

4G和5G干扰分析及管理系统

Interference Analysis and Management System of 4G and 5G

李新玥, 王伟, 李福昌 (中国联通研究院, 北京 100048)

Li Xinyue, Wang Wei, Li Fuchang (China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

干扰是移动通信系统中影响网络质量的主要因素之一,4G和5G现网中存在大量由干扰器、私装直放站等外部因素导致的干扰。研究了一种自动化的干扰分析与管理系统,该系统具备干扰监测、干扰识别、干扰定位、干扰管理、任务分发和干扰排查等功能,在现网实现完整的闭环操作。

关键词:

上行干扰;识别;定位;管理

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2026.03.007

文章编号:1007-3043(2026)03-0034-05

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:

Interference is one of the main factors affecting network quality in mobile communication system. There are a lot of external factors such as jammers and private repeaters in 4G and 5G networks. It studies an automatic system of interference analysis and management, which has the functions of interference monitoring, interference identification, interference location, interference management, task distribution and interference detection. It can achieve a complete closed-loop operation in the current network.

Keywords:

Uplink interference; Identification; Location; Management

引用格式:李新玥,王伟,李福昌. 4G和5G干扰分析及管理系统[J]. 邮电设计技术,2026(3):34-38.

1 概述

干扰是移动通信系统中影响网络质量的主要因素之一。4G和5G现网中存在大量由干扰器、私装直放站等外部因素导致的干扰和系统内干扰,干扰源复杂多样,网络干扰日益严重,在900 MHz城区部署中尤为严重,直接影响网络 and 用户体验^[1-4]。传统干扰排查方式多依靠工程师的经验,利用人工路测和扫频测试在较大的区域内逐一搜索干扰源,排查和解决效率低,成本高。针对这个问题,本文研究了一套智能化、自动化的干扰分析与管理系统,该系统共分为三大模

块:一是干扰监测模块,它可主动发现现网中的高干扰小区,及时评估干扰对网络指标的影响;二是干扰分析模块,它负责处理网络数据,进行干扰识别、干扰定位等^[5],为现场排查提供依据,提高排查效率;三是干扰管理模块,它根据干扰识别结果、干扰定位结果,向现场测试人员分发干扰排查任务,同时现场测试人员利用系统研发的干扰分析与定位的路测软件和干扰管理APP软件/小程序在现网进行干扰排查和上报,实现完整的“发现干扰、分析干扰和解决干扰”的闭环操作,系统总体架构如图1所示。

