



# SPN 小颗粒技术白皮书

2021 年 6 月

中国移动通信研究院基础网络技术研究所

中国信息通信研究院

中国电力科学研究院有限公司

华为技术有限公司

中兴通讯股份有限公司

烽火通信科技股份有限公司

Broadcom Inc.

苏州盛科通信股份有限公司

安徽皖通邮电股份有限公司

北京格林威尔科技发展有限公司

重庆奥普泰通信技术有限公司

杭州初灵信息技术股份有限公司

江西山水光电科技股份有限公司

瑞斯康达科技发展股份有限公司

上海欣诺通信技术股份公司

浙江亿邦通信有限公司

---

联合发布

# CONTENTS

## 目录

1 引言.....	01
2 小颗粒业务应用场景和需求分析 .....	02
2.1 5G+ 垂直行业的小颗粒典型应用场景 .....	02
2.1.1 5G+ 智能电网 .....	02
2.1.2 5G+ 智慧港口 .....	03
2.1.3 5G+ 智慧医疗 .....	04
2.1.4 5G+ 智慧铁路 .....	05
2.1.5 5G+ 垂直行业承载需求总结 .....	06
2.2 专线业务的小颗粒典型应用场景 .....	07
2.2.1 政务专线业务 .....	08
2.2.2 金融专线业务 .....	09
2.2.3 大企业专线业务 .....	10
2.2.4 需求总结 .....	10
2.3 5G 承载技术对新业务的满足度分析 .....	11
3 SPN 小颗粒技术的目标和愿景 .....	12
4 SPN 小颗粒技术架构 .....	13
5 SPN 小颗粒技术方案 .....	14
5.1 SPN 小颗粒技术的时隙复用和隔离方案 .....	14
5.1.1 FGU 设计理念 .....	14
5.1.2 FGU 帧结构及时隙 .....	14
5.2 SPN 小颗粒技术的 OAM 方案 .....	16
5.2.1 SPN 小颗粒技术 OAM 的设计理念 .....	16
5.2.2 FGU 端到端 OAM 功能和机制 .....	17
5.3 SPN 小颗粒技术的带宽无损调整方案 .....	18
5.3.1 SPN 小颗粒技术带宽无损调整的设计理念 .....	18
5.3.2 FGU 带宽无损调整原理 .....	19
5.4 SPN 小颗粒技术的时隙分配方案 .....	20
5.4.1 SPN 小颗粒技术时隙分配的设计理念 .....	20
5.4.2 FGU 时隙分配机制 .....	20
6 SPN 小颗粒技术的网络应用展望 .....	21
6.1 5G+ 垂直行业场景应用部署方案 .....	21
6.1.1 5G+ 智能电网场景应用部署方案 .....	21
6.1.2 5G+ 智慧港口场景应用部署方案 .....	22
6.2 政企专线场景应用部署方案 .....	23

# 01

## 引言

在“新基建”背景下，5G 作为一项通用型技术，将推动世界数字经济迈入新阶段。中国移动经过一年多的 5G 网络建设，5G 商用网络已基本覆盖全国地市及以上城市。

5G 与垂直行业的融合创新，进一步推动物联网、大数据、人工智能、云计算等信息技术手段与行业服务相结合，5G+ 智能电网、5G+ 工业互联网、5G+ 智慧交通、5G+ 智慧医疗、5G+ 智慧城市等行业应用百花齐放，为相关产业带来巨大的发展机遇。5G+ 垂直行业应用也逐步从单一场景向系统化复杂场景发展。行业用户需求的差异性和应用场景的复杂性带来了大量确定性时延、高安全性的 1Gbps 及以下带宽业务的承载需求。

此外，政府、金融、企业也逐步加入到行业数字化转型的浪潮中，绝大多数政企专线带宽集中在 1Gbps 以下，迫切需要运营商打造灵活带宽、多样隔离、高安全、高可靠的具备核心竞争力的新一代专线产品，为政企客户提供个性化专线服务，满足不同客户不同业务的需求。

SPN (Slicing Packet Network, 切片分组网) 是中国移动面向 5G 承载提出的创新技术体系，以切片以太网内核为基础的新一代融合承载网络架构，具备低时延、大带宽、超高精度同步、灵活管控等技术优势，同时 SPN 兼容以太网生态链，具有低成本、易部署等特性。SPN 5Gbps

颗粒硬隔离切片技术很好地满足了 5G 商用初期的需求，目前已实现几十万端商用部署，为 5G 承载和应用打下了坚实基础。

5G+ 垂直行业更多复杂应用场景的出现和高价值专线业务的涌现，带来了大量小带宽、软硬隔离结合、确定性低时延、高安全和高可靠的承载需求，推动 SPN 技术突破 5Gbps 颗粒度的硬切片单位，向 Mbps 级别硬隔离切片平滑演进，以满足 5G+ 垂直行业应用及政企专线的发展需求。SPN 小颗粒技术是 SPN 发展的必然选择。

SPN 小颗粒技术 (FGU, Fine Granularity Unit) 继承了 SPN 高效以太网内核，将细粒度切片技术融入 SPN 整体架构，提供了低成本、精细化、硬隔离的小颗粒承载管道。FGU 将硬切片的颗粒度从 5Gbps 细化为 10Mbps，以满足 5G+ 垂直行业应用和专线业务等场景下小带宽、高隔离性、高安全性等差异化业务承载需求。SPN 承载网络的小颗粒切片能力将成为助力 5G+ 垂直行业及政企专线应用部署的关键力量。

本白皮书重点分析了 5G+ 垂直行业及政企专线等典型应用场景对高隔离、高安全性的小颗粒业务需求，深入剖析了 FGU 技术架构和技术方案，展现了 FGU 端到端灵活带宽、确定性低时延、带宽无损调整及高可靠高安全等技术特点。

## 02

## 小颗粒业务应用场景和需求分析

### 2.1 5G+ 垂直行业的小颗粒典型应用场景

随着 5G 网络部署的持续推进，5G 与垂直行业的融合创新不断涌现。运营商与行业用户联手，对 5G+ 智能电网、5G+ 工业互联网、5G+ 智慧交通、5G+ 智慧教育、5G+ 智慧城市等 5G 行业应用场景展开持续深入地探索，探索内容由浅到深，探索成果层出不穷，整体呈现由示范类简单场景向系统化复杂场景的发展态势。

本白皮书重点分析了 5G+ 智能电网、5G+ 智慧港口、5G+ 智慧医疗和 5G+ 智慧铁路等典型应用场景中对小颗粒业务的承载需求。

#### 2.1.1 5G+ 智能电网

电力通信网是支撑智能电网发展的重要基础设施，保证了各类电力业务的安全性、实时性、准确性和可靠性。对应发电、输电、变电的电力通信网称为骨干通信网，

在中国已实现光纤专网的全面覆盖；对应配电及用电的电力通信网称为终端接入网，具有点多面广、全程全域全覆盖的特征。而传统光纤专网的建设成本高、业务开通时间长，在桥梁、高架等特殊地形场景下有较大局限性，无法满足广域的泛在接入需求，这就导致了目前仍存在相当大的覆盖盲区；同时变电站机器人巡检、输电线路无人机巡检等移动性场景也对无线通信提出了刚需，因此智能配、用电网亟需与 5G 技术结合，实现泛在、灵活、经济、可靠的连接。

智能电网现有业务主要分为电力生产控制类 I 区、生产非控制类 II 区、生产信息类 III 区和信息管理类 IV 区共四大类，智能电网典型业务架构示意如图 1 所示。《国家电网局安全 36 号文》、《电力监控系统安全防护总体方案-36 号文》和《电力监控系统安全防护规定（2014 年 14 号令）》明确规定电网 I/II 生产大区 and III/IV 管理大区业务完全隔离要求。

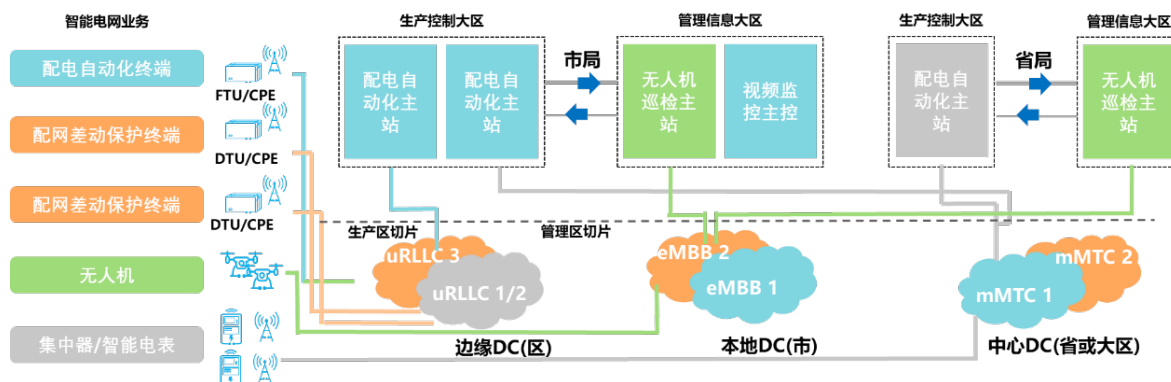


图 1 5G+ 智能电网典型业务架构示意图



生产控制类 I 区业务主要实现精准负荷控制、准确快速定位故障点及故障预测，及时恢复供电等能力，以保证供电高可靠性。其主要业务带宽需求低于 10Mbps，最严格的时延要求为不大于 15ms，可靠性

