

# 通信世界

COMMUNICATIONS WORLD

总第950期 2024年8月25日 第16期

中国标准连续出版物号: ISSN 1009-1564  
CN 11-4405/TP



工业和信息化部主管  
人民邮电出版社有限公司主办



中国通信企业协会会刊

## 5G+“宽带边疆”

## 助力大美新疆

《决定》解读：工业互联网创新发展  
促进数实深度融合 /P9

邓伟谈卫星互联网  
新变局下中国移动的抉择与前行/P12

万兆时代  
FTTR关键技术研究展望/P23

ISSN 1009-1564



771009156241

16

# 通信世界

COMMUNICATIONSWORLD

观察·研究·批评·推介

产业发展的**推动者**

## 寻产业足迹

## 探企业风云

## 瞰时代变迁



# 落地“设备更新行动” 应加大5G行业支持力度

刘启诚

最近参加“宽带边疆&信号升格”媒体调研行活动，在新疆多地实地考察调研5G、千兆光网、算力设施等建设和应用情况，收获颇多。一是看到边疆地区的信息基础设施建设得这么好，助力各行各业发展成果显著，由衷地为新疆通信行业的努力点赞；二是具体深入到工矿企业了解到5G行业应用、算力能力应用等情况后，发现这些行业用户对5G、千兆光网、算力的需求还是很迫切的，但企业的投入能力毕竟有限，运营商投入也是压力巨大，要解决这一问题，需要国家层面出台更有效的政策措施。


党的二十届三中全会提出，“健全促进实体经济和数字经济深度融合制度”“构建新型基础设施规划和标准体系，健全新型基础设施融合利用机制”。数智时代，以5G、千兆光网等为代表的新质生产力是新一轮科技革命和产业变革的坚实支撑，对千行百业的赋能作用日益凸显。在这次新疆调研中，八一钢铁公司的数智建设、乌鲁木齐智慧陆港建设和伊犁庆华能源矿区的5G智慧矿山给大家留下了深刻的印象，这些项目都是在践行二十届三中全会的精神，把5G等新质生产力的作用发挥得更大。

但在与这些项目方沟通时，笔者发现一个问题：这些项目的5G网络等基础设施建设，主要还是由运营商承担，行业企业侧重于运营平台、管理平台等系统平台的建设。这是目前5G行业应用中较为普遍的一种模式，但在这种模式下，5G行业应用难以实现规模复制，5G赋能千行百业的作用也将大打折扣。

5G发展5年来，工业和信息化部一直强调要推进5G行业应用复制推广，加强跨部门、跨行业、跨领域的协同合作，加快建立产品共同创新、价值共同创造、利益共同分享的合作共赢发展模式。但目前来看，5G行业应用规模化开展得并不十分理想。这其中的原因很多，但一个关键问题就是资金投入。

5G赋能千行百业，其实对这些行业来讲就是一次“技术改造”，一般行业的“技改”是有成本的，而且还要冒风险，对于许多企业来讲，成本是个大问题。“上马”5G不见得就立竿见影带来效益，而且现在5G在大多数行业中的应用还处于探索阶段，并没有深入到企业核心生产环节之中。

此前，笔者曾撰文呼吁，政府要重视5G行业建设中资金投入产出的问题，建议政府出台更多的扶持政策，加大资金支持力度，让老旧企业大力实施5G“技改”。从目前情况来看，5G“技改”资金不足的问题还是没有得到重视。

当前，为了提振经济，国家正在大力推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动，其中，在设备更新行动项目中，明确提到了要加大重点行业、建筑和市政基础设施领域、交通运输和农业领域、教育文旅医疗领域的设备设施更新。而这些领域，对5G、千兆光网、算力的需求非常迫切。因此，建议国家相关部门将一部分资金用于行业数字化建设中，大力支持5G行业专网、千兆光网和算力设施的建设，而不是一味地让几大运营商去承担，把好钢用在刀刃上。 

半月谈

# CONTENTS 目录

## 观察 Observation

- 04 卫星互联网新政落地，民企能否扛起“上天”大旗？
- 05 5G-A套餐上市，全量商用仍待时日

## 深度 Interpretation

- 06 5G+“宽带边疆”助力大美新疆

## 产业 Industry

- 09 《决定》解读  
工业互联网创新发展，促进数实深度融合
- 12 邓伟谈卫星互联网  
新变局下中国移动的抉择与前行



## P06 5G+“宽带边疆”助力大美新疆

### 广告目录

- 封二 通信世界形象广告
- 封三 通信世界发行广告
- 封底 加快数字赋能，建设美丽中国公益广告



## P14 半年报解读：运营商收入增速下滑的破题与解题

- 14 半年报解读  
运营商收入增速下滑的破题与解题
- 16 发展新质生产力背景下  
运营商线上运营模式创新思考

## 技术 Technology

- 18 FTTR标准与产业发展
- 21 FTTR发展与中国电信的探索实践
- 23 万兆时代，FTTR关键技术研究与发展
- 27 运营商FTTR创新发展思考与建议
- 31 5G-R关键技术与装备
- 35 IPv6技术创新与应用
- 39 无线容量自优化算法的研究
- 42 基于AI和大数据分析  
提升宽带网络健壮性的研究和应用
- 44 大规模异构算力资源池应用管理系统构建策略分析



**主管:** 工业和信息化部

**主办:** 人民邮电出版社有限公司

**出版:** 北京信通传媒有限责任公司

**编辑:** 《通信世界》编辑部

**总编辑:** 刘启诚

**副总经理:** 张鹏

**执行主编:** 舒文琼

**采编部:** 王涛 甄清岚 梅雅鑫 王禹蓉 孙天  
程琳琳 朱文凤 王鹤迦 包建羽 盖贝贝

**美术编辑:** 杨斯涵 李曼 张航

**持证记者:** 刘启诚 刁兴玲 程琳琳 甄清岚 郑勇志 王禹蓉  
梁海滨 牛晓敏 梅雅鑫 朱文凤 王鹤迦 包建羽  
孙天

(国家新闻出版署 举报电话: 010-83138953)

**市场部:** 申晴 孟月 姜蓓蓓 沈新竹 刘适之 曹俊英  
尹源

**工联网:** 郑勇志 刘艳玲 胡锦涛 甄清岚 程琳琳

**视频编辑:** 林嵩 黄杨洋 卢瑞旭

**技术支持:** 伍朝晖

**通信地址:** 北京市丰台区顺八条1号院2号楼北阳晨光大厦3层

**邮编:** 100079

**编辑部:** +86-10-52266521

**营销部:** +86-10-52266541

+86-10-52265997

**发行部:** +86-10-52265707

**通信世界网址**

Website: www.cww.net.cn

**投稿邮箱:** cww@bjxintong.com.cn

**中国标准连续出版物号:** ISSN 1009-1564  
CN 11-4405/TP

**出版日期:** 2024年8月25日

**承印单位:** 涿州市荣升新创印刷有限公司

**定价:** 20.00元

## 编委会

### 编委会名誉主任

郭浩 中国通信企业协会会长

### 编委会主任

顾昶 中国工信出版传媒集团总经理

### 编委会副主任

赵中新 中国通信企业协会副会长兼秘书长

赵晨阳 中国工信出版传媒集团副总经理

### 编委会委员

蒋林涛 中国信息通信研究院科技委主任

余晓晖 中国信息通信研究院院长

鲁春丛 中国工业互联网研究院院长

李长海 中国工信出版传媒集团原总经理助理

沈少艾 中国电信科技创新部顾问

张成良 中国电信研究院院长

马红兵 中国联通科技创新部总经理

黄宇红 中国移动研究院院长

唐雄燕 中国联通研究院副院长

高鹏 中国移动设计院副院长兼总工

窦笠 中国铁塔股份有限公司技术部总经理

杨骅 TD产业联盟秘书长

吕廷杰 北京邮电大学教授

梁海滨 北京信通传媒有限责任公司副总经理

刘启诚 通信世界全媒体总编辑

陈山枝 中国信科集团副总经理

**法律顾问:** 北京市蓝石律师事务所

**发行范围:** 公开发行

**国内发行:** 中国邮政集团公司北京市报刊发行局

**订购处:** 全国各地邮局 **邮发代号:** 82-659

**国外发行:** 中国国际图书贸易集团有限公司(北京399信箱)

**国外发行代号:** T1663

**广告发布登记:** 京东市监广登字20170149号

## 本刊声明

- 《通信世界》授权信通传媒旗下通信世界网为本刊唯一网络发布平台，本刊所有内容将在通信世界网上同时刊登，本刊文章可能由通信世界网向其他合作网站免费提供。向本刊投稿的作者，均同意上述条件，如不同意请在来稿中特别注明。
- 本刊寄发给作者的稿酬，已含其作品发表在本刊网站及电子版上的稿酬。
- 向本刊投稿的作者应同意授权本刊可以依法维护其著作权等权利。
- 未经本刊书面同意，不得以任何形式转载、使用本刊所刊登的文章及图片。

# 卫星互联网新政落地 民企能否扛起“上天”大旗？

■ 朱文凤

近日，工业和信息化部发布《关于创新信息通信行业管理 优化营商环境的意见》，提出深入推进电信业务向民间资本开放，加大对民营企业参与移动通信转售等业务和服务创新的支持力度，有序推进卫星互联网业务准入制度改革，更好地支持民营电信企业发展。

这并不是工信部首次发文推动卫星互联网业务发展，2023年10月，工信部就《关于创新信息通信行业管理 优化营商环境的意见（征求意见稿）》公开征求意见，提出要分步骤、分阶段推进卫星互联网业务准入制度改革。显然，政府正持续传递出对民营卫星互联网事业的支持信号，加大卫星互联网业务开放是大势所趋。

卫星互联网是“空天地一体化”网络中不可或缺的一环，是跨越国界、天然全球化的太空基础设施，战略意义不言而喻；且随着手机直连技术等商业闭环生态的发展，卫星互联网从小众领域走向大众市场，经济价值愈发凸显；加之卫星资源获得秉承“先占先得”的原则，在空间频率和轨道资源有限的情况下，抢抓卫星互联网机遇已成为全球共识。

我国此前以举国之力发展航天事业，重心在于载人航天、北斗导航、探月探火等重大航天工程，对商业航天的探索则十分有限，因而目前我国卫星互联网产业仍处于在轨验证阶段，尚未形成类似美国“星链”的运营能力。我国卫星互联网发展以“国家队”为主，在市场推广、运营模式上相对保守，亟需注入新鲜力量，以进一步激活产业动能，打造具有国际竞争力的卫星互联网产业集群。此外，卫星互联网建设成本高、周期长，产业链复杂，分工烦琐，这也决定了其发展必须有市场力量参与以充分调动产业活力。

北京邮电大学经济管理学院教授曾剑秋表示，“放眼全球，卫星互联网需要通过开放、竞争来促进产业发展。SpaceX作为典型的商业卫星公司，其‘星链’项目已发射6800多颗卫星，并在七大洲62个国家和地区开展卫星通信服务，活跃用户超230万。这背后固然离不开政府部门的支持，但民营企业对卫星互联网的推动作用亦不容小觑。”

目前我国对卫星互联网业务的开放程度较低，民企很难进入相关经营业务范畴，而推进卫星互联网业务准入制度改革，可让已进入的民营企业有法可依、有规可循，并且让支持更多具有创新力的民营企业有机会加入卫星互联网领域。

那么，民营企业该如何把握当下机遇？关键在于自身。毫无疑问，在卫星互联网产业的“高门槛”下，民营企业在资金、技术、市场方面的积累较为薄弱，挑战严峻，但后续国家会出台具体支持措施，民营企业要顺应产业大势、把握技术发展规律，找寻自身的发展机会，并更多地与“国字号”企业合作。

具体来看，民营企业可充分挖掘市场需求，依托自身优势，切入卫星互联网细分领域，并凭借灵活的运营机制，发挥国内制造业优势，在卫星制造、发射、运营等各个环节不断创新，实现批量化生产，降低卫星成本，加快产业发展步伐。民营企业的加入必将使卫星互联网呈现更加多元、活跃的市场格局，也可使消费者享受到更加优质、个性化的服务。

改革之“进”，民企向“新”，向上“捅破天”或许不是难事儿。未来许多业务需要空地一体化系统作为支撑，卫星互联网业务前景广阔，有能力、有想法的民营企业应把握机遇，翱翔于更加广阔的天地之间。（作者为本刊记者）

# 5G-A套餐上市 全量商用仍待时日

■ 金峰

从2024年5月起,5G-A逐步从前期的营业厅展示、友好用户测试、重大活动保障等场景中走出,以套餐产品的方式,面向公众用户进行销售。总体而言,产品价格较贵,远超现有用户平均消费水平,例如上海移动的5G-A套餐最低为199元,而中国移动的移动用户ARPU值约为50元,5G用户ARPU值约为80元。这导致了90%以上的被调研用户表示,暂时不考虑升级5G-A。

2024年是5G-A元年,5G-A商用部署加速。一是在技术标准上,2024年6月,3GPP R18冻结,这是5G-A的第一个正式标准。二是在政策上,北京、上海、深圳等城市支持5G-A建设。三是运营商开启商用部署。3月中国移动宣布5G-A商用并公布首批100个城市名单,计划2024年内在300个城市部署5G-A;6月,中国电信发布“5G-A行动计划”,包括八大核心能力、六大生态合作和九大核心应用;中国联通和中国广电亦开展建网行动。四是获得了主流终端制造商的支持,OPPO、vivo、小米等厂商发布相关产品,且骁龙8Gen3、天玑9300等终端可通过OTA的方式实现对5G-A的支持。

笔者认为,尽管2024年是5G-A元年,运营商也推出了套餐产品,但目前更应该把它看作是赋能未来的基础设施。

首先,历史经验显示,新一代网络普及需要数年。其商用后,在公众用户市场,供给侧受限于网络和终端成熟度,需求侧受限于用户换机周期,全面普及一般需要3~4年;在政企用户市场,受制于基础设施成熟度、商用成本、标杆案例价值等,周期可能更长。

其次,5G-A发展成熟度不足。一方面,网络尚待完善,即便是5G-A建网领先的上海,预期到2024年末,5G-A的基站数也仅达到5G的40%左右;另一方面,终端也待完善,目


前支持5G-A的终端均为各厂商旗舰机型,只有价格进入千元时代,才有望规模普及。因此,率先公布商用计划的中国移动表示,需要加强产业生态建设,争取到2026年实现全量商用。

最后,5G-A应用尚待挖掘。在网速方面,从5G到5G-A,虽然实现了从千兆向万兆的跃升,尤其是上行带宽,但对于已经“网速富裕”的5G,缺乏实质性的意义。在时延、感知、效能等能力的应用上,仍需要进一步挖掘。为此,该套餐在面向公众用户推广时,应尽力凸显5G-A能力,包括为商旅、游戏、直播等三大用户群提供服务,并在套餐中融入人工智能、云电脑等对时延、速率要求较高的应用。

由此可见,随着未来网络建设逐渐完善、终端形态日益丰富,5G-A将被有序推广,为数智产业发展赋能。在通信行业,5G-A是从5G向6G过渡的阶段,按照移动通信经验,“偶数世代”(如2G、4G)是成熟代际,而“奇数世代”(如1G、3G)是布局代际,因此为了让通信网络能够给产业发展提供更有效的基础设施,需要发展5G-A。

在公众应用市场,“基础设施先行,应用产业逐步填充”是常规路径,5G-A能够带动潜在创新内容或应用的发展,例如一直处在待发展中的XR市场。

在政企应用市场,尽管5G的核心应用市场被认为是政企市场,但前期发展未达预期,重要原因是5G网络的成本、性能尚未完全匹配规模化行业应用的要求,而5G-A和未来的6G是解决上述问题的抓手。例如5G RedCap对终端成本、能耗的降低等。

目前,我国运营商在各地积极部署5G-A网络,为新兴产业的发展提供了网络基础,例如如火如荼的低空经济。未来,随着基础设施和商用模式的不断成熟,5G-A将迎来全量商用。(作者为ICT行业资深分析师) 

# 5G+“宽带边疆” 助力大美新疆

■ 本刊记者 刘启诚

大美新疆是近年来许多人的旅游目的地，每年暑期，有3亿多人来到新疆感受祖国的壮丽河山，体验边疆少数民族风情。新疆文旅火热的背后，是5G和“宽带边疆”助力新疆数智化建设结出的丰硕成果。当然，数智化建设不只是支撑新疆文旅，以千兆光网、5G为代表的数字基础设施建设，推动新疆迈向数字化发展的新时代。不论是在偏远的牧场、绝美的景区、荒芜的边境，还是在繁华的城市、拥挤的巴扎、忙碌的矿山和工厂，人们都能够享受到高速、顺畅的宽带网络，不仅如此，宽带网络还带动各行各业迈向数字化、智能化，实现高质量发展。近日，通信世界全媒体记者随“宽带边疆&信号升格新疆站调研行”活动，在新疆实地探访工厂矿山、边贸口岸、巴扎夜市，了解当地数字基础设施如何赋能智慧陆港、智慧矿山、智慧牧业、智慧文旅等领域，助力数字经济、数字社会高质量发展。

## “宽带边疆” “信号升格” 建设成果显著

新疆作为我国最大的行政区域，其通信网络覆盖呈现点多、线长、面广的特点，因此“宽带边疆”建设任务艰巨。新疆通信管理局副局长付洪杰在接受



通信世界全媒体采访时透露，截至今年上半年，自治区34个边境县城已100%实现5G和千兆光网覆盖；58个边境团场已全部实现5G网络覆盖，51个边境团场实现千兆光网覆盖。全区行政村4G通达率100%，5G通达率92%。同时，新疆的“信号升格”专项行动也取得理想进展，截至今年上半年，全区针对重

点场景优化5G基站13984个，新建5G基站1165个，新建室内分布系统452套，重点场景移动网络信号深度覆盖水平显著提升。

其中新疆电信在4569个行政村建设宽带光端口146万余个，在1394个行政村及边境区域建设1811个4G基站，已完成34个涉边市县的381个街道、乡、镇及团场千兆光网和4G/5G网络全覆盖。

新疆移动目前在全区已累计开通5G基站3.3万个，5G人口覆盖率超90%，5G行政村覆盖率达72%，高等学校、交通枢纽、文旅景区等重点场景已基本实现5G基础覆盖。为响应“旅游兴

疆”战略，中国移动连续5年实施“畅游西域”专项工作，深入推动5G网络在旅游景区覆盖，提升旅游景区网络体验，同时拓展网络技术在乌鲁木齐文旅发展方面的创新应用，持续探索数字化服务新产品、新模式。

新疆联通今年计划再建设基站735个、宽带端口4.17万个，确保到2025年

底边疆地区的关键区域实现5G和千兆光网的广泛覆盖。以“信号升格·数联天山”专项行动为核心,持续推进疆内重点公路、重点铁路及地下停车场等场景信号升格工作。截至2024年7月,累计完成3991个地下公共空间覆盖,总体覆盖率达到92%。

在“宽带边疆”“信号升格”行动中,针对公路铁路问题,新疆铁塔与运营商协同开展专项网络覆盖工作。截至目前已完成北疆铁路、乌尉高速、阿禾公路、别迭里口岸等重点项目的勘察设计及部分建设工作,预计至2025年底投资2亿元,建设基站1310个,完成全疆30条重点道路和铁路的连续覆盖。同时,在全疆开展“电梯+公共地下空间”专项覆盖工作。

## 普惠民生高质量发展

先进的网络基础设施不仅为新疆各行各业的现代化推进奠定了坚实的网路基础,也增进了全疆2600万人口的民生福祉。

新疆移动积极推动“5G+旅游产业”创新,打造精品网络,让数以千万计的游客享受到便捷的移动网络服务。乌鲁木齐移动公司在27个A级景区中建设了294个基站,各景区内移动信号综合覆盖率超97%,全覆盖景区达21个。在乌鲁木齐国际大巴扎,为了让游客更好地体验当地的民俗风情,乌鲁木齐移动公司开通了5G-A服务,共建设了5G基站12个,人们在这里可以畅快地分享、愉快地购物。

“六星街里还传来,巴扬琴声吗?”在伊宁市著名的六星街里,听着狼戈的《苹果香》,你是否很惬意这美好的塞外风光。作为著名的风景区,伊宁六星街日均接待游客高达6.5万人次,如何满足游客流畅的高清视频通话、随

时分享美食/美景需求?中国移动伊犁州分公司为六星街打造了4G与5G网络融合的立体覆盖网,为游客和居民提供高速、低延迟的无缝网络连接服务。

而在伊宁黄公巴扎的黄公活畜交易市场,巨量的活畜交易正在进行。这个拥有逾百年悠久历史的活畜巴扎,如今也进入了数字化时代。在中国电信伊犁分公司的全力支持下,该市场不仅实现了全面的有线与移动通信网络覆盖,还成功搭建了“智慧管理平台”,精准对接并推动了农牧产业的升级需求。中国电信伊犁分公司政企部行业总监马达介绍说,这一智慧管理平台通过提供实时、透明的市场价格信息及详尽的销售行情参考,加速了牲畜的出栏流程;促进了牲畜产品的高效流通,进一步推动了当地农牧业的繁荣与发展。

而作为中国最大的陆路口岸,霍尔果斯的边境游、跨境游成为许多游客的选择。在中国(新疆)自由贸易试验区霍尔果斯片区的中哈霍尔果斯国际边境合作中心,来自浙江的金兴忠开了一家义乌国际商贸城,金兴忠的目标是打造一个面向中亚的“直播义乌”,商贸城采用了一种创新的管理模式,即由商贸城统一规划管理,商户则根据自身需求自主

开展直播活动,并灵活申请开通直播服务。目前,已有超过40家商户登记加入跨境直播行列,有上百名来自中亚的网红直播,在商贸城里面向中亚用户进行直播带货,商品不仅包含小电器、化妆品,甚至还有汽车,极大地促进了霍尔果斯合作中心跨境直播产业的蓬勃发展。而支撑金兴忠直播带货的是中国电信霍尔果斯分公司开通的全疆首个SD-WAN跨境电商直播专线。中国电信霍尔果斯分公司总经理刘卫东表示,为满足跨境电商直播行业对高品质网络连接的迫切需求,中国电信创新采用了5G定制网中的“UPF+LFC”下沉技术,助力电商企业有效应对跨境直播中遇到的网页加载缓慢、画面卡顿、网络掉线等一系列挑战,确保直播流畅无阻。

利用5G、AI等技术保护森林资源,已成为伊犁铁塔分公司的一项重要任务。据中国铁塔伊犁分公司总经理吴建庆介绍,中国铁塔基于“遍布全国、点多面广、站高望远”的站址资源禀赋,通过“铁塔+视频终端+人工智能算法”,为森林防火提供站址资源、高点位置、电力保障、通信传输和综合建维等服务,将“通信塔”升级为“数字塔”,用科技助力生态保护事业的高质量发展。





## 5G+“宽带边疆”助力产业数智化

如今，“宽带边疆”建设正为新疆推动更高层次开放型经济发展、培育新质生产力筑牢数字基础设施。

在新疆乌鲁木齐国际陆港区，新疆联通利用新技术赋能智慧路港，通过在轨道吊远控改造、指挥调度中心建设、园区数字孪生等方面进行升级，帮助陆港区实现了新疆首例5G轨道吊远程控制应用。新疆联通结合5G MEC专网应用，依托5G网络超低的传输时延和极高的可靠性，助力国际陆港实现远程作业，提高了作业的安全性、推动了现场的无人化，由此提升了30%的生产效率，降低了70%的人力成本。记者在现场看到，无人驾驶集卡车根据作业计划的预定路线到达轨道线前，通过轨道吊的抓取进行装箱，然后沿着预定路线将集装箱运送至指定箱区，再通过轨道吊进行卸箱，整个过程高效快捷。

八一钢铁股份有限公司是全疆第一批开展数字化改造的工业企业，已成为新疆产业链最长、产能水平最高、产品品种最全的千万吨级钢铁企业。这次调研活动的第一站，记者就走进了八一钢

铁，探寻它的数字化改造之路。八一钢铁股份有限公司智慧化与大数据建设办公室主任李川阳介绍说，八一钢铁高度重视“数智钢厂”建设，与中国移动新疆公司紧握合作之手，通过5G网络与钢铁行业的融合，解决八一钢铁安全生产难题，实现降本增效，共同树立了全疆工业领域“5G+智慧钢铁”的示范标杆。

