

# 基于 5G 切片和优先级的流量隔离性能研究

李 炜<sup>1</sup>, 王少轩<sup>2</sup>

(1. 陕西国防工业职业技术学院 电子信息学院, 西安 710300;  
2. 加泰罗尼亚理工大学, 巴塞罗那 08034)

**摘要:** 随着基于 3 GPP 标准的关键任务 (MC) 移动宽带技术的部署, 可为公共保护和救灾提供宽带通信能力。常见方法是在公共移动网络上提供 MC 服务和商业流量 (CO), 并使用优先级机制来保护拥塞情况下的 MC 连接; 然而, 这种方法在特定单元中的 MC 流量激增前, 商业流量不受保护, 因为所有资源都将被分配来服务于这种流量; 在此背景下, 提出了一种稳定性较好的多路 MC 和具有拥塞保护的商业服务的解决方案, 该解决方案是基于 5G 网络切片特性; 文章主要描述了在结合优先级的基础上如何在 5G 无线电接入网 (RAN) 中参数化不同的切片以及支持无线电资源分配的底层无线电资源管理 (RRM) 功能的操作, 从而为每种类型的服务建立无线电负载保证; 通过 MATLAB 仿真结果表明与仅依赖于优先级化机制的解决方案相比, 本次采用的切片配置方法在流量隔离方面得到了改进, 为不同类型的服务提供了可靠保障。

**关键词:** 流量隔离; 优先级化; 网络切片; 公共保护和救灾通信

## Research on Traffic Isolation Performance Based on 5G Slice and Priority

LI Wei<sup>1</sup>, WANG Shaoyuan<sup>2</sup>

(1. Dept. of Electronic and Information, Shaanxi Institute of Technology, Xi'an 710300, China;  
2. Polytechnic University of Catalonia, 08034 Barcelona, Spain)

**Abstract:** With the deployment of mission critical (MC) mobile broadband technology based on 3GPP standard, broadband communication capability can be provided for public protection and disaster relief. The common method is to provide the MC Service and commercial traffic (CO) on the public mobile network, and the priority mechanism is used to protect the MC connection in case of the congestion. However, in this method, the commercial traffic is not protected before the MC traffic increases in a specific unit surges, because all resources will be allocated to serve this traffic. In this context, a solution of multi-channel MC with good stability and commercial service with congestion protection is proposed. The solution is based on 5G network slicing characteristics. In 5G radio access network (RAN), how to parameterize different slices and operate the underlying radio resource management (RRM) function supporting the radio resource allocation is mainly described on the basis of priority, so as to establish the radio load guarantee for each type of service. The MATLAB simulation results show that, compared with the solution scheme that only depends on the prioritization mechanism, the method adopted the slice configuration improves in the traffic isolation and provides the reliable guarantee for different types of services.

**Keywords:** flow isolation; prioritization; network slice; public protection and disaster relief communications

## 0 引言

因为切片技术的引入, 提供了逻辑网络的组网方式, 5G 系统可以满足多种业务场景服务和消费者应用体验的差异化需求, 这使得 5G 技术在不同垂直市场广泛应用<sup>[1]</sup>, 其中一个市场是在公共保护和救灾。5G 技术目前不断成熟, 且已经成为主流的 5G 网络架构, 该架构主要实现了用户面与控制面的完全分离, 并且控制面板采用了基于服务化的架构。然而随着物理网络承载的虚拟网络切片就越多, 不同的切片间会进行网络资源的竞争从而导致网络服务质量的下降。在未来, 5G 中模块化的基础设施、网络切片的使用和物联网 (IoT) 应用程序的集成这些优点也将为公共安全部门的部分工作提供技术保障和便利, 事实上, 3 GPP

在 LTE 和 5G 标准规范中考虑了公共保护和救灾部门实际的需求。5G 的应用场景总的来说可以划分为两大类: 商业服务业务 (CO) (移动带宽、海量物联网) 和关键任务 (MC) 服务业务, 其中关键任务流量主要用于低延时、高可靠实性的应用场景。当同一网络同时用于商业服务和 MC 服务时, 采取能够保证这两种服务和共享网络资源分配之间适当优先级的措施就变得至关重要。在这种情况下, 目前在全球范围内有多个举措, 通过公共或私人 4G/LTE 网络为 PPDR 机构提供宽带通信能力。一些学者正在研究使用现有商业移动网络作为 PPDR 服务基础的模式。这通常包括加强这些网络的健壮性和安全性, 并实施紧急服务所需的新功能。

目前, 在同一网络设施上处理 MC 和商业服务的多路

收稿日期: 2022-04-07; 修回日期: 2022-04-18。

作者简介: 李 炜 (1990-), 男, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事大数据技术、人工智能、图形图像检测方向的研究。

引用格式: 李 炜, 王少轩. 基于 5G 切片和优先级的流量隔离性能研究[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(7): 267-272.

