

# 无源波分在5G前传接入中的应用研究

## Research on Application of Passive WDM in 5G Fronthaul

郭文珏<sup>1</sup>, 蔡一鸿<sup>1</sup>, 骆益民<sup>1</sup>, 黄志新<sup>1</sup>, 林铁力<sup>1</sup>, 刘雁斌<sup>2</sup> (1. 中国联通广东分公司, 广东 广州 510267; 2. 中讯邮电咨询设计院有限公司广东分公司, 广东 广州 510267)

Guo Wenjue<sup>1</sup>, Cai Yihong<sup>1</sup>, Luo Yimin<sup>1</sup>, Huang Zhixin<sup>1</sup>, Lin Tieli<sup>1</sup>, Liu Yanbin<sup>2</sup> (1. China Unicom Guangdong Branch, Guangzhou 510267, China; 2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Guangdong Branch, Guangzhou 510267, China)

### 摘要:

5G基站的大规模建设将消耗大量的前传光纤基础资源,给运营商带来建网成本、能耗的压力。通过比较各种前传方案,从技术、建设周期及成本效益等方面进行分析,提出在纤芯不足的区域采用无源波分方案,可大大节省建设成本、缩短建设周期、减少机房动力改造投资、降低运营成本。该方案能使综合TCO最优,高效解决5G前传难题,提高网络竞争力。

### 关键词:

无源波分; 高效; 5G前传; 难题

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.01.014

文章编号:1007-3043(2021)01-0067-05

中图分类号:TN913

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

The large-scale construction of 5G base station consumes a lot of basic resources of fronthaul fiber, which brings the pressure of network construction cost and energy consumption to operators. By comparing various fronthaul schemes and analyzing from the aspects of technology, construction period and cost-effectiveness, it is proposed that passive WDM scheme should be adopted in the area with insufficient fiber core, which can greatly save construction cost, shorten construction period, reduce the investment in power transformation of equipment rooms and reduce operation cost. The scheme can optimize the integrated TCO, efficiently solve the 5G fronthaul problems and improve the network competitiveness.

### Keywords:

Passive WDM; High efficiency; 5G fronthaul; Problems

**引用格式:** 郭文珏, 蔡一鸿, 骆益民, 等. 无源波分在5G前传接入中的应用研究[J]. 邮电设计技术, 2021(1): 67-71.

## 0 前言

4G时代,受传输光缆资源限制和早期建站模式的影响,C-RAN在中国联通的基站建设中未能大规模应用;5G时代,目标网架构将采用C-RAN大集中或者小集中的建站方式,但在C-RAN模式下前传接入的瓶颈是纤芯资源不足,主干光缆同样也面临着光缆纤芯资源短缺问题。

未来5G建站、家宽和政企业务的发展,都需要大量的光纤基础资源,管道资源日益紧缺。新建光缆在

投资成本、协调、工期等方面的困难,将大大影响网络建设效率,所以采用低成本、高效、灵活的5G前传接入方案迫在眉睫。

## 1 5G对前传的需求

### 1.1 5G承载架构需求

根据IMT-2020 5G承载需求白皮书,5G建设初期采用DU/CU合设的2级架构解决前传和回传问题,未来可能采用CU、DU分离的3级架构方案。5G承载架构如图1所示。

