



网络

5G 网络业务分级分档保障方案研究

孙朝, 徐芙蓉, 韩延涛, 张龙, 程锦霞, 刘姗姗, 邓伟, 胡臻平
(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)

摘要: 经济社会的数字化转型进程正在加速, 5G 作为“新基建”之首, 将有效使能行业的数字化转型。面向行业在网络性能方面千差万别的需求, 运营商需要为行业提供分级分档的服务。基于行业业务对 5G 网络性能需求的分析, 从速率、时延、可靠性 3 个方面阐述了 5G 网络的无线业务保障能力。同时, 基于需求将各种业务保障技术手段进行组合, 并与切片 ID、5QI 标识关联, 形成了分级分档的业务保障方案。通过匹配行业需求和网络能力, 将更好的促进通信产业和垂直行业的融合发展。

关键词: 行业专网; 分级分档网络能力; 业务保障

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022115

Research on hierarchical service guarantee scheme for 5G network

SUN Zhao, XU Furong, HAN Yantao, ZHANG Long, CHENG Jinxia,
LIU Shanshan, DENG Wei, HU Zhenping
China Mobile Research Institute Co., Ltd., Beijing 100053, China

Abstract: The digital transformation process of economic society is accelerating. As the first of "new infrastructure", 5G will effectively enable the industry digital transformation. Facing the diverse needs of the industry in terms of network performance, operators need to provide the industry with hierarchical wireless service levels. Based on the analysis of 5G network performance requirements of industry services, the RAN-based service guarantee capability of 5G network was introduced from three aspects: data rate, delay and reliability. At the same time, based on the demands, various service guarantee technical technologies were combined and associated with network slice ID and 5QI to form a hierarchical service guarantee scheme. By matching industry service demands and network capacities, the integration and development of communication and vertical industry will be better promoted.

Key words: industry private network, hierarchical network capability, service guarantee

0 引言

经济社会的数字化转型进程正在加速, 并呈现“五纵三横”的新特征。5G 作为“新基建”

之首, 将有效使能行业的数字化转型, 5G 与行业的融合必将成为数字经济发展的主战场。行业要求 5G 网络能够承载多域多类业务、实现分域隔离的数据保障, 建设成本足够低, 可以简单自

主的运维^[1]。

与面向公众消费场景不同,行业场景呈现出差异化、个性化的特征。要想实现 5G 对外赋能,与各行各业的融合,需要匹配不同行业对网络的差异化需求。垂直行业领域众多、需求分散,尤其是工业生产领域,不同生产场景在网络性能方面均存在不同层次的需求^[2]。例如远程驾驶,主要对时延、可靠性等网络性能指标提出要求,港口龙门吊的多路视频回传,对上行大带宽有极高诉求等。为了满足行业千差万别的差异化、个性化需求,无线网络须提供分级分档的业务保障能力。

本文系统首先基于 5G 行业在速率、时延、可靠性性能方面的差异化需求分析,归纳阐述了影响网络性能的关键无线技术方案,进而在此基础上,将无线技术方案组合并与切片、5QI 相结合,提供分级的网络能力,满足行业需求。

1 5G 行业差异化需求分析

5G 技术不仅面向公众消费场景,更面向行业生产场景,在速率、时延、可靠性等关键能力方面均有显著提升。行业业务在速率、时延、可靠性方面的需求千差万别,为了为满足行业业务的差异化需求,无线网络需要提供差异化的网络能力。

1.1 上行速率需求

从表 1 中可以看出,不同行业业务对 5G 网络上行速率需求存在较大差异,如行业 AI 机器视觉

业务单用户上行峰值速率需求 50~150 Mbit/s,而行业 PLC 业务上行峰值速率需求 0.16~10 Mbit/s。同时,不同行业的同一业务对 5G 网络上行速率需求也存在较大差异,如对于 AI 机器视觉业务,广东松山湖 T 园区 5G 智能工厂项目的 AI 机器视觉业务对单用户上行峰值速率的要求为 80 Mbit/s,而江苏常州精研科技项目的 AI 机器视觉业务对单用户上行峰值速率要求为 700 Mbit/s。