中国移动乌鲁木齐分公司副总经理夏晓燕介绍说，新疆移动为解决八一钢铁安全生产难题，通过“700MHz+2.6GHz(+4.9GHz)”多频组网，新增26个5G宏站、40个小站，为八一钢铁打造了一张专属覆盖、网络定制、数据隔离、安全可靠的5G专网，这张5G专网实现了在移动场景下和大区域环境下工业控制指令的可靠稳定下达，确保了八一钢铁管控系统和工业系统的稳定运行，使得八一钢铁成为了新疆自治区首个“5G工业互联网+安全生产”示范基地，充分实现了厂区OT和IT的深度融合。目前，总部厂区部署了1800多个监控点位和200多顶5G“安全帽”，不仅实现了全

天候无死角的安全管理，而且巡检效率大幅提升。

而最让记者感到惊讶的是伊犁庆华能源煤矿的开采现场。在这里，10多辆矿车来回穿梭在矿坑中，将矿料运送到指定区域。而驾驭这些矿车的司机们竟然远在距矿区数千米的空调房里。在无人驾驶指挥中心内，只见工作人员坐在5G驾驶舱上，通过屏幕上实时回传的高清作业画面，轻松实现挖掘机的远程精准操控与无人运输的监控。原来这里早已实现了“5G+智慧矿山”的无人开采和挖掘。

中国电信伊宁县分公司副总经理马刚介绍说，中国电信在伊犁庆华能源开发有限公司矿区已建设数个4G/5G基站，通过露天矿区5G网络全覆盖，满足无人驾驶、远程控制、人工智能等技术的引入和应用，达成矿山剥离作业的“装、运、排”全流程管理，最终实现采装、运输、排土等过程的全自主无人作业，无需人员现场干预，最终打造安全、高效、绿色的智慧矿山无人驾驶项目标杆。





聚力新型工业化

# 《决定》解读：工业互联网创新发展 促进数实深度融合

■ 中国信息通信研究院 王欣怡

深入实施工业互联网创新发展战略是党中央从战略高度作出的重要决策。工业互联网作为新一代信息技术与实体经济深度融合的产物，通过促进设备互联、数据互通和资源共享，实现全要素、全产业链、全价值链的互联互通，催生出全新的模式业态和组织形态，在促进产业高端化、智能化、绿色化发展方面展现出强大的支撑力和推动力，已经进入规模化推广的新阶段。

党的二十届三中全会通过的《中共中央关于进一步全面深化改革 推进中国式现代化的决定》（以下简称《决定》）中提出要“加快新一代信息技术全方位、全链条普及应用，发展工业互联网”，在新的时代背景和形势变化中，对产业发展提出了新要求。近年来，在各方的共同努力下，我国工业互联网在设施建设、产业创新、应用推广、生态构建等方面已经取得了一系列积极成效，但随着内外形势和技术产业的不断变化，各种老问题、新挑战交织叠加，各类新机遇加速涌现，加大了产业发展的复杂性和困难度。因此，要在总结前期发展经验的基础上，保持战略定力，着力构建和完善适应新变化要求的设施体系、技术体系、应用体系、生态体系和政策体系，赋能新型工业化，为

构建现代化产业体系提供坚实支撑和强大动力。

## 深刻认识新时代新征程 强化工业互联网的重要意义

我国工业互联网起步探索较早，经过十余年的发展，实现了从无到有、从小到大的突破，已成为促进实体经济和数字经济深度融合的关键力量，成为推进新型工业化的战略性基础设施，在新时代新征程上继续发展工业互联网，对经济社会高质量发展具有重要意义。

工业互联网促进产业结构优化，带动高端化跃升。在传统产业升级改造方面，建立透明、协同、高效的生产运营体系，推动传统产业从粗放式向集约化发展方向转变、由价值链低端向高端跃升，进而提升传统产业的分工地位和竞争力。在优势产业壮大方面，通过打造“5G+工业互联网”、5G工厂等中国品牌，带动产业链上下游形成完整的产品谱系，有助于为经济注入新的活力、打造新的增长引擎。在新兴产业培育方面，工业互联网与人工智能、数字孪生等前沿技术的持续深度融合，形成了工业模型、工业数字孪生等新领域、新赛道，不仅为工业互联网发展带来机遇，也为相关技术提供了广阔的应用场景，

实现相互赋能。

工业互联网助力产业科技创新，带动智能化转型。工业互联网本质上是通过物联网、大数据、人工智能等各类数字技术与实体经济的深度融合，赋能产品设计、材料研制、工艺优化、加工制造等各个工业环节，并依托大量的数据资源、仿真模型等，促进不同学科之间的交叉创新，极大地缩短研发周期、加速产品迭代、提高创新效率，有助于更快地提升产业科技创新水平。如大型高端装备制造企业依托工业互联网开展网络化研发设计，汇聚各地资源共同推动设计研发，极大提升了工作效率。

工业互联网推动产业绿色低碳转型，引领绿色化发展。工业互联网能够带动产业绿色低碳发展。能源电力行业及重点用能行业基于工业互联网优化生产工艺流程，可以提高能耗设备运行效率和生产物料管控能力，助力企业、园区实现节能减排和绿色生产；同时显著提升清洁能源供给水平，并带动提升政府部门的绿色化治理水平。如已有多多个园区依托工业互联网建立园区碳管理平台，加强对碳排放的实时监测，助力园区提升管理效能，促进绿色转型。中国信息通信研究院的调查数据显示，数字技术赋能能耗降低的成效范围可



达5.7%~20%，赋能成本降低的幅度可达8.4%~24.7%。

### 准确把握发展工业互联网的新形势、新要求

《决定》提出“发展工业互联网”，是党在重大问题的改革决议中，首次明确提到工业互联网，也意味着在促进实体经济和数字经济融合、推进中国式现代化发展过程中，对工业互联网作用的发挥提出了新要求。

准确把握形势变化，保持战略定力。近年来我国通过打好“组合拳”“团体赛”等多种形式，为工业互联网发展营造了良好环境，但随着发展阶段的变化，需要不断对政策的着力点进行调整优化以匹配发展需求。与此同时，全球主要国家和地区围绕工业互联网、先进制造等相关领域的各项战略深入推进，并加速应用落地，特别是随着人工智能

等前沿技术的快速发展，各国之间围绕工业数字化、智能化、绿色化发展的竞争和博弈更加激烈。《决定》面对纷繁复杂的国际国内形势，提出发展工业互联网，就是要立足国内产业发展的实际需求，统筹考虑国际形势的动态变化，从如何依托工业互联网构建国内国际双循环相互促进的新发展格局入手，开展系统性、前瞻性布局。

立足前期基础优势，夯实底座能力。经过十余年的探索和发展，我国工业互联网的功能体系不断完善，从最初的网络、平台、安全，扩展到网络、标识、平台、数据、安全五大功能体系，内涵和范围持续扩大。与此同时，人工智能、数字孪生等前沿技术的快速演进，也为工业互联网带来了巨大的发展机遇。《决定》面对新一轮科技革命和产业变革，提出发展工业互联网，就是要求更好地把握新一轮

科技革命和产业变革深入推进带来的重大历史机遇，不断强化工业互联网基础设施建设和应用，在更广范围、更深层次、更高水平上释放叠加倍增作用，夯实实体经济和数字经济融合发展的坚实底座。

找准推广的卡点、堵点，深化融合应用。工业和信息化部统计数据显示，截至2024年6月底，我国工业互联网融合应用已经覆盖了49个国民经济大类，并且实现了41个工业门类的全覆盖。但在应用推广过程中，也出现了产业基础较为薄弱、数据治理能力和安全水平亟需突破等卡点。《决定》此时提出“加快新一代信息技术全方位全链条普及应用，发展工业互联网”，就是要求突破制约规模化应用推广的卡点、堵点，不断提升基础设施、重点技术、关键产品等的供给水平，推动工业互联网进工厂、进企业、进园区、进集群，进一步推



## 工业互联网发展的展望和建议

当前,我国工业互联网发展的挑战和机遇并存。一方面,存在很多需要着力突破的老问题,如我国工业基础仍然相对薄弱,企业中还存在大量无法实现设备互联和数据互通的老旧设备;另一方面,新一代科技革命和产业变革的深入推进,也为工业互联网带来了巨大的机遇,如新一轮人工智能的快速发展,为工业互联网发展注入了二次增长的动力。因此,需要通过不断地增强设施服务能力、提升创新水平、深化融合应用、做大产业生态,加快形成新质生产力,赋能新型工业化,促进经济社会高质量发展。

夯实数实融合的关键底座。近年来,我国工业互联网的网络、标识、平台、数据、安全五大功能体系建设持续推进,体系化发展水平不断提升,为下一步的各项工作“筑了基、打了样”。发展工业互联网,仍然要继续建立健全五大功能体系,推动行业企业面向自身需求开展内网改造和升级,促进标识在产业链上下游的“贯通”应用,完善各类平台的服务能力,建设面向重点行业的工业数据空间,筑牢技术先进的安全保障体系。同时,随着5G/5G-A、人工智能、AR/VR等技术与工业互联网的深度融合,应同步加强对工业互联网规模发展的算力支撑。

拓展融合应用的广度和深度。在过去十年的探索中,以制造业为代表的工业领域一直是工业互联网应用的“主阵地”,各类主体从工业的实际需求出发,在实践中总结了“数据驱动+机理模型”的数字化转型路径和方法论,为新阶段工业互联网发展积累了宝贵经验。在下一步发展中,工业互联网仍要立足行业特性和差异化发展需求,不断扩大应用范围,通过发布行业应用指南、解

决方案名录等方式为更多企业提供转型的“说明书”和“工具箱”,同时也要进一步提升应用深度,提升数字化设计、网络化协同等模式业态在核心环节的渗透水平。此外,要特别做好中小企业的信息化“补课”和水平提升工作,利用标准化、SaaS化的工业互联网产品降低中小企业的数字化转型门槛和成本,使更多传统产业企业“转得了”“用得着”。

提升科技产业的创新能力。持续创新是工业互联网促进传统产业升级的动力之源。当前,全球工业互联网发展正处在以人工智能为代表的新一轮数字技术变革大周期中,工业互联网技术产业的边界范围也在不断扩展延伸。在未来发展中,要继续将增强工业互联网的技术创新能力作为重中之重,不断提升高校、科研院所、大企业等各类主体协同创新水平,突破堵点、难点。同时,通过平台建设等方式加快新技术、新产品的工程化、商业化。与此同时,要加速推动工业大模型、智能装备、开放自动化、云原生工业软件、工业智能等新兴产业发展,加快形成工业互联网新的发展动力和引擎。

持续营造良好发展生态。工业互联网发展要按照系统化、工程化的整体思路持续推进,很难“毕其功于一役”,需要久久为功。在这个过程中,一方面要发挥好政府的引导作用,加强人才等各类要素的保障水平。另一方面要依靠有效市场的力量,通过工业互联网产业联盟更多地凝聚产业界、学术界、金融界等各方的广泛共识,吸引更多多元的主体参与到这项工作中来;同时积极深化与“一带一路”沿线国家、金砖国家,以及美国、德国、欧盟、日本等国家和地区的产业组织的交流合作,在高水平的对外合作中实现互利共赢。🌐

动传统产业转型升级做优存量,推动新兴优势产业和未来产业发展壮大做大增量,从而实现高质量发展。

持续深化多方协同,壮大产业生态。发展工业互联网是一项系统性、工程性较强的工作,涉及的环节、主体、领域众多,仅仅依靠某几家企业的“单打独斗”很难取得突破。近年来,我国工业互联网在前期发展中已经形成了全球最大的产业生态,并与诸多国家在经验分享、标准制定、人才培育等方面开展了相关合作。《决定》此时提出要“健全促进实体经济和数字经济深度融合制度”,就是要为包括工业互联网在内的融合领域发展提供更加完备、健全的制度保障,通过营造良好的制度环境,不断激发产业界、学术界、金融界等各类主体的参与动力和意愿,加强多方协同,为工业互联网规模化推广注入源源不断的活力。

# 邓伟谈卫星互联网 新变局下中国移动的抉择与前行

■ 本刊记者 刘启诚 朱文凤

6G时代是空天地一体化通信时代，网络将“上天、入地、下海”，无所不在、无处不达。作为开启这一愿景的关键钥匙之一，卫星互联网产业纵深发展劲力已显。那么，卫星互联网有着怎样的战略地位？电信运营商如何布局？未来发展有哪些趋势？带着这些问题，通信世界全媒体记者采访了中国移动研究院星地融合技术研究所所长邓伟。

## 锚定战略：抢占卫星发展制高点

1957年，世界第一颗人造地球卫星发射升空，开启了人类航天时代。自此，航天技术持续发展，商业卫星不断升空。特别是近年来，卫星民用价值日益显现，世界主要国家纷纷入局，卫星互联网“竞赛”全面开启。从铱星计划到O3b星座、星链系统，再到“GW”星座、千帆星座，卫星互联网历经几波建设热潮，逐步成为全球瞩目的领域。

群雄逐鹿，因何使然？邓伟表示：一是卫星资源稀缺宝贵，发展卫星互联网对国家具有重大战略意义；二是从小众市场到大众市场，卫星互联网商业价值大幅提升。

他进一步讲道，发射卫星离不开申请空间频率和轨道资源，而卫星频率

和轨道等太空资源属于全球性不可再生资源，资源获取需遵循“先申先得、先占先得”甚至“先占永得”的原则。在“占轨保轨”竞赛中，最引人瞩目的当属SpaceX的星链项目，该项目计划部署4.2万颗低轨卫星，在2027年完成全部发射任务，目前已发射6800多颗。而我国星网、垣信各自申报约1.3万颗卫星，8月6日垣信发射了首批18颗星。

与此同时，卫星互联网战略价值和经济价值凸显，低轨星座建设必要且迫切。大型低轨星座不只是“飞行的移动基站”，还是能够跨越国界、天然全球化的基础设施，在通信、导航、遥感、国防等方面体现出越来越重要的战略意义和经济价值。随着技术和产业发展，卫星通信正逐步从小众应急市场走向大众消费市场，应用场景更加广泛，特别是手机直连卫星让卫星通信走向普通消费者。目前，AST和星链的卫星大阵列天线可以实现低轨卫星手机直连，华为手机Mate 60 pro已实现高轨卫星手机直连。数据显示，我国从2023年9月到现在发展的卫星手机用户数，已超过此前三十



中国移动研究院星地融合技术研究所所长 邓伟

年的总和。

战略意义和商业价值双重驱动,我国加快布局卫星互联网已箭在弦上、刻不容缓。

值得注意的是,从发射能力到商业运营,我国卫星互联网与领先国家存在差距。在发射能力上,SpaceX的可回收火箭技术、一箭多星技术等,使其成本仅为国内的1/3~1/4;在发射数量上,星链已发射100多颗可以直连手机的卫星,我国仍只有少量试验星;在商业运营上,星链已在七大洲超过62个国家和地区开展卫星通信业务,活跃用户超230万户,而我国还没有开展低轨星座的商业运营。

由此可见,我国不仅要建设卫星互联网,还要像建设5G一样迅速有力,有效解决卫星组网成本高、卫星发射能力弱、技术和产业成熟度不足、商业运营待开展等方面的挑战,抢占未来产业制高点。

## 高效落实: 建立星地融合开放产业链

“中国移动勇担移动信息现代产业链‘链长’,积极践行国家‘天地一体’战略,领先一步踏入‘无人区’,支撑国家战略、引领产业发展。”邓伟表示。

今年2024 MWC上海展开幕式上,杨杰董事长对外明确提到,要全面推进“两个新型”升级计划,其中一个新型就是推进新型信息基础设施升级,未来将加快网络基础设施向空天地一体化演进,促进航空互联网、卫星互联网与地面网络深度融合。

今年以来,中国移动结合自身优势,于关键处快速“落子”,成功发射“中国移动01星”与“星核验证星”,为5G/6G技术在空间领域的应用奠定了基础;与中国星网等合资40亿元成立中国时空信息集团,布局空天地一体融合

通信业务;与华为、中兴通讯、银河航天携手,启动第三颗低轨卫星研制;成立星地融合技术研究所,全面开展卫星通信技术攻关。

这一系列动作的背后离不开长期的技术积累,邓伟表示,中国移动在国内外较早启动手机直连卫星技术研究和标准制定,标准贡献在全球运营商中居首位。

当前,卫星互联网标准并不统一,但NTN标准技术路线明确、演进潜力巨大,NTN可通过卫星网络与地面5G网络的融合,实现“空、天、地、海”多维空间的连接,构建天地一体的智能泛在网络,进而支持宽窄带、高中低轨等各类业务场景,促进卫星应用规模化发展。

一直以来,中国移动积极推进NTN技术发展,在面向NTN项目的3GPP国际标准体系中,中国移动的贡献度和影响力位居通信运营商第一。同时,中国移动还完成了多项NTN技术验证,加快NTN技术的商业化进程。如中国移动于2022年8月完成5G窄带NTN技术外场验证;2024年2月发射“中国移动01星”,完成5G宽带NTN在轨验证;2024年7月完成基于IoT-NTN技术的语音技术在轨验证试验。

“中国移动将坚持星地融合之路,以地面技术、地面产业融合卫星产业的发展,我们的合作伙伴有地面产业伙伴,也有卫星产业伙伴,未来将以开放的3GPP技术体制为基础,构建开放的星地融合产业生态。”邓伟强调。

## 着眼未来: 三大趋势开新局

相关机构预测,未来5年,我国卫星互联网市场规模将以年均12.8%以上的速度高速增长,到2028年市场规模有望突破千亿元大关,成为我国数字经济的重要增长极,为经济社会发展注入

强大动能。


在此过程中,邓伟认为卫星互联网发展将呈现三大趋势。

一是商业航天将成为主流。随着商业星座的逐渐部署,以商业服务为中心的商业航天产业渐趋完备,以手机直连卫星为主的业务更加丰富,以商用用户为主的闭环商业模式逐渐形成。

二是星地网融合将成为主流。以“连接泛在、服务泛在”为出发点,以“星地一体网”为部署目标,通过组网融合,分场景部署地面网或卫星网,充分发挥两种网络模式的各自优势。

三是以架构、空口、组网、多轨融合为核心的星地融合技术体系成为技术演进主流。通过架构融合实现星地两网高效协同,通过空口融合实现单一终端直连,通过组网融合实现星地资源共享统一调度,通过多轨融合实现卫星网络结构最优。

在此趋势下,未来业界将以星地网融合、终端融合、技术融合为基础,把部分地面业务、地面商业模式迁移到卫星网,丰富卫星业务类型,实现卫星用户和业务市场规模的大幅增长,这将有利于充分利用卫星网资源,发挥出卫星网的优势。如地面用户可基于卫星网更快捷地使用跨境业务、实时遥感业务、实时赛事直播业务等。

对于中国移动来说,其仍将致力于构建空天地一体化网络,为丰富的卫星应用提供网络服务。邓伟表示,未来将根据需求进行网络融合,构建空天地一体化网络。如实现地面网络连续覆盖,可以将地面网和卫星网进行一体化设计部署,使卫星网成为整体网的一部分;在低空领域,则与地面网、卫星网分层结合,前者覆盖600米以下的低空,后者覆盖600米以上的低空,两张网组合形成一张“逻辑网”,以此提供无缝的通信服务。 

# 半年报解读

## 运营商收入增速下滑的破题与解题

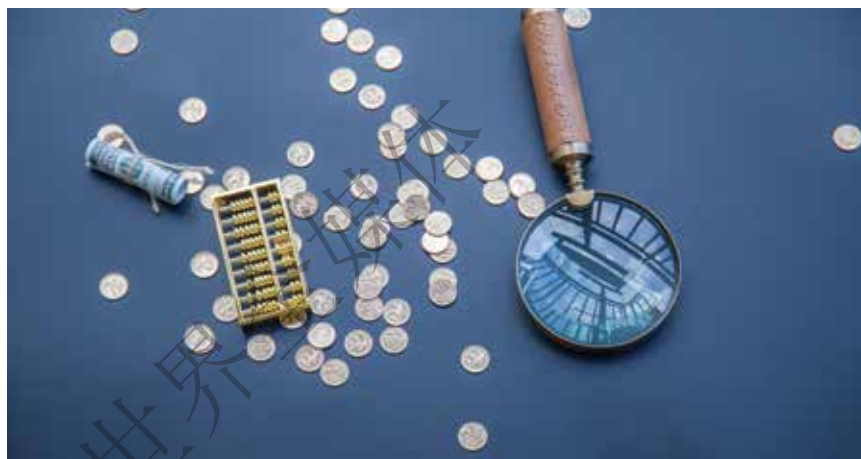
■ 中国电信研究院 胡世良

2024年8月,中国移动、中国联通、中国电信相继公布了2024年上半年财报,分析来看,三大电信运营商经营业绩总体符合市场预期,但收入持续增长面临较大压力。面对困难和挑战,如何促进我国电信业更好更快地发展成为行业关注的焦点。

### 收入增长符合预期, 收入增速持续下滑

2024年上半年,中国电信、中国移动、中国联通通信服务收入分别达到2462亿元、4636亿元和1757亿元,同比分别增长4.3%、2.5%和2.7%,收入增长率均低于同期5%的GDP增速,中国电信收入增长率高于行业3%的增速,中国移动、中国联通收入增长率均低于行业增速。总体来看,运营商收入增长是在面对有效市场需求不足、外部环境复杂严峻等困难和挑战下取得的,基本符合预期。但进一步分析发现,近年来运营商收入增速持续下滑(见图1),与电信运营商大力拓展产业数字化市场、加大算网建设力度、加快5G规模发展、加速“战新”业务发展和布局、深入推进“人工智能+”行动等形成强烈反差,运营商发展状况令人担忧。

从业务结构来看,运营商收入增速持续下滑的主要原因是作为“第二增长曲线”的产业数字化业务收入增



速下滑较大。半年报显示,2024年上半年,中国电信产业数字化业务收入达到737亿元,同比增长7.2%,增速较2023年下降10.7个百分点;中国移动数字化转型收入达到1471亿元,同比

增长11.0%,增速较2023年下降11.2个百分点;中国联通算网数智业务收入达到435亿元,同比增长6.6%,增速较2023年下降15.8个百分点。具体情况如表1所示。

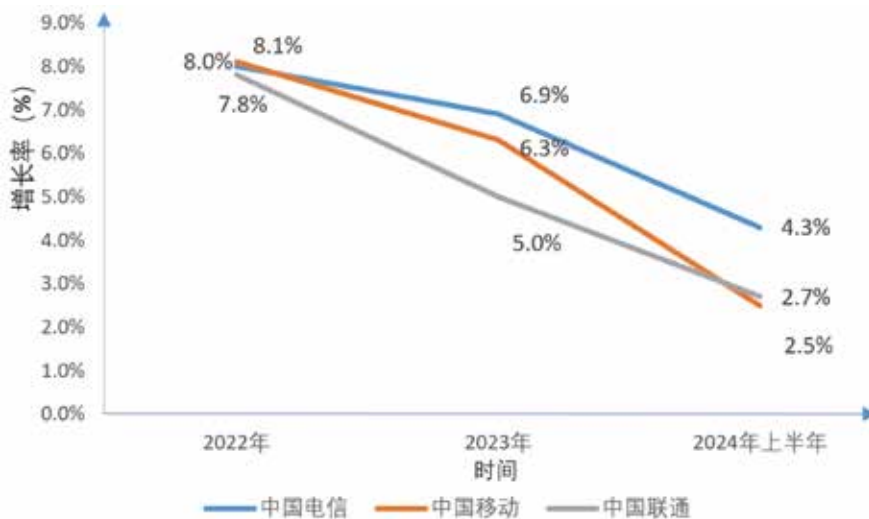


图1 2022年至2024年6月三大运营商通信服务收入增长率

表1 2024年上半年三大运营商“第二增长曲线”发展情况

运营商	收入规模(亿元)	同比增长(%)	增速较2023年同期下降(百分点)
中国电信	737	7.2	10.7
中国移动	1471	11.0	11.2
中国联通	435	6.6	15.8

## 收入增速下滑的内外诱因

只有找准通信服务收入持续下滑的原因,并采取有效的应对策略,才能更好地促进企业持续健康发展。笔者分析认为,造成运营商收入增长持续下滑的原因主要体现在以下两大方面。

第一,从外因来看,一是经济增长下行压力较大。当前,我国经济正呈现回升向好的态势,但经济回升向好的基础仍不牢靠,面临外部环境变化带来的不利影响增多,企业经营压力较大,社会预期减弱,有效需求不足。二是数字化有效市场需求不足。面对经营压力,企业首先考虑的是生存和发展问题,而且数字化转型成本较高,这决定了企业对数字化投入的积极性有限,对5G的需求也不旺盛。此外,广大中小企业数字化转型能力不足,缺乏数字化专业人才,也抑制了企业数字化转型需求,数字化有效需求不足日益显现。