4G RAN组网采用D-RAN和C-RAN 2种方案。为了解决机房空间、动力配套、租金增加等问题,同时

收稿日期:2020-12-14

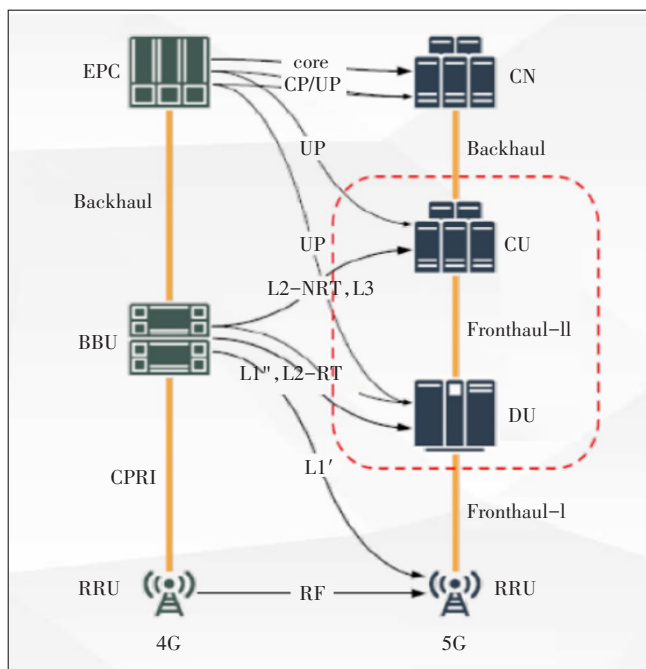


图1 5G承载架构

考虑未来DU池组化以及成本和网络的演进,5G RAN组网主要采用C-RAN模式,实现DU大集中或小集中。

### 1.2 广东联通5G前传接入遇到的难题

a) 5G承载网组网光缆需求大,接入光缆严重不足。在3G、4G建设中,由于IPRAN承载网能力及端口不足,同时采用大规模D-RAN,造成网络规模偏大及架构不合理,以及考虑未来新的智能城域网接入层设备带宽及端口能力大大提升,要求每个环路锚点数量控制在4~6个,其中价值区域每个环路锚点数量控制在4~5个;一般区域每个环路锚点数量控制在5~6个。

重新部署的接入层网络需要大量环形保护的纤芯资源,且保证红线外双物理路由的非同沟同缆光缆资源,但由于现网光缆有50%以上末端接入光缆建设年份在5年以上,尤其是核心城区有20~30%的光缆是在2G/3G时期(至少7年以上)建成的12芯/24芯的小芯数光缆,经过长时间质量劣化和割接,部分接入光缆资源已耗尽。

b) 5G前传接入光纤需求较4G翻倍。为降低无线站点安装难度、减少铁塔等租赁费,广东联通提出了“传输锚点+C-RAN”的接入方式,DU集中放置,与传输设备在同一机房,AAU与DU不同机房部署。该方式虽然在建设成本、维护成本和网络云化上较D-RAN有一定优势,但增加了前传接入光纤资源消耗。

前期4G宏站,BBU-RRU通过RRU串联方式前传只需2芯就可互连接入;但对于5G宏站,100 MHz频谱站点DU-AAU需要3个25G eCPRI互连接口,纤芯需求6芯;在未来共建共享模式下,200 MHz频谱站点需要6个25G eCPRI互连接口,纤芯需求为12芯,末端前传接入纤芯资源已经面临巨大挑战。例如每个锚点设备接入不超过8~10个基站,按光纤直驱接入方式,纤芯总需求为48~60芯。

## 2 5G前传解决方案

5G前传接入的解决方案有光纤直驱、单纤双向光模块、无源波分以及有源/半有源波分等。

### 2.1 光纤直驱方案

光纤直驱是无线接入的传统解决方案。在共4G站点原有光缆的纤芯资源充足或者可新建光缆情况下,5G前传可采用光纤直驱方案。

### 2.2 单纤双向光模块方案

现有4G基站BBU-RRU互联端口采用10GE双纤双向光模块,但在5G前传纤芯不足的情况下,DU-AAU互联端口可采用25GE单纤双向光模块,纤芯需求从6芯降为3芯,同时可保障高精度同步传输。