1.2 时延需求

不同业务的时延需求见表 2,不同行业业务对时延具有差异化的需求。对于一些实时控制的行业通用业务如远程控制指令、PLC 等,对端到端双向时延要求往往较高,约 10~20 ms,而对于一些非实时的视频传输业务,如视频监控,端到端时延要求只有几十至几百 ms。同时,同一行业业务对时延也存在差异化需求,如郑大一附院智慧医院项目的远程控制业务对时延要求为 50 ms,而福建厦门远海集装箱码头 5G 智慧港口项目的远程控制业务对时延要求为 20 ms。

1.3 可靠性要求

在工业、能源、交通等领域在要求低时延的同时,对网络的可靠性也具有极高的需求。不同业务的可靠性需求见表 3,对于视频监控类业务对可靠性要求不高,一般要求为 90%~99.9%,而对于核心的控制类业务及保障人员物资安全的业务,如工业控制类(PLC)业务要求网络可靠性达到 99.99%及以上。另外,在相同类型的业务下,不同行业项目对于网络可靠性的需求也不尽相

表 1 不同业务的上行速率需求

行业需求	视频监控	AI 机器视觉	远程控制	AGV	PLC
单用户上行峰值速率/(Mbit·s ⁻¹)	4~100	80~700	0.1~68.3	0.1~100	0.16~10

表 2 不同业务的时延需求

行业需求	视频监控	AI 机器视觉	远程控制		AGV	PLC
			视频回传	控制指令		
端到端双向时延/ms	50~200	20~30	20~50	10~50	20~50	4~20



表 3 不同业务的可靠性需求

行业需求	视频监控	AI 机器视觉	远程操控 (上行视频回传)	远程操控 (下行控制指令)	AGV	PLC
可靠性	90%~99.9%	99.9%~99.99%	99.9%~99.99%	99.99%~99.999%	99%~99.99%	99.99%以上

同，原因与设备本身的运算逻辑、运行方式及运行速度等方面有关。例如，AGV 的可靠性需求范围在 99%~99.99%，这部分与 AGV 的导航方式、错车方式及运算位置等方面的内容有关。

2 无线业务保障关键技术

不同行业客户不同类型业务对网络能力的要求存在较大差异，主要体现在速率、时延、可靠性 3 个维度。业务保障效果与空口所采用的技术关联最紧密，无线网是为行业提供优质服务的关键，无线业务保障技术也一直是业界研究的重点内容之一^[3]。

针对上述 5G 无线网络所面临的需求和挑战，本文首先分析提升网络性能的关键无线业务保障技术，通过引入系列无线增强技术，提升网络的上行能力，降低网络的空口时延和传输时延，提升网络的可靠性。

2.1 上行速率保障能力

与公网业务下行流量为主不同，行业应用普遍存在大上行需求，部分场景上行峰值速率要求较高，如工厂机器视觉质检业务，单终端上行速率可达 1 Gbit/s；部分场景终端密度大上行速率高，如港口龙门吊远程作业，上行容量可达 500 Mbit/s 以上。

下面将从单用户上行速率增强、多用户拥塞场景下的速率保障技术两方面进行分析，前者主要用于提升单用户的速率上限，后者主要用于在多用户拥塞场景下保障用户最低速率或速率相对优势。

(1) 单用户上行速率增强技术

为满足行业客户对上行峰值速率、上行容量、上行边缘速率的高要求，5G 行业网可引入 3U1D

帧结构、上行载波聚合、补充上行 (supplementary uplink, SUL) 技术 3 种增强技术。

3U1D 帧结构：5G 网络采用灵活帧结构设计，行业网可按需采用上行时隙配比多的帧结构。行业网如采用 3U1D 帧结构，上行资源较公网典型配置增加 3 倍，可显著提升网络的上行速率和上行容量，现网实测单载波上行峰值可达 747 Mbit/s。

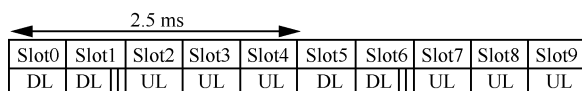


图 1 2.5 ms 3U1D 帧结构

上行载波聚合：载波聚合 (carrier aggregation, CA) 是 4G/5G 增强技术之一，通过将多个载波聚合起来同时传输，大幅提升上下行性能。以 2.6 GHz 100 Mbit/s+60 MHz CA 为例，两载波聚合上行理论峰值速率可达 400 Mbit/s，2.6 GHz+4.9 GHz 跨频段载波聚合上行理论峰值速率可达 500 Mbit/s，通过更多频段的载波聚合还可进一步提升性能。