第二,从内因来看,一是基础电信企业在科技创新体系、组织架构设计、产数业务拓展、研发布局等方面缺乏顶层设计,导致其不能很好地适应市场环境的变化。二是数字化产品创新供给不足。面向to C市场,规模发展动力、“流量红利”逐步减弱,缺乏受用户欢迎的数字平台和应用服务;面向to B市场,创新供给与需求存在脱节现象,提供的产品和解决方案主要满足企业对高带宽、低时延、广连接的网络需求,而处于产业链高端的平台、应用、终端等创新不足。三是组织活力缺乏。例如科技体制机制存在堵点、卡点,创新体系整体效能不够;人才发展机制不健全,选人用

人、考核激励还存在不公平、不公正现象,不利于激发员工工作激情;企业有效授权不足,高水平的专业人才缺乏,良好的创新文化有待培育,这些都影响了企业发展和创新能力的提升。

## 应对之策:把握方向、重塑模式、增强活力

面对内外部困难和挑战,电信运营商要积极应对,重点从把握企业正确发展方向、重塑企业增长模式、增强组织活力三个方面着力推进。

第一,把握企业正确发展方向。一是电信运营商应根据市场环境变化进行战略持续迭代,强化顶层设计,进一步清晰企业战略目标、发展路径和关键举措,确保各项举措有效、有力、有序。二是电信运营商要以服务国家战略为己任,牢牢把握数字经济发展的新趋势、新机遇和新赛道,进一步夯实数字信息基础设施,加快“战新”业务发展和未来产业布局,在满足人们不断增长的数字化美好生活需求上下功夫。

第二,重塑企业增长模式。面对经济下行压力和有效市场需求不足,电信运营商要突破增长瓶颈,客观上需要转变增长模式,可以重点从以下四个方面考虑。

一是实现由规模发展向价值创新方向转变。核心是坚持客户导向,以提升客户价值为核心,围绕场景创新,加快数字化产品、解决方案的创新和升级,以新供给创造新需求。

二是针对“三大市场”采取差异化策略。针对“存量市场”,要以巩固提升为核心,避免恶性竞争;针对“增量市

场”,要以更快的速度、更新的产品、更好的体验,快速响应用户需求,抢占先机;针对“蓝海市场”,要以加快发展新质生产力为目标,把握数字化发展机遇,集中资源,深入推进“人工智能+”行动,加速大模型应用落地,加快“战新”业务发展和商业模式创新,开辟新赛道、新领域,拓展新蓝海。

三是积极抢占“高价值生态位”。目前电信运营商在产业中主要处于“低端生态位”,今后要以强化技术创新、掌控产业链关键环节为突破口,增强核心功能,提升核心竞争力,积极向产业链中高端拓展,把生态优势转化为竞争优势。

四是强化内控管理,实现内涵式增长。要在企业上下牢固树立降本增效意识,加强成本管控,提升资金和资源使用效率,严格控制管理费用和营销费用,持续优化员工结构,加快推进企业数字化转型,引入先进的管理理念和工具方法,不断提升企业运营效率。

第三,增强组织活力。要以全面深化体制改革、激发组织活力为动力,推动企业持续健康发展。党的二十届三中全会通过的《中共中央关于进一步全面深化改革 推进中国式现代化的决定》(简称《决定》),对“深化科技体制改革”“深化国资国企改革”“健全因地制宜发展新质生产力体制机制”“深化人才发展体制机制改革”等作出全面部署,电信运营商要切实贯彻落实党的二十届三中全会精神,落实《决定》提出的各项改革要求,深入实施国有企业改革深化提升行动,以全面深化改革破除体制机制的难点、卡点、堵点,重点在进一步完善现代企业制度、加快完善科技创新组织机制、健全推动重大科创平台体系建设、完善高端领军人才发展机制和推动创新体系建设等方面一体推进,突出重点,真抓实干,确保全面深化改革取得实效,为企业持续发展注入强大动力。☞

# 发展新质生产力背景下 运营商线上运营模式创新思考

■ 浙江工贸职业技术学院 林婷婷  
中移在线浙江分公司 牛星  
浙江工贸职业技术学院 申珊珊

2024年《政府工作报告》提出，要大力推进现代化产业体系建设，加快发展新质生产力。当前，运营商面临触达用户日益困难、渠道协同相对缺失、营销成本居高不下、数智支撑较为薄弱等线上运营发展问题。这一方面要求运营商从“资源要素驱动”向“创新驱动”转型升级，发挥好各类新型数智化赋能作用，助力社会经济高质量发展；另一方面需要重塑运营商线上运营体系，理顺阻碍新质生产力发展的痛点堵点，打破现有部门、渠道、地域等之间的壁垒，实现线上运营理念从“业务规模发展”向“最佳用户体验、最优资源配置、最高交互转化”三个最原则转变，推动全平台融智、全产品融合、全渠道融通，促进线上各资源要素向发展新质生产力顺畅流动和高效配置。

## 全平台融智，推动最佳用户体验

近年来，随着移动互联网的迅猛发展，传统门店客流日益减少，运营商的用户触达方式逐步转向热线、APP等线上渠道。与此同时，自主外呼、重复营销导致用户被频繁打扰，用户感知变差，运营商亟需围绕理念、场景、机制等方面开展创新，用更自然的方式触达用户，以提升用户感知。因此，本文将重点围绕运营商的线上运营模式创新展开

思考与论述。

一是创新经营理念。运营商的用户经营理念应从“以项目为中心”向“以用户为中心”转变，摒弃设置统一业务、框定目标用户群、选择布放渠道的传统模式，仔细研究不同用户群体的消费心理、行为习惯、特点偏好和业务使用场景，利用IOP标签能力、用户资费诊断模型和最优推荐模型等数智化推荐能力，根据用户需要精准推荐适配业务，一站式完成所有营销服务，通过一体化的用户交互促进营销转化和体验提升。

二是聚焦数智赋能。不断完善用户服务体系，及时复盘服务全流程，坚持问题导向，加强闭环管理，建立健全服务责任机制，打通堵点、解决难点、消除痛点，持续提升用户端到端体验。一方面，针对用户不同使用场景，持续打磨标准化流程、挖掘优秀经验，并通过新型数智化工具将其固化，不仅可提升一线人员工作效率、减少执行偏差，还能帮助管理人员从日常烦琐的事务性工作中解放出来，将时间精力投入到更重要的运营环节中。例如针对运营商的新老用户不同权、渠道政策不同等问题，促进“产品同步布放、权限同步开放、政策同步加载、活动同步布置、宣传同步安排、管理同步要求”六个同步，围绕“业务梳理、权限争取、接口对接、商品配置、项目上线、考核激励、报表生

成”等打通销售各环节，实现全触点业务权限和用户体验的一致性；针对业务到期、流量“超套”、宽带/网络故障等场景，利用智能化工具及时提醒用户，并给予有效的补救措施，修复用户潜在不满，筑牢“人心红利”根基。另一方面，做好用户权益或优惠及时告知，例如针对权益沉默场景，利用自助渠道做好免费权益产品领取前提醒、领取后告知、使用指导、到期提醒的全生命周期管理，确保用户有感知并有效领取，用权益内容激发流量增长。

三是搭建保障机制。针对用户的一站式、一体化、一致性服务，并非一个部门就能完成，而是需要市场、客服、政企、技术等多部门协同，应通过搭建虚拟项目组、常态化合署办公、定期现场走访调研、月度经营复盘、提炼优秀案例等方式，加强企业内部协同，打破部门、渠道、地域之间的沟通壁垒，提升运营效率。

## 全业务融合，推动最优资源配置

针对当下线上业务发展规模不大、长流程业务销售不足、销售业务价值不高等问题，运营商需要进一步转变业务发展理念，从“规模优先”转向“规模、效率、价值并重”，并在业务体系、资源投放等方面落地。



一是推进融合营销。建设货架式业务营销平台,员工以勾选方式进行一键受理,依托爆款产品进行融合推荐,打造“1+N”融合营销体系,理想状态下单次交互可完成“套餐+宽带+合约+权益”等多笔业务的融合营销,实现单次交互价值最大化。系统未打造完成前,也可以基于特定用户诉求和业务特征,开发多业务打包销售营销方案或系统搭售提醒功能,提升服务营销效率,实现“1+1>2”的效果。

二是加强全流程管理。加强项目生命周期管理,实现业务信息、办理数据等信息流转和智能监控,重点打造业务到期监控、故障告警等功能;规避因业务到期造成无效营销的风险,做到全过程闭环管理;加强质量集中监控,通过大数据、智能语音等新技术实现全量质检,加强营销质量管理和不知情定制现象的治理,守住用户权益底线,积极践行国有企业的社会责任;加强效能综合评估,定期梳理业务转化情况,下线效果差、办理量低的业务,让资源集中在更符合用户需要的业务上。

三是优化资源投放。根据重要程度和业务特色优化资源投放。聚焦重点业务,围绕考核、激励、劳动竞赛等多方面优化激励体系,同时上线营销排行榜功能,员工可每天实时查看营销成效和排名情况,极大提升营销积极性;聚焦效能提

升,打造智能策略中心,开展精准施策,根据用户当前消费情况提供智能化提醒和解决方案,用新质生产力突破有限资源的束缚,带动线上业务规模提升。

### 全触点融通,推动最高交互转化

目前全渠道客户服务已成发展趋势,能够减少重复沟通成本,满足用户需求,提供顺畅无比的跨渠道一体化客户服务体验。但运营商线上渠道发展相对不平衡,人工热线渠道因其交互直接、办理便捷,业务办理规模相对较大,承载业务也相对复杂;而APP、IVR(交互式语音应答)、智能客服等自助渠道因发展时间较短,业务发展相对不充分,但具备广接触、低成本等优势。因此,运营商需要进一步转变渠道发展理念,从“关注规模成效”转向“关注转化效率”,从“人工一家独大”转向“人工自助平分秋色”,并在自助渠道补强、渠道精细运营、全场景融通等方面积极落实。

一是提升自助渠道办理能力。为有效节约成本、提升运营效率、助力发展新质生产力,运营商应充分发展智能化、互联网等自助渠道,提升其自助办理能力。针对自助渠道业务承载不足、用户意图理解能力较弱、推荐较为生硬、办理过程中故障偶有发生等问题,

运营商需进一步加强自助渠道的业务承载、语音识别与语义理解等能力,打通自助渠道与客户管理系统,不同渠道管理平台之间的系统、接口、数据等,提升基础资源融合能力,开发基于用户使用场景和消费习惯的业务最优推荐模型能力、基于用户偏好的“千人千面”个性化营销推荐能力、基于话费/流量不足等特定场景的自助营销服务提醒能力等。

二是提升精细化渠道运营能力。围绕线上触点,应理顺“渠道—用户—场景—业务”的联动关系,在业务全渠道统一布放的基础上,根据业务特性和渠道用户属性,寻找最适宜的营销模式,打造差异化运营策略。自助渠道聚焦在简单业务和精准场景,紧扣“长尾市场”,例如针对流量即将“超套”场景,自动触发系统提醒,引导用户关注流量变化,并给出流量升级方案。人工渠道定位于复杂重点业务,着力做好“薄弱业务、薄弱技能、薄弱职场、薄弱员工”能力补强,提升用户办理体验;同时持续跟进“用户覆盖率、员工推荐率、推荐成功率”等过程指标,做好短板补齐和效能提升,把握好每一次与用户交互的价值挖掘。

三是提升场景化触点协同能力。打造快速响应、人机协作的全渠道融通策略,自助渠道统一接入全渠道交互入口,根据自身能力自主满足用户需求,无法完成的复杂业务则转接人工渠道,针对“规则相对复杂、天然具备互联网属性”类业务和“用户犹豫”场景,通过定时短信或互联网消息提醒实现自助挽回;针对“宽带、政企、终端”等长流程业务,则甩单至线下渠道或客户经理进行下一步跟进,从而实现人工与自助渠道无缝融合。线上与线下渠道优势互补、协同发力,可以有效减少人力成本的投入,提高渠道运营效率。📍

## 编者按

截至2023年9月底,我国FTTR用户规模已超过800万户,FTTR业务从试点部署迈向了规模化发展阶段。与此同时,FTTR标准化工作加速推进,ITU-T、CCSA等国内外标准组织在技术、设备等多个维度开展FTTR行业标准的研究与制定,进一步加速FTTR普及进程。

千兆时代,FTTR的增长空间远未见顶,规模普及还要跨过几道坎?万兆时代,FTTR又将迎来怎样的机遇和挑战?通信世界全媒体特别策划了“FTTR倍道兼行”专题报道,深入探讨当前FTTR应用现状以及未来发展潜力,助力FTTR加速发展,为千兆宽带发展注入更多动能。

# FTTR标准与产业发展

■ 中国信息通信研究院 程强

根据工业和信息化部最新发布的数据,截至2024年6月末,我国光纤接入(FTTH/O)端口数量达到11.3亿个,比上年末净增3542万个,占互联网宽带接入端口的96.6%,家庭户均接入带宽达487.6Mbit/s,同比增长17.9%。由此可见,我国的光纤宽带网络已基本实现光纤到户的全覆盖,户均接入带宽也已达到了较高水平。

随着直播、在线教育、VR、超高清视频等千兆应用的持续发展,用户对宽带端到端业务质量的关注度越来越高,但实际业务体验与接入带宽提升幅度并不匹配,其中驻地网络(包括家庭网络、企业驻地网等)是影响网络端到端体验的重要一环。当前驻地网络仍存在上网质量差、Wi-Fi设备能力有限、家庭内部组网质量差、运维手段欠缺等问题。FTTR(光纤到房间)作为一项全新的驻地网组网技术,为实现光纤业务无缝覆盖及端到端千兆业务体验提供了解决方案。本文介绍了FTTR技术目前的标准进展情况,FTTR的网络架构和能力,并对FTTR涉及的光/无线协同技术进行阐述。

## FTTR相关标准进展情况

目前FTTR系统的技术规范主要由国际电信联盟电信

标准化部门(ITU-T)的第15研究组(SG15)和国内中国通信标准化协会(CCSA)的接入网与家庭网络工作组(TC6/WG2)负责制定。

### ITU-T标准

ITU-T在FTTR的需求、架构、管理控制等方面立项了多个标准、技术规范项目(如图1所示)。2020年立项的《FTTR在家庭场景下的场景用例和需求技术报告》开启了FTTR系统标准化的序幕。此后,ITU-T陆续立项了一系列FTTR相关的技术规范,包括《G.9940 高速光纤驻地网收发器系统架构》《G.9941 高速光纤驻地网收发器物理层规范》《G.9942 高速光纤驻地网收发器数据链路层》《G.fin-NM 高速光纤驻地网收发器管理》《G.fin-XPHY 高速光纤驻地网收发器10G物理层规范》《G.fin-XDLL 高速光纤驻地网收发器10G数据链路层》《G.wmci 驻地网无线局域网管理控制接口》。

### CCSA标准

CCSA与ITU-T同期开展通信行业标准的研究和制定,但CCSA所涵盖的标准范围比ITU-T更加广泛,其在FTTR



图1 ITU-T SG15 FTTR标准进展统计

相关行业标准的布局主要包括四个方面。在技术规范方面，涵盖FTTR技术的总体要求、物理层规范、链路层规范、管理规范、无线局域网管理控制规范等；在设备规范方面，包括面向家庭的FTTR设备规范、面向企业场景的FTTR设备规范等；在测试规范方面，有FTTR的测试规范、FTTR的无线接口测试规范等；在光纤光缆方面，包括用于FTTR的隐形光纤、光电复合缆、光电复合分光器等规范。

### FTTR网络架构

FTTR技术借助光纤在家庭或企业内的多个网关进行组网，通过网关的无线局域网或以太网接口为用户提供高速网络接入。主设备（FMU）是FTTR网络的流量和控制核心，主设备向上通过XG-PON或10G EPON连接OLT（光网络设备），承接千兆光纤入户，向下通过点到多点的驻地光纤分配网络（IFDN）连接多个从设备。IFDN布置在用户的各个房间，由光缆、分光器等部件构成，它们共同搭建起家庭内网的基础设施（如图2所示）。网络管理平台则负责采集家庭网络信息并汇总整理上报，进而实现对家庭千兆网络的全面运维管理。

根据应用场景的不同，可将FTTR的技术规格分为家庭用（FTTR-H）和企业用（FTTR-B）两大类，两类设备的规格对比如表1所示。

面向千兆品质家宽业务体验，FTTR需要重点解决传统Wi-Fi网络不可控、不稳定等关键问题。通过“光+Wi-Fi”中心化控制下的一张网协同，FTTR能够提供可靠稳定的空口连接，

以满足网络业务发展的核心诉求。据Omdia统计，目前通过Wi-Fi链路接入的流量已经占到固定宽带网络流量的70%以上，Wi-Fi组网性能已成为影响FTTR业务性能体验的主要因素。FTTR组网为主从设备之间提供了稳定的光纤链路，但在设备端的无线链路仍将存在

与传统组网方式类似的问题，即在每个房间内部署AP（无线接入点）会使网络环境更加密集，从而增加AP设备间的竞争和干扰；不同家庭的无线信号之间也会发生干扰。因此，需要对Wi-Fi的空口信号进行协同，以减少AP间的干扰，提升网络性能。

### FTTR光纤和无线协同技术

FTTR中光纤组网与Wi-Fi无线组网优化主要包括以下技术。

#### 通过光纤进行FTTR无线端信息高速互联和收集

在家庭场景中，主要由主设备对从设备（SFU）进行实时控制，以确保实现FTTR网络内Wi-Fi空口的有序协同、漫游无感切换、空口性能最大化等目标。主设备通过实时搜集各个从设备的Wi-Fi状态信息来实现Wi-Fi调优。主设备可根据业务QoE（体验质量）需求，实时发起网络数据传输和Wi-Fi空口状态搜集请求，请求消息通过FTTR低时延通道进行低时延保障承载，从设备将请求消息通过系统内部接口进行映

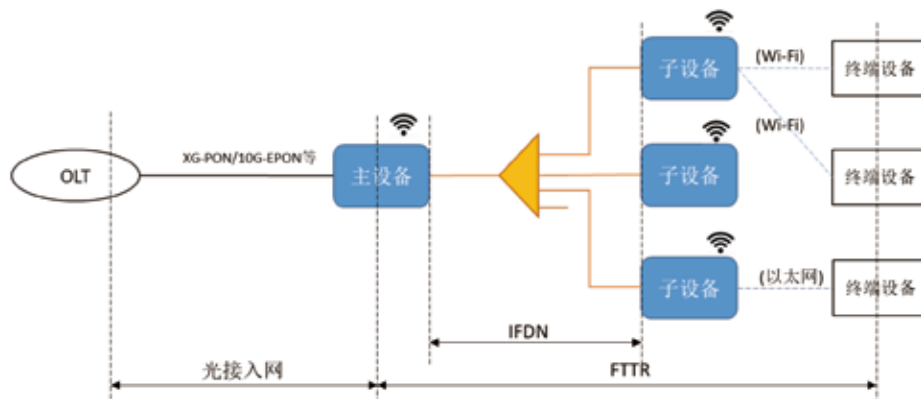


图2 FTTR组网方案

表1 家庭场景和企业场景FTTR系统规格对比

规格	FTTR-H	FTTR-B
光口速率	上行1.25Gbit/s、下行2.5Gbit/s或对称2.5Gbit/s	上行2.5Gbit/s、下行10Gbit/s或对称10Gbit/s
IFDN最大衰减	23dB	28dB
最大从设备数量	8	32

射,快速读取Wi-Fi的通信传输状态,包括待传数据(队列、缓存等)、Wi-Fi空口状态(干扰、冲突、通信质量等)等。将Wi-Fi读取的信息封装为FTTR协议信息,通过低时延机制快速上报到中心化控制模块,完成实时数据采集,并通过内生的调优模型形成主从设备的Wi-Fi空口协同执行策略。主设备提供低时延的通信通道,保障信息搜集上报和决策下发的及时性,以匹配Wi-Fi空口的快速传输。从设备实现Wi-Fi传输信息和参数配置转换。因此,FTTR定义了中心化的光/无线协同控制架构,提供了光/无线网络的系统控制功能。

在数据平面,FTTR系统功能架构与同样基于点到多点的光接入系统PON类似,但FTTR的控制平面增加了无线协同相关实体,并要求数据面增加低时延通道,以支持无线协同的消息传递。在主设备的控制面中定义了主设备控制器实体(MCE),在从设备的控制面中定义了从设备协同实体(SCE)。主设备的MCE通过集中控制机制实时采集FTTR的无线网络信息,并使用此信息定义整个网络的传输策略。同时,MCE使用此机制将协同控制信息传递给从设备中的无线接口,以实现光网络和无线网络之间的协同调度。

### 家庭无线集中控制架构

FTTR网络的无线控制器可以位于主设备或OLT,采用“PON+FTTR”分层联动的方式,家庭之间的协同由OLT或FTTR管理平台负责,先对FTTR网络进行数据采集,再利用调优模型进行协同调优。传统基于模型的联合优化方法需要大量关于网络的知识(包括网络拓扑、流量、传播模型、参数等),因而很难全面考虑不同家庭网络中的各种因素,且利用传统的优化模型较难求最优解。随着AI技术与网络算力能力的发展,集中控制架构可以利用机器学习算法、大模型等技术,将网络历史性能与调优参数进行关联分析,使OLT或FTTR管理平台根据主从网关和用户终端设备的Wi-Fi运行情况,自动进行网络覆盖及漫游等体验质量的评估,自动识别服务和漫游问题,从频率、时间、功率等维度制定协同和资源调度策略。

### 多AP家庭Wi-Fi覆盖/干扰优化

FTTR架构允许每个ONT在相对较低的功率下运行,

发射功率一般在0到20dBm之间,而实际发射功率取决于特定的家庭环境,是通过适当的功率控制算法加以优化的。功率控制的作用是确保网络覆盖整个房屋,同时将不同房间内运行设备

间的干扰控制在可接受的水平。相关实验表明,使用优化的低功耗方案可以同时多个房间中进行频率复用,确保每个房间的数据速率合理,由此实现家庭Wi-Fi空口整体吞吐量的提升。

### 光纤网络辅助的Wi-Fi快速切换

FTTR网关的密集部署将导致其与终端设备频繁切换。

在漫游过程中,需将用户设备与新的接入点重新关联,这往往会造成视频流停滞或视频通话断开连接。3GPP建议语音和直播业务的切换延迟预算为100毫秒,实时游戏的切换延迟预算为50毫秒,而传统的Wi-Fi漫游机制无法满足这一要求。在FTTR中,网关可以实时测量并收集信号强度(RSSI)、信噪比(SINR)和错包率(PER)等数据,主设备具有家庭网络的全局实时视图,可将漫游决策建模为马尔可夫决策过程(MDP),通过深度强化学习有效提高漫游决策的整体性能,这是一个新颖的人工智能应用场景。

### 多AP空口协同和联合传输

本质上,FTTR架构下的协同控制与无线蜂窝网络类似,即通过对各设备合理分配空口资源来降低彼此间的干扰,最大化系统整体性能,具体的协同类型包括协同正交频分多址(C-OFDMA)、协同波束形成(C-BF)、协同空间复用(C-SR)和联合传输(C-JT)等。

### 结语

我国FTTR网络部署十分迅速,2022年12月,我国FTTR用户约为200万;2023年一季度,FTTR用户数量超300万;中国信通院发布的中国宽带发展报告显示,截至2023年9月,我国FTTR用户已超过800万。由于详细的FTTR技术规范和光/无线协同规范尚未完全发布,当前部署的大量FTTR设备仅实现了基本的房间光纤互联和无线统一管理功能。然而,与传统的宽带接入FTTx技术不同,FTTR不仅需要提供家庭网络的光纤高速互联,还要承担高速率、高品质的家庭、企业无线网络覆盖,随着标准的不断成熟,光/无线协同能力将成为后续FTTR设备发展的重点。CW

# FTTR发展 与中国电信的探索实践

■ 中国电信研究院 甘雨莹 蒋铭

2023年工业和信息化部等十四部门发布了《关于进一步深化电信基础设施共建共享 促进“双千兆”网络高质量发展的实施意见》，明确提出城市核心区、园区、大型住宅区、商务楼宇等重点场所，大幅提升“双千兆”网络覆盖水平。全国多个省市积极响应并陆续发布行动计划，如上海市“光耀申城”、浙江省“光富浙里”、贵州省“千兆黔省、万兆筑城”等。同时，国家和地方积极出台FTTR住建标准，推动“光纤到房间”技术的标准化和规范化发展。在多个部门的协同指导下，FTTR的商用步伐明显加快，截至目前，全国各省已有多个运营商发布了FTTR商用套餐，用户规模已超过1500万户。

