

基于排队论的视频业务接入模型研究

Research on Video Service Access Model Based on Queuing Theory

郑正广¹,赵明月²,许建新¹,袁 鹏¹(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司广东分公司,广东 广州 510627;2. 顺德第一中学,广东 佛山 528399)

Zheng Zhengguang¹,Zhao Mingyue²,Xu Jianxin¹,Yuan Peng¹(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Guangdong Branch,Guangzhou 510627,China;2. Shunde No.1 High School,Foshan 528399,China)

摘 要:

随着用户数及业务量的快速增长,网络资源利用率逐渐增大。高负荷小区下,由于视频业务的大量接入,将会影响视频下载速率、初始缓存时延和零卡顿占比等各项指标,从而导致感知体验恶化。以视频业务行为统计特征为基础,通过排队论对视频业务接入进行数学建模,并仿真分析不同频谱效率及业务体验速率下视频业务阻塞情况,为网络扩容提供数据支撑。

关键词:

排队论;视频业务;感知体验;仿真
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2019.01.011
中图分类号:TN929.5
文献标识码:A
文章编号:1007-3043(2019)01-0051-04

Abstract:

With the rapid growth of the number of users and the volume of data traffic, the utilization of network resources has gradually increased. In the high load cell, due to the massive access of video service, it will affect the video service indicators, such as download rate, initial cache delay and zero cotton ratio, which leads to the deterioration of perception experience. Based on the statistical characteristics of video business behavior, the mathematical modeling of video service access is formulated through queuing theory, and simulates the video traffic congestion under different spectrum efficiency and service experience rate, which provides data support for network expansion.

Keywords:

Queuing theory; Video service; Perceptual experience; Simulation

引用格式:郑正广,赵明月,许建新,等. 基于排队论的视频业务接入模型研究[J]. 邮电设计技术,2019(1):51-54.

0 引言

随着视频业务的发展和用户规模的增长,尤其是互联网号卡用户数的急剧增加,部分地(市)4G用户人均月使用流量已超过10 GB,数据业务的爆发式增长导致局部区域网络负荷日益增加,对网络承载性能带来了较大压力和挑战,如何保障用户视频感知体验,成为目前移动网络建设和维护必须思考的重要课题。

本文从移动网络视频业务的统计特性出发,通过视频业务感知体验指标的关系,建立排队论数学模

型,对视频业务接入阻塞情况进行分析。最后借助Matlab计算机软件仿真得到不同频谱效率和业务体验速率下视频业务阻塞性能,为后续无线网络的扩容提供数据支撑。

1 视频业务感知

由于4G网络上下行业务的不对称性,且下行数据流量远大于上行,因此在后续数据分析中仅以下行共享信道为参考标准。下行PRB利用率、RRC连接数及数据流量是小区网络侧的核心指标。下行PRB利用率定义为下行PRB占用数目与可用数目之比,与网络资源利用率有着直接的关系。RRC连接数则反映了

收稿日期:2018-12-04

小区驻留用户数,而数据流量则直接决定着频谱利用率。在实际网络中应平衡RRC连接数与PRB利用率之间的关系,从而达到系统网络资源的高效利用。

在移动网络中,通常会有大批用户接入服务小区,请求进行视频业务传输。由于小区信道容量是有限的,随着接入用户数的增加,PRB利用率随之增加。当网络负荷较大时,将会出现感知体验下降。

影响视频感知体验的因素较多,包括视频源质量、分辨率、终端设备、无线网络质量等,在用户方面主要体现在初始缓存时延和卡顿占比2个指标上。图1可以看出,初缓时延随着PRB利用率的增加而增加,而零卡顿占比则呈现下降趋势,尤其是PRB利用率大于50%之后,感知体验恶化更加明显。

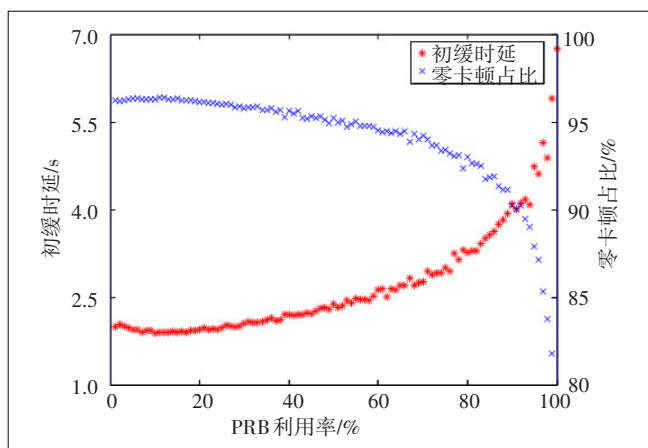


图1 视频初缓时延、零卡顿占比与PRB利用率之间的关系

2 业务排队模型

2.1 业务阻塞

假设小区频谱效率为 η bit/s/Hz,可用带宽为 B Hz,则信道容量为 $C=\eta B$ bit/s,业务体验速率为 v bit/s时,小区等效信道数目 s 为:

$$s = C/v = \eta B/v$$

在传统的语音共享信道中,当呼叫到达数目小于可用信道数,则可以继续接入,而当呼叫到达数等于可用信道数,则无法进行接入,意味着每个呼叫业务独享其中的某个信道。然而在数据共享信道中,遵循的是尽力而为服务原则,只要网络资源允许,那么调度器可以在牺牲已接入业务感知体验的前提下,接入更多的用户,如图2所示。当小区并发用户数小于有效信道数目时,所有视频业务均可以得到良好的感知体验。然而依据现有数据业务共享信道调度策略,当

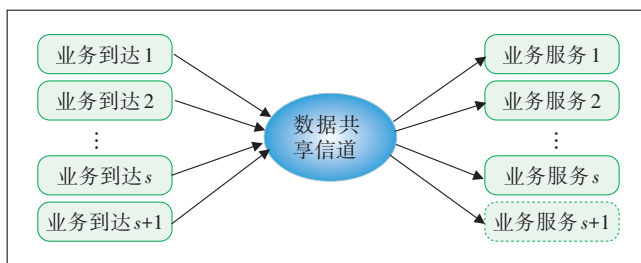


图2 数据共享信道接入模型

并发用户数大于有效信道数时,意味着小区信道容量不足,后来的视频业务仍然可以接入信道进行传输,轮询调度会使所有已接入视频业务的下载速率等比例下降,此时所有用户业务体验均无法得到满足,即出现业务阻塞。对于部分OTT视频则会依据自适应片源切换策略自动降低分辨率,否则将会导致播放画面出现损伤、卡顿、传输时延增大等现象。

基于上述讨论可知,业务阻塞因子 β 可定义为未得到满足的业务数与有效信道数之间的比值,即

$$\beta = (n - s)^+ / s$$

其中 n 为当前业务到达数, $(x)^+ = \max(0, x)$ 。

2.2 排队模型

为便于描述,记 $N(t)$ 为在时间区间 $[0, t)$ ($t > 0$)内视频业务请求次数。对单位时间内,小区视频业务请求次数进行统计分析,可知 $N(t)$ 并非定值,而是随机变量。该随机过程大致满足如下要求:

a) $N(0)=0$,在互不重叠的时间区间,视频业务请求次数相互独立。

b) $N(t)$ 为独立增量过程。

c) 在单个时间区间 t 内,视频业务请求次数与起始点无关,而与区间长度有关,服从参数 λ 泊松分布。

因此,可认为视频业务到达系统为泊松过程。

视频业务服务系统可看作一个排队系统,包含3个部分:到达过程、排队规则和服务机制,如图3所示。在进行视频业务接入优化处理时,作出如下假设:

a) 视频业务请求到达排队系统是随机的,且服从参数为 λ 的泊松流。

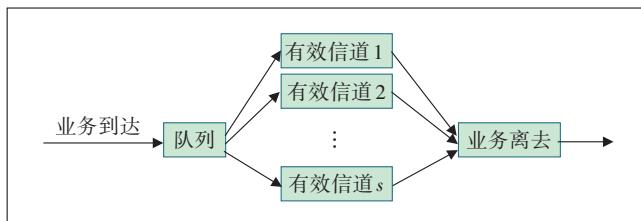


图3 业务接入排队系统

b) 排队系统存在 s 个等效信道服务台, 每一个服务台独立工作, 不同批次到达的视频业务请求, 遵循先到先服务 (FCFS——First Come First Server) 顺序。

c) 当并发用户数大于有效信道数时, 那么新到达的服务请求需要排队等候。

视频业务服务排队问题是一个典型的单队列多服务台排队系统, 可表示为 $M/M/s$ 模型。在该模型中, 业务到达过程服从泊松分布、业务请求所需的服务时间服从负指数分布。

设 $P_n = P(N(t) = n)$ 为排队系统达到平稳状态后队列长度为 n 的概率分布, μ 为单服务台在单位时间内服务完毕离去的视频业务次数, 则有系统到达率: $\lambda_n = \lambda$ ($n=0, 1, 2, \dots$) 和系统服务率:

$$\mu_n = \begin{cases} n\mu & n = 1, 2, 3, \dots, s \\ s\mu & n = s, s + 1, \dots \end{cases}$$

