

基于NR三载波聚合的5G-A

5G-A Network Deployment Scheme Based on NR Triple Carrier Aggregation

网络部署方案

胡秋悦¹, 齐咏嘉¹, 刘占强¹, 赵 林¹, 夏 晶² (1. 中国联通上海分公司, 上海 200080; 2. 中讯邮电咨询设计院有限公司上海分公司, 上海 200080)

Hu Qiuyue¹, Qi Yongjia¹, Liu Zhanqiang¹, Zhao Lin¹, Xia Xiao² (1. China Unicom Shanghai Branch, Shanghai 200080, China; 2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Shanghai Branch, Shanghai 200080, China)

摘 要:

NR三载波聚合作为5G-A的关键技术之一,能够显著提升网络速率。某市联通通过升级超级上行技术和载波聚合技术,利用现网200 MHz大带宽优势和未来FDD的40 MHz演进趋势进行技术与实验,同时结合终端和基站的优化,在商用网络上实现了上行1 Gbit/s和下行4 Gbit/s的能力。

关键词:

5G-A; T+F; 载波聚合; 泛在千兆; 领先网络
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2025.10.010
文章编号: 1007-3043(2025)10-0054-05
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:

As a key technology of 5G-A, NR triple carrier aggregation is one of its key features and can significantly improve network speed. China Unicom in a certain city upgrades the super uplink technology and carrier aggregation technology, and makes use of the advantages of the large bandwidth of 200 MHz in the current network and the evolution trend of 40 MHz in the future FDD to carry out technology research and test, and realizes the upstream 1 Gbit/s and downstream 4 Gbit/s capabilities of the commercial network through the optimization of the terminal and base station.

Keywords:

5G-A; T+F; CA; Ubiquitous in gigabit; Leading network

引用格式: 胡秋悦, 齐咏嘉, 刘占强, 等. 基于NR三载波聚合的5G-A网络部署方案[J]. 邮电设计技术, 2025(10): 54-58.

1 概述

目前,某市联通5G网络与4G网络对齐率已达1.4,随着5G业务需求及口碑热点竞争区域网络能力储备需求的日益增长,本地网出现站址枯竭、站点落地难和无处加站等难题。为了进一步满足网络高速发展需求,某市本地网积极响应公司精品网战略,充分发挥3.5 GHz的200 MHz大带宽优势,截至2023年底,整网快速开通3 000个以上的3.5 GHz双载波CA站点,多地道路平均下行速率超2 Gbit/s。然而TDD组网(3.5 GHz NR TDD)采用上行和下行时分复用C-

Band频谱资源^[1],因此用于上行的实际时频资源有限,再加上3.5 GHz频段较高,传播损耗大,导致用户上行在覆盖及速率体验上远不及下行。基于此,某市联通从2020年开始启动超级上行技术准备,基于自身FDD频谱优势,在上行体验上完成本地5G网络的弯道超车,并在2022年全网具备超级上行能力,建成全球首个千站超级上行网络。2023年,随着5G共建共享趋势加快,2.1 GHz 40 MHz的演进迫在眉睫,基于此,某市联通升级超级上行技术和载波聚合技术,利用现网200 MHz大带宽优势和未来FDD的40 MHz演进的技术准备^[2],实现下行T+F 3CC载波聚合技术和上行3.5 GHz 200 MHz+2.1 GHz SUL技术为用户带来上行泛在千兆、下行4 Gbit/s以上的业务体验。

收稿日期: 2025-08-11

本方案的实验结果表明,利用240 MHz大带宽,同时结合终端和基站的优化,现网实测上行速率最高达1.04 Gbit/s,下行速率最高达4.07 Gbit/s。

2 3CC网络基本原理

2.1 3CC网络底座概述

5G-A是5G发展的自然选择,未来的移动网络,应该具备“万兆下行,千兆上行,确定网络,千亿物联,通感一体,原生智能”等六大特征^[3]。因此,除了需要持

续增强5G能力外,运营商和行业伙伴还要增加上行超带宽、宽带实时交互等新能力,携手推动终端、应用的生态建设与场景验证,加速FWA Square、无源物联、RedCap等技术的规模商用,以支撑数智经济未来发展的五大趋势^[4]。如图1所示,为应对5G-A发展趋势,某市联通充分利用自身大带宽、多天线优势,结合现网夯实的网络基础,通过3CC载波聚合打造5G-A网络底座,赋能5G-A多元化新业务^[5]。

