

室外5G用户动态识别及道路覆盖分析方法探究

Exploration of Dynamic Identification of Outdoor 5G Users and Road Coverage Analysis Methods

何超,张梦妍,姚柒零(中国移动通信集团设计院有限公司,北京100080)

He Chao,Zhang Mengyan,Yao Qiling(China Mobile Group Design Institute Co.,Ltd.,Beijing 100080,China)

摘要:

“用户驱动测试”模式通过采集用户侧数据,将每个用户转化为移动测试终端,从而大幅提升样本点密度和网络渗透率,能更直观地评估现网实际覆盖能力。基于最小化路测(MDT)和测量报告(MR)等数据,提出一种分析室外移动状态下5G用户无线参数的方法,旨在支撑对5G网络的连续覆盖评估,并为车联网等垂直领域的5G应用提供有效支持。

关键词:

渗透率;MDT;MR;无线参数;连续覆盖

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.08.008

文章编号:1007-3043(2025)08-0035-05

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

The "user-driven testing" mode collects data from the user side, converts each user into a mobile test terminal, significantly improving sample point density and network penetration rate, enabling a more intuitive assessment of the actual coverage performance of current networks. Based on data such as Minimization of Drive Tests (MDT) and Measurement Reports (MR), it proposes a method for analyzing wireless parameters of 5G users in outdoor mobile states, which aims to support continuous coverage assessment of 5G networks and provide effective support for 5G applications in vertical sectors such as Internet of Vehicles.

Keywords:

Penetration rate; MDT; MR; Wireless parameters; Continuous coverage

引用格式:何超,张梦妍,姚柒零. 室外5G用户动态识别及道路覆盖分析方法探究[J]. 邮电设计技术,2025(8):35-39.

1 概述

当前网络覆盖分析主要依赖传统路测(Drive Test,DT)和基站侧网管性能指标。传统路测虽力求模拟用户行为并形成系统化流程,但存在成本高、人力投入大、空间渗透率低等固有缺陷^[1];而网管指标分析则面临海量数据处理难题,需结合多种辅助信息,投入产出比较低。为此,本文提出一种基于用户侧测量数据(如MR、MDT)的分析方法,通过识别和分析室外动态移动状态下的5G用户所接收的无线参数,评估网络的连续覆盖性能,为5G网络建设和深度优化提供支

撑^[2-3]。本文重点研究如下3个核心问题:室外动态移动用户的识别方法、基于用户数据的道路匹配算法及覆盖异常路段(如弱覆盖)分析方法和用户交通工具特性对无线覆盖评估的影响规律。

2 整体定位分析架构

本方法所需基础数据包括用户侧MR/MDT数据、网络工参(4G/5G小区经纬度、方位角等)、地理栅格数据和道路地图数据。如图1所示,处理流程包含以下4个核心步骤,最终实现用户轨迹重构与覆盖渲染,并通过海量用户数据叠加完成道路覆盖状况评估。此外,基于深度神经网络的AI辅助优化技术可提升数据处理自动化水平^[4]。

收稿日期:2025-06-19

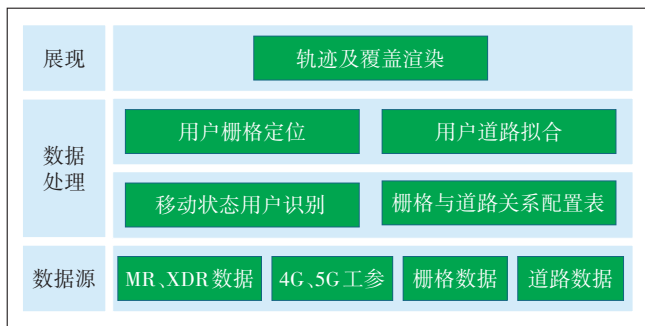


图1 室外5G用户动态识别与道路覆盖分析整体流程

a) 移动用户动态识别。采集NSA 5G用户的MR和关联的控制面信令数据(XDR),通过分析用户在时间窗内服务小区的变化模式、位置更新频率及估算的移动速度等多维度信息,识别出处于室外移动状态的5G用户。

