

无线前传技术方案 应用分析及演进策略研究

Application Analysis and Evolution Strategy Research of Wireless Front-haul Technology Schemes

李壮志¹, 郑维通¹, 王义涛² (1. 中国联通山东分公司, 山东 济南 250001; 2. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450007)

Li Zhuangzhi¹, Zheng Weitong¹, Wang Yitao² (1. China Unicom Shandong Branch, Jinan 250001, China; 2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China)

摘要:

首先通过分析现有5G前传各种技术方案在现网应用中的优点及遇到的问题, 总结实际部署和运营对5G前传的需求, 提出基于单纤多向光模块直驱技术的5G前传新型技术方案; 然后通过与现有技术方案对比分析, 提出5G前传向单纤多向光模块直驱方案演进的策略建议, 并给出了典型场景单纤多向光模块的组网方案建议。

关键词:

无线; 4G; 5G; 前传; 单纤多向光模块; 光模块直驱

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.12.005

文章编号: 1007-3043(2024)12-0028-07

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:

Firstly, it analyzes the advantages and problems of the existing 5G front-haul technologies in current networks, summarizes the actual deployment and operation requirements for 5G front-haul, proposes a new 5G front-haul technology solution based on single fiber multi-directional optical module direct connection technology. Then, it compares and analyzes the existing technology solutions, proposes the suggestion on the evolution of 5G front-haul to single fiber multi-directional optical module direct connection solution, and gives some typical scenario networking scheme suggestions for single fiber multi-directional optical modules.

Keywords:

Wireless; 4G; 5G; Front-haul; Single fiber multi-directional optical module; Optical module direct connection

引用格式: 李壮志, 郑维通, 王义涛. 无线前传技术方案应用分析及演进策略研究[J]. 邮电设计技术, 2024(12): 28-34.

0 引言

对于无线接入网, 相较于DRAN模式, CRAN模式因其能够提升设备利用率、节省机房空间和节省能耗^[1-2], 已被三大电信运营商全面采用并作为主要的建网模式, BBU被集中部署在架构机房^[2-4]。然而, 该模式会产生大量的无线前传需求, 即BBU与RRU之间需要建设大量光光纤芯, 导致无线前传用光缆投资大的问题异常突出^[5-8]。

虽然目前5G大规模集中建设已接近尾声, 但电信运营商仍面临一系列挑战。一方面, 其基础网络设施已按CRAN模式部署, 后期无论移动网制式如何演进, 无线前传将长期存在; 另一方面, 为节省能耗和维护费用、降低网络运营成本, 电信运营商希望进一步提升BBU的集中度, 然而这将进一步加剧前传光缆投资过大的问题。因此, 如何有效解决前传光缆投资大的痛点, 仍是电信运营必须解决的一个难题。

为了解决前传光缆投资过大的问题, 业界相继提出了多种无线前传技术方案。本文综合评估这些技术方案在实际应用中的优势与不足, 深入探讨5G前传

收稿日期: 2024-11-14

技术的演进方向,进而提出一种既符合现网需求又行之有效的无线前传解决方案。

1 无线前传现有技术分析

1.1 无线前传现有主要技术方案

传统的无线前传通常采用双纤双向光模块直连的方式,但随着CRAN建网模式的广泛应用,为了有效减少前传的光缆纤芯需求,业界相继提出了单纤双向(BiDi)光模块、RRU级联和前传WDM系统等解决方案。

1.1.1 BiDi光模块直驱

BiDi光模块在BBU侧和RRU侧的光模块分别采用不同的发送波长,因此两者需要配对使用,1对光模块只占用1芯光纤,与双纤双向光模块相比,直连方式占用的光缆纤芯可减少一半^[8]。

1.1.2 RRU级联

RRU级联是指RRU采用链型组网的方式与BBU连接,采用级联组网的RRU需要占用2个端口,其组网拓扑如图1所示。当RRU端口采用10G速率光模块,且RRU载波配置较低时,RRU接口速率高于现网

配置载波的线速率,可以通过RRU级联的方式减少对前传光缆纤芯的占用,因为级联RRU共享接口带宽,该方案主要应用于4G低配和5G低频基站。采用N级级联方式,级联后的纤芯需求为级联前的1/N。RRU级联可以使用双纤双向光模块或BiDi光模块,一般最大支持4级级联。对于一般的宏基站,通过这种方式,可将前传占用光缆纤芯需求降至2芯或1芯^[9]。

