

5G 网络无线切片技术研究

胡煜华¹ 蔡月清¹ 黎越² 李贝^{3*} 沈文超⁴

1. 中国联合网络通信有限公司浙江省分公司; 2. 中国联合网络通信有限公司江苏省分公司;
3. 中国联合网络通信有限公司研究院; 4. 中国联合网络通信有限公司杭州分公司

摘 要: 为满足千行百业多种业务场景服务的差异化需求, 满足消费者应用体验的差异化, 5G 引入了网络切片技术。随着 5G 网络切片标准的完善, 5G 网络切片应用将更好地为垂直行业服务。本研究介绍了 5G 网络切片的概念和框架, 重点研究注册、业务建立、切换等流程中无线网络对于切片的感知与处理, 以及基于服务质量 (Quality of Service, QoS) 调度、资源块 (Resource Block, RB) 预留、载波隔离三种切片方案原理、特点, 不同策略下切片的应用具有安全隔离, 生产控制业务高可靠性、低带宽、强保障、低时延的优点。

关键词: 5G; 切片; 应用

0 引言

随着 5G 网络商用的普及, 5G 支持的新业务不断进入人们的日常生活和社会活动。不同业务存在不同的功能需求 (例如用户标识管理、策略控制、移动性及位置管理等), 不同性能要求 (例如时延、移动性、速率等), 不同网络安全、可靠性要求 (例如可靠性、快速恢复、可隔离等)。针对业务场景差异性的需求, 运营商需提供一类解决方案技术, 通过功能、性能、隔离、运维等多方面的灵活设计, 缩短业务上市时间, 增强创新能力。5G 网络引入了网络切片技术, 在统一的基础设施上分离出多个虚拟的端到端网, 不同连接能力的服务部署在不同的网络切片上, 技术上解耦, 不同切片满足不同场景对网络差异化功能的需求。

1 5G 切片特点和标识

5G 网络切片 (Network Slicing) 是指在同一网络基础设施上, 将 5G 独立组网 (Standalone, SA) 架构的物理网络划分为多个端到端、虚拟的、隔离的 (物理隔离或者逻辑隔离)、按需定制的专用逻辑网络, 每个虚拟网络具备不同的功能特点, 以满足不同行业客户对网络能力的不同要求, 如时延、带宽、连接数等。5G 切片可以嵌套, 切片中可以进一步划分子切片。5G 切片为对应的业务提供必要的网络处理, 从而减少资源消耗。

1.1 网络切片特点

通过切片技术, 物理网络虚拟出多个逻辑网络, 适配不

同行业客户对网络能力的服务需求。网络切片特点如下: (1) 按需提供切片生命周期、分布式部署, 提供容量和网络服务, 对网络功能可定制编辑。(2) 端到端网络, 包括无线接入网、传输网和核心网等, 需要跨域的切片管理系统。(3) 切片网络资源、安全隔离, 以及操作、管理和维护隔离, 不同区域可以采用不同隔离技术, 不同切片网络互不干扰, 从而增强整体网络以及切片网络的健壮性和可靠性。

1.2 网络切片标识

单个网络切片选择辅助信息业务切片标识 (Single Network Slice Selection Assistance Information, S-NSSAI) 标识一个网络切片, 一个 S-NSSAI 可以关联一个或多个网络切片实例。S-NSSAI 分为两部分, 由切片 / 业务类型 (Slice/Service Type, SST) 和切片区分器 (Service Differentiator, SD) 组成。SST 长度 8bit, 当前已定义 SST 见表 1。SD 是补充 SST 的可选信息, 以区分相同 SST 的多个网络切片, 长度 24bit。

表 1 3GPP 已定义 SST

类型	取值	描述
增强移动宽带 (Enhanced Mobile Broadband, eMBB)	1	适用于处理 5G 增强型移动宽带通信。
高可靠和低延迟通信 (Ultra-reliable and Low Latency Communications, uRLLC)	2	适用于处理超高可靠性超低时延通信。

类型	取值	描述
大规模机器类通信 (Massive Machine Type Communication/ Internet of Things, MIIoT/ mMTC)	3	适用于处理大规模物联网通信。
车对外界的信息交换 (Vehicle To Everything, V2X)	4	适用于处理 5G 车联网通信。