单纤双向光模块技术成熟,可通过DU/AAU主设备配置单纤双向光模块快速解决纤芯资源不足区域业务接入问题。

### 2.3 无源波分方案

无源波分方案是基于CWDM粗波分技术,主要由合分波器、彩光模块及其他安装辅材组成。SFP彩光模块(前6波波长为1 271 nm、1 291 nm、1 311 nm、1 331 nm、1 351 nm、1 371 nm)业务承载的速率可以达到25 Gbit/s以上,可支持6波、12波、18波单纤模块的合波和解波以及多种业务的混合传输,满足不同速率、不同业务类型的混合传输,解决移动基站前传、家庭宽带、智能城域网和政企客户接入等工程中局部光纤资源不足的问题。

### 2.4 有源/半有源波分方案

有源波分方案主要是基于DWDM技术下,分为有源和半有源2种解决方案,主要由有源局端设备、局端模块(普通模块)、有源或无源的远端设备、远端光模块(普通模块/彩光模块)和合分波器组成。目前业务承载的速率可以达到10 Gbit/s,而25 Gbit/s在试验阶段,有源/半有源波分设备可支持6波、12波、40波等不同波数的合波和解波。

在局端的DU侧,采用有源的WDM或者OTN接入型设备;在远端的AAU侧,有源方案需增加单独的有源设备,半有源方案则无需新增设备,直接用彩光模块接入AAU设备。

有源设备上的光模块采用波长可调谐DWDM光模块,波长自适应,与DU/AAU端口无关,在设备上插入普通灰光模块后可正常工作,无需波长规划。

### 3 前传方案对比分析

从技术、建设周期以及成本效益方面对上述4种5G前传方案进行对比。

#### 3.1 技术方案对比

从网络规划、组网、保护方案、兼容性、电源引入及网络运营OAM等方面对比4种前传方案(见表1)。

#### 3.2 建设周期对比

以5G共用原有4G站址为例,上联站点约1 km,原有光缆只剩余3芯,已无空余纤芯承载新增5G业务,可新建48芯光缆、采用单纤双向光模块、新增无源或

表1 技术方案对比

方案	光纤直驱(单纤双向/双纤双向)	无源波分	半有源波分	有源波分
行业成熟度	高	高	一般	较高
网络设计(波长规划)	无	需光模块波长规划	需光模块波长规划	无需
组网拓扑	点到点	点到点、链型	点到点、环形、链型	点到点、环形、链型
保护方案	无	无	可做光层保护	支持无损保护
兼容性要求	无	有	有	无
电源引入	无	无	半有源,交流220 V/直流-48 V	有源,交流220 V/直流-48 V
OAM	维护较难,传输故障网管无法检测	维护较难,传输故障网管无法检测	可实现光层保护、链路故障定位、业务性能检测等OAM功能并支持远端光模块管控	可实现光层保护、链路故障定位、业务性能检测等OAM功能并支持远端光模块管控

