



5G 承载网回传带宽估算模型的优化与应用

叶杨¹, 方慧霆¹, 聂丹彤²

(1. 广州杰赛科技股份有限公司, 广东 广州 510310;

2. 中移互联网有限公司, 广东 广州 510660)

摘要: 在 5G 建设初期, 业务需求不明确, 技术成熟度有待完善, 流量增长方式难以预测, 如何根据建设场景的不同对现网承载系统能力进行评估以及合理地选择 5G 承载网建设方案是现阶段炙手可热的难题。通过对典型配置的 5G 单基站承载带宽需求评估方法的理论研究, 结合 4G 网络建设的工程经验, 以全国抽样调研数据论证理论带宽估算模型与实际流量水平的巨大差距, 以此为借鉴, 为科学地指引 5G 承载网初期的规划、建设, 提出一种 5G 承载网回传带宽估算的优化模型, 通过分场景举例说明其在新建、扩容、升级 3 种 5G 承载网演进路径中均有其应用价值。

关键词: 5G 承载网; 带宽估算; 优化; 评估

中图分类号: TN915.02

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020135

Optimization and application of 5G bearer network backhaul bandwidth estimation model

YE Yang¹, FANG Huiting¹, NIE Dantong²

1. GCI Science & Technology Co., Ltd., Guangzhou 510310, China

2. China Mobile Internet Co., Ltd., Guangzhou 510660, China

Abstract: In the early stage of 5G construction, business requirements are unclear, technology maturity needs to be improved, and traffic growth methods are unpredictable. How to evaluate the capacity of the existing network bearer system according to different construction scenarios and choose a reasonable 5G bearer network construction plan problem. Through theoretical research on the typical configuration of the 5G single base station bearer bandwidth demand assessment method, combined with the engineering experience of 4G network construction, the national sampling survey data was used to demonstrate the huge gap between the theoretical bandwidth estimation model and the actual traffic level. The initial planning and construction of the 5G bearer network was scientifically guided, and an optimized model for the estimation of the 5G bearer network backhaul bandwidth was proposed, and its application in the evolution path of the new 5G bearer network through new scenarios, expansion, and upgrade value was illustrated.

Key words: 5G bearer network, bandwidth estimation, optimization, assessment

1 引言

国际电信联盟无线电通信局 (International Telecommunication Union-Radiocommunication Sector, ITU-R) 定义了 5G 的 3 类电信业务场景: 增强型移动带宽 (eMBB)、大规模机器类通信 (mMTC) 和超可靠低时延通信 (uRLLC)。根据目前标准和技术的进展情况, 5G 初期以 eMBB 应用为主, mMTC 和 uRLLC 业务将随着技术和市场的发展逐步开展。eMBB 主要用于连续广域覆盖和热点高容量场景, 为用户提供高数据传输速率, 满足网络高流量密度需求, 具有 1 Gbit/s 用户体验速率、数十 Gbit/s 峰值速率和数十 Tbit/(s·km²) 的流量密度等特性。因此, 5G 初期更大的带宽成为承载网最为基础和关键的技术指标之一。

根据 5G 无线接入网结构特性, 承载将分为前传 (承载 AAU 和 DU 之间的流量)、中传 (承载 DU 和 CU 之间的流量) 和回传 (承载 CU 和核心网之间的流量)。但在 5G 初期, CU/DU 采用合设部署的方式, 承载网重点考虑前传和回传两部分的需求及组网方案。前传部分传递无线侧网元设

备 AAU 和 DU 间的数据, 主要通过光纤直连方式实现; 回传部分主要传递无线侧网元设备 CU 和核心网网元间的数据, 目前主流的承载技术有切片分组网络 (slicing packet network, SPN)、增强型光传送网 (optical transport network, OTN)、增强型 IP RAN (radio access network) 等。无论采用何种技术机制, 无线网对承载网回传带宽的需求是一致的, 本文重点探讨 5G 承载网回传带宽估算模型的优化与应用。