复用数据流的方法是利用服务质量 (QoS)、优先级 (Prioritization) 和资源抢占能力 (Pre-emption) 机制<sup>[2]</sup>。在网络无线侧提供的数据流可以用 5QI (5G QoS Identifier) 和 ARP 这两个参数可以表征, 其中 5QI 用于索引一个 5G QoS 特性, ARP 参数包含优先级、抢占能力和可被强占等信息, 优先级定义了终端资源请求的重要性, 在系统资源受限时, ARP 参数决定了一个新的 QoS 流是被接受还是拒绝。在这方面, 对 MC 服务将更高优先级 5QI/ARP 分配给 MC 服务可能适用于聚合 MC 流量负载低于网络容量的情况。然而, 当 MC 和商业流量激增时, MC 和商业流量会抢占资源引发网络拥塞, 影响用户的体验感。仅使用基于优先级的 5QI/ARP 参数不足以提供一些保护商业流量, 这样额外的机制如: 网络切片功能引入 5G 系统成为必要。

利用流量优先级机制来处理蜂窝网络中的紧急情况或 MC 服务已经在多项工作中进行了研究。例如, 作者 Haya Shajiaiah, Ahmed Abdel-Hadi, Charles Clancy 和 Suresh Borkar, Dennis Roberson, Ken Zdunek 等工作考虑了一种基于 4G-LTE 架构下的资源分配优化模型, 面向公共安全和运行弹性或非弹性流量的商业用户, 为公共安全和运行弹性或非弹性流量的商业用户提供优先权<sup>[3-4]</sup>。与 Haya Shajiaiah 和 Suresh Borkar 对网络模型和架构的研究不同, Chafika Tata, Michel Kadoch 等开发了一种新的优先级调度算法, 即礼貌优先级访问 (CPA), 该算法并不能防止无线电资源的耗尽, 而是用来延迟拥塞。CPA 方案主要是在 LTE 异构网络中共享 MC 业务的接入和调度<sup>[5]</sup>。在文献<sup>[6]</sup>中, Hossam Farag, Mikael Gidlund, Patrik Oesterberg 提出了一种高效的优先级媒体访问控制 (MAC) 协议, 以支持在无线传感器网络下的物联网应用的 MC 服务。该协议可以处理关键数据的同时传输, 以减少竞争节点之间的碰撞概率, 从而降低传输延迟<sup>[6]</sup>。

另一方面, 人们对利用网络切片功能进行 MC 流量处理的关注也较少。例如, 文献<sup>[7]</sup>中的 Dania Marabiss, Romano Fantacci 开发了一种新的网络通信架构, 用于商业和 MC 服务的 RAN 切片, 而没有考虑优先级化机制<sup>[7]</sup>。文献<sup>[8]</sup>中 Marko Hoyhtya, Kalle Lahetkangas 等工作尝试使用许可共享访问 (LSA)、QoS 优先级机制, 并采用静态网络切片技术来控制 5G 网络下的 MC 流量<sup>[8]</sup>。尽管 J. Perez-Romero, O. Sallent 等提出了一个用于商业和 MC 服务的 RAN 切片的场景, 并提出了通过评估 5 GRAN 切片中的不同参数来实现 MC 流量差异化 (即无线电调度) 和保护 (即准入控制) 的不同选项<sup>[9]</sup>。然而, 本工作只分析了商业服务过载的影响。

蒋建峰等提出了一种基于 5G 网络物理节点资源和链路资源以及带宽和时延参数计算网络切片的安全隔离评估值; 然后利用算法将切片安全隔离评估值作为一个约束的条件, 实现网络切片的映射编排<sup>[10]</sup>。

