

# 5G时代光传送网

## 技术白皮书

中国电信CTNet2025网络重构开放实验室  
2017年9月

## 目 录

1	引言 .....	3
2	5G 技术发展及承载需求 .....	4
2.1	5G 新业务的关键性能需求 .....	4
2.2	5G RAN 架构的演进趋势 .....	5
2.3	5G 核心网架构的演进趋势 .....	6
2.3.1	核心网架构的云化和下移 .....	6
2.3.2	核心网云化数据中心的互联 .....	8
2.4	5G 承载网需求分析 .....	9
2.4.1	大带宽需求 .....	9
2.4.2	低时延需求 .....	10
2.4.3	高精度时间同步需求 .....	11
2.4.4	灵活组网的需求 .....	11
2.4.5	网络切片需求 .....	12
3	面向 5G 的光传送网承载方案 .....	14
3.1	5G 前传承载方案 .....	14
3.1.1	5G 前传典型组网场景 .....	14
3.1.2	光纤直连方案 .....	15
3.1.3	无源 WDM 方案 .....	16
3.1.4	有源 WDM/OTN 方案 .....	18
3.1.5	5G 前传承载方案小结 .....	19
3.2	5G 中传/回传承载方案 .....	19
3.2.1	中传/回传承载网络架构 .....	19

3.2.2	网络切片承载方案.....	21
3.3	5G 云化数据中心互联方案 .....	23
3.3.1	大型数据中心互联方案.....	23
3.3.2	中小型数据中心互联方案.....	23
3.4	5G 光传送网承载方案小结 .....	24
4	5G 时代的光传送网关键技术演进 .....	27
4.1	低成本大带宽传输技术.....	27
4.1.1	短距非相干技术.....	27
4.1.2	中长距低成本相干技术.....	27
4.2	低时延传输与交换技术.....	28
4.2.1	ROADM 全光组网调度技术.....	29
4.2.2	超低时延 OTN 传送技术.....	30
4.3	高智能的端到端灵活调度技术.....	31
4.3.1	ODUflex 灵活带宽调整技术.....	31
4.3.2	FlexO 灵活互联接口技术.....	32
4.3.3	传送 SDN 快速业务随选发放技术.....	34
5	总结与展望.....	35
6	缩略语 .....	36

## 1 引言

第五代通信技术（5G）致力于构建信息与通信技术的生态系统，是目前业界最热的课题之一。不同于以前的 2G、3G 和 4G，5G 不仅仅是移动通信技术的升级换代，更是未来数字世界的驱动平台和物联网发展的基础设施，将真正创建一个全联接的新世界。

5G 网络拟提供业务的主要特征包括大带宽、低时延和海量连接，从而对承载网在带宽、容量、时延和组网灵活性方面提出了新的需求。如何利用一张统一的承载网来满足 5G 不同业务的承载需求是 5G 承载网面临的巨大挑战。

光传送网（Optical Transport Network，OTN）技术结合了光域传输和电域处理的优势，不仅可以提供端到端的刚性透明管道连接和强大的组网能力，而且可以提供长距离、大容量传输能力。OTN 刚性管道保证了不同业务的严格隔离和业务带宽的保障，其完备的 OAM 机制保证了业务传送质量并使网络便于维护管理。ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplex，可重构光分插复用器)和 WDM(Wave-division Multiplexing，波分复用)光层技术提升光纤传输容量至 Tbps 级别，并大幅降低网络时延。

光传送网技术如何在 5G 这场划时代的技术演进潮流中不断自我创新，保持竞争力和应用优势，实现 5G 网络的高效承载，已经成为整个光通信行业关注的重心和研究热点。本白皮书旨在分析 5G 对承载网的需求，提出基于光传送网的承载方案，并对 5G 时代光传送网的技术演进趋势进行阐述。

## 2 5G 技术发展及承载需求

5G 承载需求取决于 5G 业务及 5G 网络架构的变化。其中，5G 业务需求直接影响承载网的技术指标，如带宽、时延和时钟精度等；而 5G 无线网和核心网的架构变化则引发了相应的承载网架构变化，并对网络功能提出新要求，包括网络切片、增强路由转发功能等。

### 2.1 5G 新业务的关键性能需求

5G 定义了以下三类典型业务场景，如图 1 所示：

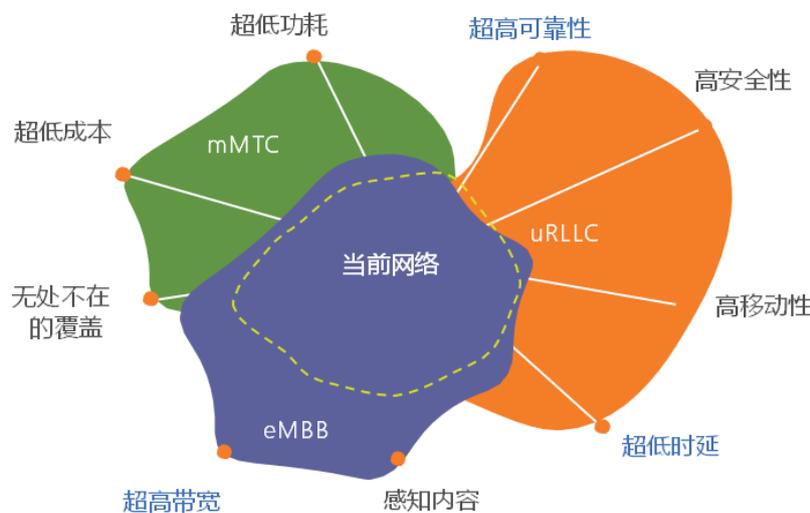


图 1 5G 典型业务场景性能需求示意图

- 1) eMBB(Enhanced Mobile Broadband，增强型移动宽带)：主要场景包括随时随地的 3D/超高清视频直播和分享、虚拟现实、随时随地云存取、高速移动上网等大流量移动宽带业务，带宽体验从现有的 10Mbps 量级提升到 1Gbps 量级，要求承载网络提供超大带宽。
- 2) uRLLC (Ultra Reliable & Low Latency Communication，高可靠低时延通信)：主要场景包括无人驾驶汽车、工业互联及自动化等，要求极低时延和高可靠性，需要对现有网络的业务处理方式进行改进，使得高可靠性业务的带宽、时延是可预期、可保证的，不会受到其它业务的冲击。
- 3) mMTC (Massive Machine Type Communication，大规模机器通信)：主要场景包括车联网、智能物流、智能资产管理等，要求提供多连接的承载通道，实现万物互联，为减少网络阻塞瓶颈，基站以及基站间的协作需要更高的时钟同步精度。

## 2.2 5G RAN 架构的演进趋势

5G 网络由于引入了大带宽和低时延的应用，需要对 RAN ( Radio Access Network，无线接入网 ) 体系架构进行改进。

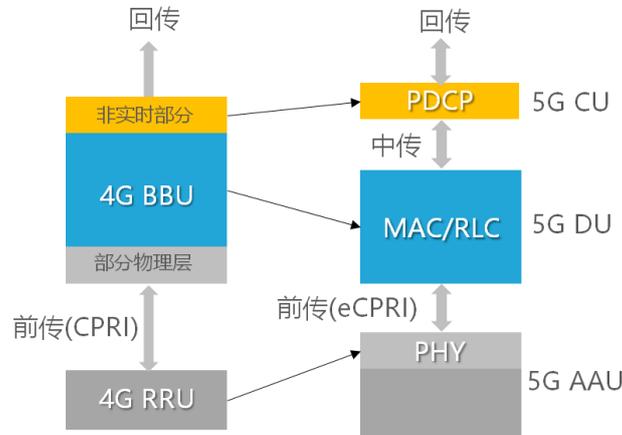


图 2 5G RAN 功能模块重构示意图

5G 的 RAN 网络将从 4G/LTE 网络的 BBU ( Baseband Unit，基带单元 )、RRU 两级结构将演进到 CU、DU 和 AAU 三级结构，如图 2 所示。原 BBU 的非实时部分将分割出来，重新定义为 CU ( Centralized Unit，集中单元 )，负责处理非实时协议和服务；BBU 的部分物理层处理功能将于原 RRU 合并为 AAU ( Active Antenna Unit，有源天线处理单元 )；BBU 的剩余功能重新定义为 DU ( Distribute Unit，分布单元 )，负责处理物理层协议和实时服务。

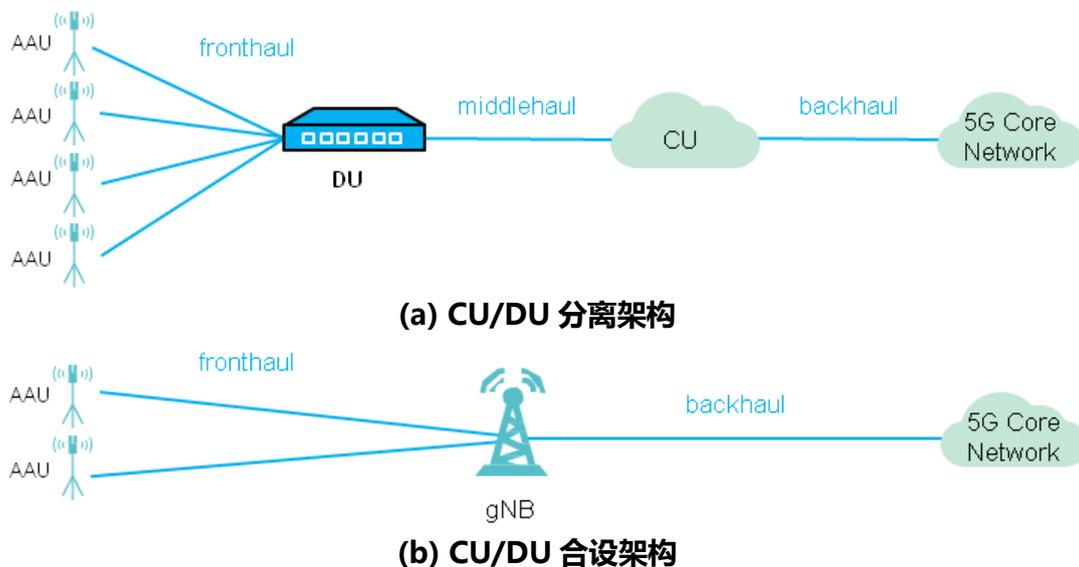


图 3 5G RAN 组网架构示意图

图 3 为 CU 和 DU 部署的两种不同方式。图 3(a)为 CU 和 DU 分开部署的方式，相应的承载网也分成三部分，AAU 和 DU 之间是前传 ( Fronthaul )，DU

和 CU 之间是中传 ( Middlehaul ), CU 以上是回传 ( Backhaul )。图 3(b)所示为 CU 和 DU 合设的方式,称为 gNB,其承载网的结构和与 4G 类似,仅包括前传和回传两个部分。

由于 5G 时代将引入大量传感器、可穿戴设备等新型接入终端,种类丰富,数量庞大,因此单位面积接入数和流量密度都将爆炸式增长。同时,受限于无线频谱特性,5G 覆盖半径较 4G LTE 略低,因此基站覆盖密度将有一定幅度的增加。

