

面向行业的 5G 网络 SLA 定义及需求白皮书

牵头编写单位：中国信息通信研究院、华为技术有限公司

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟（AII）

2022 年 9 月

声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟
联系电话：010-62305887
邮箱：aia@caict.ac.cn

编写说明

在 5G 时代，移动通信技术能力的进一步提升，有望帮助垂直工业领域重新考虑如何以无线方式互连机器、生产线，从而助力全社会数字化转型。移动通信服务从面向用户（2C）类型转变为面向行业（2B）类型，终端主要是机器、传感器、机器人等。对于传统 2C 业务，用户对业务中断的容忍度比机器高得多。例如，当移动网络连接质量不好或服务中断时，2C 用户可尝试稍后重拨，但对于 2B 业务用户，可能导致生产线关闭，从而导致生产效率损失。

本白皮书通过梳理 2B 行业客户对 5G 网络的需求，提出 5G 网络 SLA 能力指标，统一网络 SLA 量纲，制定行业业务需求和网络 SLA 映射模板，统一行业需求、网络需求描述和映射关系，将有效指导 5G 网络建网和 SLA 保障，推动相关技术和产业成熟，加速 5G 行业应用进程。

牵头编写单位：中国信息通信研究院、华为技术有限公司

参与编写单位：中国移动通信集团有限公司、中国联合网络通信集团有限公司、中国电信股份有限公司、中兴通讯(南京)有限责任公司、浙江中控技术股份有限公司、杭州和利时自动化有限公司、三一集团有限公司、四川长虹电子控股集团有限公司、美的集团、普天信息工程设计服务有限公司、深圳艾灵网络有限公司、创源微致软件有限公司、紫光展锐(上海)科技有限公司、北京科技大学、成都爱瑞无线科技有限公司、京信网络系统股份有限公司、中电科普天科技股份有限公司、卡奥斯工业智能研究院(青岛)有限公司

编写组成员（排名不分先后）：

中国信息通信研究院：黄颖、沈彬、于青民、李宗祥、管子健

华为技术有限公司：卢小莉、姜小滨、辛波、黄蔚蓝、谷明旭

中国联合网络通信集团有限公司：叶晓煜、安岗、李文杰、张余、张文博、魏梓原、王源野、赵晨炅、王金石、李森、许丽丽

中国移动通信集团有限公司：郝晓龙、肖善鹏、邓伟、杨鹏、马帅、郝森参、杨博涵、曾凯越、杜琴、于乐

中国电信股份有限公司研究院：李凯、沈云飞

中兴通讯(南京)有限责任公司：楚俊生、支周

浙江中控技术股份有限公司：来晓、陈银桃、蒙博宇

杭州和利时自动化有限公司：张玉波、寇立康、李蒙、黄玲

三一集团有限公司：吕青海、李发、王辉、张雯、韩鹏、杨阳、杨广林、商迎秋、牛长德

四川长虹电子控股集团有限公司：毕可骏、徐庭锐、王鑫、韩宇瑞

美的集团股份有限公司：陈俊、王军

普天信息工程设计服务有限公司：陈昕、郭惠军、李果

深圳艾灵网络有限公司：俞一帆

创源微致软件有限公司：戴佐俊、张恒

紫光展锐(上海)科技有限公司：张伟强、朱勇旭、李丛蓉

北京科技大学：张海君、张晓奇、张耀敏、苏仁伟

成都爱瑞无线科技有限公司：宋巨伟、任广梅

京信网络系统股份有限公司：龚贺

中电科普天科技股份有限公司：张振、叶杨、杜翠凤

卡奥斯工业智能研究院(青岛)有限公司：赵士超、刘鹏英

目 录

一、	网络 SLA 指标定义	1
	(一) 网络可用度	2
	(二) 时延可靠性	3
	(三) 用户速率	5
	(四) 定位准确度	6
	(五) 时钟同步精度	6
	(六) 网络隔离	6
二、	网络 SLA 指标能力等级划分	6
	(一) 网络可用度	7
	(二) 时延可靠性	7
	(三) 用户速率	8
	(四) 定位准确度	9
	(五) 时钟同步精度	9
	(六) 网络隔离	9
三、	业务需求和网络 SLA 需求映射	10
	(一) 行业需求提取	10
	(二) 网络 SLA 需求映射	13
	(三) 网络 SLA 需求能力等级汇总	16
四、	典型场景业务 SLA 需求到网络 SLA 需求过程示例	16
	(一) 柔性生产制造	16
	(二) 机器视觉质检	18
	(三) 网络 SLA 需求示例总结	20

五、 总结和展望	21
附录： 相关术语	21
(一) 通信服务可用性和可靠性	21
(二) 5G 网络和垂直应用的性能测量关系	25



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

5G 行业应用涉及千行百业，5G 行业项目经过一段时间的拓展和试点，基于前期调研，当前主要存在如下问题：一是在垂直行业应用过程中，行业、网络设备商、网络集成商、运营商等相关组织对于网络指标需求定义描述不统一，如可靠性、时延等概念在 5G 网络中具体代表什么含义，大家理解不一致，导致行业与网络在语言充分对接方面存在难点；二是 5G 行业应用业务类型和场景丰富，不同细分行业业务需求差异较大，从而对网络服务水平保证（SLA）有不同的需求，由于行业业务需求与网络 SLA 需求缺少统一语言和映射，导致行业无法描述清楚对网络 SLA 的具体诉求，从而网络建设保障时存在难点。¹

随着 5G 网络与行业应用的有机融合和推广应用，亟需制定相应的网络 SLA 规范，从而解决运营商、设备商以及行业用户等对网络 SLA 需求的概念理解不一致的问题。

通常 SLA 包括体验 SLA、业务 SLA 和网络 SLA：体验 SLA 从用户业务出发，定义用户体验，如视频卡顿、花屏等，业务 SLA 从行业业务流出发，定义业务流中断时长、传输数据量等指标，网络 SLA 从网络角度出发，定义网络连接的速率、时延等指标。

本文主要定位于对网络层 SLA 的内容分析，通过统一面向行业的 5G 网络 SLA 指标范围、SLA 指标定义、SLA 指标分级规范和 SLA 指标需求描述等内容，帮助行业客户、行业解决方案提供商、电信运营商、电信设备商等对齐网络 SLA 语言。

一、网络 SLA 指标定义

¹ SLA（Service Level Agreement）：双方正式协商达成的协议，有时也称为服务水平保证。它是服务提供商和客户之间的合同（或合同的一部分），旨在建立对服务、优先级、责任等的共同理解。（来源：TMForum SLA 管理手册）。

通过对标准业界和行业的分析，网络层 SLA 重点关注的指标，包括：网络可用度、时延、可靠性、抖动、用户速率、定位准确度、网络隔离等，作为 5G+工业互联网提供网络服务的基础。

（一）网络可用度

网络可用度是网络可用性的概率度量指标，对于可修复产品，网络可用度 A 与可靠性度量指标 MTBF、可维修性度量指标 MTTR 关系如下：

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

1. 网络可用性

网络可用性：产品在任意随机时刻需要和开始执行任务时，处于可工作或可使用状态的程度。它的概率量度称为可用度。在 5G 系统中，用于描述网元组成的网络正常运行的时间比例。（来源：GJB451-90、IEC61907）。

2. 网络可靠性

网络可靠性：产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。可靠性的概率度量也称可靠度。（来源：GJB451-90、IEC61907）。