干扰分析与管理系统包括干扰监测、干扰分析和干扰管理。干扰监测是收集网管侧干扰频域数据、小区工参和干扰特征库数据,分析小区干扰强度、干扰

收稿日期:2026-01-07

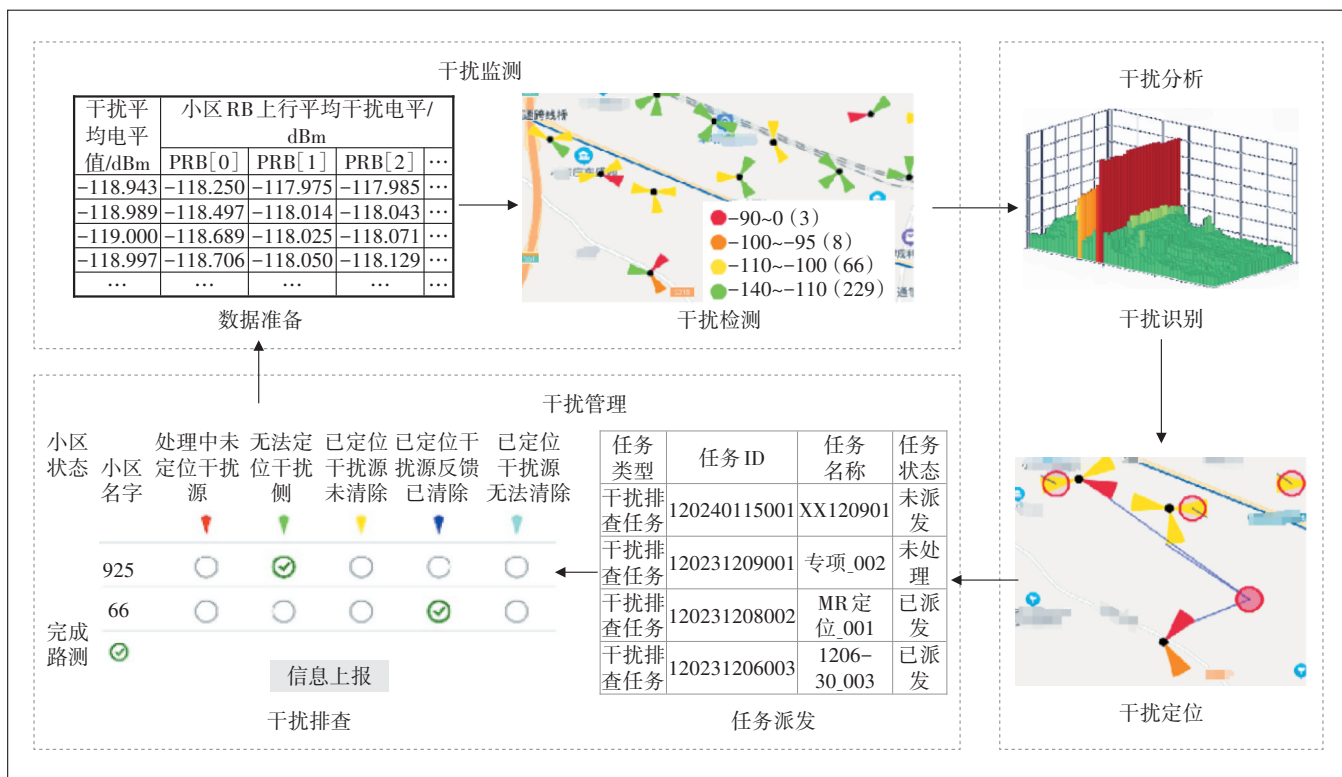


图1 干扰分析与管理系统总体架构

在地理位置上的分布以及干扰对网络指标的影响;干扰分析是将小区的干扰频域数据与已有的特征库进行相关性计算,得出干扰源类型,并通过多小区协同完成干扰源定位,将得到的疑似干扰源位置用于干扰排查,大大缩小排查区域;干扰管理是根据干扰识别结果和干扰定位结果,将干扰排查任务分发给测试人员,随后测试人员通过路测软件进行现场干扰排查,并通过APP/小程序将实际的干扰源位置、影响的小区、干扰源清除情况和现场排查图片等上传。系统还可同步显示排查进展情况,真正实现干扰解决工作的闭环。

2 关键技术方案

2.1 干扰监测

干扰监测是对区域进行常规的监测,主动发现干扰问题,帮助解决干扰。在网管指标中提取各小区平均底噪,从时域上统计高、中、低小区数量^[6],并监测趋势变化;从空域上显示干扰小区GIS分布图,分析出干扰在区域内的地理分布情况;进一步提取KPI指标进行关联分析,分析底噪对KPI指标的影响程度,对干扰影响产生初步的预判,以便后续采用差异化的策略。

图2所示为干扰小区在地理上的分布示意,红色扇区为高干扰小区,橙色扇区为中等干扰小区,黄色区域为低干扰小区。经分析,底噪的抬升与上行指标的关联度较大,应对干扰严重区域进行重点排查,以清除干扰的不利影响。

2.2 干扰识别

干扰识别首先要建立干扰的时域特征模板和频域特征模板^[7-8],可根据现网中的干扰排查情况随时扩充特征库。频域特征库将每个波形编码为 $1\sim M$,记为数组 $F_1\sim F_M$,该数组为1维数组,如10 MHz带宽NR长度为52,代表每个PRB的平均底噪(dBm);时域特征库每个波形编码为 $1\sim K$,记为数组 $T_1\sim T_K$,数组为1维数组,长度为24,代表每小时的小区平均底噪(dBm)。

读入待干扰分类小区网管数据底噪^[9],如05:00闲时,形成频域数组 $F=[PRB_0\text{平均底噪}, PRB_1\text{平均底噪}, \dots, PRB_N\text{平均底噪}]$,形成时域数组 $T=[0\text{时PRB平均底噪}, 1\text{时PRB平均底噪}, \dots, 23\text{时PRB平均底噪}]$ 。利用相关性算法识别干扰类型,计算 F 与 $F_1\sim F_M$ 的线性相关度,将结果记为数组 (r_1, r_2, \dots, r_M) ;再进行时域匹配,计算 T 与 $T_1\sim T_K$ 的线性相关度,将结果记为数组 (R_1, R_2, \dots, R_K) 。根据相关度大小判断小区干扰