显然,4G 时代就逐渐凸显的单个基站带宽大幅增加、基站部署密度加大所引起的譬如基站选址困难、机房成本高、基站资源利用率低、维护工作量大等问题在 5G 时代将会愈演愈烈。因此,5G RAN 网络发展势必将延续 4G BBU 集中的策略,将 DU 集中作为一种主流的组网架构。

## 2.3 5G 核心网架构的演进趋势

5G 时代,核心网必须满足 5G 低时延业务处理的时效性需求。4G 时代,核心网部署位置较高,一般在网络骨干核心层。如果 5G 核心网的位置依旧和 4G 相同,UE ( User Equipment, 用户设备 ) 到核心网的时延将难以满足要求。因此,核心网下移以及云化成为 5G 发展的趋势,3GPP 已经将核心网下移纳入讨论范围,并推动 MEC ( Mobile Edge Computing, 移动边缘计算 ) 的标准化。

### 2.3.1 核心网架构的云化和下移

如图 4 所示,首先核心网从省网下沉到城域网,原先的 EPC ( Evolved Packet Core, 演进型分组核心网 ) 拆分成 New Core 和 MEC 两部分。其中 New Core 将云化部署在城域核心的大型数据中心,MEC 将部署在城域汇聚或更低的位置中小型数据中心。由此,New Core 和 MEC 之间的云化互联,需要承载网提供灵活的 Mesh 化 DCI ( Data Center Interconnect, 数据中心互联 ) 网络进行适配。

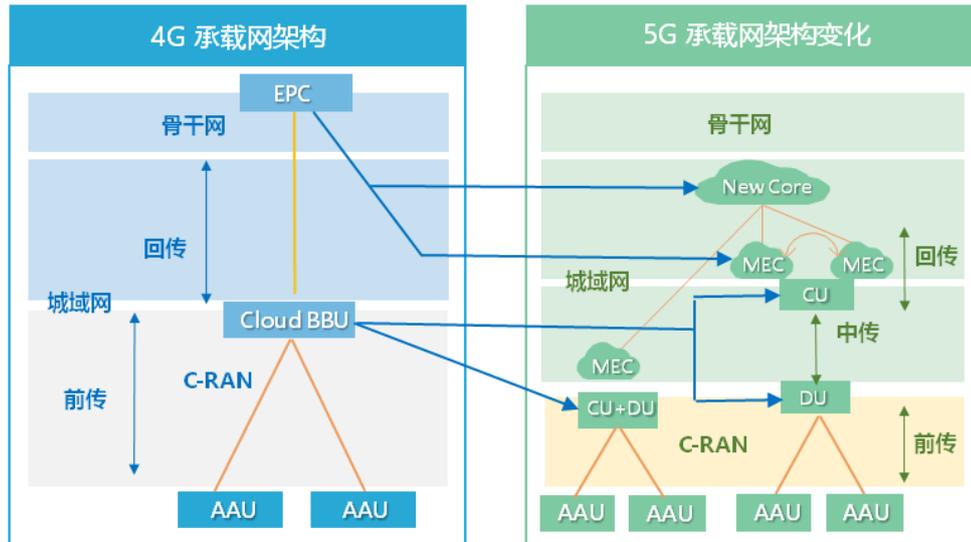


图 4 5G 核心网架构演进对承载网架构影响示意图

通过 EPC 拆分，可以将 MEC 部署在更靠近用户的边缘数据中心，同时核心 DC 所承担的部分计算、内容存储功能也相应地下沉到网络边缘，由边缘 DC 承担，并带来以下几点好处：

- 1) MEC 分布部署有利于内容下移，将 CDN (Content Delivery Network, 内容分发网络) 部署在 MEC 位置，提升 UE 访问内容的效率和体验，并减少上层网络的流量压力。
- 2) MEC 间可以就近进行资源获取、业务处理的协同交互以及容灾备份，时延低，带宽更容易获取，比传统通过上层核心网 DC 流量迂回更加高效便捷。
- 3) MEC 和 New Core 间的云化连接将实现资源池化，有利于资源负载均衡、灵活扩容。同时，云化后计算资源集中，节约大量接入设备单独运算所消耗的能耗，降低成本。
- 4) MEC 之间、MEC 和 New Core 之间的全云化连接，有利于增强部署的灵活性，可以有效应对未来对时延和带宽要求的不确定性，如突发流量造成的网络堵塞等，同时可实现多种接入方式和不同制式的互通，减少传统方式下各种业务和接入方式的协同复杂度。

未来随着核心网下移和云，MEC 将分担更多的核心网流量和运算能力，其数量会增加；而不同业务可能回传归属到不同的云，因此需要承载网提供不同业务通过 CU 归属到不同 MEC 的路由转发能力。而原来基站与每个 EPC 建立的连接也演进为 CU 到云 (MEC) 以及云到云 (MEC 到 New Core) 的连接关系。

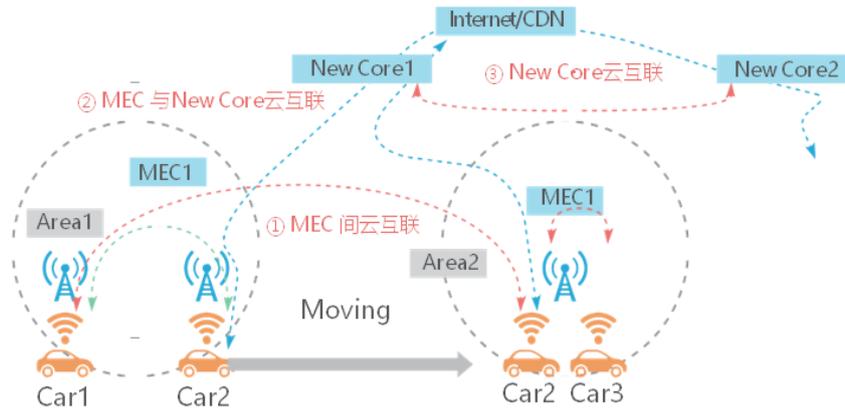


图 5 5G 核心网三种云互联示意图

图 5所示为5G核心网云互联的三种类别，包括：

- ( 1 ) MEC间互联：包括终端移动性所引起的MEC交互流量、UE所属MEC发生变化但V2X等应用保持不切换而产生的与原MEC交互的流量、用户到用户的MEC直通流量，等。
- ( 2 ) MEC与New Core的互联：包括MEC未匹配业务与New Core的交互流量、New Core和MEC控制面交互的流量、MEC的边缘CDN回源流量，等。
- ( 3 ) New Core间的互联：体现为核心云DC之间的互联流量的一部分。

### 2.3.2 核心网云化数据中心的互联

基于上述 MEC、NewCore 间的网络互联需求，核心网下移将形成两层云互联网络，包括：New Core 间及 New Core 与 MEC 间形成的核心云互联网，以及 MEC 间形成的边缘云互联网。其中边缘的中小型数据中心将承担边缘云计算、CDN 等功能，如图 6 所示。

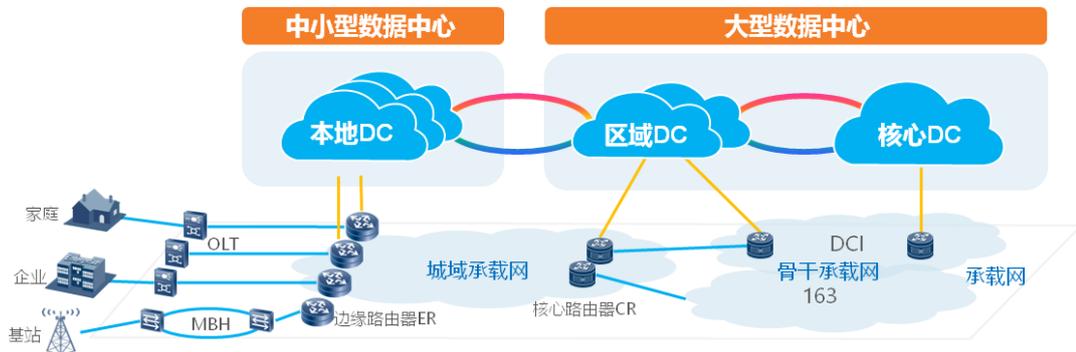


图 6 5G 时代下的云数据中心网络架构图

作为New Core核心云网络的载体，大型数据中心需满足海量数据的存储、交换和计算的需求，构成数据中心网络的骨干核心。承载网需要提供超大的带宽（出口带宽几百G到T级别）、极低的时延以及完善的保护恢复能力。

作为MEC边缘云网络的载体,中小型数据中心将承接大量本地化业务计算需求,接入类型多样化,并具备针对不同颗粒灵活调配的功能。中小型数据中心围绕大型数据中心周围,作为CDN站点贴近用户降低时延、提高用户体验。这样的结构大幅缩短了传输路径,对于视频服务、工业自动化、车联网等实时性要求极高的应用尤其重要。

## 2.4 5G 承载网需求分析

### 2.4.1 大带宽需求

带宽无疑是 5G 承载的第一关键指标,5G 频谱将新增 Sub6G 及超高频两个频段。Sub6G 频段即 3.4GHz~3.6GHz,可提供 100~200 MHz 连续频谱,6GHz 以上超高频段的频谱资源更加丰富,可用资源一般可达连续 800MHz。因此,更高频段、更宽频谱和新空口技术使得 5G 基站带宽需求大幅提升,预计将达到 LTE 的 10 倍以上。表 1 为典型的 5G 单个 S111 基站的带宽需求估算:

表 1 5G 基站带宽需求估算

关键指标	前传	中传&回传(峰值/均值)
5G 早期站型: Sub6G/100MHz	3*25Gbps	5Gbps/3Gbps
5G 成熟期站型: 超高频/800MHz	3*25Gbps	20Gbps/9.6Gbps

以一个大型城域网为例,5G 基站数量 12000 个,带宽收敛比取 6:1。核心层的带宽需求在初期就将超过 6T,成熟期将超过 17T。因此,在 5G 传送承载网的接入、汇聚层需要引入 25G/50G 速率接口,而核心层则需要引入 100G 及以上速率的接口。

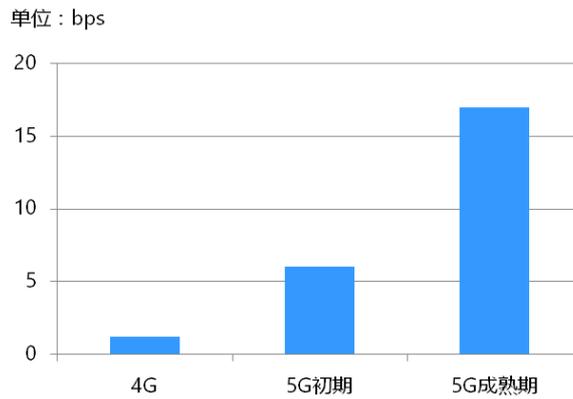


图 7 5G 网络带宽增长趋势图

## 2.4.2 低时延需求

5G 承载的第二关键需求是提供稳定可保证的低时延，3GPP 等相关标准组织关于 5G 时延的相关技术指标如表 2 所示。

表 2 5G 关键时延指标

指标类型	时延指标	来源
移动终端-CU ( eMBB )	4ms	3GPP TR38.913
移动终端-CU ( uRLLC )	0.5ms	3GPP TR38.913
eV2X ( enhanced Vehicle to Everything )	3~10ms	3GPP TR38.913
前传时延 ( AAU-DU )	100us	eCPRI