均要求达到 99.999%，且有物理隔离和高安全性需求，属于典型的小带宽、硬隔离、确定性低时延、高可靠性、高安全性业务。5G+ 智能电网典型业务关键通信指标见表 1。

表 1 5G+ 智能电网典型业务关键通信指标

应用场景分类	场景描述	通信需求		
		端到端单向时延	带宽	可靠性
生产控制类 I 区	分布式配电自动化	≤15ms	2Mbps~10Mbps	99.999%
	集中式配电自动化（终端到主站）	≤50ms	< 2Mbps	99.999%
	配电 PMU	≤50ms	<10Mbps	99.999%
	精准负荷控制	≤50ms	10kbps~2Mbps	99.999%
生产非控制类 II 区	用电信息采集 / 高级计量	低压集抄 <3s 精准费控 <200ms	1Mbps~2Mbps	99.9%
生产信息类 III 区	变电站巡检机器人	≤200ms	4Mbps~10Mbps	99.9%
	输电线路无人机巡检			
	配电房视频综合监控			
	移动现场施工作业管控			
	应急现场自组网综合应用			

2.1.2 5G+ 智慧港口

随着全球化进程的深入推进，国内外港口的业务量激增，与此同时，劳动力成本攀升、劳动强度大、工作环境恶劣、人力短缺等也成为全球港口共同面临的难题，如何降本增效成为了全球港口需要共同思考的问题。越来越多的集装箱港口决定采用以 5G 为基础的更高水平的自动化、智能化技术来提高港口资源运转效率，确保竞争优势。

龙门吊 / 桥吊远程控制和 AGV（automated guided vehicle）/IGV（intelligent guided vehicle）集卡跨运车远程控制是 5G+ 智慧港口典型场景中的两个典型应用。5G+ 智慧港口典型业务架构如图 2 所示。

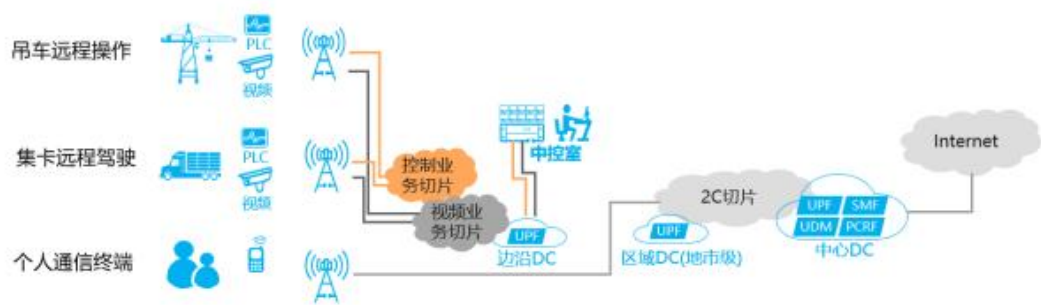


图 2 5G+ 智慧港口典型业务架构示意图

龙门吊 / 桥吊远程控制主要涉及吊车精准移动、抓举集装箱等操作, AGV (automated guided vehicle) /IGV (intelligent guided vehicle) 集卡跨运车远程控制主要实现排障等功能。这类业务对带宽和时延要求较小, 带

宽均小于 100kbps, 端到端单向时延要求小于 18ms, 但对可靠性和安全性都要求很高, 以避免出现安全事故, 是典型的小带宽、确定性低时延、高可靠、高安全业务场景。5G+ 智慧港口典型业务关键通信指标见表 2。

表 2 5G+ 智慧港口典型业务关键通信指标

应用场景分类	场景描述	通信需求		
		端到端单向时延	带宽	可靠性
吊车 / 吊桥 远程操作场景	起重机远程操作 (控制部分)	<18ms	50kbps~100kbps	99.999%
	起重机远程操作 (视频部分)	<50ms	30Mbps~200Mbps	99.9%
集卡远程驾驶场景	集卡远程驾驶 (控制部分)	<20ms	50kbps~100kbps	99.999%
	集卡远程驾驶 (视频部分)	<50ms	10Mbps~20Mbps	99.9%

### 2.1.3 5G+ 智慧医疗

智慧医疗是智慧城市战略规划中一项重要的民生领域应用, 其建设应用是大势所趋。5G 在医疗健康的应用场景主要涉及远程医疗操纵、远程医疗监护、远程实时会诊和指导和智慧院区管理等。5G+ 智慧医疗典型业务架构如图 3 所示。

远程医疗操纵类业务主要涉及远程超声、远程内镜、远

程急救甚至远程手术等, 对实时性和安全性要求高。这类业务带宽需求一般不大于 20Mbps, 最严格的端到端单向时延要求为小于 20ms, 且对可靠性和安全性要求较高, 以此来保证不会因通信原因出现手术、急救等场景的医疗事故, 呈现了典型了小带宽、确定性低时延、高可靠、高安全的业务特点。5G+ 智慧医疗典型业务关键通信指标见表 3。

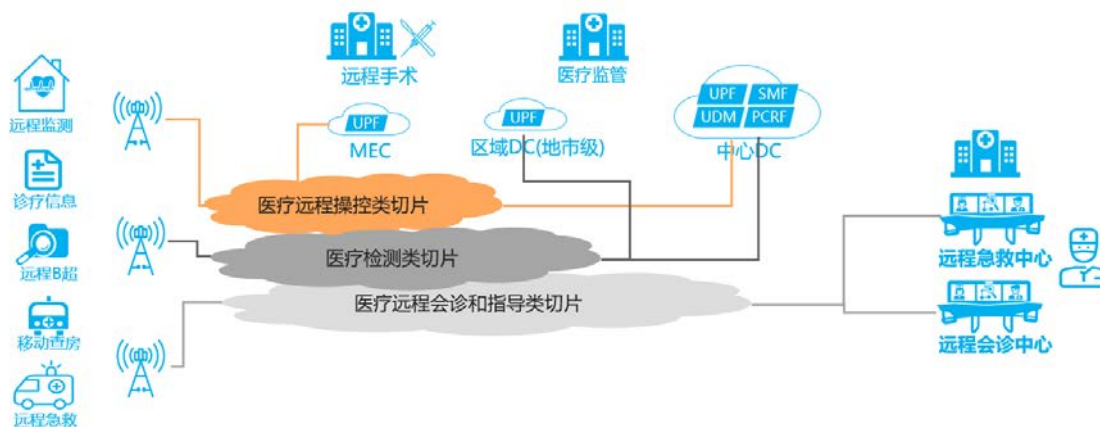


图 3 5G+ 智慧医疗典型业务架构示意图

表 3 5G+ 智慧医疗典型业务关键通信指标

应用场景分类	场景描述	整体需求描述	通信需求		
			端到端单向时延	带宽	可靠性
远程操控类	远程 B 超	操作控制信息、高分辨率医学影像、医患通信语音与视频	<100ms	20Mbps	99.99%
	远程急救	救护车医疗信息、车与急救中心互动视频	<50ms	20Mbps	99.99%
	远程手术	操作控制信息、高手术台监控视频、会诊互动视频	<20ms	3Mbps~20Mbps	99.999%
远程医疗监测类	无线监护	生命体征监护和危急报警	<200ms	200kbps	99.9%
	位置定位	患者位置定位	<200ms	100kbps	99.9%
远程会诊和指导类	远程诊断、远程会诊、手术示教、移动查房等	影像诊断结果、生化血液分析结果、电子病历	<200ms	20Mbps~30Mbps	99.9%

2.1.4 5G+ 智慧铁路

目前铁路采用 GSM-R 系统支撑了高速铁路、重载铁路、高原铁路的调度指挥、列控、重载列车同步操控等多项安全运用。近年来，随着通信技术的快速演进和升级换代，5G-R 将替代 GSM-R 成为下一代铁路专用无线通信技术满足智能铁路等新的建设要求。

铁路专用无线通信技术主要为列车提供调度通信和运行控制等行车安全业务的无线承载，为铁路移动应用提供可靠的高速车地无线通信。铁路无线通信业务一般分为无线调度语音业务、无线数据业务、无线视频业务 3 类。5G+ 智慧铁路典型业务架构如图 4 所示。

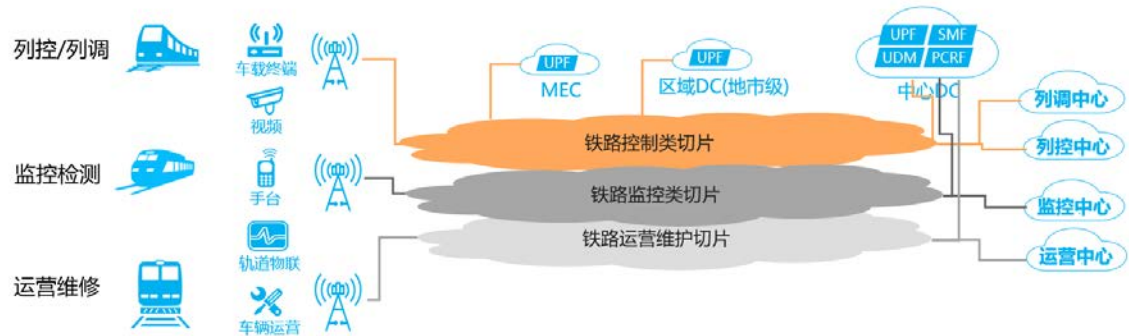


图 4 5G+ 智慧铁路典型业务架构示意图



无线调度语音业务和无线数据业务均属于列控 / 列调类业务，主要实现调度员、司机、行车保障人员、行车指挥人员之间的基本通话、群组通话、优先级通话、承载行车类安全应用业务等，涉及行车安全，对于通信的可靠性和安全性有很高要求，是铁路专用无线通信的核心业