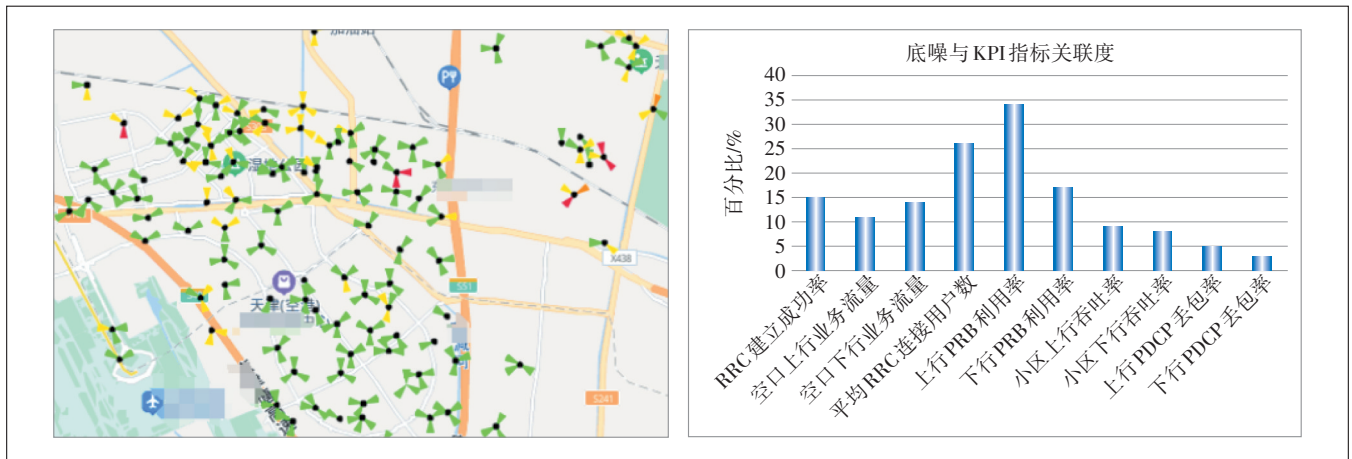


图2 干扰GIS分布与关联度

属于哪一种。图3所示为典型的直放站干扰频域特征波形。

由于干扰特征库样本的有限性,会存在未被识别的干扰类型,常规手段是通过人工逐个分析小区波形,对干扰类型进行分类,效率较低。本系统引入智能算法^[10],对于与特征库中干扰类型不匹配的小区干扰,采用KMeans算法进行动态聚类^[11-12],以便在现网排查后标记此干扰源类型和干扰特征,扩充特征库,这样可以大幅缩短人工打标签的时间。

具体如下。

a) 对于未被识别的干扰小区,进行无监督聚类。根据肘部法则或轮廓系数法,确定分类数 K ,随后将这些干扰频域数据分为 K 组,则随机选取 K 个对象作为初始的聚类中心。

b) 计算每个对象与各个种子聚类中心之间的距离,把每个对象分配给距离它最近的聚类中心,每分配一个样本,聚类的聚类中心会根据聚类中现有的对象被重新计算。

c) 这个过程不断重复,直到没有对象被重新分配给不同的聚类,误差平方和局部最小。

2.3 干扰定位

干扰定位主要采用三角定位的方法^[13],在网管数据中提取小区的经度、纬度、站高、平均底噪信息^[14-15],计算的原理如下。

对于900 MHz频段,可采用Egli传播模型,如式(1)所示,其中 L 为路径损耗, d 为干扰源与基站之间的距离, f 为频率, h_t 为干扰源发射天线高度, h_r 为基站接收天线高度。

$$L = 88 + 40 \lg d + 20 \lg f - 20 \lg h_t h_r \quad (1)$$

干扰源发射功率 P_{emission} 和接收基站底噪RSSI之间的关系如式(2)所示,其中 G 为基站接收增益。

$$\text{RSSI} = P_{\text{emission}} - L + G \quad (2)$$

因此,小区0和小区 i 的接收信号强度差为:

$$\begin{aligned} \text{RSSI}_0 - \text{RSSI}_i &= L_i - L_0 + G_0 - G_i = \\ &= 40 \lg \frac{d_i}{d_0} + 20 \lg \frac{h_{t0}}{h_{ti}} + G_0 - G_i \end{aligned} \quad (3)$$