2 回传带宽估算模型

5G 低频和高频单基站参数及承载带宽需求示例见表 1^[1]。

gNode B 基站通常控制 3 个小区, 每个 gNode B 基站的回传流量是该基站控制的所有小区的总和。小区吞吐量是该小区服务的每个 UE (user equipment) 的业务量的总和。每个 UE 的吞吐量根据其到 gNode B 的无线链路的质量以及分配给它们的频谱资源的量而变化。当 UE 靠近 gNode B 且干扰很小时, 每个频谱单元都可以无错误地携带更多比特的信息, 称为频谱效率。UE 吞吐量是

表 1 5G 低频和高频单基站参数及承载带宽需求示例

参数	5G 低频	5G 高频	备注
频谱资源	3.4~3.5 GHz, 100 MHz 频宽	28 GHz 以上频谱, 800 MHz 频宽	—
基站配置	3 小区, 64T64R	3 小区, 4T4R	—
频谱效率	峰值 40 bit/Hz, 均值 7.8 bit/Hz	峰值 15 bit/Hz, 均值 2.6 bit/Hz	—
其他考虑	10%封装开销, 5% X_n 流量, 1:3TDD 上下行配比	10%封装开销, 1:3 TDD 上下行配比	—
单小区峰值	$100 \text{ MHz} \times 40 \text{ bit/Hz} \times 1.1 \times 0.75 = 3.3 \text{ Gbit/s}$	$800 \text{ MHz} \times 15 \text{ bit/Hz} \times 1.1 \times 0.75 = 9.9 \text{ Gbit/s}$	单小区峰值带宽=频宽×频谱效率峰值×(1+封装开销)×TDD 下行占比
单小区均值	$100 \text{ MHz} \times 7.8 \text{ bit/Hz} \times 1.1 \times 0.75 \times 1.05 = 0.675 \text{ Gbit/s}$ (X_n 流量主要发生于均值场景)	$800 \text{ MHz} \times 2.6 \text{ bit/Hz} \times 1.1 \times 0.75 = 1.716 \text{ Gbit/s}$ (高频站主要用于补盲补热, X_n 流量已计入低频站)	单小区均值带宽=频宽×频谱效率均值×(1+封装开销)×TDD 下行占比×(1+ X_n)
单站峰值	$3.3 + (3-1) \times 0.675 = 4.65 \text{ Gbit/s}$	$9.9 + (3-1) \times 1.716 = 13.33 \text{ Gbit/s}$	单站峰值带宽=单小区峰值带宽×1+单小区均值带宽×(N-1)
单站均值	$0.675 \times 3 = 2.03 \text{ Gbit/s}$	$1.716 \times 3 = 5.15 \text{ Gbit/s}$	单站均值带宽=单小区均值带宽×N

注: X_n 接口为 gNode B (DU+CU) 和 gNode B (DU+CU) 之间的参考点, 相应的 X_n 流量为 gNode B 之间的互操作流量。



其频谱效率和单元频谱分配份额的乘积。基站吞吐量是该基站服务的所有 UE 吞吐量的总和。由于总频谱（即系统带宽）不能改变，单基站吞吐量是总频谱乘以该单元服务的 UE 的单元平均频谱效率。

在忙时，每个小区都有许多 UE，UE 有一系列的频谱效率，这取决于其无线链路的质量。由于有许多 UE，它们不太可能都是好的或是坏的，所以小区平均频谱效率将在中间某个地方。在闲时，可能只有一个 UE 由小区服务。小区频谱效率和吞吐量完全取决于所服务的 UE 的效率，并且可能存在显著的变化。忙时和闲时小区吞吐量变化情况如图 1 所示。