MTBF（平均故障间隔时间）是可修复产品可靠性的一个基本度量：在规定状态下的特定测量区间，产品的所有部件能够在指定范围内完好工作的寿命单位均值。（来源：MIL-STD-721C-81）

3. 网络可维修性

网络可维修性：产品在规定的条件下和规定的时间内，按规定的程序和方法维修时，保持和恢复到规定状态的能力。（来源：GJB451-90、IEC61907）。

MTTR（平均故障恢复时间）是产品维修性的一种基本参数，其度量方法为：在规定的条件下和规定的时间内，产品在任意规定的维修级别上，修复性维修总时间与在该级别上被修复产品的故障总数之比。（来源：GB/T3187-94、GJB451-90、GR-512-CORE）。

（二）时延可靠性

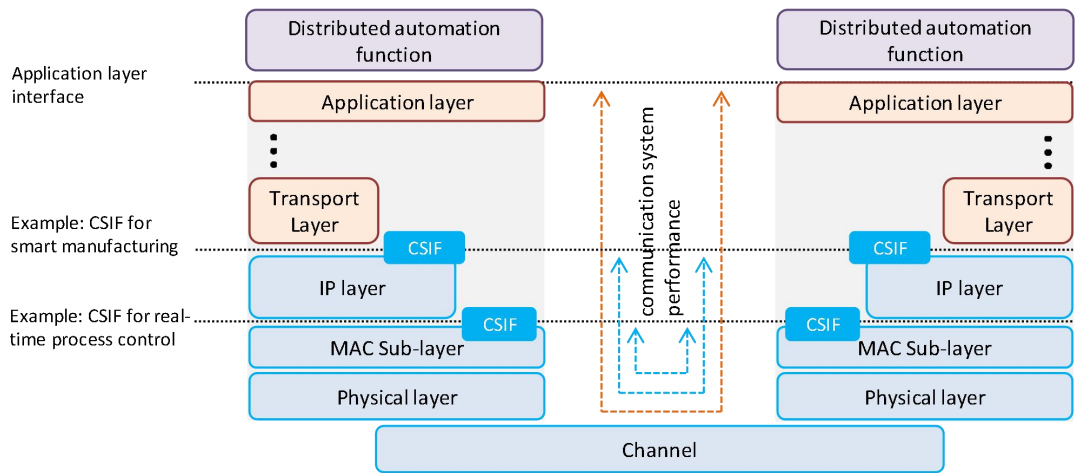
在 5G 工业应用中，对传输数据包同时有低时延和高可靠性要求，因此在网络 SLA 描述时，时延和（包）可靠性一般一起描述为时延可靠性（时延@可靠性）。

时延@可靠性计算方法：满足一定时延约束条件下成功接收的包数除以发送的总包数。

1. 时延

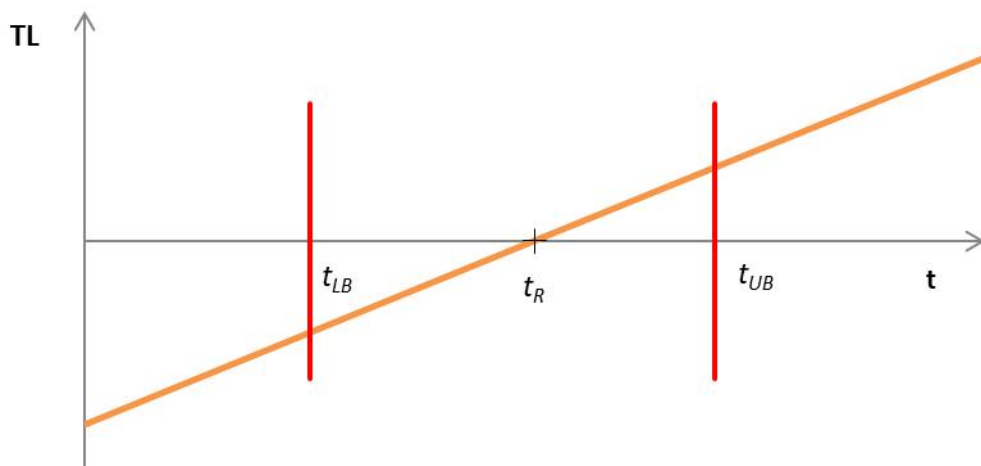
时延：在 5G 系统通信服务接口处测量，数据包从源通信设备的 CSIF 成功传输到目标通信设备的 CSIF 的时间。（来源：3GPP TS 22.261）

- E2E 中的端点是通信服务接口（3GPP 网络指通信设备的 CSIF），如下图所示，橙色箭头为垂直应用程序的视角，蓝色箭头为 3GPP 网络性能测量的视角，即包括和不包括 IP 层；



不同通信服务接口 (CSIF) 下的网络性能测量

- 该指标基于无线通信场景，分为单端无线时延 (UE to Network/Network to UE) 和双端无线时延 (UE to Network to UE)；
- 该指标在多数场景要求为最大时延，但有些场景要求为严格的时间边界 [最小端到端延迟，最大端到端延迟]。如图所示，在多数场景，仅有最大时延 t_{UB} 要求，在部分场景同时有有最小时延 t_{LB} 和最大时延 t_{UB} 的要求。（来源：3GPP TS 22.104）



2. (包)可靠性

(包)可靠性: 在网络层数据包传输的上下文中, 在目标服务所需的时间限制内成功传送到给定系统实体的已发送网络层数据包量除以已发送的网络层数据包总数的百分比值。(来源: 3GPP TS 22.261)

- 在 5G 系统通信服务接口处测量;
- 3GPP 中为 reliability 定义不区分 SLA 类型即可表示各种指标的可靠性要求, 当前本文重点分析时延可靠性要求, 同时用 packet reliability 与传统网络设备可靠性区分;
- 基于 3GPP TS 23.501 的丢包率定义, 当有 QoS 要求时, 丢包率表示为在满足 QoS 时延要求下未成功到达的数据包的比例, 即 $1-p(\text{丢包率})=R(\text{可靠性})$ 。在网络 SLA 指标里面, 统一采用 (包) 可靠性。

(三) 用户速率

用户体验数据速率: 获得业务质量体验所需的最低数据速率。但广播类业务的情况除外, 其为所需的最大值。(来源: 3GPP TS 22.261)

- 用户级最低保障速率要求; 本文统一简化为“用户速率”表示;
- 该指标分为上行用户速率和下行用户速率。

(四) 定位准确度

定位准确度：描述 UE 测量的位置与真实位置的偏差。（来源：3GPP TS 22.261）

- 指标一般描述为准确度@概率，如：3m@90%；
- 可细分为水平准确度、垂直准确度；
- 准确度可以描述绝对位置的准确度，也可以描述相对位置的准确度。

(五) 时钟同步精度

时钟同步精度：在同步域内，主时钟和任何从 UE 时钟之间的最大允许时间偏差。（来源：3GPP TS 22.104）

- 5G 系统包括 CN、TN、RAN 和 UE。

(六) 网络隔离

网络隔离：为用户申请的网络资源需要与其他用户申请的网络资源进行物理或逻辑上的隔离。（来源：3GPP SA5 TS28.541）

- 物理隔离是指网络资源在物理位置上是分开的，如采用不同的硬件资源、不同的机架、不同的位置、不同的频谱等；
- 逻辑隔离是指网络资源在逻辑上是隔离的，如采用虚拟资源层面的隔离，网络功能层面的隔离，或租户/业务层面的隔离。