1.1.3 前传WDM系统

前传WDM系统由头端设备和尾端设备组成。头端设备部署在BBU侧,尾端设备部署在RRU侧,利用合分波器使头端和尾端之间仅占用1芯光纤,其网络架构如图2所示。在头端设备和尾端设备之间,可选择配置光分插复用器(OADM),但在当前现网应用中,一般不配置。头端和尾端设备均采用双纤双向彩光模块,这些光模块的发送波长不同,头端和尾端之间需要配对使用。前传WDM系统有CWDM、LWDM、MWDM和DWDM四种实现方式,它们之间的主要区别在于所使用的波长不同。对于一般的宏基站,采用前传WDM系统可将前传占用光缆纤芯需求降至1芯^[10-15]。

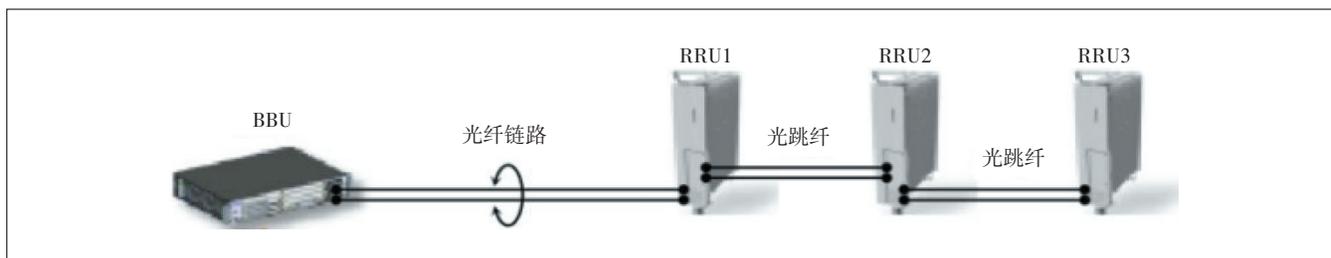


图1 RRU级联组网拓扑

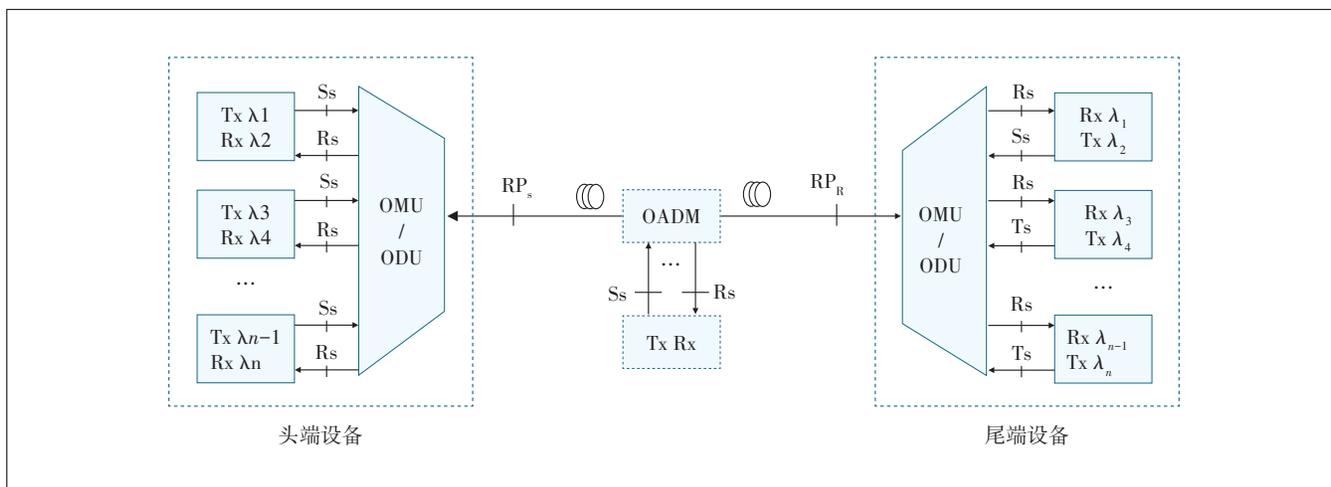


图2 前传WDM系统架构示意

1.2 无线前传现有技术问题分析

1.2.1 BiDi 光模块直驱

与传统的双纤双向光模块直驱方案相比, BiDi 光模块直驱方案占用的光缆纤芯可减半, 且 BBU 和 RRU 之间无需增加额外的有源/无源设备, 仍通过光缆纤芯直接连接, 并可通过无线网管直接对光模块进行管理, 无需改变原有维护界面和方式, 不会给维护人员增加额外的负担, 因此在 5G 网络建设中应用最为广泛。但该方案占用纤芯资源仍然较多, 以频谱宽度为 100 MHz 的 5G 宏站为例, 每站占用的光缆纤芯数仍达 3 芯, 前传光缆投资大的问题仍然存在。

1.2.2 RRU 级联

相比于传统的双纤双向光模块直驱方案, RRU 级联方案可将每站占用的光缆纤芯数降至 1 芯, 可有效解决前传光缆投资大的问题, 且 BBU 和 RRU 之间不需要增加额外的有源/无源设备, 仍通过光缆纤芯直接连接, 并可通过无线网管直接对光模块进行管理, 无需改变原有维护界面和方式。但该方案在实际应用中存在以下问题。

