

5G 网络容量预测分析方法

5G Network Capacity Prediction and Analysis Method

曹艳霞(中国联通网络技术研究院,北京 100048)

Cao Yanxia(China Unicom Network Technology Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

提出一种5G NR系统容量分析预测的方法,通过该方法能够对系统容量进行合理预测分析,对未来网络建设和扩容提供容量分析依据。其基本过程是通过对LTE网络的网元统计量、城市维度、时间维度、区域维度、人群分布维度等大量数据进行分析,对系统容量相对于各项参考值的趋势关系进行建模,从而对未来系统容量进行预测。

关键词:

5G;容量;预测;大数据

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2019.07.006

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

文章编号:1007-3043(2019)07-0023-05

Abstract:

A method of capacity analysis and prediction for 5G NR system is proposed. By this method, the system capacity can be reasonably predicted and analyzed, which can provide capacity analysis basis for future network construction and expansion. The basic process is to model the trend relationship between the system capacity and the reference values by analyzing a large number of data such as network element statistics, urban dimension, time dimension, regional dimension, population distribution dimension of LTE network, so as to predict the future system capacity.

Keywords:

5G; Capacity; Predict; Big data

引用格式:曹艳霞. 5G网络容量预测分析方法[J]. 邮电设计技术, 2019(7): 23-27.

1 概述

5G网络能够提供高速率、超低时延、海量连接的增强型移动宽带服务,2019年是5G网络布局建设的一年,随着网络部署规划节奏加快,关于5G网络无线容量分析的研究也成为重要的研究课题。现有关于系统容量的评估方法,通常是基于业务模型和话务模型的抽象模型,或通过系统平均频谱效率分析获得,一般首先基于单业务模型,考虑业务数据经过各个传输协议层处理后到达物理传输层的实际速率需求,再结合空口平均吞吐量,从而获得单业务的用户容量;

然后依据用户的话务模型分布,即各种业务的分布比例等特征,从而获得综合业务的用户容量,这种传统的容量评估方法主要有以下缺点。

a) 基于业务模型和话务模型进行分析,业务模型和话务模型的准确性直接影响容量分析结果。目前各种移动应用业务在快速发展,其种类和数量远超已有的经验模型,经验模型无法准确反映实际的业务特征,因此现有容量评估方法的基础依据存在一定的不准确性和不完备性。

b) 现有的分析方法需要分析业务源数据包从应用层经过各个协议层的开销,各个协议层的处理过程在分析中通常只能简化建模分析,一方面准确性不高,另一方面该分析过程需要各种分段打包处理,分析过

收稿日期:2019-05-13

程过于繁琐复杂。

c) 该方法只适用于建网初期的网络容量模糊评估,无法对网络容量的发展进行有效的预测,对于网络扩容和未来网络升级不具备指导意义。

为了能够更合理简便预测评估5G NR系统的用户容量,本文将针对基于现网大数据的预测5G NR系统容量的方法进行研究。

2 容量预测方法

未来的5G NR系统普通用户基本由现网LTE网络用户升级,因此目前LTE用户的实际业务状态与未来5G NR系统中的业务存在一定的关联性和趋势性关系,可以利用现网大数据的分析结果,结合5G NR系统与LTE系统的频谱效率差异、带宽差异等,估算5G NR系统的用户容量。

基于大数据的容量分析基本过程是通过对LTE网络的网元统计量、城市维度、时间维度、区域维度、人群分布维度等大数据进行分析,对系统容量相对于各项参考值的趋势关系进行建模,从而对未来系统容量进行预测。流程如图1所示。

