



5G 前传方案研究和部署策略

扶奉超, 王鹏, 毛宇, 黄湧梅, 谢元宝, 张爱华, 林国强
(中国电信股份有限公司广州研究院, 广东 广州 510630)

摘 要: 5G 移动通信技术作为当今通信技术的前沿, 备受国内外通信领域的关注。5G 基站大规模部署之前, 运营商需要提前对 5G 承载网络进行规划部署。主要介绍了 4 种 5G 前传主流技术, 并从建设成本、技术成熟度、建设难度等角度对比了 4 种前传方案。最后结合 5G 演进实际情况, 给出了不同场景下的前传方案选择建议。

关键词: 5G; 前传; CWDM; OTN; WDM-PON

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019151

Key technology and deployment strategy of 5G fronthaul transport networks

FU Fengchao, WANG Peng, MAO Yu, HUANG Yongmei, XIE Yuanbao, ZHANG Aihua, LIN Guoqiang
Guangzhou Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

Abstract: As one of the frontier communication technology, 5G mobile communication technology has attracted much attention in China and abroad. Before large-scale deployment of 5G base station, the transport network must be planned and ready in advance. Four kinds of mainstream 5G fronthaul schemes were introduced and compared from the perspective of construction cost, technical maturity, construction difficulty and so on. Finally, considering 5G evolution in the existing network, some suggestions for the selection of 5G fronthaul schemes in different scenarios were given.

Key words: 5G, fronthaul, CWDM, OTN, WDM-PON

1 引言

随着互联网领域云计算和大数据新技术的飞速发展, 移动通信迎来了万物互联的 5G 时代。5G 具备大带宽、低时延和海量连接等特点, 可为用户带来革命性业务体验和新型商业模式。因此 5G

已上升为国家战略的重要组成部分, 成为目前通信界最热的课题之一^[1-2]。

随着我国各运营商 5G 试验网的推进, 5G 承载网的建设越来越受到各大运营商的关注。前传网络为承载网的一部分, 5G 前传方案的选择将直接影响运营商的投资和建设效率等。据统计, 中



国三大运营商现网基站数量均在百万数量级，5G 全覆盖情况下新建基站也将达到百万级。5G 大规模建设将给基站光缆资源、投资、维护管理方面造成巨大的压力。另外，根据 5G 无线接入网络部署策略，5G 无线接入网络相对现有 4G 网络在网络架构和承载要求方面都有较大改变^[3]。因此有必要研究 5G 前传技术，以降低 5G 前传建设成本和维护成本以及提高部署运营效率。

5G 前传候选的技术有多种，有传统的光纤直驱方案，也有无源 WDM 方案和有源 WDM 方案，运营商该选择何种 5G 前传方案是个问题。近年来，5G 前传引起了业界的关注，标准化组织、厂商和运营商开展了相关研究。在厂商方面，传统 OLT、OTN 厂商已逐步开发出有源波分样品；传统光器件厂商已开发出无源波分产品，并基本具备商用及大规模量产条件。在标准化方面，OTN 国际标准化进展较快，2018 年 2 月 ITU-T SG15 启动 M-OTN 标准项目“Application of OTN to 5G Transport”。该项目描述现有 OTN 技术在 5G 承载中的应用方式，描述了 OTN 应用于 5G 承载的网络架构、功能要求等^[4]。2018 年国内 CCSA 立项了“面向 5G 承载的 $N \times 25$ Gbit/s 的波分复用无源光网络 (WDM-PON)”标准，定义了物理层指标、收发器指标和性能指标等要求^[5]。参考文献[6]对比和分析了几种前传方案，但侧重点主要是建设成本的对比。参考文献[7]对比和分析了 4 种前传方案的造价。与上述文献不同，本文从建设成本、技术成熟度、建设难度、机房占用情况、后期维护成本和难度等多角度综合分析 4 种前传方案，因此本文的分析更全面，且具有一定的创新性和参考价值。

2 5G 前传承载网架构

3GPP (the 3rd Generation Partner Project, 第三代合作伙伴计划)标准化组织提出了 5G 无线接入网功能重构方案。如图 1 所示，无线接入网两

级架构演进到 CU、DU 和 AAU 三级架构，无线承载网分为前传 (fronthaul)、中传 (middle haul) 和回传 (backhaul)。前传中，局端无线主设备、基站侧无线主设备部署位置和结构未改变，因此 5G 的前传架构整体与 4G 相同。