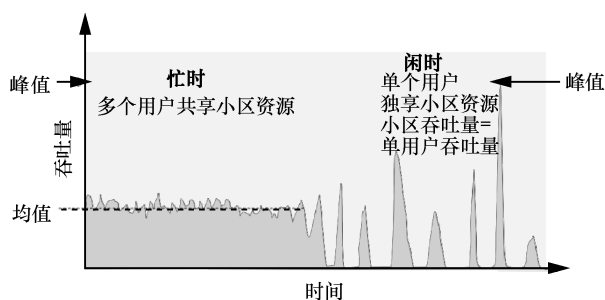


图 1 忙时和闲时小区吞吐量变化情况

移动带宽的无线电频谱是一种昂贵且有限的资源，5G 低频 Sub 6G 频段最大支持 100 MHz 带宽，因此回传在大多数情况下应慷慨地提供带宽，在实际中，峰值速率同样受到市场营销的驱动，峰值速率通常可被大多数用户作为评判运营商品牌的重要性能指标。

综合考虑以上因素，NGMN 提出的回传带宽

估算指南假设一个小区达到峰值，另一个小区以平均忙时速率生成流量，因此得到如下的承载网回传带宽估算模型：

$$n \text{ 个小区的保守下限} = \max(\text{峰值} + (n-1) \times \text{忙时平均值}, n \times \text{忙时平均值}) \quad (1)$$

考虑 5G 不同频段的频谱效率峰值、均值以及封装开销、少量的 X_n 流量和上下行配比，可以推导出 IMT-2020 (5G) 推进组提供的单基站峰值带宽估算方法，即：

$$\begin{aligned} \text{单站峰值带宽} &= \text{单小区峰值带宽} \times 1 + \\ &\quad \text{单小区均值带宽} \times (N-1) \end{aligned} \quad (2)$$

3 带宽估算模型优化思路

在 4G 初期，运营商在配置承载网络带宽时大多严格参照 NGMN 提出的带宽估算模型。近期某运营商对其全国范围内的 4G BBU 速率进行了抽样调研，从城市现网流量数据来看，目前 4G BBU 平均流速总体较小，具体见表 2。4G BBU 最大流速总体也较低，远低于 4G 网络带宽估算值，数据热点区域 S111 峰值带宽需求为 240 Mbit/s，均值带宽需求为 135 Mbit/s；一般区域 S111 峰值带宽需求为 170 Mbit/s，均值带宽需求为 80 Mbit/s。4G BBU 最大流速现状分布见表 3。

目前处于 5G 建网初期，业务需求不明确，技术成熟度有待完善，流量的增长方式难以预测，参考 4G 实际流量的 10 倍测算仍然达不到带宽估算模型给出的评估结论，典型 5G 低频单基站的峰值带宽达到 5 Gbit/s 量级，高频单基站的峰值带宽

表 2 某运营商 4G BBU 平均流速现状分布

对比项	<10 Mbit/s	10~30 Mbit/s	15~30 Mbit/s	20~30 Mbit/s	30~40 Mbit/s	40~50 Mbit/s	>50 Mbit/s
BBU 数量占比	88.53%	5.15%	5.13%	2.33%	0.78%	0.25%	0.14%

表 3 某运营商 4G BBU 最大流速现状分布

对比项	<10 Mbit/s	10~30 Mbit/s	15~50 Mbit/s	50~100 Mbit/s	100~150 Mbit/s	150~200 Mbit/s	>200 Mbit/s
BBU 数量占比	58.30%	17.30%	11.09%	9.89%	3.06%	0.35%	0.01%

达到 15 Gbit/s 量级,这意味着,该估算模型在实际应用中存在进一步优化的空间。5G 均值频谱效率(大量 UE 分布在网络覆盖区域内,各 UE 所处网络环境不同,同时工作、共同接收基站系统下发的空间流时所测试得出的频谱效率)、峰值频谱效率(极少 UE 在良好的网络环境,工作在基站系统支持的最大流/空间流同时起作用时所测试得出的频谱效率)本身的测试环境均较严苛,参照 4G 网络建设经验,一种被广泛接受的优化思路为引入负载率系数修正理论带宽,优化后的单站峰值带宽估算模型为:

$$\text{单站峰值带宽} = (\text{单小区峰值带宽} \times 1 + \text{单小区均值带宽} \times (N-1)) \times \text{负载因子} \quad (3)$$