务。该类业务带宽需求较小，不大于 20Mbps，端到端单向时延要求较低，小于 100ms，可靠性和安全性要求高，是典型的小带宽、确定性低时延、高可靠、高安全业务。5G+ 智慧铁路典型业务关键通信指标见表 4。

表 4 5G+ 智慧铁路典型业务关键通信指标

应用场景分类	场景描述	整体需求描述	通信需求		
			端到端单向时延	带宽	可靠性
列车控制类	列控数据	CTCS-3 列车控制信息、车车通信	<100ms	10kbps~200kbps	99.999%
	列调业务	列车调度视频、语音、群呼等	<100ms	3Mbps~20Mbps	99.99%
监控检测	物联感知	车载监测、轨道物联、站场物联	<100ms	50kbps~100kbps	99.9%
	视频监控	轨旁视频、站点视频监控、桥梁视频监控，危险路段视频监控等	<100ms	10Mbps~20Mbps	99.9%
运营维护	养护维修通信	故障诊断信息、列车运行信息、软件升级维护	<200ms	2Mbps~10Mbps	99%

2.1.5 5G+ 垂直行业承载需求总结

5G+ 垂直行业典型应用场景逐渐显现出 100M 以下小带宽、确定性低时延、高可靠性、高安全隔离等方面的特点，其中行业控制类业务呈现出 10Mbps 级小颗粒硬管道隔离和确定性低时延的承载需求，而对于实时性、可靠性要求不高的业务，可采用软隔离的方式共享网络资源，

提高系统利用率。承载网需同时具备硬管道和弹性管道功能，根据不同业务对可靠性、安全、时延等不同需求，提供软隔离或硬隔离。5G+ 垂直行业典型应用场景业务关键通信指标总结见表 5。

表 5 5G+ 垂直行业典型应用场景业务关键通信指标总结

垂直行业	应用场景	通信性能指标			5G 业务类型
		端到端确定性低时延	带宽	可靠性	
5G+ 智慧电网	分布式配电自动化	≤15ms	2Mbps~10Mbps	99.999%	uRLLC
	集中式配电自动化（终端到主站）	≤50ms	< 2Mbps	99.999%	uRLLC
	配电 PMU	≤50ms	<10Mbps	99.999%	uRLLC
	精准负荷控制	≤50ms	10kbps~2Mbps	99.999%	uRLLC
5G+ 智慧港口	吊车 / 吊桥远程控制场景( 控制业务 )	<18ms	50kbps~100kbps	99.999%	uRLLC
	集卡远程驾驶（控制类业务）	<20ms	50kbps~100kbps	99.999%	uRLLC
5G+ 智慧医疗	远程 B 超	<100ms	20Mbps	99.99%	uRLLC
	远程急救	<50ms	20Mbps	99.99%	uRLLC
	远程手术	<20ms	3Mbps~20Mbps	99.999%	uRLLC
5G+ 智慧	列控数据	<100ms	10kbps~200kbps	99.999%	uRLLC
铁路	列调业务	<100ms	3Mbps~20Mbps	99.99%	uRLLC

## 2.2 专线业务的小颗粒典型应用场景

政府、金融、企业等已逐步加入到行业数字化转型的浪潮中，对网络提出更灵活带宽、更低时延、更高可靠、更强安全、更快服务、云网一体的需求，呼唤运营商围绕带宽、隔离性、时延、可靠性、安全性等维度，打造具备核心竞争力的新一代专线产品，以精准匹配其新需求，为政企客户提供个性化专线服务。

专线业务是运营商重要收入来源之一，2018~2020 年国内三大运营商的专线总收入分别约为 410 亿、486 亿和 590 亿，每年呈现约 20% 的增长幅度，如图 5 所示。

专线业务对不同带宽的需求量具有明显特点，如图 6（a）~（c）所示，在某运营商省公司分别截止 2018 年、2019 年和 2020 年已发展的专线业务中，20Mbps 以下带宽专线数量最大，占专线总条数一半以上，最多时超过 80%；而 100Mbps~500Mbps 带宽专线增长最快，2018 年到 2020 年，占比增长近两倍。预计 2021 年和

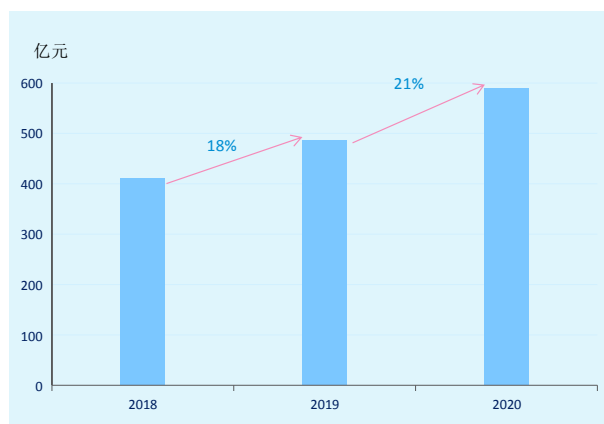


图 5 国内三大运营商专线收入总和

2022 年，该运营商省公司 20Mbps 以下带宽仍会平稳增长，占比保持在一半以上，100Mbps~500Mbps 带宽专线则仍将保持高速增长。由此可见，500Mbps 及以下小颗粒带宽是现在及未来专线业务的长期主流带宽需求。

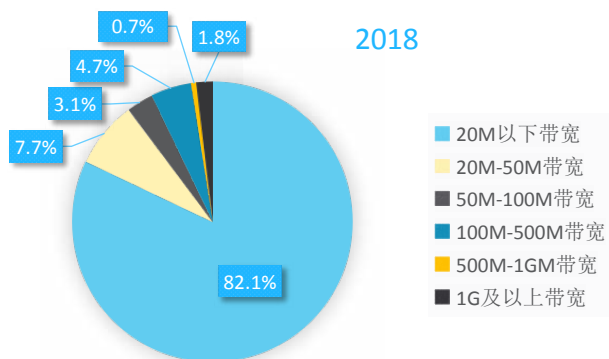


图 6 (a) 某运营商省公司截止 2018 年已发展各类带宽专线业务占比

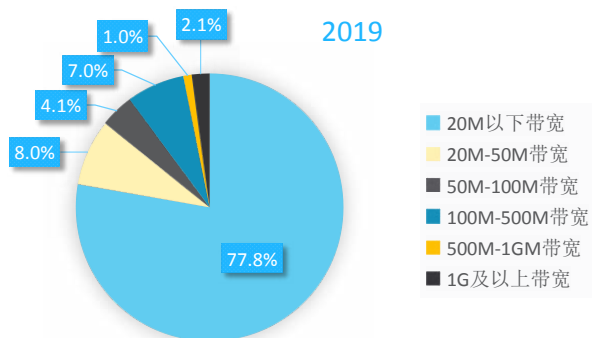


图 6 (b) 某运营商省公司截止 2019 年已发展各类带宽专线业务占比

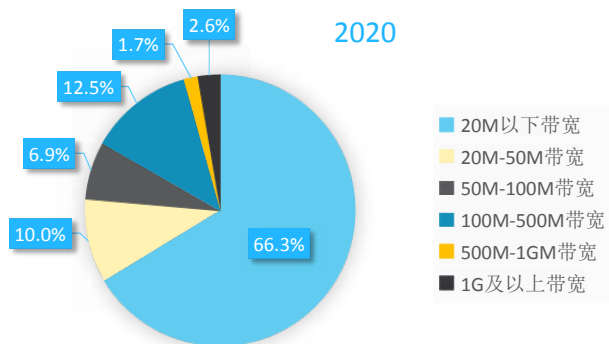


图 6 (c) 某运营商省公司截止 2020 年已发展各类带宽专线业务占比

在专线业务中，政务网业务、金融业务、企业核心业务对个人、企业甚至国家都有不同寻常的意义，这三类业务对隔离性、安全性和可靠性都有很高的要求，其中金融业务对时延的要求更为严格。本白皮书重点分析了政务专线、金融专线、大企业专线等典型应用场景中对小颗粒业务的承载需求。

## 2.2.1 政务专线业务

严格的物理隔离以保障数据安全是政务业务对承载网络的核心需求，政务业务数据的泄露将严重影响个人、企业乃至国家的发展与安全。《国家电子政务网络技术和运行管理规范（GB/T21061-2007）》和《国家电子政务外网安全等级保护实施指南（GW0104-2014）》均明确要求国家电子政务网应采用 MSTP 或 SDH 技术。

SDH/MSTP 为 2G 时代的承载技术，SDH/MSTP 设备在各运营商网络中均处于退网状态；面向 5G，运营商需要提供能够与 SDH/MSTP 一样能够实现严格物理隔离、适合小带宽业务承载的新一代承载技术。

