



以用户为中心的智能化网络运营服务方法

李凯¹, 刘伟¹, 罗贵阳², 李静林²

(1. 中国电信股份有限公司北京研究院, 北京 102209;

2. 北京邮电大学, 北京 100876)

摘要: 多种新型业务的迅猛发展, 对移动通信系统的用户个性化业务保障能力提出了更高的要求。传统的智能管道运营仅考虑网络当前的流量状态、承载绑定数量等信息, 并未考虑到无线用户的使用需求和特点。同时, 由于无线网络的指标多、指标间相关性复杂, 且不同用户需求对无线网络指标有不同要求, 使用基于规则的方式已经无法应对。因此提出一种以用户为中心的智能化网络运营服务方法, 通过学习用户 QoS 保障需求与无线网络指标态势的相关性, 构建基于用户需求与无线网络状态的联合服务保障架构, 同时还提出了一种基于机器学习与深度学习的智能化网络服务保障方法, 并在真实数据上验证了其有效性。

关键词: 智能化网络运营; 智能管道; 资源分配控制

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020024

Customer-centered mobile network intelligent operation approach

LI Kai¹, LIU Wei¹, LUO Guiyang², LI Jinglin²

1. China Telecom Beijing Research Institute, Beijing 102209, China

2. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

Abstract: The rapid development of new types of services places greater demands on support ability of the personalized service in mobile communication systems. Traditional intelligent pipe carriers only consider limited factors such as current traffic status of the network and number of loading binding quantity, indicating that they don't take account of the demands and features of wireless customers. Meanwhile, the rule-based method is overwhelmed due to numerous metrics of the wireless network, the complicated correlation among them and heterogeneous requirements of metrics from various users. Therefore, a user-centric intelligent network operation service was proposed, which utilized machine learning and deep learning method. The service had the ability to learn the correlation between user QoS guarantee requirements and wireless network metric status to construct a joint support architecture based on user requirements and wireless network status. The validity of the method on real data was verified.

Key words: intelligent operation, intelligent pipe, resource allocation control

收稿日期: 2019-07-15; 修回日期: 2020-02-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61472338)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No.61472338)



1 引言

随着信息社会的发展,层出不穷的手机新应用、新业务、用户新体验,对移动通信系统有着更苛刻的要求。各种不同的应用,比如虚拟现实、物联网、无人驾驶以及工业自动化,对移动通信网络的速率、容量、时延、可靠性、移动性的要求差异巨大。同时,移动通信网变得越来越复杂:无线网络存在载波聚合、多天线系统、波束成形等多种技术,网络资源亦存在时域、频域、空域、能量域等多种维度。用户业务需求的多样性和移动通信系统的复杂性,给用户的服务资源分配带来了新的挑战。

传统的资源分配方式是根据经验以及相关领域的知识来调度资源。如运营商提出的网络智能管道、3GPP 提出的自组织网络(self-organizing network, SON)等,分别针对网络流量识别和调度、无线小区自动配置、自动邻区关系、负载均衡和覆盖优化等进行自动调整 and 适应。但是由于移动通信系统的复杂性以及业务多样性,传统的网络智能管道和 SON 都是被动的基于网络状态进行资源调度的,不能有效地学习用户行为需求与网络负载规律的相关性^[1-2]。

由于业务的复杂性,网络自身难以准确认知业务流类型,如实时对战游戏的业务流与棋牌类游戏的业务流,虽然都是游戏类,但有着根本不同的用户体验。因此,智能管道和 SON 必须与用户需求相结合,准确认知用户的 QoS 需求。同时,网络的负载是随着网络支撑的用户数量、用户的运动规律、用户的业务使用状态等随时变化的。这些状态反映到网络中,就是各种无线网络指标的动态变化特征。随着云计算的发展和普及,人们有足够的计算能力和存储能力来分析基站以及终端用户产生的大量数据。但是由于用户、业务、网络之间的复杂耦合关系,传统的统计学习方式难以应对,导致对网络资源的调度和管控策略与