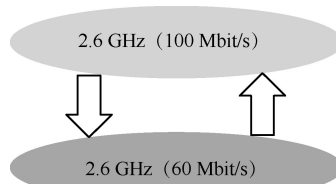


图 2 频段内 CA 方案示意图

SUL：5G 网络基础覆盖采用中高频段，可能出现上行覆盖和速率受限的问题，通过 SUL 技术可以实现上下行频率解耦，充分利用存量低频率频谱资源，有效提升上行边缘速率，通过引入新的全上行频段，还可大幅提升上行峰值和小区容量。

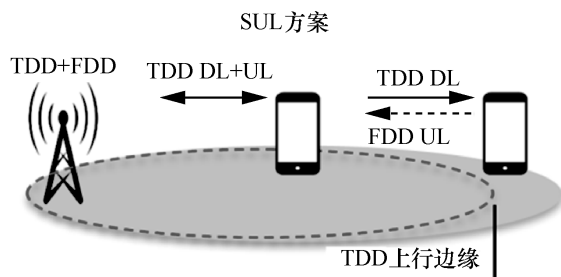


图3 SUL方案示意图

(2) 多用户拥塞场景下的速率保障技术

通过分档上行能力提供差异化、极致化的上行速率体验上限，但多用户场景下，由于存在资源竞争，需要引入分级分档的体验保障技术方案，在拥塞场景下保障单用户性能。

多用户拥塞场景下的速率保障主要分为相对优先调度与绝对速率下限保障2种方式。优先调度是指基于QoS调度优先级机制，在无线资源共享的基础上，实现特定业务/用户的优先调度；绝对速率下限保障即确定性速率保障，希望随时随地保障业务/用户的最低速率或者无线PRB资源，以保障业务的确定性体验。

- 相对优先保障：建立NonGBR承载，并按需配置相对优先级权值，如5QI6:5QI9为4:1。在信道条件、业务量等其他条件相同时，基站通过向用户动态分配资源，使得实际速率与权值成正比。

从保障效果上看，通过配置高优先级调度权值可保障速率相对优势，例如5QI6的VIP用户速率是5QI9的普通用户的 N 倍，主要在网络拥塞时生效。但如果VIP用户与普通用户信道质量差异较大，实际体验效果不满足配置比例。

- GBR (guaranteed bit rate) 保障：针对特定保障业务或者用户可以建立GBR承载，并按需配置GBR参数，基站通过资源调度，定量保障速率下限，目标效果是提供单用户确定性速率保障^[4]。

GBR为GBR-5QI可配置参数，基站优先向GBR倾斜资源，优先满足GBR速率，在网络拥

塞时，相比未配置GBR的用户，速率体验更优。

原理上，GBR速率保障原理为通过灵活占用无线PRB资源，保障单用户或单业务的确定性速率。用户在不同的信道环境下，基站消耗不同的PRB资源来保障相同的速率，好点时占用无线资源最少，差点时占用更多资源最多。

流程上，GBR为核心网PCF根据用户签约速率参数，下发给基站，基站基于GBR规则进行资源调度，优先保障GBR速率。

保障效果上，在大多数情况下，GBR用户的速率可得到保障。但若用户信道质量太差或高优先级用户过多，可能无法保障其GBR速率，因此GBR用户实际体验速率会受到信道条件、用户数等因素影响，无法实现100%的确定性速率保障。

2.2 时延保障能力

部分行业业务，尤其是嵌入生产环节的控制类业务，对网络时延要求极高。如车联网、远程医疗要求的端到端双向时延在10ms以内，AR/VR游戏要求达到“身临其境”的用户体验，则端到端双向时延要小于10ms。

针对URLLC场景，协议引入了免调度、mini-slot、URLLC业务抢占等一系列增强技术。其中上行免调度技术通过基站提前分配上行传输资源，有效节省调度等待时延，主要适用于周期性较强且包大小固定的控制类业务；mini-slot技术将数据调度和传输时间单位由时隙缩短为符号，有效节省时延，主要适用于工业控制、物联网等数据包大小极小的场景^[3]。此外还可针对业务需求，进行帧结构、SR周期、上行预调度、DRX周期、调度策略等算法参数和功能开关的联动配置。