按照国家的统一部署，政务网在带宽提速的同时，也将进行集中化和云化的融合演进，比如原来的税务专网、社保专网、审计专网等多张独立网络在未来将融合为一张物理网络。政务云间、云与业务接入点之间需要提供灵活带宽、低时延、高可靠、物理隔离的传输通道。政务网典型业务架构如图 7 所示。

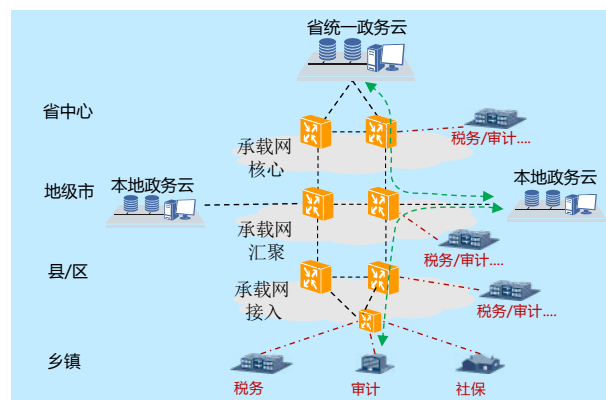


图 7 政务网典型业务架构示意图

政务专线与其他业务专线应实现物理隔离，带宽以 1Gbps 及以下为主，1Gbps 以上为辅。以某省政务网为例，乡镇到县区的带宽需求约为 100Mbps，县区到地市的带宽需求约为 1Gbps，地市到省的带宽需求约为 2Gbps。

因此，对于带宽需求不大，但安全和可靠性要求较高的政务专线业务，可考虑采用小带宽硬管道承载。

政务专线对承载通道的需求如下：

- 政务网不同业务间要求严格硬隔离；
- 总带宽（硬管道）10Mbps ~ 2Gbps；
- 端到端单向时延 10ms~20ms；
- 可靠性 99.99%；
- 呈现小颗粒需求特征。

## 2.2.2 金融专线业务

高安全高可靠是金融行业对承载网络的最基本、最核心需求，金融业务数据与个人、企业和国家紧密相关，一旦发生泄露，后果不堪设想。《中国银联银行卡联网联合技术规范 V2.1》对银联网络的基本架构及接入方式做了明确的规定，要求直接接入机构（商业银行总行）和间接接入机构（商业银行分行）采用运营商的 SDH 或 MSTP 线路接入银联网络，如图 8 所示。

鉴于 SDH/MSTP 设备已逐步退网，因此运营商需要提供能够与 SDH/MSTP 一样能够实现金融业务与其他业务严格物理隔离的新一代承载技术。

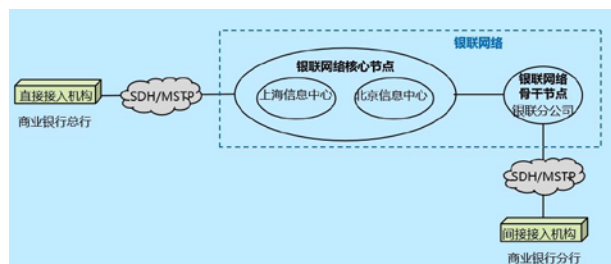


图 8 不同机构接入银联网络的对比示意图

对于金融机构内部专线，一般包含网点支行到分行本地专线①、网点支行到省行的跨地市专线②、行业云的连

接专线③、以及省行到总行的专线④等，如图 9 所示。金融业务主要包括生产交易、办公、银行网点安防监控等，生产交易类业务带宽不大，但对网络安全性要求极高，应严格硬隔离。随着人脸识别等视频相关技术的引入，生产交易类业务带宽需求从 2Mbps~4Mbps 逐步提升至 20Mbps~40Mbps，对专线带宽无损调整提出了一定的需求。为满足金融业务高安全、高可靠、及时性、灵活带宽等需求，承载网应提供符合金融专线带宽特征的具备物理隔离、确定性低时延、高可靠及带宽无损调整能力的新一代承载技术，以充分保障金融业务的带宽和 SLA，确保实时交易及数据安全。

与此同时，随着金融网络向云化和扁平化演进，跨区、跨市的金融业务连接数量激增，需要承载网提供更多的具备硬隔离、超低时延、灵活带宽能力的连接管道。

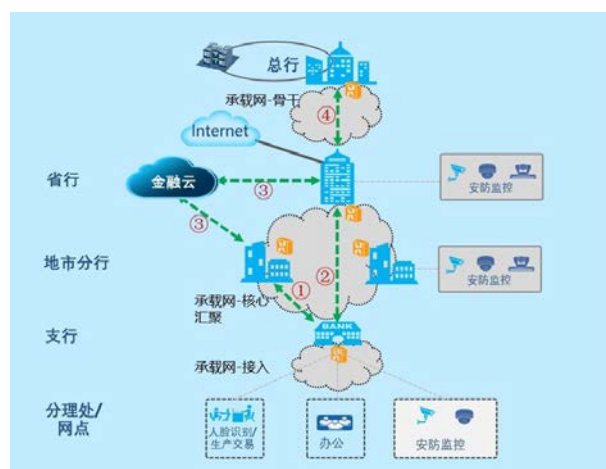


图 9 金融网典型业务架构示意图

金融专线对承载通道的需求如下：

- 金融专线生产交易类业务要求严格硬隔离；
- 总带宽 100Mbps ~ 10Gbps；生产交易类业务带宽（硬管道）：2Mbps~40Mbps；
- 端到端单向时延 <10ms；
- 可靠性 99.99%；
- 带宽无损可调；
- 呈现小颗粒需求特征。

2.2.3 大企业专线业务

大企业专线客户主要指大型国有企业、跨国企业及大型互联网企业等，是运营商最重要的客户之一。大企业专线客户的业务种类较多，部分业务对安全性要求很高，需要高品质专线承载，以满足其严格物理隔离的需求。

大企业的业务主要分为云业务、语音 / 视频、办公、生产等。其中生产类业务是企业的核心业务，对网络承载的安全性、隔离性要求较高，带宽一般从 2Mbps 到 100Mbps。随着企业大量应用上云，企业涉及生产方面的上云应用也快速增长，其对业务的隔离性、时延、可靠性等同样有较高的要求。大企业专线典型业务架构如图 10 所示。

大企业专线业务对网络有如下需求：

- 生产类核心业务要求严格硬隔离；
- 总带宽 100Mbps~10Gbps；生产类业务带宽（硬管道）2Mbps ~ 100Mbps；

- 端到端单向时延 10ms~100ms；
- 可靠性 99.99%；
- 呈现小颗粒需求特征。

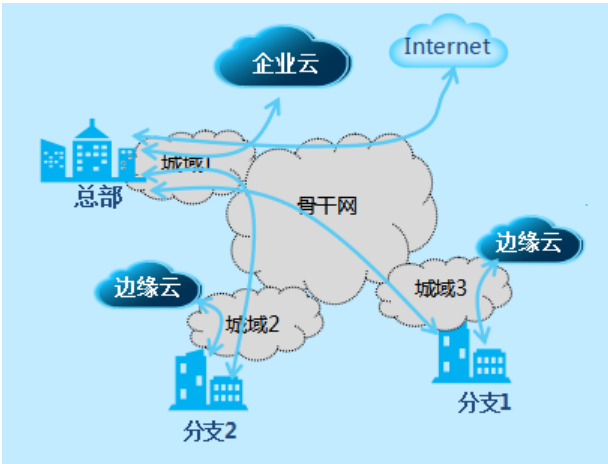


图 10 大企业专线典型业务架构示意图

2.2.4 需求总结

综上所述，政务专线业务、金融专线业务和部分大企业专线业务均有与其他业务严格物理隔离的需求，同时，政务专线内各专网业务、金融专线中的生产交易类业务、

部分大企业专线中的生产类业务带宽需求小于 1Gbps，且有硬隔离需求，同时，金融专线的生产交易类业务对时延有较高要求，如表 6 所示。

表 6 专线典型应用场景业务关键通信指标总结

场景	隔离性	带宽	单向时延	可靠性	带宽无损调整
政务业务	硬隔离	硬管道带宽：10Mbps~2Gbps	10ms~20ms	> 99.99%	否
金融业务	硬隔离	总带宽：100Mbps~10Gbps 硬管道带宽：2Mbps~100Mbps	<10ms	> 99.99%	是
大企业业务	硬隔离	总带宽：100Mbps~10Gbps 硬管道带宽：2Mbps~100Mbps	10ms~100ms	> 99.9%	否



### 2.3 5G 承载技术对新业务的满足度分析

5G 承载网络是面向 5G 回传、政企专线和上云专线等业务的综合承载网络。5G 承载网络通过多种网络切片技术，满足各类业务对 SLA 承载、业务安全隔离和可靠性的不同需求，真正实现 5G 承载网络的“一网多用”，提高网络基础设施经济效益。

当前 5G 承载切片技术主要有 VPN+QoS 软切片、MTN 接口硬切片和 MTN 交叉硬切片三种，依据业务对安全隔离、传输性能和灵活规模部署的诉求，三种切片技术能力指标如表 7 所示：

表 7 现有 5G 承载切片技术能力指标

切片技术	能力指标				
	隔离机制	安全隔离性	单跳时延	单跳抖动	切片带宽
VPN+QoS 软切片	分组标识和队列隔离	中	20us~50us	100us~ms 量级	灵活可配置
MTN 接口硬切片	接口间隙隔离	较高	20us~50us	10us 量级	N*5G
MTN 交叉硬切片	端到端间隙隔离	高	3us~10us	1us 量级	N*5G