用户的实际需求失衡,无法真正保障用户的 QoS 需求。得益于大数据、机器学习、深度学习技术的飞速发展,可以充分发挥运营商网络大数据的优势,利用人工智能(artificial intelligence, AI)技术对基站、用户、业务环境进行充分认知,发现用户行为和网络负载与资源状态变化的规律及相关性,并根据认知结果控制与调度网络资源,从而将传统的被动调控与滞后的控制决策转变为主动适应与超前调配,更好地提高资源利用率,满足用户的 QoS 需求。

2 智能化网络运营服务

2.1 智能管道网络逻辑架构

传统智能管道使用策略和计费规则功能(policy and charging rules function, PCRF)进行管控策略的制定,并通过 Gx 接口将管控策略下发到策略和计费执行功能(policy and charging enforcement function, PCEF)上,完成对 PGW(packet data network gateway)等网元的控制,使用承载绑定与事件上报功能(bearer binding and event report function, BBERF)实时对 IP 网络进行流量的监测,并上报网络事件^[3-5]。

由于业务的复杂多样,网络自身无法对数据流进行全面的识别,也无法简单通过预定义策略进行 QoS 调整。同时考虑到对用户业务 QoS 能力的需求响应,3GPP R13 中增加服务能力开放功能(service capability exposure function, SCEF),用于对外部的业务能力服务器(services capability server, SCS)或应用服务器(application server, AS)开放智能管道的控制能力。通过流量监测功能(traffic detection function, TDF)对应用自定义的业务数据流进行开始/结束等的检测^[6]。在 3GPP R14 中,进一步引入了数据流描述功能(packet flow description function, PFDF),存储与应用标识关联的数据流描述符(packet flow description, PFD),通过 Gw 和 Gwn 接口传输到 PCEF/TDF,用以在

第三方 SP 管理 PFD 的情况下,使能 PCEF/TDF 进行应用检测。3GPP 的智能管道体系及本文提出的智能化网络运营服务方案如图 1 所示。

2.2 智能管道逻辑架构的局限

虽然 SCEF 通过北向 T8 接口的 JSON/XML 形态的用户友好的接口,屏蔽了南向 Nt 接口的 Diameter 协议,保证了在网络安全条件下暴露服务能力。但是 SCEF 对第三方业务的 QoS 需求的服务能力仍然受到很大的局限,主要体现在 QoS 需求的表现能力和 QoS 需求相关的数据流检测能力上。

即便在 3GPP R16 中, Nt 接口的服务能力仍然仅限于建议的 QoS 保障的时间窗口与相关条件,且 SCEF 仅限于在 SCS/AS 与 PCRF 之间进行接口能力的翻译,而并不能进行辅助的需求映射。同样地,用于与应用标识关联的数据流描述符 PFD 仅能存储以下几种信息: PFD 标识,一个协议、服务端 IP 地址和端口的三元组,一个与 URL 相关的关键字(如 host),一个域名(domain name)。即 SCEF 仅能通过 Nu 接口向 PCRF 设置 SCS/AS 的协议类型、域名或服务地址和端口,并通过 TDF/PCEF 对流向指定域名或服务器的数据流进行检测^[7-9]。

由于互联网服务的多样性,用户 QoS 需求也复杂多变,这种简单的以 IP 地址端口或域名为单位的服务质量管理显然无法满足需求。例如,游戏服务的集群化必然使得终端用户与游戏服务器的连接是不确定的,而游戏的多元化又必然造成无法用一个固定域名将终端与服务端的数据流分割开来。同时,由于无线网络的资源受限,第三方应用的 QoS 需求并不是毫无条件保障的,网络对应用的 QoS 响应能力需要综合考虑网络当前的状态和运行规律。由于 PCRF 是以网络能力为中心的规则引擎,而不是以应用服务为中心的服务引擎,因此对用户的 QoS 服务请求需要在 SCEF 进行评判,并在进入 PCRF 之前,对不适应网络状态的 QoS 服务请求进行响应,避免恶意的、无法满足的 QoS 服务请求对网络的影响。

2.3 智能化网络运营服务方案

考虑到智能管道逻辑架构的局限,提出一种新的智能化网络运营服务方案,其核心点如下。

- 扩展 SCEF 服务能力,增加基于网络态势认知的需求接纳决策(access decision)功能,同时扩展 T8 和 Nt、Nu 接口,使之能够支持扩展的用户 QoS 需求。新增的接口