a) 网络可靠性变差。上游的 RRU 故障会影响其下级 RRU 的正常运行, 不支持 RRU 选择性关断节能降耗功能。

b) 网络的使用范围和未来的扩展受限。当 4G 基站载波带宽和天线配置较高时不支持级联, 同样 5G 中高频基站也不支持级联。如果后期级联 RRU 的多载波聚合开启, 会导致 CPRI 接口带宽不足, 需要将其改造回非级联方式^[9]。

由于存在上述问题, 在 4G 时代 RRU 级联应用很少。然而在建设 5G 低频网络时, 因光缆建设投资压力太大, RRU 级联得到一定规模的应用。

1.2.3 前传 WDM

前传 WDM 方案可将每站占用光缆纤芯数量降至 1 芯, 有效解决了前传光缆投资大的问题, 且使用范围不受限、可用于 4G/5G 各种站型。但该方案在实际应用中存在以下问题。

a) 由于在前传 WDM 系统中, BBU 侧和 RRU 侧均增加了“波分盒子”设备节点, 这相对增加了故障点, 特别是 RRU 侧波分盒子的安装受现网环境影响, 且工程难度较大, 因此在实际应用中故障率较高。

b) 由于新增了“波分盒子”设备节点, 传输专业和无线专业间维护界面不易划分, 额外增加了维护人员的负担。在建设和维护中会出现需要传输专业登高

作业, 但传输专业施工人员不具备登高资质的问题。

c) 新增的“波分盒子”设备节点, 增加了施工中的光路调通难度和施工成本。特别是在 RRU 侧, 由于“波分盒子”的不同端口需要分别与对应的 RRU 设备的对应光收发口正确连接, 而“波分盒子”的安装位置与 RRU 设备存在一定距离, 他们之间同时存在多条光跳纤需要正确连接, 因此在光跳纤连接时往往需要多人配合核实光路, 增加了施工难度和施工成本。

d) 新增的“波分盒子”设备节点, 增加了故障排查的难度。虽然采用半有源/有源前传波分方案可通过自有网管协助排障, 但这一方案大幅提高了设备成本。此外, 在工程建设中还要单独考虑网管及 DCN 通道的部署, 这进一步增加了工程建设的难度和维护人员的负担。