4 带宽估算优化模型的应用

综合考虑建设规模、业务需求、投资效益、资源条件、网络现状等因素,5G 承载网络目前面临的演进路径主要有现网容量扩容、现网设备升级或新建满足 5G 技术特性的新型承载技术系统,根据新建 5G 基站所属场景的不同,结合对现网承载系统能力的评估,合理选择建设方案。

针对新建或升级承载系统(SPN、增强型 OTN、增强型 IP RAN 等),可以利用带宽估算优化模型测算出接入层、汇聚层带宽配置的参考建议。新建场景下的带宽估算优化模型应用举例见表 4,为方便举例说明,假定网络配置:接入环按

8 个节点考虑,每个接入环下挂 8 个 5G 基站,1 对汇聚节点下挂 6 个接入环,4 个汇聚节点组成 1 个汇聚环,即单个汇聚环下挂 144 个 5G 基站。

某省广电 5G 试验网规划考虑采用“700 MHz+4.9 GHz”的混合组网方式,700 MHz 用于广覆盖并实现区域内连续覆盖,省市两级行政区域、商业中心等重点场景使用 4.9 GHz 频段进行热点补充,因此规划物理站点存在 3 种形态,即单 700 MHz 站点、单 4.9 GHz 站点和“700 MHz+4.9 GHz”双频站点。700 MHz/4.9 GHz 带宽估算推测见表 5,700 MHz 单站峰值速率为 337.59 Mbit/s,单站均值速率为 135.15 Mbit/s,4.9 GHz 单站峰值速率为 2 790.81 Mbit/s,单站均值速率为 1 216.22 Mbit/s。

为满足试点覆盖,需新建满足 5G 业务特征的新型承载系统(SPN、增强型 OTN、增强型 IP RAN),新建场景下的带宽估算优化模型应用举例见表 6,建议 5G 初期接入环可考虑 10GE 链路(后期可平滑升级为 50GE),汇聚环可考虑 50GE 链路(后期可平滑升级 $N \times 100\text{GE}$)。

针对扩容现有承载系统的建设场景,可利用带宽估算优化模型对现网承载系统可满足度进行评估,以 5G 低频站、100 MHz 频宽、3 小区、64T64R 配置为例,考虑 30%的负载因子和承载链路 70%的扩容门限,具体见表 7,即现网 10GE 承载接入环路最大可接入 5G 基站数量为 10 个。

表 4 新建场景下的带宽估算优化模型应用举例(单位:Gbit/s)

对比参数	网络层次	测算公式	负载因子		
			10%	20%	40%
理论值	接入层	接入环带宽=(单站峰值+(8-1)×单站均值)	18.86	18.86	18.86
	汇聚层	汇聚环带宽=汇聚环站点数(144)×单站均值×收敛比	146.16	146.16	146.16
优化值	接入层	接入环带宽=(单站峰值+(8-1)×单站均值)×平均负载因子	1.886	3.772	7.544
	汇聚层	汇聚环带宽=汇聚环站点数(144)×单站均值×收敛比×平均负载因子	14.616	29.232	58.464