b) 建立空间关系映射表。构建地理栅格与其相邻栅格的关联关系表;构建地理栅格与所属道路路段的映射关系表;构建道路场景特征表(如道路类型、曲率信息等)。

c) 用户轨迹道路匹配。综合利用服务小区位置、MDT/MR定位信息、栅格定位结果以及栅格—道路映射关系,通过多级定位融合与轨迹平滑算法,将离散的用户位置点精准匹配到实际道路上,形成连续的用户轨迹。

d) 覆盖数据渲染。对匹配到道路上的动态移动用户的关键无线参数(如RSRP、SINR)进行采集处理,并在数字地图上进行可视化渲染,从而反映道路沿线的覆盖质量。

3 定位及数据补足方法

3.1 室外移动用户识别与轨迹匹配

用户状态主要分为静态和动态。识别室外动态用户的核心在于分析其时空行为特征,具体如下。

a) 服务小区切换模式。动态用户的服务小区会随时间发生规律性变化。如图2所示,通过分析滑动时间窗内用户上报的服务小区序列及其空间分布变化,可有效区分动态与静态^[5]。

b) 位置信息变化率。结合MR/MDT中的位置信息(如经纬度)或通过小区位置估算的位置,计算其变化速率和方向,作为动态判定的补充。

c) 时间相关性。动态用户的位置信息在时间序列上呈现连续性。

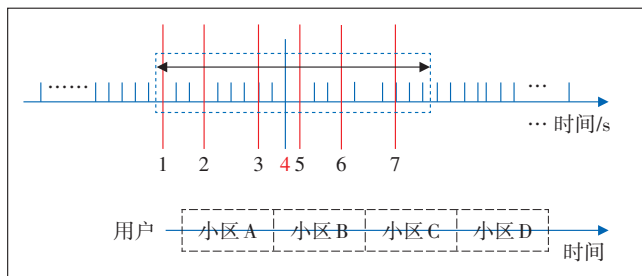


图2 基于服务小区切换识别的用户移动状态示意

对于识别出的室外动态用户,其位置信息绝大部分分布于道路网络。基于此,结合高精度道路地图数据,采用地图匹配(Map Matching)算法将用户离散的定位点序列关联到最可能的实际道路路段上,形成连续的用户轨迹。由于MR中的用户标识是临时标识,需要通过控制面的XDR,关联得到用户的永久标识(省公司提供的开发测试数据,已对用户标识进行脱敏)。由于数据源的时钟不同步,在关联用户标识时,需要根据MR和XDR中用户在相同网元中的标识,对时间做偏移。

3.2 道路数据整合

本方法依赖于准确、连续的道路矢量数据。在实际应用中,需整合运营商自有地理信息系统(GIS)数据和权威道路地图数据源,构建完整的道路网络拓扑关系,用于支持高精度的用户轨迹匹配(见图3)。

3.3 位置信息补足与转弯识别

由于MR/MDT上报的最小时间间隔(通常 ≥ 5 s)以及定位点可能存在缺失、漂移或无法关联等问题,原始用户位置轨迹存在不连续和跳跃现象。为获得更



图3 用户轨迹匹配示意

连续、平滑的轨迹,需要进行如下处理。

a) 位置插值与继承。对于短时间内(如相邻采样点间隔)的位置缺失或明显异常点,根据用户预估的移动速度和方向(结合交通工具类型约束),采用插值算法进行位置补足(见表1)。

b) 转弯行为识别。通过分析连续位置点形成的

表1 位置补足示意

移动速度/(km/h)	移动速度/(m/s)	备注	滑动窗口大小/s	3 s移动距离/ m	5 s移动距离/ m	8 s移动距离/ m	10 s移动距离/ m
0(不切换)	0(不切换)	静止用户	1 800	继承原来数据			
5~10	1~3	市内用户	1 800	8	14	22	28
10~20	3~6	市内用户	1 800	17	28	44	56
20~40	6~11	市内用户	600	33	56	89	111
40~60	11~17	部分市内用户	600	50	83	133	167
60~80	17~22	空旷的郊区高速公路或动车用户	600	67	111	178	222
80~100	22~28	空旷的郊区高速公路或动车用户	600	83	139	222	278
100~120	28~33	空旷的郊区高速公路或动车用户	600	100	167	267	333
120~150	33~42	空旷的郊区高速公路或动车用户	600	125	208	333	417
150~200	42~56	动车用户	600	167	278	444	556
200~250	56~69	高铁用户	600	208	347	556	694
250~300	69~83	高铁用户	600	250	417	667	833