有源波分设备3种方案进行纤芯扩展。

#### 3.2.1 新建光缆

如不考虑市政报建或者协调问题,新敷设1 km光缆通过光纤直驱方式解决前传接入,建设周期为5天左右,如需新增杆路或者管道,建设周期大于10天(见表2)。

表2 新建光缆建设周期

建设方式	实施内容	周期/天
管线光缆建设方案	勘察设计	1
	光缆敷设	3~5
新建架空/管道	勘察设计	2
	挖沟/立杆	大于10

#### 3.2.2 无源波分或者单纤双向光模块

利旧原有纤芯,可上站安装无源波分或者单纤双向光模块,无源波分只需1芯,单纤双向光模块需要3芯,2~3天可完成割接开通(见表3)。

#### 3.2.3 有源或半有源波分方案

利旧原有纤芯,上站安装有源/半有源波分设备,

表3 无源波分建设周期

建设方式	实施内容	周期/天
无源波分方案	机房勘察	1
	工程割接	1~2

需要协调设备安装加电以及调试开通工作,至少需要5~7天完成割接开通(见表4)。

表4 有源/半有源波分设备建设周期

建设方式	实施内容	周期/天
有源/半有源波分方案	机房勘察	1
	设备安装上电	3~5
	工程割接	1

#### 3.3 成本效益对比

从CAPEX、OPEX成本上分析,在5G前传末端接入的建设投资有限的情况下,无源波分方案的TCO较优(见表5)。

如采用新建光缆、有源/半有源波分等前传方案,每个5G站点投资约2~3万,无源波分的投资则可控制在几千元内。

综上,在5G前传纤芯不足的场景下,从技术、建设周期以及成本效益等方面来看,无源波分具有低成本、快速开通的特点。

### 4 无源波分方案的特点

从承载业务、兼容性、安装配置等方面分析,无源波分方案具有低成本、高质量、高灵活性的特点,可节省光缆建设成本、缩短建设周期。

表5 成本效益分析

方案	光纤直驱(单纤双向)	无源固定彩光	半有源固定彩光	有源OTN
CAPEX成本	需新建或利旧光缆投资	投资成本最低, 无需新建光缆及有源设备投资	投资成本较高, 利旧现有光纤, 新增一端有源设备需引电等配套	利旧现有光纤, 需两端有源设备需引电等配套, 总体成本高
OPEX成本	运营成本最低, 无需其他备件	成本较低, 需不同波长备件	运营成本较高, 需不同波长备件、设备维护及耗能	运营成本最高, OTN设备维护及能耗
综合评价	★★★★★	★★★★★	★★★	★★
	管道资源丰富区域的首选	单站性价高, 低成本、快速开通, 但维护不可见	综合业务场景性价比较, 专线领域用户高价值可评估成本效益后使用	传统OTN方案配合使用, 适合专线领域

a) 利用现有光缆的光纤资源, 不改变现有网络构架和布局, 同缆纤芯合并, 可达到最大18倍纤芯扩展。

b) 彩光模块在无线、数据、传输、接入设备上兼容, 适应100M~25G各种业务端口, 配置灵活, 支持数字诊断功能, 使用时可保证模块的发光功率、过载点、接收灵敏度、温度等参数在原网管上正常显示。

c) 无需供电, 设备安装条件灵活, 可支持标准19英寸机架固定、挂墙抱杆、放置在光交箱等等, 建设周期短, 便于维护。

d) 无源波分设备体积小、即插即用、免配置、环境适应能力强, 温度范围为-40℃~+85℃。

图2所示的是无源波分(1:6)方案。图3所示的是无源波分(1:12)方案。

## 5 无源波分优化方案及应用场景建议

### 5.1 5G前传无源波分方案

在基站的接入光缆只剩下1芯, 无法满足6芯的前传DU-AAU互联纤芯需求情况下, 在DU侧和AAU侧机房, 各部署1台1:6的合分波设备(见图4), 以满足5G DU-AAU的3×25 GeCPRI接口需求。

DU设备3个光口分别使用不同波长的彩光模块(前6波波长为1 271 nm、1 291 nm、1 311 nm、1 331 nm、1 351 nm、1 371 nm), 与合分波设备连接, 合波到1芯后, 拉远到远端AAU侧的合分波设备恢复为6波, 再通过不同波长的彩光模块一一对应连接到3个AAU