表 5 700 MHz/4.9 GHz 带宽估算推测

对比参数	700 MHz 场景	4.9 GHz 场景
频谱资源	20 MHz 频宽	60 MHz 频宽
基站配置	3 小区, 4T4R	3 小区, 64T64R
频谱效率	峰值 15 bit/Hz, 均值 2.6 bit/Hz	峰值 40 bit/Hz, 均值 7.8 bit/Hz
其他考虑	10%封装开销, 5% $\times n$ 流量 5% $\times n$ 流量, 1:3TDD 上下行配比	10%封装开销, 5% $\times n$ 流量 5% $\times n$ 流量, 1:3 TDD 上下行配比
单小区峰值速率	$20 \text{ MHz} \times 15 \text{ bit/Hz} \times 1.1 \times 0.75 = 247.5 \text{ Mbit/s}$	$60 \text{ MHz} \times 40 \text{ bit/Hz} \times 1.1 \times 0.75 = 1980 \text{ Mbit/s}$
单小区均值速率	$20 \text{ MHz} \times 2.6 \text{ bit/Hz} \times 1.1 \times 0.75 \times 1.05 = 45.05 \text{ Mbit/s}$	$60 \text{ MHz} \times 7.8 \text{ bit/Hz} \times 1.1 \times 0.75 \times 1.05 = 405.41 \text{ Mbit/s}$
单站峰值速率	$247.5 \text{ Mbit/s} + (3-1) \times 45.045 \text{ Mbit/s} = 337.59 \text{ Mbit/s}$	$1980 \text{ Mbit/s} + (3-1) \times 405.41 \text{ Mbit/s} = 2790.81 \text{ Mbit/s}$
单站均值速率	$3 \times 45.045 \text{ Mbit/s} = 135.14 \text{ Mbit/s}$	$3 \times 405.41 \text{ Mbit/s} = 1216.22 \text{ Mbit/s}$

注: 1. 因中国广电 5G 频谱资源未获得官方确认, 本估算数据仅供参考。

2. Xn 接口为 gNode B (DU+CU)和 gNode B (DU+CU)之间的参考点, 相应的 Xn 流量为 gNode B 之间的互通流量。

表 6 新建场景下的带宽估算优化模型应用举例 (单位: Gbit/s)

对比参数	网络层次	测算公式	场景		
			700 MHz	4.9 GHz	700 MHz+ 4.9 GHz
理论值	接入层	接入环带宽=单站峰值+ $(N-1) \times$ 单站均值	1.283 57	11.303	12.586 57
	汇聚层	汇聚环带宽=汇聚环站点数(M) $\times$ 单站均值 $\times$ 收敛比	9.730 08	87.552	97.282 08
优化值	接入层	接入环带宽=(单站峰值+ $(N-1) \times$ 单站均值) $\times$ 平均负载因子	0.385 071	3.390 9	3.775 971
	汇聚层	汇聚环带宽=汇聚环站点数(M) $\times$ 单站均值 $\times$ 收敛比 $\times$ 平均负载因子	2.919 024	26.265 6	29.184 624

表 7 现网扩容场景下带宽估算优化模型的应用举例

单接入环接入 5G 基站数量/个	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
承载带宽需求估算值/(Gbit $\cdot$ s $^{-1}$)	1.40	2.00	2.61	3.22	3.83	4.44	5.05	5.66	6.27	6.88	7.49	8.09	8.70	9.31	9.92

除了以上两种场景外, 带宽估算优化模型同样适用于共享的网络, 如 2019 年 9 月 9 日, 中国联通与中国电信关于共建共享 5G 网络达成一致,

双方各有 100 MHz 频谱, 共 200 MHz 频谱, 在承载回传带宽分析的过程中提出了细化场景的优化思路, 具体见表 8。

表 8 中国电信、中国联通共建共享承载回传带宽测算分析举例

场景	场景分类	负载率	回传带宽计算方案	计算过程
初期普通站点	共享载波	10%, 不考虑峰值	小区均值带宽 $\times$ 扇区数 $\times$ 10%	100 MHz NR TDD, 3 扇区单站带宽=1.3 Gbit/s $\times$ 3 $\times$ 10%=0.4 Gbit/s
	独立载波	10%, 不考虑峰值		200 MHz NR TDD, 3 扇区单站带宽=2.7 Gbit/s $\times$ 3 $\times$ 10%=0.8 Gbit/s
成熟期 Top 站点	共享载波	60%, 考虑峰值	小区峰值带宽 $\times$ 1+小区均值带宽 $\times$ (扇区数-1) $\times$ 60%	100 MHz NR TDD, 3 扇区单站带宽=2.7 Gbit/s $\times$ 1+ 1.3 Gbit/s $\times$ (3-1) $\times$ 60%=4.3 Gbit/s
	独立载波	60%, 考虑峰值		200 MHz NR TDD, 3 扇区单站带宽=5.4 Gbit/s $\times$ 1+ 2.7 Gbit/s $\times$ (3-1) $\times$ 60%=8.6 Gbit/s