- 上行预调度：指基站不等用户上报SR，预测用户有数据待传时直接给用户分配上行资源，为基站实现方案，已在现网使用。



- 上行免调度：当用户有上行数据包到达时，不经过 SR-UL grant 的过程，直接在基站预先分配好的资源上进行传输。需要 RRC 信令或者 RRC+DCI 参与，类似于 SPS。
- Mini-Slot：将调度最小颗粒度从 slot 级（14 个符号）缩短至符号级（2.4.7），缩短调度/反馈时延；以 3U1D 帧结构为例，mini-slot 的引入会降低时延 10% 左右。
- URLLC 抢占：同一个小区内，存在多个终端分别开展 eMBB、URLLC 业务，两类终端相互干扰，为保障 URLLC 业务性能，Rel-16 提出干扰消除功能。具体来说，基站可通过 PDCCH (format 2_4) 指示 eMBB 终端取消其上行传输，或动态提升 URLLC 终端上行功率，和/或降低 eMBB 终端上行功率，进而消除/降低上行干扰。

2.3 可靠性保障能力

工业控制、车联网等业务在对时延有要求的同时，对网络可靠性也有极高的要求，如工业控制业务要求网络可靠性达到 99.999 9%。为了提高可靠性，5G 空口进行了一系列增强设计，以冗余资源换取高可靠性。

物理层通过引入重复传输、小负荷 DCI 格式、低码率 MCS/CQI 表格等技术提高了调制解调的容错性和数据传输的可靠性，PDCP 层通过引入 PDCP 复制等技术提高数据的冗余，从而提高数据传输的可靠性^[3]。

3 分级分档的业务保障方案

第 2 节介绍了速率、时延、可靠性相关的关键无线业务保障技术。面对行业用户的特定需求，使用哪种技术或技术组合才能满足业务需求，在网络中存在多种需求的业务时网络侧如何提供差异化保障，均需要进一步进行深入研究。

本文针对上述问题，提出一种基于分级分档业务保障方案，通过将不同业务保障技术原子能

力进行灵活组合，并与 S-5QI（切片 ID+5QI 的组合标识）相关联，为行业客户提供分级的网络能力，匹配差异化的行业业务需求。

3.1 分级分档总体方案与流程

首先，与面向公众网络采用“同质化”保障服务不同，同一个小区中可能需要为不同需求的行业业务提供不同的保障等级，如果采用小区级相同的无线保障技术，那么可能只能保障其中一部分行业业务，而并不能满足其他行业业务的保障需求。例如，同一小区中存在远程控制与摄像头视频回传业务，远程控制业务要求低时延，需要网络侧采用低码率 MCS、低目标 BLER 等，而摄像机视频回传业务需要大上行带宽，若采用与远程控制相同的无线配置，则降低了频谱效率，无法满足大带宽需求。

其次，运营商需要向客户提供并售卖网络分级分档能力，无线保障技术对客户不可见，需要关联到切片或 5QI 标识，这样不同切片或 5QI 标识就可以代表不同的保障等级与网络能力。同时，网络切片与 5QI 均可指示业务对速率、时延、可靠性方面的需求，行业用户关注业务性能需求指标可以映射到网络切片或 5QI，进而通过与网络切片或 5QI 关联的无线保障能力进行差异化保障。

此外，对运营商而言，需要以适当的网络开销，匹配行业个性化、差异化需求，而不同无线保障技术达到的保障效果、对网络的开销均不相同，需要针对不同业务以合适的网络开销，“恰好”满足业务需求。

基于上述原因，需要将分级分档业务保障能力组合与 S-5QI（切片 ID+5QI）关联。一方面，面对不同类型业务的差异化需求，通过 S-5QI 中的不同 5QI 标识以及关联的无线保障技术组合提供不同等级的保障能力；另一方面，不同客户的同一业务也有可能需求不一致，可通过 S-5QI 中的不同切片 ID 标识（不同行业客户的切片 ID 不

同)以及关联能力进行区分,实现区分不同客户/切片业务的差异化保障。

基于 S-5QI 的分级分档架构与流程如图 4 所示,展示了基于分级分档的配置流程,主要的流程如下。

- 无线网管预先存储无线调度参数组合模板(将在第 3.2 节重点分析),包括速率、时延、可靠性的分级分档模板。
- 网管基于业务需求,将 S-5QI 映射到某个档位的无线参数组合,网管将 S-5QI 与对应的参数组合模板的映射关系下发给基站。
- 基站基于网管下发的 S-5QI 与参数组合关联映射参数模板,以及用户面业务包的 5QI、切片 ID 标识进行区分切片与 5QI 的差异化调度。