不同的时延指标要求，将导致 5G RAN 组网架构的不同，从而对承载网的架构产生影响。如为了满足 uRLLC 应用场景对超低时延的需求，倾向于采用 CU/DU 合设的组网架构，则承载网只有前传和回传两部分，省去中传部分时延。

同时，为了满足 5G 低时延的需求，光传送网需要对设备时延和组网架构进行进一步的优化。

- 1) 在设备时延方面：可以考虑采用更大的时隙（如从 5Gbps 增加到 25Gbps），减少复用层级、减小或取消缓存等措施来降低设备时延，达到 1us 量级甚至更低。
- 2) 在组网架构方面：可以考虑树形组网取代环形组网，降低时延。图 7 所示为一个典型的 8 点环。显然，环形组网由于输出节点逐一累积传输时延，因而

要求设备单节点处理时延必须大幅降低，且要保证不出现拥塞。而树形组网只要考虑源宿节点间的时延累积，可大力提升网络对苛刻时延的耐受性。

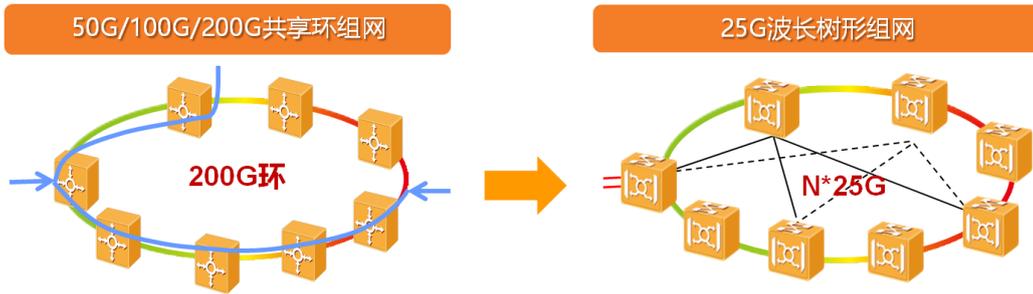


图 8 承载网从环形向树形组网演进示意图

### 2.4.3 高精度时间同步需求

5G承载的第三关键需求是高精度时钟，根据不同业务类别，提供不同的时钟精度。5G同步需求包括5G TDD (Time Division Duplex, 时分双工) 基本业务同步需求和协同业务同步需求两部分。

- 1) 从当前3GPP讨论来看，5G TDD基本业务同步需求估计会维持和4G TDD基本业务相同的同步精度 $\pm 1.5\mu\text{s}$ 。
- 2) 高精度的时钟同步有利于协同业务的增益，但是同步精度受限于无线空口帧长度，5G的空口帧长度1ms比4G空口帧10ms小10倍，从而给同步精度预留的指标也会缩小，具体指标尚待确定。

因此，5G承载需要更高精度的同步：5G承载网架构须支持时钟随业务一跳直达，减少中间节点时钟处理；单节点时钟精度也要满足ns精度要求；单纤双向传输技术有利于简化时钟部署，减少接收和发送方向不对称时钟补偿，是一种值得推广的时钟传输技术。

### 2.4.4 灵活组网的需求

目前 4G 网络的三层设备一般设置在城域回传网络的核心层，以成对的方式进行二层或三层桥接设置。对站间 X2 流量，其路径为接入-汇聚-核心桥接-汇聚-接入，X2 业务所经过的跳数多、距离远，时延往往较大。在对时延不敏感且流量占比不到 5% 的 4G 时代这种方式较为合理，对维护的要求也相对简单。但 5G 时代的一些应用对时延较为敏感，站间流量所占比例越来越高。同时由于 5G 阶段将采用超密集组网，站间协同比 4G 更为密切，站间流量比重也将超过 4G 时代的 X2 流量。下面对回传和中传网络的灵活组网需求分别进行分析。

#### (一) 回传网络

5G 网络的 CU 与核心网之间 ( S1 接口 ) 以及相邻 CU 之间 ( eX2 接口 ) 都有连接需求 , 其中 CU 之间的 eX2 接口流量主要包括站间 CA ( Carrier Aggregation , 载波聚合 ) 和 CoMP ( Coordinated Multipoint Transmission/Reception , 协作多点发送/接收 ) 流量 , 一般认为是 S1 流量的 10~20%。如果采用人工配置静态连接的方式 , 配置工作量会非常繁重 , 且灵活性差 , 因此回传网络需要支持 IP 寻址和转发功能。

另外 , 为了满足 uRLLC 应用场景对超低时延的需求 , 需要采用 CU/DU 合设的方式 , 这样承载网就只有前传和回传两部分了。此时 DU/CU 合设位置的承载网同样需要支持 IP 寻址和转发能力。

## (二) 中传网络

在 5G 网络部署初期 , DU 与 CU 归属关系相对固定 , 一般是一个 DU 固定归属到一个 CU , 因此中传网络可以不需要 IP 寻址和转发功能。但是未来考虑 CU 云化部署后 , 需要提供冗余保护、动态扩容和负载分担的能力 , 从而使得 DU 与 CU 之间的归属关系发生变化 , DU 需要灵活连接到两个或多个 CU 池。这样 DU 与 CU 之间的中传网络就需要支持 IP 寻址和转发功能。

如前所述 , 在 5G 中传和回传承载网络中 , 网络流量仍然以南北向流量为主 , 东西向流量为辅。并且不存在一个 DU/CU 会与其它所有 DU/CU 有东西向流量的应用场景 , 一个 DU/CU 只会与周边相邻小区的 DU/CU 有东西向流量 , 因此业务流向相对简单和稳定 , 承载网只需要提供简化的 IP 寻址和转发功能即可。

### 2.4.5 网络切片需求

5G 网络有 3 大类业务 : eMBB、uRLLC 和 mMTC。不同应用场景对网络要求差异明显 , 如时延、峰值速率、QoS(Quality of Service , 服务质量)等要求都不一样。为了更好地支持不同的应用 , 5G 将支持网络切片能力 , 每个网络切片将拥有自己独立的网络资源和管控能力 , 如图 9 所示。另一方面 , 可以将物理网络按不同租户 ( 如虚拟运营商 ) 需求进行切片 , 形成多个并行的虚拟网络。

5G 无线网络需要核心网到 UE 的端到端网络切片 , 减少业务 ( 切片 ) 间相互影响。因此 5G 承载网络也需要有相应的技术方案 , 满足不同 5G 网络切片的差异化承载需求。

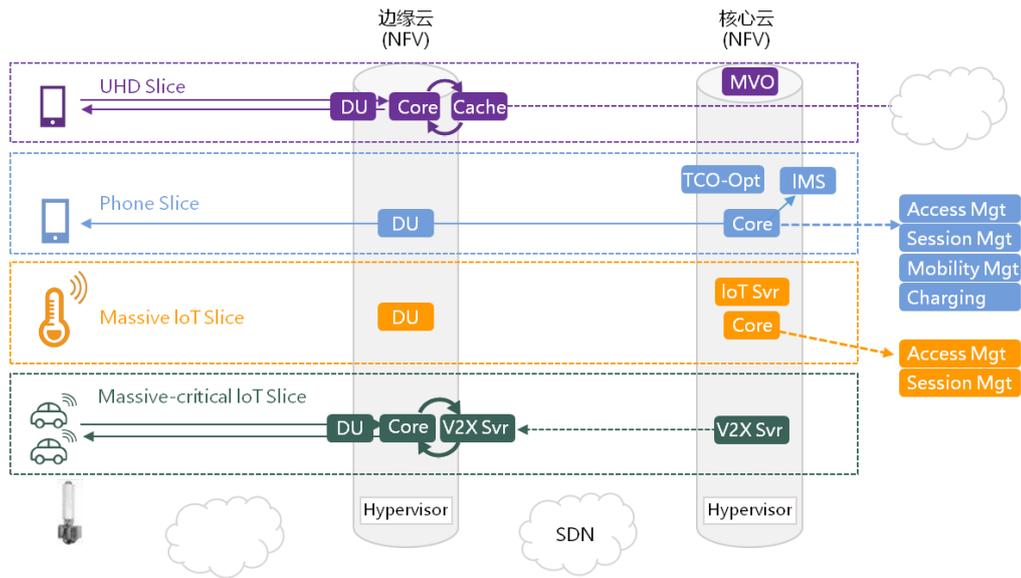


图 9 5G 网络切片示意图

前传网络对于 5G 采用的 eCPRI 信号一般采用透明传送的处理方式，不需感知传送的具体内容，因此对不同的 5G 网络切片不需要进行特殊处理。中传/回传承载网则需要考虑如何满足不同 5G 网络切片在带宽、时延和组网灵活性方面的不同需求，提供面向 5G 网络切片的承载方案。

### 3 面向 5G 的光传送网承载方案

5G 承载网络由前传、中传、回传三部分组成。5G 承载网的不同部分，均以南北向流量为主，东西向流量占比较少。5G 业务存在大带宽、低时延的需求，光传送网提供的大带宽、低时延、一跳直达的承载能力，具备天然优势。

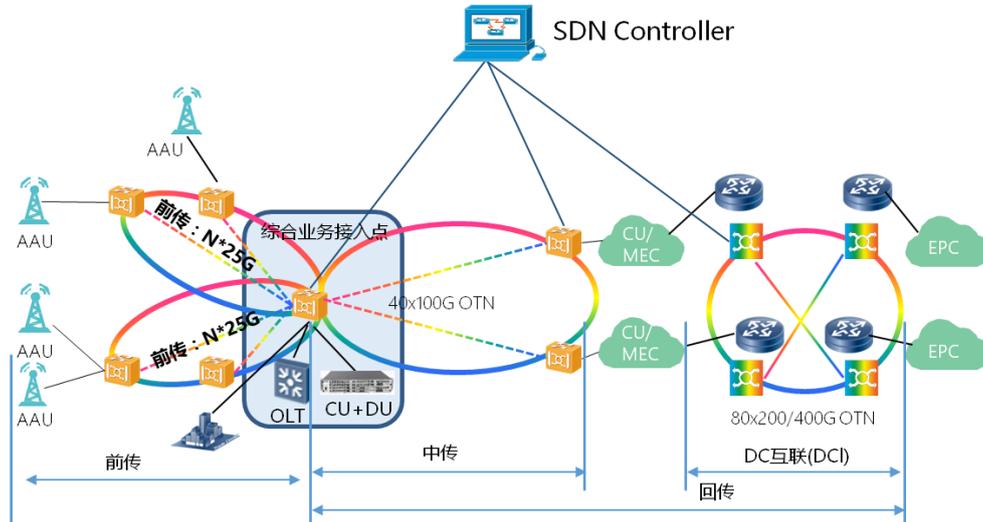


图 10 基于光传送网的 5G 端到端承载网示意图

在综合业务接入点 CO ( Central Office , 中心局 ) 可以部署无线集中式设备( DU 或 CU+DU )。CO 节点承载设备可以将前传流量汇聚到此节点无线设备，也可以将中传/回传业务上传到上层承载设备。CO 节点作为综合接入节点，要求支持丰富的接入业务类型，同时对带宽和时延有很高要求。分组增强型 OTN 设备可以很好的兼顾上述需求。