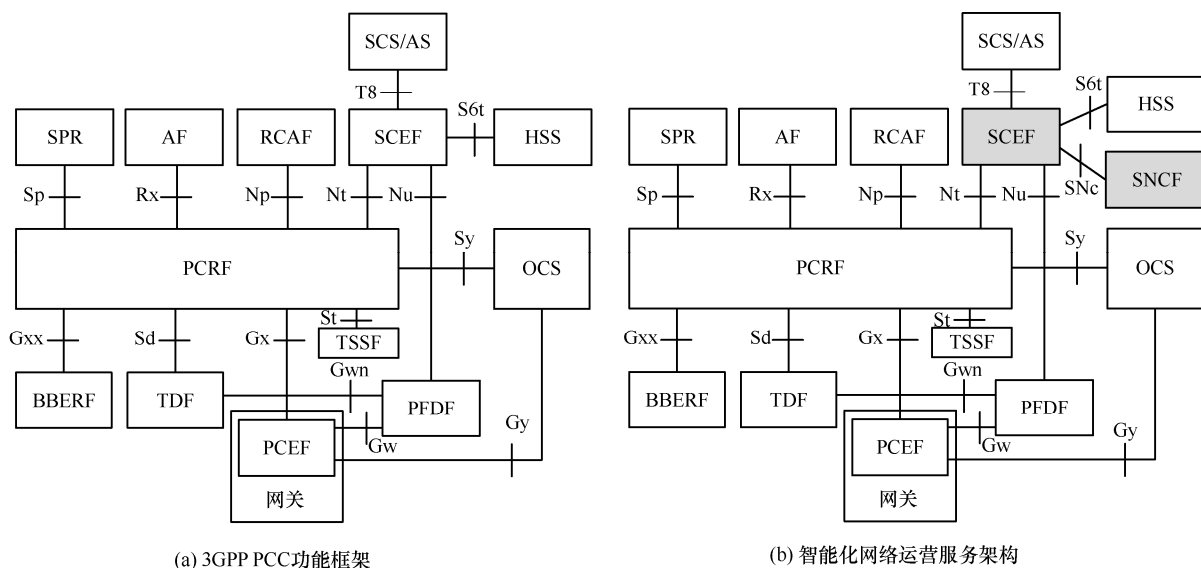


图1 3GPP 智能管道体系及本文提出的智能化网络运营服务方案



能力包括：根据业务签约的用户标识设置 QoS 的服务质量等级、服务时间等。新增的需求接纳决策功能则根据 QoS 需求及网络当前态势进行综合判断，根据网络对应用 QoS 需求的支撑能力或 QoS 需求对网络状态的影响，决策是接受还是拒绝应用的 QoS 请求。如根据 QoS 请求输入的用户标识，获取用户当前所在的基站，通过对基站资源态势的认知判定基站资源是否能够支撑应用的 QoS 需求，或应用的 QoS 需求是否会恶化基站当前负载状态，导致影响其他用户，并最终综合决策是否接纳应用的 QoS 请求。

- 增加服务网络认知功能（service-network cognitive function, SNCF）。该功能用于支持 SCEF 新增的网络态势认知决策功能，在 SCS 或 AS 发起 QoS 服务请求的时候，对 QoS 需求影响的网络服务质量进行态势分析与评价。
- SNCF 基于对移动通信系统的配置数据、网元设备的信令消息以及 QoS 数据来认知网络态势。当 SCS 或 AS 发起新的 QoS 请求时，SNCF 学习的模型或者规律会对态势进行分析与评价，从而采取最优的决策。因此，SNCF 的主要功能包括感知（根据基站的数据来感知用户、环境以及通信系统）、认知（提取知识、学习用户的行为需求、学习网络的负载规律）、决策（根据学习到的知识以及规律来对网络进行智能化管控）3 部分，功能定义如下。

（1）感知

SNCF 所能获得的网络数据分组包括三大类：无线网络指标数据（含 KPI、MR 数据等）、SCEF 记录的用户业务调用 CDR 数据及用户体验数据（含无线网络自身进行的网络服务质量测量 KQI 数据和业务应用反馈的 QoS 测量数据）。其中，