二、网络 SLA 指标能力等级划分

各行业场景千差万别，通过抽象并总结共性 SLA 要求有大带宽、低时延高可靠、高精度定位、高可用网络。本文为了归一化供给侧的网络 SLA 需求，将网络 SLA 各指标按照能力等级进行划分，通过划分等级，统一量化网络 SLA 需求能力等级，网络可按照不同等级进行保障。通过将不同行业场景的能力要求应对到网络的 SLA 需求等级上，从而可加速行业批量复制能力。

(一) 网络可用度

业界通常采用几个 9 表征网络设备的可靠程度，针对 5G+工业场景，网络可用度等级分级如下：

等级/ 指标	网络可用度(%)	典型服务场景
SLA 1	[99, 99.9)	一般应用于个人设备，如电脑或服务器
SLA 2	[99.9, 99.99)	一般在警务专网、平安城市等场景，视频监控、维护信息采集等业务场景
SLA 3	[99.99, 99.999)	一般在影响生产效率场景，如港口 PLC 控制等场景
SLA 4	[99.999, 99.9999)	一般在安全强相关场景，如智能列控（高铁、轨交）、钢铁生产控制等场景
SLA 5	≥99.9999	更高要求的电信级设备场景

(二) 时延可靠性

对应网络 SLA，基于时延和可靠性的 SLA 等级分级如下：

指标/等级	SLA 1	SLA 2	SLA 3	SLA 4	SLA 5
时延(ms)	(50, 100)	[20, 50)	[10, 20)	[4, 10)	<4
包可靠性(%)	[99, 99.9)	[99.9, 99.99)	[99.99, 99.999)	[99.999, 99.9999)	≥99.9999

由于在网络 SLA 要求中，对于多数 URLLC 业务同时有时延和可靠性的要求，当将不同等级的时延和包可靠进行组合时，存在大量可能，为了更好的将行业需求和网络保障相结合，本文基于行业场景分析，将时延和包可靠一起划分等级如下：

等级/ 指标	时延(ms)@包可靠性(%)	典型应用场景
SLA 1	100@99.9%	一般要求业务场景
SLA 2	50@99.9%	一般要求的远程控制业务，如矿山、钢铁等场景的挖

		掘机、无人天车等服务场景
SLA 3	20@99.99%	一般较高要求的远控业务，如港口的龙门吊、远程医疗的操作摇杆控制等远控业务场景
SLA 4	10@99.99%	一般指高要求的运动控制业务、差动保护等场景，如智能电网差动保护、C2I0 车间级智能制造等服务场景
SLA 5	4@99.999%	一般指 AR/VR、AR/VR 强交互、工厂现场级智能制造等更高要求场景

注：SLA 分级对应为（UE-Network-UE）的双向时延 \approx （UE-Network）的单向时延*2

（三）用户速率

1. 上行用户速率

在 5G+工业互联网中，对上行速率要求比 ToC 行业要求高，对网络带来挑战，基于当前 5G 网络和应用需求分析，将上行用户速率等级划分如下：

等级/ 指标	用户上行速率(Mbps)	典型应用场景
SLA 1	(0, 50)	一般普通图片、文件传输、视频监控等场景。
SLA 2	[50, 100)	一般高清图片传输、高清视频监控等场景
SLA 3	[100, 200)	8K 超高清视频监控、机器视觉质检等场景
SLA 4	[200, 500)	AR/VR 等场景
SLA 5	≥ 500	更高要求的场景

2. 下行用户速率

在 5G+工业互联网中，基于当前 5G 网络和应用需求分析，将下行用户速率等级划分如下：

等级/ 指标	下行用户速率(Mbps)	典型应用场景
SLA 1	(0, 10)	远程控制、电网的配网差动保护、三遥等场景
SLA 2	[10, 100)	电竞类云游戏等场景
SLA 3	[100, 500)	AGV 地图下载、智慧急救等场景
SLA 4	[500, 1000)	8K 超高清视频、VR 教育、VR 文旅等场景
SLA 5	≥ 1000	更高要求的场景

（四）定位准确度

在 5G+工业互联网中，涉及人与人、人与物、物与物的链接，存在人、车、物的协同，对定位要求越来越高，基于当前 5G 网络和应用需求分析，将定位准确度等级划分如下：

等级/ 指标	定位准确度 (m)	典型应用场景
SLA 1	[3, 10)	一般指面向人的定位，如铁路、工厂等人员导航、轨迹规划等服务场景
SLA 2	[1, 3)	一般指室内人员或物的定位，如机场、园区等人员定位、车辆导引等服务场景
SLA 3	[0.3, 1)	一般指面向较高精度的人或物的定位，如车辆网、无人机、精细化工等场景，提供车辆协同、无人机测绘和农业、安全生产人员位置等服务场景
SLA 4	[0.1, 0.3)	一般指面向高精度的物的定位，如智能制造、仓储物流、电力能源等场景，提供 AGV 导航、资产追踪管理、电子围栏、工具匹配、工作协同等服务场景
SLA 5	<0.1	更高要求的场景

注：1. 定位准确度，一般采用 90%可用度的满足度。

2. 本文分级中，基于整体的定位准确度(即定位准确度= $abs|测量位置(坐标)-实际位置(坐标)|$)，不区分垂直准确度和水平准确度。

（五）时钟同步精度

当前行业应用中，电网差动保护场景对时钟同步精度有要求，基于分析，时钟同步精度分级如下：

等级/ 指标	时钟同步精度(us)	典型应用场景
SLA 1	-	
SLA 2	-	
SLA 3	-	
SLA 4	(1, 10]	一般指面向电网差动场景
SLA 5	≤ 1	

（六）网络隔离

该指标是指为满足企业、园区等行业客户的业务安全要求，而对提供的网络所采取的安全隔离方面所提出的要求措施。具体包括物理隔离（如专网专线等）、逻辑隔离（如虚拟网络设备等），提

供专用资源预留、资源抢占、共享资源池等机制，基于 5G 网络和行业需求，等级分级如下：

等级/ 指标	网络隔离	典型应用场景
SLA 1	逻辑隔离	行业用户共享物理网络，通过逻辑方式提供网络资源（如虚拟网络设备等），并保证与其他用户的资源是安全隔离的
SLA 2	物理隔离	为行业用户提供安全可靠的独占的物理网络（如专网特定地理位置、专线特定机框、专网特定频谱等）

注：当前分级参照 3GPP SA5 TS28. 541。针对 5G 网络来说，由于存在多个 5G 网元，因此，网络隔离时，可能会存在一些中间状态，中间状态在当前版本暂不考虑，主要跟随 3GPP 定义。

三、业务需求和网络 SLA 需求映射

（一）行业需求提取

行业需求提取应根据行业特点和业务需求等方面，分析行业整体需求和业务场景的通信需求、服务能力需求和隔离需求，形成对应的行业需求信息汇总表和若干业务场景需求信息详表。行业需求提取模板参考国标 TC124 《基于蜂窝网络的工业无线通信规范 第 5 部分 应用规范》。

表 1 给出了行业需求信息汇总模板，主要用于收集行业/企业的整体诉求(包括网络设备故障要求、网络隔离要求)和业务场景类型汇总。

表 1 工业业务需求信息汇总模板

列项	信息	说明
行业类别		工业应用场景所属的行业。参考 GB/T 4754-2017 《国民经济行业分类》。
企业名称		企业基本信息
厂区总面积		工业设备所分布的地理区域大小
厂区网络隔离要求		不同工作区域之间工业应用的隔离需求，例如：不同分厂、不同厂房、不同车间之间的隔离需求。
5G 网络的区域	业务区域名称	工业应用所在的工作区域，举例：不同分厂、不同厂房、不同车间。基于不同区域进行信息填写。
	面积	区域面积

A	网络设备故障要求		区域范围内，网络设备故障的中断时间要求，单位[min/year 或 min/month];
	网络隔离要求		不同企业组织之间工业应用的隔离需求，例如：运输部、生产部之间的隔离需求。 不同目的网络的工业应用的隔离需求，例如：工业终端监控应用连接到远程的服务器，工业控制应用连接到本地的控制服务器，工业终端监控和工业控制应用之间的隔离需求。 不同应用名称的工业应用的隔离需求，其中工业应用名称用以唯一的标识一个工业应用。例如：视频类的“工业质检应用”划分为一个网络切片。
	场景 1 名称		场景名称按照业务类型进行命名，例如：远程设备操控、远程运维、视觉检测、实时控制等
	场景 2 名称		
	场景 3 名称		
		
5G 网络的区域 B			
		
		
.....		
.....			

