



研究与开发

高校不限流量套餐下 LTE 网络扩容

王帅¹, 李毅^{1,2}, 陈茂林², 许桂芳³

(1. 湘潭大学, 湖南 湘潭 411105;

2. 湖南省邮电规划设计院有限公司, 湖南 长沙 410000;

3. 中国电信股份有限公司长沙分公司, 湖南 长沙 410000)

摘要: 不限流量套餐推出后, LTE 网络容量需求剧增, 高校学生用户的业务模型也随之变化。针对不限流量套餐推出前后高校用户业务流量变化, 通过大数据统计分析, 利用最小二乘法建模提出一种更契合流量变化的业务预测模型, 跟据此模型计算在网络保障速率下的容量需求, 从而指导高校网络扩容与规划。

关键词: 不限流量套餐; 流量预测模型; 容量需求; 扩容

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020020

LTE network expansion under unlimited traffic packages in colleges and universities

WANG Shuai¹, LI Yi^{1,2}, CHEN Maolin², XU Guifang³

1. Xiangtan University, Xiangtan 411105, China

2. Hunan Post and Telecommunications Planning and Design Institute Co., Ltd., Changsha 410000, China

3. Hunan Telecom Company Limited, Changsha 410000, China

Abstract: After the launch of the unlimited traffic package, the demand for LTE network capacity has increased dramatically, and the business model of college student users has also changed. Aiming to change the business traffic of college users before and after the launch of the unlimited traffic package, through the statistical analysis of big data, a business prediction model was proposed which was more suitable for traffic change by using least squares modeling, and the network guarantee rate based on this model was calculated. Capacity needs to guide university network expansion and planning.

Key words: unlimited traffic package, flow predictive model, capacity requirement, capacity expansion

1 引言

随着运营商不限流量套餐^[1]在高校的大范围推广, 用户的需求从低流量通信业务向着高流量

视频业务转变, 急剧的流量增长大量消耗网络资源使得校园用户感知明显下降^[2]。如何合理有效地配置 LTE 网络资源、适度扩容 LTE 网络以及提升用户业务感知是目前网络运营建设的痛点^[3]。



2 不限流量套餐下高校业务模型评估

2.1 不限流量后高校用户业务使用频次

不限流量后, 高校用户行为发生明显变化^[4], 主要体现在用户业务类型占比和不同业务请求次数发生巨大变化。本文将所有的 App 业务大致分为网页浏览、即时通信、社交、视频类和文件下载 5 类业务。通过对某省全省的高校不限流量套餐前后 4G 网络 DPI 数据分析发现, 在不限流量之后, 社交类、视频类和文件下载类 App 使用频次占比增加, 而即时通信和网页浏览类 App 使用频次明显降低。高校不限流量前后 App 使用频次占比如图 1 所示。

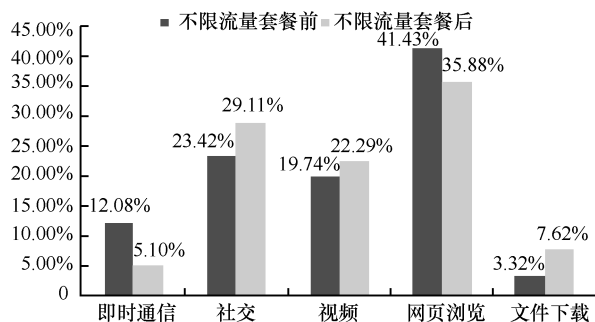


图1 高校不限流量前后业务使用频次变化图

2.2 不限流量后高校用户业务流量

通过某省全省的高校不限流量套餐前后 4G 网络 DPI 进行分析发现, 在不限流量之后, 视频类 App 业务流量占比暴增, 文件下载类 App 业务流量也有一定幅度增长, 其余 3 类 App 业务流量降低。高校热门 4G 的 App 业务流量变化如图 2 所示。