2 端到端切片框架

5G 端到端网络切片框架如图 1 所示, 分为网络切片管理

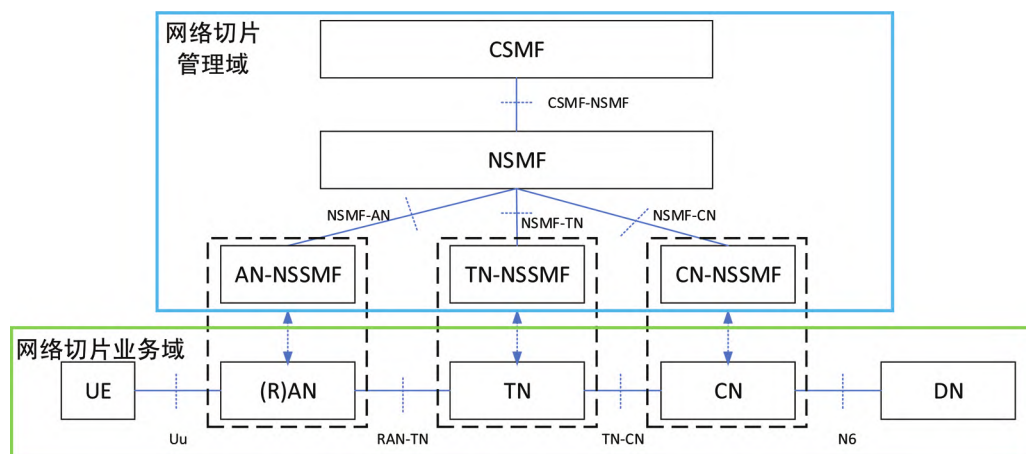


图 1 网络切片框架

网络切片管理域完成用户切片业务需求分解和处理, 并转换为网络切片服务等级保障 (Service Level Assurance, SLA) 需求, 实现网络端到端编排、配置、监控。网络切片业务域中各网元通过 Uu 等接口相连发挥不同作用, 核心网采用虚拟化技术, 支持各种类型切片的构建和部署。承载网向切片组提供承载侧信息, 设置虚拟局域网 (Virtual Local Area Network, VLAN)。无线网完成签约切片标识与 VLAN 和业务场景对应跟踪区域码 (Tracking Area Code, TAC) 的绑定, 进行切片解决方案选择和无线资源分配。

3 无线网切片方案

无线网对网络切片的无线资源管理和准入控制管理来满足不同业务的 SLA 需求, 保障用户体验。

3.1 无线网络切片感知

UE 激活切片时, 路由选择策略通过接入和移动性管理功能 (Access and Mobility Management Function, AMF) 发给 UE, UE 用它来关联 S-NSSAI。注册过程中, 无线网络对于切片的感知主要体现在 AMF 选择流程。UE 可以在 RRC Setup

域和网络切片业务域。网络切片管理域包括通信服务管理功能 (Communication Service Management Function, CSMF)、网络切片管理功能 (Network Slice Management Function, NSMF)、网络切片子网管理功能 (Network Slice Subnet Management Function, NSSMF) 等部分。网络切片业务域需要终端 (User Equipment, UE)、无线网 (Radio Access Network, RAN)、承载网 (Transport Network, TN)、核心网 (Core Network, CN)、数据网 (Data Network, DN) 等协同, 共同实现端到端能力拉通。

Complete 消息中提供网络切片选择辅助信息业务切片标识 (Network Slice Selection Assistance Information, NSSAI) 或者临时标识 (Temp ID)。

(1) 如果初始附着时 UE 提供 NSSAI, 基站使用 NSSAI 信息选择 AMF。

(2) 如果 UE 未提供 NSSAI 信息, 则基站向默认的 AMF 发送 NAS 信令, 默认的 AMF 选择合适的服务 AMF, 服务 AMF 通过注册接收 (Registration Accept) 消息给 UE 下发 Temp ID 和 NSSAI 信息 (其中包括允许的 NSSAI、配置的网络切片信息)。

(3) 对于后续的注册请求, UE 使用 5G 全球唯一临时 UE 标识符 5G-GUTI (5G Globally Unique Temporary UE Identifier) 的短形式 Temp ID, 以实现更高效的无线信令过程进行 AMF 选择, Temp ID 可以唯一标识 AMF。

UE 的一个协议数据单元 (Protocol Data Unit, PDU) 会话由 S-NSSAI 和数据网络名称 (Data Network Name, DNN) 确定。UE 在 PDU 会话建立时, 基站会根据建立请求携带的 S-NSSAI 与基站配置的 S-NSSAI 进行比较, 如果 gNodeB 配置的 S-NSSAI 包含 PDU 会话建立请求携带的 S-NSSAI, 则允许