本文考虑了一种结合切片技术和优先级机制来将资源分配给 MC 和 CO 服务的解决方案。评估了该解决方案在不

同拥堵情况下的隔离性能, 并与仅利用优先级的解决方案的结果进行了比较。

## 1 网络切片与 RRM 配置流量复用

### 1.1 网络切片

多路 MC 和商业流量的解决方案是基于最初在 J. Perez-Romero, O. Sallent 等在文献<sup>[9]</sup>中引入的无线电接入网 (RAN) 切片的配置框架。从功能的角度来看, 学者 R. Ferrus, O. Sallent 等定义了一组可用于通过 NG-RAN 小区的无线电协议层 L3、L2 和 L1 来指定 RAN 切片操作的配置描述符。这个配置框架, 以及我们工作中所考虑的描述符的具体实现, 如图 1 所示。其中 L3 包括无线电资源控制 (RRC) 协议和 RRM 功能, 例如用于激活和维护无线电承载器 (RB) 的无线电接收控制 (RAC), 这是由无线电协议栈提供的数据传输服务。对于每个 UE, 可以使用一个或多个用户平面 RB, 其记为数据 RB (DRB), 可以根据协议数据单元 (PDU) 会话建立, 它定义了由 5 GC 提供的连接服务<sup>[11]</sup>。PDU 会话与特定的 RAN 切片相关联, 因此在 PDU 会话中建立的所有 DRB 的行为都将遵守 RAN 切片的配置。当通过共享的无线电资源实现多个 RAN 切片时, RAC 必须确保每个 RAN 切片获得预期的资源量, 并防处理切片之间可能出现的任何资源冲突。如图 1 所示, 其中两组不同的 QoSFlows/DRBs 与两个不同的 RAN 切片 (RAN SliceID = x 和 y) 相关联, 并受 RAC 决策的影响。因此, 每当在小区中建立与给定 RAN 切片相关联的保障速率 (GBR) DRB 时, 就执行 RAC 进程以检查小区和特定 RAN 切片中资源的可用性, 以提供所请求的速率保证。因此, RAN 切片控制的主要手段和 L3 参数相关, 该参数定义了可在 RAC 中可以利用的物理资源块 (PRBs) 的最大百分比。对于某个切片  $s$  该参数可标记为  $\theta_{AC}^{max}(s)$ 。

L2 层包括介质访问控制 (MAC) 子层, 用于在 L1 公开的一组传输信道上多路复用和调度 DRB 的分组传输。此外, L2 嵌入了一些可在每个 DRB 基础上配置的处理功能, 例如分割、自动重复请求 (ARQ) 重传、压缩和加密 (即无线电链路控制 (RLC) 和分组数据收敛协议 (PDCP)。在 NR 规范中, 包含了一个名为服务数据适应协议 (SDAP) 的附加 L2 子层, 以映射 DRB 和 5 GC 管理的流量, 称为 QoSFlows<sup>[12]</sup>。

因此, 考虑到 MAC 操作基于个体 UE 和 DRB 特定 QoS 配置文件, 有必要定义在与特定 RAN 切片相关的 DRB 的流量聚合上执行的分组调度 (PS) 行为, 并指定适用的 L2 子层处理功能的能力集。这是与 L2 参数相关的 RAN 切片控制的主要手段, 该参数指定了 PS 保证给切片的最小 PRBs 百分比, 以分配 GBR 和非 GBR 承载的传输。该限制表示为最小百分比, 因为如果其他 RAN 切片不使用所有的 prb 的实际值, 在特定时间点 RAN 切片使用的实际值可以超过这个值。对于某个切片  $s$  该参数可标记为  $\theta_{AC}^{min}(s)$ 。