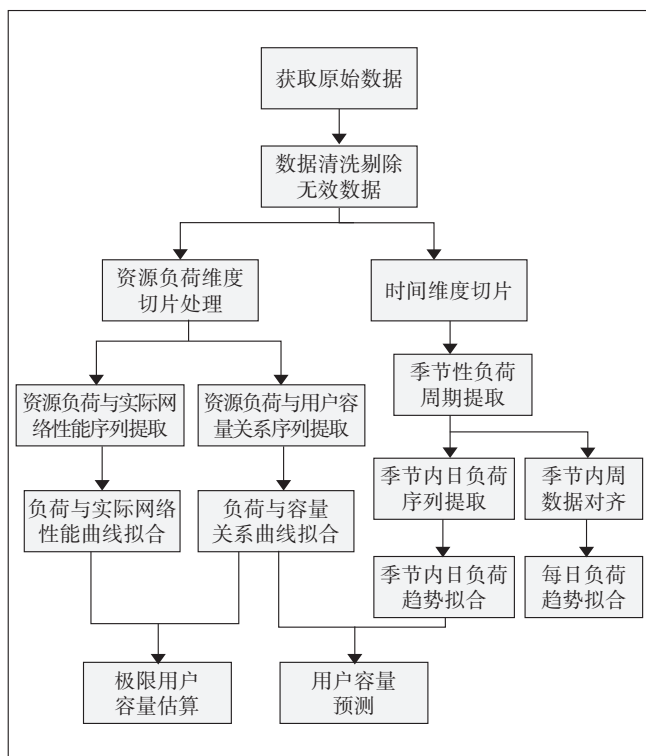


图1 5G网络容量预测流程

基于大数据的容量分析方法实施过程中关键步骤实施过程如下。

a) 获取原始数据:从实际运营网络中提取如下统计量:业务资源负荷(包括上行和下行)、控制资源负荷(包括上行和下行)、用户容量(RRC连接用户数)、网络性能指标(包括但不限于BLER、接通率、掉线率、切换成功率)。

b) 资源负荷维度切片处理:分别以上行业务资源负荷、下行业务资源负荷、上行控制资源负荷、下行控制资源负荷为统计维度,分别统计各个负荷强度下的相应指标(用户容量或网络性能指标)。例如以5%作为负荷强度颗粒度,分别统计各负荷水平所对应的用户容量或网络性能指标。

c) 资源负荷与用户容量关系序列提取:依据步骤b)的切片处理,每个负荷强度对应一个用户容量,各个负荷强度区间内有多组数据(负荷强度、用户容量),对各个负荷强度区间的用户容量(负荷强度、用户容量)数据进行数据平滑,数据平滑方法可采用取平均方法、概率中值方法等数学统计方法。经过处理后,每个负荷强度区间对应一组相应的数据(负荷强度、用户容量)代表该负荷区间的用户容量水平。

d) 负荷与容量关系曲线拟合:依据步骤c)提取的数据序列,将序列按照负荷强度从低到高或从高到低排序,采用数学拟合方法(例如最小二乘法)对序列进行拟合,从而得到用户容量相对于负荷强度的趋势关系曲线。

e) 资源负荷与实际网络性能关系序列提取:参考步骤c),将用户容量替换为实际网络性能指标量。

f) 负荷与实际网络性能关系曲线拟合:参考步骤d),将用户容量替换为实际网络性能指标量。

g) 极限用户容量估算:依据步骤f)拟合的负荷与实际网络性能关系曲线,确定实际网络中极限网络性能门限下的网络负荷,结合步骤d)拟合的负荷与用户容量的关系曲线,确定极限网络性能下的网络用户容量。对于未规模建网的通信系统,可依据现网的容量结合带宽比例、频谱效率比例等进行折算。

h) 时间维度切片:以时间为维度,分别统计每个时间段系统的资源负荷(包括上行业务资源负荷、下行业务资源负荷、上行控制资源负荷、下行控制资源负荷)。时间段的颗粒度以实际的网元统计时间颗粒度为依据,例如小时级颗粒度统计。

i) 季节性负荷周期提取:依据步骤h)的数据,对每日的负荷时间切片数据进行分析,从中提取出季节性周期规律。例如以各时间段负荷按照从高到低排

序,以前 n 个负荷水平的平均值作为该日的负荷代表值 ρ_i , n 典型的取值为 3 或 5, 当 n 取所有的时间段时, 即以该日的整体负荷均值作为该日的负荷代表值。将每日的负荷代表值按照时间顺序排序, 按照一定原则提取季节性负荷周期, 提取方法可采用下列方法之一:

(a) 通过观察日负荷曲线, 结合季节假日因素, 在变化趋势明显发生改变的地方分界, 各个分界点之间的时间段作为一个季节负荷性周期。

(b) 定义统计变量, 依据变量值进行分界:

以日负荷代表值 ρ_i 作为基础数据, 统计全年平均负荷 $M = \text{Mean}(\rho_i)$, 以自然周为单位统计周负荷均值 m_i , 以及周负荷均值的一阶差分比 $\delta_i = (m_{i+1} - m_i) / m_i$, 对 m_i 和 δ_i 做滑动窗平均, 滑动窗长为 N (默认取值为 4), 即:

$$M_i = \frac{\sum_{k=0}^{k < N} m_{i+k}}{N}$$

$$\sigma_i = \frac{\sum_{k=0}^{k < N} \delta_{i+k}}{N}$$

定义几种趋势转换状态, 其中参数 S 默认取值 3, ρ 默认取值 0.2, σ_{th} 默认取值 0.05。

- 连续 S 个 $M_i > M(1 + \rho)$, 且连续 S 个 $\sigma_i \geq \sigma_{th}$ 。
- 连续 S 个 $M_i < M(1 - \rho)$, 且连续 S 个 $\sigma_i < -\sigma_{th}$ 。
- 连续 S 个 $M(1 - \rho) \leq M_i \leq M(1 + \rho)$, 或连续 S 个 $-\sigma_{th} \leq \sigma_i \leq \sigma_{th}$ 。

当统计数据在以上 3 个状态间发生切换时, 记做趋势切换点, 各趋势切换点之间的时间段作为一个季节负荷性周期。

j) 季节内日负荷序列提取: 依据步骤 i) 分界的季节负荷周期, 分别提取各个季节负荷周期内的日负荷数据, 按时间排序形成序列。

k) 季节内日负荷趋势拟合: 基于步骤 j) 提取的数据序列进行曲线拟合, 拟合方法可采用最小二乘法。

1) 用户容量预测: 基于步骤 k) 拟合的负荷趋势, 对未来负荷进行预测, 每个季节负荷周期临界点的预测数据作为下一个季节负荷周期预测的起始点。根据预测的负荷, 结合拟合的负荷与容量关系曲线, 可对用户容量进行相应的预测。对于未规模建网的通信系统, 可依据现网的容量结合带宽比例、频谱效率比例等进行折算。

m) 季节内周数据对齐: 将一个季节负荷性周期对应的步骤 h) 提取的负荷数据, 按照周一至周日的顺序

分别截断, 各截断的每周数据按照周一至周日的顺序分别对应叠加取均值。

n) 每日负荷趋势拟合: 基于步骤 m) 处理的数据, 按照周一至周日的顺序, 分别拟合每天的负荷趋势曲线, 时间颗粒度与步骤 h) 数据颗粒度相同。

通过以上步骤, 不仅可以预测 5G NR 系统的用户容量, 还可以获得 5G NR 系统未来的用户容量随时间变化的规律, 对于日后 5G 网络的规划、扩容以及负荷均衡都有指导意义。

3 示例分析

依据某市 LTE 现网提供的数据分析做示例, 首先对业务资源利用率和用户容量进行分析。通过对业务资源利用率切片进行切片统计, 系统用户容量与资源利用率的关系如图 2 所示。