下面分别介绍基于光传送网的 5G 前传、中传、回传承载方案。

#### 3.1 5G 前传承载方案

5G 初期主要是 eMBB 业务的应用，基本沿用 4G 时代一个站点带 3 个 AAU 的方式。5G 成熟期将根据实际业务流量的需求，既有低频站点基础上增加高频 AAU 的方案、也有扩展低频 AAU、新建高频基站等方案，扩展网络容量。

##### 3.1.1 5G 前传典型组网场景

根据 DU 部署位置，5G 前传有大集中和小集中两种典型场景：

( 1 ) 小集中：DU 部署位置较低，与 4G 宏站 BBU 部署位置基本一致，此时与 DU 相连的 5G AAU 数量一般小于 30 个 ( < 10 个宏站 )。

(2) 大集中：DU部署位置较高，位于综合接入点机房，此场景与DU相连的5G AAU数量一般大于30个 (>10个宏站)。进一步依据光纤的资源及拓扑分布以及网络需求（保护、管理）等，又可以将大集中的场景再细分为P2P大集中和环网大集中，如图15所示。

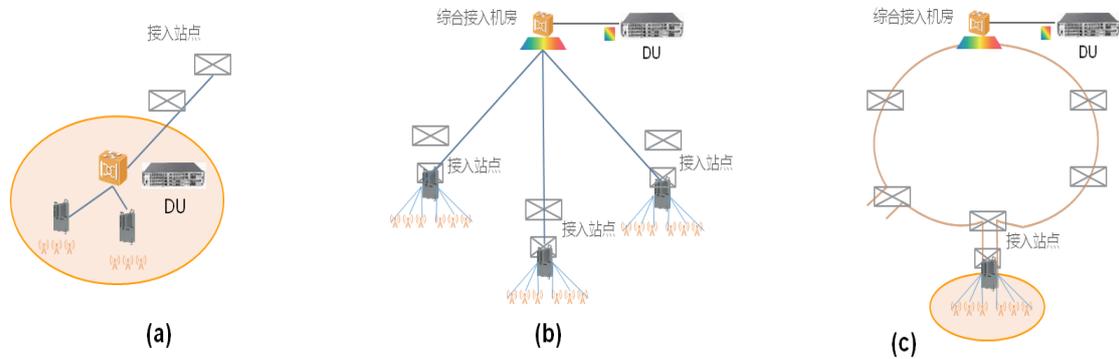


图 11 5G 前传的 3 种不同场景：(a)小集中(b)P2P 大集中(c)环网大集中

图15(a)所示为小集中的场景，其特点是导入端可用光纤数目不少于AAU的数目，DU放置在某个站点机房内，和该站点机房附近的AAU通过导入光纤实现连接。

图15(b)所示为P2P ( Point to Point , P2P ) 大集中的场景，其特点是接入骨干层的光纤拓扑为树型结构，适合采用点到点WDM组网。DU池放置在综合接入机房，便于对DU池进行集中维护。

图15(c)所示为环网大集中的场景，其特点是接入骨干层的光纤拓扑为环形结构，适合采用WDM环形组网，从而进一步节省光纤资源。

### 3.1.2 光纤直连方案

图 12示出的是光纤直连的方案，即BBU与每个AAU的端口全部采用光纤点到点直连组网。

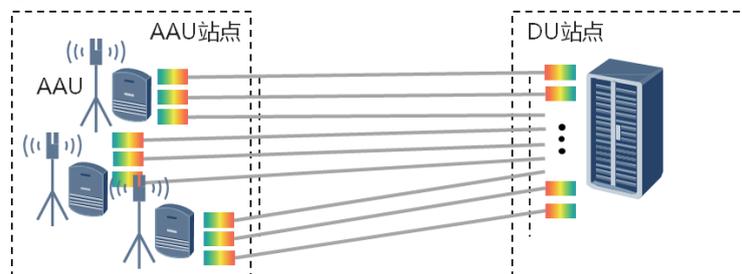


图 12 光纤直连方案架构图

光纤直连方案实现简单，但最大的问题就是光纤资源占用很多。5G时代，随着前传带宽和基站数量、载频数量的急剧增加，光纤直驱方案对光纤的占用量

不容忽视。因此，光直驱方案适用于光纤资源非常丰富的区域，在光纤资源紧张的地区，可以采用设备承载方案克服光纤资源紧缺的问题。

### 3.1.3 无源 WDM 方案

无源波分方案采用波分复用（WDM）技术，将彩光模块安装在无线设备（AAU 和DU）上，通过无源的合、分波板卡或设备完成WDM功能，利用一对甚至一根光纤可以提供多个AAU到DU之间的连接，如图 13所示。

根据采用的波长属性，无源波分方案可以进一步区分为无源粗波分（CWDM，Coarse Wavelength Division Multiplexing）方案和无源密集波分（DWDM，Dense Wavelength Division Multiplexing）方案。

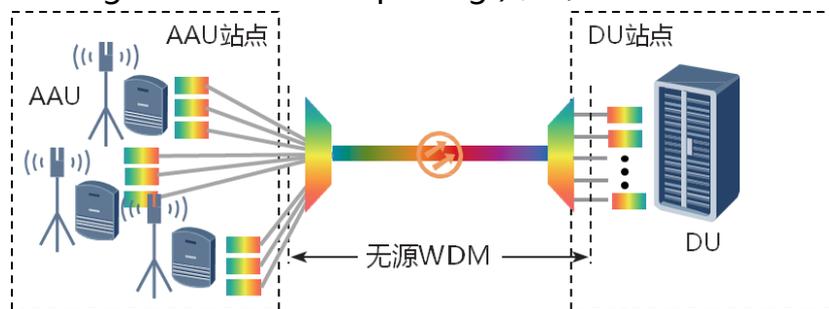


图 13 无源 WDM 方案架构图

相比光纤直驱方案，无源波分方案显而易见的好处是节省了光纤，但是也存在一定的局限性，包括：

#### （1）波长通道数受限

虽然粗波分复用（CWDM）技术标准定义了16个通道，但考虑到色散问题，用于5G前传的无源CWDM方案只能利用了前几个通道（通常为1271nm~1371nm），波长数量有限，可扩展性较差。

#### （2）波长规划复杂

WDM 方案需要每个 AAU 使用不同波长，因此前期需要做好波长规划和管理。可调谐彩光光模块成本较高，但若采用固定波长的彩光光模块，则对波长规划、光模块的管理、备品备件等等带来一系列工作量。

#### （3）运维困难，不易管理

彩光光模块的使用可能导致安装和维护界面不够清晰，缺少 OAM（Operation, Administration, and Maintenance，运行管理和维护）机制和保护机制。由于无法监测误码，无法在线路性能劣化时执行倒换。

#### （4）故障定位困难

无源 WDM 方案出了故障后，难以具体定界出问题的责任方。图 14 所示为无源波分方案的故障定位示意图，可见其故障定位的复杂度。



图 14 无源 WDM 方案故障定位示意图

相比无源 CWDM 方案，无源 DWDM 方案显然可以提供更多的波长。但是更多的波长也意味着更高的波长规划和管控复杂度，通常需要可调激光器，带来更高的成本。目前支持 25Gb/s 速率的无源 DWDM 光模块还有待成熟。

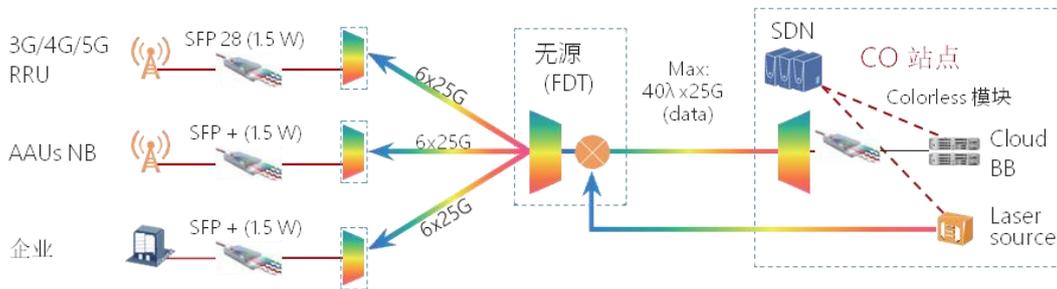


图 15 光源集中无源 DWDM 方案示意图

为了适应 5G 承载的需求，基于可调谐波长的无源 DWDM 方案是一种可行方案，另外基于远端集中光源的新型无源 DWDM 方案也成为业界研究的一个热点，其原理如图 15 所示。该方案在降低成本、特别是接入侧成本和提高性能和维护便利性方面具有一定的优势：

(1) AAU/RRU 侧光模块无源化：AAU/RRU 侧插入的光模块不含光源，因此所有光模块完全一样，不区分波长，称之为无色化或无源化，极大降低了成本，提高了可靠性和维护便利性。

(2) 光源集中部署：在 CO 节点设置集中光源，并向各个无源模块节点输送直流光信号（不带调制），无源光模块通过接收来自集中光源的连续光波并加以调制成为信号光后返回 CO 节点实现上行。

因此，基于集中光源的下一代无源方案，不但继承了传统无源方案节省光纤、成本低、方便插入无线设备的优势，还补齐了其可靠性和运维管理上的短板，成为 5G 前传承载领域有竞争力的一种方案。

对于无源 WDM 方案，同样建议线路侧采用 OTN 封装，基于 OTN 的 OAM 能力实现有效的维护管理和故障定位。

### 3.1.4 有源 WDM/OTN 方案

有源波分方案在AAU站点和DU机房配置城域接入型WDM/OTN设备,多个前传信号通过WDM技术共纤光纤资源,通过OTN开销实现管理和保护,提供质量保证。

接入型WDM/OTN设备与无线设备采用标准灰光接口对接,WDM/OTN设备内部完成OTN承载、端口汇聚、彩光拉远等功能。相比无源波分方案,有源波分/OTN方案有更加自由的组网方式,可以支持点对点及组环网两种场景:

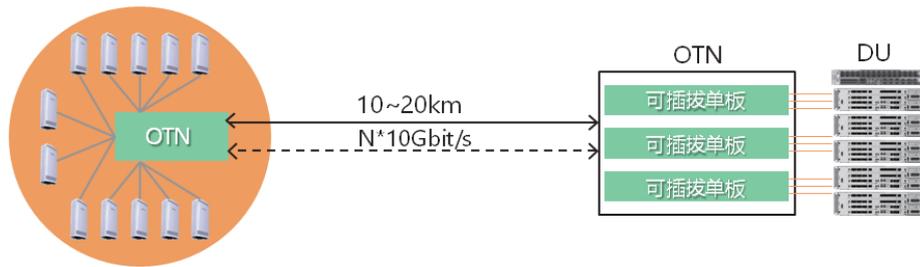


图 16 有源 WDM 方案点到点架构图

图 16 所示为有源方案点到点组网架构图,同样可以支持单纤单向、单纤双向等传输模式,与无源比分方案相比,其光纤资源消耗相同。

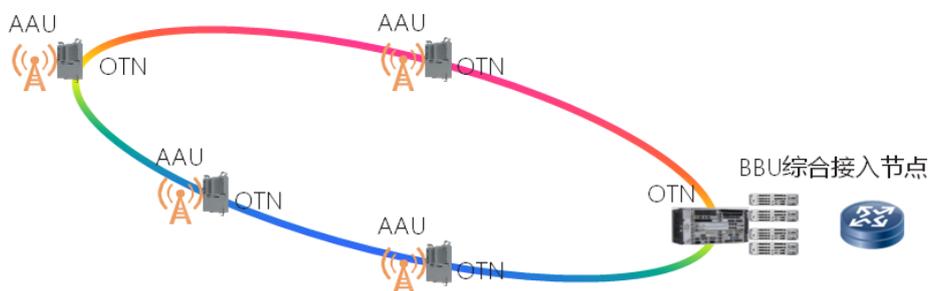


图 17 有源 WDM 方案环网架构图

图 17 所示为有源方案组环网的架构图。除了节约光纤意外,有源 WDM/OTN 方案可以进一步提供环网保护等功能,提高网络可靠性和资源利用率。此外,基于有源波分方案的 OTN 特性,还可以提供如下功能:

- 1) 通过有源设备天然的汇聚功能,满足大量 AAU 的汇聚组网需求。
- 2) 拥有高效完善的 OAM 管理,保障性能监控、告警上报和设备管理等网络功能,且维护界面清晰,提高前传网络的可管理性和可运维性。
- 3) 提供保护和自动倒换机制,实现方式包括光层保护(如 OLP, Optical Line Protection, 光线路保护)和电层保护(如 ODUk SNCP, Subnetwork Connection Protection, 子网连接保护)等,通过不同管道的主一备光纤路由,实现前传链路的实时备份、容错容灾。

- 4) 具有灵活的设备形态，适配DU集中部署后AAU设备形态和安装方式的多样化，包括室内型和室外型。对于室外型，如典型的FO(Full Outdoor，全室外)解决方案能够实现挂塔、抱杆和挂墙等多种安装方式，且能满足室外防护(防水、防尘、防雷等)和工作环境(更宽的工作温度范围等)要求。
- 5) 支持固网移动融合承载，具备综合业务接入能力，包括固定宽带和专线业务。

当前有源WDM/OTN方案成本相对较高，未来可以通过采用非相干超频技术或低成本可插拔光模块来降低成本。同时，为了满足5G前传低成本和低时延的需求，还需要对OTN技术进行简化。

### 3.1.5 5G 前传承载方案小结

5G 时代，考虑到基站密度的增加和潜在的多频点组网方案，光纤直驱需要消耗大量的光纤，某些光纤资源紧张的地区难以满足光纤需求，需要设备承载方案作为补充。针对 5G 前传的 3 个组网场景，可选择的承载技术方案建议如表 3 所示：

表 3 前传场景与相应的承载方案

组网场景	小集中	P2P 大集中	环网大集中
适用方案	有源/无源 CWDM/DWDM	有源/无源 DWDM	有源 DWDM

无论是小集中还是P2P大集中，有源方案和下一代DWDM无源方案都能满足，需要根据网络光纤、机房资源和需要达到的无线业务优化效果综合考虑，选择性价比最佳的解决方案。对于环网大集中，有源DWDM方案具有明显的比较优势，在节约光纤的同时还可以提供环网保护等功能。

## 3.2 5G 中传/回传承载方案

根据前面的需求分析，5G 中传和回传对于承载网在带宽、组网灵活性、网络切片等方面需求基本一致，因此可以采用统一的承载方案。

### 3.2.1 中传/回传承载网络架构

城域 OTN 网络架构包括骨干层、汇聚层和接入层，如图 18 所示。城域 OTN 网络架构与 5G 中传/回传的承载需求是匹配的，其中骨干层/汇聚层与 5G

回传网络对应，接入层则与中传/前传对应。近几年随着 OTN 已经通过引入以太网、MPLS-TP ( Multiprotocol Label Switching Traffic Policing , 多协议标签交换流量监控 ) 等分组交换和处理能力，演进到了分组增强型 OTN，可以很好地匹配 5G IP 化承载需求。

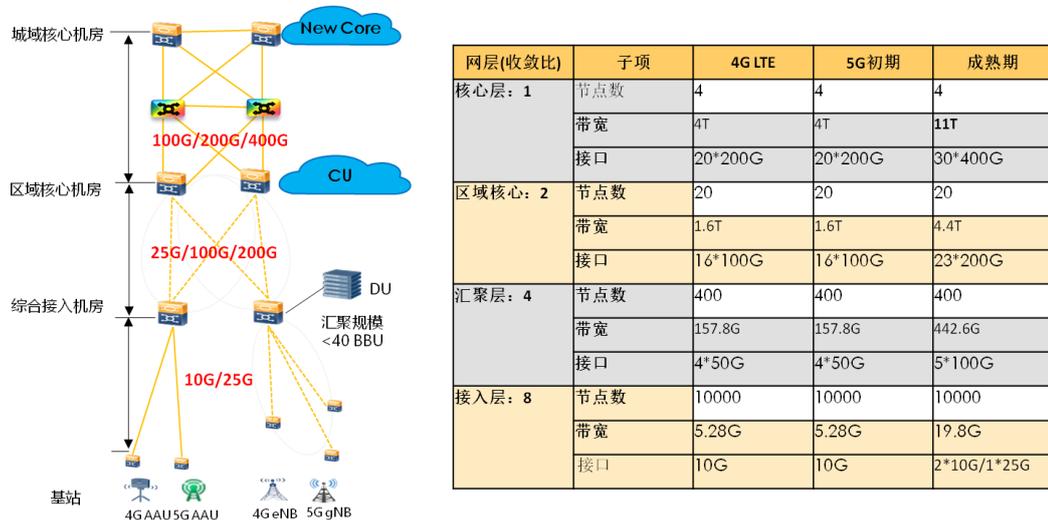


图 18 城域 OTN 网络架构匹配 5G 承载需求示意图

基于 OTN 的 5G 中传/回传承载方案可以发挥分组增强型 OTN 强大高效的帧处理能力，通过 FPGA ( Field Programmable Gate Array , 现场可编程门阵列 )、专用芯片、DSP ( Digital Signal Processor , 数字信号处理 ) 等专用硬件完成快速成帧、压缩解压和映射功能，有效实现 DU 传输连接中对空口 MAC/PHY 等时延要求极其敏感的功能。同时，对于 CU，一方面分组增强型 OTN 构建了 CU、DU 间超大带宽、超低时延的连接，有效实现 PDCP 处理的实时、高效与可靠，支持快速的信令接入。而分组增强型 OTN 集成的 WDM 能力可以实现到郊县的长距传输，并按需增加传输链路的带宽容量。

为了满足中传/回传在灵活组网方面的需求，需要考虑在分组增强型 OTN 已经支持 MPLS-TP 技术的基础上，增强路由转发功能。目前考虑需要支持的基本路由转发功能包括 IP 层的报文处理和转发、IP QoS、OSPF/IS-IS ( Open Shortest Path First , 开放式最短路径优先 /Intermediate system to Intermediate system , 中间系统-中间系统 ) 域内路由协议、BGP ( Border Gateway Protocol , 边界网关协议 )、SR(Segment Routing,分段路由)等，以及 Ping 和 IPFPM ( IP Flow Performance Measurement , IP 流性能测量 ) 等 OAM 协议。OTN 节点之间可以根据业务需求配置 IP/MPLS-TP over ODUk 通道，实现一跳直达从而保证 5G 业务的低时延和大带宽需求。

基于 OTN 的 5G 中传/回传承载方案可以细分为以下两种组网方式：

### (一) 分组增强型 OTN+IPRAN 方案

在该方案中，利用增强路由转发功能的分组增强型OTN设备组建中传网络，中间的OTN设备可根据需要配置为ODUk穿通模式，保证5G承载对低时延和带宽保障的需求。在回传部分，则继续沿用现有的IPRAN (IP Radio Access Network, IP化无线接入网)承载架构,如图 19所示。分组增强型OTN与IP RAN之间通过BGP协议实现路由信息的交换。

为了满足5G承载对大容量和网络切片的承载需求，IPRAN需要引入25GE、50GE、100GE等高速接口技术，并考虑采用FlexE (Flexible Ethernet, 灵活以太网)等新型接口技术实现物理隔离，提供更好的承载质量保障。

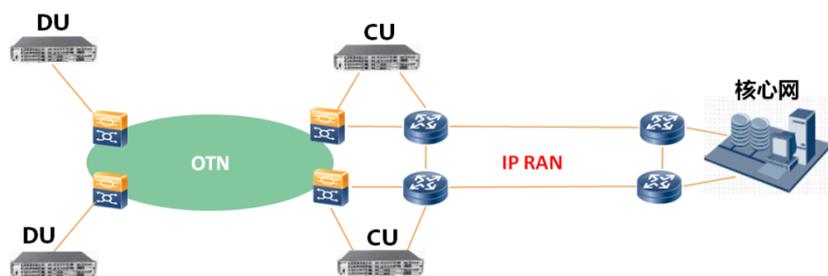


图 19 分组增强型 OTN+IPRAN 组网方案示意图

### (二) 端到端分组增强型 OTN 方案

该方案全程采用增强路由转发功能的分组增强型OTN设备实现，如图 20所示。与分组增强型OTN+IPRAN方案相比，该方案可以避免分组增强型OTN与IPRAN的互联互通和跨专业协调的问题，从而更好地发挥分组增强型OTN强大的组网能力和端到端的维护管理能力。

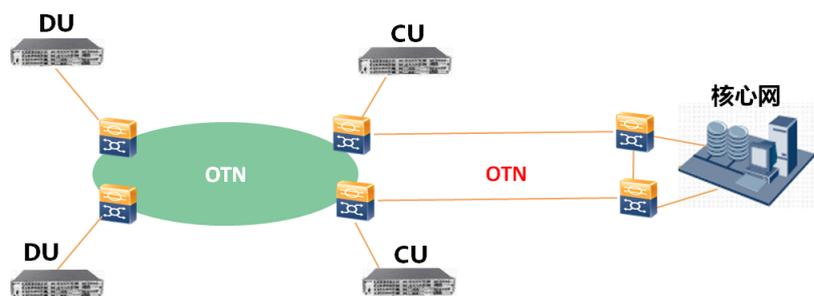


图 20 端到端分组增强型 OTN 方案示意图

## 3.2.2 网络切片承载方案

从本质上来看，网络切片就是对网络资源的划分。而光传送网具有天然的网络切片承载能力，每种 5G 网络切片可以由独立的光波长/ODU 通道来承载，提

供严格的业务隔离和服务质量保障。具体到 5G 网络切片的承载需求，分组增强型 OTN 可以提供一层和二层的网络切片承载方案。

### (一) 基于一层网络切片承载方案

主要基于 ODUflex 进行网络资源划分，可以将不同的 ODUflex 带宽通过通道标识划分来承载不同的 5G 网络切片，并可根据业务流量的变化动态无损调整 ODUflex 的带宽。也可以通过物理端口进行承载资源的划分，需要将物理端口对应的所有电层链路都进行标签隔离处理，实现较简单，粒度较大。