表 2 给出了工业业务场景分析模板，表中的关注项是可选的，应根据实际需求填写。



表 2 工业业务场景分析模板

关注项	具体信息	单位	必要性	说明
场景名称		/	必填	工业应用场景中应用的名称，和表 1 中场景名称对应。按照业务类型进行命名，例如：远程设备操控、远程运维、视觉检测、实时控制等
场景描述		/	选填	工业应用场景业务类型描述信息。
通信关系 1	通信关系标识 1	/	必填	递增、唯一性
	通信关系名称	/	必填	所属行业中应用场景的业务类型对应的细分业务名称。例如：远程设备操控中的视频监控
	终端设备信息	/		工业应用场景中，当前通信关系分析的蜂窝终端设备名称及信息
	终端数量			和终端设备信息中所列设备具有相同通信关系的终端数
	移动类型		/	选填 工业应用场景中改变工业蜂窝终端设备的地理位置的移动类型，具体应包括：

				<p>静止：在整个使用寿命期间保持静止；</p> <p>自由移动：移动时间和区域不受限制；</p> <p>区域限制移动：在约定的区域内可移动；</p> <p>游牧移动：使用时是静止的，两次使用的间隔是可以移动的。</p>
移动速率		km/h	选填	工业应用场景中自由移动或区域限制移动的工业蜂窝终端设备移动的速度，单位：km/h
无线组网类型		/	必填	无线组网方式，单端无线、双端无线。 注：双端无线，指数据交换经过2次5GS网络，路径为UE-RAN-UPF-RAN-UE； 单端无线，指数据讲话经过1次5GS网络，路径为UE-RAN-UPF
业务方向			必填	从行业终端视角描述业务流的方向，分为双向、单向。 注：1、双向代表业务需要应答，单向代表业务不需要应答。2、无线组网为单端无线，补充描述基于终端视角的业务发起和应答方向，如上行发送&下行响应。
业务特征		/	必填	该通信关系的业务特征，例如：确定性周期性通信、确定性非周期性通信、非确定性通信。
定位准确度		m	选填	工业蜂窝终端设备的测量位置与真实位置值的偏差，包括水平定位准确度和垂直定位准确度，单位：m。
时钟同步精度		μs	选填	工业应用场景中终端设备时钟和基准时钟之间的最大偏差，单位：μs 注：终端设备有时间同步精度要求的通信关系时填写
业务可用性		/	选填	(确定性通信业务填写)根据商定的QoS交付端到端通信服务的时间量除以在特定区域中根据规范预期交付端到端服务的时间量的百分比。 注：如果通信服务不满足相关的QoS要求，则认为该通信服务不可用。如果可用性是这些要求之一，则遵循以下规则：如果在指定的时间内（该时间至少是允许的最大端到端延迟和生存时间的总和）未收到预期消息，则认为系统不可用。
生存时间		ms	选填	(确定性通信业务填写)工业应用在没有收到预期消息的情况下可以继续运行的最大时间，单位：ms
传输周期		ms	选填	(周期性通信业务)工业应用传输周期性应用数据的时间间隔，单位：ms 注：仅当工业应用数据包以固定的传输间隔发送时填写。
应用数据量		Byte	选填	该通信关系中，要求传输的应用数据量，单位：Byte 注：1)周期性通信业务中，表示应用数据包在传输周期内发送的数据量。 2)非周期性通信业务中，表示单次业务传输的数据量。
E2E最大时延		ms	选填	应用数据量从源端传输到目的端可允许的最大传输时长，单位：ms 注：1、在不影响工业应用时能容忍的最大传输时长；2、E2E时延都是指2个通信端口的单向时延；3、双端无线时，E2E最大时延为经过2次5GS的时延，单端无线

					时，E2E 时延为经过 1 次 5GS 的时延。
	最大应用数据量		MBytes	选填	(非确定性业务填写) 每秒内业务要求的最大应用数据量。 注：1、没有固定传输周期和应用数据量的业务填写，如视频、图片、文件等 2、双向通信时，若上下行要求不一样，需区分上行和下行需求给出。
	最小应用数据量		MBytes	选填	(非确定性业务填写) 每秒内业务要求的最小应用数据量。 注：1、没有固定传输周期和应用数据量的业务填写，如视频、图片、文件等。2、双向通信时，若上下行要求不一样，需区分上行和下行需求给出。
通信关系 2	通信关系标识 2		/	必填	递增、唯一性
	通信关系名称		/	必填	所属行业中应用场景的业务类型对应的细分业务名称。例如：远程设备操控中的视频监控
				

(二) 网络 SLA 需求映射

基于业务需求，为了将其映射为业务对网络的 SLA 需求，应将基于表 2 形成的“工业应用场景分析表”映射为基于表 3 形成的“工业蜂窝网络通信需求表”。

两个表格在映射时应整体遵循以下原则：

a) 区域网络可用度：

—— 表 1 区域网络设备故障的年中断时间要求映射为网络可用度，

网络可用度=1-中断时间要求/总运行时间

b) 针对确定性周期性业务：

—— 表 2 中的应用数据量、E2E 最大时延映射为表 3 中的单个通信关系的用户速率。用户速率 (Mbps) = max [(应用数据量 * 8 * (1000/传输周期)) , (应用数据量 * 8 / (E2E 最大时延 / 1000))]

—— 表 2 中的业务可用性、生存时间、传输周期组合映射为表 3 中的单个通信关系的可靠性。可靠性 = 1 -

$$\left(\frac{\text{生存时间}}{\text{传输周期}}+1\right)\sqrt{1-\text{业务可用性（对业务可靠性有要求时填写）}}$$

（参照 3GPP TS 22.104）

—— 表 2 中的 E2E 最大时延映射为表 3 中的单个通信关系的时延要求。

c) 针对确定性非周期业务：

—— 表 2 中的应用数据量和 E2E 最大时延映射为表 3 中的单个通信关系的用户速率。用户速率（Mbps）=（应用数据量*8/（E2E 最大时延/1000））