## FTTR产业与标准进展

### FTTR标准加速推进

FTTR系列技术的国际标准由ITU-T组织制定，目前已经完成架构标准、2.5Gbit/s物理层和链路层标准、10Gbit/s物理层和链路层标准，Wi-Fi协同管控标准仍在制定中。同时，ITU-T也制定了FTTR-H/B场景应用标准，用于指导技术标准研制和行业应用推广。在欧洲，ETSI ISG F5G工作组针对FTTR应用，开展了USE CASE（用例）等领域的标准工作，旨在推动FTTR技术的发展和应用。在中国，中国通信标准化协会（CCSA）已经发布了行业标准，对FTTR系统的基础技术架构和系统性要求进行了规范。总体上，FTTR系列技术标准正在制定并持续完善中。

### PON产业筑基FTTR产业链

随着FTTR商用规模的持续扩大，其产业链也在逐步

完善，FTTR产业呈现出日益繁荣的景象。在光模块层面，FTTR方案基本可以重用现有的PON光模块产业生态，并持续推进损耗为22dB的低成本光模块发展。在芯片层面，FTTR主设备主要采用“PON+FTTR”芯片组合方案，逐步向单SoC集成及ASIC化过渡，以提高设备的性能并降低成本。在FTTR系统中，传统的Wi-Fi芯片可以直接复用，但Wi-Fi协议层的集中控制模块需要优化设计。在设备层面，FTTR设备的生态系统呈现“百花齐放”的态势，目前在家庭、政企场景中已经有几十款主设备、从设备及光电混合缆等商用产品推出。

## FTTR关键技术

FTTR是一种新型的光纤接入技术，通过将光纤引入每个房间，提供更高速度、更可靠的网络连接服务。FTTR系统采用P2MP（点到多点）的拓扑结构，由主设备、从设备和室内光纤/光电混合缆三部分组成，主设备连接局端OLT设备的PON口，室内连接多个从设备，从设备可根据家庭、企业布局延伸至用户需要部署的区域，实现高质量网络接入，提升用户网络体验。

在物理层方面，基于GPON、XGS-PON原有的速率基础，结合应用需求和产业能力，新增2.5G上下行对称速率等级、面向家庭短距离应用的低功率预算等级。

在数据链路层方面，针对室内应用场景的特点，对包含ONU光功率调整机制在内的部分链路层功能进行简化，同时面向未来Wi-Fi管控和新业务需求，定义数据快速转发通道机制等。

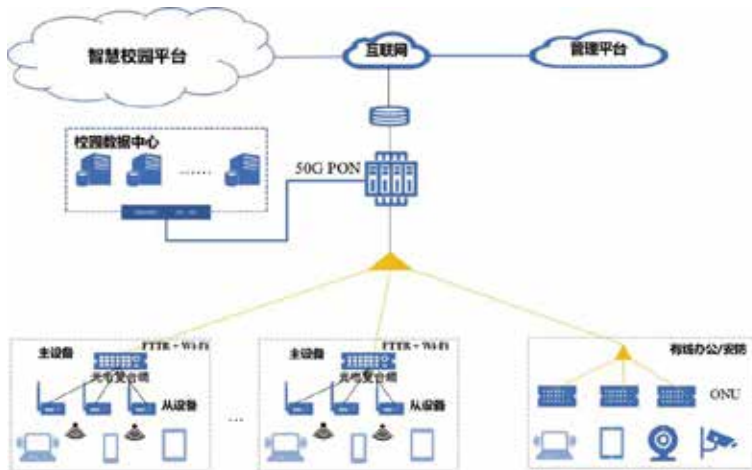


图1 “全光校园”网络拓扑

在终端管理方面，延续已有的网关管理方式，通过OMCI、TR069、MQTT等多种管理协议，快速实现对主设备的规模管控，主从设备之间也存在多样化的管理方案。

在Wi-Fi管控技术方面，存在EasyMesh、“AC+AP”及C-WAN等多种技术方案，选择最优的网络协议时，要考虑网络规模、业务需求、成本效益等多重因素。

在IFDN器件及施工方面，需要现场完成勘测、布线、成端等操作，这是现网部署的重要环节，且光电混合相关器件的行业标准方案多样化、接口类型较为繁多，对装维人员的熟练度提出了较高要求。

### 中国电信的FTTR探索与应用

中国电信持续引领FTTR技术创新发展，研发设计新产品，探索新场景、新应用，在行业洞察分析、关键技术、技术标准、部署施工等方面开展了全面研究。同时，为加快推进FTTR规模部署，中国电信解决了主从设备的互通性问题，提出了新的管控架构，创新了算网一体的融合产品，探索了更多新的应用。

#### 新业态：互通解耦，推动FTTR产业健康发展

中国电信率先开展FTTR互通解耦关键技术研究，对物理层、数据链路层、Wi-Fi管控、IFDN等方面的关键技术进行深入分析。首先，重新定义了短距功率预算的指标，规范了数据链路层的功能，简化了主从设备链路层的认证流程。其次，制定了远程供电场景下带导电触点防护的SC型兼容性光电混合连接器接口及安全检测机制，实现光电混合连接器接口统一，提升了安全可靠能力。最后，针对主从设备Wi-Fi管控采用集中管理的模式，实现协议及接口的标准化，力争提供更优的Wi-Fi业务体验。

### 新架构：管控总线，构建标准化的网关能力底座

中国电信在家庭、政企场景中分别基于HTTP、MQTT通用协议，实现管理平台与设备、芯片模组、功能插件间通信的标准统一化、接口规范化、管控集约化。一是制定智能管控总线技术要求，其中包括技术架构、接口协议、功能要求等，旨在确保不同的系统、产品和服务保持一致性。二是通过规范管控接口、功能接口、硬件接口和主从接口等，实现接口协议统一，这不仅增强了系统的兼容性和可扩展性，还有效地支撑了不同的硬件方案及模块化设计。三是基于集约的统一管理平台提供远程故障诊断、业务开通、插件管理

等基础服务，并实现与新业务的互联互通，从而满足企业运营的多样化需求，提升网络运维效率和服务质量。

#### 新产品：融合算力，促进新型业务的一体化落地

为满足差异化场景服务和多样化应用创新，中国电信推出自研集成轻量级算力的终端，将网络与云、AI、安全等技术深度融合，提供以“网络+服务+能力”为核心的标准化产品和解决方案。该方案还能以插件的方式拓展第三方业务应用，快速集成并部署各种新的服务模块或功能组件，由“一根线”向“一张网”拓展，为用户提供“一体化”优质、贴心的服务。

#### 新应用：超高速、无缝漫游的“全光校园”

中国电信基于FTTR-B技术，在商务办公、餐饮酒楼、直播、智慧社区等典型领域积极探索新应用，打通中小企业“黄金十米”。例如，西安某职业学校网络整体存在设备老旧、覆盖盲区多、业务体验不流畅、网络管控能力不足等问题，同时又有数字教学、智慧实验室等教学需求。为此，中国电信采用“三模50G PON+FTTR-B”技术（如图1所示），实现校园Wi-Fi无缝漫游，极大提升了视频教学、游戏娱乐等应用的接入速率。另外，中国电信还为用户提供了可视化、开放的管理平台，集成性能数据采集、网络性能实时监控和网络配置等能力，有效提升用户的自服务体验。

### FTTR总结与展望

FTTR作为一种先进的光接入网技术，具有广阔的应用前景和发展潜力，但仍然存在“光+Wi-Fi”融合、无缝无感切换、智能管控技术互联互通等诸多挑战。中国电信将持续推进新技术、新应用、新产品的创新探索，促进产业繁荣发展，为用户带来更加便捷、智能、高效的网络服务体验。

# 万兆时代, FTTR关键技术与展望

■ 中移(杭州)信息技术有限公司 赵航斌 李峰 张满 苏畅 谢旭东

**FTTR** (光纤到房间)系统由主从设备与室内光纤组成,基于P2MP(点到多点)物理拓扑构建家庭全光网络,应用场景广泛,涵盖千兆网络覆盖、本地存储和Wi-Fi感知等场景。万兆时代,FTTR技术将在频谱资源拓展、光与Wi-Fi协同、业务安全和节能等方面持续提升,并向“通感存算”一体演进,构建智慧家庭全光底座。中国移动自2020年开展FTTR业务探索,历经业务试点、技术夯实和加速发展阶段,未来将持续加强技术创新与产业协同,助力FTTR业务创新应用。

## FTTR技术发展及应用场景

### FTTR技术定义和特点

FTTR由主FTTR、从FTTR和室内光纤三部分组成。FTTR以光纤P2MP物理拓扑结构为基础,以主FTTR为中心节点,通过将多个从FTTR连接到主FTTR上,为每个区域提供高速、稳定的网络覆盖,构建家庭全光网络。

### FTTR技术发展历程

2020年宽带发展联盟发布《FTTR新一代家庭千兆全光组网白皮书》,提出FTTR新一代家庭千兆全光组网解决方案,介绍了FTTR的技术和工程实施方案,同时对FTTR的技术特点、实践案例、商业模式和产业生态建设进行了初步探讨。

2022年宽带发展联盟发布《FTTR光纤到房间白皮书(2022年)》,提出了C-WAN(集中式/云无线光接入网)网络架构,针对家庭组网终端间缺乏有效协同,导致空口无序竞争严重、新兴业务体验不足等问题,制定了一套主从FTTR之间的实时控制协议,确保实现FTTR网络内Wi-Fi空口有序协

同、漫游无感切换、空口性能最大化等目标。

### FTTR技术的应用场景

FTTR是家庭组网的最佳方案。目前大部分家庭用户仍以单个Wi-Fi热点组网方案为主,但随着家庭接入终端与用户带宽的持续提升,单个Wi-Fi热点组网方案已无法满足用户的Wi-Fi覆盖需求,用户实际体验与签约带宽的差距较大,易引发用户不满,导致运营商陷入高价值用户流失、投诉增多、满意度下降的困境。多热点组网是实现家庭网络覆盖的有效方案。FTTR通过空口有序传输、转发集中控制等关键技术,为用户提供“全屋一张网”体验,实现全屋千兆覆盖、无感漫游、确定性Wi-Fi时延、智能连接等能力。

FTTR是家庭数字资产的最佳“管家”。随着手机像素、视频制式的不断提高,家庭数字资产的数据量高速增长。为满足用户日益增长的存储需求,FTTR将逐步支持家庭本地存储,帮助用户存储、管理备份数据,为用户提供极速、易用、安全的全新存储体验。面向AI技术引发的新一代技术革命,FTTR也可以基于用户数据,进一步为用户提供AI自然语言搜索、AI写真等增值服务。

FTTR是子女关爱老人的最佳“助手”。我国独居老人家庭有3700多万户,占有老人家庭的21%,是需要重点关注的群体。子女希望了解老人的生活状态,并及时给予关怀。例如,老人因生病等原因,改变日常生活作息规律,早上没有按时起床,子女可以收到APP、短信通知,及时与老人沟通,给予帮助和关心。虽然子女可以通过安装摄像头的方式,实时查看老人在家的状态,但是摄像头存在隐私风险,并不适合所有人群。

针对上述情况,基于FTTR产品的Wi-Fi感知技术应运而

表1 Wi-Fi 7关键技术升级

指标	Wi-Fi 6 (802.11ax)	Wi-Fi 7 (802.11be)
频段	2.4GHz、5GHz	2.4GHz、5GHz、6GHz
最大带宽	160MHz	320MHz
调制方式	OFDMA, 最高支持1024-QAM	Multi-RU, 最高支持4096-QAM
多链路能力	各个频段单独工作	多链路并发 (2.4G/5G/6GHz)

生,它利用FTTR的计算能力,依据Wi-Fi信号的波动而不是监控视频,刻画老人在家中的活动情况,这将成为未来关爱老人的一种新方式。

## 万兆时代FTTR技术方案

### 关键技术一: Wi-Fi的挑战与应对方案

2023年各大芯片厂商和设备商陆续推出Wi-Fi 7芯片和产品,开启了Wi-Fi 7商用元年。2024年Wi-Fi 7匹配FTTR规模商用成为可能。

#### 1.Wi-Fi 7技术升级

在信道宽度上,Wi-Fi 7支持320MHz的信道宽度,是Wi-Fi 6的两倍,可以在相同时间内传输两倍的数据,进一步提高了网络传输速率。

在调制方式上,Wi-Fi 7采用4K-QAM调制技术,相较于Wi-Fi 6的1024-QAM调制技术,在单符号的信息承载量上提升了20%,提高了网络的效率和容量。

在多链路操作上,Wi-Fi 7引入多链路操作(MLO)功能,允许设备同时使用两个或更多的无线频段进行数据传输,具备更高吞吐量、更低延时、更高可靠性等特性,可适应更复杂的网络环境。Wi-Fi 7关键技术升级如表1所示。

#### 2.万兆时代的技术挑战

一是我国Wi-Fi频谱规划并不支持6GHz频段和320MHz频宽。从IEEE 802.11ax标准开始,Wi-Fi在协议中引入6GHz频段和320MHz频宽。目前我国已将6GHz高频段

的700MHz(6425—7125MHz)带宽开放给蜂窝通信(5G/6G),低频段部分待定。当前Wi-Fi应用已授权频谱如图1所示,黄色部分为国内授权可用信道。

二是2.4GHz信道干扰大,干扰占比为20%~50%,且接近50%,无法发挥MLO的优势(如图2所示)。

#### 3.万兆时代的技术演进方案

一是“三频2+2+2”方案,单终端支持3000Mbit/s网络能力。国内只开放2.4GHz、5GHz两个频段,2.4GHz最大频宽为40MHz,5GHz支持36信道和160MHz频宽,以及149信道和80MHz频宽两种方式。“双频2+2”(2.4GHz的40MHz频宽+5GHz的160MHz频宽)方案,最大空口协商速率为3600Mbit/s,MLO模式下TCP理论最大测试性能小于3000Mbit/s。考虑到2.4GHz在现网中普遍存在较强的信号干扰,“2.4GHz+5GHz”的MLO技术无法发挥应有的能力,实际现网测速在2000Mbit/s~2500Mbit/s之间。而“三频2+2+2”(2.4GHz的40MHz频宽+5GHz的160MHz+5GHz的80MHz频宽)方案,可以提供“5GH+5GL”共4300Mbit/s物理带宽的MLO能力,结合现网5GHz的干扰普遍在10%以内的情况,“三频2+2+2”方案可以提供现网超3000Mbit/s的网络能力。

二是“三频2+2+2”方案,多终端相加可支持5000Mbit/s网络能力。当前支持Wi-Fi 6、Wi-Fi 7的手机和电脑都仅支持双空间流,在国内不支持6GHz频段的情况下,无法匹配5000Mbit/s的网络需求,但可以考虑使用整网多热点并发的方式实现5000Mbit/s的网络能力。三频高低Band的单设备MLO测速在3000Mbit/s左右,考虑并发开销,“整网1+1”并发测速可达到5000Mbit/s。

三是毫米波Wi-Fi技术服务未来万兆网络能力。下一代

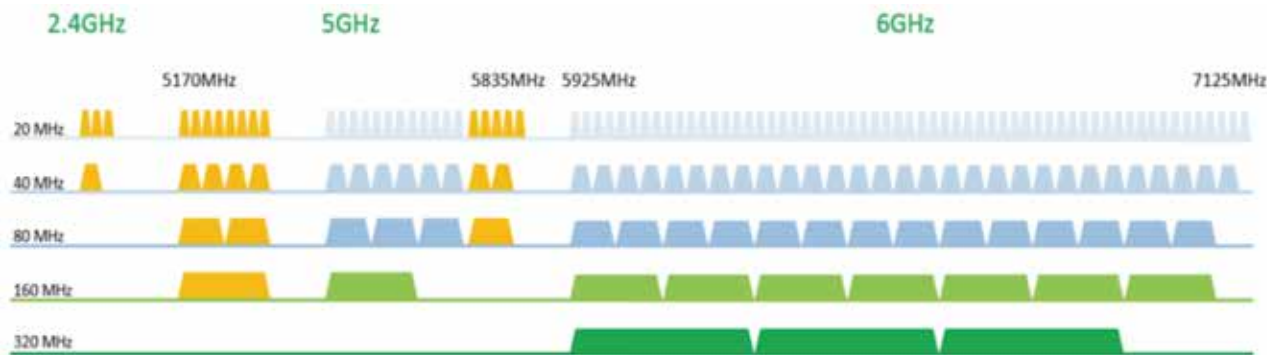


图1 Wi-Fi应用授权频谱

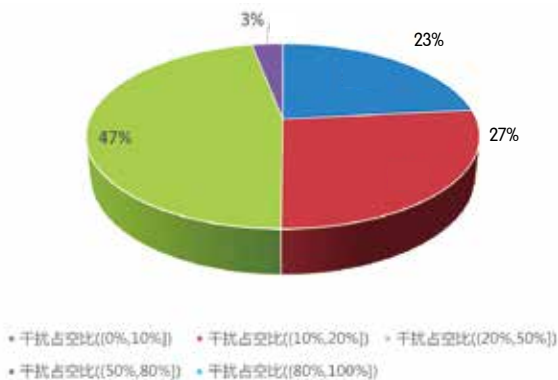


图2 2.4GHz现网干扰占比统计

Wi-Fi技术(IEEE 802.11bn)已启动标准制定工作,以提高数据传输可靠性为主要目标,除了传统Sub 7GHz频谱外,还将引入毫米波频谱。毫米波频谱工作组(IMMWSG)已在2024年7月的IEEE 802.11第206次全体会议上,审议并通过PAR(项目授权请求)和CSD(标准开发准则)文件,正式启动标准研究。利用毫米波频谱穿墙衰减大的特点,结合FTTR单房间覆盖能力,实现各房间网络信号相互无干扰,是未来实现万兆网络覆盖的有效方案。

### 关键技术二: 光与Wi-Fi协同架构的挑战与应对方案

在传统家庭组网中,主从网络设备间缺乏有效协同,网络设备与各接入终端之间存在严重的Wi-Fi空口抢占和冲突问题,因而家庭组网存在诸多Wi-Fi体验问题(如乒乓问题、部分手机不漫游等),难以满足超高清视频、家庭云NAS等新应用对带宽和并发的要求。

FTTR的光与Wi-Fi融合架构,基于家庭网络特征定义新的物理层、链路层和数据层交互,主FTTR作为控制中枢,统一调度整网资源,形成家庭网络“多设备一张网”体验,支持终端无缝漫游、Wi-Fi功率均衡和干扰调优等功能,提供超越传统组网方式的高速率、低时延能力。

光与Wi-Fi融合的架构有两大关键技术。一是低时延管控通道。从FTTR将本地队列信息、空口竞争情况和空口状态通过该通道上报至主FTTR,主FTTR将资源分配指令通过该通道下发给从FTTR执行。二是集中调度引擎。主FTTR对空口资源进行时域、频域、功率、MLO等多个维度的集中调度,实现空口有序无冲突;结合AI算法对业务特性、空口特征、缓存统计等规律进行提取,为每个家庭训练一组最佳配置,做到“一户一策”。

### 关键技术三: 网络、系统、业务安全的挑战与应对方案

随着家庭网络带宽的不断增加,家庭网络内将容纳更多

物联网终端,网络数据流量不断增多、系统及架构愈发复杂、承载业务趋于多样化。无论是网络、系统还是业务,都将面临日益复杂的安全威胁,FTTR作为家庭网络入口设备,需要采取多层次的安全防护。

在网络安全方面,网络传输数据量增大,数据泄露风险也随之变大,应采用业界最佳安全传输协议和国密加密等技术,确保数据的安全性;随着IPv6技术全面应用,家庭网络内设备存在直接暴露到互联网的风险。因此,应充分应用网络安全隔离技术,保护家庭网络内设备非必要不暴露在互联网。

在系统安全方面,随着家庭网络系统愈发复杂,家庭网络易被研究者挖掘系统及软件漏洞,攻入系统对设备进行控制或窃取敏感数据进行不当牟利,对用户造成安全威胁和利益损失。因此,FTTR设备应具备良好的纵深防御能力,应用业界最佳签名技术、国密加密技术、系统隔离加固技术和服务访问认证鉴权技术等手段,保障设备中各类业务数字资产的完整性、机密性。另外,在夯实FTTR设备自身系统安全能力的同时,还应具备基础的入侵检测和入侵防御能力,结合AI技术及时识别和阻止潜在的安全威胁。

在业务安全方面,随着FTTR承载业务多样化,或将引入更多安全威胁风险点。因此,无论是家庭数字资产业务,还是Wi-Fi感知业务,均应在FTTR设备系统安全的基础上,针对业务使用身份认证、安全通道数据传输、敏感数据加密存储等技术,确保业务功能和数据具备韧性、完整性和机密性保护能力。同时,涉及的业务软件应具备较好的漏洞管理能力,定期更新和修补漏洞,防止已知漏洞被利用。

### 关键技术四: 节能的挑战和应对方案

FTTR的Wi-Fi规格正从Wi-Fi 6升级到Wi-Fi 7,以太接口从GE升级到2.5GE,主从FTTR间的光口从2.5G非对称升级到2.5G对称,未来主FTTR上联光口还将升级到50G PON等更高规格。随着接口规格提升,对应整机的最大功耗也将有所提升。

作为家庭组网解决方案,FTTR处于24小时长期运行的状态,实现设备的节能是其未来发展的重要挑战。主从FTTR作为一个整体,互相配合实现家庭网络覆盖,FTTR的节能策略和单热点方案不同,需要从整网考虑,在不影响用户体验的情况下降低能耗。目前有以下三种方案(如图3所示)。

一是OLT和FTTR协同节能。基于G984.3、G987.3、G.988等节能协议设计,支持Doze、Watchful Sleep、Cyclic Sleep三种光层节能态,同时主从FTTR配合进入节能状态。

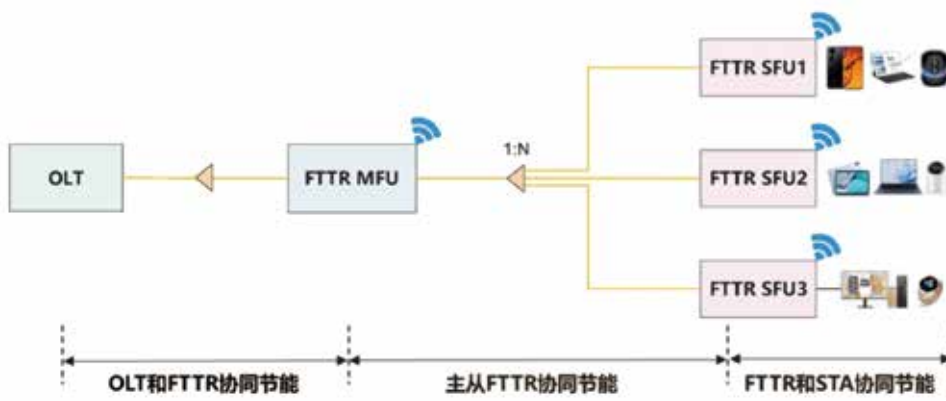


图3 FTTR节能方案

二是主从FTTR协同节能。当从FTTR长时间无连接或者无数据时，从FTTR与主FTTR协商进入休眠节能状态，此时从FTTR进入深度节能状态，从FTTR支持定时唤醒和流量唤醒两种模式；主FTTR负责集中控制，如进行Wi-Fi负载集中、非紧急业务延迟处理等，让更多从FTTR更长时间处于休眠状态。

三是FTTR和STA协同节能。当FTTR连接的STA设备长时间无数据时，对应的从FTTR可以与STA协商进入节能状态，当STA进入节能态时，对应连接的从FTTR也可以进入节能状态，从FTTR支持定时唤醒和流量唤醒两种模式，从FTTR更早进入睡眠态，更晚退出睡眠态。

### 中国移动FTTR技术探索

中国移动自2020年开展FTTR业务探索，经历了业务试点、技术夯实和加速发展三个阶段。

在业务试点阶段（2020—2021年），中国移动于2020年11月率先在广东、江苏等7省启动FTTR业务试点，并于2021年3月由中国移动智家中心发布全光Wi-Fi解决方案（现已升级为“移动爱家光网”），解决千兆Wi-Fi入房难的问题，并提出“优千兆、广覆盖、易演进、稳漫游”的网络目标。

在技术夯实阶段（2022—2023年），中国移动围绕标准、技术与产业链，夯实FTTR技术底座，参与ITU-T和CCSA牵头的行业标准制定，构建技术标准化能力；围绕光和Wi-Fi联合调度及有序收发技术，构建“网络底层、系统层、应用层”的“FTTR+”软件集，提升“真千兆”家宽口碑；构建产业链深度协同体，以定制化芯片向前牵引，以“标准+平台”向后拉动，实现产业链整体健康、安全、开放、可控发展。