### (二) 基于二层网络切片承载方案

该方案通过 MPLS-TP 标签或以太网 VLAN ID ( Virtual Local Area Network, 虚拟局域网 ) 划分隔离二层端口带宽资源，即逻辑隔离。采用不同的逻辑通道承载不同的 5G 网络切片，同时通过 QoS 控制策略来满足不同网络切片的带宽、时延和丢包率等性能需求。

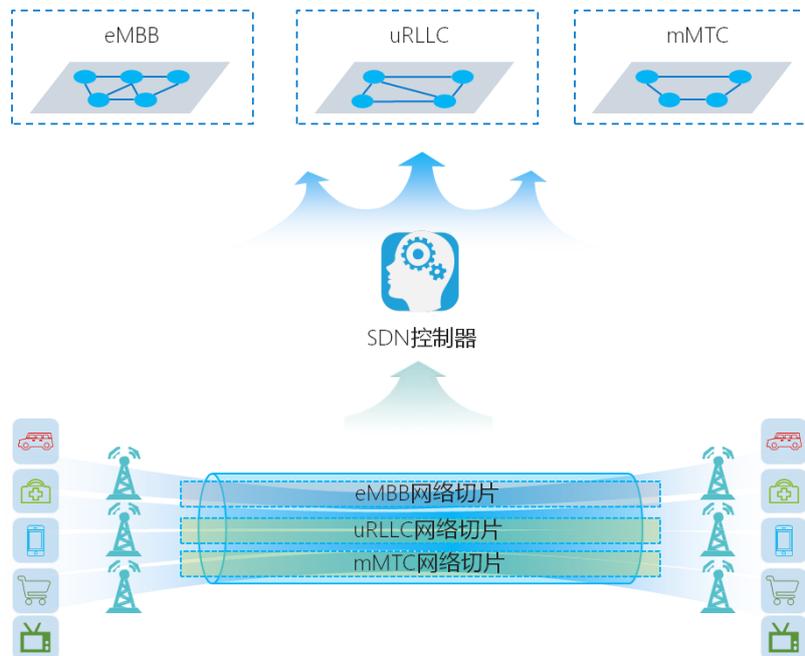


图 21 网络切片承载方案示意图

其中一层网络切片承载方案的切片间业务属于物理隔离，不会相互影响。二层网络切片承载方案的切片间业务是逻辑隔离，不同切片间业务可以共享物理带宽。可根据 5G 不同网络切片的性能需求选择不同的承载方案。

OTN 网络切片承载方案可以结合 SDN ( Software-defined Networking, 软件定义网络 ) 智能控制技术，实现对网络资源的端到端快速配置和管理，提高网络资源使用效率，提升业务开通效率和网络维护效率。并通过开放北向接口，采用如 VTNS ( Virtual Transport Network Service, 虚拟传送网业务 ) 向上层 5G 网络提供对光传送网资源的管控能力，如图 21 所示。

### 3.3 5G 云化数据中心互联方案

如前所述，5G 时代的核心网下移并向云化架构转变，由此产生云化数据中心互联的需求，包括：(1) 核心大型数据中心互联，对应 5G 核心网 New Core 间及 New Core 与 MEC 间的连接；(2) 边缘中小型数据中心互联，本地 DC 互联承担 MEC、CDN 等功能。

#### 3.3.1 大型数据中心互联方案

大型数据中心作为 5G 承载网中 New Core 核心网的重要组成部分，承担着海量数据长距离的交互功能，需要高可靠长距离传输、分钟级业务开通能力以及大容量波长级互联。因此需要采用高纬度 ROADM 进行 Mesh 化组网、光层一跳直达，减少中间大容量业务电穿通端口成本。同时，还需要结合 OTN 技术以及 100G、200G、400G 高速相干通信技术，实现核心 DC 之间的大容量高速互联，并兼容各种颗粒灵活调度能力。

在网络安全性的保障上采用光层、电层双重保护，使保护效果与保护资源配置最优化：光层 WSON (Wavelength Switched Optical Network, 波长交换光网络) 通过 ROADM 在现有光层路径实现重路由，抵抗多次断纤，无需额外单板备份；电层 ASON (Automatically Switched Optical Network, 自动交换光网络) 通过 OTN 电交叉备份能够迅速倒换保护路径，保护时间 < 50ms。

#### 3.3.2 中小型数据中心互联方案

随着 5G 发展，中小型数据中心互联方案可考虑按照以下 3 个阶段演进：

(1) 5G 初期，边缘互联流量较小，但接入业务种类繁多，颗粒度多样化。可充分利用现有的分组增强型 OTN 网络提供的低时延、高可靠互联通道，使用 ODUk 级别的互联方式即可。同时，分组增强型 OTN 能够很好地融合 OTN 硬性管道和分组特性，满足边缘 DC 接入业务多样化的要求。

(2) 5G 中期，本地业务流量逐渐增大，需要在分组增强型 OTN 互联的基础上，结合光层 ROADM 进行边缘 DC 之间 Mesh 互联。但由于链接维度数量较小，适合采用低维度 ROADM，如 4 维或 9 维。考虑到边缘计算的规模和下移成本，此时 DCI 网络分为两层，核心 DCI 层与边缘 DCI 层，两层之间存在一定数量的连接。

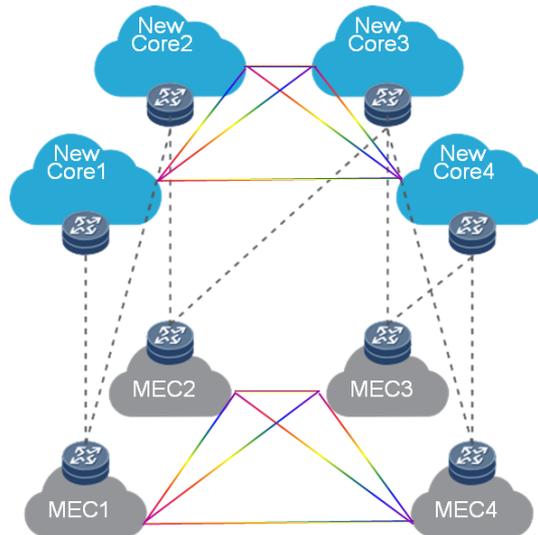


图 22 5G 中期中小型 DC 互联方案示意图

(3) 5G后期，网络数据流量巨大，需要在全网范围内进行业务调度。此时需要在全网范围部署大量的高纬度ROADM（如20维，甚至采用32维的下一代ROADM技术）实现边缘DC、核心DC之间全光连接，以满足业务的低时延需求。同时采用OTN实现小颗粒业务的汇聚和交换。

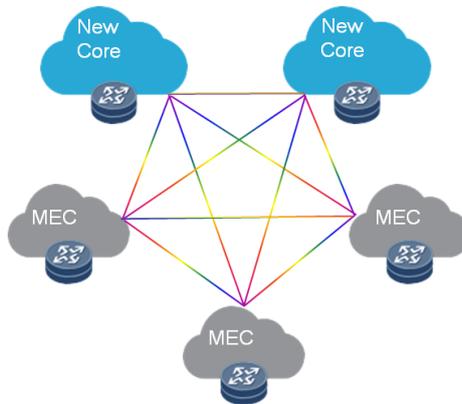


图 23 5G 后期中小型 DC 互联方案示意图

### 3.4 5G 光传送网承载方案小结

5G 承载网是一个移动/宽带/云专线架构趋同的综合承载网，需要具备数10G~100G 承载和 1~2 倍站点带宽演进、极低时延、高精度时钟架构基础的能力，支持移动&专线&宽带综合承载灵活演进能力，同时末梢设备具备即插即用部署能力。5G 承载网向综合承载的网络架构模型总结如下：

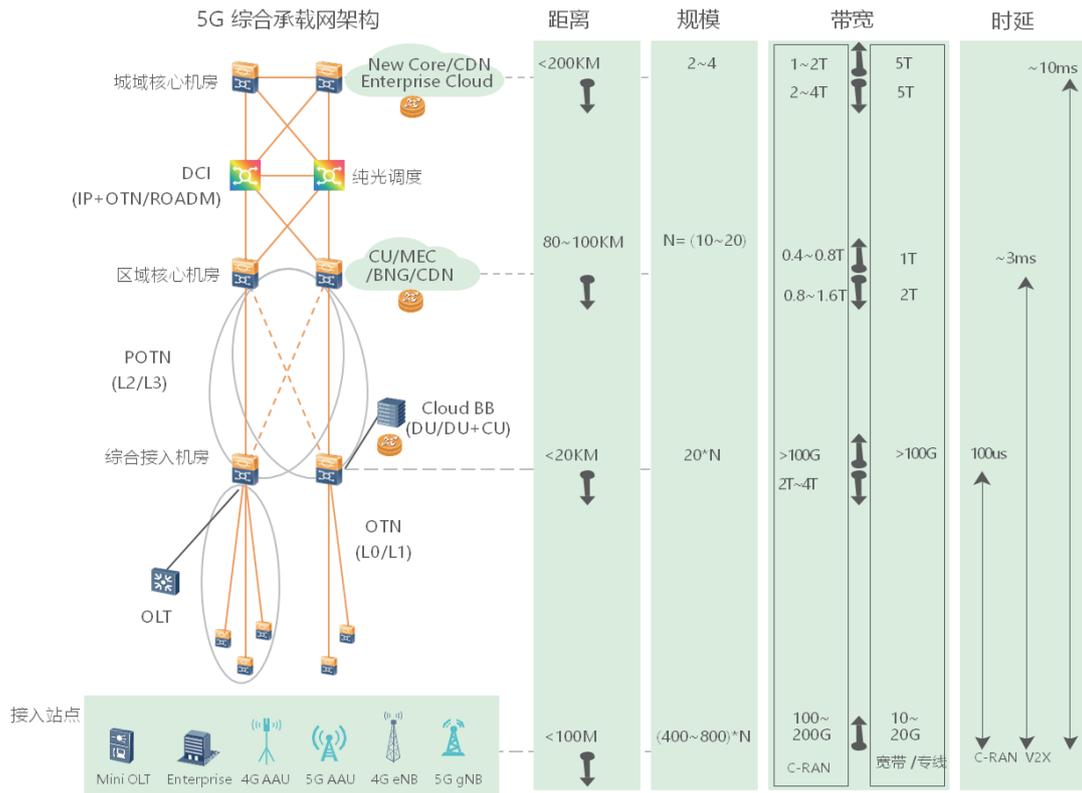


图 24 5G 综合承载网架构示意图

- 1) 5G 无线&核心网功能节点位置与当前宽带承载趋同：5G New core 与 FBB 的 CR 位置相当，MEC/MCE 与 BNG（Broadband Network Gateway，宽带网络业务网关）位置相当，Cloud BB 和 OLT 位置相当；
- 2) 云化架构特征趋同：BNG 云化与 MEC 同处一朵云，因此 CDN 的位置可以放到城域核心 CR 的位置或下沉到 BNG，原 CR CDN 调度功能由 DCI 取代，CDN 内容被移动/宽带共享，通过 DCI 互联网层实现内容同步，可以提升移动用户达到宽带用户的视频等业务体验（宽带视频客户多会触发 CDN 内容下移，移动客户主要视频 CDN 访问点在 New Core，通过融合架构可以让移动视频客户从 MEC 访问 CDN）。
- 3) 城域专线覆盖趋同：OTN 设备下沉到 OLT（Optical Line Terminal，光线路终端）、BBU 等综合业务接入机房后，通过光纤直驱、SDH（Synchronous Digital Hierarchy，数字同步体系）/CPE（Customer Premise Equipment，客户终端设备）/OTN 等末端小设备，接入最后 1~2 公里，提供大客户专线业务，支持业务快速开通、端到端 SDH/OTN 硬管道业务，构建超低时延精品城域专线网络。BNG 仍然部署在区域核心机房，后续逐渐虚拟云化部署；OLT 通常部署在综合接入机房，也有小型化 OLT 部署在用户小区。