注：表中单跳时延为未拥塞下的 P 节点数据；单跳抖动为切片间拥塞切片内不拥塞时高优先业务的 P 节点数据。

- VPN+QoS 软切片技术采用逐跳存储查表转发技术，引入的转发时延及抖动过大，无法对不同业务数据实现物理隔离，较难满足 5G uRLLC 和政企、金融等专线业务对时延、抖动、安全隔离等方面的要求。
- MTN 接口硬切片技术仅提供接口级别的物理隔离，用户数据在网络节点上仍然保持存储转发方式，端到端的转发时延、抖动和数据隔离等方面与软切片技术没有本质区别。
- MTN 交叉硬切片技术能够提供端到端物理隔离，硬切片粒度仅能为 5Gbps，带宽大且单一，无法精准匹配业务的小带宽需求，造成网络承载效率低下。

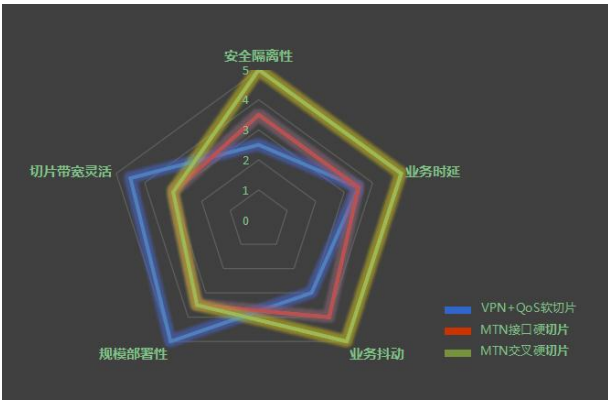


图 11 5G 承载技术对新业务满足度分析

综上所述，当前亟需一种支持细粒度灵活带宽、端到端硬切片的 5G 承载技术，以提供高 SLA 保障和安全隔离能力，精准匹配 5G+ 垂直行业和高品质专线业务的物理隔离、确定性低时延、灵活带宽需求。5G 承载技术对新业务满足度分析如图 11 所示。

## 03

## SPN 小颗粒技术的目标和愿景

SPN 小颗粒技术（FGU，Fine Granularity Unit）聚焦构建端到端高效、无损、柔性带宽、灵活可靠的通道和承载方式，将硬切片的颗粒度从 5Gbps 细化为 10Mbps，以满足 5G+ 垂直行业应用和专线业务等场景中小带宽、高隔离性、高安全性等差异化业务承载需求。

FGU 具备的特征和能力包括：

### 带宽精细化，高效匹配各类型业务带宽需求

带宽颗粒度为 10Mbps，实现灵活的任意  $N \times 10\text{Mbps}$  带宽分配。对于 Mbps 级别到 Gbps 级别的各种类型业务带宽需求，均可以匹配和高效承载。

### 严格 TDM 刚性隔离，确定时隙分配

小颗粒通道通过独享确定的时隙保证严格 TDM 特性，通道任一节点的出端口和入端口时隙通过管控层提前分配并固定。

### 低时延和低抖动特性

P 节点 TDM 时隙交叉，不感知小颗粒业务报文信息，保证确定性低时延。小颗粒业务独占 TDM 通道时隙资源，抖动远小于  $1\mu\text{s}$ 。

### 每一条小颗粒通道提供独立和完善的 OAM 能力

OAM 码块随路插入每一条小颗粒通道，提供该通道的连通性检测、故障和性能监测能力，保证 50ms 以内的保护倒换。

### 在线通道带宽无损调整能力

支持在用户业务正常传输时对小颗粒硬管道进行增大或者减小的无损带宽调整，带宽和时隙资源分配更加灵活。

## 04

## SPN 小颗粒技术架构

SPN 小颗粒技术继承了 SPN 的高效以太网内核，通过层次化设计，将细粒度切片技术融入 SPN 整体架构，提供了低成本、精细化、硬隔离的小颗粒承载管道。结合 SDN 集中管控，从而实现开放、敏捷、精细化的网络运营。支持小颗粒技术的 SPN 架构如图 12 所示，包括切片分组层（SPL）、切片通道层（SCL）、切片传送层（STL），以及频率/时间同步模块和 SDN 管控一体模块。

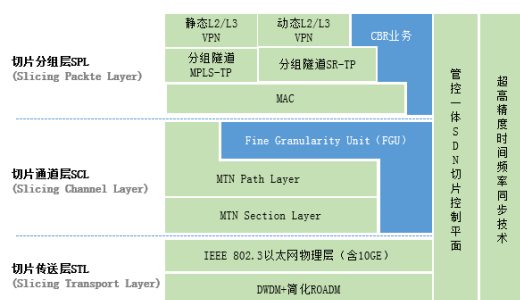


图 12 支持小颗粒技术的 SPN 架构

- 切片分组层（SPL）：新增小颗粒 CBR 业务类型。SPL 层提供基于 IP/MPLS/SR/802.1Q/ 物理端口等多种寻址机制按需灵活组合，完成小颗粒 CBR 业务映射。原有 IP、以太类业务的寻址转发和管道承载封装方式不改变。
- 切片通道层（SCL）：新增 FGU 层，为小颗粒业务提供端到端的确定性低时延  $N \times 10\text{Mbps}$  粒度硬切片通道。FGU 层是独立子层，与服务层解耦，可按需灵活选择承载于 MTN 通道层或以太网物理层。当 FGU 层承载于 MTN 通道层时，FGU 前向兼容现有 SPN 设备，继承 SPN 技术的优势，提供低成本、精细化、硬隔离的承载管道；当 FGU 层承载于以太网物理层时，依靠采用以太网内核的优势，扩大 FGU 技术使用范围，将 SPN 端到端小颗粒专线下沉到 CPE 设备。
- 切片传送层（STL）：在原有 50GE、100GE、200GE、400GE 等高速以太网物理层接口的基础上，新增

10GE 以太网物理层接口。10GE 以太网物理层将应用于 CPE 场景中，直接承载 FGU 层，实现 SPN 技术应用进一步下沉，SPN 网络范围进一步拓展。

SPN 小颗粒技术不改变现有以太网标准协议栈，重用以太网物理层协议栈，兼容 L2 以及 L2 以上的分组技术，复用以太网光模块，利用广泛的以太网产业链。如图 13 所示，描述了 FGU 与以太网协议栈的关系。

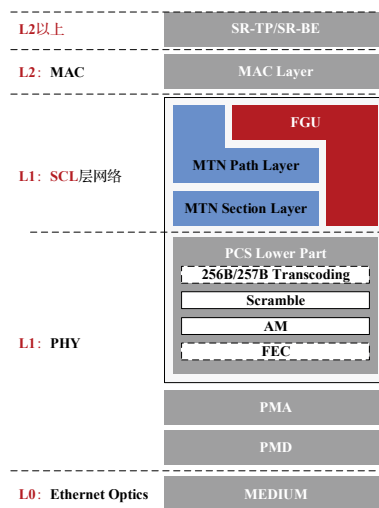


图 13 小颗粒技术兼容重用现有以太网协议栈

- 重用以太网物理层底层协议栈：FGU 位于以太网物理编码子层（Physical Coding Sublayer, PCS）之中，采用符合以太网底层协议栈要求的 64/66B 编码块，实现以太网 PCS 底层、PMA 和 PMD 对 FGU 不感知，保障 FGU 与以太网物理层底层协议栈无缝兼容。
- 兼容分组技术：FGU 继承 SPN 硬切片不感知、不识别业务报文数据的特点，不对用户报文数据做任何改动，支持分组报文在小颗粒硬切片透传，从而实现对分组技术的兼容。

## 05

## SPN 小颗粒技术方案

## 5.1 SPN 小颗粒技术的时隙复用和隔离方案

## 5.1.1 FGU 设计理念

SPN 小颗粒技术继承了 SPN 的高效以太网内核，通过层次化设计，将细粒度切片技术融入 SPN 整体架构，在 FGU 层提供端到端的小颗粒硬管道。

FGU 包含了以下设计理念：

- 基于 TDM 机制的硬隔离：FGU 采用类似 SDH 的 TDM 机制，以实现不同业务之间的严格硬隔离。通过定义 FGU 固定帧结构，每帧包含固定数量与位置的时隙单元，从而实现对 SPN 通道层 5Gbps 颗粒的时隙划分与复用；业务时隙位置固定，具备业务管道严格硬隔离能力；确定性转发机制，保障了确定性低时延、低抖动性能。
- 高带宽利用率：巧妙设计 FGU 帧结构，达到高带宽利用率。FGU 复帧包含 20 个 FGU 基本帧，每个 FGU 基本帧支持 24 个时隙，每时隙粒度为 10Mbps。5Gbps 的 SCL 通道可承载 480 个 10Mbps 小颗粒时隙，带宽利用率接近 97%。
- 前向兼容设计：FGU 完全兼容现有 SPN 技术，继承了 SPN 的优势，能够与不具备 FGU 技术的 SPN 设备互联互通，实现 FGU 端到端承载。方便 SPN 网络平滑演进到支持 FGU 技术。
- 兼容 10GE 标准以太网：兼容 10GE 标准以太网，将端到端 FGU 专线延伸到 CPE 设备。