—— 表 2 中的 E2E 最大时延映射为表 3 中的单个通信关系的时延要求。

d) 针对非确定性业务：

—— 表 2 中的 E2E 最大时延和最大/小应用数据量映射为表 5 中的单个通信关系的最大/小用户速率。用户速率（Mbps）=（最大/最小应用数据量*8/（E2E 最大时延/1000））

e) 其他映射关系：

—— 表 2 中的定位准确度映射为表 3 中的定位准确度

—— 表 2 中的时钟同步精度映射为表 3 中的时钟同步精度。

表 3 网络 SLA 需求模板

关注项	具体信息	单位	必要性	说明
业务区域名称				工业应用所在的工作区域，举例：不同分厂、不同厂房、不同车间。基于不同区域进行信息填写。
网络可用度				
网络隔离要求				
场景名称				工业应用场景中应用的名称，和表1中场景名称对应
场景描述				工业应用场景描述信息
通信关系标识1	通信关系标识	/	必填	递增、唯一性
	通信关系名称	/	必填	所属行业中应用场景的业务类型对应的细分业务名称。例如：远程设备操控中的视频监控
	终端设备信息			工业应用场景中，当前分析的蜂窝终端设备名称及信息
	终端数量			和终端设备信息中所列设备具有相同通信

					关系的终端数
移动类型		/	选填		工业设备的运动类型：静止、自由移动、区域限制移动、游牧移动
移动速率		km/h	选填		能够自由移动或区域限制移动的设备所移动的速度
无线组网类型		/	必填		无线组网方式，单端无线、双端无线。
业务方向			必填		从行业终端视角描述业务流的方向，注：双向或单向。 注： 1、双向代表业务需要应答，单向代表业务不需要应答。2、无线组网为单端无线，补充描述基于终端视角的业务发起和应答方向，如上行发送&下行响应。
业务特征		/	必填		该通信关系的业务特征，例如：确定性周期性通信、确定性非周期性通信、非确定性通信。
定位准确度		m	选填		工业蜂窝终端测量位置与其实际位置值的偏差，包括水平定位准确度和垂直定位准确度，单位：m
时钟同步精度		μ s	选填		终端设备有时间同步精度要求的通信关系时填写，单位： μ s
业务特征					确定性周期性业务、确定性非周期性业务、非确定性业务
用户速率		Mbps	选填		确定性周期业务的时刻最小保障用户速率；确定性非周期业务的瞬时最小保障用户速率； 通信关系中，若上下行要求不一样，需区分上行和下行需求给出，若不区分，则默认上下行需求一样。
时延		ms	选填		确定性业务的最低时延要求； 注：双端无线，则时延代表的为RTT时延，单端无线时延代表的为OTT时延。
可靠性		/	选填		确定性业务的网络包可靠性要求；
单用户峰值速率		Mbps	选填		1、非确定性业务传输所要求的最大传输速率，单位Mbps； 2、通信关系中，若上下行要求不一样，需区分上行和下行需求给出，若不区分，则默认上下行需求一样。
单用户最低速率		Mbps	选填		1、非确定性业务传输所要求的最小传输速率，单位Mbps； 2、通信关系中，若上下行要求不一样，需区分上行和下行需求给出，若不区分，则默认上下行需求一样。
通信关系标识2	……				

对于单个终端能力要求：

——该终端设备的用户速率要求为各通信关系的用户速率加和。

——该终端设备的时延可靠性要求为该终端涉及的最高时延可靠性要求。

对于区域网络能力要求：

——区域网络的总速率要求为各通信关系的用户速率加和。

——区域网络的最低时延可靠性要求为该区域涉及的最高时延可靠性要求。

注：

1) 实际网络要求需考虑非周期业务的并发概率。本文主要通过模板收集行业应用场景的网络需求。

2) 将无法给出行业需求时，可直接按照网络 SLA 需求模板给出网络需求。

(三) 网络 SLA 需求能力等级汇总

网络 SLA 指标/SLA 等级	网络可用度	网络隔离	时延可靠性	上行用户速率	下行用户速率	定位准确度	时钟同步精度
区域 1							
场景 1-通信标识 1							
场景 1-通信标识 2							
场景 2-通信标识 1							
……							

四、典型场景业务 SLA 需求到网络 SLA 需求过程示例

不同行业的属性和场景需求不一样，需要梳理出可复制、规模化应用的场景，如“5G+机器识别、5G+AGV 物流、5G+数据采集/工厂远程控制”，通过对基于行业、场景的业务需求到网络 SLA 需求的映射和等级划分，从而明确 5G 网络面向行业服务、端到端的保障能力标准。

(一) 柔性生产制造

场景描述：数控机床和其他自动化工艺设备、物料自动储运设备通过内置 5G 模组或部署 5G 网关等设备接入 5G 网络，实现设备连接无线化，大幅减少网线布放成本、缩短生产线调整时间。通过 5G

网络与多接入边缘计算（MEC）系统结合，部署柔性生产制造应用，满足工厂在柔性生产制造过程中对实时控制、数据集成与互操作、安全与隐私保护等方面的关键需求，支持生产线根据生产要求进行快速重构，实现同一条生产线根据市场对不同产品的需求进行快速配置优化。同时，柔性生产相关应用可与企业资源计划（ERP）、制造执行系统（MES）、仓储物流管理系统（WMS）等系统相结合，将用户需求、产品信息、设备信息、生产计划等信息进行实时分析、处理，动态制定最优生产方案。

1. 行业业务场景需求

表 1 工业业务场景分析模板

关注项	装备制造	煤化工	石油炼化
场景名称	5G 云化 PLC		闭环控制
场景描述	基于工业 OS 打造的 5G 云化 PLC 技术应用，以减少现场 PLC 或者 DCS 控制器的数量，减少空间占用，降低生产和维护成本为目标。应用系统选用远程 IO 模块，实现 IO 系统配置的模块化，利用总线通讯，大大减少了现场复杂的走线。		闭环控制是流程工业中最核心的控制机制，通过在不同装置或过程安装传感器（或变送器），控制器可以及时感知过程状态，并根据预设工艺算法对生产过程进行优化并进行安全可靠的控制
通信关系标识	1		
通信关系名称	5G 云化 PLC	远程控制中的云 PLC 实时逻辑控制	分布式控制
终端设备信息	5G 网关	移远 RG200U-CN	控制器 远程 IO
终端数量	20	500	100
无线组网类型	单端无线	单端无线	单端无线
业务方向	双向	双向	双向(下行请求 上行响应)
业务特征	确定性周期性通信	确定性周期通信	确定性周期性通信
时钟同步精度 (μs)		10000	
业务可用性	99.9%	99.9999%	99.9999%
生存时间(ms)	100	/	100
传输周期(ms)	3	10	2(总线周期 200)
应用数据量 (Byte)	100	1M	30
E2E 最大时延	20	20	20

(ms)			
------	--	--	--

2. 网络 SLA 需求

表 2 网络 SLA 需求模板

关注项	装备制造	煤化工	石油炼化
业务区域名称			
网络可用度		99.999%	99.999%(SLA4)
网络隔离要求	物理隔离	物理隔离	物理隔离 (SLA2)
场景名称	5G 云化 PLC	云化 PLC 的业务场景	闭环控制
场景描述	基于工业 OS 打造的 5G 云化 PLC 技术应用，以减少现场 PLC 或者 DCS 控制器的数量，减少空间占用，降低生产和维护成本为目标。应用系统选用远程 IO 模块，实现 IO 系统配置的模块化，利用总线通讯，大大减少了现场复杂的走线。	园区数据采集、数字化工厂协同控制、本地 PLC 云边协同辅助计算	
通信关系标识	1		
通信关系名称	5G 云化 PLC	远程控制种的云 PLC 实时逻辑控制	分布式控制
终端设备信息	5G 网关和控制器	移远 RG200U-CN	控制器 远程 IO
终端数量	20	500	100
无线组网类型	单端无线	单端无线	单端无线
业务方向	双向	双向	双向
业务特征	确定性周期性通信	确定性周期通信	确定性周期性通信
时钟同步精度 (μs)		10000	
用户速率 (Mbps)	2 (SLA1)	10 (SLA1)	1.5 (SLA1)
时延 (ms)	20 (SLA2)	20 (SLA3)	20 (SLA3)
可靠性	99.9% (SLA2)	99.999% (SLA4)	99.999% (SLA4)