基于以上原因, 前传 WDM 方案在现网中的实际应用效果并不理想。

2 无线前传需求分析

通过分析现有技术方案在现网应用中遇到的问题可以发现, 无线前传技术方案不仅要满足不同制式移动网的接口标准、速率、距离等正常技术指标需求, 还需要满足以下需求。

a) 占用光缆纤芯少、前传光缆投资小。一般情况下, 将 3 个 RRU 至 BBU 的纤芯占用降至 1 芯, 就可解决前传光缆投资过高的问题。

b) 设备成本低。相较于双纤双向和 BiDi 光模块设备, 其设备成本增加尽量少。

c) 可扩展性强、使用范围不受限。各光路带宽独享, 不受基站配置和频段的影响, 适用于所有站型的基站。

d) 故障点尽量少, 故障率尽量低, 确保稳定运行。

e) 尽量不改变原有维护界面和方式、不额外增加维护人员的负担。

f) 可管理。既可通过无线网管进行管理, 也可通过自有网络管理系统进行管理, 且网管系统的部署应方便快捷。

g) 可靠性高。当某路信号出现故障时, 不应影响其他信号的正常传输。

h) 故障排查相对简单。原则上相较于双纤双向和 BiDi 光模块直驱方案, 不应增加排障难度。

i) 安装应简单便捷, 对现网环境要求应尽量低, 工程实施难度也应尽量小。

3 无线前传技术演进策略

3.1 演进方向分析

从前文分析来看,光模块直驱是满足无线前传需求的最优方式,也是现有前传技术中运营体验最优的方案。然而,现有光模块直驱技术方案的唯一不足是占用光缆纤芯过多,因此不增加额外设备,将多对光模块分别在本端互联,将多路光信号合并到1芯光纤中后,再与对端互联的单纤多向光模块直驱将是解决无线前传需求的最优方案。

3.2 单纤多向光模块结构构成

单纤多向光模块相较于传统光模块,在结构上的主要不同在于它设置了光上联口和光下联口这2个光接口,并增加了1个单纤多向光组件,其基本构成如图3所示。光上联口负责与对端光模块的光上联口互联,或者与本端上游光模块的光下联口互联;光下联口负责与本端下级光模块的光上联口互联。光上联口与光下联口中所传输的光信号均为双向信号,即它们既能向外发送光信号,又能从外部接收到光信号。

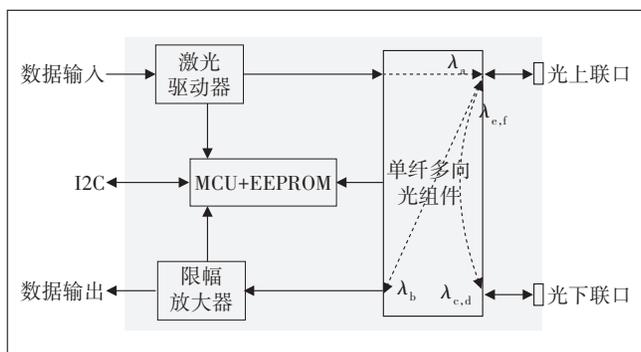


图3 单纤多向光模块构成示意

单纤多向光组件的主要功能如下。

a) 其内部集成的特定波长激光器和调制器将电信号转换为某个特定波长的光信号,并发送到光上联口。

b) 从光上联口收到的光信号中分离出与本光模块相匹配的特定波长的光信号,然后通过其内集成的光电探测器将该光信号转换为电信号;对于那些与本光模块不匹配的其他波长的光信号,采用无源器件处理的方式直接发送到光下联口,中间不经电层处理,不需要光模块一定处于通电状态。

c) 从光下联口接收到下游光模块发送过来的光信号,通过无源器件处理的方式将全部光信号直接发

送到光上联口,中间不经电层处理,不需要光模块一定处于通电状态。

3.3 单纤多向光模块组网结构

单纤多向光模块的发送波长和接收波长不同,在组网应用时分为头端光模块和尾端光模块,头端光模块和尾端光模块配对使用。配对的光模块中,头端光模块的发送波长与尾端模块的接收波长一致,头端模块的接收波长与尾端模块的发送波长一致。例如,头端光模块的发送波长为 λ_1 ,接收波长为 λ_2 ,则配对的尾端光模块的发送波长为 λ_2 ,接收波长为 λ_1 。可以仅使用一组配对的头端光模块与尾端光模块进行组网,也可以使用多组配对的头端光模块与尾端光模块进行组网,在组网时,头端和尾端之间使用1芯光纤,通过最上游的2只光模块的光上联口互联。当采用多组配对的头尾端光模块组网时,所有光模块的工作波长不得冲突,即所有光模块均采用不同的发送光波长和接收光波长。