在加速发展阶段（2024年至今），中国移动FTTR业务进入高度拓展期，预计2024年新增用户将超800万户，大幅推动智慧家庭创新场景应用，以高质量的网络连接构筑家庭智慧

底座，推动更多智慧家庭应用的迭代升级。

### 万兆时代FTTR技术的展望

#### 面向50G PON的演进方向

万兆时代，FTTR上联OLT的光连接需要向50G PON演进，通过50G PON为用户提供万兆光纤接入。FTTR下联

Wi-Fi向Wi-Fi 7、Wi-Fi 8演进，匹配万兆时代的宽带套餐。对于FTTR除了要考虑南北向流量外，还需要考虑东西向流量，现有局域网技术基本为对称速率系，因此，主从FTTR之间的速率应向对称速率发展。

#### 面向智慧家庭通感存算一体的演进方向

万兆时代，FTTR技术除了向50G PON演进提升连接能力外，还需要延伸“通感存算”一体能力，以构建智慧家庭底座。

中国移动将加快“通感存算”一体技术演进，通过Wi-Fi感知实现人的存在检测、活动识别、目标定位和追踪；通过存储构建家庭数字资产中心，并推动各类设备（如摄像头等）进行本地存储；通过将FTTR算力集中统一调度，针对不同任务调用不同的算力，实现算力共享和算力利用率最大化；通过异构连接（如Wi-Fi、星闪等）实现设备的接入与控制，叠加感知实现全屋智能协同，如灯随人动、风随人动、智能温控、危险行为告警、跌倒告警等。

### 结语

面向万兆时代的FTTR，将充分利用50G PON、Wi-Fi 7、Wi-Fi 8等新的关键技术，而这些新技术的应用将深刻影响FTTR产业未来的发展和格局。中国移动将持续加强FTTR“光+Wi-Fi协同一张网”的技术创新、产品规划和产业协同，通过50G PON和新的Wi-Fi技术为家宽用户提供万兆接入体验，构筑更加安全、绿色节能的家庭网络。中国移动还将通过万兆FTTR网络底座与感知、存储和算力协同，加强万兆FTTR核心技术的创新攻关，为智慧家庭构筑“通感存算”一体的智慧底座，赋能健康养老、家庭全光存储等新业务应用和场景，并与产业各方携手共筑面向智慧家庭的高品质万兆FTTR坚实底座。

# 运营商FTTR 创新发展思考与建议

■ 中国联通智网创新中心 杨雨苍 王逸凡 丁海 郭春霞  
中国信息通信研究院 莫晓玲

FTTR（光纤到房间）作为新一代组网方案，已逐步成为千兆宽带入户的“主力军”。近年来，国家出台了一系列政策大力支持FTTR发展，国内外FTTR标准工作也同步推进，为FTTR的规模应用奠定了基础。然而，在实际推进过程中，运营商仍面临诸多挑战，如用户网络服务待加强、装机交付质量难保障、智慧运营能力需提升等。为解决这些问题，运营商应从多个方面打造FTTR产品创新服务体系，并加强产业协同和技术升级，从而推动FTTR产业繁荣发展。

## FTTR发展需求及趋势

近年来，随着互联网和智慧家庭市场的快速发展，FTTR技术逐渐成为行业关注的焦点。作为一种先进的通信连接技术，FTTR不仅能够提供高速稳定的网络连接服务，还可为运营

商带来丰厚的商业价值和丰富的创新机会。FTTR是在FTTH的基础上，将光纤延伸至房间，在有需要的地方安装Wi-Fi从光猫，让更快更强的Wi-Fi信号准确传输至房间的每个角落。相比传统网络，FTTR可提供更高速、更稳定的网络服务，从客厅到房间、从楼上至楼下，家中的任何角落都可以达到千兆光纤网速，并实现低至毫秒级的无感切换。同时FTTR还可通过主从终端协同支持上百台终端设备并发连接，是传统网络最大连接数的8倍，能有效保证家中电脑、电视、手机、平板、VR等多种全屋智能终端联网使用（FTTR组网架构如图1所示）。

近年来，国家出台一系列政策大力支持千兆品质家宽业务发展。2021年《政府工作报告》提出要加大5G网络和千兆光网建设力度，随后工业和信息化部印发《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021—2023年）》，这是业界首个支持FTTR发展的政策文件，该文件明确提出要重点促进全光接

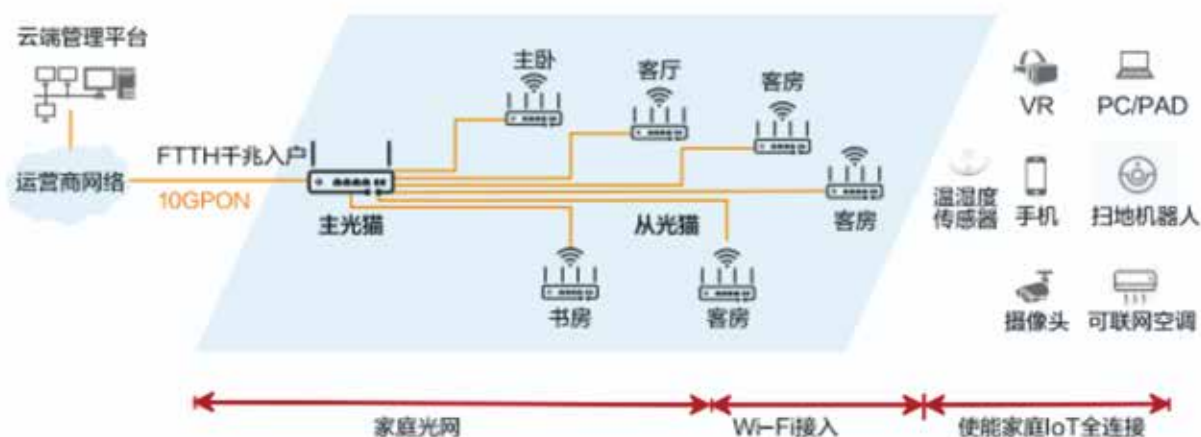


图1 FTTR组网架构

入网进一步向用户端延伸,同时要求按需开展支持千兆业务的家庭网络设备升级,提供端到端千兆业务体验。此后,住房和城乡建设部联合国家网信办、工业和信息化部等十六部门出台《关于加快发展数字家庭提高居住品质的指导意见》,工业和信息化部发布《“十四五”信息通信行业发展规划》,均提出要持续扩大千兆光纤网络覆盖范围,推动全光接入网进一步向用户终端延伸,推广实施“光纤到房间、到桌面、到机器”,按需开展用户侧接入设备升级。

与此同时,国内外FTTR标准化工作也在同步推进。ITU于2021年完成了基于FTTR的系统架构、物理层、数据链路层以及网络管理的标准立项工作,ETSI也将FTTR系统架构纳入2020年启动的端到端网络架构标准中。国内于2021年6月启动FTTR技术的系列标准制定工作,包括应用场景和需求、总体架构、物理层、协议层以及网络管理,目前已完成FTTR总体技术要求《基于公用电信网的宽带客户网络联网技术要求 光纤到房间 总体》标准的发布。国内外FTTR标准体系的逐步完善,为FTTR的规模应用奠定了基础。

## 运营商发展现状及面临的挑战

### 国内运营商FTTR发展现状

在迈向数字化和智能化的进程中,家庭数字化是至关重要的场景,也是推动数字经济发展的关键支柱。FTTR是未来十年光网的“二次革命”,是家庭宽带发展历程中具有划时代意义的解决方案。随着一系列国家利好政策的发布,中国联通于2022年初在青岛打造了全国首个“FTTR全光网络科技住宅”——崂山壹号院,将千兆光网与前装市场相结合,打响了FTTR商用探索的“第一枪”。随后,国内运营商相继推出FTTR商用套餐,实现千兆宽带入户,并围绕家庭数字化应用需求,提升家庭网络连接速度及应用体验。宽带发展联盟在《FTTR光纤到房间白皮书(2022年)》中首次提出“FTTR+”理念,以实现千兆固网宽带网络能力的无缝覆盖。此外,凭借FTTR全屋光宽带产品的高质量规模应用,中国联通在2022年世界宽带论坛上荣获“年度最佳数字家庭运营商”大奖,彰显了中国运营商在FTTR产业领域的实力,也为中国在全球通信技术发展中树立了良好形象。截至2024年上半年,行业FTTR用户已超2000万户。

### 运营商FTTR发展面临多重挑战

我国FTTR产业发展迅速,用户规模已经达到千万级别。但在实际推进过程中,由于组网环境复杂、管理标准不统一、需求场景多样化等特点,FTTR业务发展仍面临多重挑战。

### 1.用户网络服务待加强

FTTR虽然为家庭用户提供了高质量的全屋Wi-Fi网络覆盖,但是据调查显示,99%的用户有过“Wi-Fi焦虑”,近30%用户常常感到焦虑,网络卡、不稳定、信号弱等是引起“Wi-Fi焦虑”的主要原因。同时,针对网络故障,用户的应对方法较为分散,解决问题的效率和结果欠佳,用户对可视化、自主化管理家庭网络的需求迫切。此外,随着移动互联网应用的迅猛发展,智慧家庭涉及的游戏、教育、直播等各种业务及应用的流量都承载在家庭网络上,且业务种类不断增加并细分,不同智慧家庭业务对网络的需求趋向差异化。如何满足用户差异化的网络服务需求,对运营商的业务发展模式和应用创新提出了新的考验。

### 2.装机交付质量难保障

FTTR作为新形态组网产品,其连接的特殊性对装机交付提出了更高要求,在早期的产品交付过程中,由于未形成标准化的装机流程,实际产品交付存在诸多问题。

一方面,FTTR方案的实施和维护要求工程师具备专业的光纤接入、设备配置和故障排查等技能。然而,由于技术更新迅速和人员培训不足,部分工程师未能全面掌握FTTR方案的细节和操作规范,这可能导致其在安装和维护过程中出现操作失误,进而影响交付质量。

另一方面,在FTTR装机交付过程中,Wi-Fi覆盖的全面性和稳定性是衡量交付质量的重要指标,但由于房屋结构、建筑材料、电磁干扰等多种因素影响,且缺乏智能化的仿真和验收工具,安装完成后Wi-Fi信号可能无法一次性达到预期覆盖效果,导致用户在使用网络时遇到网络不稳定、信号盲区等问题。

同时FTTR在业务开通过程中,受光纤布放、主从协同开通等因素影响,工程师装机效率较为低下,产品推广初期安装时长高达2~3小时,因此提供便捷化的装机工具已成为实现FTTR业务敏捷开通的迫切需求。

### 3.智慧运营能力需提升

FTTR作为新一代智慧家庭网络,相较于传统网络具有更为复杂的网络结构,给业务生产管理人员和一线网络维护人员带来了更大的管理、维护挑战。对业务生产管理人员来说,依靠传统的人工手动操作识别业务发展过程中的网络资源不具备、终端配置不合规、业务虚假发展、终端生命周期管理风险等问题的难度加大;对一线网络维护人员而言,在FTTR业务使用过程中,及时准确地定位并解决问题对于保障网络质量至关重要,但目前针对FTTR终端及网络运行状态缺乏智能化的故障定位手段,在出现问题时难以迅速找到

根源并进行修复，这延长了业务恢复时间，降低了用户体验。FTTR的规模应用带来运营服务流程断点多，运营效率低、成本高等痛点问题，而通过数字化手段构建FTTR业务运营能力，成为FTTR业务高质量发展的关键。

### 运营商FTTR创新发展的建议

为解决FTTR业务发展中遇到的各种问题，运营商应加强终端管控、完善平台管理、拓展应用创新等，以“终端+网络+平台+应用”的模式打造FTTR产品创新服务体系，整合网络、终端和应用等方面的数据，利用数字化运营能力，充分发挥端业协同优势，对内赋能家庭网络延伸服务，对外协同实现智能网络能力释放（如图2所示）。面向家庭用户、装维工程师、集团及省分公司管理人员，推出多种网络创新产品、应用及服务，赋能FTTR业务智慧运营。

#### 加强终端可控可控，打造创新服务体系的统一技术底座

FTTR在家庭组网场景中的应用逐渐成熟，FTTR终端从2022年头部厂商的4款产品，发展到现在20多家厂商的超百款产品，将设备数量庞大、管理方式各异的主从设备从各自管理体系中解放出来，并屏蔽不同厂家的差异，让更多设备厂商参与，有效降低了维护成本、提升了服务质量。同时，开放的管理方案更有利于FTTR终端市场快速健康发展，打造良性竞争的生态环境。

为有效提升对FTTR终端的可管可控能力，运营商可在FTTR主从终端侧加载自主研发的智能操作系统，配合集约化终端管理平台，通过“一机一密”的密钥分配策略和“一机一密”的动态密钥更新技术，构建安全可信、高并发、实时性

强的终端连接管理系统，强化主从终端协同统一管理，形成FTTR产品创新服务体系的统一技术底座能力。同时，通过智能操作系统对于FTTR主从终端的控制能力，实现家庭网络数据的实时感知，并通过大数据分析“由点及面”，全面采集终端关键性能指标数据，构建直观的网关健康状态仪表盘，全面感知用户上网质量，构建精准的用户网络画像，促进家庭网络运营能力提升。此外，可将FTTR终端能力转化为可调用API，实现家庭网络可编程及能力开放，通过标准服务接口形成统一编排能力，满足用户在应用加速、网络安全、上网控制等方面的创新业务需求，实现一次开发、多端适配，提高“端网云边”协同类业务在多场景下的应用开发与创新效率，为FTTR业务创新奠定基础。

#### 强化“FTTR+X”创新发展模式，提升用户差异化用网体验

FTTR终端的硬件能力相较于传统光猫设备进行了大幅升级，性能的提升使运营商在智能化服务方面有了更多的操作空间，而运营商并不满足于仅将FTTR作为“宽带增强器”应用于家庭场景。事实上，在FTTR产品方案推广之初，运营商围绕FTTR的业务创新探索就已经开始，比如上网管理服务，中国联通在“联通智家”APP率先上线针对FTTR的网络智能管家应用，为用户提供“一点接入，一站式解决”的“直通车式”网络管理服务，用户可在APP上自主查看家庭网络拓扑和终端运行状态、进行Wi-Fi配置、查询网络使用报告等，并在遇到网络问题时，轻松通过网络检测工具快速定位网络问题，再通过重启、调优等手段解决问题。

同时，面向用户差异化的网络服务需求，运营商可结合“端网云边”融合创新能力，以“FTTR+X”模式在千兆全屋



图2 FTTR产品服务体系

Wi-Fi网络无缝连接服务的基础上,提供低时延、平面分离、网络切片等附加服务。例如,面向游戏、教育、直播等APP需求,实现网络端到端智能选路、动态编排能力,提供定制化、差异化的固网端到端切片加速服务;面向家庭网络安全需求,打造家庭安全防护应用,实现分终端、分时间、分应用的精细化管控,并提供恶意网站屏蔽以及终端漏洞、入侵安全防护;面向家庭存储需求,构建本地/边缘NAS,为家庭用户提供专属家庭云存储空间,具备极速存储、多端共享、离线下载等服务能力。

### 打造一体化装维服务能力,实现高质量交付

在FTTR业务交付过程中,运营商普遍存在对网络质量验证、交付动作规范等问题管控手段不足的情况,影响产品整体装机交付质量。运营商需进一步加强智家工程师技能培训,定期组织相关培训,确保工程师对最新FTTR技术、终端形态、操作标准以及交付工具的理解和认识到位。例如,中国联通在2023年针对FTTR装维举办的“FTTR一小时交付赛”活动,就为智家工程师装机交付技能的提升以及工程师之间的技能交流搭建了良好的平台。同时,升级专业化、智能化装机交付工具,通过配套先进的光纤布放工具,减少工程师施工难度、提升施工效率。通过打造组网规划、装机配置、交付验收多位一体的智能化装机工具,在规划环节基于户型图数据,模拟FTTR家庭装放场景,依托AI智能热力仿真,快速定位最优布放方案;在配置环节,通过自动化配网工具实现主从网络快速开通,提升安装效率;在验收环节,分析影响产品使用质量的关键参数,识别交付过程中存在的主网关数量、从网关数量、光功率、主从连接关系等问题,提高FTTR产品交付质量。在FTTR产品使用过程中,也可为智家工程师同步配套网络智能检测工具,以便在投诉处理、故障修复等环节快速准确地定位家庭网络故障原因,及时进行远程修复或上门修复,为用户排忧解难。

### 构建FTTR数字化运营平台,助力业务高质量发展

打造高效、有价值的数字化运营服务体系,关键在于“流程数字化”和“数据的挖掘与应用”,以此实现运营服务的决策和实施。随着FTTR产品的规模应用,大量家庭网络运营数据随之产生,可采用“流批一体”的数据加工方式,横向贯通业务域、管理域数据,通过清洗、汇聚和算法处理,深入剖析FTTR产品全生命周期的各关键环节,在“发展质量、发展结构、发展效果、经营风险”等多个维度,构建业务质态分析和网络故障监测能力,搭建运营场景。例如,面向管理人员,可从用户发展情况、在网情况、速率情况、合约情况、交付情况、网络情况、应用情况、经营风险等多角度、全方位展开评价,监测FTTR

发展质量,开展有效治理工作。面向一线网络维护人员,基于FTTR终端运行信息、设备链路信息、家庭Wi-Fi信息等数据,训练AI分析模型,识别家庭网络故障隐患(如FTTR光链路故障、主从光衰过大、设备运行异常、AP干扰、网络覆盖较差、网络延迟等),精准分析问题“根因”,先于用户发现问题并解决问题,实现敏捷网络维优。通过数字化运营平台,从基于经验转变为基于数据洞察,从单向的任务指派和执行转变为利用数据与流程赋能一线数字化作业,实现数据沉淀、模型分析、一线赋能的数字化运营闭环,助力FTTR业务高质量发展。

### 产业协同、技术升级,共创繁荣应用生态

FTTR从2019年提出,到2021年试点部署,再到2023—2024年快速成长、规模应用,整个产业链已经确信FTTR是千兆家宽和智慧家庭最重要的技术演进方向。FTTR是一个全新的产业,技术标准化是推动产业繁荣、终端产品规模化商用的前提和基础。作为FTTR产业的重要推动者,国内运营商积极参与国内外标准组织会议,在ITU-T SG15 Q3家庭网络组,成功推动G.9940(G.fin/G.xfin)系列标准的立项;与国际电信运营商共同制定了FIP统一标准,涵盖业务场景、用户需求、总体要求、物理层和链路层、网络管理、光与Wi-Fi协同等多个方面。这不仅将FTTR技术推广到全球范围,还促进了相关产业的蓬勃发展。此外,运营商还积极参与家庭室内光纤布线、家庭网络信息安全、FTTR终端智能化等方面标准的制定工作,并积极向国际标准输送相关内容。

未来FTTR将持续迭代升级,面向更广泛的用户,实现更高的速率、更智能的应用。通过引入50G PON接入、10Gbit/s对称光连接、Wi-Fi 7和毫米波传输等技术,将现有的千兆连接速率提升到万兆,从“光纤到房间”升级到“光纤到机器”;依托FTTR终端强大的硬件处理能力和智能化操作系统,引入AI质差分析、光与Wi-Fi协同管理等技术,为用户提供更丰富的应用、更优质的网络体验;FTTR的成功经验还可以应用到门店、商铺、酒店等场景,打造更多的FTTR-B成功案例。

FTTR正走向光明的未来,但仍需要产业各方协同合作。标准和研究机构要实现新技术的突破,引领行业发展方向,做好FTTR行业的“引路人”;芯片厂商为FTTR产业提供专用芯片,确保终端的功能、性能和性价比,成为行业的“奠基者”;更多设备厂商进入这一领域,成为行业的“推进者”,推动FTTR繁荣发展。国内运营商作为FTTR重要的参与者、部署者和运营者,将与产业各方一起,尽快推动新产品、新技术全面成熟,并继续加大FTTR部署规模,助力数字中国、网络强国发展进一步提质提速。📶

# 5G-R关键技术与装备

■ 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 祝涛 吴昊 丁百一

在铁路行业，5G-R作为专网技术，具有高速率和低时延等特性，将推动铁路通信事业迈向高质量发展新阶段。通过5G-R技术应用，列车控制系统实现了高精度定位、实时监测和精准控制，提高了铁路运营的效率 and 安全性。同时，5G-R网络的高带宽和低时延特性也提升了铁路通信系统的质量和效率。随着技术的不断成熟和应用范围的持续扩大，5G-R技术将成为未来铁路行业发展的重要支撑和引领力量，推动铁路信息化和智能化水平达到新的高度。

## 5G-R技术概述

### 5G-R的定义与特点

5G-R作为第五代铁路移动通信系统，标志着铁路无线通信技术的重大飞跃。它立足于5G坚实的技术基础，通过集成先进的通信技术，旨在为铁路运营提供前所未有的通信体验。这一系统不仅大幅提升了数据传输速度，降低了通信时延，还显著增强了网络容量，为铁路行业的数字化转型提供了强大支撑。

在5G-R的助力下，铁路通信的带宽得到了极大拓展，为海量数据的快速传输提供了可能。这种超大带宽的特性使得多个设备能够同时连接至网络，实现数据的实时、高效传输。无论是列车控制系统、乘客信息服务系统，还是高清视频监控等应用，都能在5G-R的超大带宽支持下实现流畅、稳定运行。

5G-R的超低时延特性对于铁路运营来说具有举足轻重的意义。在高速移动的环境中，确保通信的实时性和准确性至关重要。5G-R通过优化网络架构和协议栈，实现了毫秒级的低时延，使得列车控制系统能够及时响应各种指令，确保列车的安全运行。超低时延还有助于提升乘车体验，如在列车上实

现流畅的高清视频通话、无缝的游戏体验等。

5G-R还具有海量连接的能力。传统的铁路通信系统由于带宽和时延的限制，往往难以支持大量设备同时连接。而5G-R通过引入先进的无线通信技术，大幅提升了网络的连接密度和容量，使数以万计的设备能够同时接入网络，实现数据的高速传输和实时交互。这为铁路行业的智能化、自动化发展提供了坚实的基础。

除了上述特点外，5G-R还具备高可靠性、高安全性等优点。在铁路运营中，通信系统的可靠性至关重要。一旦通信系统出现故障，可能导致出现列车控制失效、乘客信息混乱等严重后果。5G-R通过引入多重冗余设计、故障自动恢复等技术，确保了通信系统的稳定性和可靠性。5G-R还采用了先进的加密技术和安全防护措施，确保通信数据的机密性、完整性和真实性，为铁路运营提供了坚实的安全保障。

5G-R作为新一代铁路无线通信系统，以其超大带宽、超低时延、海量连接等特点，为铁路运营带来了革命性的进步。它不仅提升了数据传输速率和通信容量，还降低了时延和故障率，为铁路行业的数字化转型和智能化发展提供了强有力的支持。随着5G的加速推进，相信5G-R将在未来铁路通信领域发挥更加重要的作用，为人们的出行提供更加便捷、安全、高效的服务。

### 5G-R在铁路通信中的应用价值

5G-R在铁路通信领域的应用前景广阔，其高速的数据传输和低时延特性将极大提升铁路运营效率，缩小列车运行间隔，并有效增强行车安全性。通过更快速的数据传输，5G-R能够优化列车的调度和监控，减少人工干预，实现更高效的运营管理。低时延的特性使得列车控制系统能够及时响应各种突发情况，从而大幅度降低事故发生率。

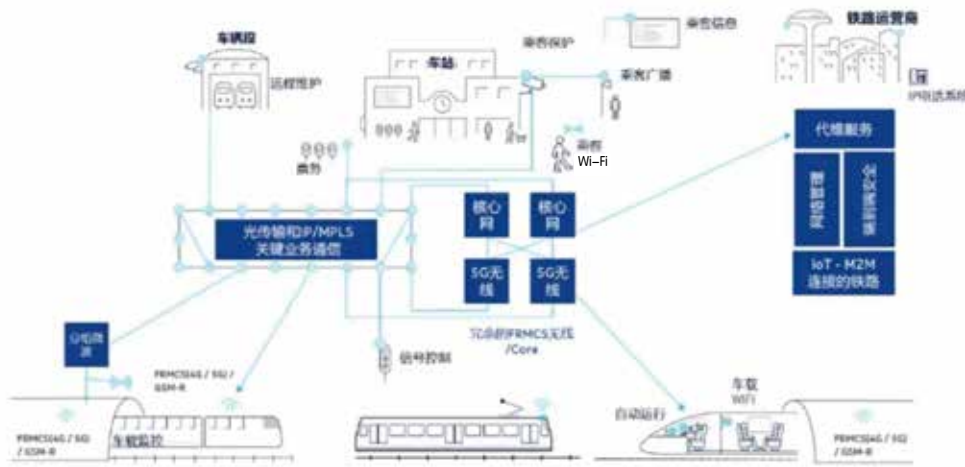


图1 5G-R网络架构

除了传统的语音通信和数据传输业务，5G-R还能支持更多创新业务应用。高清视频监控的实时传输使车站和列车的监控更为严密；实时调度指挥系统能够根据列车运行状况和交通流量，智能调整列车运行计划，优化运输能力。这些新业务的应用，不仅提升了铁路运营的智能化水平，也为乘客提供了更为便捷和安全的出行体验。