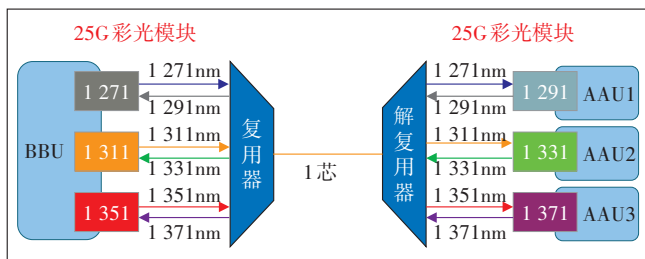


图2 无源波分(1:6)方案

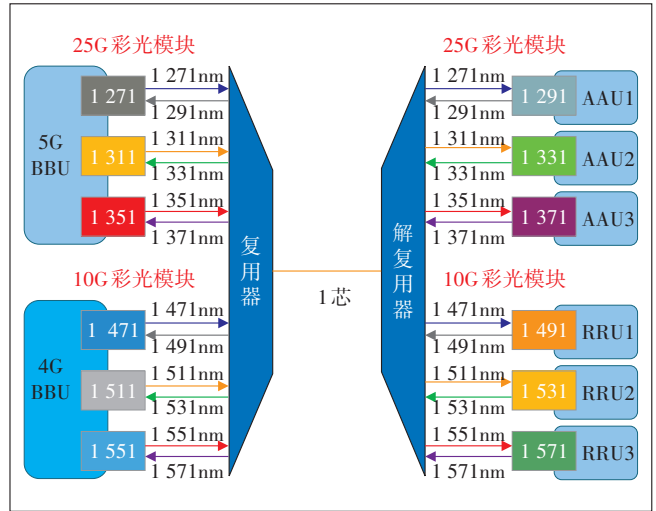


图3 无源波分(1:12)方案

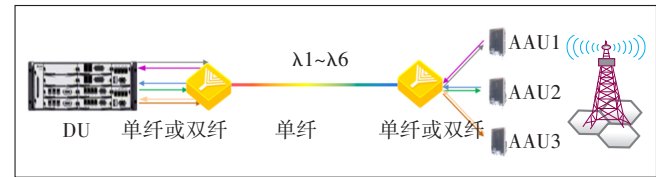


图4 5G前传无源波分方案

设备的光口上。

### 5.2 4G/5G前传混合传输无源波分方案

在基站的接入光缆只剩下1~2芯, 无法满足12芯的4G和5G前传DU-AAU互联纤芯需求情况下, 在BBU和RRU侧机房, 各部署1台1:12的合分波设备。4G/5G混合传输前传方案如图5所示。

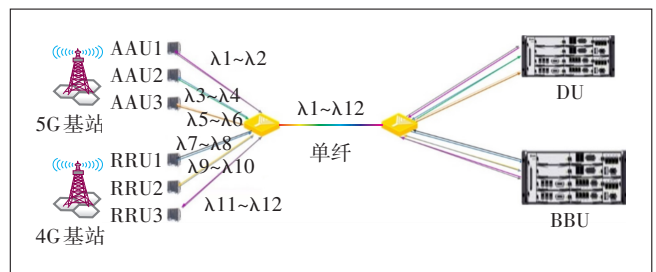


图5 4G/5G混合传输前传方案

由于CWDM技术的后6波承载25 Gbit/s速率业务,需要彩光模块芯片增加温控手段控制温度,保证光模块的中心波长范围在 $\pm 6.5$  nm以内,光模块成本将为前6波的3~4倍。考虑到成本因素,前6波可用于传输5G DU-AAU的 $3 \times 25$  GeCPRI接口,后6波用于传输4G BBU-RRU的 $3 \times 10$ G CPRI接口。

考虑到无源波分1:12彩光模块波长规格较多,可用2套1:6无源波分设备代替,但需增加1芯传输。

### 5.3 特殊场景的无源波分方案

在地铁、高铁、高速、隧道等链型网络场景下,每个洞室/站点只部署1个RRU(2芯需求)。

以3个洞室为例,在BBU侧基站放置1个1:6无源合分波设备,在每个洞室/站点的RRU侧各放置1个1:6合分波设备。DU侧3个光口通过合波器合波为1芯拉远到第1个洞室的合分波设备,将前2波 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 分波出来连接到RRU1,第2个洞室的合分波器通过1芯与第1个洞室的合分波器端口互联,实现剩余 $\lambda_3$ ~ $\lambda_6$ 波继续向后传输,完成RRU2、RRU3的光口连接,有效节省隧道纤芯资源。特殊场景前传方案如图6所示。