2.2 下行3CC载波聚合概述

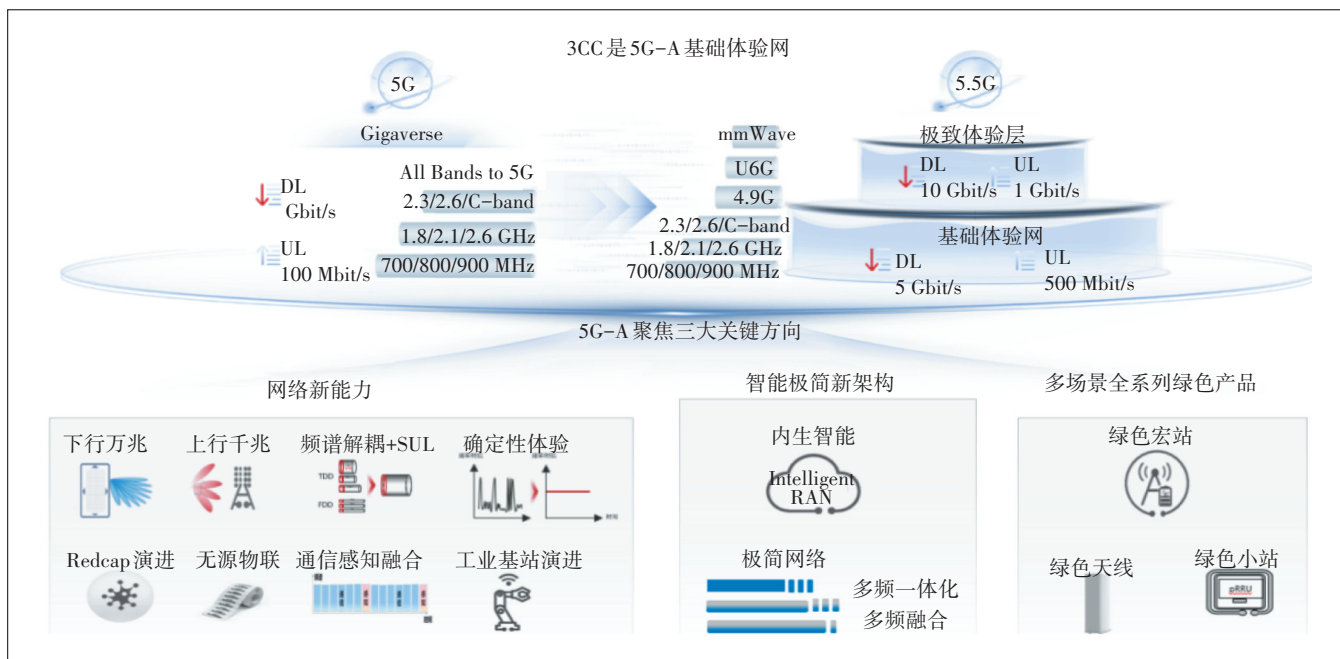


图1 5G-A网络底座愿景

下行3CC组网支持站内或站间组网^[6],其中:N1建议为8T,带宽为40 MHz;N78建议为32T/64T,带宽为100 MHz。

DL 3CC站内组网架构如图2(a)所示,站间组网架构如图2(b)所示,站间需配置eXN链路,站间时延小于4 ms。

基站侧支持T+F 3CC的频段组合如表1所示^[7]。

如表2所示,中国电信和中国联通(下面简称“电联”)场景有4种频段组合,基站侧均支持,但不同厂商的终端支持度不一致。

3CC理论峰值计算方法如表3所示,为单载波速率之和的95%~100%。受现场条件(干扰/多径)与终端能力影响,具体峰值结果以实测为准^[8]。

2.3 超级上行原理概述

超级上行通过将上行数据分时在SUL频谱(2.1

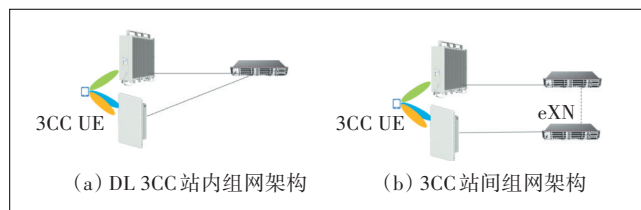


图2 DL 3CC组网架构

GHz FDD)和NR TDD(3.5 GHz TDD)频谱上发送,极大地增加了5G用户的上行可用时频资源。其原理如图3所示,在NR TDD频谱的上行时隙,使用NR TDD频谱进行上行数据发送;在NR TDD下行时隙,使用空闲的SUL频谱补充进行上行数据发送,使上行数据可以在全时隙发送,从而提升用户上行体验^[9]。