3.2 分级分档的业务保障能力设计

如图 4 中所述,需要针对行业差异化的需求,将无线保障原子能力灵活组合,形成基于速率、

时延、可靠性的分级分档模板。本节针对不同的速率、时延、可靠性保障等级需求,采用的无线业务保障能力组合进行设计与分析。

(1) 分级速率保障能力

不同行业业务的峰值速率要求不同,需提供分级分档的速率上限保障能力。3U1D 帧结构、上行 CA、SUL 等增强技术已日趋成熟,可根据业务需求和网络能力,分场景分频段灵活组合使用,向行业提供分级的大上行能力,举例来说,网络上行能力可以分为如下 4 档(见表 4)。

在速率上限分级分档基础上,网络拥塞场景下,不同用户进而可以通过自身需求,通过调度权重、GBR 等技术实现不同等级速率优先级或最低速率保障(见表 5)。其中,针对速率保障要求较高的业务(等级 1),需要提供 GBR 最低速率保障,GBR 速率档位可按需配置,每个业务流均可独立配置。等级 2 可通过高调度权重实现相对优先调度,但网络拥塞时速率可能受限。

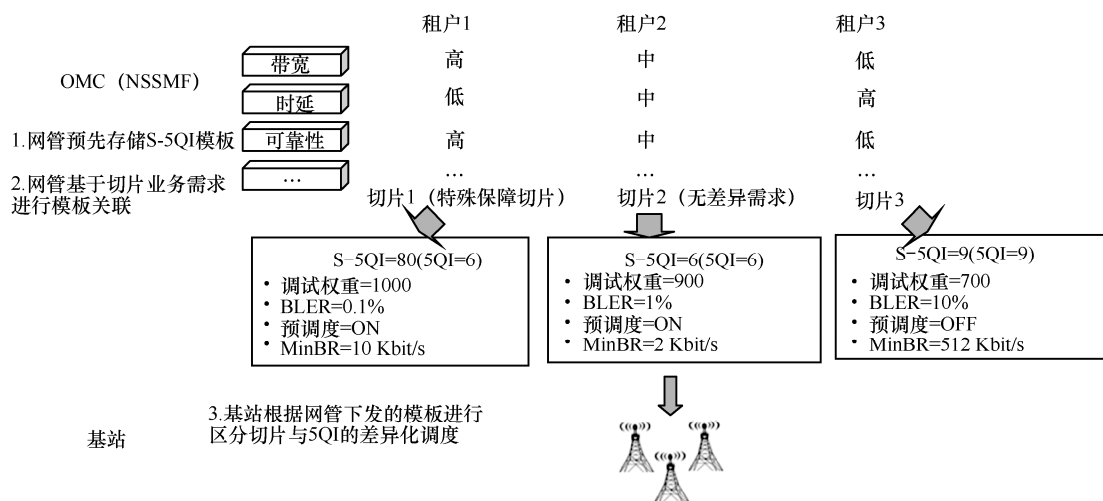


图 4 基于 S-5QI 的分级分档架构与流程

表 4 上行峰值速率能力分档

分档上行能力	第一档	第二档	第三档	第四档
	<250 Mbit/s	250~400 Mbit/s	400~750 Mbit/s	≥750 Mbit/s
对应的技术原子能力	2.6 GHz 100 MHz	① 4.9 GHz 7D3U 100 MHz ② 2.6 GHz 100 MHz +60 MHz CA	① 4.9 GHz 1D3U ② 2.6 GHz+4.9 GHz 7D3U CA	SUL 全上行



表 5 单用户上行速率分级分档示意

速率保障等级	相对优先级	
	GBR	调度权重
等级 1	50 Mbit/s	最高
等级 2	—	400
等级 3（现网默认配置）	—	100

（2）分级时延保障能力

针对业务需求，进行帧结构、SR 周期、上行预调度等算法参数和功能开关的联动配置，通过多种技术的灵活组合，形成分级的空口时延能力（见表 6）。第一档是大网默认配置，第二档、第三档当前产业已支持，通过缩短 SR 周期，开启上行预调度降低空口等待时延。第四档进而