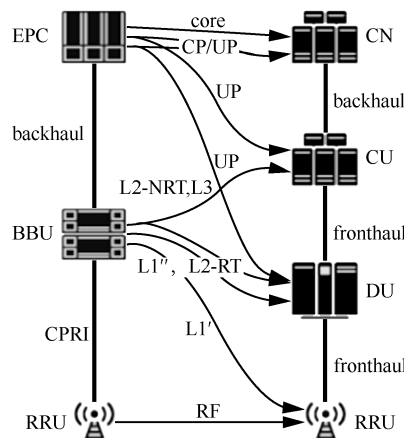


图 1 5G 承载网演进架构

5G 对前传承载网的带宽和时延等性能指标提出更高要求。在大带宽需求上，5G eCPRI (enhanced common public radio interface, 增强型通用公共无线电接口) 速率为 25 Gbit/s, CPRI (common public radio interface, 通用公共无线电接口) 速率达到 100 Gbit/s^[8]。在低时延要求上，3GPP 等相关组织提出前传时延要求为 100 μ s。5G 的时间同步和频率同步要求与 4G 相同。

3 5G 前传承载方案

5G 前传承载方案主要分为光纤直驱方案和波分设备承载方案，其中波分设备承载方案主要分为无源波分方案、OTN/WDM 方案和 WDM-PON 方案 3 种。本章将介绍以上 4 种承载方案。

3.1 光纤直驱方案

光纤直驱方案指 AAU 与 DU 采用光纤直接连接。AAU 和 BBU 分别安装的是白光模块。光模块速率为 25 Gbit/s, 传输距离一般支持 10 km。单个 5G S111 (单频三扇面站址) 站需要的光纤资源

为 6 芯。为了节省光纤资源,业界提出了 25 Gbit/s BIDI (bidirectional, 双向) 的解决方案,集成波分复用功能,AAU 与 DU 双向的数据信号采用不同的波长在一根光纤中传送,光模块成对使用。如图 2 所示,该解决方案可以节省一半的光纤资源,由单纤单向光纤直驱方案的 6 芯降为 3 芯。由于 5G 将消耗巨大的基站光纤资源,BIDI 方案将比单纤单向方案更有应用前景。

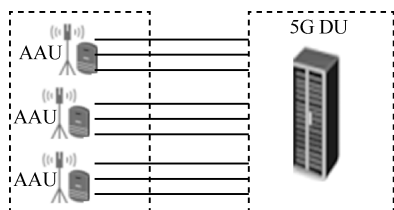


图 2 光纤直驱方案示意图

3.2 无源 WDM 方案

无源 WDM 方案是波长独立的方案,如图 3 所示,25 Gbit/s CWDM (coarse wavelength division multiplexing, 粗波分复用) 前传方案中 AAU 和 DU 上安装的是彩光模块,两端各设置 1 个无源合分波器实现波分复用,而无需配置传输承载设备和其他有源设备。该方案仅需占用 1 芯主干光缆。彩光模块有固定波长和可调谐两种,由于可调谐方案和密集波分方案成本太高,因此本文仅讨论固定波长的粗波分方案。

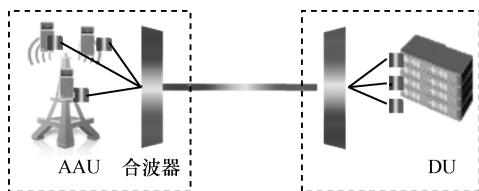


图 3 无源 CWDM 方案示意图

3.3 OTN 方案

OTN 方案如图 4 所示,AAU 站点和 DU 两端设置有源 OTN 设备,支持多个 AAU 通过 WDM 技术共享光纤资源^[9]。AAU 和 DU 上安装的是白光模块,两端各设置 1 个有源 OTN 设备,一般占用 2 芯主干光纤,单站需要 14 块光模块。如采用

传统 OTN 设备的处理方式,时延可能无法满足前传的苛刻要求,因此一般采用简化的映射层级、开销以降低时延和实现成本。

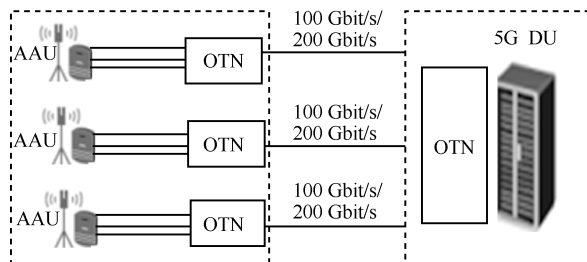


图 4 OTN 方案示意图

3.4 WDM-PON 方案

WDM-PON 是波长独立的方案,用于 5G 前传承载的模型如图 5 所示,AAU 和 DU 两端分别设置 ONU 和 OLT,主干光缆占用 1 芯^[10]。该方案的关键技术点是采用无色光模块,光模块可以自行调整适合的波长。ONU 有 SFP+ 型态及 ONU 型态两种。ONU 型态的 WDM-PON 系统要求 AAU 安装白光模块接入 ONU,消耗的光模块较多。SFP+ 型态的 ONU 不需要白光模块,直接将 SFP+ 型态的彩光 ONU 插入 AAU。SFP+ 形态的 ONU 更节约空间,更有应用前景。