5 结束语

5G 回传带宽将基于实时商业网络中的实际流量水平的测量进行动态调整。本文在原有的回传带宽估算模型的基础上,结合 4G 网络建设的经验,通过引入负载因子得到带宽估算优化模型,并结合实际案例展示了该优化模型的应用思路,供各运营商在 5G 初期规划、建设中参考。

参考文献:

- [1] IMT-2020(5G)推进组. 5G 承载需求白皮书[R]. 2018.
IMT-2020(5G). 5G bearer requirements white paper [R]. 2018.
- [2] NGMN. Guidelines for LTE backhaul traffic estimation[Z]. 2011.
- [3] 李俊杰, 唐建军. 5G 承载的挑战与技术方案探讨[J]. 中兴通讯技术, 2018, 24(1): 49-52.
LI J J, TANG J J. Discussion on 5G bearing challenges and technical solutions [J]. ZTE Communication Technology, 2018, 24(1): 49-52.
- [4] 赵春华. 5G 承载网的架构演进及带宽分析[J]. 电信科学, 2019, 35(2): 371-375.
ZHAO C H. Architecture evolution and bandwidth analysis of 5G bearer network[J]. Telecommunication Science, 2019, 35(2): 371-375.
- [5] 李光, 赵福川, 王延松. 5G 承载网的需求、架构和解决方案[J]. 中兴通讯技术, 2017, 10(5): 56-60.
LI G, ZHAO F C, WANG Y S. Demand, architecture and solution of 5G bearer network [J]. ZTE Technology, 2017, 10(5): 56-60.
- [6] 李聪. 5G 承载网架构及部署场景[J]. 移动通信, 2018(4): 17-24.
LI C. 5G bearer network architecture and deployment scenario[J]. Mobile Communication, 2018(4): 17-24.
- [7] 汤瑞, 赵俊峰. 5G 承载网络结构及技术分析[J]. 邮电设计技术, 2018(5): 1-4.
TANG R, ZHAO J F. Analysis of 5G bearing network structure and technology[J]. Post and Telecommunications Design Technology, 2018(5): 1-4.
- [8] 孙嘉琪, 李玉娟, 杨广铭, 等. 5G 承载网演进方案探讨[J]. 移动通信, 2018(1): 1-6.
SUN J Q, LI Y J, YANG G M, et al. Discussion on the evolution scheme of 5G bearer network [J]. Mobile Communication, 2018(1): 1-6.
- [9] 师严, 王光全, 王海军. 面向 5G 的承载网需求及关键技术[J]. 中兴通讯技术, 2018, 24(1): 17-20.
SHI Y, WANG G Q, WANG H J. Requirements and key technologies for 5G bearing network [J]. ZTE Communication Technology, 2018, 24(1): 17-20.
- [10] 潘永球. 面向 5G 中传和回传网络承载解决方案[J]. 移动通信, 2018(1): 54-57.
PAN Y Q. Solutions for 5G medium and return network bearer [J]. Mobile Communication, 2018(1): 54-57.

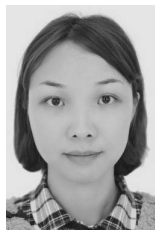
[作者简介]



叶杨 (1987-), 男, 广州杰赛科技股份有限公司工程师, 主要从事本地承载网规划设计、信息化行业咨询研究等工作。



方慧霆 (1977-), 男, 广州杰赛科技股份有限公司高级工程师、专业总工程师, 主要从事本地承载网规划设计、信息化行业咨询研究等工作。



聂丹彤 (1981-), 女, 中移互联网有限公司工程师, 主要从事网络安全及维护工作。