下面, 我们将介绍  $\theta_{AC}^{max}(s)$  和  $\theta_{AC}^{min}(s)$  是如何在切片

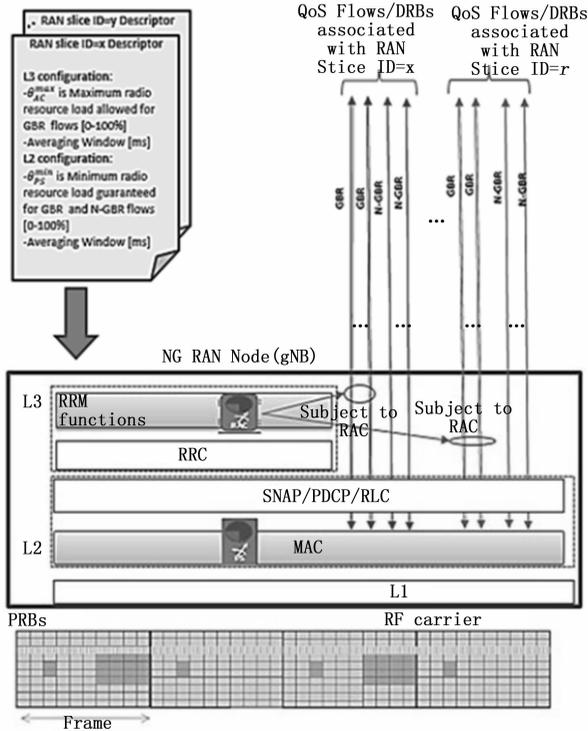


图 1 RAN 切片配置模型

感知的 RAC 和 PS 函数中被解释的。

RAC 的决策必须考虑到提交到 RAN 切片中的 prb 的数量。同时, RAC 应根据与每个 QoS 流相关联的 ARP 参数来考虑 PRBs 的实际利用率。ARP 定义了允许、保持或终止 QoS 流的相对重要性。3 GPP 规范为 ARP 定义了从 1~15 的优先级, 1 是最高优先级。因此, 当 NG-RAN 在第  $s$  个切片中收到一个新的 GBR 承载请求时, 将需要满足下面条件:

$$\theta_{occ}(ARP_i, s) + \theta_{new}(i, s) \leq \theta_{AC}^{max}(s) \quad (1)$$

其中:  $\theta_{occ}(ARP_i, s)$  为测量的平均数量 (代表已经使用切片) 的 GBR 载体使用的 ARP 值等于或低于  $ARP_i$ ;  $\theta_{new}(i, s)$  是估计的新载体;  $\theta_{AC}^{max}(s)$  作为准入控制阈值在第  $s$  层;  $\theta_{new}(i, s)$  可以根据公式计算:

$$\theta_{new} = \frac{R_{i,s}}{r * S_{i,s}} \quad (2)$$

其中:  $R_{i,s}$  是第  $s$  片第  $i$  次服务所需的比特率,  $r$  是一个 PRB 的带宽,  $S_{i,s}$  是第  $s$  片第  $i$  次服务的频谱效率。

### 1.2 切片数据包调度方案

调度部分, 在 L2 处的资源分配应首先保证被认可的 GBR 载体获得必要的 PRBs, 以满足其费率要求。然后, PS 可以根据其 5 QI 值将剩余的 PRB 分配给 NonGBR 承载。5 QI 是一个标量, 它根据 PS 要强制执行的优先级级别来定义特定的 QoS 特征。因此, 为了确定 PRBs 是如何由 PS 分配的, 让我们假设, 在将 PRBs 分配给 GBR 载体后, 有  $N$  个可用的 prb 必须分布在  $k$  个非 GBR 载体之间,  $\varphi_i$  是基于切片中的 5G QI 的第  $i$  个承载的优先级。然后, 将被分配给第  $i$  个无线承载的 PRBs 的平均数量和计算在切片  $s$  中分

配给第  $i$  个非 GBR 服务的 PRBs 的公式为:

$$N_{i,s} = (\theta_{ps}^{min}(s) - N_{ass,i,s}) * \frac{1/\varphi_i}{\sum_{j=1}^k 1/\varphi_j} \quad (3)$$

对于单独的切片部分,  $k$  表示特定切片  $s$  的非 GBR 承载,  $N_{i,s}$  是切片  $s$  中非 GBR 服务  $i$  的可用 PRBs,  $\theta_{ps}^{min}(s)$  是 PS 保证切片  $s$  的最小 PRBs,  $N_{ass,i,s}$  是为切片  $s$  中的第  $i$  个 GBR 服务分配的 PRBs 的总和。

### 1.3 场景设计

考虑一个操作场景, 其中 NG-RAN 用于向普通公众提供 CO 服务和为 PS 组织提供 MC 服务。商业服务包括两种不同的用户服务, 高级服务和基本服务。每个服务都包括一个 GBR 视频服务和一个非 GBR 数据服务。高级视频服务将提供高的数据质量, 而基本视频服务将提供共同的数据质量。MC 服务包括两个 GBR 服务和一个非 GBR 服务, 它们分别被称为 MCVideo、MCPTT 和 MC 数据服务。表 1 包含了这些服务的 QoS 参数特征: 承载类型、5 QI ( $\varphi$ )、GFBR 以及流量组合。

表 1 每个 RAN 切片的服务

业务类型	业务名称	类型	5 QI( $\varphi$ )	ARP	GFBR	Traffic demand mix
CO	premium 视频	GBR	2(40)	2	10 Mb/s	10%
	Premium 流量	Non-GBR	6(60)	2	N/A	20%
	Basic 视频	GBR	2(40)	3	1 Mb/s	25%
	Basic 流量	Non-GBR	8(80)	3	N/A	45%
MC	MC 视频	GBR	2(40)	2	5 Mb/s	20%
	MC PTT	GBR	65(7)	1	10 kb/s	50%
	MC 流量	Non-GBR	70(55)	3	N/A	30%