用户建立 PDU 会话。如果不包含则拒绝。

当终端在小区间切换时，源小区考虑目标小区的切片支持情况，分三种场景：

（1）测量报告（Measurement Report，MR）中上报的所有邻区，均不支持 UE 正在进行的任一切片业务，则源小区不发起切换请求。

（2）MR 中上报的邻区中，有的邻区支持 UE 正在进行的所有切片业务，有的邻区支持 UE 正在进行的部分切片业务，则源小区向支持所有切片业务的邻区中信号最强的邻区发起切换请求。

（3）MR 中上报的邻区中，所有邻区均支持 UE 正在进行的部分切片业务。若一些邻区支持的切片数量较高，一些邻区支持的切片数量较低，则源小区向支持切片数量最高的邻区中信号最强的邻区发起切换请求。若所有邻区支持的切片数量相同，则源小区向信号最强的邻区发起切换请求。

3.2 无线网络资源管理

无线网络支持三种方案，实现灵活的资源调度和隔离，分别为基于 QoS 调度、基于 RB 资源预留、基于载波隔离。

3.2.1 基于 QoS 调度

基于 QoS 调度下，不同的网络切片共享小区 RB 资源，占用 RB 资源的优先级由 QoS 优先级决定，在资源拥塞时，

高优先级 QoS 业务也可能受影响。包括基于 5G QoS 标识符（5G QoS Identifier，5QI）的调度和基于切片 ID+5QI 的调度。

（1）基于 5QI 的调度，同一业务使用相同 5QI，映射到同一类型的数据无线承载（Data Radio Bearer，DRB）上。当多个用户使用同一业务时，一旦资源受限时，则无法保障哪个用户优先调度。

（2）基于切片 ID+5QI 的调度，通过在 5QI 的基础上叠加切片的方式，映射到不同种类型的 DRB，将高优先级用户放到高优先级切片中，从而确保该用户优先调度。

调度优先级和相对调度权重是最重要的 QoS 调度参数。调度优先级影响承载调度优先顺序，该值越小优先级越高。信令数据放置到最高优先级，数据业务的重传数据放置到次一级，保证速率（Guaranteed Bit Rate，GBR）业务的调度队列一般优先于非保证速率（Non-GBR）业务；相对调度比例是根据相对调度权重配置，调度相同优先级下不同 Non-GBR 承载间的速率比例，对 Non-GBR 承载生效。

3.2.2 基于 RB 资源预留

允许多个切片共用同一个小区的 RB 资源，并为一个切片或一个切片组分配不同的 PRB 资源份额，来实现基于网络切片组的 RB 资源预留，见表 2，包括最小 RB 资源比例、优先 RB 资源比例和最大 RB 资源比例三类并依次使用资源。

表 2 基于 RB 资源预留三类方案

最小 RB 资源比例	优先 RB 资源比例	最大 RB 资源比例
网络切片组分配 RB 资源的最小比例，该比例范围内的 RB 资源仅给切片组内的用户使用。 最小 RB 资源比例支持配置频域的起始位置。	网络切片组能够优先使用的 RB 资源比例，该比例范围内的 RB 资源优先给切片组内的用户使用。 如果该范围内有未被网络切片组内用户使用的 RB 资源，可给切片组外的用户使用。	网络切片组分配的 RB 资源最大比例。 网络切片组内用户对该范围内的 RB 资源无优先使用权。

3.2.3 基于载波隔离

给每个网络切片分配独立载波，不同的网络切片占用不同的小区资源，每个网络切片仅使用本小区内的 RB 资源。基于载波隔离方式可以达成网络切片间的完全隔离。主要有基于公用陆地移动网（Public Lands Mobile Network，PLMN）、基

于 TAC 及切片、基于 TAC 及国际移动用户识别码（International Mobile Subscriber Identity，IMSI）、基于封闭式接入组（Closed Access Group，CAG）的非公共网络（Non-Public Network，NPN）和基于通用接入控制（Unified Access Control，UAC）的载波隔离五种方案，见表 3。

表 3 基于载波隔离技术方案

方案	资源分配	特点
PLMN	基站通过系统消息广播各载波支持的 PLMN，用户只能接入签约的 PLMN。	隔离度高，但 PLMN 数目少。
TAC 及切片	专网业务和公网业务对应的小区划分成不同的 TAC，按 TAC 粒度配置支持的切片。	现网可行性大，可以限制切片粒度的业务接入。隔离性弱，专网业务在公网小区上的第一次注册拒绝无法避免。