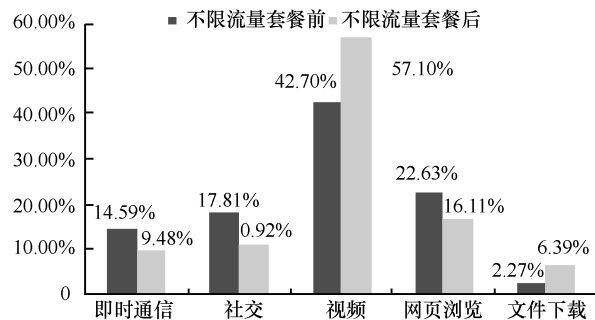


图2 高校不限流量前后业务流量变化图

根据不限流量套餐前后业务使用频次和流量分析可知, 随着不限流量套餐的推出, 用户习惯变化明显。视频类和文件下载类业务因为不限流量所以使用频次以及流量都在暴增, 而社交类业务使用频次虽然提升但是流量占比却下降, 因为目前不限流量, 所以用户更倾向于使用视频类通话。而即时通信与网页浏览类业务的使用频次和流量都减少。

2.3 不限流量后用户忙时业务流量预测模型

某省高校业务流量数据如图 3 所示, 呈离散化分布, 由大量数据分析可知流量与时间成正相关。高校业务类型种类繁多^[5], 运用最小二乘法可以最大限度地求得函数与实测值完美贴合。应用最小二乘法的原理对给定的一组数据赋值:

$$f(t) = m_1 t + m_2 t + \dots + m_n t \pm c \quad (0 \leq t \leq 24) \quad (1)$$

其中, $f(t)$ 为用户使用流量总值, m 为不同业务类型所占流量值, t 为时间。因为不同时间、不同事件(突发活动等)造成用户不同日期上网流量有所增减, 所以设修正系数为 c , 对模型进行修正调整, 以便更为贴合实际情况。在函数 $f(t)$ 中找到一个函数, 通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配, 利用最小二乘法使求得的数据与实际数据之间误差的平方和 L 最小^[6]。将式(1)中的 m 转换为向量 M : $M = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ 。设 L 为损失函数:

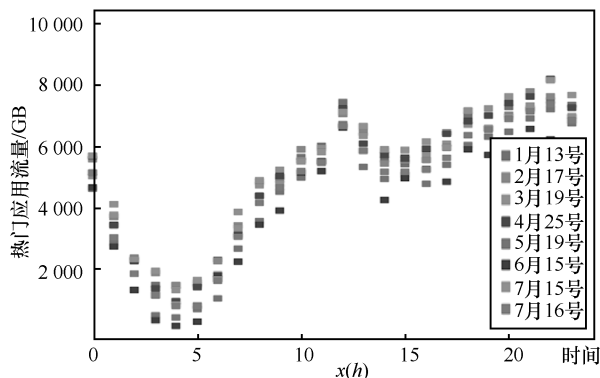


图3 不限流量后用户忙时业务流量离散图

$$L = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (f(t)_n - (Mt_n \pm c))^2 \quad (0 \leq t \leq 24) \quad (2)$$

当 L 最小时:

$$L_{\min} = \arg \min_M \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (f(t)_n - (Mt_n \pm c))^2 \quad (3)$$

对 c 求偏导:

$$\begin{aligned} L &= \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (c^2 - 2f(t)_n c + 2cMt_n) \\ &= c^2 + 2cM \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N t_n - 2c \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N f(t)_n \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial c} = 2c + 2M \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N t_n - \frac{2}{n} \sum_{n=1}^N f(t)_n \quad (5)$$

令 $\frac{\partial L}{\partial c} = 0$, 则:

$$c = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N f(t)_n - M \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N t_n \quad (6)$$

对 M 求偏导:

$$\begin{aligned} L &= \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (M^2 t_n^2 - 2f(t)_n Mt_n + 2cMt_n) \\ &= M^2 \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N t_n^2 + 2M \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N t_n (c - f(t)_n) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\partial L}{\partial M} = 2M \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N t_n^2 + \frac{2}{n} \sum_{n=1}^N t_n (c - f(t)_n) \quad (8)$$