根据表 2 中所示的参数来考虑一个 NG-RAN 部署。该部署假设一个 gNB 的单个单元配置带宽为 100 MHz, 平均单元容量为 336 Mb/s (信道带宽和平均的乘积), 频谱效率通过模拟得到 3.36 b/s/Hz。本次研究, 我们只考虑下行链接的方向。

表 2 小区部署和流量建模

参数	数值
小区半径	115 m
路径损耗和阴影模型	参考文献[12]中的城市小区模型
阴影衰落	3 dB 或 4 dB <sup>[12]</sup>
基站天线增益	5 dB
频率	3.6 GHz
每个 PRB 传输功率	16.6 dBm
PRBs 数	275
UE 噪声指数	9 dB
链路级别模型的信号干扰噪声比	最大值为 8.8 b/s/Hz <sup>[13]</sup>
规划平均会话产生速率 $e(\lambda)$	$\lambda_{CO} = 1$ sessions/s $\lambda_{MC} = 0.5$ sessions/s
会话平均时间 ( $T$ )	$T = T_{CO} = T_{MC} = 120$ s
/Non-GBR 活跃会话因子	$\delta = \delta_{CO} = \delta_{MC} = 0.2$

每个单元的预计流量负载是根据表 1 和表 2 中提供的

流量需求参数计算的。GBR 所有服务的预计负载为 210 Mb/s, 该负载是接近小区平均容量的 62%。根据表 1 中提到的流量组合, 小区支持的流量负载 ( $\lambda$ ), 它是在模拟场景中生成, 并根据预计平均会话生成速率 ( $\bar{\lambda}$ ) 计算, 由过载指数 ( $\rho = \lambda / \bar{\lambda}$ ) 的影响。在一个 DRB 内每个会话对应一个 QoSFlow, 该 DRB 在小区半径内按照均匀分布的随机位置与 UE 关联。在本文中, RAN 将被分割成两片, 第 1 片主要提供 CO 服务, 第 2 片用于 MC 服务。根据计划的负载, 我们将研究两种不同的 RAN 切片配置。第一个配置为 CO 和 MC 服务共享一个切片, 第二个配置为 CO 和 MC 服务分离片。COGBR 服务的计划负载为 150 Mb/s, 同时, MCGBR 服务的计划负载为 60 Mb/s。这两种配置的内容和具体描述如表 3 所示。

表 3 切片配置表

切片配置参数	切片配置 #1		切片配置 #2	
切片标识符	RAN 切片 ID=0	RAN 切片 ID=1	RAN 切片 ID=2	
L3 配置 ( $\theta_{AC}^{max}(s)$ )	70%	45%	25%	
L2 配置 ( $\theta_{AC}^{min}(s)$ )	N/A	65%	35%	

### 3 实验与分析

本次使用 Matlab 作为模拟工具, 并在本节中提供了两种配置的模拟结果。对于 ARP 配置, 在 MC 视频服务中设置不同的 ARP 值, 以比较不同的优先级对资源分配的影响。

### 3.1 GRB 业务

用于评估 GBR 业务性能的主要关键性能指标 (KPI) 是阻塞率, 它被计算为被 RAC 拒绝的 GBR/DRB 请求的百分比。图 2 显示了 Premium 视频、Basic 视频和 MC 视频服务的阻塞率。阻塞率值是从 5 次模拟中获得的, 每次模拟持续 20 000 秒 (观察到计算值的标准偏差低于 5%)。过载指数设置在  $0.5 \leq \rho_{co}, \rho_{mc} \leq 2$  这个范围内, 所有服务使用的 ARP 值都是表 1 中提供的, 除了 MC 视频服务有两种不同的设置: 2 (默认, 如表 1 中设置) 和 1 (最高优先级)。为了图 2 便于阅读, 阻塞率值用深灰色表示 10% 以上的速率, 浅灰色表示 5%~10% 之间的速率, 淡灰色表示 2%~5% 之间的值, 当阻塞率低于 2% 时, 用白色表示。

图 2 显示了两种切片配置和 MC 视频服务所考虑的不同 ARP 值的结果。正如预期, 当过载指数低于计划 ( $\rho_{co} < 1$  和  $\rho_{mc} < 1$ ) 时, 阻塞率较低。但当任何一个服务组出现超载的情况下 ( $\rho_{co} > 1$  或  $\rho_{mc} > 1$ ), 阻塞率显示出增长的趋势。可以发现, 当过载指数低于 1 时, CO/MC 服务的阻塞率保持在较低的水平, 并且随着过载指数的增加, 阻塞率呈上升趋势。当考虑用 MC 视频 ARP=2 作为基准来切片配置 #1。例如, 当两种服务的过载索引都小于 1 时, Premium 视频服务和 MC 视频服务在阻塞率上有相似的变化。这是因为 MC 和 Premium 视频被 RAC 同等对待, 而不考虑负载失衡。但当这两个过载索引都超过 1 时, 这意味着无线侧接入承载的 PRB 将达到饱和, 因此阻塞率急剧增加。而 Basic 视频的阻塞率在这 3 个服务中是最高的, 因为它的优先级最低。



