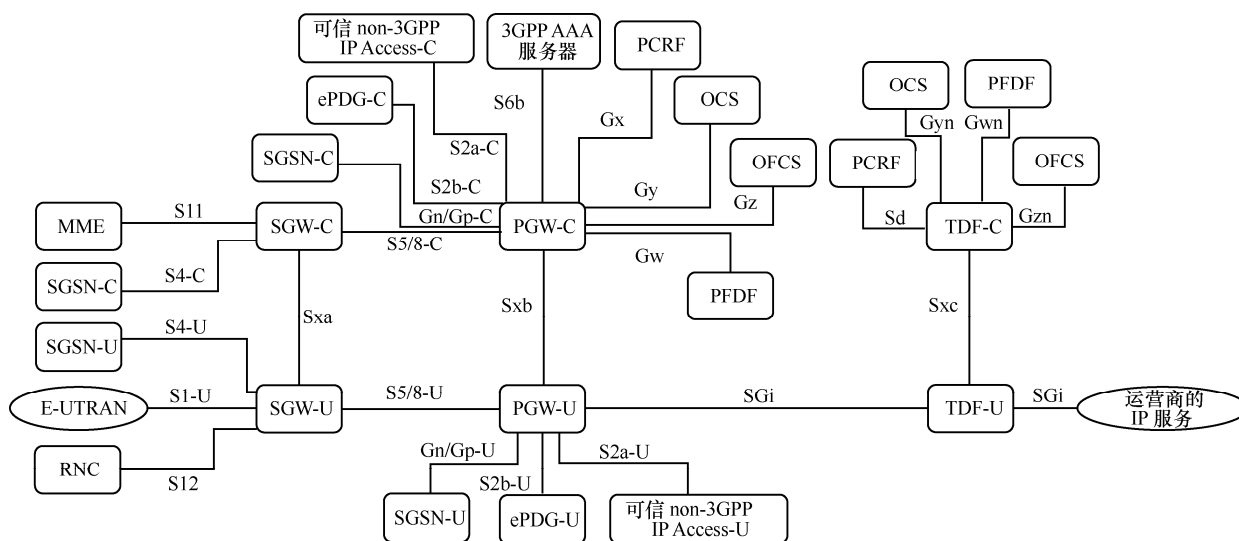


图 4 现有核心网的“全分离式”的网络架构



能基站中设置的统一控制面功能, 针对用户行为进行分析预测, 提前进行目标小区的资源预留与预操作, 保证切换成功率, 提高通信的可靠性。另外, 通过将数据网关与内容缓存功能下沉至全功能基站, 可以进一步减少回传时延, 同时全功能基站下也可采取 CU+DU 的分层部署形式, 将全功能基站的中心单元 CU 作为统一的数据锚点, 可以实现用户的无缝切换, 进一步改善用户体验。针对低功耗大连接的应用场景, 业务特点多为小数据量、低功率、移动性低且局部集中, 在 5G 架构下, 通过增加控制面无线资源, 满足海量连接对控制信令资源的需求, 还可采取分簇分层部署架构。

## 5 通信运营商的工业连接服务的发展策略

工业连接服务是通信运营商物联网应用的几大重点领域之一, 对于运营商有重大意义。

- 基于 4G QoS 方案的虚拟工厂专网方案尚不能满足全部业务的需求, 在未来 5G 技术落地之前, 可从本地分流业务入手切入部分业务, 同时传统基于核心网侧的计费方式和策略并不能有效地统计网络边缘的流量。针对此类潜在应用场景, 清晰的商业模式和可实施的本地内容计费方案成为市场推广、产业成熟的关键。因此, 中国电信未来需要针对本地分流以及业务缓存加速典型应用场景, 深入与省公司前端市场部门沟通探讨潜在的商业模式, 并据此研究本地内容计费方案, 主要包括本地流量的商业模式、本地内容流量的计费方法、本地内容流量计费的上报机制以及与计费系统间的业务流程。
- 选择部分业务在工厂内尝试开展验证工厂覆盖基站专用 QoS APN+本地分流方案。
- 积极开展基于 5G 能力形成“工厂虚拟专网”的技术研究工作, 尤其需要确定不同