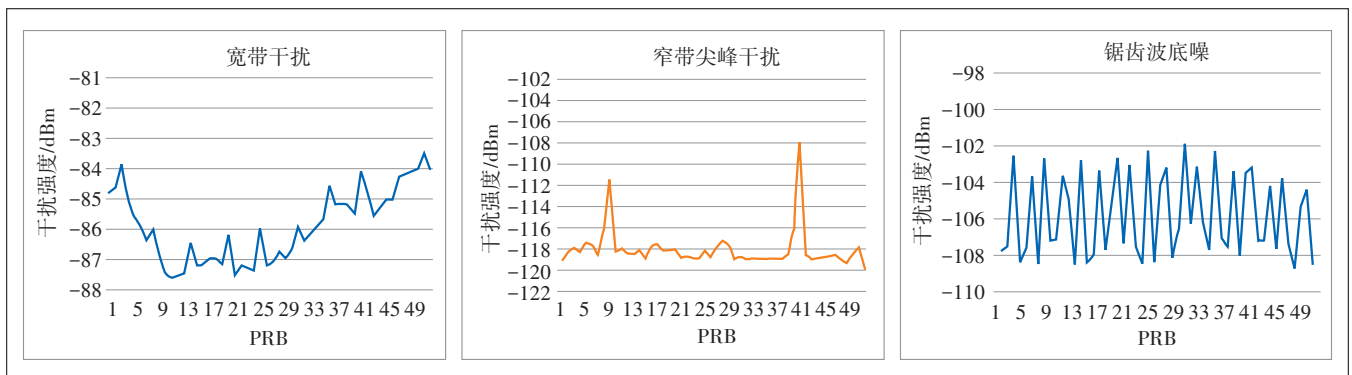


图3 直放站干扰频域波形

具体定位流程如下。

a) 读取定位计算需要的相关数据, 如干扰类型、小区经纬度、平均底噪等^[14]。

b) 剔除不做定位的基站, 如剔除相关度小于0.4的弱相关和无相关基站, 剔除平均底噪小于-110 dBm的基站。

c) 采用DBSCAN聚类算法对距离相近的同类干

扰小区进行分类聚合, 认为受相同干扰源影响^[16-17]。

d) 将同聚类、同干扰源影响的干扰小区底噪强度进行排序, 底噪最大的小区为主小区。

e) 根据排序结果, 分别与主站进行定位计算, 得到多个等式, 最后求解方程或遍历计算得到干扰源的经纬度。

图4给出了干扰定位示意。

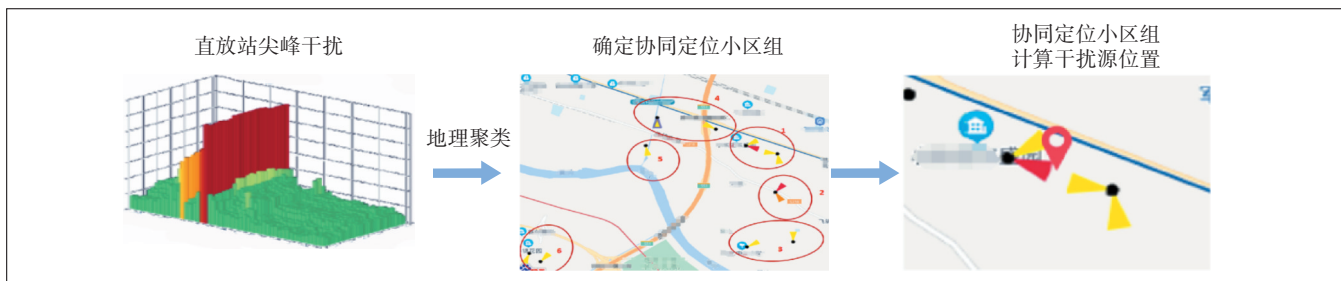


图4 干扰定位示意

3 干扰管理

干扰管理的目的是根据干扰识别结果和干扰定位结果, 指导现网采用差异化策略, 并进行任务分发, 让现场人员根据已有的结果进行干扰排查, 避免了盲目大范围的搜索, 最后将排查结果上报, 在现网实现完整的闭环操作, 真正解决干扰问题。