随着5G技术的不断演进和铁路行业信息化、数字化、智能化进程的逐渐加快，5G-R将成为铁路通信领域的重要基础设施和关键技术装备，在保障行车安全、提高运输效率、提升维护水平等方面发挥至关重要的作用。例如，通过大数据分析，5G-R可以实现对列车运行状态的实时监控和预测，提前发现并排除潜在的安全隐患。基于5G-R的智能维护系统能够实现铁路设备的远程监控和维护，从而降低维护成本、提高维护效率。

随着5G网络的进一步覆盖和铁路行业对新技术应用的深入探索，5G-R技术的应用场景将进一步拓展。未来，5G-R将与物联网、人工智能等先进技术相结合，推动铁路行业的数字化转型和智能化升级。例如，通过物联网技术，5G-R可以实现对铁路设备和环境的全面感知，为智能决策提供支持；而人工智能则可以利用5G-R提供的大量数据，进行深度学习和模式识别，进一步提高铁路运营的自动化和智能化水平。

## 5G-R关键技术研究进展

### 5G-R网络架构与组网技术

5G-R网络架构研究聚焦于独立组网(SA)架构，并在此基础上融入铁路特色业务应用，以构建一个综合、高效且适应铁路环境的通信网络。该架构的设计涵盖了多个关键组

件，包括终端设备(UE)、无线接入网(RAN)、核心网(5GC)、关键业务系统(MC)以及应用部分，每个组件均在网络中发挥着不可或缺的作用。5G-R网络架构如图1所示。

在终端设备方面，5G-R网络架构致力于提供适用于铁路环境的高性能、高可靠性设备。这些设备不仅支持高速数据传输和低延迟通信，还能在复杂的铁

路环境中保持稳定的性能。

无线接入网作为连接终端设备与核心网的桥梁，在5G-R网络架构中扮演着至关重要的角色。无线接入网负责处理无线信号的传输和接收，以及终端设备与核心网之间的数据传输。为了确保铁路沿线网络覆盖的全面性和连续性，无线接入网需要采用先进的无线技术和布局策略，从而提供高带宽、低时延的无线接入服务。

核心网5G-R网络架构的研究工作聚焦于独立组网架构，并在此基础上融入铁路特色应用业务，以构建一个综合、高效且适应铁路环境的通信网络。5G-R网络架构的核心组成部分负责处理网络的核心功能和服务，它提供了高效的数据处理能力、灵活的业务支撑能力以及强大的安全管理机制。通过引入网络切片技术，5GC能够为铁路特色业务应用提供定制化的网络资源和服务质量保障。

关键业务系统是5G-R网络架构中负责实现铁路特色业务应用的核心部分，这些业务包括但不限于列车控制、运营管理、旅客服务等。通过集成先进的业务处理逻辑和技术手段，关键业务系统能够为铁路行业提供高效、可靠的业务支持。

在应用部分，5G-R网络架构支持多样化的应用程序和服务，以满足铁路行业的需求。这些应用可以利用5G网络的高速率、低时延和大连接特性，提供更为丰富和便捷的服务体验。

在组网技术研究方面，5G-R采用了同频组网方式，这种方式具有显著的优势和效益。相较于传统的异频组网方式，同频组网无需考虑频率规划问题，从而大大简化了网络部署和管理的复杂性。同时，通过采用系统内的干扰协调技术，同频组网能够有效解决小区间干扰问题，确保网络性能可靠稳定。这种技术选择不仅提高了网络的效率，还为铁路行业提供

了更为可靠和稳定的通信服务。

具体而言，同频组网方式在5G-R网络架构中的应用涉及多个层面。一方面，在无线接入网层面，同频组网技术能够实现无线资源的共享和高效利用，提高了网络的带宽和容量；另一方面，在核心网层面，通过引入网络切片技术，同频组网能够为铁路特色业务应用提供定制化的网络资源和服务质量保障。这种定制化的网络服务可以满足铁路行业对通信服务的特殊需求，如高可靠、低延迟等。

此外，同频组网方式还在关键业务系统层面发挥着重要作用。通过优化业务处理逻辑和技术手段，同频组网能够为铁路行业提供更为高效和可靠的业务支持。这些业务包括但不限于列车控制、运营管理、旅客服务等。通过利用同频组网技术的优势，铁路行业能够实现业务的快速响应和高效处理，提升整体运营效率和服务质量。

在应用部分，同频组网方式为多样化的应用程序和服务提供了有力的支持。通过利用5G网络的高速率、低延迟和大连接特性，同频组网技术能够推动铁路行业应用程序的创新和发展。例如，通过实时传输列车运行数据、提供高清视频监控等应用，同频组网技术为铁路行业带来了更为便捷和高效的服务体验。

### 5G-R数据传输技术

在数据传输速率方面，5G-R技术凭借其出色的性能，为铁路业务提供了前所未有的数据传输能力。相比于传统的铁路通信技术，5G-R技术在带宽、速率和稳定性等方面均有显著提升。这使得铁路通信系统能够轻松应对日益增长的数据流量需求，包括列车控制信息、乘客信息服务、安全监控等多个方面。高速数据传输的实现不仅提升了铁路通信系统的运行效率，更在确保铁路运营安全方面发挥着至关重要的作用。

同时，5G-R技术的低时延特性对于铁路业务而言同样具有重要意义。在铁路通信系统中，信息的实时传输和处理至关重要，关系到列车运行的安全和乘客的出行体验。低时延的5G-R技术能够确保信息在极短的时间内得到传输和处理，从而提高了铁路系统的整体响应速度。这不仅能够提升列车控制的准确性和可靠性，还能为乘客提供更加及时、准确的信息服务，进一步提升乘客的出行满意度。

为了充分发挥5G-R技术在铁路通信领域的应用潜力，需要进行深入的技术研究和创新实践。一方面，要进一步探索5G-R技术的高速数据传输和低时延特性的内在机制和优化方法，以不断提升其性能表现；另一方面，还需要研究如何将

5G-R技术与铁路业务深度融合，推动铁路通信系统的智能化和自动化升级。

在具体实践中，业界可以通过以下三个方面来推动5G-R技术在铁路通信领域的应用。

一是加强技术研发和创新。针对5G-R技术的高速数据传输和低时延特性，要不断进行技术研发和创新，以提升其性能表现和适应性。例如，可以通过优化网络架构、提高频谱利用效率等方式，提升数据传输速率并降低时延。同时，关注5G-R技术的安全性和稳定性问题，确保其在铁路通信领域的应用能够安全可靠。

二是推动铁路通信系统的智能化和自动化升级。通过将5G-R技术与铁路业务深度融合，推动铁路通信系统的智能化和自动化升级。例如，利用5G-R技术实现列车控制的自动化和智能化，提高列车运行的效率和安全性；同时，还可以通过5G-R技术为乘客提供更加个性化、便捷的信息服务，提升乘客的出行体验。

三是加强产业合作和标准化建设。5G-R技术在铁路通信领域的应用需要产业链上下游企业的共同合作和支持。因此，加强产业合作和标准化建设，推动5G-R技术在铁路通信领域的广泛应用和标准化发展。这不仅有助于提升整个行业的技术水平和竞争力，还能为铁路事业的持续发展和创新提供有力支撑。

## 5G-R装备应用与前景

### 列车控制系统升级

在铁路交通领域，5G-R技术的应用正为列车控制系统带来前所未有的变革。这一前沿技术以其卓越的性能，实现了列车控制系统的高精度定位、实时监测和精准控制，从而确保了列车行驶的稳定性和安全性和高效性。

具体而言，5G-R技术通过其高速率、低时延的特性，为列车控制系统提供了强大的数据支撑。列车在运行过程中，能够实时获取精确的位置信息，为行车控制和信号调度提供了准确可靠的数据依据。系统通过实时监测列车运行状态，及时识别异常情况并采取相应的措施，有效避免潜在的安全风险。

5G-R技术还助力列车控制系统实现了智能化管理。通过实时收集和分析列车运行数据，系统能够自动进行故障预警和智能维护，提高了列车的运营效率和维护质量。这种智能化的管理方式不仅降低了人工干预的需求，还提升了铁路运营的整体效能。

更为重要的是，5G-R技术的应用还为铁路运营部门提供了数据驱动的决策支持。通过对列车运行数据的深入分析，铁路运营部门可以更加准确地掌握列车的运行规律和需求，从而制定出更加科学、合理的列车运行计划。这不仅提升了铁路运营的效率 and 效益，还为乘客提供了更加舒适、便捷的出行体验。

5G-R技术在铁路交通领域的应用展现出了巨大的潜力和优势。通过实现列车控制系统的高精度定位、实时监测和精准控制，以及智能化管理和数据驱动决策，5G-R技术正推动着铁路交通向更加安全、高效、智能的方向发展。

### 铁路通信系统改造

5G-R网络在铁路通信系统中展现出卓越的性能，其高带宽和低时延的特性赋予了铁路通信前所未有的能力。具体而言，5G-R网络的高速数据传输能力能够确保铁路系统中的各类数据得以迅速、准确地传输，无论是列车运行状态的监控、乘客服务信息的更新，还是列车控制系统的指令下达，都能实现即时响应。这极大地提升了铁路通信的实时性，对于保障列车的安全、高效运行具有至关重要的意义。

5G-R网络的低延迟特性也在铁路通信系统中发挥了重要作用。在列车高速运行的过程中，任何延迟都可能导致严重的后果。而5G-R网络能够确保通信信号的高速传输，减少了信号延迟导致的安全隐患，进一步提升了铁路通信的可靠性。

5G-R网络还具备强大的互联互通能力。通过5G-R网络，铁路通信系统能够实现不同系统之间的无缝对接，打破了“信息孤岛”，促进了信息共享和业务协同。这不仅提高了铁路运营的效率，还为乘客提供了更加便捷、个性化的服务体验。

在安全性方面，5G-R网络同样表现出色。它采用了先进的加密技术和安全防护措施，能够有效抵御外部攻击和干扰，保障铁路通信系统的信息安全和稳定运行。这一点对于铁路这种关乎国计民生的重要基础设施来说，尤为重要。

5G-R网络以其高带宽、低延迟、互联互通和安全可靠等特性，为铁路通信系统带来了革命性的进步。它不仅能够满足铁路通信系统对高速数据传输和实时通信的需求，还能够提升通信质量和效率，降低安全风险，为铁路行业的未来发展注入新的活力。

### 智慧铁路发展成趋势

在日益进步的科技领域中，5G-R技术的应用为铁路行业带来了前所未有的变革。这一前沿技术不仅显著提升了铁路运营智能化水平，还极大地优化了管理效率和乘客体验。

在智能化运营方面，5G-R技术使得铁路系统能够实现

更加精准和高效的调度管理。智能调度系统能够实时监控列车的运行状态，根据实际情况调整行车计划，有效提升运营效率。智能维护系统的应用则降低了设备故障率，通过数据分析和预测性维护，减少了维护成本和时间。智能安全监控系统的运用也极大地增强了行车安全性，通过高清视频监控和实时数据分析，及时发现并处理安全隐患。

在数字化管理方面，5G-R技术推动了铁路管理的数字化转型。通过构建统一的数据平台，实现各部门之间的数据共享和信息互通，提高了管理决策的准确性和时效性。数字化管理还优化了资源配置，使得铁路系统能够更加灵活地应对各种运营需求。

5G-R技术还为铁路列车的自动化驾驶提供了可能。通过高精度定位、通信和控制系统，列车能够实现自动驾驶，从而减少人为因素导致的安全事故，提高行车安全性。这不仅有助于提升铁路行业的整体形象，也为乘客带来了更加安全、舒适的出行体验。

5G-R技术还极大地提升了乘客体验。通过高速网络覆盖和实时信息服务，乘客可以在旅途中随时随地享受网络便利，获取最新的列车运行信息。智能购票系统的应用也使得购票过程更加便捷、高效，极大地提升了乘客的出行体验。

## 结论

本文深入剖析了5G-R铁路装备在技术创新领域的显著突破。基于5G技术的通信能力，5G-R铁路装备展现出强大的通信稳定性与数据传输效率，有效保障了铁路系统运行的实时性与准确性。其大规模连接特性使得铁路网络能够同时处理大量设备的数据交互，为铁路系统的智能化管理提供了坚实基础。5G-R铁路装备所具备的广泛覆盖能力，显著提升了偏远地区的铁路信号质量，促进了铁路网络的整体发展。

在应用前景方面，5G-R铁路装备展现出了巨大的潜力。通过提升铁路系统的安全性，减少因通信故障导致的安全事故，为乘客提供更加安全可靠的出行环境。借助5G-R技术优化铁路调度系统，能够有效缓解交通拥堵问题，提升列车运行效率。该技术还有助于改善乘客体验，如通过提供实时车次信息、车站导航等智能化服务，为乘客带来更便捷的出行体验。

5G-R铁路装备在技术创新和应用前景方面均展现出显著优势，为铁路行业的未来发展提供了有力支撑。随着技术的不断进步和政策的持续支持，相信5G-R铁路装备将在铁路行业中发挥更加重要的作用，推动整个行业的创新与发展。

# IPv6技术创新与应用

■ 中国信息通信研究院 刘燕 罗佳琦

近年来，我国对IPv6的发展给予了前所未有的关注和政策支持。从党中央、国务院到各地方、各部委，对于新型数字基础设施的发展都有明确的指导和战略布局。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》明确指出，全面推进IPv6的商用部署。2024年7月2日，工业和信息化部、中央网信办等8部门联合印发《关于开展“网络去NAT”专项工作 进一步深化IPv6部署应用的通知》，要求基础电信企业持续拓宽IPv6网络通路，互联网企业深化应用改造，加大放量引流力度。

尽管我国在IPv6的部署上成效显著，但固定宽带接入网络IPv6流量相较于移动网络仍显滞后，IPv6在行业应用方面还存在着价值不明确和推动力不足的挑战，这些问题成为实现IPv6大规模部署的主要障碍。本文通过深入分析IPv6部署中出现的问题，提出了提升固定网络流量、创新技术与业务模式的方法，以进一步推动我国IPv6发展迈上新台阶。

## IPv6规模部署现状

随着IPv6规模部署的推进，我国在IPv6基础设施的建设与发展上取得了令人瞩目的

成果。我国IPv6活跃用户占比趋势（2017—2024年）如图1所示，截至2024年5月，我国IPv6活跃用户数已达7.94亿，IPv6用户占比达到72.70%。目前我国IPv6用户增长已经进入一个相对稳定的阶段，IPv6的普及率已经达到较高水平。随着固定宽带网络的升级，固定网络的IPv6改造将成为新的增长点。

流量的大小反映了应用网络的广泛程度，当前我国正处于IPv6流量占比持续快速增长的阶段。2020年12月到2024年5月我国IPv6流量占比情况如图2所示，2023年2月，我国移动网IPv6流量占比首次超过50%。截至2024年5月，我国城域网IPv6总流量占全网总流量的21.21%，移动网IPv6流量占移动网总流量的64.56%。

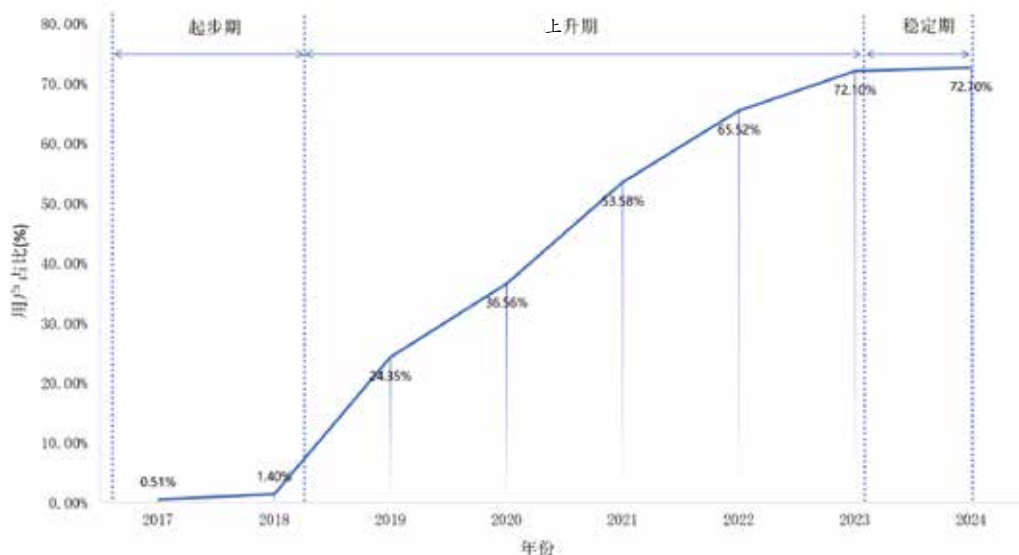


图1 我国IPv6活跃用户占比趋势（2017—2024年）



图2 2020年12月至2024年5月我国IPv6流量占比情况

### IPv6规模部署面临的挑战

从短期效果来看，我国IPv6发展虽然向好，但有很大的提升空间。究其原因主要是固网流量占比较低，以及缺乏产业和商业推广模式层面的创新等问题。

#### 固网流量占比较低

近年来，IPv6的规模部署和应用取得显著进展，国家IPv6发展监测平台数据显示，移动网IPv6流量占比已经达到64.56%，但相比之下，固定宽带城域网IPv6流量占比仅有21.21%。国内用户量较大的200款移动互联网应用（APP）虽均支持IPv6访问，但其支持的程度各不相同。

同时，在一些高流量服务中，如在线直播、点对点传输（P2P）、网络存储服务（网盘）和长视频播放等，IPv6改造的程度参差不齐。这种差异主要源于终端设备与网络功能在协同支持IPv6方面的一致，这已成为提升IPv6端到端流量所面临的一个重要且迫切需要解决的问题。

#### 缺乏产业和商业推广模式

IPv6的发展“基础在部署，关键在应用”，虽然当前阶段我国IPv6产业发展环境日趋成熟，信息通信、政务服务、金融、制造等垂直领域已落地了一批IPv6项目，但总体产业和商业模式层面推广力度不足，导致IPv6在行业应用中面临价值缺失与动力不足的问题。

### 固网IPv6流量提升建议

家庭固网用户主要通过终端设备连接到家庭网关或家庭路由器上，以此接入互联网。用户可以直接通过这些设备访

问各类应用服务，或者通过内容分发网络（CDN）服务器间接访问所需内容。家庭终端用户网络接入如图3所示。

目前，我国网络基础设施和应用基础设施已全面具备IPv6服务能力，但IPv6规模部署和应用仍存在堵点和瓶颈，阻碍了IPv6规模部署和应用水平的进一步提升。存在堵点的原因有三：一是IPv4到IPv6网络地址转换（NAT44）设备的大规模应用降低了企业投身于IPv6设备与应用开发的积极性；二是家庭路由器等终端设备对IPv6的支持度不高，直接影响了用户在固定网络下获得IPv6地址的能力；三是内容侧的供给不足，部分网站和应用IPv6改造不够彻底，P2P、网盘和长视频播放等流量集中的内容仍然使用IPv4访问，从而制约了IPv6流量的提升。

#### 有序推动网络升级改造

NAT44是将少量公网IPv4地址转换为较多的私网IPv4地址的技术，这种转换机制允许内部网络用户通过共享少量的公网IP地址与外部网络进行通信，有效解决了IPv4地址资源匮乏的难题。

然而，尽管NAT44技术在一定程度上缓解了IP地址不足的压力，却增加了用户使用IPv4网络的黏性，降低了企业开发IPv6设备和应用的主观意愿，客观上阻碍了IPv6规模部署和应用水平的进一步提升。因此，降低NAT44设备占比是当前推动IPv6规模部署和应用发展的关键措施之一。

“网络去NAT”是一项系统性工程，需要网络设备制造商、基础电信企业、互联网服务提供商、互联网企业以及用户等各方共同参与，全面推动IPv6的大规模部署与应用。

首先，需要基础电信企业对现有网络架构进行梳理和优

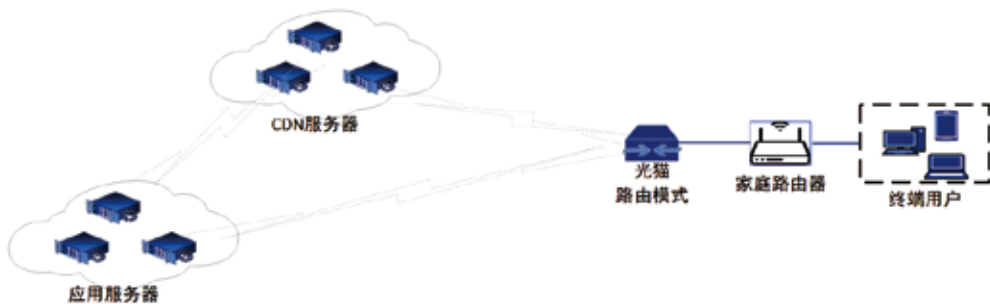


图3 家庭终端用户网络接入

化, 识别并减少不必要的NAT44设备, 确保更多的流量能够直接通过IPv6网络进行传输。到2025年7月底, 实现试点区域基础电信企业NAT44设备总容量停止增长, 主要移动互联网应用固网侧IPv6流量占比不低于70%。

其次, 推动网络设备制造商和互联网服务提供商加速IPv6产品的研发与部署, 确保新上线的设备和服 务默认支持IPv6。基础电信企业要增加IPv6互联网专线产品供给, 新增互联网专线默认开通IPv6功能, 加快实施家庭网关IPv6地址前缀二次分发功能升级。

最后, 互联网企业要加速应用服务的升级改造, 实现注册、登录、使用全链条支持IPv6。内容分发网络运营企业要推动边缘节点、核心节点等各层级支持IPv6, 提升用户加速、业务调度和内容回源等IPv6流量占比。同时, 加强与终端用户的沟通与引导, 鼓励其升级支持IPv6的终端设备, 共同构建友好的IPv6网络环境。

### 打通家庭终端支持IPv6“最后一公里”

当前基础电信企业已完成全国骨干网、城域网、接入网等的IPv6改造, 我国网络基础设施和应用基础设施IPv6服务能力已全面具备。然而在家庭网络侧仍存在大量老旧设备不支持IPv6, 家庭固网用户多采用家庭网关、家庭路由器均为路由模式的部署方式, 家庭终端通过二级路由连接网络时, 将无法获得IPv6地址。因此, 解决上述问题需要从以下几个方面着手。

一是基础电信企业对具备远程管理协议的路由型家庭网关进行远程IPv6固件升级, 对不支持协议的老旧家庭网关进行批量更换。

二是设备生产企业通过自动在线升级的方式, 加速对存量家庭路由器设备更新, 提供支持IPv6的固件版本。

三是基础电信企业对用户IPv6网络的入口一级路由设备(例如网关)实施升级改造, 以实现IPv6地址前缀的二次分发

功能。

### 强化内容生态建设

国家IPv6发展监测平台数据显示, 国内用户量较大的200款移动互联网应用均支持IPv6访问, 但P2P、在线长视频等大流量应用IPv6改造进展缓慢。究其原因, P2P、在线长视频等大流量应用多采用点对点连接方式, 需要用户终端、内容分发网络、应用服务等同步改造, 存在改造难度大、投入成本高等问题。需要互联网、内容分发网络运营、云服务等企业多方协调才能实现。

在完成CDN节点、DNS解析的IPv6升级改造基础上, 内容分发网络运营企业可优先向运营商申请IPv6资源, 作为CDN节点的生产物料, 建设针对IPv6的CMDB体系, 完成IP分配和管理体系升级改造。

云服务企业应全面支持IPv6协议, 确保在向用户提供服 务时默认启用IPv6, 并且需要为处于IPv6单协议栈网络环境下的用户, 提供不低于IPv4网络环境下的云服务种类和服务品质。