- 4) 业界两种主流网络融合趋势，汇聚层以上都是综合承载：一种架构是汇聚（OLT/Cloud BB）以上综合承载，接入独立承载；另外一种架构是骨干和城域端到端综合承载。

## 4 5G 时代的光传送网关键技术演进

5G 开创了通信领域的新纪元，也给 OTN 承载网带来了新机遇。虽然依据网络承载功能的不同，将 5G 承载网分为前传、中传和回传三段不同架构。但无论何种架构，相对 4G 时代，网络对超大带宽、超低时延和超高灵活调度的需求都是莫大的技术挑战。因此，光传送网通过不断的技术创新，实现传输技术性能飞跃，来适应 5G 的网络承载需求。

### 4.1 低成本大带宽传输技术

5G 承载网的最大挑战是海量的带宽增长，而带宽的增长势必带来成本的增加，因此 5G 带宽传输技术的关键是降低每 bit、每公里的传输成本和功耗。依据传输距离不同，5G 低成本大带宽传输技术分为短距非相干技术和中长距低成本相干技术两大类。

#### 4.1.1 短距非相干技术

对于传输距离较短的场景（如 5G 前传，光纤传输距离小于 20km），基于低成本光器件和 DSP 算法的超频非相干技术成为重要趋势。此类技术通过频谱复用、多电平叠加、带宽补偿等 DSP 算法，利用较低波特率光电器件实现多倍（2 倍、4 倍或更高）传输带宽的增长，例如：

（1）DMT（Discrete Multi-Tone，离散多频音调制）技术：DMT 对频谱进行切割分成若干个子载波，据各个子载波的信噪比质量决定调制模式，从而最大程度的利用频谱资源。DMT 提速效果最大，应用比较成熟，基于 10 G 光模块能够实现 50G 信号传输。

（2）PAM4（Pulse Amplitude Modulation，四电平脉冲幅度调制）技术：传统 OOK 调制下，每个光信号只有高低两个电平状态，分别代表 0 和 1；PAM4 技术是一个多电平技术，每个光信号具有 4 种电平状态，可以分别代表 00、01、10 和 11，因此 PAM4 光信号携带的信息量是 OOK 信号的，从而将传输速率提高一倍。

#### 4.1.2 中长距低成本相干技术

对于更长的传输距离和更高的传输速率，例如中/回传网络 50/60 公里甚至上百公里的核心网 DCI 互联、200G/400G 以上带宽，相干技术是必须的，关键

在于如何实现低成本相干。基于硅光技术的低成本相干可插拔彩光模块，是目前的一个技术发展方向，包括如下特点：

(1) 低成本：采用硅光技术，利用成熟高效的 CMOS ( Complementary Metal Oxide Semiconductor, 互补金属氧化物半导体 ) 平台，实现光器件大规模集成，减少流程和工序，提升产能，使原先分立相干器件的总体成本下降。

(2) 相干通信：采用相干通信可以实现远距离通信，频谱效率高，支持多种速率可调节，如单波 100G、200G、400G。

(3) 可插拔模块：硅光模块采用单一材料实现光器件的多功能单元（除光源），消除不同材料界面晶格缺陷带来功率损耗；硅光由于折射率高，其器件本身比传统器件小，加之光子集成，硅光模块尺寸可以比传统分离器件小一个数量级；功耗降低和体积缩小，是的高密度的可插拔光模块的是一线，常见的封装方式有 CFP ( Centum Form-factor Pluggable, 封装可插拔 )、CFP2、CFP4、QSFP ( Quad Small Form-factor Pluggable, 四通道小型化封装可插拔 ) 等。

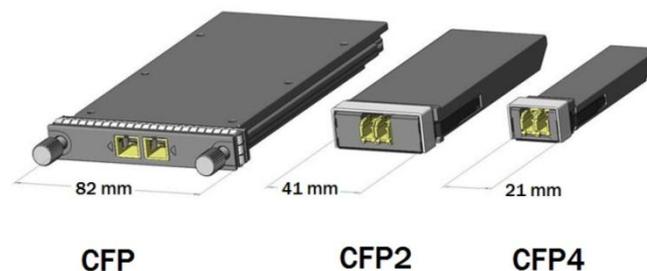


图 25 CFP、CFP2、CFP4 三种可插拔光模块

(4) DCO 和 ACO 模块：DCO 将光器件和 DSP 芯片一块封装在模块里，以数字信号输出，具有传输性能好，抗干扰能力强、集成度高、整体功耗低、易于统一管理维护的特点，其难点是较高的功耗限制了封装的大小。ACO 模块的 DSP 芯片放置在模块外面，以模拟信号输出，光模块功耗更低，可以实现更小的封装，但是模拟信号互联会带来性能劣化。

## 4.2 低时延传输与交换技术

超低时延是 5G 业务相对 4G 非常重要的一个性能提升，对承载网提出苛刻的要求。毋庸置疑，基于 ROADMs 的光层一跳直达是实现超低时延的最佳首选，但是只适用于波长级的大颗粒度传输与交换。而对于波长级别以下的中小颗粒度，如 1G/2.5G/10G/25G 等，主要还是通过优化 OTN 映射、封装效率来降低时延。

## 4.2.1 ROADM 全光组网调度技术

通过光层ROADM设备实现网络节点之间的光层直通，免去了中间不必要的光-电-光转换，可以大幅降低时延。

在技术实现上，基于WSS ( Wavelength Selective Switching , 波长选择开关 ) 技术的ROADM已经成为业界，如下图所示，这是一个典型CDC-ROADM ( Colorless , Directionless & Contentionless ROADM , 波长无关、方向无关、无阻塞ROADM ) 的技术实现方式，基于1xN WSS以及MCS ( Multi-cast Switching , 多路广播开关 ) 器件，通过各类WSS、耦合器、Splitter等组件支持最大20个维度方向上的任意信道上下波。

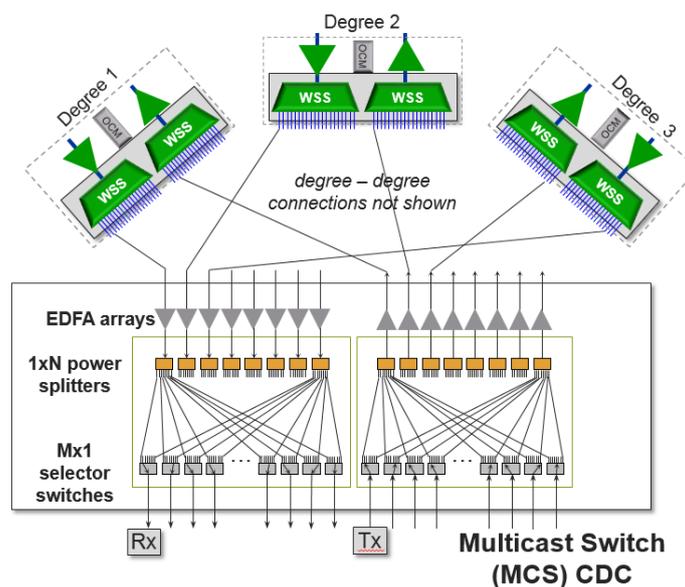


图 26 典型 CDC-ROADM 架构示意图

随着ROADM技术的持续演进，下一代ROADM将朝着更高维度、简化运维的方向发展，基于MCS技术的WSS由于分光比太大，需要采用光放大器阵列进行补偿，其未来演进受到限制，尤其是难以向更高维度发展。MxN WSS技术是一个重要的发展方向，相对于MCS，其优势包括：

- ( 1 ) MxN WSS具有波长选择性，能够大幅降低分光损耗，减少光放大器需求，从而降低功耗，提高可靠性，能够支持更多的维度方向（例如32维）；
- ( 2 ) MxN WSS具有更紧凑的结构，有利于设备小型化。

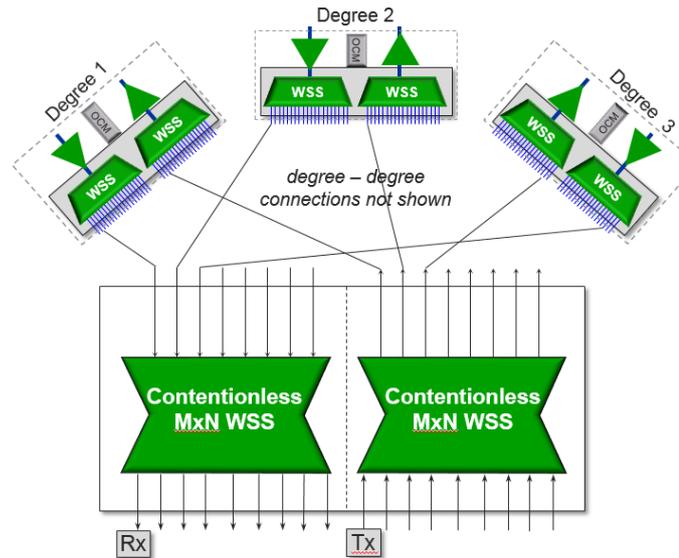


图 27 基于 MxN WSS 技术的下一代 CDC-ROADM 架构示意图

当网络逐渐走向全光架构，波长数目大幅增长，需要对全网光层实施有效管理、监测和追踪，是在全光网中最重要的技术。通过给光信道分配波长标签，可以在网络中的关键节点设置监测点，提取标签信息，由此获取每一个波长在网络中的传输路线、业务信息与状态，提高波长规划、管理的效率。

#### 4.2.2 超低时延 OTN 传送技术

目前商用 OTN 设备单点时延一般在 10us~20us 之间，主要原因是为了覆盖多样化的业务场景（比如承载多种业务、多种颗粒度），添加了很多非必要的映射、封装步骤，造成了时延大幅上升。

随着时延要求越来越高，未来在某些时延极其苛刻场景下，针对特定场景需求进行优化，超低时延的 OTN 设备单节点时延可以达到 1us 量级。具体可以通过以下 3 个思路对现有产品进行优化：

##### （1）针对特定场景，优化封装时隙

目前 OTN 采用的是 1.25G 时隙，以传送一个 25Gbps 的业务流为例，需要先分解成 20 个不同时隙来传输，再将这 20 个时隙提取恢复原始业务，这个分解提取的过程需要花费不少时延（~5us）。