向量夹角变化(见图4),结合道路拓扑信息(如路口节点),识别用户的转弯行为,进一步提高轨迹匹配的准确性。

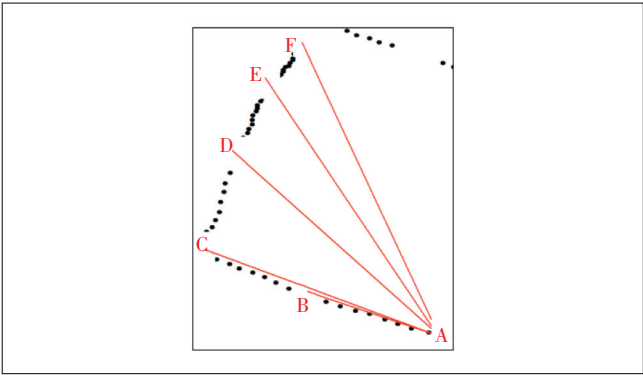


图4 基于位置向量夹角变化的用户转弯识别示意

3.4 空间关系映射表构建

基于地理栅格数据和经过补足、匹配的用户轨迹信息,可以得到如下表格。

a) 栅格邻接关系表。构建每个栅格与其空间相邻栅格的关联关系表。

b) 栅格—道路映射表。利用道路数据和栅格数据,建立栅格与所覆盖道路路段的映射关系表(见表2),标明栅格内包含哪些道路。

c) 道路场景属性表。进一步细化道路属性,如道路等级、宽度、曲率半径等,用于优化匹配算法和覆盖

表2 栅格—道路映射关系表示例

栅格ID	栅格中心经度	栅格中心纬度	主要关联道路ID
224407_71315	xxx	xxx	231
224380_71299	xxx	xxx	391
224324_71232	xxx	xxx	359

分析。

3.5 用户位置轨迹纠偏

在城市环境中,用户的移动受限于交通工具的速度和道路约束。利用这一特性以及前述建立的空间关系可以进行如下处理。

a) 对短时间内(如60 s内)连续的用户位置采样点序列(例如最多5个点)进行处理。

b) 应用基于道路约束的平滑滤波算法(如卡尔曼滤波结合地图匹配),对原始定位点进行纠偏处理,将用户位置约束到匹配的道路上,并消除定位噪声,得到更平滑、准确的用户轨迹。图5对比了不同阶段的轨迹纠偏效果。其中,黄色线为基于服务小区切换的粗略轨迹,橙色线为某厂家定位算法结果,绿色线为本文方法经道路匹配和纠偏后的最终轨迹,可见绿色轨迹更贴合实际道路且平滑连续。