互联网企业要深化应用服务IPv6升级改造, 优化放量引流策略, 实现注册、登录、使用全链条支持IPv6。

### 推动IPv6在不同领域的创新应用

打造一个开放且互利共赢的IPv6产业环境, 不仅代表了网络技术的革新, 也标志着商业运作方式的重大进步。

“IPv6+”是IPv6下一代互联网的升级, 是面向5G和云时代的IP网络创新体系, 可以实现更加开放活跃的技术与业务创新、更加高效灵活的组网与业务提供、更加优异的性能与用户体验、更加智能可靠的运维与安全保障。

“IPv6+”包括以SRv6(Segment Routing IPv6, 分段路由)、网络切片、IFIT(In-situ Flow Information

Telemetry, 随流检测) 等为代表的网络技术体系创新, 以网络故障发现、故障识别、网络自愈、自动调优等为代表的智能运维体系创新, 以及以5G toB、云间互联、用户上云、网安联动等为代表的网络商业模式创新。

### SRv6技术与应用

SRv6采用现有的IPv6转发技术, 通过灵活的IPv6扩展头, 实现网络可编程。SRv6简化了网络协议类型, 具有良好的扩展性和可编程性, 可应用于VPN、云网融合、网络智能管控、应用编排等多个业务场景。

在智慧冬奥项目中, 技术人员采用“IPv6+”技术对冬奥专网进行创新, 基于SRv6、IFIT、网络切片和AI辅助智能运维等关键技术, 解决传统网络的痛点, 打造了一张智能、高品质、可靠、安全、绿色的网络, 为后续国际国内重大赛事的通信服务开创了领先的新技术方案, 为“IPv6+”技术的落地应用积累了丰富的实践经验。

### 网络切片技术与应用

网络切片是指在同一个共享的网络基础设施上提供多个逻辑网络(切片), 每个逻辑网络服务于特定的业务类型或者行业用户。每个网络切片都可以灵活定义自己的逻辑拓扑、SLA(Service Level Agreement)需求、可靠性和安全等级, 以满足不同业务、行业或用户的差异化需求。

在基于“IPv6+”技术的广西电子政务外网第二平面网络项目中, 切片层基于网络切片实现带宽保障。通过在政务外网上划分不同的网络切片, 为特殊敏感类业务提供独立的隔离带宽资源, 当出现流量突发、链路拥塞时, 专用网络切片中的业务转发可不受影响, 从而获得确定性的业务质量保障。

### IFIT技术与应用

IFIT是一种通过对网络真实业务流进行特征标记, 直接检测网络的时延、丢包、抖动等性能指标的检测技术。通过在真实业务报文中插入IFIT报文头进行特征标记, 直接检测网络的时延、丢包、抖动等性能指标, 实现逐跳、端到端等不同维度的网络性能IFIT测量。

当前, 基于“IPv6+”的IFIT已经在面向5G和云的运营商网络、企业网络中有所应用。

在电子政务外网的应用中, IFIT可提升电子政务外网“实时全感知”保障、精准故障识别定位能力。广西电子政务外网第二平面在应用网络切片技术为全区视频会议提供重点保障的同时, 开启IFIT能力监控视频会议的业务质量, 运维人员通过监控业务质量, 快速定位故障问题, 实现业务的实时感知、快速响应、准确定位, 提升运维效率和能力, 降

低运维负担与成本。

在电力系统的应用中, IFIT快速定界、快速感知故障。国家电网有限公司(以下简称“国家电网”)“IPv6+”互联网大区业务承载网, 以IPv6为技术核心, 首次将SRv6、SDN、CDN、DNS、IFIT、BIERv6等技术融合创新应用于电力通信的业务承载网络, 全面提升了业务数据高效交互能力。在SRv6基础上通过引入IFIT技术, 实现了对国家电网“IPv6+”互联网大区业务承载网跨域故障快速定界、故障快速感知, 不仅提升了运维效率, 还有效保障了服务质量。

## IPv6技术创新和应用发展趋势

自2017年11月发布《推进互联网协议第六版(IPv6)规模部署行动计划》以来, 我国在IPv6的网络基础设施、应用基础设施、终端、基础资源、用户数及流量等方面都取得了良好的成效。


在技术升级和产业升级的“双轮驱动”下, “IPv6+”所代表的新一代互联网技术正在展示其强大的协同效应。为了确保IPv6能够持续高速发展, 需要强化以下几方面工作。

一是加强网络基础理论研究和顶层设计。以愿景需求为导向、以问题为驱动, 采用自上而下的设计方法, 实现架构级网络协议体系创新以及关键技术突破。

二是重视产业界结合。积极推进核心技术的持续成果转化和产业化, 加快新技术在运营商网络、行业专网和未来网络试验平台的应用、部署与实践。

三是加快技术验证和产业布局。以新网络协议体系技术为核心, 着重在万物万网互联、确定性服务、内生安全、高通量传输、用户可定义等领域加快研究进程, 提前完成技术储备, 在新建实验网上进行先进技术落地验证, 实现先进技术卡位和产业提前布局。

未来的世界是万物互联、万物智联和万智互联的数字世界, 万物皆有IP地址, IP网络的规模不断扩大, IP连接属性不断增强, IP支撑的应用场景持续丰富。IP网络作为重要的基础设施, 最终实现“IP无处不在、智能无所不及”的愿景目标。

IPv6作为互联网的未来, 已经在多个领域展现出强大的潜力。随着技术的日新月异与应用领域的持续拓展, IPv6逐步构建起一个更加安全可靠、高效运行且智能化程度显著提升的网络环境。在这一进程中, 固网流量的稳步增长、IPv6产业与商业模式的创新, 形成了相互促进的良性循环。固网IPv6流量的提升, 可以激发IPv6相关产业与商业模式的革新, 促进产业的繁荣; 而IPv6产业的繁荣, 又将进一步促进固网IPv6流量的增长。 

# 无线容量自优化算法的研究

■ 中国移动通信集团四川有限公司绵阳分公司 蔡丹姑 郭江 王坤 谢世海

覆盖范围、质量、容量是无线网络优化面临的三大问题，而这三大问题中最具有挑战性和不确定性的就是容量问题。无线网络覆盖范围主要由规划、后台参数（RRU/AAU输出功率等参数）来确定，后期优化空间较小。无线网络覆盖范围确定后，无线网络质量基本上确定，从某种程度来说无线网络覆盖与网络质量呈正相关性。

## 基于MRR栅格的高精度容量自优化算法总体框架设计

随着手机成为人们生活中不可或缺的工具，尤其是移动办公、在线教育、智慧家庭等应用的快速发展，有限的无线网络资源变得日益紧缺。容量通常指的是一个无线网络系统可以承载的最大数据流量或者可以同时连接的最大设备数量，一般用无线利用率来评估一个小区的无线容量使用情况，结合不同的频段和带宽，当小区的无线利用率超过一定的比例时，则认为其容量不足，需要对无线资源进行补充，而这已成为日常无线网络优化中最具挑战性和不确定性的问题。如何在有限的资源和投资下，实现资源的充分合理利用，切实提升用户感知，是运营商必须应对的挑战。

目前，各大运营商在容量优化方面都遇到了前所未有的挑战，主要表现在以下几个方面。一是容量问题突出，高负荷小区占比较大；二是容量问题偶发比例高达70%左右，降低偶发比例对于提升高负荷小区占比具有非常重大的意义；三是传统的优化手段不能满足网络发展需求，目前基站数量不断增加，以某三线城市为例，该市4G和5G基站已超过1.1万个，无线小区数量接近5万个，但传统的容量优化一般以天或者周

为研究粒度，具有严重的滞后性，传统的高负荷无线优化手段难以满足网络发展需求；四是无提前预警机制，对于偶发小区或者话务突发情况没有预警机制，待小区已经高负荷才去被动处理。

本研究以“实时性、准确性”为指导思想，自创算法模型、自编程实现，以15分钟粒度为统计周期，挖掘栅格化的MRR数据（小区内所有普通用户手机测量报告记录中的各种参数），主要包括信号强度、信号质量、TA、功率等。通过MRR数据采集，了解覆盖小区内无线质量以及用户感知情况；再通过对小区和同覆盖小区的信号电平、宽带利用率，以及每个栅格下各个小区采样点占比等因素进行关联，找出与当前高利用率小区相关性最强的小区，通过实时参数优化进行精准动态负荷均衡，实现无线资源的合理分配，提升用户感知。

基于MRR栅格的高精度容量自优化算法技术框架如图1所示，包含数据采集、数据分析和处理、判断、执行四个模块。

## 算法实现

### 数据采集

基于MRR栅格的高精度容量自优化算法以15分钟粒度为统计周期，主要采集MRR栅格数据（采样电平、采样点、栅格名称等）、15分钟性能统计数据（包括CGI、RRC最大有效连接数、流量等）、实时故障和告警数据、无线工参数据（功率、切换、重选、邻区关系等）、重选切换参数（包含最小接入电平、重选门限、重选优先级、CIO等）、硬件配置数据（基带板、RRU等）。具体采集的数据如表1所示。

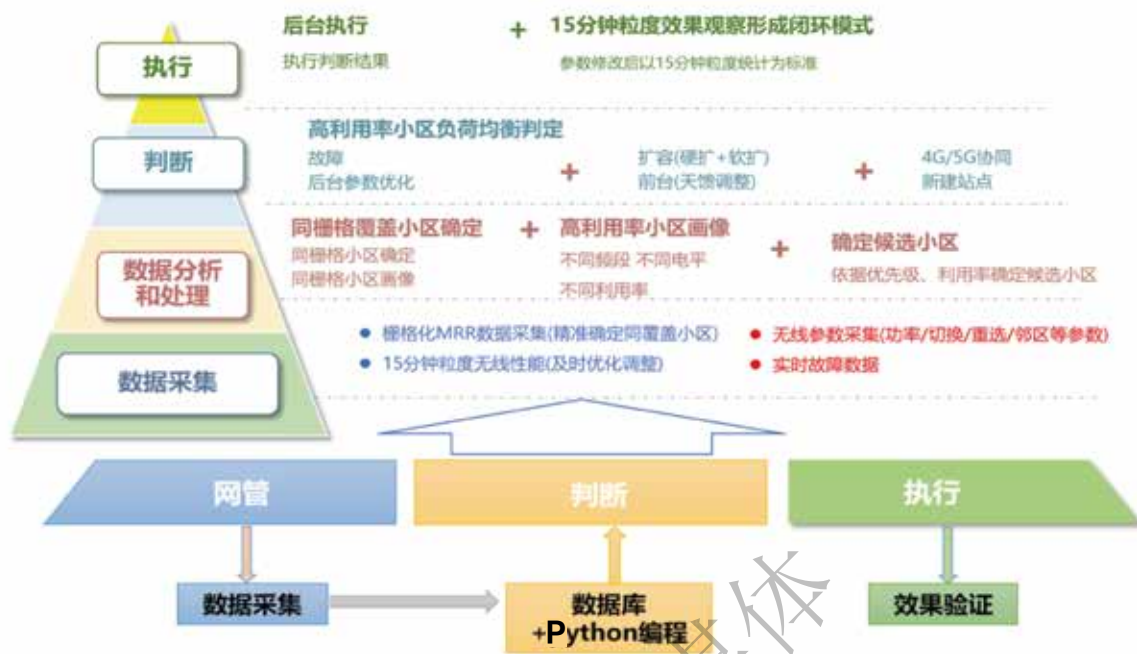


图1 基于MRR栅格的高精度容量自优化算法技术框架

### 数据分析和处理

通过挖掘栅格化的MRR数据，确定同覆盖下的所有小区的信号电平、无线参数、采样点占比等数据并进行关联，找出与当前带宽高利用率小区最相关的小区，通过实时动态优化进行负荷均衡，达到精准、实时的动态均衡效果。这个阶段包含小区画像、候选小区确定等步骤。

#### ●MRR采集和小区带宽利用率画像

对所有的栅格和栅格下小区的电平值RSRP（参考信号接收功率，是移动通信网络中可以代表无线信号强度的关键参数之一，该值可以代表小区网络覆盖的情况）进行画像，栅格MRR数据画像如表2所示。

以15分钟粒度为统计周期，对小区的带宽利用率进行分类，对不同频段小区的带宽利用率进行画像，按照影响用户感

表2 栅格MRR数据画像

信号电平	小区分级	栅格平均电平
RSRP ≥ -80	A	A
(-90 ≤ RSRP < -80)	B	B
(-100 ≤ RSRP < -90)	C	C
(-120 ≤ RSRP < -100)	D	D
RSRP < -120	E	E

知的程度，将带宽利用率分成A、B、C、D四个档位。其中，A类小区定义为高负荷小区，需要将话务量分摊到同一栅格下的非高负荷小区；B/C/D为非高负荷小区，可以分担同一栅格下的A类小区的话务。不同制式的小区画像如表3所示。

#### ●候选小区确定

本研究最难的是如何确定同栅格下的候选小区。为简化计算过程，分别对信号同覆盖和非同覆盖进行研究。

**同覆盖：**与小区信号覆盖相同的扇区（同方向上所有的小区定义为一个扇区）相关性最强，对带宽利用率、频率优先级、小区在栅格内采样点占比进行打分，得分最高的小区为候选小区。

**非同覆盖：**相同栅格下不同小区的信号覆盖，对带宽利用率、频率优先级、小区在栅格内采样点占比进行打分，得分最高的小区为候选小区。具体的算法和流程如下。

一是确定覆盖本小区所有的栅格。用网络切片的方法得到源小区覆盖的所有栅格的信息，包括

表1 基于MRR栅格的高精度容量自优化算法采集数据种类

采集数据	采集元素	说明
MRR栅格数据	采样电平、采样点、栅格名称等	读取每个栅格下小区的采样点和采样电平
性能统计数据	CGI、RRC最大有效连接数、流量等	获取15分钟小区负荷情况
实时故障和告警数据	基站和小区级别告警等	确定高负荷小区及其周边是否存在故障
无线工参数据	功率、切换、重选、邻区关系等	用于参数优化判定
重选切换参数	最小接入电平、重选门限、重选优先级、CIO等	用于参数重选判定
硬件配置数据	基带板、RRU等	用于扩容、减容判定

表3 不同制式的小区画像

TDD小区	小区带宽利用率	FDD小区	小区带宽利用率	3DMIMO小区	小区带宽利用率
A	>45%	A	>65%	A	>75%
B	30%~40%	B	50%~60%	B	60%~70%
C	20%~30%	C	30%~50%	C	40%~60%
D	<20%	D	<30%	D	<40%

表4 通过Python编程输出优化结果

判断内容	调整的内容	说明
周边是否有故障	输出故障清单	无
同栅格负载能均衡	优化功率、重选、切换等参数并输出相关的执行脚本动态执行	无线参数优化
同栅格负载不能均衡但能扩容	输出软扩、硬扩清单	软扩或者硬扩
同栅格负载不能均衡也无法扩容	输出现场优化、5G分流清单	4G/5G协同、现场优化、新建

源小区CGI、栅格ID及其他信息，为下一步查找同覆盖小区提供依据，切片使用的条件是源数据中的CGI与源小区的CGI相同。

二是确定栅格下所有小区。用网络切片的方法得到源小区覆盖相同的栅格信息，判定条件是栅格ID与源小区覆盖的栅格ID相同。

三是聚类统计及相关性排序。把采样点数和值、电平平均值、栅格计数等信息聚合至小区上。

四是确定候选小区。根据采样点数降序，将相关小区利用率和电平值进行分类，低利用率小区(即B、C、D类)为候选小区。

表5 某地市运营商近两年高负荷小区变化情况

运行时间	高负荷预警小区数			高负荷预警小区减少比例	低利用率小区减少比例
	低负荷小区日均调整数量(个)	平均高负荷预警小区日均调整数量(个)	总计(个)		
2022年	3236	579	3615	—	—
2023年	2915	338	3253	71.30%	11.01%
2024年5月	2416	206	2622	64.08%	20.65%
总计	8567	1093	9660	—	—

### 输出结果

通过Python编程，输出相关的优化结果，如表4所示。

可以进行参数调整和软扩(当无线资源不足时，需要对资源进行补充。无需增加硬件即可新增小区的称之为“软扩”；需要新增硬件才能补充无线资源则

称之为“硬扩”)的小区可直接在无线网管上进行实时动态调整，从而实现全网无线资源实时、动态、精准调整和优化。

### 效果验证

该算法已在某地市运营商运行2年多，高负荷预警小区整体下降70%左右，低负荷小区下降20%左右。该运营商近两年高负荷小区变化情况如表5所示。

传统的容量优化基于天或者周粒度进行调整，本算法针对现网最小统计粒度进行优化调整，即对现网15分钟内出现的高负荷小区进行及时发现和优化，相对传统的优化方法，优化时效性提升90%以上，优化精度提升50%以上。

本研究以“实时性、准确性”为指导思想，自创算法模型、自编程实现，以15分钟粒度为统计周期，挖掘栅格化的MRR数据，通过对小区和同覆盖小区的信号电平、带宽利用率，以及每个栅格下各个小区采样点的占比等因素进行关联，找出与当前高利用率小区相关性最强的小区，通过实时的动态参数优化进行负荷均衡，达到精准、动态、均衡的效果。受限于目前的算法和工具，后续可在以下几个方面进行优化：结

合M域、O域和B域数据进行挖潜，通过机器学习，实时提取网络无线资源，并动态作出相关调整。



# 基于AI和大数据分析 提升宽带网络健壮性的研究和应用

■ 中国移动通信集团广西有限公司柳州分公司 闭斌双 范清栋 麻蓝特

随着千兆光网覆盖的逐步深入，宽带网络的规模日益扩大，连接的复杂度也不断提高。与此同时，抖音、快手等短视频业务的快速发展，使得人们对带宽、时延的要求越来越高。因此，保持宽带网络稳定、提升用户网络感知，对于运营商保持市场占有率具有重要意义。传统宽带网络优化主要依赖人工方案，缺乏准确性和智能性，导致资源浪费和效率低下。近年来，随着人工智能（AI）技术的发展，AI算法和大数据分析被广泛应用于各行各业，也为宽带网络优化提供了新的思路和方法。

## 宽带网络现状和问题

宽带网络组网结构复杂，维护难度大，隐患范围广。PON网络是点到多点的单纤双向无源光网络，中间节点一旦发生光路中断，宽带网络将无法正常使用，影响用户感知。宽带网络故障主要分为四类：OLT设备退服故障、SR离线故障、PON离线故障、PON分支故障。

宽带网络以OLT为中心，采用两级1:8分光接入用户，中间光缆采用架空、管道、附挂、直埋等多种敷设方式，因此易受自然灾害、市电停电、市政施工等因素影响，频发故障。而宽带网络存在故障体量大、场景复杂多变、组网架构不合理等问题，且相关海量数据难以挖掘，传统人工分析、制定压降方案等效率低下，无法精准有效识别问题并生成结果，输出的方案不能完全对症，导致优化效果不佳。

以A市A县某运营商为例，2023年初，A市A县频繁发生大批量宽带主干网络故障。面对海量故障数据，工作人员一筹莫展，只能从故障PON口环节入手，采用EXCEL表格汇总并

结合相关公式，虽统计出频繁发生故障的PON口，但面对眼花缭乱的故障段落名称时，仍无法快速识别真正的故障段落名称，只能将故障段落信息与资源管理系统数据逐条比对，统计出发生故障的光缆段落和次数，最后依靠经验逐条制定对策。据统计，仅一个PON口，一名分析人员就要耗费6个小时，工作效率非常低。

## AI和大数据技术提升网络健壮性

为提升宽带网络优化效率，夯实网络基础，该运营商引入AI自动化分析，基于Python程序开发PON离线AI和大数据分析工具。

### 总体思路

该工具算法以故障工单数据为准，提取故障PON口、故障时间、故障原因、故障段落、故障处理等特征数据，结合资源管理系统数据，以PON口特征为基础，提取对应家宽小区名称、小区光交箱信息；在光路图中提取PON口相关链路，结合故障段落信息，找到具体故障段落；同时，通过大量的故障原因和故障处理数据，训练优化模型；最后依据具体故障段落和故障原因，基于优化模型，找到需要优化的段落，形成可落地的优化方案。

### 开发过程

第一，导出故障数据。从故障管理平台导出故障数据，提取故障PON口、故障时间、故障原因、故障段落、故障处理方法等特征数据。

第二，规范段落名称。由于故障段落由一线维护人员上

表1 各类频发故障的优化策略

故障类型	整治方法
挖断	更改路由, 重新直埋或架空敷设
钩断	更改路由, 重新直埋或架空敷设
老鼠啃咬及尾纤	用防火泥封堵箱体底座
刮断	增加架空光缆挂高或更改路由敷设
尾纤老化	更换箱门或光交箱

报, 存在名称不规范、段落信息偏差等问题, 比如“林业局GJ往宝塔镇汇聚方向”, 实际对应的标准段落名称是“林业局GJ0001—宝塔镇传输汇聚机房”。名称不规范, 容易导致大数据分析出现统计错误, 引起结论不准确等问题。为解决这一问题, 可采用杰卡德系数(Jaccard Coefficient)算法, 由系统结合一线人员上报的信息, 自动识别并输出资源管理数据。

杰卡德系数算法用于表示有限样本集之间的相似性与差异性, 系数值越大, 样本相似度越高。杰卡德系数即提取两个样本的交集除以并集得到的数值, 当两个样本完全一致时结果为1, 当两个样本完全不同时结果为0。

将杰卡德系数算法引入不规范段落名称矫正, 需要以下几个步骤: 首先, 将不规范的段落和资管段落名称进行分词, 根据分词算法将其分为两个独立的词集合; 其次, 求出两个词集合的并集; 再次, 计算词频并将其向量化; 最后, 带入向量计算模型, 求出文本相似度。经过反复调试, 当杰卡德系数大于或等于0.83时, 系统能够自动比对标准资管名称。

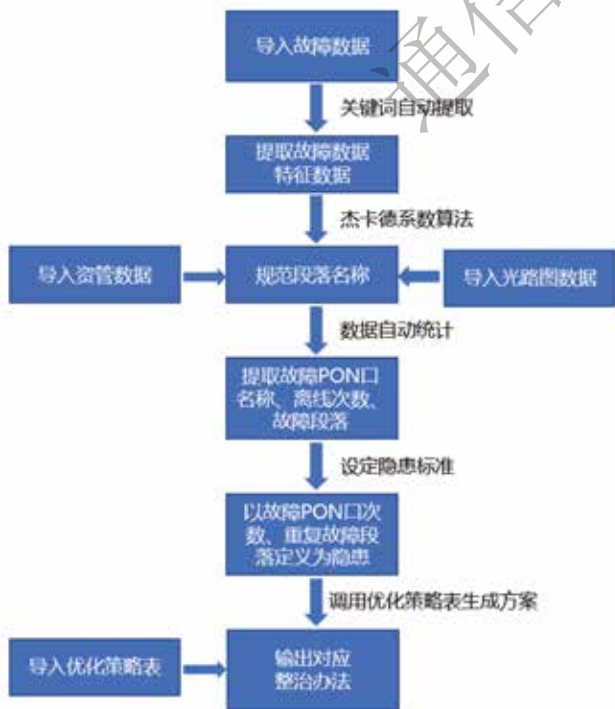


图1 PON离线AI和大数据分析全流程

第三, 制定优化策略表。结合故障抢修经验, 制定各类频发故障的优化策略表, 具体见表1。

第四, 用Python实现PON离线AI和大数据分析。在PON离线AI和大数据分析工具中导入故障数据表, 提取故障PON口、故障时间、故障原因、故障段落、故障处理等特征数据, 结合资源管理系统数据, 用杰卡德系数算法获得对应故障段落标准名称, 并与光路图进行比对, 确认该段落线路依旧在用。接着根据故障PON口发生次数进行排序, 确定故障频发PON口和故障段落, 结合优化策略表, 输出对应办法。具体流程如图1所示。

### 应用成效

基于AI和大数据分析提升宽带网络健壮性的方案, 经过前期摸底、方案构建、算法设计、程序编写、系统建设、局部试点、全面推广7个阶段, 目前已在A市逐步推行实施。

2023年底进城务工人员返乡期间, 为解决需求激增导致的A市A县宽带网络频繁中断问题, 工作人员采用基于Python程序开发的PON离线AI和大数据分析工具, 导入近半年A市故障记录。利用工具快速分析, 提取故障PON口、故障时间、故障原因、故障段落、故障处理等特征数据, 锁定隐患点位于“林业局GJ往宝塔镇汇聚方向100米处”。同时, 调取资源管理系统数据, 用杰卡德系数算法获得对应故障段落标准名称为“林业局GJ0001—宝塔镇传输汇聚机房”。接着, 将标准段落名称与光路图进行比对, 确认该段落线路依旧在用。最后, 根据故障信息的关键词“挖断”, 结合优化策略表, 输出对应优化办法: “林业局GJ0001—宝塔镇传输汇聚机房”被挖断, 存在隐患, 需更改路由, 采用重新直埋或架空敷设方式。