类型的典型业务, 基于其需求推动 5G 技术方案的演进, 并详细明确在不同场景下不同的方案推介, 便于省政企客户面向客户时进行重点推介。

## 6 结束语

基于现有的公网, 工业无线连接服务对于时延要求很高的业务需要实现本地分流+高 QoS 的 APN。随着 5G 网络的不断发展, 基于 5GC 全新架构设计的 CUPS 的实现方式使得用户面与控制面的分离更加彻底, 这样可以更好地降低数据面时延, 从而实现 5G 的某些超低时延类业务(比如 uRLLC, 时延要求低于 1 ms)。随着标准和需求的不断发展, 通信运营商会积极主动地参与到工业网络中。

## 参考文献:

- [1] 吴梓萌. 供给侧改革助力中国制造 2025[J]. 经济研究导刊, 2017(35): 52-53.  
WU Z M. Fusion image quality evaluation method based on human perception[J]. Economig Research Cuide, 2017(35): 52-53.
- [2] 朱猷梅, 庞军, 张渝, 等. “大连接”在工业互联网领域的探索与实践[J]. 科技展望, 2017(9): 15.  
ZHU Y M, PANG J, ZHANG Y, et al. Fusion image quality evaluation method based on human perception[J]. Technology Outlook, 2017(9): 15.
- [3] 常洁, 王艺, 李洁, 等. 工业通信网络现有架构的梳理总结和未来运营商的发展策略[J]. 电信科学, 2017, 33(11): 123-133.  
CHANG J, WANG Y, LI J, et al. Summary of existing framework in industrial communication networks and future development strategies for communication operators[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(11): 123-133.
- [4] 孙杰贤. MulteFire: 让 LTE 技术服务更多行业[J]. 中国信息化, 2017(7): 36-37.  
SUN J X. MulteFire: let LTE technology serve more industries[J]. iChina Magazine, 2017(7): 36-37.
- [5] eLTE 产业联盟进入新阶段[Z]. 2018.  
eLTE industry alliance enters a new stage[Z]. 2018.
- [6] SNS Telecom & IT. The private LTE network ecosystem: 2016-2030 opportunities, challenges, strategies, industry verticals & forecasts[R]. 2016.
- [7] 宽带集群(B-TrunC)产业联盟. LTE 宽带集群通信(B-TrunC)产业发展白皮书(2016年)[R]. 2016.

- Broadband Trunking Communication Industry Alliance. White paper of B-TrunC industry development[R]. 2016.
- [8] 项弘禹, 肖扬文, 张贤, 等. 5G 边缘计算和网络切片技术[J]. 电信科学, 2017, 33(6): 54-63.
- XIANG H Y, XIAO Y W, ZHANG X, et al. Edge computing and network slicing technology in 5G[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(6): 54-63.
- [9] 杨峰义, 张建敏, 谢伟良, 等. 5G 蜂窝网络架构分析[J]. 电信科学, 2015, 31(5): 46-56.
- YANG F Y, ZHANG J M, XIE W L, et al. Analysis of 5G cellular network architecture[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(5): 46-56.
- [10] 龙彪, 张淑华. 本地 IP 接入和流量卸载技术在 LTE/EPC 网络中的应用研究[J]. 移动通信, 2011(10): 59-64.
- LONG B, ZHANG S H. Application research of local IP access and traffic offload technology in LTE/EPC network[J]. Mobile Communications, 2011(10): 59-64.
- [11] 张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 等. 移动边缘计算技术及其本地分流方案[J]. 电信科学, 2016, 32(7): 132-139.
- ZHANG J M, XIE W L, YANG F Y, et al. Mobile edge computing and application in traffic offloading[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(7): 132-139.
- [12] 3GPP. Architecture enhancements for control and user plane separation of EPC nodes: TS23.214[S]. 2018.

#### [作者简介]



常洁 (1984-), 女, 博士, 现就职于中国电信股份有限公司上海研究院, 主要研究方向为工业网络、5G 等。