3.6 同行用户判定与样本增强

对于乘坐公共交通工具(如公交车、地铁)的用户,其无线行为(如切换序列)具有高度相似性^[6]。通过分析用户的移动性事件序列(特别是切换事件链),

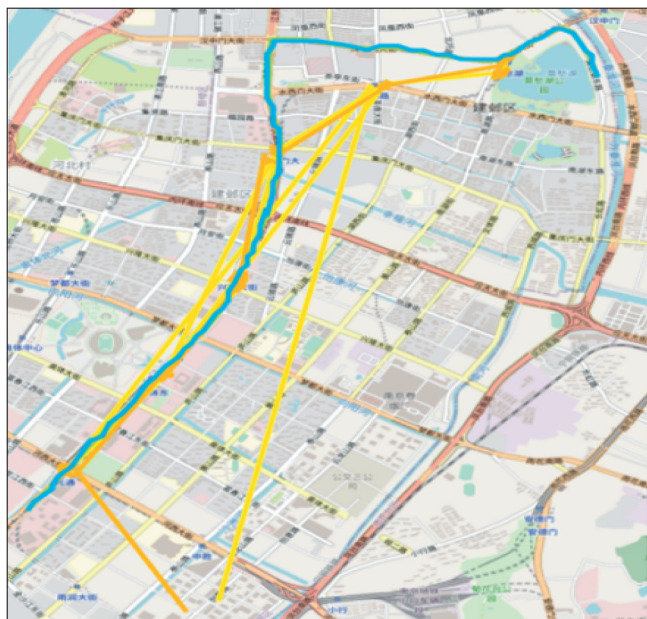


图5 用户轨迹纠偏处理效果对比

可识别在相同时间段、相同路段上发生切换事件的小区序列相似度极高(例如 $>80\%$),且每次切换的时间差极小(例如 $<3\text{ s}$)的用户群组,将其判定为同行用户(见图6),并将同行用户的无线测量数据(如RSRP、SINR)进行有效聚合,视为同一“逻辑测试终端”的多次测量,显著增加特定路段的有效样本数量和数据可信度。

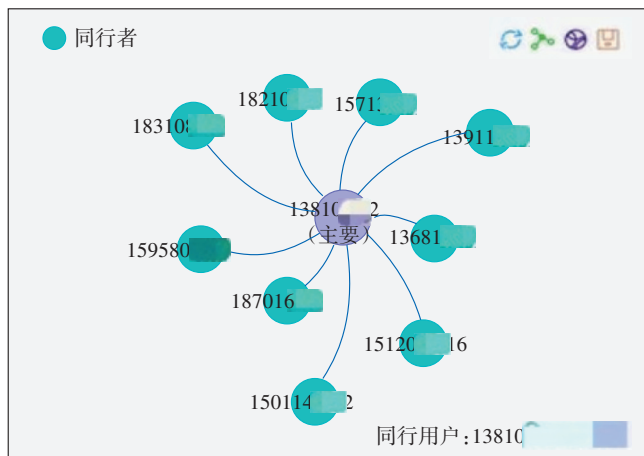


图6 同行用户切换事件链相似性示意

4 精细化覆盖分析方法

4.1 覆盖数据渲染与拟合

通过前述的用户轨迹重构(定位补足、道路匹配、纠偏)和同行用户数据聚合,可以最大限度地还原用

户在其移动路径上的完整轨迹。在此基础上进行如下操作。

a) 将用户实际测量到的无线参数(如接收信号电平RSRP)作为离散点映射到其匹配的道路位置上。

b) 对于用户轨迹中未实际测量但已通过轨迹重构确定的路径段,可根据相邻测量点数据、路径损耗模型以及用户移动速度进行合理的插值或外推估算。

c) 通过大量用户轨迹数据的叠加,生成道路沿线连续的无线覆盖热力图(见图7),直观展示不同路段的覆盖质量(如强覆盖、弱覆盖区域)。这种基于真实用户海量数据的方法,相比稀疏的传统路测样本,更能反映网络的实际覆盖状况,尤其有利于发现局部道路的覆盖异常点(如拐角弱覆盖、短路段覆盖空洞)。



图7 基于用户数据的道路5G覆盖渲染热力图示意

4.2 覆盖深度分析与问题定位

基于渲染后的覆盖数据和完整的用户轨迹信息,可进行更深入的覆盖问题分析。

a) 覆盖异常检测。识别用户轨迹上接收电平(RSRP)或信号质量(SINR)发生陡降的路段,这些路段往往存在潜在的覆盖问题(如遮挡、越区覆盖、覆盖空洞)^[7]。

b) 多维度关联分析。将覆盖异常点/段与用户位置、移动状态、匹配的具体道路信息、预估的交通工具类型进行关联分析,辅助定位问题根源(例如:特定道路拐弯处因遮挡导致弱覆盖,主干道因高速移动导致

频繁切换或质差)。

c) 覆盖与性能关联。分析关键覆盖指标(RSRP、SINR)与用户实际体验速率(若能获取)或理论速率的关联关系,评估覆盖质量对高价值业务(如车联网V2X、AR/VR导航)的影响,为精准优化提供参考^[8]。

5 方法验证与结果分析

为验证本文提出方法的有效性,在某城市核心区选取了包含主干道、次干道和支路的典型测试路线(总长约15 km),同步进行如下操作。

a) 传统路测(DT)。使用专业扫频仪和测试终端,沿预定路线进行多次遍历测试,采集RSRP、SINR等数据作为基准。

b) 用户数据方法(本文方法)。采集同一时间段内,在该区域道路上活动的、符合本文动态用户识别条件的大量5G用户的MDT/MR数据,应用本文提出的用户识别、轨迹匹配、位置纠偏、同行用户聚合等方法进行处理,生成道路覆盖渲染图。