随着3GPP R17时代的到来,以及R18已初具雏形,上行千兆体验开始成为各行各业和用户上行体验

表1 T+F 3CC协议支持情况

A 类型	协议中对应的表格
频段内 CA	3GPP TS 38.101-1 V17.6.0的 Table 5.5A.1-1(连续)和 Table 5.5A.2-1(非连续)
FR 内频段间 CA	3GPP TS 38.101-1 V17.6.0的 Table 5.5A.3.1-1(2CC)和 Table 5.5A.3.2-1(3CC)

注:实现上述带宽组合的前提是已经在相应频段上建立了相应带宽的小区;一个载波能被配置为上行CA载波的前提是该载波是一个下行CA载波。

表2 电联 T+F 3CC 频段组合支持情况

组合	PCC	SCC1	SCC2
A	N78	N78	N1
B	N1	N78	N78
C	N78	N78	N8
D	N8	N78	N78

表3 单载波峰值预期(MCS 27阶,RANK4,误码为0)

理论峰值	DL 256QAM/(Gbit/s)	DL 1024 QAM/(Gbit/s)
4R 100 MHz 8:2	1.83	2.20
4R 100 MHz 7:3	1.57	1.88
4R 60 MHz 8:2	1.10	1.32
4R 20 MHz FDD	0.46	0.56
4R 30 MHz FDD	0.69	0.84
4R 40 MHz FDD	0.92	1.12

注:当前仅小米 14 pro 终端支持 TDD 1024QAM, FDD 1024QAM 暂不支持终端。

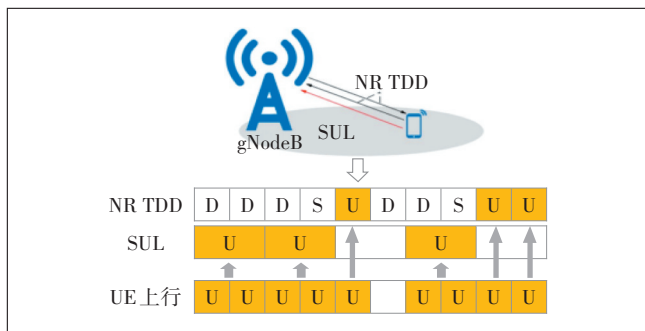


图3 超级上行原理

的新要求^[10],同时随着3.5 GHz 200 MHz CA的大规模落地和首片2.1 GHz 40 MHz区域等试点落地,某市联通开始从100 MHz(TDD)+20 MHz(FDD)超级上行技术聚焦至200 MHz(TDD)+40 MHz(FDD)的240 MHz 3CC上行大带宽方向,向商用网络上行1 Gbit/s体验目标迈进(见图4和表4)。

3 3CC 试点方案

3.1 测试方案的制定与执行

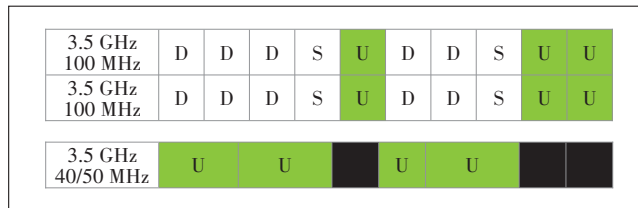


图4 上行3CC原理

表4 超级上行3CC峰值推演

频段组合和带宽	带宽	上行MIMO配置	上行峰值	增益
N78 TDD (7:3 配比) +N84 SUL	N78:100 MHz N84:40 MHz	N78:2T N84:1T	520 Mbit/s	基线
	N78:100 MHz N84:40 MHz	N78:2T N84:2T	650 Mbit/s	1.25 倍
	N78:100 MHz+100 MHz N84:40 MHz	N78:2T N84:2T	1.04 Gbit/s	2 倍
	N78:100 MHz+100 MHz N84:50 MHz	N78:2T N84:2T	1.12 Gbit/s	2.15 倍