图 2 (a) Premium 视频服务、(b) Basic 视频服务、不同配置的 (c) MC 视频服务的屏蔽率

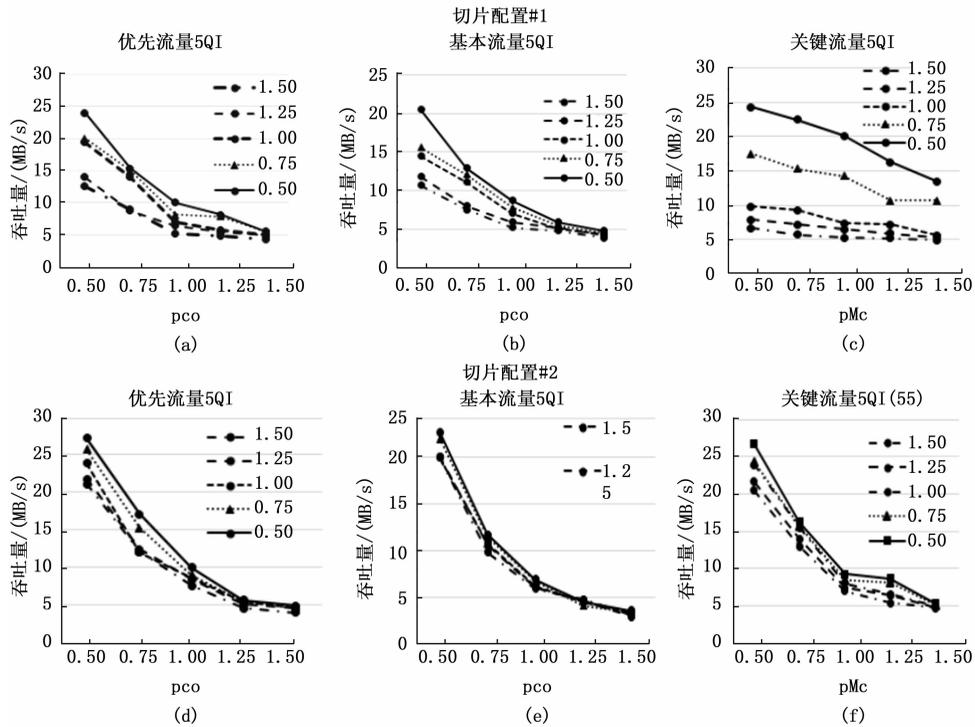


图 3 具有不同配置的 Premium 业务、Basic 业务和 MC 业务的吞吐量

现在对比切片配置 #1 与 MC 视频 ARP=1 这种情况, 前者中 Premium 视频的阻塞率高于后者, 因为 MC 视频的优先级大于 Premium 视频, 所以 ARP 配置 #2 中 Premium 视频服务的拥塞和拒绝概率高于 ARP 配置 #1。与此同时, 随着 MC 视频阻塞率降低, Premium 和 Basic 视频服务的阻塞率略有上升, 这是因为更多的 PRBs 分配给了 MC 视频服务少量 PRBs 给 Premium 和 Basic 视频服务。

由于切片配置 #2 与 MCARP=1 对所有服务都有类似的性能, 因此, 我们只分析切片配置 #2, ARP 配置 #2。通过 Premium 和 basic 视频服务, 我们可以发现当 MC 的过载指数从 0.5 增加到 1.5 并且 CO 过载指数低于 1 时, 阻塞率较低, 所以颜色用绿色表示。但对于 MC 视频服务则相反, 因为切片配置在 L3 的 RAN 切片中有所区分, 在 CO 切片中的 GBRs、DRBs 配置 45% PRBs 的整体准入控制, GBRs、DRBs 的 25% PRBs 将被分配给 MC 切片。因此, Premium 和 Basic 视频服务的过载不会影响 MC 视频服务, 反之亦然, 这个结果说明了切片被成功地分离出来。比较切片配置 #2、ARP 配置 #2 与切片配置 #1、ARP 配置 #2 和基准解决方案, 我们可以发现过载情况下 MC 视频服务的前阻塞率高于后者, 尽管 ARP 值相同。原因是在 RAN 切片隔离条件下, 优先化机制的行为对性能的影响较小。