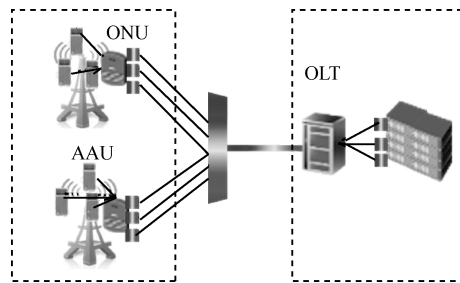


图 5 WDM-PON 方案示意图

4 5G 前传方案对比分析及部署建议

4.1 方案对比和分析

从理论分析、厂商研发进展以及运营商的测试结果来看,以上 4 种前传方案均能满足 5G 前传带宽、时延、传输距离等性能指标要求。其中有源 WDM 方案,包括 WDM-PON 和 OTN 时延指



标均能达到 $10\ \mu\text{s}$ 级别；无源 CWDM 方案的光功率预算可达到 11 dB 以上，可满足前传 10 km 传输距离要求。4 种前传方案的技术特点不一样，使得方案的建设成本、建设难度、维护成本等均不相同。本节从建设成本、建设难度、技术成熟度、机房占用情况、后期维护成本和难度等多维度详细对比上述 4 种前传方案。光纤直驱方案是目前最简单、适用性最强、部署最简便、成本最低的前传承载方案，同时后期运维最为便利，成本低。但最大的问题就是光纤资源占用多，一个基站需要占用 3 对或 3 芯光纤。光纤直驱方案适用于光纤资源充足的场景，不适用于光纤资源缺乏的场景。

无源 CWDM 方案可以解决光纤资源紧张的问题，且建设成本较低。位于局端的合波分波器一般直接置于 1U/3U 的机框内，对机框资源占用较其他两种有源 WDM 方案少。无源 CWDM 方案由于只涉及纯光路器件，因此原则上故障率较有源 WDM 低。但如果出现故障，无源 WDM 的故障定位难度将比有源 WDM 高。CWDM 方案会增加备品备件的种类，从而增加备品备件的难度。另外，固定波长的彩光模块会在安装维护中增加一些难度，需要做好波长标签以防更换光模块时出现错误。

OTN 承载方案提高了前传的维护管理能力，可以灵活组网，包括树形、星形和环形，后期维护较为便利。但 OTN 方案对光纤节约的程度较其他两种波分方案低，且成本因素不容忽视。另一方面，OTN 需要占用较多的电源资源和空间资源，对天面资源和机房要求较高，建设难度较高且后期维护成本也较高。

WDM-PON 可以最大限度地节约光纤，同时 WDM-PON 使用无色 ONU 技术可以降低备品备件的难度。WDM-PON 方案可提高前传的维护管理能力，维护较为便利。但结合现网情况，WDM-PON 对于合波分波器的部署位置有要求，否则难以同时承载 20 路 AAU 接入。WDM-PON 成本较高，需要占用机房和天面的电源和空间资

源，建设难度较高，且后期维护成本较高。WDM-PON 由于不能共用目前 GPON/EPON 的 ODN，未被纳入下一代 PON 重点技术考虑范围中。单 5G 前传的应用可能会使 WDM-PON 产业规模受限，并影响产品的产业链发展和降价空间。

综上所述，4 种 5G 前传技术的优缺点见表 1。在成本方面， $\text{WDM-PON} > \text{OTN} > \text{无源 WDM} > \text{光纤直驱}$ 。在技术成熟度方面， $\text{WDM-PON} < \text{OTN} < \text{无源 WDM} \leq \text{光纤直驱}$ 。WDM-PON 与 OTN 将占用更多的机房资源，建设难度较高。在后期维护成本和难度方面，光纤直驱方案和 CWDM 方案维护成本低，OTN 和 WDM-PON 维护成本较高；光纤直驱、OTN 和 WDM-PON 维护较为便利，无源 WDM 故障定位较麻烦。总体来看，光纤直驱方案和无源 WDM 方案技术较成熟，总体成本低，建设难度低。

4.2 5G 前传部署建议

通过分析运营商移动网络现网情况，5G 建设场景将分为：新建 5G 站址、现有 4G 宏基站址和现有 4G 拉远站址。综合上述对比分析的结果，从建设成本、技术成熟度、维护成本等角度考虑，单纤双向光纤直驱方案和无源 WDM 方案优势较大。因此建议新建站址均用光纤直驱的方案；现有 4G 宏基站址升级 IPRAN 设备，沿用 D-RAN (distributed radio access network, 分布式无线接入网) 的建设方式；现有 4G 拉远站址中，光纤资源充足的用光纤直驱的方式，特别是 BIDI，光纤资源稀缺的地方用无源 CWDM 方式承载。