3CC峰值的达成对周边环境及干扰等要求较高,为达成上行1 Gbit/s和下行4 Gbit/s目标,以及验证3CC开通后对网络指标的影响。本次试点选取2个区域:位于市中心楼宇密集的A区和话务量较低并刚完成40 MHz频谱重耕的B区。其中,A区5个站点的配置均为TDD 200 MHz+FDD 20 MHz;B区5个站点中,站点2的配置为TDD 200 MHz+FDD 40 MHz,站点3的配置为TDD 100 MHz+FDD 40 MHz,其余3个站点的配置均为TDD 200 MHz+FDD 20 MHz。

如表5所示,本次试点中,测试站需完成3.5 GHz 200 MHz扩容及2.1 GHz 40 MHz的翻频,同时对于峰值测试区域,要求闲时上行干扰小于5 dB,上行负载小于10%,因此测试需选择在00:00—06:00进行,并需要核心网协同配置上行不限速的SIM卡。

由于SUL链路没有对应的下行,因此SUL链路的功率控制、链路管理等依赖NR TDD载波的下行测量。因此,SUL载波覆盖与对应的NR TDD载波一致时,增益能够达到最大^[11]。如图5所示,在进行超级上行网络部署时,需要保证Sub-3G载波与C-Band载波的天线方位角夹角差小于10°,以使性能达到最优,而对于

表5 站点改造信息

试点区域	频谱	话务	环境	基站版本
A 区	5 站点均需 FDD 扩频	满足要求	楼宇密集,不适合峰值测试	18.1
B 区	3 站点需 FDD 扩频 1 站点需 TDD 扩频	满足要求	有楼宇和开阔道路,环境较空旷,便于开展测试	18.1

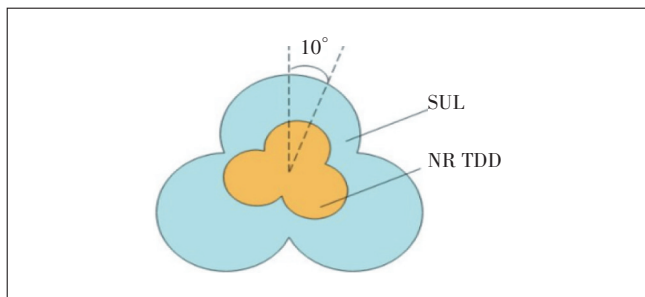


图5 3CC TDD天线方位角要求

200 MHz CA,建议同站部署,但跨站部署CA也能生效,效果视现网情况而定。

3.2 优化过程及结果

3.2.1 单载波性能测试

通过提取现网话统,发现凌晨00:00—06:00的负载和利用率较低,因此选择该时段进行测试。小区近点(主瓣覆盖范围内的LOS径)选取B区站点2作为极好点进行TDD 100 MHz+SUL测试,并申请不限速SIM卡,初步测试TDD 100 MHz单载波下行速率达到900 Mbit/s,上行叠加20 MHz带宽SUL后,速率达到500 Mbit/s,总体符合预期。

3.2.2 跨站峰值测试

经统计,现网同时存在TDD与FDD同站或跨站部署,如B区站点2(TDD)和B区站点3(FDD)相隔70 m。在对B区站点2的跨站3.5 GHz 200 MHz+2.1 GHz 40 MHz测试前,下发传统优化参数如PUSCH/PRACH抢占等,使测试用户被满RB调度,寻优后测试结果为上行速率700 Mbit/s和下行速率2.7 Gbit/s。

3.2.3 同站峰值测试

同站CA为现网较为理想的场景,因此在完成B区站点3的200 MHz扩容后,同步下发如下优化参数,用以实现商用网络上行1 Gbit/s、下行4.07 Gbit/s的体验。一是近点功率保护,避免干扰影响上行速率。二是避开异频MR订阅,避免现网异频测量开启后导致性能损失。三是多套外环链路自适应(outer loop link adaptation, OLLA),如果不同slot的RSRP/SINR/功率/解调不同,用一套OLLA会导致有些slot误码高,整体选阶低。多套OLLA就可以让某些误码高的slot选一个阶数,其他slot按一个阶数调整^[12]。

如图6所示,通过以上优化手段使用户解调增强,MCS更高,上行速率达到935 Mbit/s。虽有较大提升,但距上行1 Gbit/s、下行4 Gbit/s的目标速率仍有差距。