从导入数据到输出方案, 全程不到2分钟。方案输出效率由原来6小时/PON口提升到2分钟/PON口。随后, 工作人员依据输出方案, 组织相关施工队前往现场, 采用重新直埋方式修复隐患。该段落至今未再次发生故障, 隐患彻底消除。

实践证明, 该分析工具能够精准识别隐患, 输出优化意见, 进一步强化“建、维、优”协同作战能力, 显著提升网络建设精准度, 精准支撑业务开通需求, 保障投资效益。

总体而言, 该分析工具大幅提高了宽带网络的维护和优化效率, 故障总量减少20%, 交通成本、物资采购成本降低15%。AI和大数据分析工具, 为宽带网络优化融入自动化元素, 为数字化转型奠定基础, 有效响应市场需求、提升用户体验感知, 大幅提升运营商的数字化运营水平, 在精准排障、提高效率、节约成本、改善网络质量、提升用户满意度方面有较大实用价值。

# 大规模异构算力资源池应用管理系统 构建策略分析

■ 中国信息通信研究院 赵精华

传统的操作系统需要对计算、内存、网络、存储、任务进程调度等各个方面进行管理。随着机器学习算法愈发复杂、模型规模不断提升，以及人工智能与5G、物联网等领域深度融合，图片、语音、视频等非结构化数据呈现爆发式增长，异构算力成为行业发展的必然趋势，这对算力、存储、虚拟化、网络、编排、调度、算法等部分提出更高要求，需要强有力的管理来支持异构算力的快速扩充。因此，亟需构建专用于异构算力的一体化系统，以集成、管理异构硬件设备，并承载各类上层应用与服务。

## 大规模异构算力部署的意义与挑战

### 异构算力的重要意义

随着5G、大数据、云计算、人工智能等新兴技术快速发展，计算场景日益丰富，大模型的出现使得算力需求爆发式增长，对大规模算力的要求进一步提高，算力供需矛盾日益凸显。从供给端看，CPU达到单卡性能极限，英伟达GPU“一卡难求”，产能紧张问题预计到2025年才能缓解，算力供给不足进一步加剧。从供需匹配看，赛迪顾问数据显示，2023年我国智能算力需求达到123.6EFlops，但智能算力供给规模仅为57.9EFlops，不到智算需求的一半。2022年至今，大模型算力需求增长750倍，但硬件算力供给仅增长3倍。

异构算力成为突破CPU性能极限、缓解GPU产能紧

张、提高算力供给水平的有效途径，它通过各种XPU加速器与CPU配合，提供高性能、低延迟、大规模算力，满足不同场景的应用需求。例如，在物联网应用中，可以利用“CPU+GPU”或者“CPU+FPGA+GPU”等异构算力，满足海量物联网设备的大规模数据处理需求，提高物联网的应用效率和可靠性。

### 大规模异构算力资源管理的问题与挑战

异构算力对于多元化、大规模算力资源管理提出更高要求，而性能瓶颈、高性能和灵活性难以兼顾、“计算孤岛”等问题进一步显现。因此，产业界需要对异构计算的相关问题进行进一步分析研究，并寻找可能的解决方案。

首先，芯片性能陷入瓶颈。由于计算芯片性能已经达到物理极限，上千台服务器和上万张GPU加速卡组成的计算集群也达到规模和效率上限，难以通过扩大计算集群规模满足大规模算力需求。出现这一问题的原因主要有三个：一是随着工艺制程节点继续向更小的5nm、3nm甚至埃米级别推进，芯片工艺制程逐渐逼近物理极限，“摩尔定律”迭代进度放缓，单纯依靠增加晶体管数量提升性能的效果逐渐减弱；二是芯片工艺制程在缩小晶体管体积的同时，产生更高功耗和更多热量，极大可能缩短芯片使用寿命、降低芯片可靠性；三是在实际应用中，软件和硬件难以始终保持高效协同，因而限制部分硬件性能有效发挥。

其次，高性能和灵活性难以兼顾。不同加速处理器的

性能与灵活性各具特色、各有挑战，目前尚未形成有效平衡高性能和灵活性的解决方案。GPU具有较强的灵活性，但性能和效率相对受限，即将达到性能瓶颈。DSA能够满足特定领域性能优化要求，但无法满足通用计算任务的性能要求，因此DSA技术的广泛应用受限。FPGA灵活性较高，但功耗和成本也较高，主要用于原型验证，实际落地案例较少。ASIC功能固化，缺乏足够的灵活性，难以满足多变、复杂的计算场景需求。

最后，“计算孤岛”问题凸显。异构算力应用范围扩大、应用场景增多，要求CPU、GPU、DSA、FPGA、ASIC等加速处理器共存，但随之而来的是日益凸显的“孤岛”问题。一是加速处理器能够较好解决特定领域存在的问题，但多个加速处理器的内存管理机制、控制机制、通信和数据交换的接口与机制各不相同，导致数据访问和传输路径难以协同，且并行控制算法、数据交换机制等开发难度大、复杂性高，难以实现高效协同和交互，对系统整体性能产生较大影响。二是CPU、DPU等作为异构系统的中心单元，需要协调和管理其他硬件加速处理器，当加速处理器数量增加或者任务复杂性增强时，会导致资源负载分配不均，加重中心单元性能负担。三是服务器等硬件设备的物理空间和PCIe总线有限，只能容纳一定数量的加速卡，从而限制了加速处理器可扩展性和性能提升。

## 大规模异构算力资源池应用管理系统

大规模异构算力资源池应用管理系统（以下简称应用管理系统）通过对物理资源、集群节点和平台资源的统一调度与监管，能够实现更大规模、更加复杂、更加多元化算力和资源的智能运维与智慧管控，保证异构算力应用、芯片、调度网络的可信、可靠、可管、可控。应用管理系统由异构算力适配平台、统一纳管平台、智能运营平台和安全防护平台组成，能够实现异构算力资源的有效汇集和高效调度，使多元算力更好驱动机器学习模型和算法，有效赋能智慧化应用。

### 应用管理系统优势

一是计算效力最大化。应用管理系统能够使计算效力最大化，高效适配复杂多元的数据形态与计算需求。人工智能应用的设计理念和架构逐渐成型，推动华为、寒武纪、燧原科技等企业生产的十余种适用于不同场景的人工智能芯片持续迭代，应用管理系统能够高效可靠地利用多元化AI芯片，满足差异化场景下的计算需求。

二是算法模型适配化。应用管理系统能够适配机器学习算法模型对于硬件特性和架构的特定需求。PLUG（Pre-training for Language Understanding and Generation）算法模型依靠压缩算法、结构化/非结构化稀疏技术、少参数学习技术等，实现超大模型部署落地；Mersenne Twister算法模型要求提供大量的随机数生成单元；Le Net5算法模型则存在着大量大尺寸张量计算的特殊算子，比如卷积、标准化处理等。应用管理系统能够将复杂算法模型的不同细节任务进行最为恰当的切分。

三是资源调用高效化。应用管理系统能够满足上层应用对计算资源高效调用的需求，通过计算资源池化，简化算力调用过程，将计算资源以标准算力模式提供给用户，方便用户对大规模集群内的计算资源进行有效利用且无需关注计算设备的种类。算力池化主要包括算力虚拟化和应用容器化，算力虚拟化的核心是向用户直接提供计算能力，避免用户在申请、使用计算能力的过程中，对集群内设备的分布、类别、性能等过度关注。异构算力的组合应用，有助于提升整体应用效率；应用容器化可以将应用程序和所需的依赖项打包成可移植容器。

### 应用管理系统构成

应用管理系统主要由异构算力适配平台、统一纳管平台、智能运营平台、安全防护平台四部分组成，如图1所示。

#### ●异构算力适配平台

异构算力适配平台是应用管理系统的核心部分，通过API对接，调用多个硬件开发堆栈的工具集，在业务层面提供统一的操作视图，屏蔽了底层硬件的差异性，以网页形式提供服务。异构算力适配平台包括统一集成开发环境、异构模型移植、异构模型调优、异构算子适配、异构性能分析与调优。

统一集成开发环境提供了在CPU资源池上运行的可通过浏览器访问的桌面环境，从而打开并访问不同芯片厂商提供的远程集成开发环境，大规模异构算力资源池应用管理系统根据用户资源配额和权限，自动控制集成开发环境的容器化调度。主流加速芯片厂商聚焦开发效率最大化，提供了图形化的集成开发环境，这是机器学习模型开发的关键工具。MindStudio是基于昇腾AI处理器的AI全栈开发工具平台，可高效完成端到端全场景开发，覆盖从算子开发、模型训练、模型推理、应用开发到应用部署的全流程；CNStudio是基于VSCode（Visual Studio Code）的集成开发环境编程插件，提供语法高亮、自动补

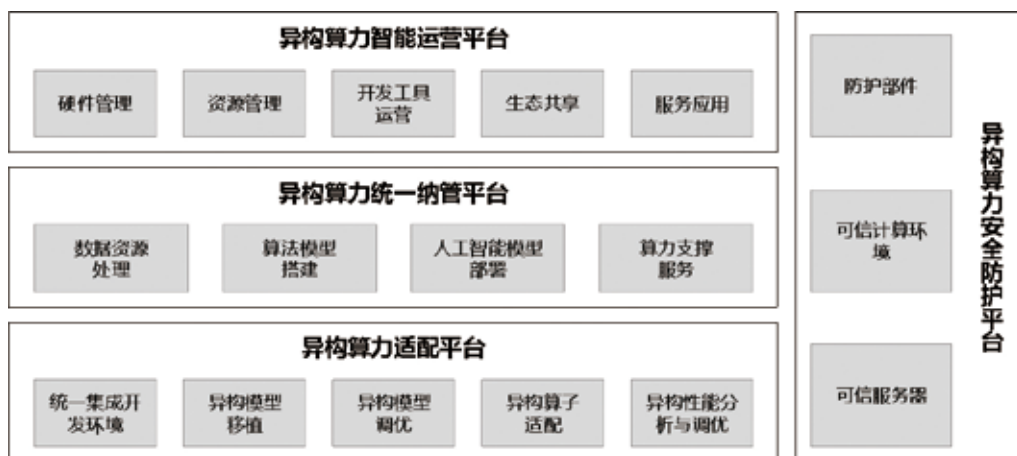


图1 大规模异构算力资源池应用管理系统构成

发效率。

●异构算力统一纳管平台

在物理资源纳管、集群节点纳管和平台资源纳管的基础上，异构算力统一纳管实现数据资源处理、算法模型搭建、人工智能模型部署和算力支撑服务，满足软硬件资源调度和多业务场景支撑需求。

数据资源处理涵盖

数据接入、预处理、标注、管理和分析环节，实现数据集灵活扩展、操作管理、处理分析等功能。数据接入是纳管平台的基础环节，平台根据实际需求，按照不同方式接入结构化、半结构化、非结构化等不同类型数据；数据预处理解决可能存在的 inconsist、无效、缺失、重复等质量问题，将数据加工为可直接用于模型开发的形式；数据标注质量与模型效果息息相关，面向不同数据，平台应提供差异化人工标注和自动标注工具，以及灵活扩展的标注模式；数据管理支持用户对其权限内的数据进行统一管理，并以数据集的形式提供服务；数据分析通过统计方法分析数据并提取有效信息，及时发现数据特征或分布上的问题，从而进行针对性优化处理。

通过算法管理、特征工程、模型开发、模型训练、模型评估、自动学习等环节构建算法模型。算法管理为开发者提供了业内较为成熟的基础算法，平台可根据功能、场景等维度对算法进行分类管理，并支持开放自定义算法接口；特征工程提供各类基础工具，实现提取特征、分析特征、变换特征等数据加工，为模型训练做准备；模型开发能够提供开发工具和开发环境，通过可视化操作接口展示，响应各类算法开发需求，重点关注主流机器学习框架的集成和支持；模型训练提供训练资源调度、训练操作、训练优化等多维度的训练支持，屏蔽底层算力设施的复杂组网和配置，通过简易设置实现差异化训练；模型评估根据任务评估指标对完成训练的模型进行质量评价，提供模型指标可视化工具，以图表形式呈现不同模型版本的指标对比；自动学习对特征工程、超参数调优、模型选择等环节进行自动化处理，通过模板化、可视化、向导式的建模工具，降低使用的技术门槛。

智能模型部署支持人工智能模型的管理、部署、推理，

全、程序调试等功能。

异构算力适配平台提供异构模型移植操作可视化功能，实现在线模型适配，展示模型精度对比分析。以真实值和实际值作为输入，可以纵向得到模型精度变化，并支持修改超参后的横向精度对比，在进行模型调参时，AI加速卡能够分步骤提升模型精度。异构模型移植支持模型量化功能、模型可视化功能、在线逐层与在线融合、可视化离线模型生成过程分析与离线运行结果展示，简化算法调用过程，提升算法执行效率。

异构算力移植适配成功后，性能有时仍存在一定的差距，因此还需要智算中心异构算力适配层支持模型压缩、多核调度、算子融合及并行执行，将适配后的算法性能进行进一步优化。异构模型调优实现对模型压缩和算子融合过程的可视化展示，支持模型并行和多卡并行。

异构算子适配要求系统提供算子适配生成器功能，支持算子库中的算子功能适配和性能优化。功能适配涵盖算子种类和算子形状两方面，覆盖各种应用场景；性能优化要求尽最大可能释放硬件的性能优势，支持算子定制化开发，满足新兴网络模型适配需求。在算子层面上，至少提供abs、add、argmax、cast、concat、equal、exp等不少于200个底层算子。

异构算力适配平台需要具备性能分析与可视化调优的能力，基于芯片供应商工具，提供统一的性能数据采集及剖析界面。性能数据采集能够分析每个算子以及网络模型各层的运行性能，显示调用函数情况、LLC命中次数、各端口写入/读取数据吞吐量等信息，并将性能分析结果通过可视化页面进行展示；性能剖析工具包含调试器、性能采样工具、后处理工具和开发环境套件，通过增强工具易用性，提升研

可实现模型适配调优、异构算力服务、模型升级迭代。模型管理统筹平台上的人工智能模型，提供模型转换、模型压缩等优化和适配功能，从而适应不同的部署和推理环境；通过模型部署，将平台上管理的模型按照与推理环境相匹配的方式部署到指定环境中，并以指定的接口形式与其他业务应用集成，模型根据业务需求的不同，可以部署在云端、边缘端、终端等不同位置；模型推理是人工智能模型开发对外服务的窗口，根据实际需求，平台分配相应的计算资源，运行指定的模型并输出预测结果。

算力支撑服务对异构算力资源的管理、调度、逻辑隔离、虚拟化、池化等处理能力提供支持，并将差异化业务封装为工作流，实现业务高效处理。资源管理支持对基础的计算、存储、运行环境等软硬件资源的管理调度，为差异化人工智能业务场景提供基础支撑；工作流管理将人工智能业务中的各类功能单元封装为一系列可独立执行的工作流程，高质量管理开发应用流程，从而实现更快速的测试验证、更快捷的流程复用、更高效的协同开发。

#### ●异构算力智能运营平台

异构算力纳管平台从技术角度解决了对大规模异构算力的适配与纳管问题，而智能运营平台则从模式上真正实现了对异构算力的管理，通过一套匹配异构算力资源特点的分配机制与运营流程，对原有算力管理模式进行深度变革。异构算力智能运营平台由硬件管理、资源管理、开发工具运营、生态共享和服务应用五大功能组成，面向“政产学研”差异化需求场景，提供有效算力支撑。

硬件管理统筹整个大规模异构算力资源池应用管理系统的硬件资源，包含高性能计算单元、数据存储单元、网络交换单元等，通过整合计算、存储、网络资源，形成面向大规模训练场景的训练集群以及面向大规模推理部署场景的推理集群。

资源管理平台是应用管理系统的中枢，一方面，对全部异构硬件及软件资源进行统筹管理及监控，对算力资源进行细颗粒度编排和调度；另一方面，提供覆盖异构算力开发全流程的工具服务，包含数据集管理、算法开发、模型训练、模型部署预测等功能，让数据科学家、人工智能研发人员更加便捷、快速、高效地进行算法开发。

开发工具运营针对各种需求，实现异构算力有效适配，确保模型开发框架、开发套件、软件驱动和固件设备能够灵活适配，方便用户将设计从现有平台快速无缝迁移到本平台，并为用户提供适配硬件的计算编译器、API及相关硬件驱动的运行环境。

生态共享的本质是开发者生态社区，能够实现人工智能模型库、行业数据集以及行业解决方案等内容共享，为高校科研机构、AI应用开发商、解决方案集成商、企业及个人开发者等群体，提供安全、开放的共享环境，有效连接开发生态链各参与方，加速相关产品的开发与落地。

异构算力智能运营平台提供软硬一体化解决方案，面向各行业各领域，构建算力支撑体系，打造共享开放智能环境，完善配套产业生态链。面向政府部门需求，提供高效、通用的算力支撑和配套的开发环境，助力智能城市建设；面向企业，提供高效、稳定、通用的异构算力平台，促进产业结构改革，重塑产业氛围，助力产业生态链生成和完善；面向高校和科研院所，提供“产学研”一体化的基础平台，促进科学研究、产业化发展和精英人才培养；面向开发者和研究机构，提供开放交流环境和资源共享平台，有效激发新技术开发热情，促进业务拓展和应用创新。

#### ●异构算力安全防护平台

应用管理系统需要构建独立的安全保障体系，为数据提供可靠的计算环境和安全的运营环境。通过在计算节点安装主动防御可信平台控制模块（TPCM）、可信软件基（TSB）等部件组建防护系统，形成基于可信根的完整信任链。

防护部件涵盖软硬件资源，虽与主机相互独立但能够主动访问主机的各类资源，保证计算运行和安全防护，推动实现主动免疫。TPCM作为重要的防护部件，是建立和保障信任源点的核心硬件模块，为可信计算提供完整性度量、安全存储、可信报告以及密码服务等功能，具备隔离保障的资源环境，能够并行获取计算节点内存中的数据、IO等度量对象信息，为可信软件基TSB的可信验证提供数据获取与控制支撑。

应用管理系统中的可信算力服务器在启动过程中要基于可信根进行可信验证，启动过程包括整个启动链条的逐级度量，通过动态度量、静态度量、可信报告、终端防范等运行机制，为安全防护平台提供可信计算环境。

静态度量承接信任链建立任务，静态度量的对象主要包括可执行程序、共享库、配置文件等信息，主要使用TPCM支撑下的哈希、签名验签等方式进行度量。

动态度量是在系统运行过程中，对内存中的关键信息实时主动度量，监控系统运行状态、进程状态，通过条件触发和周期方式对系统进程、模块、执行代码段等关键信息进行监视和度量。

可信报告是可信节点对外部提供的终端可信状态数据，是通过静态度量、动态度量产生相应的数据，并通过可信根

进行签名以保障完整性。

终端防范采用可信计算机制TPCM和TSB, 拦截终端系统上所有的可执行代码进行判断, 拒绝不可信执行代码的运行, 具备恶意代码防范能力, 能够及时识别“自己”和“非己”执行代码, 在无补丁升级以及无病毒、木马查杀的情况下, 有效防御入侵和病毒等恶意代码行为。

可信服务器通过可信根并行接入总线, 实现对服务器启动阶段和运行阶段的安全保障, 构建主动免疫的可信计算环境。通过可信计算技术为服务器整机植入安全基因, 形成计算与防护并行的主动免疫双体系架构, 天然具备对病毒、木马和漏洞的主动防御能力, 并以此为核心打造面向专用系统设备的安全解决方案; 通过立体化防护和管控体系、访问控制及未知漏洞防护等安全增强机制, 为异构算力融合提供自主、安全的解决方案; 建立安全防护基础技术产品体系, 提高算力服务器的安全保障能力。

## 发展建议

### 赋能应用, 部署大规模异构算力资源池应用管理系统

部署大规模异构算力资源池应用管理系统, 能够统筹异构算力软硬件资源, 为多元化智能业务提供高效高质的算力支撑。应用管理系统是对云计算、大数据、人工智能技术的扩展与丰富, 以融合架构计算系统为依托, 以数据为资源, 凭借强大算力驱动机器学习模型对数据进行深度加工, 形成各种智慧应用, 并通过网络以云服务形式为用户提供计算服务。不同于传统系统仅针对单机硬件进行管理, 大规模异构算力资源池应用管理系统面向各类软硬件设备, 提供一整套基于异构算力的算法模型开发、训练、推理、部署、迭代等服务, 快速搭建新兴应用服务, 实现机器学习训练平台快速搭建、算法模型快速应用、推理平台快速落地, 为算力基础设施建设和多元业务场景拓展注智赋能。

### 深化融合, 增强异构算力适配能力

异构算力适配应当具备在线适配、离线适配、脚本工具、应用适配等多项能力。通过异构模型迁移适配和算法优化, 支持算子的定制化开发和网络模型适配, 分析异构芯片性能并针对分析结果进行适配, 同时能够监控异构程序运行状态, 保证事件告警“零误报”“零漏报”。

一是建立在线适配能力。支持用户通过深度学习框架调用加速卡转换库来构建机器学习和深度学习网络; 支持用户对机器学习和深度学习网络完成编译后调用推理库来运行。

二是建立离线适配能力。支持用户在不依赖加速卡的

情况完成模型适配; 支持用户选择指定层作为输出的模型转换; 支持用户将转换后的模型, 保存为加速卡能够解析的模型文件。芯片厂家应提供专有的适配工具将其转换成加速卡支持的离线模型, 模型转换过程中需要实现算子调度优化、权重数据重排、内存使用优化等。


三是建立脚本工具能力。支持运行环境中包含能够转换模型的工具; 支持用户利用转换模型的工具, 快速完成部分开源框架模型的转换; 支持开源框架的网络模型, 包括但不限于Caffe、TensorFlow、PyTorch。

四是建立应用适配能力。一方面要实现应用容器化, 基于容器化的应用部署策略能够显著降低管理应用、支持业务的计算开销, 具有较高的灵活性, 便于在边缘端、计算中心端等计算场景中快速灵活部署和迁移; 另一方面要实现开源模型可迁移, 开源框架的网络模型需要在加速卡上运行, 因此应根据加速卡进行模型迁移适配。

### 夯实基础, 健全计算防护双保障体系

异构算力在模型适配、统一纳管、平台建构等方面, 均需保证高度安全可靠, 统一有效的标准能够规范安全防护水平和技术防御能力建设。由于当前我国在关键信息基础设施安全保护体系方面仍处于快速发展阶段, 需要采取规范化安全防护技术, 防范网络恶意攻击和违法犯罪活动, 以保障关键信息基础设施安全稳定运行, 维护数据的完整性、保密性和可用性。

因此, 亟待构建异构算力主动免疫安全防护体系, 健全相关技术标准和测试规范。构建以安全可信产品和服务为核心的异构算力安全防护体系, 能够保障在大规模并行计算时, 实现动态全面的整体防护, 保护计算任务逻辑组合不被篡改和破坏, 主动防御病毒、木马和漏洞威胁, 保障大规模异构算力能够稳定可靠地提供服务。

大规模异构算力资源池应用管理系统能够实现计算能力最大化、算法模型适配化和资源调用高效化。异构算力适配平台、统一纳管平台、智能运营平台和安全防护平台从技术、支撑、管理、防范等多个角度, 构建起全方位算力支撑体系。进一步提升大规模异构算力资源池应用管理系统能力, 在应用实践方面, 应积极为新兴应用场景提供多元化、大规模、高质量算力, 赋能智慧服务高效响应和先进技术落地实践; 在适配优化方面, 增强算子开发、模型迁移、性能分析、运行监控适配能力, 支持深度学习模型灵活调用和移植部署; 在标准规范方面, 完善主动免疫安全防护机制, 保障数据能够在安全有效的环境中进行计算和传输, 在打破“数据孤岛”的同时确保数据安全。 

# 通信世界

COMMUNICATIONS WORLD

杂志征订

中国标准连续出版物号：ISSN 1009-1564  
CN 11-4405/TP

邮发代号：82-659



## ICT产业发展 推动者

### 欢迎订阅!

每月10、25日出版

定价：20元/期

480元/年

订阅方式

#### 1. 邮局订阅

凭邮发代号82-659  
在全国各地邮局（所）订阅

#### 2. 发行部订阅

拨打征订热线或发送邮件  
到征订邮箱提交订阅信息订阅

邮箱：

caojunying@bjxintong.com.cn

征订热线：010-52265607

#### 3. 微信订阅

扫描二维码-通信世界-杂志订阅



微信订阅更便捷

# 加快数字赋能 建设美丽中国