令 $\frac{\partial L}{\partial M} = 0$, 则:

$$M = \frac{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^N t_n f(t)_n - \frac{1}{n} \sum_{n=1}^N f(t)_n}{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^N t_n^2} \quad (9)$$

再利用最小二乘法结合 Python 工具进行数据拟合, 在已知的离散点数据集里, 利用式 (6)、式 (9) 求得 M 和 c 的最小值, 使得 L 达到最小。当 L 最小时, 构造的解析函数的值与原离散点无限接近, 如图 4 所示。

由图 4 特性曲线可知, 用户平均每日晚上 19:00—22:00 业务流量处于超忙状态。截取该时间段

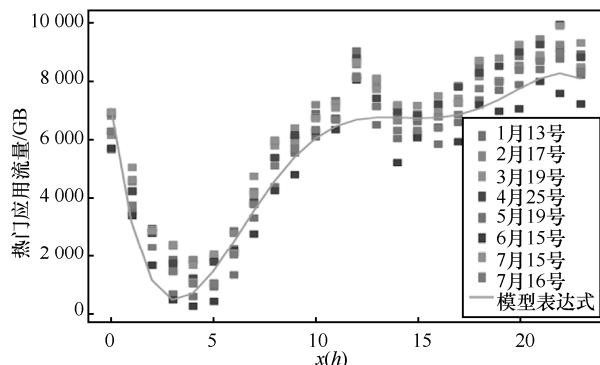


图4 不限流量后某天用户业务流量曲线图

数据, 并对 19:00—22:00 间 4 个整点时间点的流量变化进行量程变化拟合。运用 Python 里 polyfit 函数进行曲线拟合, 并测试这 4 个点的拟合数据值与实测数据值的贴合度, 见表 1。

表1 曲线拟合贴合度测量

比较项	1	2	3	4
拟合贴合度	90.81%	94.21%	98.3%	78.8%

从表 1 可知需对点 4 处曲线进行适当调整, 对点 1、2、3 进行微调。通过不断调整函数使曲线拟合度达到最优, 如图 5 所示, 并求得系数 m 和 c 的值, 得出不限流量后用户忙时业务流量预测模型。

$$m = 55.52t^2 - 3340t + 71400 \quad (10)$$

$$c = -487400 \pm 500 \quad (11)$$

$$f(t) = 55.52t^3 - 3340t^2 + 7.14e + 4t - 4.874e + 5 \quad (12)$$

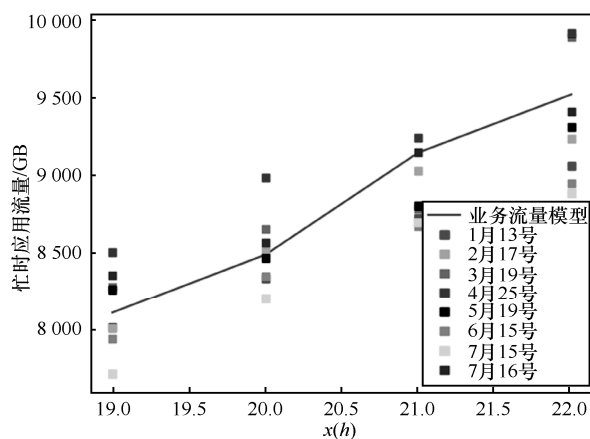


图5 不限流量后用户忙时业务流量曲线图



2.4 不限流量后用户忙时业务流量模型验证

通过式 (12) 计算得出了不限流量后用户忙时业务流量, 为了验证模型的准确性和普遍性, 运用大数据分析选取不限流量后不同月忙时流量数值与模型预测值进行对比验证, 模型与实际值误差率平均在 3.2%, 见表 2。不同月忙时流量曲线变化趋势与模型预测趋势对比如图 6 所示, 结果表明该模型与实际数据基本吻合。