无线网络指标数据是网络自身生成的网络运行状态指标数据，能够准确反映出无线网络各设备的工作状态，并从中体现出无线网络负载状态。用户 CDR 数据是 SNCF 对外开放的用户服务质量请求接口的调用记录，其中包含了业务的类型、调用时间、影响的基站及持续时间等业务相关信息。而用户体验数据则是在用户业务请求过程中进行的网络服务质量的测量结果，或用户业务的端到端直观体验结果，包括服务请求的分组丢失、时延、抖动等各种服务质量性能指标。SNCF 将通过对这些数据的挖掘分析，感知无线网络设备运行状态、负荷状态及用户业务需求。

（2）认知

无线网络的负载与网络自身的配置、覆盖范围内的用户数量及业务使用状态相关。LTE 基站根据数据分组的大小以及接入信道的质量（接入环境）来决定分配的频谱资源、空间资源等。由于总的无线资源是受限的，当基站覆盖范围内的资源较为紧张时，用户的服务质量保障请求能够提升特定业务类型的资源抢占能力，但同时也会影响其他用户的业务质量体验。因此，SNCF 需认知无线网络的负载变化规律及与用户服务质量需求的相关性，从而判定用户的服务质量请求对无线网络负载的影响，以支持接纳决策。

（3）决策

基于认知的网络负载规律，根据业务需求执行资源分配决策。如根据无线网络负载态势判定特定基站能够接纳何种业务需求的用户，或基于无线网络负载态势判定用户特定业务的 QoS 调整需求是否可被接受。通过 SCEF 服务能力，将网络服务质量的动态调整能力开放给第三方业务，从而使得用户的业务应用可以根据自身业务特点和需求，选择自身所需的服务质量等级，以最大化网络资源利用效率。

以用户为中心的智能化网络运营服务处理流程如图 2 所示。

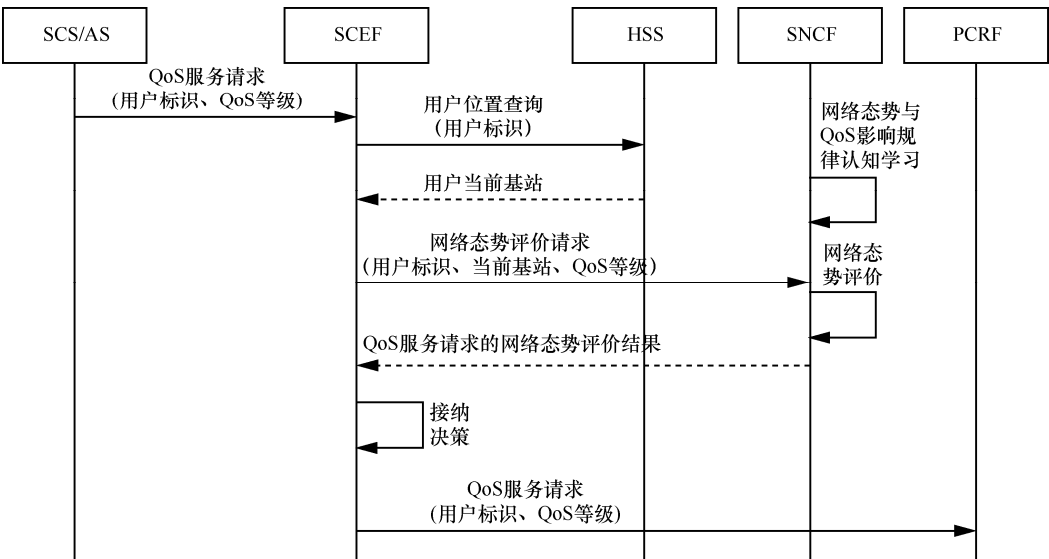


图2 智能化网络运营服务处理流程

3 基于网络态势认知的 QoS 支撑能力评价

在服务网络认知功能中，可通过对用户行为需求以及网络负载状态的认知，建立起网络负载状态与用户需求的关联规律，并用来评价用户所需的 QoS 等级在当前的网络负载条件下是否能够被支撑，从而提高网络服务质量以及用户满意度。