通过特殊帧结构，缩短数据传输的时间单元，进而提升时延保障效果。

（3）分级可靠性保障能力

通过结合使用重复传输、PDCP 复制等冗余传输技术和小负荷 DCI 格式、低码率 MCS/CQI 表格等降低编码效率技术，向行业客户提供分级的可靠性能力。结合网络能力和多样化的业务需求，可将网络可靠性分为以下 4 档（见表 7）。

3.3 测试结果

（1）分级速率保障测试结果

图 5 展示了在典型港口场景下，GBR、相对优先保障的速率保障测试结果。由图 5（a）可以看出，GBR 在用户总容量需求不受小区容量限制时，网络可优先保障所有 GBR 用户的 GBR 速率。

表 6 时延能力分档

分档时延能力		第一档	第二档	第三档	第四档
		30~50 ms	20~30 ms	10~20 ms	5~10 ms
对应的技术原子能力	空口时延降低方案	基于网络默认配置	在第一档基础上	在第二档基础上	在第三档基础上
		①打开 C-DRX ②SR 周期 20ms	①关闭 C-DRX ②SR 周期 5ms	①打开预调度 ②保守调度	①使用 mini-slot ②使用 DS 帧结构

表 7 可靠性能力分档

分档可靠性能力		第一档	第二档	第三档	第四档
		<99%	99%~99.9%	99.9%~99.99%	99.99%及以上
对应的技术原子能力	目标 BLER=10%		①目标 BLER=1% ②CCE 聚合等级 AL=16	①固定 MCS ②低码率 MCS/CQI	①PDCP 重复 ②slot 重复 ③Multi-TRP 等

GBR=MBR=20 Mbit/s 5 个用户，Non-GBR 用户：
45 个 GBR 用户，在好、中点可得到保障

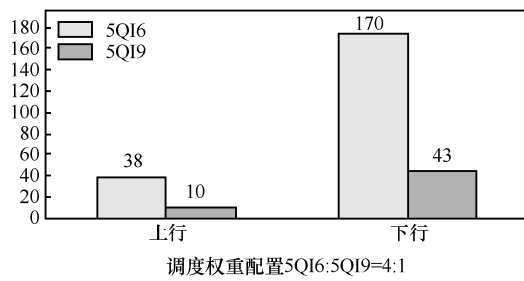
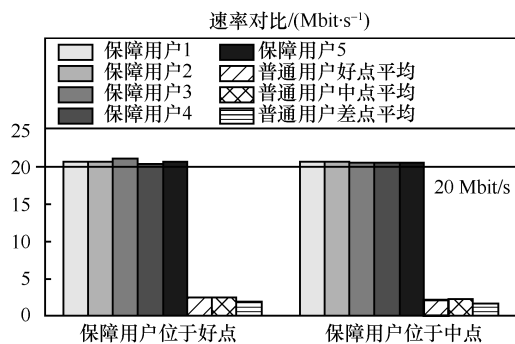


图 5 测试结果

由图 5 (b) 可以得到, 拥塞场景下, 在 5QI6 与 5QI9 用户信道条件相近时, 5QI6 与 5QI9 用户实际上/下行速率之比基本为 4:1, 与调度权重比例一致。因此, GBR 最低速率保障适用于对确定性下限速率要求较高的重点保障业务, 而速率相对优先保障则可相对提升用户的速率保障效果, 实际可达到的速率受到网络业务负载、信道条件等影响。

(2) 分级时延保障测试结果

时延能力分级分档测试结果见表 8, 第一/二/三档位的时延分级能力组合已在典型钢铁、港口场景完成外场实测试验验证 (第四档产业尚未支持, 无测试结果), 其中实测时的网络参数是参考表 6 时延能力分档表进行配置的。表 8 的测试结果是用户位于极好点时的单用户 RTT 时延, 考虑到信道条件、背景业务对时延的影响, 实际业务的时延在此基础上会有一定恶化。因此, 实测结果与表 6 中的分级分档效果基本一致。

表 8 时延能力分级分档测试结果

极好点 ping 包往返时延/ms	第一档	第二档	第三档
2.6 GHz 8D2U	22.2	14.3	9.2
4.9 GHz 1D3U	19.4	14.6	8.7
4.9 GHz 7D3U	22	14	9