### 3.2 Non-GRB 业务

Non-GRB 业务是使用在向 GBR 业务执行 PRB 分配后可用的 PRB。因此, Non-GRB 业务的 KPI 是获得的平均吞吐量。图 3 显示了 RAN 切片 1 中的 Premium and Basic 流

量业务以及 RAN 切片 2 中的 MC 流量业务的平均吞吐量。仿真时采用是基于 MC 视频 ARP 值等于 2 这种情况。从 5 次模拟中获得的平均吞吐量, 每个模拟持续 20 000 秒 (计算值的标准偏差小于 4.5 MB/s)。我们将切片配置 #1 设置为基准解决方案, 正如预期的那样, 当过载指数低于 1 时, 吞吐量较高, 但当任何一组服务有增长趋势时, 吞吐量会下降。出现这种情况有两个主要原因, 一个是负载增加带来的 GBR 会话数量的增加, 这将导致留下更少的 prb 可用 Non-GBR 业务, 另一个是 Non-GBR 会话将增加当负载加大。因此, 可用的 PRB 将分布在许多无线承载中。

从图 3 中可以看出, 当两个用户 (CO 和 MC) 的过载指数都远高于 1 时, 这 3 种服务的吞吐量都接近于 5 MB/s。让我们来看图 (a)、(b)、(c) 的服务, 随着过载指数的降低, 吞吐量呈上升趋势。例如, 当 CO 和 MC 的过载指数均为 0.5 时, 获得的吞吐量分别约为 24 MB/s、20 MB/s 和 25 MB/s, 可以看出, 从两个用户的低过载指数中可以得到最高的值。然而, 与图 (a) 和 (b) 相比, 图 (c) 的吞吐量最高, 因为图 (c) 的 5 QI 值在这 3 个服务中最低 (最高优先级)。从图 (d), 我们可以发现吞吐量的趋势急剧下降, 曲线的距离接近图 (a) 相比, 原因是使用切片技术可以很好地隔离用户, 和 MC 过载指数的变化不会影响公司服务的性能, 这种情况同样适用于 Fig. (b) 和 (e)。对于图 (f), 与图 (c) 相比, MC 业务吞吐量平稳变化超过 1, 由于切片技术至少保证 MC。