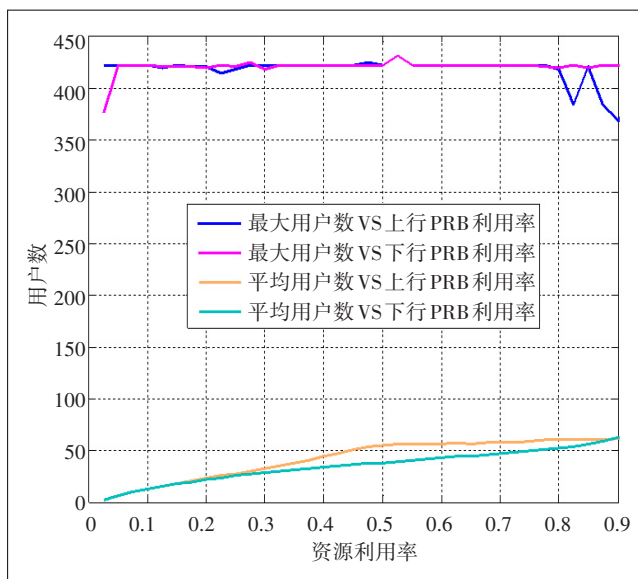


图2 LTE现网用户容量分析

从 LTE 网络统计的数据分析看, 目前 LTE 网络小区容纳的最大用户数为 420 个左右, 该用户容量是在系统硬件设备限制以及各种物理信道资源容量限制下的最大用户容量。LTE 网络小区在极限负荷 (90%) 状态下, 平均在线用户数为 60 个。该用户容量是实际网络在各种物理信道资源容量限制下的综合用户容量。采用 LTE 系统容量估算 5G NR 系统容量时, 需要考虑几个对容量有重要影响的因素, 包括系统带宽差异、子帧配置差异、频谱效率差异、硬件设备差异等。

首先从子帧配置差异上分析, 不同子帧配置影响不同, 可以采用业务资源符号数进行折算, 例如目前

5G NR关注的帧结构主要有图3至图6示出的几种。

根据每种子帧配置下上下行资源的符号数,对有

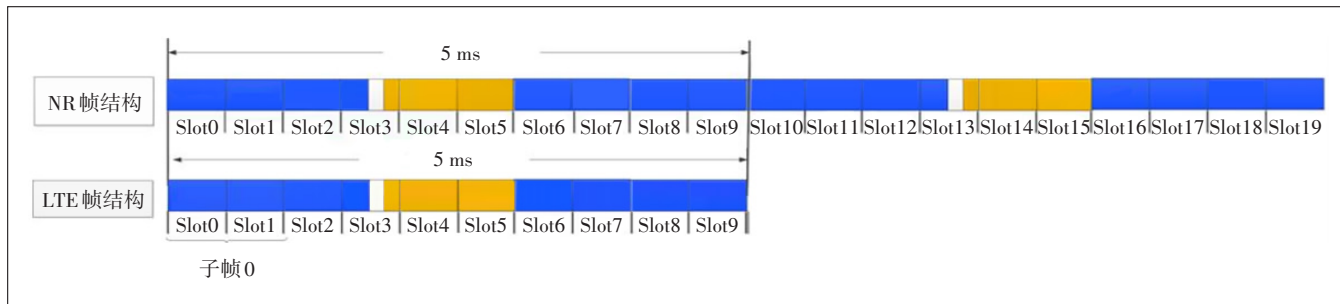


图3 帧结构1(S时隙D:S:U的比例为6:4:4)

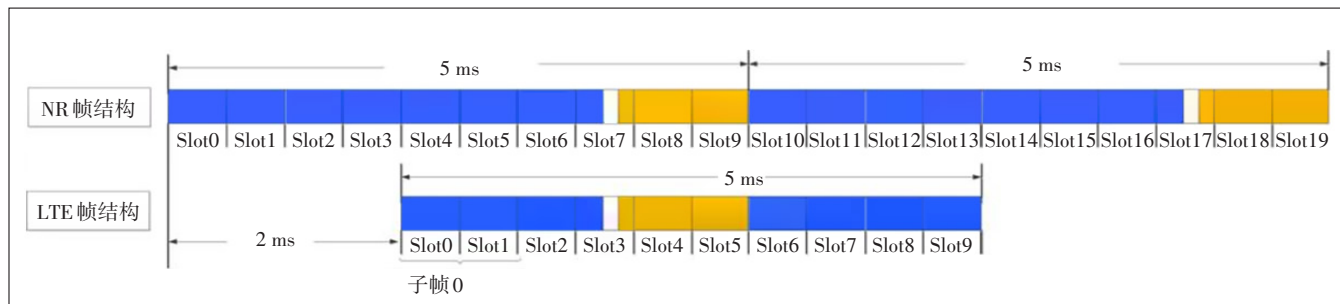


图4 帧结构2(S时隙D:S:U的比例为6:4:4)