3.2.4 试点结果

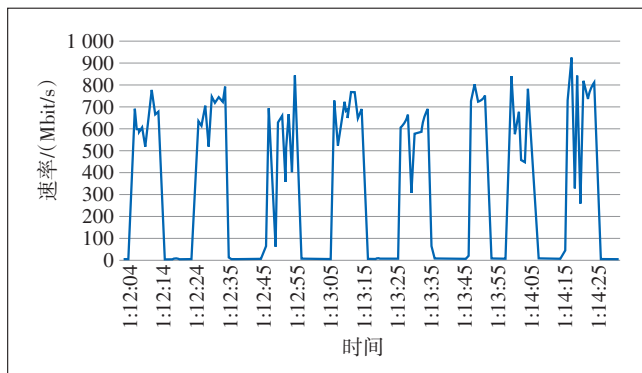


图6 上行2CC CA+SUL同站峰值测试

上行峰值速率达935 Mbit/s后,通过对基站log解析发现SCC调度次数与SUL调度次数不足。经定位分析是终端原因,最终通过终端优化配合前期基站优化,实测上行峰值速率达到1.04 Gbit/s,下行峰值速率达到4.07 Gbit/s。由于外场无法达到绝对理想环境,无法采用1024QAM,因此4.07 Gbit/s的下行速率已基本为国内商用网络当前现有频谱的极限能力。

4 3CC部署方案

在完成3CC载波聚合上下行峰值测试后,某市联通拉通规、建、维、优多条线,综合考虑现网站址情况、3.5 GHz二载波和2.1 GHz共站情况,选择外环内全量区域及外环外重点场景下满足条件的站点进行开通,逐步实现5G-A“人人千兆”的愿景^[13]。如表6所示,经统计,某市联通外环内共有3 669个5G物理站,其中共站址为785个。

表6 外环内站址梳理情况(单位:个)

外环内	宏站	室分	总计
3.5 GHz双载波	623	439	1 062
3.5 GHz双载波+NR2.1 GHz	783	2	785
NR2.1 GHz	671	1 151	1 822
总计	2 077	1 592	3 669

外环外结合重点场景和道路,在具备条件的25 km道路上进行筛选。然而,考虑3CC测试情况,最高4 Gbit/s峰值将给网络承载带来如下风险。

- CRAN比例高(3.5 GHz/2.1 GHz/900 MHz/1.8 GHz共BBU)。
- 主控板e板存量高。
- 物理站和BBU是N:M的关系,不是1:1的关系。