(二) 机器视觉质检

场景描述：在生产现场部署工业相机或激光器扫描仪等质检终端，通过内嵌 5G 模组或部署 5G 网关等设备，实现工业相机或激光扫描仪的 5G 网络接入，实时拍摄产品质量的高清图像，通过 5G 网络传输至部署在 MEC 上的专家系统，专家系统基于人工智能算法模型进行实时分析，对比系统中的规则或模型要求，判断物料或产品是否合格，实现缺陷实时检测与自动报警，并有效记录瑕疵信息，

为质量溯源提供数据基础。同时，专家系统可进一步将数据聚合，上传到企业质量检测系统，根据周期数据流完成模型迭代，通过网络实现模型的多生产线共享。

机器视觉质检，主要是通过工业相机等实时拍摄数据通过 5G 网络上传到 MEC。

1. 行业业务场景需求

表 1 工业业务场景分析模板

关注项	飞机	飞机大部件	船舶	工业材料
场景名称	飞机复合材料自动铺丝在线检测	8K 超高分辨率飞机大部件表面缺陷检测	船用钢板麻点检测	机器视觉材料检测
场景描述	通过 5G+工业相机实现铺丝在线本地检测，同时上传云端系统。	通过 5G+工业相机实现大部件表面缺陷在线本地检测，同时上传云端系统。	使用标准 3D 相机采集钢板图像，实现钢板表面全检。	通过工业相机对材料表面进行检测，将 5G 技术和机器视觉技术相结合，实现材料异常色差、缝隙、多余物在线检测的场景。
通信关系标识	1/2	1/2/3	1	1/2
通信关系名称	机器视觉质检——飞机复合材料自动铺丝在线检测	机器视觉质检-8K 超高分辨率飞机大部件表面缺陷检测	机器视觉质检——船用钢板麻点的高精度 3D 检测	机器视觉质检-机器视觉材料检测
终端设备信息	高速 3D 相机/黑白 2D 相机	黑白相机/深度相机/彩色相机	3D 工业相机	1080P 相机/黑白相机
终端数量	1/1	1/1/3	24	2/1
移动类型	静止	区域限制移动	静止	静止
移动速率 (km/h)				
无线组网类型	单端无线	单端无线	单端无线	单端无线
业务方向	单向（上行）	单向（上行）	单向（上行）	单向（上行）
业务特征	确定性周期性通信	确定性周期性通信	确定性周期性通信	确定性周期性通信
传输周期 (ms)	1s*1000=1000ms	22s*1000=22000ms	500ms	1s*1000=1000ms
应用数据量 (Byte)	3.9Mbyte(每秒采集数据量约为 39MByte, 若采用 10:1 图像压缩处理后, 传输数据量)/ 5Mbyte (每秒采集数据量为: 50MByte)	34.8 Mbyte(原始数据量为: 174MByte, 此处假设采用 5:1 无损压缩处理)/4.8Mbyte(原始数据量为: 24MByte 此处假设采用 5:1 无损)	4MByte(压缩处理后)	4Mbyte/2MByte

若采用 10:1 图像压缩处理, 传输数据量)	压缩处理)/216Mbyte(数据量为: 1080MByte 此处假设采用 5:1 无损压缩处理)		
-------------------------	--	--	--

2. 网络 SLA 需求

表 2 网络 SLA 需求模板

关注项	飞机	飞机大部件	船舶	工业材料
场景名称	飞机复合材料自动铺丝在线检测	8K 超高分辨率飞机大部件表面缺陷检测	船用钢板麻点检测	机器视觉材料检测
场景描述	通过 5G+工业相机实现铺丝在线本地检测, 同时上传云端系统。	通过 5G+工业相机实现大部件表面缺陷在线本地检测, 同时上传云端系统	使用标准 3D 相机采集钢板图像, 实现钢板表面全检。	通过工业相机对材料表面进行检测, 将 5G 技术和机器视觉技术相结合, 实现材料异常色差、缝隙、多余物在线检测的场景。
通信关系标识	1/2	1/2/3	1	1/2
通信关系名称	机器视觉质检—飞机复合材料自动铺丝在线检测	机器视觉质检-8K 超高分辨率飞机大部件表面缺陷检测	使用标准 3D 相机采集钢板图像, 实现钢板表面全检。	机器视觉质检-机器视觉材料检测
终端设备信息	高速 3D 相机/黑白 2D 相机	黑白相机/深度相机/彩色相机	3D 工业相机	1080P 相机/黑白相机
终端数量	1/1	1/1/3	24	2/1
移动类型	静止	区域限制移动	静止	
移动速率 (km/h)			/	
无线组网类型	单端无线	单端无线	单端无线	单端无线
业务方向	单向(上行)	单向(上行)	单向(上行)	单向(上行)
业务特征	确定性周期性通信	确定性周期性通信	确定性周期性通信	确定性周期性通信
用户速率 (Mbps)	31.2/40 (单个通信关系: SLA1)	12.65/1.75/78.55 (单个通信关系: SLA1/SLA2)	70 (单个通信关系: SLA2)	32/16 (单个通信关系: SLA1)

(三) 网络 SLA 需求示例总结

网络 SLA 指标	场景 1: 柔性生产制造		场景 2: 机器视觉(有图像压缩)	
	装备制造	石油炼化	高速 3D 相机(飞机复合材料)/ 1080P 相机(材料检测)	8K(飞机大部件)/3D 工业相机(船舶)
网络可用度		99.999%		
		SLA4		
网络隔离	物理隔离	物理隔离		

	SLA2	SLA2		
上行用户速率 (单通信关系)		10M	12M~40M	80M左右
		SLA1	SLA1	SLA2
下行用户速率		10M		
		SLA1		
时延可靠性	20ms@99.9%	20ms@99.999%		
	SLA3	SLA4		

五、总结和展望

本白皮书通过标准、业界、行业的分析，总结 5G+工业互联网中的行业对网络的需求，1) 给出归一化的六大 SLA 指标项和指标定义，包括时延可靠性、网络可用度、用户速率、定位准确度、时钟同步精度、网络隔离；2) 同时基于 5G 网络能力和行业场景，将 5G 网络 SLA 指标能力分级为 5 个等级，不同的行业需求应用到不同等级；3) 建立业务需求到网络需求描述模板和转译方法，并基于场景举例。

通过将本白皮书内容应用于 5G+工业互联网项目中，可以有效指导行业企业、行业解决方案提供商、运营商、通信设备商对行业场景、网络需求联合分析输出 5G 网络 SLA 需求，支持行业/应用批量复制。

后续需进一步研究，5G 网络 SLA 分级能力如何保障，即 5G 网络通过哪些不同的方案来保障网络 SLA 不同的分级能力。5G 网络通过分级 SLA 保障，可快速建网和保障，从而利于 5G 应用和商用快速发展。