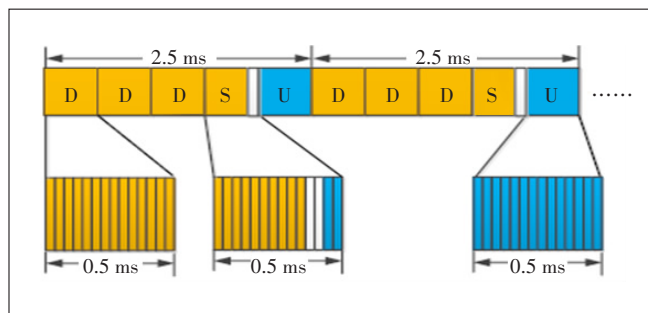


图5 帧结构3

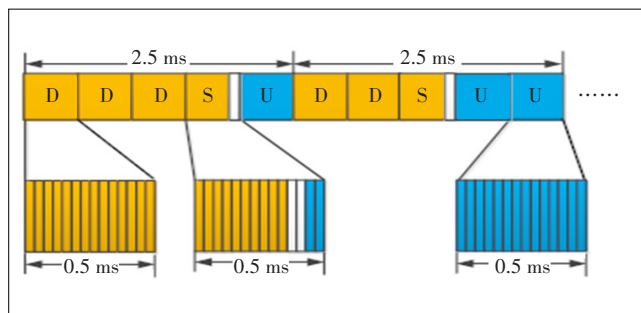


图6 帧结构4

LTE网络估算的NR系统容量进行折算。以下行控制域配置3个符号为例,下行资源符号数扣除控制域符号数估算;上行控制信道开销按照10%,上行资源符号数按照上行子帧符号数的90%比例折算,LTE与NR各种帧结构下每个无线帧业务资源符号数如表1所示。

上行和下行修正用户容量分别按照下式计算。

$$UserNum_{NR_UL}^i = \frac{UserNum_{LTE_UL} \times Symbol_{NR_UL}}{Symbol_{LTE_UL}}$$

表1 各种帧结构下每个无线帧业务资源符号数

	LTE	5G NR 帧结构	
		帧结构1、帧结构2、帧结构3	帧结构4
下行符号数	160	160	138
上行符号数	58	58	84

$$UserNum_{NR_DL}^i = \frac{UserNum_{LTE_DL} \times Symbol_{NR_DL}}{Symbol_{LTE_DL}}$$

然后从系统带宽和频谱效率差异上分析,NR系统带宽为LTE系统带宽的5倍,依据仿真经验,64天线NR系统的下行频谱效率约为LTE的3.6倍,上行频谱效率约为LTE的3.9倍。系统带宽和频谱效率的差异可以体现在用户容量上,也可以体现在用户速率体验上。建议用户体验和用户速率需求通过长期统计预测单用户平均速率需求的增长趋势,以判定在未来NR系统的用户速率需求相对于LTE用户速率需求的增长比例*n*(依据容量估算算法中的步骤i)、步骤j)、步骤k),将负荷替换为单用户平均吞吐量),依此估算NR系统上下行资源能够承载的用户容量,系统容量为两者取小。

$$\text{UserNum}_{\text{NR_UL}}^2 = \frac{\text{UserNum}_{\text{NR_UL}}^1 \times 5 \times h_{\text{NR上行业务}}}{n_{\text{UL}} \times h_{\text{LTE上行业务}}} = \frac{\text{UserNum}_{\text{NR_UL}}^1 \times 5 \times 3.9}{n_{\text{UL}}}$$

$$\text{UserNum}_{\text{NR_DL}}^2 = \frac{\text{UserNum}_{\text{NR_DL}}^1 \times 5 \times h_{\text{NR下行业务}}}{n_{\text{DL}} \times h_{\text{LTE下行业务}}} = \frac{\text{UserNum}_{\text{NR_DL}}^1 \times 5 \times 3.6}{n_{\text{DL}}}$$

依据现网采集的数据分析,采用均值法统计了1月和11月的用户每小时平均数据流量(见表2),可以看出用户数据量有明显提升,大概提升比例为50%,那么不妨设定业务量的年增长率为60%,预计2年后NR进入大规模商用阶段时,用户数据量和速率需求为目前的 $n_{\text{UL}}=n_{\text{DL}}=(1.6)^2=2.56$ 倍。