3.1 移动通信网负载特征分析

移动通信网的无线网络性能指标主要包括 KPI、KQI 及 MR，分别记录了网元关键指标、网元用户体验指标及基站测量报告。这些指标从不同层面刻画了电信系统的运行状态。指标数量较多且呈现较强的时空关联性。比如，每个时刻的 KPI 有 32 项，包括资源分配情况、用户连接数、激活数、上下行速率以及各类信道的使用情况。在时间上，相邻时刻的指标之间耦合度较大，而在空间上，相邻基站的指标之间会相互影响。利用皮尔逊系数分析特征之间的线性关系，得到 KPI 之间相关系数的热力图，如图 3 所示。

由于指标之间的时空相关性明显，可以考虑采用邻近时间的网络状态，预测当前时刻的网络

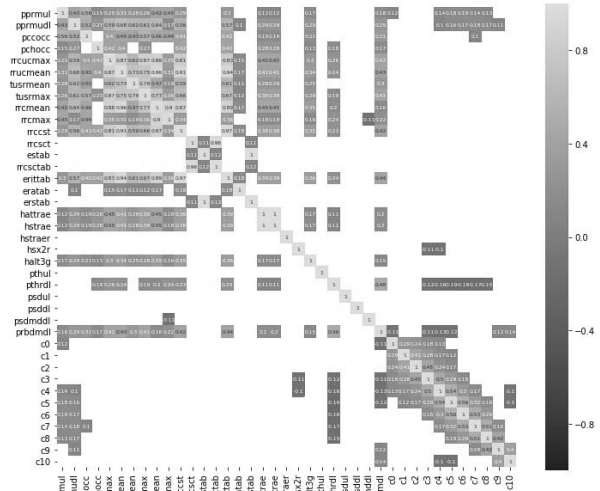


图3 KPI 相关系数的热力图

状态，并据此对接入的用户 QoS 等级需求进行评判，以判断接入请求是否具有较好的加速效果。

3.2 数据预处理与样本构建

为了获取用户需求与网络状态的相关性，除了 KPI、KQI、MR 指标，还提取了用户 QoS 加速请求的 CDR 数据及 QoS 加速效果数据。其中 CDR 数据完整记录了用户 QoS 加速请求话单，包括请求的发起时间、所在基站、服务时间等。QoS 加速效果数据则完整记录了执行用户 QoS 加速请求



后,业务测量加速后的效果,包括加速前后的时延、抖动、分组丢失等指标。数据说明及样例见表 1。

表 1 数据说明与样例

特征	说明	取值示例
eratab	建立请求次数	0
tusrmean	平均激活用户数	0.514 7
rrucmean	平均 RRC 连接用户数	8.059 5
pprmul	上行 PRB 平均占用率	0.042 7
pccocc	PDCCH CCE 占用率	0.006 2
pprmudl	下行 PRB 平均占用率	0.009 8
rrucmax	最大 RRC 连接用户数	17
pthul	用户上行调度吞吐率	1.490 4
erittab	初始建立请求次数	1 074
psdmddl	用户面下行分组平均时延	29.782 5
psddl	下行 PRB 双流占比	0.553 2
pthrdl	用户下行调度吞吐率	20.618 4
rrccst	UE 发起的 RRC 连接建立请求次数	861
hattrae	内部切换请求次数	7
tusrmax	最大激活用户数	5
estab	建立成功率	1
pchocc	PRACH 占用率	0.002
hstrae	内部切换成功次数	7
hsx2r	X2 接口切换成功率	1
halt3g	LTE 重定向到 3G 的尝试次数	6
rrcmax	最大 CA 能力用户数	0
hstraer	内部切换成功率	1
rrcsctab	RRC 连接建立成功率	1
rrcsct	UE 发起的 RRC 连接建立成功率	1
rrcmean	平均 CA 能力用户数	0
psddl	空中接口下行用户面分组丢失率	0
psdul	空中接口上行用户面分组丢失率	0
c0-c11	CQI 不同等级的占比	0.002 4

由于数据中有部分缺失值,采用了均值填充的方式来处理这些缺失值。同时,为了去除数据

较大值对标准化的影响,对 KPI 数据做了两次 $\ln(1+x)$ 变换,使得数据分布的区间分布更加集中,抵消了数据的长尾效应。最后,为了消除不同数据量纲对模型的影响,对 KPI 数据进行了标准化处理。处理方式是使用 min-max 标准化,这种标准化方式是对原始数据的线性变换,使所有特征的取值落到[0, 1]区间内。