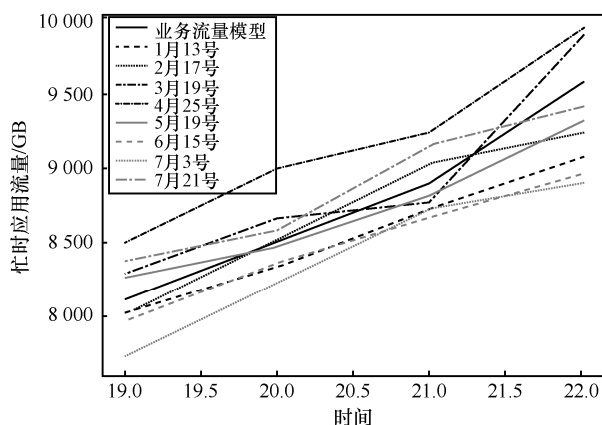


图6 模型验证图

3 扩容业务模型研究

3.1 业务保障速率模型

不限流量套餐的推广对于网络资源提出了巨大挑战, 为了保障用户感知, 需要对网络进行扩容^[7]。不同业务对资源的要求不同, 但校园用户

属性高度一致, 业务类型相对简单。当前校园 LTE 业务类型主要有: 网页浏览、即时通信、社交、视频类、文件下载 5 类, 不同业务类型的用户感知最低上下行速率要求基准见表 3^[8], 不限流量前后日均流量占比由大数据分析所得, 用户忙时流量占比通过上节中的预测流量模型得到。

根据不同业务类型用户感知达到优良的最低速率要求以及校园业务类型占比, 利用式 (13)^[9]推导出不限流量套餐前后校园用户日均上/下行体验保障速率要求和忙时上/下行体验保障速率要求, 具体见表 4。

单用户 (上/下行) 感知保障速率 = $\sum \{ \text{业务 } i \text{ (上/下行) 保障速率} \times \text{业务 } i \text{ 占比} \} \times \text{单用户忙时并发用户数 (} i \text{ 指业务类型)}$ ^[9]

(13)

由表 4 可知, 相较于用户日均速率保障需求, 忙时业务速率保障需求更高。目前运营商对小区基站配置都是直接选择平均速率保障需求进行设置, 造成用户在忙时感知差, 网络资源紧张等问题。所以本文建议采用忙时网络需求保障速率来配置小区基站资源, 能大幅度提高用户感知。基于现网业务占比模型, 建议用户业务流量下行保障速率为 2.3 Mbit/s, 上行为 0.41 Mbit/s。

3.2 单小区数据业务承载能力

在高校场景中, 由于不限流量套餐开通, 视频类 App 业务使用频次和业务流量的暴增引起突

表2 不限流量后忙时流量数值验证对比

时间	不限流量后用户业务忙时 预测流量/GB	不限流量后用户业务忙时 实际流量/GB	误差率	误差平均值
1月13日19:00	8 171.68	7 999.22	2.1%	3.2%
2月17日20:00	8 760	8 504.74	2.9%	
3月19日21:00	9 130.72	8 772.4	3.9%	
4月25日22:00	9 616.96	9 915.17	3.0%	
5月19日19:00	8 171.68	8 241.24	0.8%	
6月15日20:00	8 760	8 334.14	4.9%	
7月15日21:00	9 130.72	8 685.77	4.8%	
7月16日22:00	9 616.96	9 403.11	2.2%	

表3 不同业务用户感知上下行速率基准

业务类型	上行保障速率 基准/(Mbit·s ⁻¹)	下行保障速率 基准/(Mbit·s ⁻¹)	单用户忙时并 发用户数/人	不限流量套餐前业务 流量日均占比	不限流量套餐后业务 流量日均占比	不限流量套餐后业务 流量每日忙时占比
网页浏览	0.256	2	1.1	22.63%	16.11%	17.11%
即时通信	0.256	0.256		14.59%	9.48%	2.68%
社交	2	1.2		17.81%	10.92%	6.73%
视频	0.256	2		42.70%	57.10%	68.96%
文件下载	0.256	4		2.27%	6.39%	4.51%