以3组配对的光模块组网为例,头端和尾端各有3只光模块。设尾端分别为光模块1、光模块3和光模块5,头端与之匹配的光模块分别为光模块2、光模块4和光模块6。光模块1、2...6的发送波长和接收波长分别为 λ_1 和 λ_2 、 λ_2 和 λ_1 、 λ_3 和 λ_4 、 λ_4 和 λ_3 、 λ_5 和 λ_6 、 λ_6 和 λ_5 ,其基本组网结构如图4所示。配对的光模块在头尾端内部的顺序可以设计为某个固定顺序,也可以设计为不固定顺序。如果尾端的光模块1、3、5和头端的光模块2、4、6分别设计为固定的某个连接顺序,则实际应用时,光模块1、3、5在尾端必须按照指定的顺序连接,光模块2、4、6在头端也必须按照指定的顺序连接;如果设计为不固定顺序,则在实际应用时,光模块1、3、5在尾端可以按照任意顺序连接,光模块2、4、6在头端也可以按照任意顺序连接。

3.4 单纤多向光模块方案与现有技术比较

从单纤多向光模块的组网结构来看,该方案仍然采用光模块直驱方式,可以在不增加额外设备的情况下,解决前传占用光缆纤芯过多的问题。可将每站占用的光缆纤芯数量降至1芯,同时还解决了现有技术方案在应用中所遇到的各种问题,有效满足了无线前传的需求,其优势主要体现在以下几个方面。