依据 $M/M/s$ 模型排队论可知, 系统状态间的转移过程满足如下关系式:

$$\begin{cases} \mu P_1 = \lambda P_0 \\ (n+1)\mu P_{n+1} + \lambda P_{n-1} = (\lambda + n\mu)P_n & n = 1, 2, \dots, s \\ s\mu P_{n+1} + \lambda P_{n-1} = (\lambda + s\mu)P_n & n = s + 1, s + 2, \dots \\ \sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1 \end{cases}$$

根据上述方程组, 可求解得到排队系统稳态概率分布 P_n , 为:

$$P_n = \begin{cases} \left[\sum_{k=0}^{s-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{1}{s!} \frac{\rho^s}{1-\rho_s} \right]^{-1} & n = 0 \\ \frac{\rho^n}{n!} P_0 & n = 1, 2, \dots, s \\ \frac{\rho^n}{s! s^{n-s}} P_0 & n = s + 1, s + 2, \dots \end{cases}$$

式中:

ρ_s ——排队系统服务强度, $\rho_s = \rho/s = \lambda/s\mu$, 当 $\rho_s < 1$ 时排队系统才不至于出现队列无限长情形

此时可得视频业务排队系统统计平均下的阻塞因子 β 为:

$$\beta = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(n-s)^+}{s} P_n = \frac{P_0 s^{s-1} \rho_s^{s+1}}{s!(1-\rho_s)^2}$$

3 阻塞分析

为了对视频业务接入排队系统阻塞情况进行有效评价, 采用 Matlab 计算机软件进行仿真, 有效信道数目分别为 4、5 和 6, 其结果如图 4 所示。可以看出,

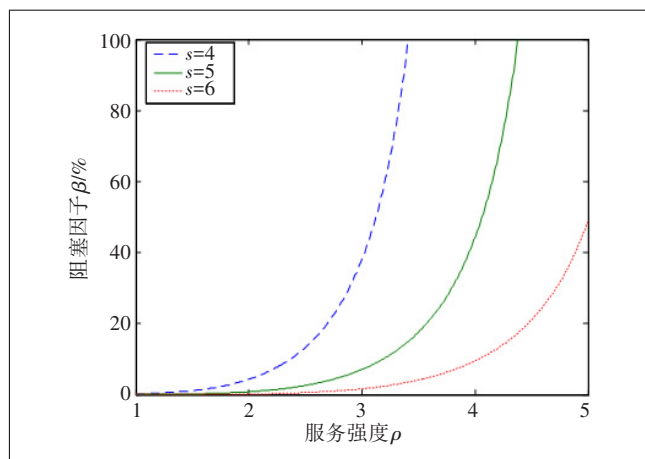


图4 阻塞因子仿真分析结果

在有效信道数目一定时, 阻塞因子随着服务强度增大而迅速升高。有效信道数目 $s=4$, $\rho=3$ 时, 阻塞因子为 38.2%, 而当 ρ 增大至 3.4 时, 阻塞因子为 97.6%。同时, 在业务到达率与离去率比值一定时, 随着有效信道数目增加, 阻塞因子不断下降。

对于用户而言, 总是希望业务阻塞因子越小越好, 此时需要增加有效信道数目, 即通过扩容或引入诸如高阶调制、MIMO 等技术提高系统容量, 而这些手段将无疑会增加运营商的资本支出, 降低利润。另一方面, 若是不对高负荷场景扩容, 则会造成用户感知体验下降, 影响运营商品牌声誉, 甚至导致用户离网, 营收降低。因此, 应结合小区实际业务量、用户数、所在场景等因素综合权衡, 有选择性地扩容, 使得投资效益最大化。

定义速率码率比为视频下载速率与平均码率之比, 提取南方某省带宽为 20 MHz 的 LTE FDD 网络小区级视频业务类指标数据。统计分析后发现随着下行 PRB 利用率的增大, 无论是视频下载速率还是速率码率比均呈现下降趋势, 如图 5 所示。PRB 利用率较高时, 表现为用户数较多, 主要发生在晚上忙时期间, 用户感知体验质量下降明显。

假设视频平均码率为 r_b , 以单次视频时长为 T h 计, 则单个等效信道可以传输的视频业务数为 $\mu = v(r_b T)$ 次/时。以某市热点小区忙时为例, 通过多次统计平均, 可知视频业务平均码率为 $r_b = 1.2$ Mbit/s, 请求次数服从参数为 $\lambda = 25$ 次/时的泊松分布, 视频业务平均时长为 0.5 h。可以看出, 当业务体验速率较高时, 对应的等效信道数将会减少, 阻塞因子总体呈现上升趋势(见表 1)。