对于不同时刻接收调用请求的基站,根据 CDR 表中实际调用时间和反参的值确定加速请求的正样本和负样本。其中,正样本定义为:切实满足用户加速需求,用户使用满意,使用时间持续性长;而负样本定义为:不能满足用户加速需求,用户使用效果不佳,使用时间不持续。

使用 2019 年 2 月 25 日—3 月 1 日共 5 天数据进行测试,其中正样本共计 16 293 条,负样本共计 21 928 条,总数据共 38 221 条,正负样本比例约 4:5。考虑到特定指标之间存在换算关系,在构建样本的过程中,将存在换算关系的指标剔除。

3.3 样本分类结果与分析

分别使用 SVM 模型、LGB (lightgbm) 模型、全连接模型和 CNN 模型对 QoS 保障效果进行预测,各个模型的测试结果见表 2。对比 4 个模型分类效果可知:全连接模型和 CNN 模型的准确率和召回率指标均低于 70%,没有达到很好的分类效果,并且其模型训练时间较长,生成的样本图占用了较多内存,在处理较多数据时效率不够高;SVM 模型虽然运行速度较快,但准确率和召回率指标均低于 75%,与 LGB 模型高于 80%的准确率和召回率相比,效果不够理想。综合分析多种机器学习和深度学习方法后,最终选用了 LGB 模型,一方面是该模型具有较高的预测精度,另一方面是该模型具有较少的内存占用及较高的训练速度,这些特征对实际业务系统具有较好的适应性。LGB 模型在测试集上的分类准确率能达到 81.79%,召回率能达到 81.23%,能够满足对用户

QoS 加速请求的预期效果评价要求。经过实际运营观测,平台会平均拒绝 10%的忙时基站下 QoS 保障请求,忙时基站下的普通用户 KQI 会得到平均 5%的提升。

表 2 各模型分类结果

模型	准确率	召回率
全连接	64.00%	63.00%
CNN	68.00%	64.44%
SVM	74.58%	74.58%
LGB	81.79%	81.23%

基于 LGB 模型,亦可对参与分类的指标重要程度进行评价,如图 4 所示。

虽然测试数据不同,多次测试结果中的指标影响程度在波动,但有一些指标一直对分类性能起到重要的影响作用,主要包括:eratab(附加 E-RAB 建立请求次数)、tusrmean(平均激活用户数)、rrucmean(平均 RRC 连接用户数)、pprmul(上行 PRB 平均占用率)等。对这些主要影响指标的分析,有助于直观地刻画无线网络的负载特征及其对用户 QoS 加速的响应能力。

4 结束语

该系统已经在中国电信 4G QoS 产品中得到应用,面向中国电信移动业务运营伙伴开放了 4G QoS 能力,满足了不同业务用户的移动服务质量保障需求,对中国电信正在实施的网络智能化、业务生态化、运营智慧化转型 3.0 战略起到了有益的促进作用。

参考文献:

- [1] 肖清华. 国内运营商智能管道的发展研究[J]. 移动通信, 2015, 39(19): 18-21.
XIAO Q H. Analysis on the development of smart pipe for domestic operators[J]. Mobile Communication, 2015, 39(19): 18-21.
- [2] 丁亦志, 吕红卫, 牛瑛霞, 等. 全面深化流量经营部署方案探讨[J]. 电信科学, 2016, 32(6): 195-200.
DING Y Z, LV H W, NIU Y X, et al. Discussion on the deployment solution of comprehensive traffic management[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(6): 195-200.
- [3] 薛飞, 徐宇辉, 张靓, 等. 移动互联网智能管道自组织架构研究与实践[J]. 电信科学, 2018, 34(9): 143-152.
XUE F, XU Y H, ZHANG L, et al. Research and practice on self-organization architecture of smart pipe in mobile internet[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(9): 143-152.