方案	资源分配	特点
TAC 及 IMSI	专网业务和公网业务对应的小区划分成不同的 TAC，以 TAC 为粒度配置黑白名单 IMSI 列表。	现网可行性大，可以限制 IMSI 粒度的用户接入。隔离性弱，专网用户在公网小区上的第一次注册拒绝无法避免；只能基于用户维度进行隔离。
PIN-NPN	PNI-NPN 通过 PLMN+CAG (closed access group) ID 标识，RAN 广播 PLMN+CAG ID，基于 CAG 执行网络 / 小区选择和接入控制。	隔离性好，可以针对小区粒度隔离。核心网、基站、终端都需要支持。
UAC	仅用于接入控制，配置 UAC 功能中的禁止接入概率因子，如果 UE 生成的随机数小于该参数，则允许接入，否则禁止接入。	可以由 UE 控制是否发起访问，避免不必要的随机接入过程。参数取值有限；只用于接入控制，无法进行移动性控制。

3.2.4 无线切片方案对比及适用场景

基于 QoS 调度和基于 RB 资源预留为共用小区场景，基于载波隔离为不共用小区场景（分配独立载波）。三种方案对比见表 4。5G 公网业务或 5G 虚拟专网业务无线网适用基

于 QoS 的调度方案实现。5G 混合专网业务的独享基站场景无线网适用载波隔离方案实现。5G 混合专网业务的共享基站场景无线网适用资源预留方案，同时辅以基于 QoS 的调度方案实现。

表 4 无线切片三种方案比较

无线切片方案	频谱	RB 资源	特点
基于 QoS 调度	共享公网载波频谱	共享，专网用户配置高优先级 QoS	方案实现较容易，对网络改动较小
基于 RB 资源预留	共享公网载波频谱	专网分配专用 RB 资源，可配置	专网用户独占 RB，资源有保障，专网 / 公网用户之间 RB 级物理隔离
基于载波隔离	专网采用独立载波频谱	专网分配独立载波	隔离度和差异性高，安全性有保障

4 切片应用案例

某电力系统智能电网业务需求主要是安全隔离、生产控制业务高可靠性、低带宽、强保障、低时延。切片总体方案见图 2 所示。具体如下：（1）生产 1/2 区各 1 个 PRB 资源预留切片实例，管理区 1+1 个 QOS 优先级切片实例，另外默认切片一个实例。（2）不同业务通过切片 ID，经生产区、管理区

以及及管理区下沉的不同 UPF 位置出口，流向不同 DNN 电力业务总站。（3）生产区 1/2、管理区 3/4、运营商大网默认切片 5，相互之间业务逻辑隔离，无线网内按不同切片 ID+5QI 隔离，并由切片 ID 对应不同 VLAN 输出实现承载网 VPN 隔离。（4）生产区为 PRB 资源预留切片，可统计总的 PRB 资源数，也支持每个业务统计，以支持计费按实际用户用量，PRB 资源分