a) 大幅减少前传对光缆纤芯的占用。将每站占用光缆纤芯数量降至1芯,有效解决前传光缆投资大的问题。

b) 设备成本低。可采用成本比较低的CWDM波

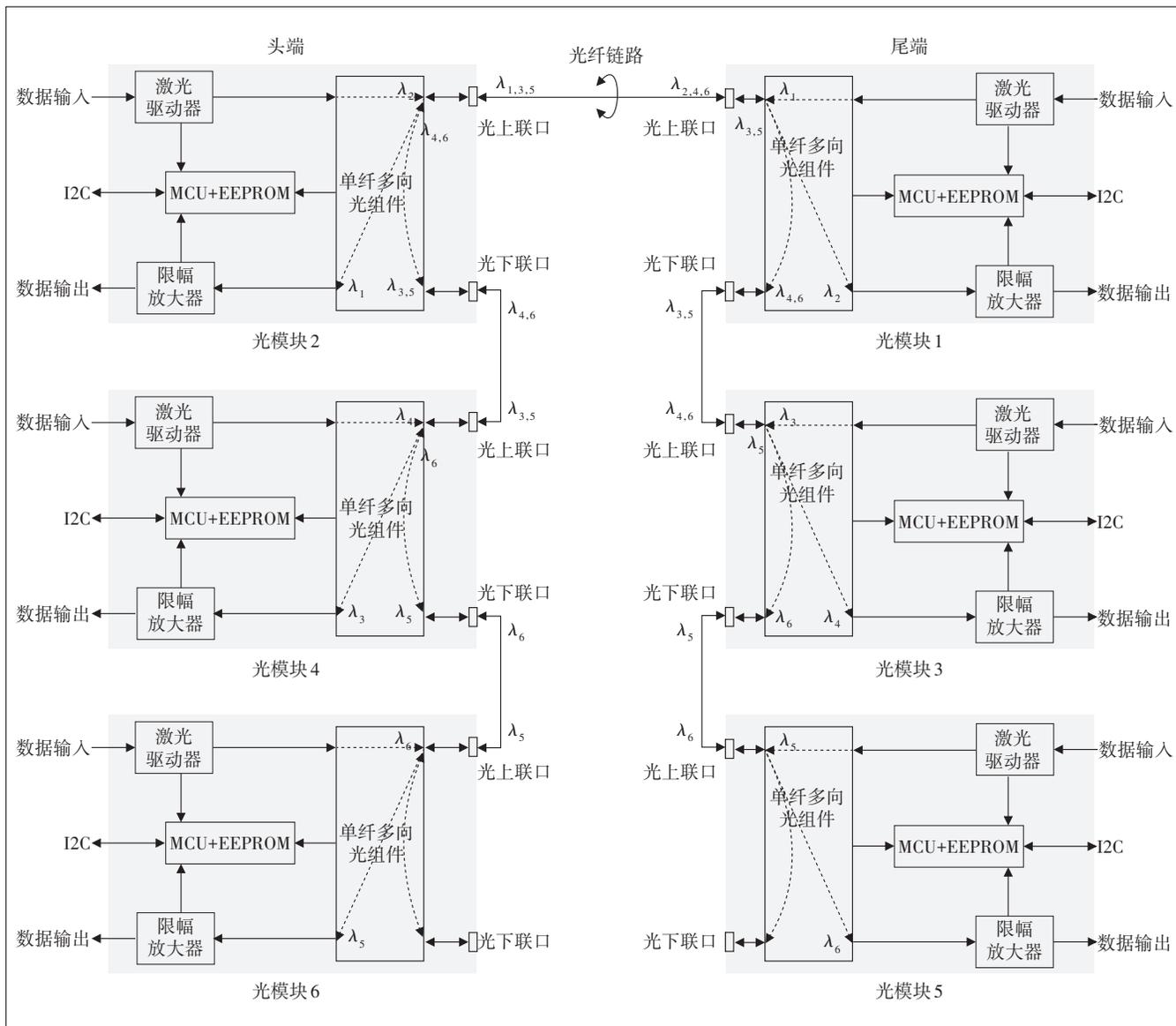


图4 单纤多向光模块组网结构

长,充分利用其现有成熟产业链,有效降低产品的成本。

c) 传输带宽高、网络可扩展性强、组网灵活。相较于RRU级联,本方案的各RRU之间的网络带宽不共享,因此在现网基站进行扩充频段或载波聚合升级时,不会因为网络带宽问题调整现网组网结构,且可随移动网络技术的发展迭代演进。

d) 故障点少、网络可靠性高。相较于前传波分,本方案的BBU和RRU之间直接通过光缆纤芯连接,中间无独立的合分波器等无源/有源设备,故障点少、故障率低。

e) 维护界面和维护方式与传统的双纤双向光模

块、BiDi光模块一致,不存在难以划分界面的设备节点,传输专业人员在维护过程中不涉及登高问题,不额外增加维护人员的负担。

f) 与传统的双纤双向光模块、BiDi光模块一样,可通过无线设备网管直接对光模块进行管理。

g) 可靠性高。对于从模块经过的光信号由于采用无源器件处理的方式,将其直接从光上联口转发到光下联口,反之亦然,中间不经电层处理,因此上游光模块故障不影响下游信号的传输。当选择性关断RRU以节能降耗时,不影响剩余RRU的正常运行,网络可靠性高。

h) 故障排查简单。相较于双纤双向和BiDi光模

块直驱方案,本方案故障判断逻辑更加简单,可根据故障现象快速定位故障位置为光缆、某根跳纤还是某个光模块。

i) 安装简单,对现网环境无额外要求、施工成本低。在BBU侧,由于减少了连纤,可有效简化机房布线和ODF配置,相较于双纤双向和BiDi光模块直驱方

案,本方案进一步降低了工程实施难度和施工成本,进而节约了机房空间;在RRU侧,RRU之间及RRU与光缆之间均通过1芯光纤连接,连接方式固定,不需要多人配合核实光路,施工简单、施工成本低。