(3) 分级可靠性保障测试结果

可靠性能力分级分档测试结果见表 9, 在实际现网环境中的测试结果: 在相同时延要求下,

第二档可靠性 > 第一档可靠性 (第一档、第二档的模板定义见表 8), 如用户分布在好点及以上, 在 20 ms 时延要求下, 第二档可靠性可达 3 个 9, 等级一可靠性仅为 1 个 9; 50 ms 时延要求下, 等级二可靠性可达 4 个 9 以上, 等级三可靠性约为 2 个 9。

4 结束语

行业对 5G 网络性能需求主要包括上行速率、时延、可靠性等, 不同行业以及同一行业的不同业务间的需求均存在差异。

本文基于行业用户对网络性能的需求, 将需求进行分级分档, 并针对每个档位的需求, 通过将无线业务保障原子能力组合, 提供适配行业需求的分级分档的服务。同时, 无线业务保障原子能力组合与切片 ID+5QI 相关联, 实现区分切片、区分业务的精细化、差异化保障。

随着 5G 垂直行业拓展的深入和通信技术、协议的演进, 5G 分级分档业务保障能力将进一步拓展与丰富, 满足更多、更精细的行业差异化需求, 助力 5G 垂直行业取得更大的成功。

参考文献:

- [1] 5G 应用产业方阵. AIA 虚拟专网架构白皮书 [R]. 2020. 5G Applications Industry Array. AIA Virtual Private Network Architecture White Paper [R]. 2020.
- [2] 中国移动 5G 联合创新中心. 中国移动 5G 行业无线专网白皮书 [R]. 2020. China Mobile 5G Innovation Center. China Mobile 5G industry

表 9 可靠性能力分级分档测试结果

2.6 GHz 2U8D、包大小 80 Byte、发包间隔 50 ms		<50 ms	<30 ms	<20 ms	<15 ms	<10 ms	<5 ms
可靠性等级配置	测试点和测试次数						
第二档	全小区 (10 W)	99.983	99.758	97.667	87.208	46.584	0
	极好、好点 (3 W)	100	100	99.953	99.198	76.383	0
第一档	全小区 (10 W)	99.11	97.203	97.344	93.998	67.896	0.832
	极好、好点 (3 W)	98.973	97.523	97.167	95.997	77.62	1.183



wireless private network white paper [R]. 2020.

- [3] IMT-2020(5G)推进组. 5G 应用产业方阵. 运营商 5G 行业虚拟专网无线能力体系[R]. 2020.

IMT-2020 (5G) Propulsion Group. 5G Applications Industry Array. Operator 5G industry virtual private network wireless capability system[R]. 2020.

- [4] 3GPP. Overall Description (Release 17): TS 38.300[S]. 2020.

[作者简介]



孙朝（1988-），男，中国移动通信有限公司研究院工程师，主要研究方向为 5G 无线技术及垂直行业应用解决方案。



徐芙蓉（1991-），女，中国移动通信有限公司研究院工程师，主要研究方向为移动物联网、5G 无线技术及垂直行业应用方案。



韩延涛（1985-），男，中国移动通信有限公司研究院高级工程师，主要研究方向为 5G 无线网技术、网络智能化技术研究。



张龙（1985-），男，中国移动通信有限公司研究院高级工程师，主要研究方向为 LTE、5G 无线技术和垂直行业拓展。



程锦霞（1981-），女，中国移动通信有限公司研究院高级工程师，主要研究方向为 5G 行业典型场景及基于 4G/5G 的垂直行业解决方案。



刘姗姗（1994-），现就职于中国移动通信有限公司研究院无线与终端技术研究所，主要研究方向为 5G 无线技术及垂直行业应用解决方案。

邓伟（1978-），男，中国移动通信有限公司研究院无线与终端技术研究所副所长、高级工程师，主要研究方向为 5G 网络及行业融合技术，组织开展中国移动 5G 策略研究、行业融合技术攻关等工作，促进中国移动 5G 在工业、能源、港口等垂直行业领域的融合应用和商用落地。

胡臻平（1979-），男，博士，中国移动通信有限公司研究院高级工程师，中国移动首席专家，长期从事 4G/5G 无线、网络领域技术发展策略研究、标准制定、关键技术攻关和产业推进工作。