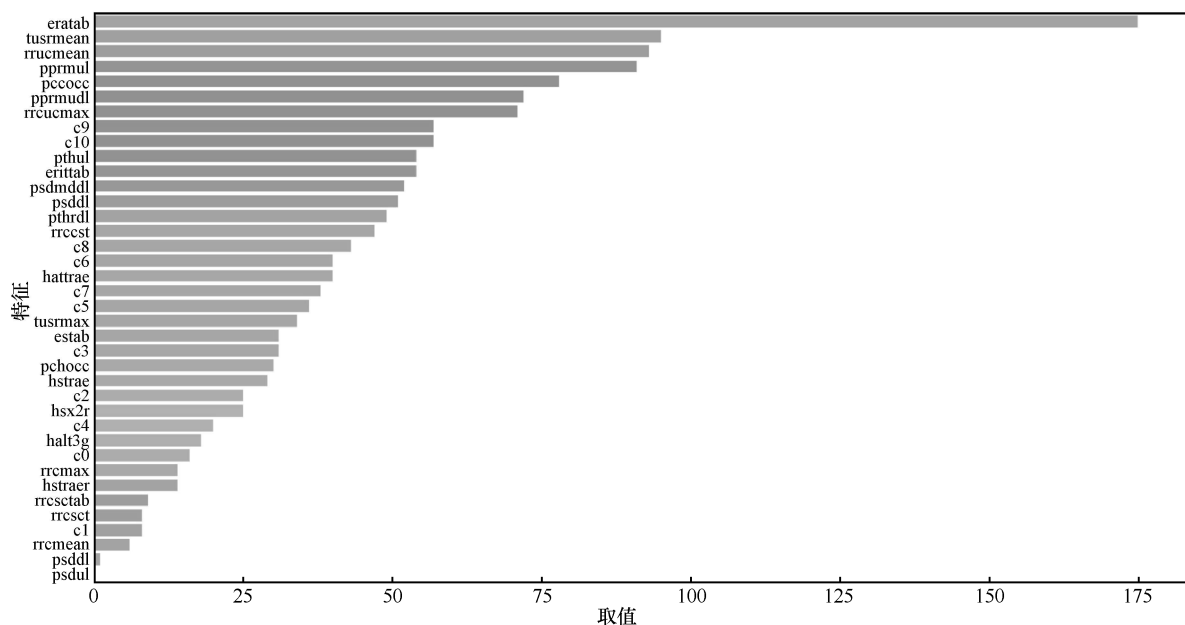


图 4 不同指标对分类结果影响的重要度评价



- [4] 周伟, 毛聪杰. 用 PCC 在 CDMA 网络中实现智能管道[J]. 电信科学, 2013, 29(9): 89-93.
ZHOU W, MAO C J. Deploying smart pipe in CDMA network with PCC[J]. Telecommunications Science, 2013, 29(9): 89-93.
- [5] 顾明. LTE 网络中 PCC 架构的应用[J]. 电信工程技术与标准化, 2010, 23(11): 35-39.
GU M. PCC architecture applicated in LTE network[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2010, 23(11): 35-39.
- [6] 宋小明, 邵永平, 杨旭, 等. SCEF 引入需求分析及部署应用[J]. 移动通信, 2018, 42(4): 36-40.
SONG X M, SHAO Y P, YANG X, et al. Analysis on introduction requirements and applications deployment of SCEF[J]. Mobile Communication, 2018, 42(4): 36-40.
- [7] 3GPP. Policy and charging control architecture (Release 16): TS23.203[S]. 2019.
- [8] 3GPP. Policy and charging control (PCC); reference points (Release 15): TS29.212[S]. 2019.
- [9] 3GPP. Policy and charging control over Rx reference point (Release 15): TS29.214[S]. 2019.

[作者简介]



李凯（1976—），男，博士，中国电信股份有限公司北京研究院高级工程师，主要研究方向为通信网络能力开放、智能运营等。



刘伟（1980—），男，现就职于中国电信股份有限公司北京研究院，主要研究方向为通信网与互联网融合业务，目前专注于智能化运营研究工作。

罗贵阳（1992—），男，北京邮电大学博士生，主要研究方向为融合网络服务计算与协同计算。

李静林（1975—），男，博士，北京邮电大学副教授，主要研究方向为融合网络协同计算与群智计算。