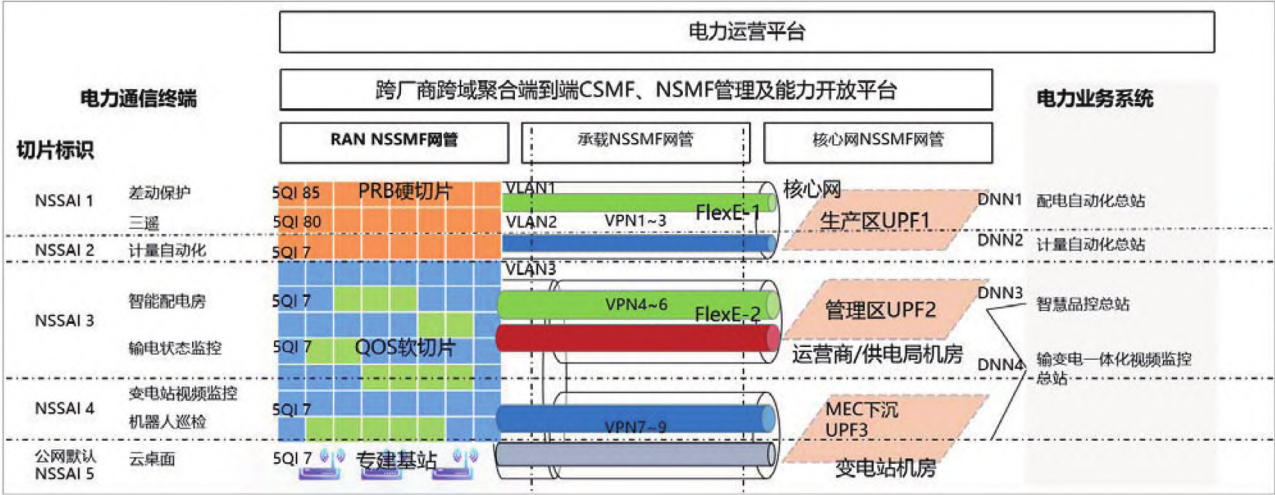


图 2 切片总体方案

（下转第 28 页）

Index	感知 App		SpeedTest5g	
	上传	下载	上传	下载
增益	4.03%	34.67%	4.40%	52.39%

5G 传统双流室分 + 错层 MIMO 覆盖方案可以实现传统室分下行 4 流，下载速率至少提升 30% 以上，可以大幅提升小区的下行感知能力，增强用户对网络的感知。通过本次下行四流 MIMO 方案研究，有效指引 5G 传统室分的后期建设，在保证用户感知的前提下，实现降本增效的目标。

5 结束语

本研究提出了一种双流 + 错层覆盖的室分覆盖解决方案。为了更好地降低网络成本，通过调整室分的无源分布系统的拓扑结构，以及小区和 RRU 的绑定关系，实现了一种低成本、高性能的解决方案，对中低容量需求的室分场景信号覆盖提供了数据支撑和有价值参考。

作者简介：陆璐（1990—），女，江苏省盐城市人，汉族，中级通信工程师，硕士研究生；研究方向：无线网络优化。

（收稿日期：2022-04-11；责任编辑：赵明亮）

（上接第 18 页）

配最小 1%，进一步扩展到 1PRB。

别实现了切片隔离、业务隔离、电网切片可对空闲资源抢占。

方案实施后测试验证结果见表 5，根据不同策略设置分

表 5 电力系统应用验证

切片隔离测试	资源预留测试	通道可靠性测试
切片隔离：终端智能只接入签约的切片，无法接入其它切片	测试小区配置：生产切片 1 和生产切片 2 采用 PRB 预留的 SLA 策略，生产切片 1 采用 PRB 3% 优先模式，生产切片 2 采用 PRB 2% 优先模式，管理切片 3 和管理切片 4 采用 QoS 保障的 SLA 策略	ping 测试结果显示在 5G 网络正常、未开启上行预调度情况下，网络通道可满足普通电力业务 99.9% 的可靠性要求（时延≤200ms）
业务隔离：同一个切片下终端与主站互相通信，不同切片间业务主站与主站、终端与终端、主站与终端之间均不能互相通信	接入生产切片 1、生产切片 2 的终端接入做业务时，分别优先占用 3%、2% 比例的资源，其他共享资源被接入管理切片 3 和管理切片 4 的终端占用	实测配网差动业务对应空口授时精度小于 700ns，通道端到端平均时延小于 12ms，实现长时间运行 0 丢包，可靠性 >99.99%
电网切片带宽资源保障：		
1. 电网切片在绝对优先级与 2C 切片相同情况下通过权重（5QI6：5QI9=4：1）提高其相对优先级；		
2. 2B 和 2C 用户都是满灌业务时按照权重比例分配时频资源；		
3. 在 2B 非满灌业务、2C 满灌业务时，优先保障 2B 用户的时频资源，剩余无线资源 PRB 预留功能正常资源给 2C 用户		
电网切片可对空闲资源抢占		

5 结束语

3GPP R15 架构基本完成定义 eMBB 类切片，R16 中完成定义 uRLLC 类切片，R17 版本定义 mMTC 类切片。R18 版本网络切片架构将进一步通过增强工业互联网（Industrial Internet of Things, IIoT）网络能力，来使能更多的 2B 场景和业务，持续提升 5G 对工业互联网、uRLLC 业务的支持能力，打开智能制造领域的新空间，提升工业物联网业务的空口容量，降

低端到端时延。随着 5G 网络切片标准的完善，5G 网络切片应用赋能千行百业，将更好地为 5G 垂直行业服务。

作者简介：胡煜华（1973—），男，浙江义乌人，高级工程师，硕士；研究方向：无线网络规划建设。

通讯作者：李贝（1983—），女，河南南阳人，高级工程师，硕士；研究方向：网络智能运营研究。

（收稿日期：2022-05-22；责任编辑：赵明亮）