## 5.1.2 FGU 帧结构及时隙

SPN 通道层技术已经形成了 ITU-T 系列标准，ITU-T 标准 G.8310（MTN 架构）和 G.8312（MTN 接口）规范了 SPN 通道层带宽粒度为 5Gbps。FGU 对 SPN 通道层的 5Gbps 颗粒做进一步时隙划分及复用，形成带宽粒度为 10Mbps 的小颗粒通道。

SPN 通道层位于 IEEE 802.3 的 PCS 层，采用了 IEEE 802.3 的 PCS 64/66B 编码格式。为确保 FGU 与 SPN 通道层兼容，FGU 采用了和 SPN 通道层相同的 64/66B 编码格式，将开销和包含多个时隙的净荷编码后封装到固定长度的 S 块 + D 块 + T 块序列，构成 FGU 帧结构，如图 14 所示。

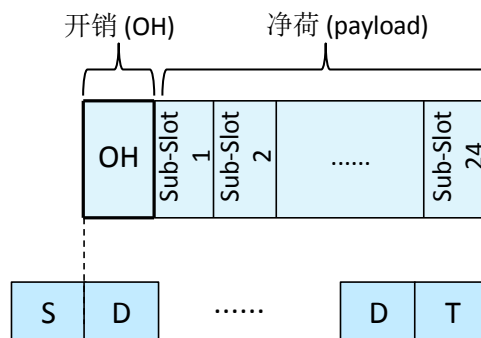


图 14 FGU 帧结构

FGU 采用 TDM 机制，以**固定周期**循环发送 FGU 帧，而每帧包含的时隙数量和位置都严格固定，因此每时隙的发送周期也是确定性的。这种机制实现了对 SPN 通道层 5Gbps 颗粒的时隙划分与复用，小颗粒业务所占用的时隙位置严格固定，独享时隙资源，不同小颗粒业务之间互不干扰，严格隔离。而每时隙具有确定性发送周期，保障了确定性低时延、低抖动性能。

此外，由于 FGU 采用了和 SPN 通道层相同的编码格式，因此 FGU 与 SPN 通道层完全兼容，FGU 可直接将 SPN 通道层作为服务层，透明穿通 SPN 通道层，SPN 通道层不感知 FGU 内部信息。

FGU 基本单元帧（单帧）具有固定长度，包含 1 个开始码块（S0）、195 个数据码块（D）和 1 个结束码块（T7），共 197 个 66B 码块。FGU 单帧的 195 个数据码块和 1 个结束（T7）码块提供了**1567(195×8+7)**字节的数据内容，包含**7**字节的开销和**1560**字节的净荷。其中净荷划分为相同大小的**24 个子时隙（Sub-Slot）**。来自业务的**66B**码块，经过**66B 到 65B**压缩后，填充到 Sub-Slot 净荷中。**每个子时隙（Sub-Slot）为 65 字节，可以承载 8 个 65bit 码块**。如图 15 所示。

为了支持数量更多、粒度更小的时隙通道，同时提高带宽利用率，方案采用复帧方式对 SPN 通道层的 5Gbps

颗粒进行时隙划分，如图 16 所示。一个复帧包含**20**个 FGU 基本帧，每个 FGU 基本帧支持 24 个时隙，一个 SPN 通道层 5Gbps 颗粒支持 480 个时隙。

在源端，相邻 FGU 基本帧之间会插入 1 个 Idle 块。FGU 帧在 SPN 通道层中传输时，可通过增删 FGU 帧之间的 Idle 块实现速率适配。

FGU 时隙的速率计算如下：

sub-slot 速率

$$= \frac{\text{sub-slot 时隙长度}}{\text{FGU 复帧长度}} * \text{SPN 通道速率} * \text{编码压缩率}$$
$$= 10.101 \text{ Mbps}$$

其中：

sub-slot 时隙长度 = 8\*65 bit

FGU 复帧长度 = 20\*(FGU 基本帧长 + Idle 块长)

$$= 20*(197*66+66) \text{ bit}$$

SPN 通道速率 = 5000 Mbps

编码压缩率 = 66/65

则，带宽利用率 = 480\*10.101Mbps/5000Mbps ≈ 97 %

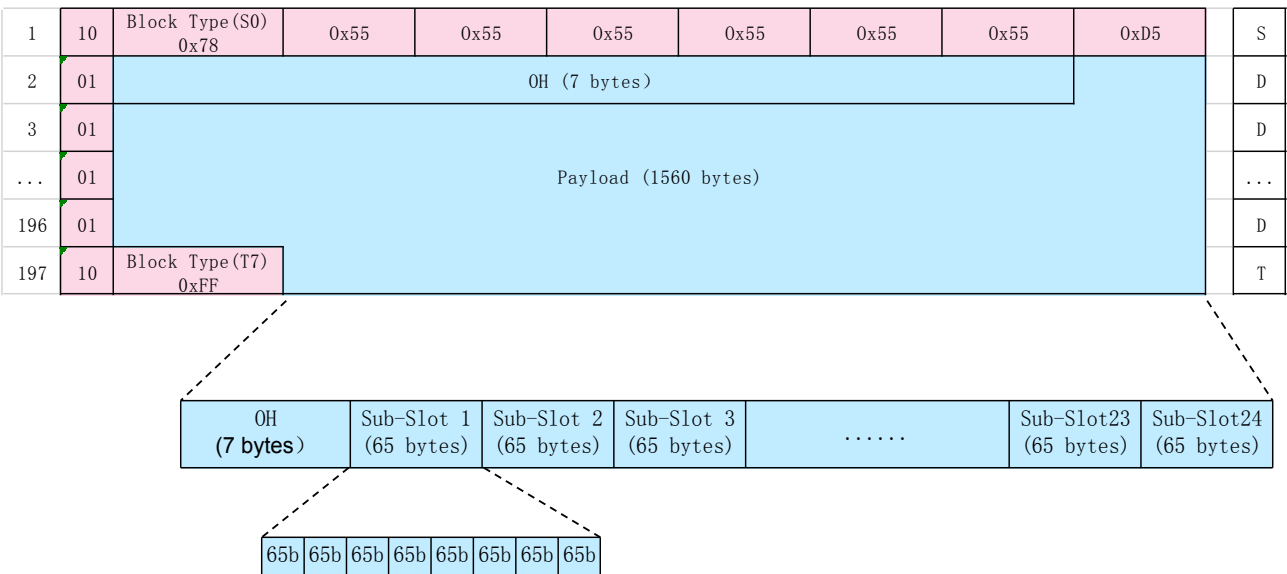


图 15 FGU 帧的基本单元与时隙划分



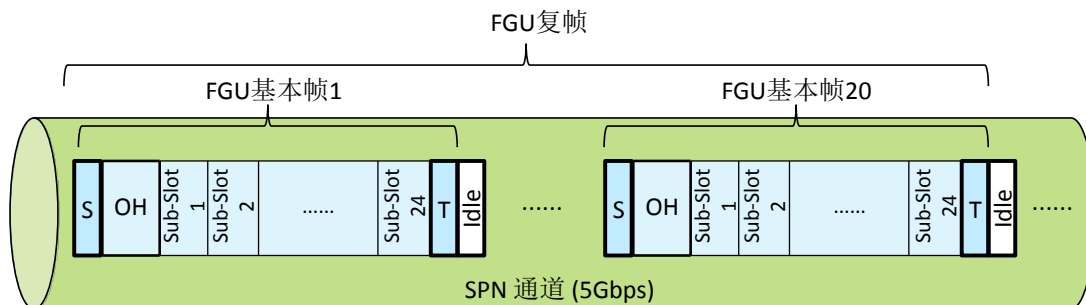


图 16 基于 SPN 通道层 5Gbps 颗粒的 FGU 小颗粒时隙划分及复用

## 5.2 SPN 小颗粒技术的 OAM 方案

### 5.2.1 FGU OAM 的设计理念

SPN 小颗粒技术的 OAM 为每条小颗粒通道提供端到端连通性检测、误码检测、时延测量、保护倒换、客户信号指示等监测能力。FGU OAM 支持源宿节点检测和中间节点非介入监控，可实现逐段连通性检测和误码检测。

FGU OAM 与原 SPN 通道层 OAM 兼容共存，在各自业

务层插入和提取，独立监控所属业务通道，互不影响，如图 17 所示。

FGU OAM 继承了 SPN 通道层 OAM 技术优势，FGU OAM 利用帧间隙的空闲资源随业务码块发送，不占用额外带宽。相比传统 TDM 技术开销 OAM 和分组技术 OAM 具有更高的带宽利用率。