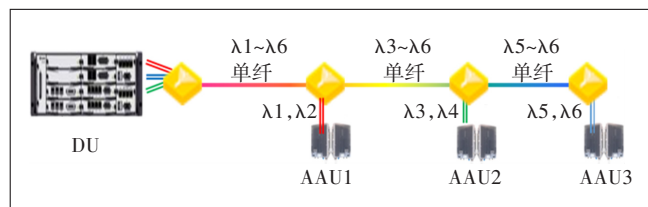


图6 特殊场景前传方案

### 5.4 深圳联通4G/5G混合传输试点

本次4G/5G混合传输测试DU设备位于深圳沙井锦绣和二机房,AAU设备位于宝安区沙井和一新村B区13栋楼顶,无线主设备厂家为中兴。

无源波分设备割接后,彩光模块平均发送光功率、接收灵敏度在指标范围内,经中兴无线网管确认,5G业务运行正常,设备指标正常,与中兴无线设备完全兼容,4G/5G混传满足承载要求。

## 6 结束语

在5G网络建设初期,坚持综合TCO成本最优是趋势,实现低成本建网是基础,采用多种创新解决方案提高网络竞争力。在选择前传接入方案时,应综合考虑现有光缆纤芯资源情况和未来5G业务发展需求、网络部署规划、投资成本等多方面因素。

根据对各种前传方案的分析研究,以及在广深5G

网上的测试结果,认为在纤芯不足的区域,新建光缆建设难度较大或建设成本较高时,采用无源波分方案,可大量节省建设成本、缩短建设周期、减少机房动力改造投资、降低运营成本,主要评估如下:

a) TCO效果明显。前传采用无源波分方案,单站新建末端接入光缆造价从2.5万降低到0.8万元左右,降低72%。2020年,广东联通规划新建5G站点约11 799个,按照2019年建设情况,约24.6%站点因纤芯不足需新建光缆,采用无源波分,可节省建设投资4 934万以上。

b) 灵活兼容,实现多业务承载。无源波分的彩光模块可兼容无线、数据、传输、接入设备,支持100M~25G各种业务端口,配置灵活,满足4G/5G、数字化室分、政企楼宇接入和传输等多业务承载需求。

c) 加快5G建设进度。无源波分设备安装简单,利用现有光缆的少量光纤资源,达到最大18倍纤芯扩展,降低建站难度,大大缩短了建设周期。

大规模的5G建网给运营商带来巨大的成本和能耗的压力,无源波分方案能大幅降低运营商的投资成本和运营成本,同时该方案具很好的借鉴及推广价值,社会效益明显。

### 参考文献:

- [1] IMT-2020(5G)推进组. 5G前传技术和组网应用方案研究[EB/OL].[2020-07-28]. <http://www.imt-2020.cn/zh/documents/1>.
- [2] 王海军, 庞冉, 刘琦. 5G时代IPRAN网络技术需从多角度进行革新[EB/OL].[2020-07-28]. <http://www.cww.net.cn/article?id=451581>.
- [3] 丁为民, 陈一伟, 胡远. 面向C-RAN的5G前传方案研究[C]//2018中国信息通信大会论文摘要集, 2018.
- [4] 张林. 面向5G光前传网的网络切片技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2019.
- [5] 俞兴明, 徐冬梅, 李亮亮. 5G前传技术及发展探讨[J]. 现代传输, 2019(6): 57-60.
- [6] 黄星辉, 张振. 无源光网络在5G前传中的应用研究[J]. 通信技术, 2019(8): 112-115.

### 作者简介:

郭文珏, 毕业于广东工业大学, 工程师, 学士, 主要从事传输与接入规划与建设工作; 蔡一鸿, 毕业于华南理工大学, 高级工程师, 主要从事通信网络技术及建设管理工作; 骆益民, 毕业于华南理工大学, 工程师, 学士, 主要从事通信网络技术及建设管理工作; 黄志新, 毕业于重庆邮电大学, 工程师, 学士, 主要从事传输与接入规划建设; 林铁力, 毕业于南京陆军指挥学院, 工程师, 主要从事无线通信网的规划建设工作; 刘雁斌, 毕业于南京邮电学院, 高级工程师, 学士, 主要从事光传输网络的规划工作。