附录：相关术语

(一) 通信服务可用性和可靠性

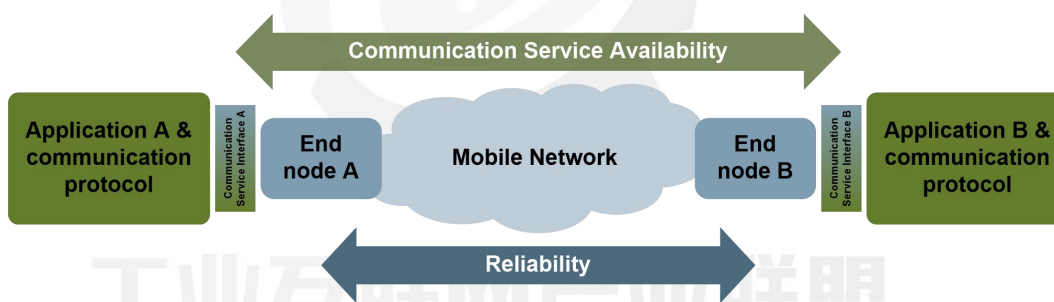
通信服务可用性：根据商定的 QoS 交付端到端通信服务的时间量除以在特定区域中根据规范预期交付端到端服务的时间量的百分比值。（3GPP TS 22.261）

注：“端到端”中的端点假定为通信服务接口。

注：如果通信服务不满足相关的 QoS 要求，则认为该通信服务不可用。如果可用性是这些要求之一，则遵循以下规则：如果在指定的时间内（该时间至少是允许的最大端到端延迟和生存时间的总和）未收到预期消息，则认为系统不可用。

1. 术语澄清

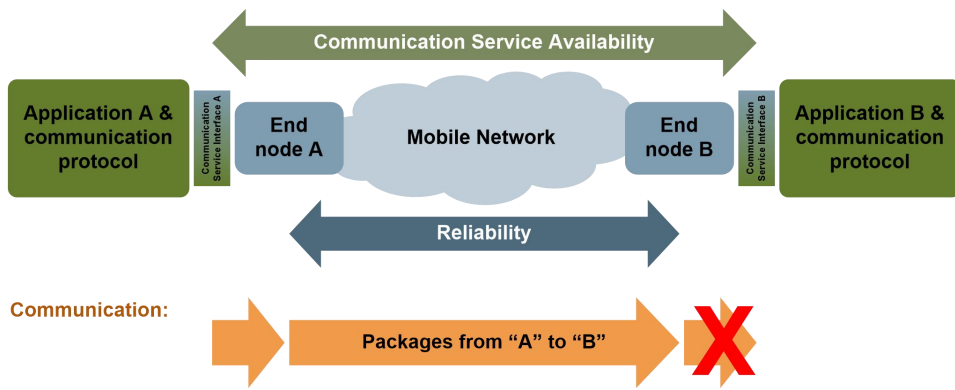
可用性和可靠性在 3GPP 和垂直行业中都使用，但含义不同。通信服务可用性解决了通信服务的可用性。此定义遵循垂直标准 IEC 61907。另一方面，可靠性是 3GPP 术语，涉及通信网络的可用性。对于移动网络，这两个术语的关系如图所示。



如图所示，可靠性涵盖两个节点（此处为端节点）之间的通信相关性，而通信服务可用性涵盖两个通信服务接口之间的通信相关性。换言之，这两个概念之间的“差距”是通信接口。这看起来可能是一个小的差别，但是这种差别可能导致可靠性和通信服务可用性具有不同值的情况。

示例：流量“卡住”

相关场景如图所示。

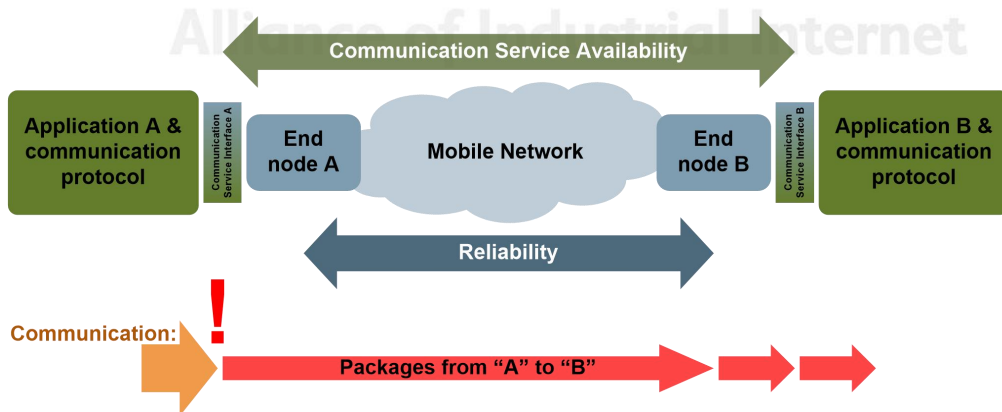


图：通信服务可用性和可靠性具有不同值的示例。报文从通信服务接口 A 可靠地传输到端节点 B，但在通信服务接口 B 处不暴露报文。

该场景主要解决应用 A 到应用 B 的单播通信，报文在通信服务接口 A 从应用切换到通信网络，然后传输到端节点 B。在这个示例中，端节点 B 接收到的报文不会暴露在通信服务接口 B 处。因此，即使切换到端节点 A 的所有报文在目标服务所需的时间约束内成功地传递到端节点 B (即可靠性为 100%)，由于没有数据包到达“终点”即通信服务接口 B，所以通信服务可用性为 0%。

示例：通信业务接口丢弃报文

相关场景如图所示。



图：通信服务可用性和可靠性具有不同值的示例。实际上，只有一半传输到端节点 A 的报文被传输到端节点 B，并在通信服务接口 B 上传输到应用 B。

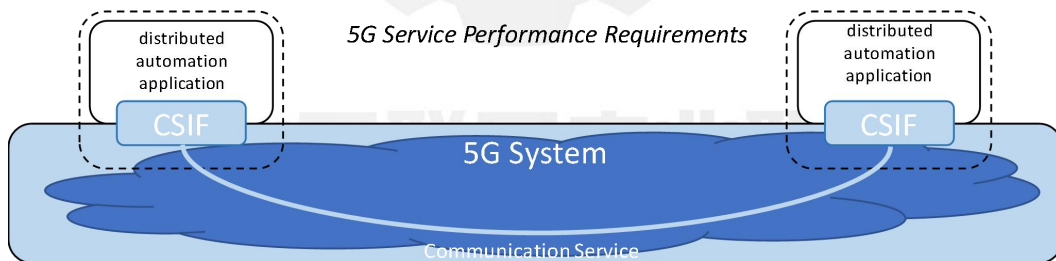
该场景描述的是应用 A 到应用 B 的均匀散列报文单播通信。报文在通信服务接口 A 从应用切换到通信网络，然后传输到端节点 B。

实际上，仅仅每第二个数据包被成功切换到端节点 A，然后传输到端节点 B。因此只有一半的数据包到达应用 B。注意，移动网络的可靠性是 100%，因为所有报文都在目标业务所需的时间约束内从端节点 A 传输到达端节点 B。但是，根据商定的 QoS，通信服务的可用性可以与可靠性相同，也可以低得多。例如，如果约定的生存时间等于或大于端到端延迟，则可靠性和通信服务可用性是相等的。但是，如果生存时间较小，可靠性是通信服务可用性的两倍。