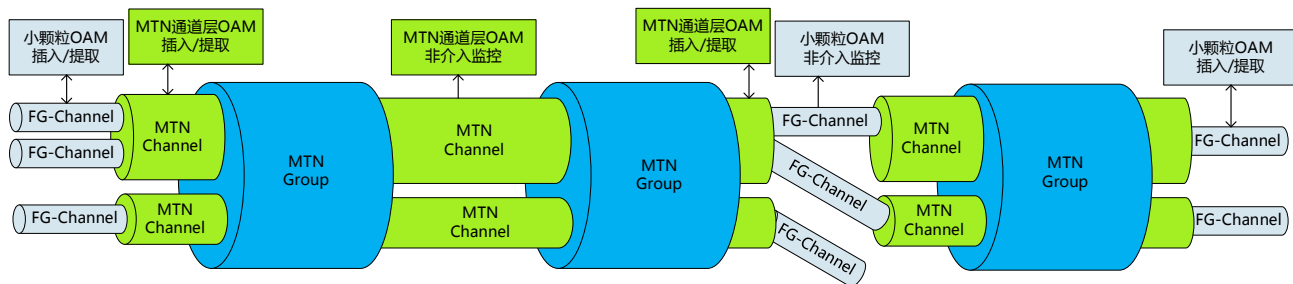


图 17 FGU OAM 和 SPN 通道层 OAM 示意图

5.2.2 FGU 端到端 OAM 功能和机制

FGU OAM 码块主要分为**固定参考周期** OAM、事件触发 OAM 和按需 OAM 三大类，见表 8。

- **固定参考周期 OAM**：按固定的参考周期进行发送，如 CC（连通性检查）、BIP（BIP 校验）、CS\_LF（客户信号本地失效）、CS\_RF（客户信号远端失效）、CS\_LPI（客户信号低功耗指示）；
- **事件触发 OAM**：由相关事件触发，当事件发生后

触发 OAM 码块立即发送，正常情况下按指定的周期发送，周期通常大于等于 1s，如 APS（**自动保护倒换**）、CS（客户信号指示）。

- **按需 OAM**：按需使能，在 FGU 层中按需插入，也可按指定周期持续插入。如缺省周期 10sCV（连通性验证）、1DM（单向时延测量）、2DMM（双向时延测量）、2DMR（双向时延测量响应）。

表 8 FGU OAM 码块分类与功能

OAM 码块			优先级	功能	
固定参考周期 OAM	BAS	基础码块	高	CC	连通性检测
				RDI	远端故障指示
				BIP	近端误码检测
				REI	远端误码检测
				CS_LF	客户链路近端故障指示
				CS_RF	客户链路远端故障指示
事件触发 OAM	APS	自动保护倒换消息码块	高	发送自动保护倒换消息	
	CS	客户信号指示码块	低	客户信号类型指示消息	
按需 OAM	1DM	单向时延码块	低	发送单向时延测量消息	
	2DMM	双向时延测量码块	低	发送双向时延测量消息	
	2DMR	双向时延响应码块	低	响应双向时延测量消息	
	CV	连通性验证码块	低	连通性验证消息	

如图 18 所示，FGU OAM 消息采用 66B 控制码块承载，通过 0x4B 控制码块内 O 代码标识，O 代码缺省值为 0xC；FGU OAM 通过控制码块内 6 个字节承载 OAM 消息，其中 Type 字段表示 OAM 信息类型；Value 字段表示特定类型 OAM 消息的内容；Seq 字段标识同一 OAM 功能中采用的多个码块的序号，在需要多码块组合实现的 OAM 功能（例如 CV、DM）中使用，表示码块在 OAM 完整功能中的序列号；CRC4 字段只有在 CRC 校验正确时有效。

FGU OAM 插入时通过替换业务流中的 Idle 块随业务码块发送，不占用额外带宽；FGU OAM 提取时从接收到的业务流中识别 OAM 码块，提取后替换为 Idle 块将业务流还原并继续发送。FGU OAM 插入和提取过程，客户层业务无感知，为 FGU 层提供端到端 OAM 和通道线性保护。FGU OAM 码块需要等待有 Idle 资源时才可替换发送，因此可能与配置的精确周期（ $T$ ）有一定偏差（ $\Delta T$ ），如图 19 所示。

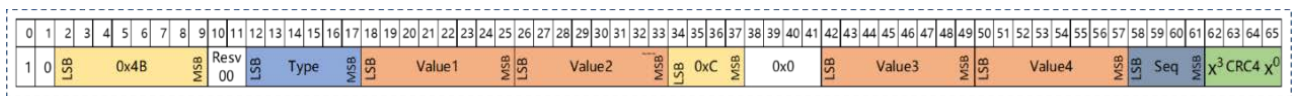


图 18 OAM 码块格式定义

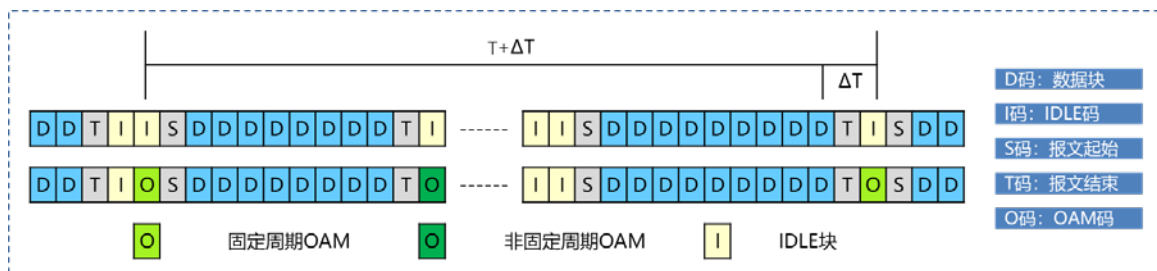


图 19 小颗粒 OAM 插入示例

## 5.3 SPN 小颗粒技术的带宽无损调整方案

### 5.3.1 FGU 带宽无损调整的设计理念

现有 5G 承载技术提供的硬管道切片在进行带宽或时隙调整时，无法保证用户业务无损，带宽或时隙调整只能在业务量少的特定时间统一进行，极大降低了硬管道切片带宽和时隙调度的灵活性及资源动态管理能力，同时也使得部分用户不得不以高于当前实际需求的带宽值来租用专线承载服务，以避免未来带宽或时隙调整带来的业务损伤，造成用户经济和网络资源的损失。

FGU 支持端到端带宽与时隙无损调整功能，调整带宽或时隙时不会丢失数据报文，因此可在用户业务正常传输时对硬管道切片进行带宽调整，带宽和时隙资源分配更加灵活。

FGU 带宽无损调整时，相邻两跳节点之间通过小颗粒基本单元开销携带时隙协商信息和时隙配置信息，完成握手、配置更新及带宽同步调整。同一条业务通道支持一次调整多个时隙。如图 20 所示。

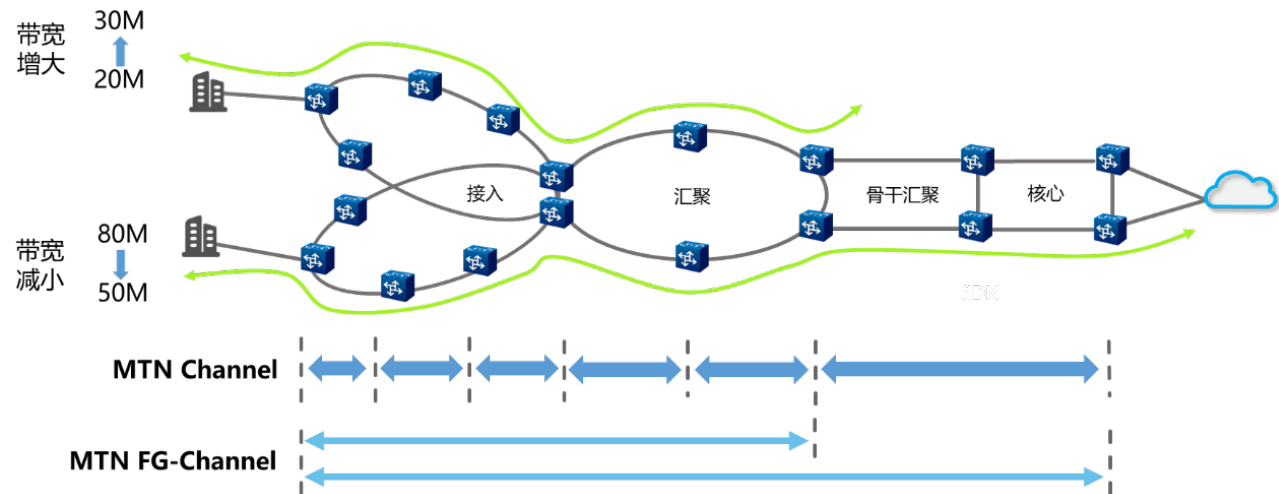


图 20 小颗粒硬管道切片带宽调整示意图

5.3.2 FGU 带宽无损调整原理

FGU 带宽无损调整过程由管控系统向 FG-Channel 源或宿节点下发调整指令，通过在相邻节点间传递的基本单元开销信息逐段完成协商调整。

FGU 带宽无损调整过程分为带宽增大调整和带宽减小调整两种。端到端调整由相邻节点之间的分步调整组成。带宽减小时，从源到宿正向调整通道带宽，先减小源通道带宽，再减小宿通道带宽；带宽增大时，从宿到源反向调整通道带宽，先增大宿通道带宽，再增加源通道带宽。

FGU 带宽无损调整时使用如图 21 所示开销信息，包含时隙协商信息（S、CR、CA 和 C）和时隙配置调整信息（Client ID、Sub-slot ID）

其中 S 字段表示下游节点向上游节点请求开启带宽调整流程的信号；CR 字段表示上游节点向下游节点发送的带宽调整配置信息信号；CA 字段表示下游节点发给上游节点的带宽调整配置信息确认信号；C 字段表示上游节点发给下游节点的带宽调整完成信号。