表4 不限流量套餐后校园用户上下行保障速率

对比项	用户上行保障速率/(Mbit·s ⁻¹)	用户下行保障速率/(Mbit·s ⁻¹)
不限流量前用户业务流量	0.62	1.81
不限流量后用户日均业务流量	0.50	2.1
不限流量后用户忙时业务流量	0.41	2.3

发大流量^[10], 导致网络拥塞、无法接入, 需要扩容网络提高用户感知。首先分析单小区数据业务承载能力^[11], 进而测算网络质量, 以 LTE 2.1 GHz 小区为例进行分析^[12]。

3.2.1 理论计算

LTE 2.1 GHz 小区带宽 20 MHz, 可用 RB 为 100。使用双天线:

(1) 频域上 12 个子载波, 时域上一个子帧对应 14 个 Symbol, 得到每个子帧 RS 开销: $16/(12 \times 14) = 2/21$;

(2) PCFICH、PHICH 占用每个子帧的第一个 Symbol, PDCCH 通常占用每个子帧的前 3 个 Symbol, 考虑到和 RS 信号重复的部分, 得到 PCFICH、PHICH 和 PDCCH 的总开销: $(36-4)/168 = 4/21$;

(3) SCH 信号时域占用第 0 个和第 5 个子帧的第一个时隙的第 5 个和第 6 个 Symbol, 分别对应 SSS (从同步信号) 和 PSS (主同步信号)。频域占用中间的 6 个 RB, 从时域上的一帧及整个频率上考虑, 得到 SCH 的开销: $(2 \times 12 \times 2 \times 6)/(10 \times 12 \times 14 \times 100) \approx 0.17\%$;

(4) BCH 时域上占用第一个子帧的第 7、8、9、10 个 Symbol, 频率占用中间 6 个 RB, 得到 BCH 的开销: $(4 \times 12 - 4) \times 6/(12 \times 14 \times 100 \times 10) \approx 0.16\%$;

(5) 下行编码采用 64QAM, 因使用双天线, 所以天线阵列为 2×2 MIMO, 编码率为 1, 得到峰值速率: $100 \times 12 \times 14 \times (1 - 2/21 - 4/21 - 0.17\% - 0.16\%) \times 2 \times 6 \times 100 \approx 121$ Mbit/s;

(6) 上行编码采用 16QAM, 因使用双天线, 所以天线阵列为 2×2 MIMO, 编码率为 1, 得到峰值速率: $100 \times 12 \times 14 \times (1 - 2/21 - 4/21 - 0.17\% - 0.16\%) \times 1 \times 4 \times 100 \approx 47$ Mbit/s。

因此, LTE 2.1 GHz 单小区上下行数据业务承载能力分别为 47 Mbit/s 和 121 Mbit/s。

3.2.2 实测单小区极限容量

用户感知速率主要受占用的 PRB 利用率、网络业务量及用户数等因素影响。对网页浏览、即时通信、社交、视频类和文件下载 5 类业务单业务资源占用、单扇区极限承载能力和多业务感知的拐点进行实际测试, 测试参考结果见表 5。

根据每类业务保障用户业务感知的速率基



表5 实测单小区极限容纳用户数

业务类型	频段带宽	感知拐点	单小区极限容纳用户数	理论值误差对比
网页浏览	2.1 GHz (20 MHz)	首屏打开时延大于 5 s	61	0.8%
即时通信	2.1 GHz (20 MHz)	时延大于 5 s, 流畅或稍有时延	180	2.1%
社交	2.1 GHz (20 MHz)	时延大于 1 s, 稍有等待和时延	99	1.6%
视频	2.1 GHz (20 MHz)	用户播放阶段速率低于 2 Mbit/s (720P 保障码率为 1 376 kbit/s), 视频出现卡顿	61	0.8%
文件下载	2.1 GHz (20 MHz)	时延大于 5 s, 下载稍有时延	30	0.7%