本节主要从以下几个方面进行对比与分析。

a) 覆盖趋势一致性。对比2种方法生成的覆盖热力图(或关键路段RSRP曲线)可知,覆盖强弱的总体趋势具有高度一致性(如主要覆盖良好路段和已知弱覆盖点位置吻合)。

b) 细节发现能力。用户数据方法凭借其超高样本密度,揭示了部分在传统路测中因采样点稀疏或路径微变而被忽略的局部弱覆盖区域(如某些小路口、短隧道出口、特定建筑物侧后方路段),这些发现也得到了后续现场勘查的确认。

c) 效率与成本。传统路测方式完成该区域的详测,一般需要专业人员和设备,耗时数小时。而本文方法利用现网用户数据,可在短时间内(如30 min数据处理)完成更大范围道路的覆盖评估,显著提升了效率并降低了优化成本。

d) 交通工具影响。分析发现,在高速道路(>60 km/h)上,用户数据(尤其是未精细区分交通工具时)的平均RSRP可能略低于路测结果,这与高速移动带来的多普勒频移、快速切换导致测量点驻留时间短等有关。后续需在建模中需更精细地考虑速度影响^[9]。

结果表明,本文提出的基于室外5G动态用户数据的道路覆盖分析方法,能够有效评估道路连续覆盖性能,其结果与传统路测具有良好的一致性,并在覆盖细节发现和评估效率上展现出显著优势。

6 结束语

本文通过有效利用用户侧海量MDT/MR数据,结合精准的动态移动用户识别、轨迹道路匹配和位置纠偏技术,构建了一套精细化道路覆盖分析方法。该方法能够发现传统优化手段难以捕捉的隐藏覆盖问题(如局部弱覆盖路段、特定场景覆盖短板),实现以“数据驱动”替代“人力密集型”的优化模式,在提升现网实际覆盖质量与用户感知的同时,降低运营商优化成本。本文方法不仅可用于精准定位现网道路弱覆盖点/段以指导优化,其对用户动态行为、交通工具特性与网络覆盖的关系的分析,也有助于打破用户侧与网络侧的数据壁垒,为构建用户参与的网络质量反馈闭环奠定基础,最终服务于5G万物互联时代对高质量、广覆盖网络的需求。

参考文献:

- [1] ITU. Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s); ITU-R M.2410-0[R/OL]. [2025-01-20]. https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.itu.int%2Fdms_pub%2Fitu-r%2Fopb%2Frep%2FREP-M.2410-2017-MSW-E.docx&wdOrigin=BROWSELINK.
- [2] 3GPP. Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); study on minimization of drive-tests in next generation networks; 3GPP TR 36.805[S/OL]. [2025-01-20]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [3] 李明,王建军. 基于MDT的5G网络覆盖智能评估方法研究[J]. 移动通信,2021,45(3):28-33.
- [4] 陈晓东. 基于MR数据的5G网络道路覆盖分析方法[J]. 电信科学,2022,38(4):132-140.
- [5] ZHENG Y. Urban traffic reconstruction with crowdsourced data[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2021, 20(6): 2173-2186.
- [6] 3GPP. NR; radio resource control (RRC); protocol specification: 3GPP TS 38.331[S/OL]. [2025-01-20]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [7] LIU Y. 5G coverage mapping based on crowdsourced cellular data[C]//IEEE INFOCOM 2021.[S.l.]:IEEE, 2021:1-10.
- [8] 程晓军,苗守野,景洪水,等. 基于用户感知的移动网络优化体系及关键技术[J]. 邮电设计技术,2011(11):54-58.
- [9] 3GPP. Radio measurement collection for minimization of drive tests (MDT); overall description; stage 2: 3GPP TS 37.320 [S/OL]. [2025-01-20]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

作者简介:

何超,高级研究专员,硕士,主要研究方向为移动通信网络优化;张梦妍,高级研究专员,学士,主要研究方向为移动通信网络优化;姚柒零,研究总监,硕士,主要研究方向为移动通信网络优化。