单纤多向光模块直驱方案与现有无线前传技术方案对比如表1所示。

表1 单纤多向光模块直驱与现有无线前传技术方案比较

项目	前传波分		RRU级联	光纤直驱			
	无源波分	半有源波分		双纤双向	单纤双向	单纤多向	
网络建设	纤芯资源占用	1芯/站	1芯/站	1芯/站	6芯/站	3芯/站	1芯/站
	建设周期	较短	较短	短	纤芯有资源时短、无资源时长	纤芯有资源时短、无资源时长	短
	建设难度	较易	较易	易	纤芯有资源时易、无资源时难	纤芯有资源时易、无资源时难	易
	网络演进	4G/5G,后期可演进	4G/5G,后期可演进	4G,后期无法演进	4G/5G,后期可演进	4G/5G,后期可演进	4G/5G,后期可演进
	可扩展性	较好	较好	较差。总带宽降低	较好	较好	较好
	投资(考虑光缆)	低	较高	最低	最高	高	低
	投资(不考虑光缆)	较低	最高	低	最低	低	较低
网络安全	故障点数量	多	多	少	少	少	少
	是否存在单设备故障引发全站故障问题	存在。波分盒子故障会导致全站故障	存在。波分盒子故障会导致全站故障	存在。上游RRU故障会影响下级RRU正常运行	不存在	不存在	不存在
网络维护	维护界面专业划分	存在界面不清问题	存在界面不清问题	不改变维护界面	不改变维护界面	不改变维护界面	不改变维护界面
	是否涉及传输专业登高问题	涉及	涉及	不涉及	不涉及	不涉及	不涉及
	可维护性	差。无网管,波分盒子为哑资源	差。有网管,但尾端波分盒子为哑资源	较好。可通过BBU/RRU管理光模块	较好。可通过BBU/RRU管理光模块	较好。可通过BBU/RRU管理光模块	较好。可通过BBU/RRU管理光模块
	故障位置判断难易程度	最难	较难。可借助前传波管网做一些关联判断,但有平台开发工作量	难	较容易	较容易	较容易

4 典型场景单纤多向光模块组网方案

4.1 普通宏站/高流量室分场景

普通宏站一般由3个RRU组成,高流量室分一般不支持级联,因此该场景可采用2个或3个RRU组成1个单纤多向光模块系统的方式进行组网,典型组网方案如图5所示。当采用2个RRU组成1个单纤多向光模块系统时,可以取消其中1对配对的光模块。