准, 结合对单小区单业务的用户保障速率的极限容量测试, 可以发现实测值与理论计算值相差约 1.52%, 在实际过程中此误差可忽略不计。因此, 可采取上述 LTE 2.1 GHz 单小区上下行数据业务承载能力分别为 47 Mbit/s 和 121 Mbit/s 的理论值进行扩容。

4 某校区 FDD LTE 小区数估算

4.1 所需 FDD LTE 小区数估算

A 学校总计用户数 2 000 人, 网管观察最大激活用户比例为 60%, 所以校园最大激活用户为 1 200 人。由于不限流量套餐的大范围推广, 视频类 App 业务流量暴增, 相较于之前, 用户对于网络资源的需求越来越高, 所以扩容是当务之急。在无线蜂窝通信系统中, UE 发射功率有限, 相对基站发射功率较小, 一般上行受限, 所以本次测试重点考虑下行保障速率。根据日均业务流量需求和忙时业务流量需求预测模型结合用户保障速率和单小区数据业务承载能

力, 得出 A 学校日均和忙时容量估算及所需小区数, 详见表 6。

根据单小区所提供的最大用户激活数, 结合单用户下行保障速率、下行容量需求以及小区数据业务承载能力, 根据用户业务日均流量需求可得需要扩容小区数为 $21-17=4$ 个。根据忙时流量需求可得需要扩容的小区数为 $23-17=6$ 个。由此可知, 忙时业务流量预测模型预测得到的需要扩容的小区数比根据日均流量模型得到的需要扩容的小区数多, 正因为以前运营商设定小区时以日均业务流量进行需求配置, 所以造成许多小区被忽略, 用户上网资源紧张、感知差。但是根据用户业务忙时流量需求预测模型进行扩容后则能提升网络性能, 确保用户感知。

4.2 效果评估

4.2.1 流量提升

根据校园用户日均流量需求和忙时流量需求, 分别扩容 4 个小区与扩容 6 个小区。提取高校网管数据指标可知, 通过不限流量套餐前后对

表6 A 学校所需小区数

数据类型	不限流量套餐前需求	不限流量套餐后日均需求	不限流量套餐后忙时需求
校园用户最大激活数		1 200	
单用户下行保障速率/ (Mbit·s ⁻¹)	1.81	2.1	2.3
下行容量需求/ (Mbit·s ⁻¹)	2 172	2 520	2 760
FDD LTE 2.1 GHz 物理小区数据业务下行承载能力/ (Mbit·s ⁻¹)		121	
下行所需小区数/个	17	21	23

比,扩容后小区的日均流量增加 153 GB。而根据忙时流量需求扩容后,流量较小区日均流量增长 326 GB。由此可知,只考虑用户日均流量需求,造成许多小区忙时资源不够、用户感知差。通过本文提出的预测模型,根据用户业务忙时流量预测模型计算得出的小区需求进行扩容,得出日均流量明显上升,效果对比如图 7 所示。

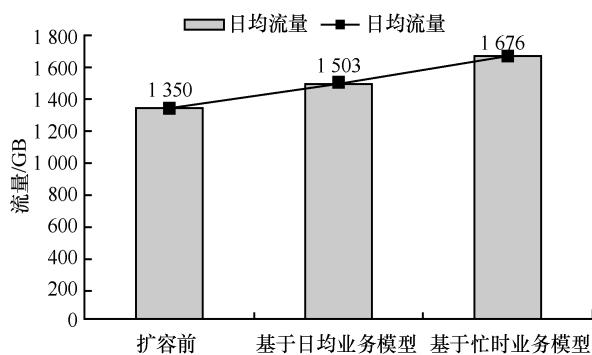


图 7 基于不同业务模型流量提升对比

4.2.2 下行用户体验速率提升

基于日均业务模型流量需求前后对比,扩容后用户体验速率提升了 1.72 Mbit/s。基于忙时业务模型流量需求前后对比,扩容后用户体验速率提升了 6.69 Mbit/s。提升效果对比如图 8 所示。