请注意，计算通信服务可用性的最短时间间隔是最大允许端到端延迟和生存时间的总和。

2. 业务可用性和包可靠性关系

在 5G 系统中，关于可靠通信，有两个基本的视角：通信业务的端到端视角和网络视角（见图）。



CSIF – Communication Service Interface between distributed automation application/function and 5G system

图：5G 系统网络视角

图中的通信服务可以在一侧的 UE 与另一侧的网络服务器之间实现，也可以在一侧的 UE 与另一侧的 UE 之间实现。

在某些情况下，采用本地方法（例如网络边缘）优先用于网络侧的通信服务，以降低延迟或在工厂站点上将敏感数据保留在非公共网络中。

通信服务可用性被认为是网络物理应用程序的重要服务性能要求，特别是对于具有确定性流量的应用程序。虽然网络无法直接测量通信服务可用性，但通信服务可用性要求是 5G 系统的时延、存活时间和可靠性要求的组合，因为当未接收到预期消息（例如，网络物理应用）时，系统被视为不可用。应用程序在生存时间到期后的传输时间（实际延迟）大于最大端到端延迟。

逻辑链路的网络可靠性、存活时间配置和通信业务可用性之间的关系示例如下表所示。

当存活时间等于传输间隔时，通信服务可用性与可靠性的关系示例。

通信服务可用性	可靠性 (3GPP TS 22.261)
99,9999 %	99,9 %
99,999999 %	99,99 %
99,99999999 %	99,999 %
99,9999999999 %	99,9999 %
99,999999999999 %	99,99999 %

(二) 5G 网络和垂直应用的性能测量关系

由于 3GPP 网络不涵盖完整的 ISO-OSI 通信堆栈，因此本节从垂直应用视角和 3GPP 网络的视角说明两者之间的关系。

图显示了通信堆栈的简化版本。PHY 层、MAC 层和 IP 层的某些部分是 3GPP 网络的一部分，称为下层通信层 (LCL)。通信堆栈还包括应用程序。与向应用程序提供数据相关的 OSI 层称为高级通信层 (HCL)。LCL 与 HCL 之间的接口称为通信服务接口 (CSIF)。

对于评估整体系统性能而言，区分 3GPP 网络的性能（即仅包括 LCL 和测量在 CSIF 处）和包括应用层的整体系统性能（即 LCL 和

HCL 两者都包括) 非常重要。在图 C.5-1 中, 橙色箭头基于垂直应用的视角, 蓝色箭头表示 3GPP 网络性能测量的视角, 即包括和不包括 IP 层。

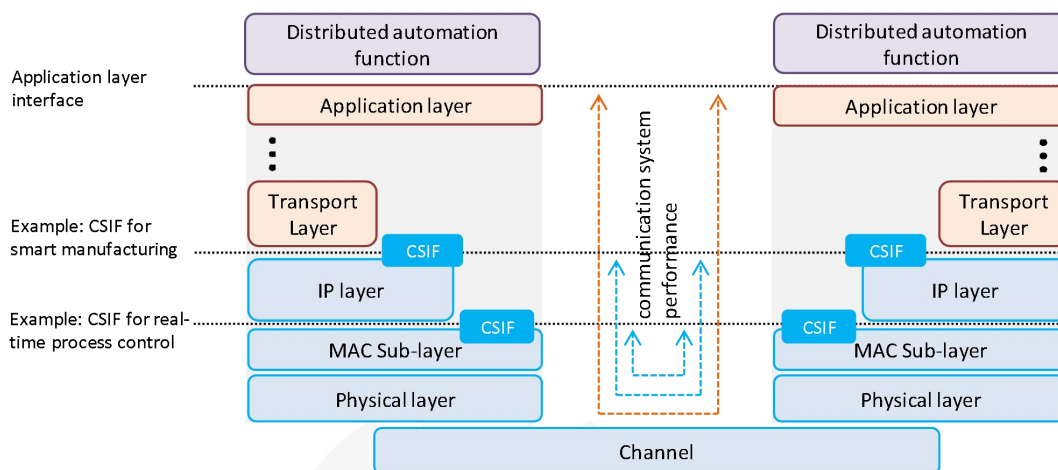


图: 不同通信服务接口 (CSIF) 下的网络性能测量

图示出了如何将消息从源应用设备 (例如可编程逻辑控制器 PLC) 传输到目标应用设备 (例如工业机器人), 在源操作系统中执行源应用功能 (AF), 并将消息移交给源通信设备的应用层接口。数据在不属于 3GPP 系统的高层通信层 (HCL) 中被处理。数据从 HCL 传输到 3GPP 系统的下层通信层 (LCL)。在通过目标通信设备的物理通信信道和 LCL 进行传输之后, 数据被传递到 HCL, 最后被传递到目标应用设备。有关时间的特征参数在图中定义。

从 3GPP 系统的角度来看:

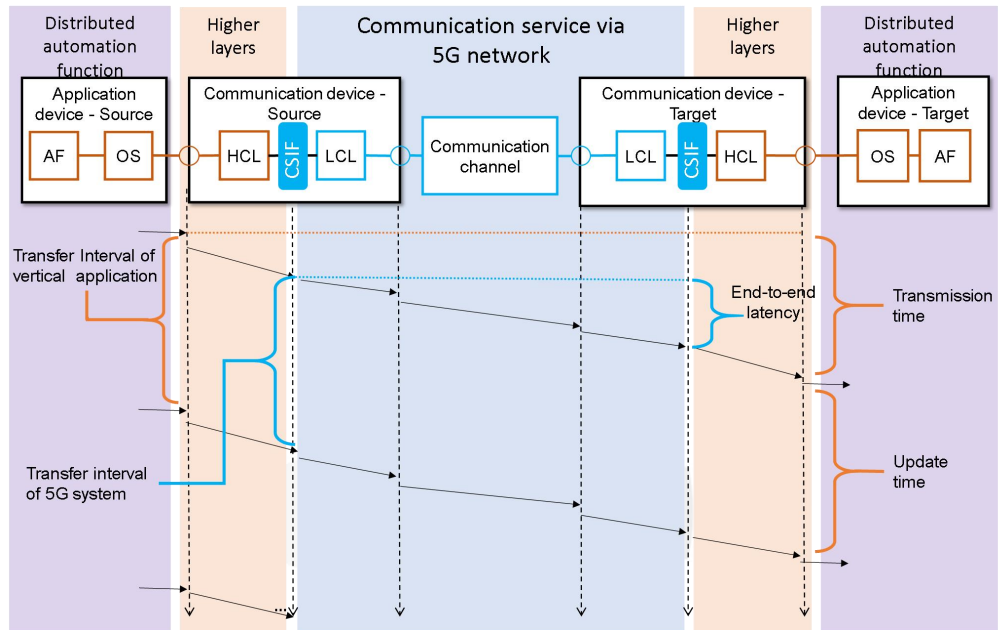
- 5G 系统传输间隔: 2 个数据到达源 CSIF 之间的时间间隔。
- 端到端时延: 从源通信设备的 CSIF 接收的数据被传递到目标通信设备的 CSIF 的时间。

从垂直应用角度:

- 垂直应用传输间隔: 源应用连续传输两个数据之间的时间间隔。
- 传输时间: 从源应用设备的应用层接口接收一条数据开始, 到目标应用设备的应用层接口接收到该条数据为止的时间。

-更新时间：从应用层接口接收到目标应用设备连续两个数据之间的时间间隔。

如无特殊说明，本文中术语“端到端时延”和“传输间隔”均指3GPP 系统/5G 网络参数。



图：应用设备与通信设备的关系（下行示例）