4.2 低流量室分场景

低流量室分一般信源数量较多、可进行级联,为了有效减少对光缆纤芯的占用,可采用单纤多向光模

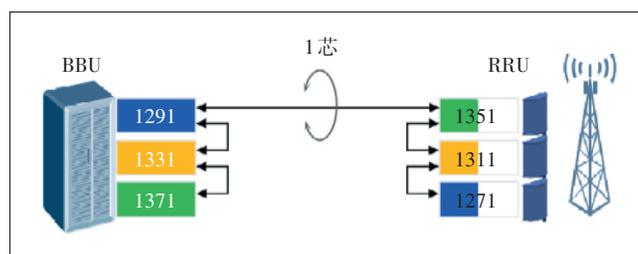


图5 普通宏站/高流量室分场景典型组网方案

块与RRU级联相结合的方式进行组网,典型组网方案如图6所示。

4.3 高铁/地铁覆盖场景

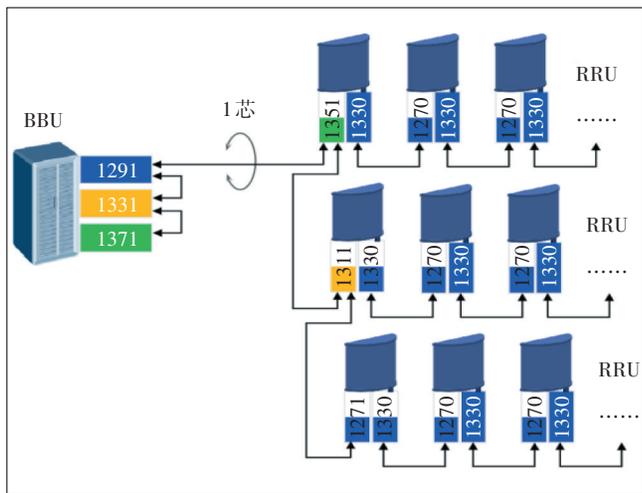


图6 低流量室分场景典型组网方案

高铁/地铁覆盖一般不进行级联,同时为了减少切换,一般会将尽量多的相邻RRU连接至同一个BBU。因此该场景下可采用如图7所示的方案进行组网。

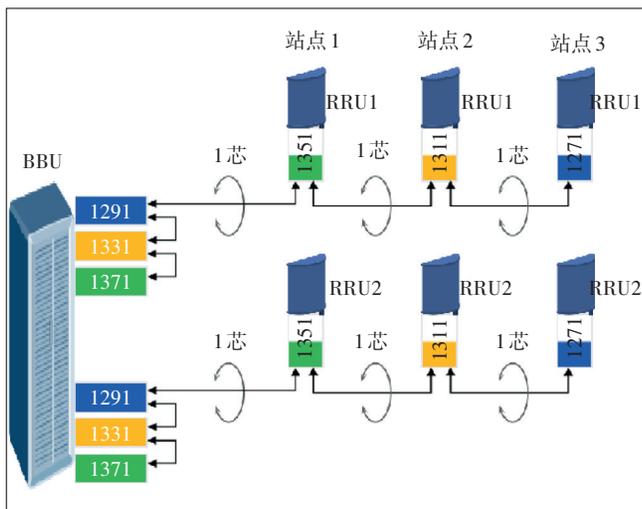


图7 高铁/地铁覆盖场景典型组网方案示意

5 结束语

无线前传光缆投资大一直是多年来存在的痛点问题,而现有各种技术方案在实际应用中又面临各种各样的实际问题,因此长期以来始终未能得到有效解决。本文通过分析现有技术,在现网实际应用中的问题,总结出除满足基本传输技术指标外,无线前传还需满足的现网工程应用需求。本文吸取现有各种技术方案的优点,提出了采用单纤多向光模块直驱方案作为无线前传技术的演进方向。该方案能够有效解决无线前传长期存在的痛点问题,简化网络、统一前

传方案,满足各种应用场景的需求。最后,文章还给出了典型场景的组网方案。

参考文献:

- [1] 姚利民,钱永良,王义涛.5G前传传输承载网络部署方案浅析[J].江西通信科技,2019(2):4-8.
- [2] 田洪宁,刘琦,尹祖新.5G承载网络演进及部署方案探讨[J].邮电设计技术,2018(11):41-45.
- [3] 王义涛,赵海广,郭晓非.本地传输网基础架构研究[J].邮电设计技术,2015(3):63-67.
- [4] 陶源,宋海滨.面向5G C-RAN的传送网建设策略探讨[J].邮电设计技术,2019(1):80-85.
- [5] 王义涛,钱永良,段宏.5G前传技术方案可行性分析和应用策略研究[J].邮电设计技术,2022(3):69-75.
- [6] 王义涛,郭晓非,姚利民.面向5G的本地光缆网规划及建设策略研究[J].邮电设计技术,2019(10):1-7.
- [7] 段树侠,胥俊丞,杨伟,张传熙.BBU集中化部署及本地传送网应对策略研究[J].邮电设计技术,2017(11):18-21.
- [8] 杨春,胡春琳.5G无线前传网络中的单纤双向技术探讨[J].光通信研究,2019(6):27-34.
- [9] 浦洪彦.LTE基站RRU级联应用浅谈[J].移动通信,2016,40(16):25-29.
- [10] 汤瑞,吴冰冰.5G前传WDM技术方案进展分析[J].信息技术与政策,2020(5):24-28.
- [11] 吴健辉,陈奎雄.无源波分复用设备在5G前传中的应用场景研究[J].电信工程技术与标准化,2020,33(1):55-60.
- [12] 黄乐天,邓春胜.一种用于5G前传的半有源波分复用方案[J].电信工程技术与标准化,2020,33(1):31-37.
- [13] 工业和信息化部.25 Gbit/s波分复用(WDM)光收发合一模块:YD/T 4019-2022[S/OL].[2024-08-23].<https://hbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/ed12fd30c75d7e9da7fe14ca230fe600e2890df2ff66e3a3df41eb570e7ba01a>.
- [14] 工业和信息化部.城域N×25Gbit/s波分复用(WDM)系统技术要求:YD/T 4013-2022[S/OL].[2024-08-23].<https://hbba.sacinfo.org.cn/attachment/onlineRead/b7861ccf28332dc72639debb18d07ef6ee6820c73082616f4435bf55c797d753>.
- [15] ITU-T. Multichannel bi-directional DWDM applications with port agnostic single-channel optical interfaces:G.698.4[S].Geneva:ITU,2023.

作者简介:

李壮志,毕业于山东大学,山东联通网络部副总经理,高级工程师,硕士,主要从事F5G技术创新研究及建设管理工作;郑维通,毕业于吉林大学,高级工程师,学士,主要从事通信网络技术研究、承载网建设与维护管理工作;王义涛,毕业于重庆邮电学院,高级工程师,注册咨询工程师,一级注册建造师,学士,主要从事通信网络的技术研究、网络测试、咨询、规划和设计工作。