4.2.3 用户业务感知提升

提取业务感知指标对比,基于日均业务流量模型和忙时业务流量模型分析得到,网页打开优良比、即时通信优良比和视频优良比都得到了提升,其中即时通信优良比提升效果最为明显,如图 9 所示。

5 结束语

本文针对不限流量套餐推广前后高校用户的业务日均需求和忙时需求进行分析,使用最小二乘法建模提出一种新型的用户忙时业务流量需求

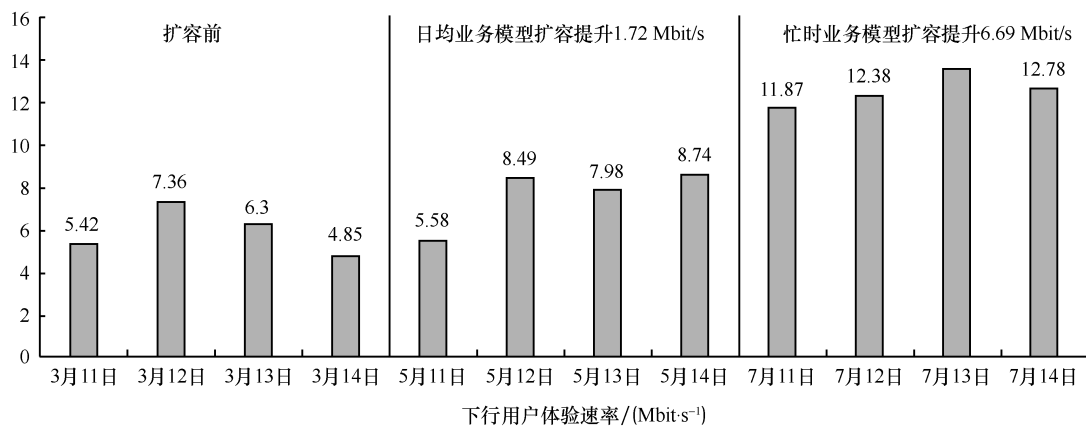


图 8 基于不同业务模型下行用户体验速率提升对比

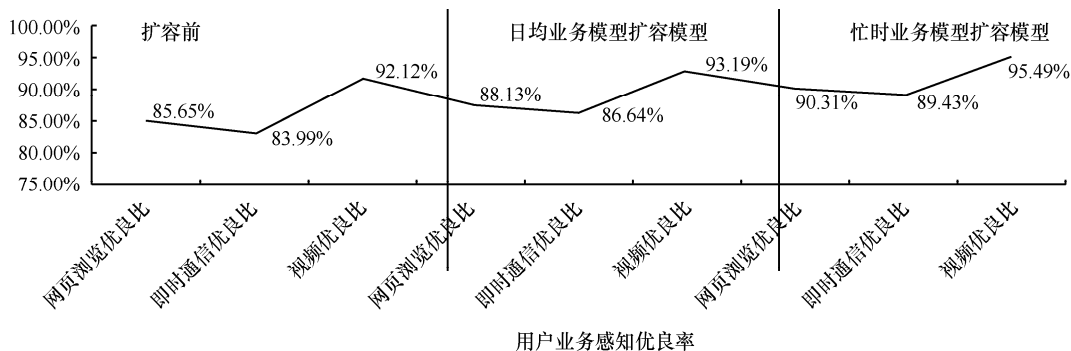


图 9 扩容后用户体验感知对比



预测模型, 该模型能够精准预测高校不同场景下网络忙时流量需求, 据此推算出网络需要扩容小区数, 提升用户感知。对高校不同场景的扩容及规划建设具有一定的指导作用。

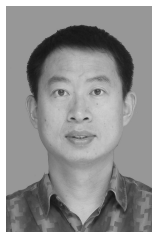
参考文献:

- [1] SAMA M R, SAID S B H, GUILLOUARD K, et al. Enabling network programmability in LTE/EPC architecture using OpenFlow[C]// 2014 12th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt), May 12-15, 2014, Hammamet, Tunisia. Piscataway: IEEE Press, 2014.
- [2] 龙青良, 张磊. 基于用户感知的 LTE 网络优化关键问题研究[J]. 邮电设计技术, 2014(10): 14-20.
LONG Q N, ZHANG L. Research on the key issues of LTE network optimization based on the user-perceptive quality[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2014 (10): 14-20.
- [3] 汤劲松, 蔡韵, 王晓亮, 等. 电信运营商大数据基础能力建设与实践[J]. 电信科学, 2018, 34(1): 158-165.
TANG J S, CAI Y, WANG X L, et al. Construction and practice of big data fundamental ability for telecom operators[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(1): 158-165.
- [4] 皮立儒, 田元兵, 谷磊, 等. 基于用户感知及行为分析的 LTE 无线网络规划方法探讨[J]. 邮电设计技术, 2014(10): 26-31.
PI L R, TIAN Y B, GU L, et al. Discussion on LTE wireless network planning methods based on user perception and behavior analysis[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2014(10): 26-31.
- [5] 张云勇. 电信运营商大数据发展建议[J]. 电信科学, 2018, 34(1): 103-108.
ZHANG Y Y. Suggestions for telecom operators' big data development [J]. Telecommunications Science, 2018, 34(1): 103-108.
- [6] 田垅, 刘宗田. 最小二乘法分段直线拟合[J]. 计算机科学, 2012, 39(6A): 482-484.
TIAN L, LIU Z T. Least-squares method piecewise linear fitting[J]. Computer Science, 2012, 39(6A): 482-484.
- [7] MOGENSEN P, NA W, KOVÁCS I Z, et al. LTE capacity compared to the shannon bound[C]// IEEE Vehicular Technology Conference, April 22-25, 2017, Dublin, Ireland. Piscataway: IEEE Press, 2007.
- [8] 聂茜影. NSN 大幅提升 LTE 上行链路下行链路数据速率[J]. 邮电设计技术, 2014(1): 14.
NIE Q Y. NSN significantly improves the data rate of LTE uplink and downlink[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2014(1): 14.
- [9] 刘磊. LTE 系统容量规划方法探讨[J]. 邮电设计技术, 2014(12): 6-10.
LIU L. Discussion on LTE system capacity planning method[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2014(12): 6-10.
- [10] BROWN J, KHAN J Y. Performance analysis of an LTE TDD based smart grid communications network for uplink biased traffic[C]// Globecom Workshops, Dec 3-7, 2012, Anaheim, CA, USA. Piscataway: IEEE Press, 2012.
- [11] 郑有强, 徐兆吉. TD-LTE 业务承载能力及应用分析[J]. 移动通信, 2010, 34(5): 54-57.
ZHENG Y Q, XU Z J. TD-LTE service carrying capacity and application analysis[J]. Mobile Communications, 2010, 34(5): 54-57.
- [12] 徐景, 胡宏林, 周婷. 3GPP LTE 标准化进展[J]. 中兴通讯技术, 2007, 13(2): 9-12.
XU J, HU H L, ZHOU T. Progress of 3GPP LTE Standardization[J]. ZTE Communications, 2007, 13(2): 9-12.

[作者简介]



王帅 (1994—), 女, 湘潭大学信息与工程学院硕士生, 主要研究方向为无线网络优化。



李毅 (1975—), 男, 博士, 湘潭大学硕士生导师, 湖南省邮电规划设计院有限公司副总工程师、高级工程师, 主要研究方向为移动通信网络规划优化。



陈茂林 (1989—), 男, 湖南省邮电规划设计院有限公司工程师、区域经理, 主要研究方向为无线通信与网络优化。



许桂芳 (1969—), 男, 中国电信股份有限公司长沙分公司无线维护中心主任, 长期从事移动通信、无线网络优化与无线网络规划方面的工作。