5 结束语

5G 前传投资大，消耗的光纤资源多。5G 前传方案的选择影响 5G 建设进度和部署效率。本文研究了 5G 前传方案，从多角度对比了目前业界主流的 4 种前传方案，给出了不同 5G 场景的前传方案选择。从建设成本和技术成熟度等角度考虑，建议选择 CWDM 方案作为光纤直驱的补充方案，

表1 5G 前传方案综合对比和分析

前传方案	优点	缺点
光纤直驱	技术成熟, 成本低, 建设难度低, 后期维护成本低, 维护便利	光纤消耗大, 需要有足够的空闲纤芯
无源 CWDM	技术成熟, 成本低, 节省光纤, 建设难度低, 后期维护成本较低	备品备件较复杂, 需简单的波长规划, 故障定位较麻烦
OTN	维护管理能力强, 较节省光纤, 后期维护较便利	成本较高, 并对机房和天面电源、空间有要求, 后期维护成本较高
WDM-PON	节省光缆, 维护管理能力强, 无需波长规划, 后期维护较便利	技术不成熟, 成本高, 并对机房和天面电源、空间有要求, 后期维护成本较高

满足光纤资源不充足的场景。本文的研究成果可为运营商提供一定的参考价值。未来将从事 5G 前传方案的测试验证工作。

参考文献:

- [1] 王胡成, 徐晖, 程志密, 等. 5G 网络技术研究现状和发展趋势[J]. 电信科学, 2015, 31(9): 156-162.
WANG H C, XU H, CHENG Z M, et al. Current research and development trend of 5G network technologies [J]. Telecommunications Science, 2015, 31(9): 156-162.
- [2] 林泓池, 孙文彬, 郭继冲, 等. 5G 先进技术研究进展[J]. 电信科学, 2018, 34(8): 34-45.
LIN H C, SUN W B, GUO J C, et al. Research progress of 5G advanced technologies[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(8): 34-45.
- [3] IMT-2020(5G). 5G 承载需求白皮书[R]. 2018.
IMT-2020(5G). 5G bearer requirements white paper[R]. 2018
- [4] ITU-T. Gsup.5gotn: application of OTN to 5G transport[S]. 2018.
- [5] CCSA. 面向 5G 承载的 $N \times 25$ Gbit/s 的波分复用无源光网络(WDM-PON)[Z]. 2018.
CCSA. $N \times 25$ Gbit/s wavelength division multiplexing passive optical network (WDM-PON) for 5G bearer[Z]. 2018.
- [6] 黄湧梅, 毛宇. 面向 5G 前传承载的方案探讨[J]. 广东通信技术, 2018, 38(8): 72-75.
HUANG Y M, MAO Y. Discussion on the scheme of 5G pre-quel bearing[J]. Guangdong Communication Technology, 2018, 38(8): 72-75.
- [7] 施家骅. 5G 前传传输解决方案对比及综合造价分析[J]. 移动通信, 2018, 42(11): 62-65.
SHI J H. 5G forward transmission solution comparison and comprehensive cost analysis[J]. Mobile Communications, 2018, 42(11): 62-65.
- [8] 赵春华. 5G 承载网的架构演进及带宽分析[J]. 电信科学, 2019, 35(2): 79-83.
ZHAO C H. Architecture evolution and bandwidth analysis of 5G bearer networks[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(2): 79-83.
- [9] 王策. 全球首次 5G OTN 前传设备测试启动[J]. 中国设备工

程, 2018(5): 5.

WANG C. The world's first 5G OTN pre-transmission equipment test started[J]. China Plant Engineering, 2018(5): 5.

- [10] 卞海川. 中国电信上海研究院蒋铭推动 WDM-PON 技术成熟和产业应用[J]. 通信世界, 2018(13): 44.

BIAN H C. China telecom shanghai research institute jiang ming promotes WDM-PON technology maturity and industrial application[J]. Communications World, 2018(13): 44.

[作者简介]



扶奉超(1991-), 女, 中国电信股份有限公司广州研究院数据通信工程师, 主要研究方向为宽带接入网技术及 5G 前传技术。

王鹏(1974-), 男, 中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师, 主要研究方向为宽带接入网研究和测试。

毛宇(1977-), 男, 中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师, 主要研究方向为宽带接入网规划和研究。

黄湧梅(1976-), 女, 中国电信股份有限公司广州研究院, 主要研究方向为宽带接入网规划和研究。

谢元宝(1989-), 男, 中国电信股份有限公司广州研究院移动通信工程师, 主要研究方向为移动通信关键技术。

张爱华(1976-), 男, 现就职于中国电信股份有限公司广州研究院, 主要研究方向为宽带接入网运维和测试。

林国强(1982-), 男, 现就职于中国电信股份有限公司广州研究院, 主要研究方向为宽带接入网运维和测试。