干扰管理的整体架构如图5所示, 管理人员根据监测的情况, 选定一组需要现场排查的受外部干扰小区, 生成一个排查任务和任务指导, 并将其派发给测试人员, 测试人员使用干扰分析与定位客户端、干扰管理APP/小程序等工具, 进行干扰定位和干扰信息上报, 以便对所有干扰进行统一管理。其中任务包括任务名称、任务ID、任务描述、小区名、小区ID、小区经度、小区纬度、小区平均底噪、排查人员、任务处理时限等必要信息; 任务指导是为现场测试人员提供参考信息, 显示任务中包含小区的干扰水平和干扰时频特

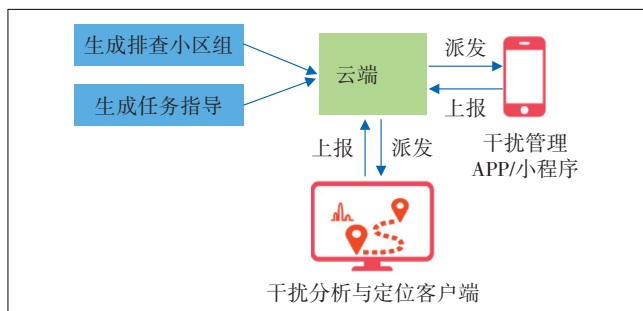


图5 干扰管理流程

征, 小区和周围小区位置地图, 系统已定位的疑似干扰源位置及地图等。

本系统研发了自动定位的干扰分析与定位客户端软件, 与频谱仪对接, 进行实时的干扰数据采集和干扰源定位。测试中通过转台不断旋转定向天线, 根据底噪强度变化与最强的干扰方向, 自动计算路测干扰源定位结果, 同时可迭代多次测量结果提升定位精度。这是在网管数据定位结果的基础上, 进一步缩小干扰源所在区域, 大大减少人工路测的范围。

本系统开发了干扰管理手机APP软件和微信小程序供现场排查的工作人员使用, 它们能够适配不同的操作系统, 从而执行和管理干扰排查任务。这些APP和小程序可以显示频谱仪的位置信息和在线信息, 以便在测试中进行调度; 可以显示任务指导, 展示需要测试的任务、已有的干扰识别和定位结果, 帮助测试人员快速掌握情况; 显示路测结果, 包括已有的路测仪表锁定的疑似干扰源位置和测试路径。在以上信息的基础上, 测试人员选定人工测试区域和测试路线, 最后通过干扰管理APP/小程序上报排查结果, 包括排查的实际干扰源位置、影响的小区、现场图片和干扰源频谱图。从而实现对干扰源信息进行全面管理, 管理人员可通过系统实时查看现场人员的排查进度和排查结果, 做到了全流程的可视、可管和可控。

4 试点验证结果

目前, 该干扰分析与管理系统已在某省分现网试

点区域进行了验证,对接了其网管数据,监测结果如表1所示。从表1可以看出,区域内共包含1630个小区,通过干扰监测,共存在330个干扰小区,部分区域的干扰问题更加突出,如01区域。

表1 干扰监测结果列表

时间	省份	地(市)	区域	高干扰数量	中干扰数量	低干扰数量
2023-07-06	A	B	01	13	22	145
2023-07-06	A	B	02	0	0	1
2023-07-06	A	B	03	2	1	54
2023-07-06	A	B	04	0	2	49
2023-07-06	A	B	05	2	1	38

在区域内有干扰的小区中,发现直放站宽带干扰小区数为8个,直放站窄带干扰小区数为78个,网管数据定位的直放站干扰数为54个。测试中派发了3个干扰排查任务,即3个需要干扰排查的小区组。测试人员参考系统提供的网管数据的干扰定位结果,利用干扰分析与定位软件进行自动化路测,先锁定了干扰源区域,又进入区域内测试,最终锁定了干扰源位置,定位精度达到10m。