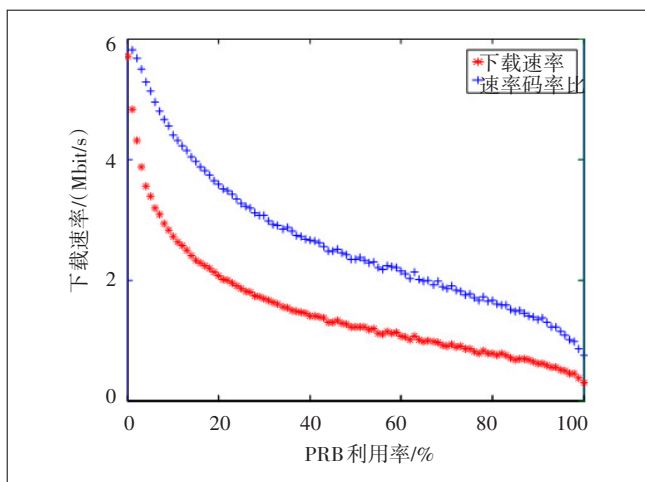


图5 下载速率及速率码率比与PRB利用率关系

表1 不同频谱效率及体验速率下视频业务阻塞表(单位:%)

频谱效率/ (bit/s/Hz)	业务体验速率/(Mbit/s)			
	1.0	1.2	1.3	1.4
0.8	68.44	162.51	177.33	307.69
1.0	2.41	5.90	5.64	6.08
1.2	0.15	0.29	0.55	0.54
1.4	0.01	0.03	0.04	0.05

通过给定视频业务感知指标如初始缓存时延、零卡顿占比等可映射得到视频业务体验速率,而后根据信噪比SINR、覆盖强度RSRP可得到相应的频谱效率,和业务到达情况,即可计算得到该小区下视频业务阻塞因子。

4 感知保障策略

对于阻塞因子较高的区域,主要在于该小区网络承载能力难以满足业务发展需求。为了更好地保障用户感知体验,即降低视频业务卡顿频次和初始缓存时延,可通过以下方法进行容量保障以增加系统容量,从而提高小区等效信道数。

4.1 网络优化

部分小区由于射频参数配置或负荷均衡等算法问题导致系统整体容量受限,此时可对射频参数进行优化,调整小区重选切换优先级及负荷均衡等。在射频端,通过改变参考信号功率或天线下倾角等可灵活实现小区覆盖范围的扩张或收缩,以达到控制驻留用户数的目的。对小区重选优先级和切换策略门限进行调整,同样可以达到负荷均衡的效果,尽可能将高负荷小区用户分流到低负荷小区,实现系统资源的有效利用。

4.2 小区分裂

在高负荷场景下,对于有条件的小区(如通过多小区合并组成的超级小区),可通过小区分裂的方式增加系统容量。

4.3 载频扩容

全省0.8%小区呈现高利用率、高用户及高流量特点,对此类小区可优先进行扩容。如针对LTE为1800 MHz且不存在G1800共站的物理站点,可依次进行带内新增1800 MHz、带间新增2100 MHz、带间新增2600 MHz 3个阶段扩容,从而满足小区未来业务发展需求。

4.4 4G+技术部署

除了载频扩容之外,还可以通过部署4G+技术(如载波聚合、高阶调制及大规模天线)提升小区传输速率和容量。借助三载波聚合和256QAM调制,可以实现下行500 Mbit/s的峰值速率,但需要智能终端支持高阶调制这一技术,且对信噪比具有较高要求。通过部署载波聚合技术,可显著增加单用户峰值速率和边缘用户平均速率,进而提升业务感知体验。

5 结论

4G用户尤其是互联网不限流量套餐规模的快速增长,给现有网络资源带来了较大挑战,高负荷小区数目日益增加,将会影响视频下载速率、初始缓存时延和卡顿占比等各项指标,从而导致感知体验恶化。基于此,以现网小区视频业务行为特征为基础,借助排队论对视频业务接入进行数学建模,并采用计算机仿真分析不同频谱效率及业务体验速率下视频业务阻塞情况,为网络容量保障提供数据支撑。

参考文献:

- [1] XU Q, SU Z, ZHAO Q, et al. QoE loss probability based game-theoretic approach for spectrum sharing in heterogeneous networks [C]// IEEE International Conference on Communications. IEEE, 2017: 1-6.
- [2] 邓秋玲, 韦新星. 泊松过程和排队论在银行排队问题中的研究[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2014, 27(1): 11-14.
- [3] DAIGLE J N. Queuing Theory for Telecommunications [M]. DBLP, 1992.

作者简介:

郑正广, 工程师, 硕士, 主要从事移动通信算法及大数据分析工作; 赵明月, 中级教师, 主要从事物理教学教研工作; 许建新, 工程师, 主要从事无线网络规划与设计工作; 袁鹏, 中讯邮电咨询设计院广东分公司总工程师, 高级工程师, 主要从事网络规划与设计工作。