表2 某地LTE网络单用户每小时平均数据量

	上行单用户平均数据量/MB	下行单用户平均数据量/MB
1月份	4.48	46.5
11月份	6.50	72.4

依据示例中LTE现网采集数据分析推算,5G NR系统在极限负荷状态(90%)下系统平均的在线连接用户容量至少达422用户。

4 结束语

本文对5G NR网络容量的预测方法进行了研究,该方法基于LTE现网的数据分析统计实现,采用真实可信的现网数据,涵盖了实际发生的各种移动业务和话务分布情况,分析依据准确可靠;且该方法实施简单,仅需要对现网设备统计数据进行分析即可,不需要对数据源的协议处理流程进行分析,实施易操作处理。通过该方法能够对未来5G用户容量进行预测分析,对未来网络建设规划起到指导意义。

参考文献:

[1] 何剑,杨哲. TD-LTE网络规划原理与应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2013.
 [2] Physical channels and modulation; 3GPP TS 38.211[S/OL].[2019-01-17]. <https://www.3gpp.org/DynaReport/38-series.htm>.
 [3] 赵新亚,张诗淋. 5G移动通信发展趋势与若干关键技术研究[J]. 中国新通信,2016(1):56.
 [4] 秦飞,康绍丽. 融合、演进与创新的5G技术路[J]. 电信网技术,2013(9):11-15.
 [5] OSSEIRAN A, MONSERRAT J F, MARSCH P, et al. 5G Mobile and

Wire-less Communications Technology [M]. Cambridge University Press, 2016.
 [6] CAI Y, QIN Z, CUI F, et al. Modulation and Multiple Access for 5G Networks [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 20(1):629-646.
 [7] 李可才. 关于5G移动通信发展趋势与若干关键技术的探讨[J]. 电子技术与软件工程, 2016(16):39.
 [8] 尤肖虎,潘志文,高西奇,等. 5G移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国科学:信息科学, 2014(5):551-563.
 [9] 赵新亚,张诗淋. 5G移动通信发展趋势与若干关键技术研究[J]. 中国新通信, 2016(1):56.
 [10] 程日涛,张海涛,王乐. 5G无线网部署策略[J]. 电信科学, 2018(S1):1-8.
 [11] 付航. 一种基于大数据回归分析的LTE流量预测及扩容方法研究[J]. 中国新通信, 2019(4):50-54.
 [12] 高海,涛李威. TD-LTE网络极限容量分析[J]. 中国新通信, 2018(17):158-159, 162.
 [13] 罗忠威. 基于用户环境的室内FDD LTE容量测算模型[J]. 中国新通信, 2019(2):69-72.
 [14] LARSSON E G, EDFORS O, TUFVESSON F, et al. Massive MIMO for Next Generation Wireless Systems [J]. IEEE Communications-Magazine, 2013, 52(2):186-195.
 [15] NASSAR A M T, SULYMAN A I, ALSANIE A. Achievable RF coverage and system capacity using millimeter wave cellular technologies in 5G networks[C]// Electrical & Computer Engineering. 2014.
 [16] FRANK H. Capacity and Range Analysis of a Proposed 5G Wireless Network Solution [M]// Transactions on Engineering Technologies. Springer Singapore, 2016.
 [17] JIE Z, QI Z, XIN S, et al. An Improved Dynamic Clustering Algorithm Based on Uplink Capacity Analysis in Ultra-Dense Network System [J]. Science Technology & Engineering, 2017.
 [18] CHEN J, GE X, NI Q. Coverage and Handoff Analysis of 5G Fractal Small Cell Networks[J]. 2018.
 [19] MIN C, QIAN Y, HAO Y, et al. Data-Driven Computing and Caching in 5G Networks: Architecture and Delay Analysis[J]. IEEE Wireless Communications, 2018, 25(1):70-75.
 [20] BATALLA J M, MAVROMOUSTAKIS C X, MASTORAKIS G, et al. On the Track of 5G Radio Access Network for IoT Wireless Spectrum Sharing in Device Positioning Applications [M]// Internet of Things (IoT) in 5G Mobile Technologies. 2016.

作者简介:

曹艳霞,毕业于西安电子科技大学,高级工程师,硕士,主要从事5G组网技术研究、家庭互联网技术及视频业务研究工作。