## 4 结束语

此次研究建立了结合优先级和 5G 无线电接入网

(RAN) 中参数化不同的切片的资源分配方法, 该方法支持无线电资源分配的底层无线电资源管理 (RRM) 功能的操作从而为每种类型的服务建立无线电负载保证。通过 Matlab 软件仿真实验表明与仅依赖于优先级机制的解决方案相比切片配置在流量隔离方面得到了改进。网络切片技术为解决对网络容量、速率等方面存在的需求和问题提供了强有力的保证。在公共保护和救援时通信的稳定性得到了进一步的保障, 该方法在公共保护和救援通信部署具有广泛的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 赛迪智库电子信息研究所, 通信产业报全媒体. 5G 终端行业白皮书 [Z]. 2021.
- [2] 刘 珊, 韩 潇, 黄 蓉. 面向 5G 的无线侧网络切片发展与研究 [J]. 邮电设计技术, 2020 (1): 45-49.
- [3] HAYA SHAJIAH, AHMED ABDEL-HADI, CHARLES CLANCY. Spectrum Sharing between Public Safety and Commercial Users in 4G-LTE [J]. International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC) IEEE, 2014: 674-679.
- [4] SURESH BORKAR, DENNIS ROBERSON, KEN ZDUNEK. Priority Access for public safety on shared commercial LTE networks [C] //2011 Technical Symposium at ITU Telecom World (ITU. WT) IEEE, 2011: 105-110.
- [5] CHAFIKA TATA, MICHEL KADOCH. Courteous Priority Access to the Shared Commercial Radio for Public Safety in LTE Heterogeneous Networks [J]. International Conference on Future Internet of Things and Cloud. FiCloud. 2014: 246-252.
- [6] HOSSAM FARAG, MIKAEL GIDLUND, PATRIK OESTERBERG. PR-CCA MAC: A Prioritized Random CCA MAC Protocol for Mission-Critical IoT Applications [C] //IEEE International Conference on Communications (ICC 2018), 2018: 1-6.
- [7] DANIA MARABISS, ROMANO FANTACCI. Heterogeneous Public Safety Network Architecture Based on RAN Slicing [J]. IEEE Access, 2017, (5): 24668-24677.
- [8] MARKO HOYHTYA, KALLE LAHETKANGAS. Critical Communications Over Mobile Operators' Networks: 5G Use Cases Enabled by Licensed Spectrum Sharing, Network Slicing and QoS Control [J]. IEEE Access, 2018, (6): 73572-73582.
- [9] J. PEREZ-ROMERO, O. SALLEN, R. FERRUS, et al. On the configuration of Radio resource management in a sliced RAN [J]. 2018: 1-6.
- [10] 蒋建峰, 张凤岩, 张趁香. 基于 SecPSO 优化的 5G 网络切片安全隔离算法 [J]. 无线电工程, 2021 (12): 2-9.
- [11] 3 GPP TS 38.300 V0.4.1. NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2 (Release 15) [Z]. 2017.
- [12] 3 GPP TR 36.814 v9.0.0. E-UTRA: Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release9) [Z]. 2010.
- [13] 3 GPP TR 36.942 v12.0.0. Radio Frequency (RF) system scenarios [Z]. 2014.
- [14] 伍 嘉, 王志会, 刘凡栋, 等. 5G 端到端切片实现技术探讨 [J]. 邮电设计技术, 2020 (9): 12-17.
- [15] 李 一, 许国平, 刘光海, 等. 5G NSA 网络评价指标体系研究 [J]. 邮电设计技术, 2020 (8): 38-43
- [16] 周倩文. 基于机器学习的定制化网络切片技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2020.
- [17] 王庆扬, 谢沛荣, 熊尚坤, 等. 5G 关键技术与标准综述 [J]. 电信科学, 2017, 33 (11): 112-122.
- [18] 闫新成, 毛玉欣, 赵红勋. 5G 典型应用场景安全需求及安全防护对策 [J]. 中兴通讯技术, 2019, 25 (4): 6-13.
- [19] 刘建伟, 韩祎然, 刘 斌, 等. 5G 网络切片安全模型研究 [J]. 信息安全, 2020, 20 (4): 1-11.
- [20] 李 锦, 焯王维. 基于智能电网的 5G 网络切片资源优化分配模型构建及仿真 [J]. 自动化与仪器仪表, 2021 (11): 36-39
- [21] 崔颖强. 5G 网络切片在智能电网的应用研究 [J]. 信息技术与信息化, 2020, 245 (8): 136-138
- [22] 项弘禹, 肖扬文, 张 贤, 等. 5G 边缘计算和网络切片 [J]. 电信科学, 2017 (6): 54-63.
- [23] 黄 兴, 朱亚明, 张亚明. 基于 5G 的运载火箭无线测发控系统 [J]. 计算机测量与控制, 2021 (12): 1-8.
- [24] 陈 林, 刘重军, 杨 波. 垂直行业 5GQoS 解决方案研究 [J]. 通信技术, 2021, 54 (7): 1683-1689
- [25] FERRUS R, SALLEN O, PEREZ-ROMERO J, et al. On 5G Radio Access Network Slicing: Radio Interface Protocol Features and Configuration [J]. IEEE Communications Magazine, 2018: 184-192.
- [26] ZHANG Z J. Satellite mobile edge computing: improving QoS of high-speed satellite-terrestrial networks using edging computing techniques [J]. IEEE Network, 2019 (1): 70-76
- [27] 宋娇娇, 孟旭东. 5G 核心网网络切片的缓存资源分配 [J]. 计算机技术与发展, 2019 (2): 41-46.
- [28] 月 球, 王晓周, 杨小乐. 5G 网络新技术及核心网架构探讨 [J]. 现代电信科技, 2014 (12): 27-31.
- [29] BALEWSKI L, BARANOWSKI M, JASINSKI M, LAMECKI A, MROZOWSKI M. Electromagnetic Simulation with 3D FEM for Design Automation in 5G Era [J]. ZTE Communications, 2020: 9-16.
- [30] AHMED H A, GEORGE A, MINA G, et al. It's time to migrate! A game-theoretic framework for protecting a multi-tenant cloud against collocation attacks [C] //IEEE International Conference on Cloud Computing. 2018: 725-731.
- [31] MIJUMBI R, SERRAT J, GORRICO J, et al. Network function virtualization: State-of-the art and research challenges [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016, 18 (1): 236-262.
- [32] AFOLABIL, TALEB T, SAMDAN IS K, et al. Network slicing and soft-warization: A survey on principles, enabling technologies, and solutions [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018, 20 (3): 2429-2453.