d) 3G、4G/5G有规模部署的CI互联场景。

e) 如果有BBU间CA关系,要考虑对承载网的负荷冲击(Xn接口和X2接口)。

最终经多方评估,对于A-B站,4G、5G分离主控,

DSS和CI互联,UMPTe3主控,ipran2.0(10G传输)等场景,如果承载回环无法支撑10 Gbit/s以上,不建议在本次快速开通(见图7)。

最终在外环内外共计筛选1 007站,6 200个以上

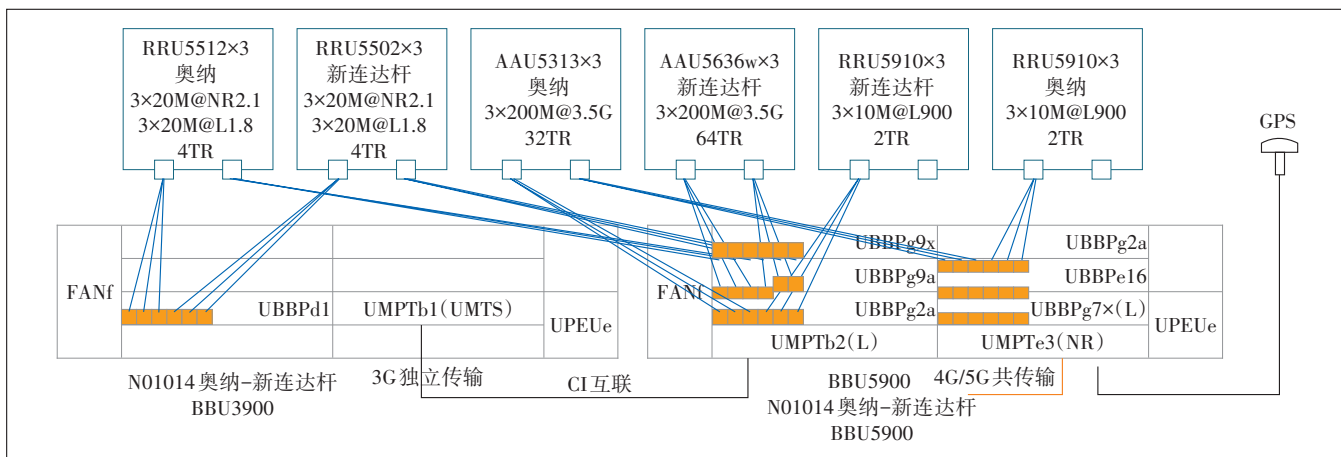


图7 风险场景组网架构

小区完成3CC开通,经过一周KPI观测,现网未出现性能异常。

5 结束语

本次部署方案以试点为核心,从外环内向外环稳步推进。前期准备工作中除了各项优化参数及特性脚本需提前准备外,在其他子网和其他区域批量开通前,应评估好相关的网络影响提前进行报备,并在开通期间做好KPI观测工作以便及时监控网络性能。因为测试时间段上行PRB被测试用户抢占,背景用户上行体验下降,因此建议尽量选择在无上行背景用户时段进行验证,从而达到最好效果。当前,2.1 GHz 40 MHz演进与网络强国战略践行工作正有条不紊地开展,应持续推进40 MHz演进研究与3CC的开通部署。为应对持续增长的网络容量和用户日益提高的体验需求,某市联通即将完成全网200 MHz+SUL开通工作,并持续探索下行240 MHz载波聚合体验,为即将到来的5G-A万兆体验时代,提前部署网络能力,在夯实商用网络泛在千兆的同时,不断探索新应用,将某市打造成为5G-A应用标杆城市。

参考文献:

- [1] 刘英男,张涛,王伟. 5G NR载波聚合部署方案研究[J]. 邮电设计技术, 2021(4): 50-53.
- [2] 张彦红. 利用超级上行和辅助上行解决5G上行受限的应用研究[J]. 中国新通信, 2022, 24(16): 71-73.

- [3] 李沸乐,杨文聪. 5G-A通感融合网络架构及演进研究[J]. 邮电设计技术, 2023(5): 33-38.
- [4] 张雪贝,王立文,杨文聪,等. 面向5G-A及6G的用户面演进研究及趋势分析[J]. 信息通信技术与政策, 2022(9): 64-70.
- [5] 董旭菲,高帅,李培,等. 5G XR业务标准化技术及演进研究[J]. 邮电设计技术, 2023(10): 45-49.
- [6] 付斐,张国光,沈凌,等. 5G网络下的3.5GHz+2.1GHz站间CA载波聚合策略研究[J]. 江苏通信, 2022, 38(5): 40-42, 48.
- [7] 王国祥,李常国. NR频段载波聚合研究与现网应用[J]. 山东通信技术, 2022, 42(4): 6-10.
- [8] 王伟,张涛,李福昌. 5G高低频协同组网方案研究[J]. 邮电设计技术, 2021(3): 42-45.
- [9] 王建斌,陈鉴锋,蔡旭东. 5G-Advanced上行能力提升研究[J]. 移动通信, 2022, 46(11): 84-89.
- [10] TOUFIK I. 3GPP: 5G新通话标准化进程回顾与展望[J]. 通信世界, 2023(19): 10-11.
- [11] 陈光瑞. 5G“超级上行”解决方案浅析[J]. 中国新通信, 2020, 22(21): 44-46.
- [12] 郑咏. TM5005G NR系统下行多载波聚合下系统时延优化设计[J]. 中国新技术新产品, 2020(13): 1-3, 7.
- [13] 林琳,朱斌,王光全. 基于5G-A通信感知融合的能力开放技术[J]. 移动通信, 2022, 46(2): 9-12, 25.

作者简介:

胡秋悦,工程师,硕士,主要从事无线网络规划工作;齐咏嘉,高级工程师,硕士,主要从事无线网络规划与优化工作;刘占强,高级工程师,硕士,主要从事无线网络综合管理工作;赵林,工程师,学士,主要从事无线网络规划工作;夏晶,高级工程师,硕士,主要从事无线网络规划设计工作。