随后,利用干扰管理APP/小程序上报了干扰排查结果,包括干扰源位置、干扰源频谱图、影响小区、现场排查图、干扰源清除情况等,并将结果上传到了云端,对干扰源信息进行管理。

5 结束语

本文基于目前4G和5G现网干扰严重的问题,尤其是900MHz频段,研究了一种干扰分析与管理的自动化系统,该系统具备自动干扰监测和干扰分析功能,对网络数据进行处理,以便网络采用差异化的干扰规避策略,进一步对干扰源进行识别和定位,并在地图上可视化显示;同时,该系统具备干扰管理功能,对高干扰小区下发任务,现场测试人员使用干扰管理APP同步任务和查看干扰情况,利用干扰分析和定位软件快速排查到实际干扰源位置,并将干扰源信息上报至云端,进行统一管理,形成干扰分析与管理的闭环操作,大大提升了工作效率。

目前该系统已经在多个试点进行了验证,它能自动识别出存在干扰的小区,对特征库中不存在的干扰类型进行了聚类,以便后续排查;同时通过网管数据和路测软件自动定位了多处直放站干扰,定位精度达到10m,大大缩小了人工干扰排查的范围,提升了排

查效率,助力解决干扰问题。

参考文献:

- [1] 颜军. 移动900M与电信800M FDD LTE杂散干扰分析[J]. 通讯世界,2018(1):132.
- [2] 陈小鹏,雷霆,任宏军. FDD900M干扰排查及整治策略研究[J]. 现代信息科技,2021,5(18):56-60.
- [3] 胡丁丁. FDD900M干扰预估以及后期干扰分析[C]//辽宁省通信学会2019年度学术年会论文集. 沈阳:辽宁省通信学会,2019:545-547.
- [4] 陈波,黄久成,齐咏嘉. 上海联通900MHz频段LTE FDD试点研究与推广可行性分析[C]//2016中国联通网络技术大会论文集. 长沙:中国联通集团公司,2016:164-169.
- [5] 臧有克. 一种基于大数据技术的无线网络干扰检测方法及其装置:CN201910353737.4[P]. 2019-04-29.
- [6] 杨福理,周奕昕,吴非帆. 基于仿真的L900干扰研究与优化提升[J]. 江苏通信,2021,37(3):22-27.
- [7] 李行政,张冬晨,汪汀岚,等. LTE FDD系统上行干扰问题研究[J]. 电信科学,2019,35(增刊1):183-188.
- [8] 方东旭,王丽秋,薛晓宇,等. 5G上行干扰识别和处理研究[J]. 邮电设计技术,2022(4):55-58.
- [9] 唐千晶. 基于PRB底噪统计的LTE干扰定位方法[J]. 移动通信,2016,40(20):11-17.
- [10] 范培全,张冬晨,王西点. 基于机器学习技术的直放站干扰识别方法研究[J]. 电信工程技术与标准化,2021,34(10):1-6.
- [11] 刘凤芹. K-means聚类算法改进研究[D]. 济南:山东师范大学,2013.
- [12] 韩雅雯. kmeans聚类算法的改进及其在信息检索系统中的应用[J]. 昆明:云南大学,2016.
- [13] 江婷娟. 基于路径分析的移动通信网干扰定位分析技术与应用[D]. 北京:北京邮电大学,2020.
- [14] 蒋磊. LTE上行干扰定位和解决方案[J]. 电子世界,2017(14):153.
- [15] 白京春,乔思洁,刘衍晓. LTE干扰智能定位[J]. 邮电设计技术,2022(1):88-92.
- [16] 赵伟,王勇,陈乐. 一种基于Wkmeans聚类的LTE外部干扰智能定位方法[J]. 邮电设计技术,2021(5):72-77.
- [17] 李翔明,李冰,高超云,等. 基于BP神经网络的LTE上行干扰定位算法[C]//第六届云南省科协学术年会暨红河流域发展论坛论文集——专题二:滇南中心智慧城市建设. 红河:云南省科学技术协会,2016:86-92.

作者简介:

李新玥,毕业于北京航空航天大学,工程师,硕士,主要从事无线新技术研究工作;王伟,毕业于北京交通大学,高级工程师,硕士,主要从事无线通信干扰和组网方案等研究工作;李福昌,教授级高级工程师,博士,主要从事移动通信无线新技术和组网方案等研究工作。