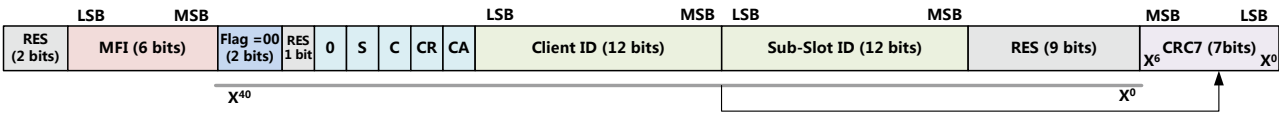


图 21 小颗粒开销格式

带宽增大调整过程是以先调大通道带宽，再调大业务有效带宽的方式完成的。如图 22 所示，调整流程为：网管向业务路径上所有节点下发业务带宽调整信息，业务的宿 PE 节点开始向上游节点逐跳调大通道带宽，源 PE 节点的入口通道带宽调整完毕后，再增大业务有效带宽。

带宽减小调整过程是以先调小业务有效带宽，再调小通

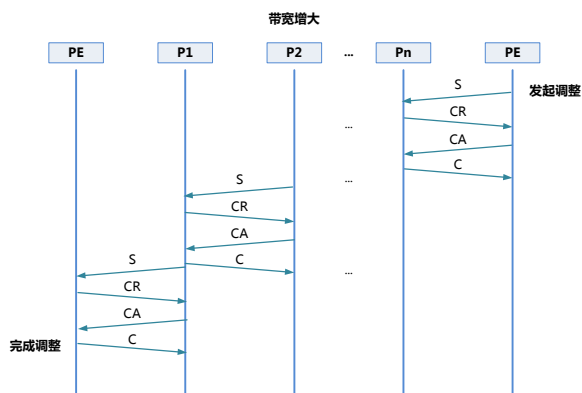


图 22 FGU 带宽增大调整流程

道带宽的方式完成的。如图 23 所示，调整流程为：网管向业务路径上所有节点下发业务带宽调整信息，先调小业务有效带宽，然后业务的源 PE 节点开始向下游节点逐跳调小通道带宽，宿 PE 节点的出口通道带宽调整完毕后全流程完毕。

对于 FGU 双向通道，两个方向分别独立执行以上时隙调整流程。

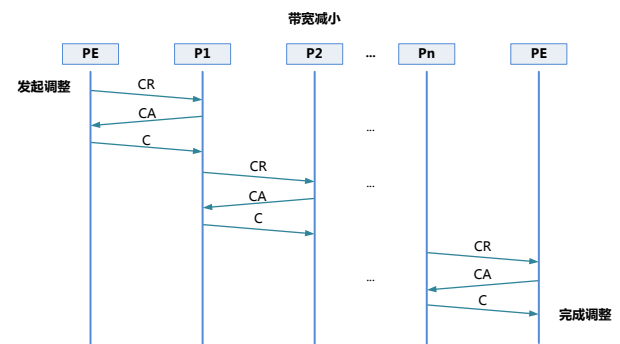


图 23 FGU 带宽减小调整流程

## 5.4 SPN 小颗粒技术的时隙分配方案

### 5.4.1 FGU 时隙分配的设计理念

FG-Channel 建立前需确定固定的时隙交叉关系，以保证 FGU 严格的 TDM 特性。FGU 时隙由管控层集中分配和确定，从源节点 NE1 到宿节点 NEn，需要确定和配置每一个节点的入向和出向端口的时隙交叉关系。

在时隙分配时，管控层可以基于全局集中化的数据和不同策略，规划 FG-Channel 的路径和时隙交叉关系，以达到性能最优。

### 5.4.2 FGU 时隙分配机制

管控层可以精确获取到每个节点端口的时隙可用资源，

并基于最短跳数、最低时延等多种策略进行时隙分配：

- 最短跳数策略：管控层基于 MTN 通道层的拓扑，依据最短跳数策略规划每条通道经过的节点和每个节点出入口端口的时隙；
- 最低时延策略：管控层基于 MTN 通道层的拓扑，以及各个节点内部入时隙到出时隙的内部时延模型，规划每条通道经过的节点和每个节点出入口端口的时隙。

此外，在 FGU 时隙分配方面，可结合 SPN 通道的 5Gbps 颗粒时隙分配统筹考虑，使得相同流向的 FGU 业务可以集中在某些 5Gbps 颗粒内，在相同链路段落仅作 5Gbps 颗粒的交叉，简化设备处理流程。



## 06

## SPN 小颗粒技术的网络应用展望

## 6.1 5G+ 垂直行业场景应用部署方案

2020年7月3日，对5G 2B场景的uRLLC业务做了全面完善和加强的3GPP R16正式冻结，标志着高可靠、低时延的5G 2B标准和技术层面已经成熟，5G 2B由探索阶段转入商用阶段。

网络切片技术作为5G 2B垂直行业基础使能技术，可满足不同行业、不同业务SLA承载需求以及业务安全性、可靠性、软硬隔离的需求。5G 2B垂直行业控制类业务呈现出小颗粒硬管道隔离的高安全承载需求特点，要求网络保障低时延与高可靠，SPN承载网络的小颗粒切片能力将成为助力5G+垂直行业应用部署的关键力量。

## 6.1.1 5G+ 智能电网场景应用部署方案

按照电网的分区隔离要求，FGU在5G+智能电网场景的部署方案可通过FGU技术实现电网I、II区和III和IV区业务之间的硬隔离，同时在I和II区之间、III和IV区之间分别采用VPN技术实现逻辑隔离。结合电网典型业务的需求特点，5G+智能电网组网架构和承载网切片部署方案如图24和表9所示。



图 24 FGU 应用于 5G+ 智能电网场景的组网架构

表 9 5G+ 智能电网场景切片部署方案

业务场景	切片类型	典型应用	切片带宽
生产控制类（电力 I 和 II 区）	MTN 小颗粒管道硬切片	差动保护、电力调度	N*10Mbps 颗粒
信息管理类（电力 III 和 IV 区）	MTN 接口分组专用切片	电力视频监控、移动办公等	N*5Gbps 颗粒
公共用户	MTN 接口分组共享切片	2C 用户	N*5Gbps 颗粒

电力 I 和 II 区的差动保护和电力调度自动化类业务通过 FG-Channel 保证硬隔离，确保 5G 继电保护设备到 5GC-U（电力专用）之间的高安全及低时延、低抖动等传输性能。

电力 III 和 IV 区的电力视频、采集类等业务是电网的重要信息管理类业务，不同的视频、采集业务流可以通过 VPN 方式实现逻辑隔离，不同的 VPN 业务间可以通过预先设置的业务优先级实现 QoS 调度，以保证高优先级业

务的传输性能。

### 6.1.2 5G+ 智慧港口场景应用部署方案

针对港口差异化的业务需求，5G 承载网络可通过不同切片技术承载不同类型的业务，5G+ 智慧港口承载整体组网架构和承载网切片部署方案如图 25 和表 10 所示：



图 25 FGU 应用于 5G+ 智慧港口场景的组网架构

表 10 5G+ 智慧港口场景切片部署方案

业务类型	切片类型	典型应用	切片带宽
远程操控类业务	MTN 小颗粒管道硬隔离切片	吊车远程控制	十 Mbps 量级
视频监控类业务	MTN 接口分组切片	港区监控	百 Mbps 量级

远程操控类业务通过 FG-Channel 保证硬隔离，该切片只用于承载吊车控制类业务，与其他业务通过时隙进行硬隔离，确保吊车到 MEC 之间的高安全及低时延、低抖动等传输性能。

视频监控类业务通过 VPN 方式和其他业务之间进行隔离，不同的 VPN 业务间可以通过预先设置的业务优先级实现 QoS 调度，以保证高优先级业务的传输性能。

## 6.2 政企专线场景应用部署方案

政企专线主要包括党政军政府部门、金融机构客户、企业等重要客户的专线业务，带宽需求集中于 1Gbps 以下，1Gbps 以上带宽需求较少。

党政军政府部门租用专线主要用于传送各项政务信息、视频会议系统、视频监控信号等业务，其中也包含具有安全保密要求的信息，因此政府部门租用专线往往对安全性要求很高。

金融机构客户主要包括银行、证券和保险客户，网络的泄密会直接影响金融用户的财产安全，因此金融机构对

安全保密诉求很高，同时对业务及时性也有很高要求。


部分大企业对于核心业务有较高安全要求，对专线价格不敏感；普通企业则对专线服务价格敏感，注重性价比。

5G 回传网作为综合承载网，可通过具有 TDM 硬隔离特性的 FG-Channel 承载党政军、金融客户和部分大企业专线，通过 MTN 接口分组切片承载无硬隔离需求的企业专线，并利用软硬切片技术提供差异化专线服务。回传网承载多品质政企专线切片方案如图 26 所示。



图 26 FGU 应用于政企专线场景的组网架构





中国移动通信研究院基础网络技术研究所

中国信息通信研究院

中国电力科学研究院有限公司

华为技术有限公司

中兴通讯股份有限公司

烽火通信科技股份有限公司

Broadcom Inc.

苏州盛科通信股份有限公司

安徽皖通邮电股份有限公司

北京格林威尔科技发展有限公司

重庆奥普泰通信技术有限公司

杭州初灵信息技术股份有限公司

江西山水光电科技股份有限公司

瑞斯康达科技发展股份有限公司

上海欣诺通信技术股份公司

浙江亿邦通信有限公司

---

联合发布