如果将时隙增大到 5Gbps，这样就可以简化解复用流程，能够有效降低时延（~1.2us），并且节省芯片内缓存资源。

##### （2）简化映射封装路线

常规 OTN 中，以太业务的映射方式需要经过 GFP（Generic Framing Procedure，通用成帧规程）封装与 Buffer 中间环节，再装载到 ODU flex 容器，

而在OTU线路侧，需要时钟滤波、Buffer、串并转换，整体时延因引入Buffer和多层映射封装而增大。

新一代的Cell映射方式基于业务容量要求做严格速率调度，映射过程采用固定容器进行封装，可以跳过GFP封装、Buffer、串并转换等过程，降低时延。

### (3) 简化ODU映射复用路径

OTN同时支持单级复用和多级复用，理论上每增加一级复用，时延将增加512ns。因此在组网是采用单级复用可以有效降低时延，如针对GE业务，多级复用 ( GE->ODU0->ODU2->ODU3->ODU4->OTU4 ) 的时延约为4.5us，而单级复用 ( GE->ODU0->ODU4->OTU4 ) 的时延约为2.2us。

值得注意的是，在实际项目中，在追求极致时延特性的时候，也应当权衡适用性、功耗、体积、芯片可获得性、可靠性等其他因素，比如针对特定场景进行优化，可能就会导致应用场景受限。总之，随着未来芯片架构、工艺技术进一步提升，OTN设备可以通过多种渠道实现超低时延，逐步向理论极限逼近，同时更好地平衡其他性能参数。

## 4.3 高智能的端到端灵活调度技术

5G时代，能够灵活调配网络资源应对突发流量是5G网络关键特征要求。对于网络的灵活带宽特性，依据承载硬件系统的逻辑管道容量与传输业务大小的匹配度，分为两种情况：(1) 逻辑管道大于传输业务颗粒度，则单个逻辑管道承载多颗粒度业务，通过ODUflex技术实现传输带宽灵活配置和调整，以提高传输效率；(2) 逻辑管道小于传输业务颗粒度，则需要考虑多端口绑定及带宽分配，如FlexO技术。此外，对于网络端到端的管理和控制，进行高效的网络部署和灵活的资源动态分配，完成业务快速发放，则需要利用软件定义网络 ( SDN ) 等新型集中式智能管控技术来实现。

### 4.3.1 ODUflex 灵活带宽调整技术

传统ODUk按照一定标准容量大小进行封装，受到容量标准的限制，容易出现某些较小颗粒的业务不得不用更大的标准管道容量进行封装，造成网络资源浪费。ODUflex，即灵活速率的ODU，能够灵活调整通道带宽，调整范围为1.25G~100G，其特点有：

(1) 高效承载。提供灵活可变的速率适应机制，用户可根据业务大小，灵活配置容器容量，保证带宽的高效利用，降低每比特传输成本。



图 28 ODUflex 灵活配置容器容量示意图

(2) 兼容性强。适配视频、存储、数据等各种业务类型，并兼容未来IP业务的传送需求。

下图中映射路径为：FC4G->ODUflex->ODU2;其中，ODUflex映射到ODU2中4个时隙，剩余时隙可用来承载其他业务，带宽利用率可达100%。

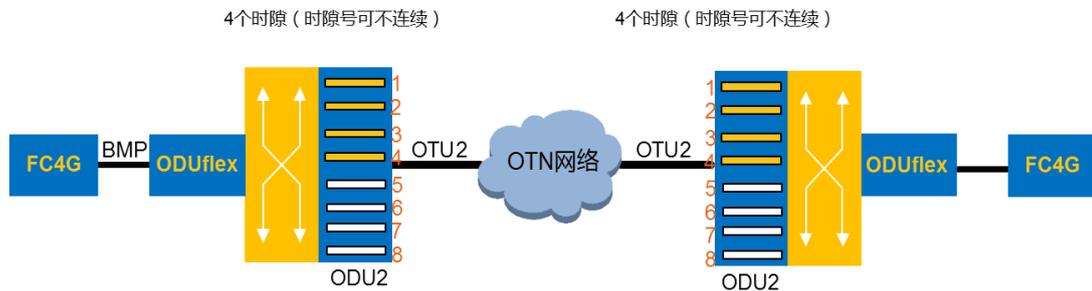


图 29 ODUflex 映射过程示意图 (FC4G->ODUflex->ODU2)

由于网络边缘接入业务将会非常复杂，如5G、物联网、专线等，业务也具有临时性，因此还需要管道能够根据实际业务带宽大小，进行无损调节，这就要求支持ITU-T的G.HAO (Hitless Adjustment of ODUflex，ODUflex的无损伤调整) 协议，该协议支持根据接入业务速率大小，动态的为其分配N个时隙，然后再映射到高阶ODU管道中，如果接入业务速率发生变化，通过G.HAO协议，网管控制源宿之间所有站点都会相应调整分配时隙个数，从而调整ODUflex的大小，保证业务无损调节。

针对5G承载，ODUflex是应对5G网络切片的有效承载手段，通过不同的ODUflex实现不同5G切片网络在承载网上的隔离。

### 4.3.2 FlexO 灵活互联接口技术

光层FlexGrid技术的进步，客户业务灵活性适配的发展，催生了OTN层进一步灵活适应光层和业务适配层的发展，业界提出了FlexO技术。灵活的线路接口受限于实际的光模块速率，同时域间短距接口应用需要低成本方案，FlexO应运而生。

FlexO接口可以重用支持OTU4的以太网灰光模块，实现N\*100G短距互联接口，使得不同设备商能够通过该接口互联互通。FlexO提供一种灵活OTN的短

距互联接口，称作FlexO Group，用于承载OTUCn，通过绑定N\*100G FlexO接口实现，其中每路100G FlexO接口速率等同于OTU4的标准速率。FlexO主要用于如下两种应用场景。

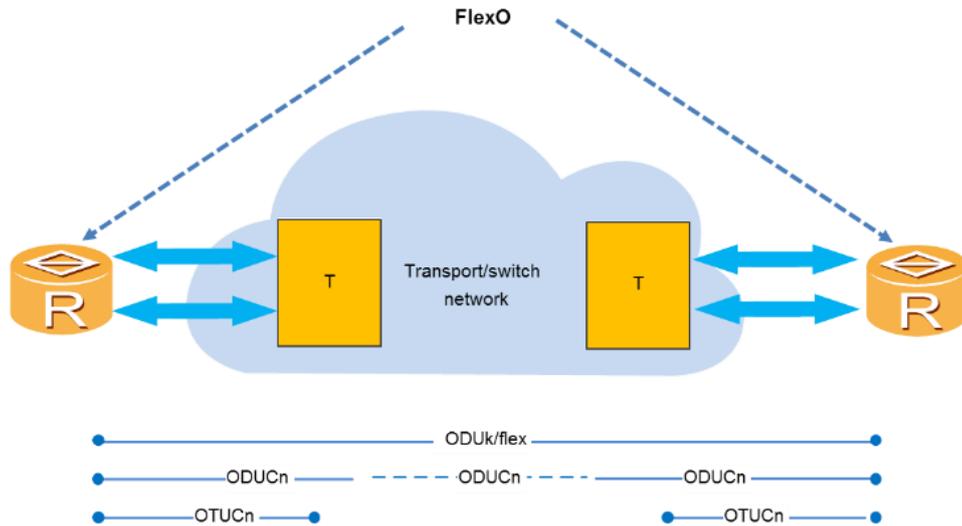


图 30 FlexO 连接路由器和传送设备示意图

场景一是用于路由器和传送设备之间，如图 30所示，路由器将数据流量封装到ODUk/ODUflex，然后复用到ODUCn/OTUCn完成复用段及链路监控，最终通过N\*100G FlexO接口承载OTUCn信号完成路由器和传送设备之间互联互通。

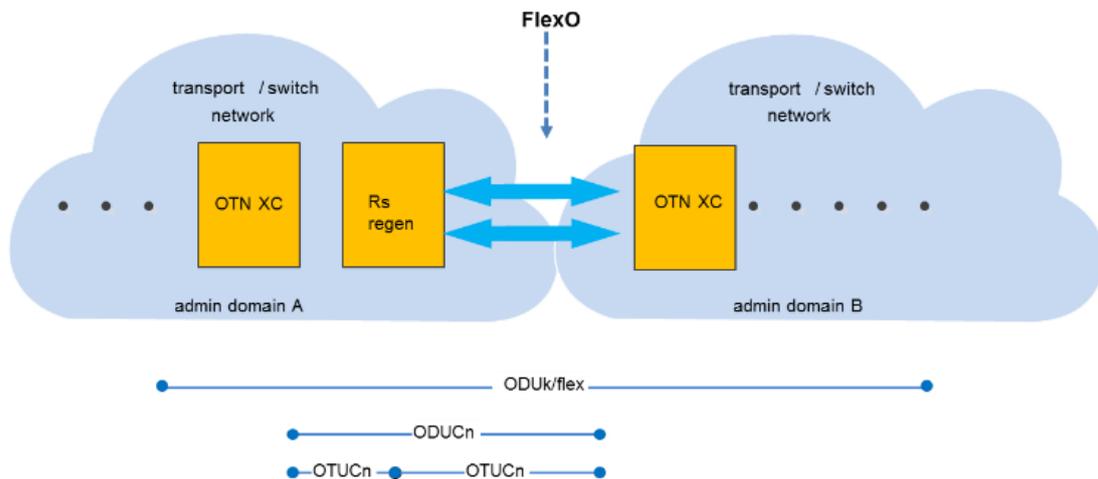


图 31 FlexO IrDI 连接 OTN 管理域示意图

场景二是作为域间接口用于不同管理域之间的互联互通，如图 31所示，该域间接口的OTN信号为OTUCn，通过N\*100G FlexO接口承载OTUCn信号实现

当前N\*100G FlexO接口的标准化工作已经完成，随着IEEE802.3 200GE/

400GE标准的逐步完善，ITU-T/SG15正逐步开展相关M\*200G/400G FlexO接口研究和标准制定工作，丰富OTN的短距互联接口能力。

### 4.3.3 传送 SDN 快速业务随选发放技术

2012年,业界首次提出了传送SDN( TSDN :Transport Software Defined Networks ) 解决方案,这是SDN技术在传送网络的应用和扩展。其中最主要和最有价值的用例是BoD (Bandwith on Demand ,即带宽按需发放):客户通过终端/Portal预订带宽服务,TSDN控制器掌控全网设备信息,并且在后台对资源进行自动统一调配,实现业务的快速发放。该项服务能够更好地满足云数据中心互联和企业云专线提出的动态按需大带宽的诉求,提升网络资源利用率和客户带宽体验。除此之外,TSDN还可以配合OTN时延测量技术,实现全网时延信息可视化,并进行最短时延路径的寻找、规划、管理、保护等操作。

未来的5G网络则对TSDN解决方案提出更具挑战的诉求。传送网络不仅要自身具备高效的动态按需切分网络的能力,以满足不同业务的带宽、可靠性和低时延承载要求,还需要与上层的IP及无线网络协同起来,实现跨域跨层的带宽和资源协同,保证端到端的业务服务质量要求。其中除了协同切片算法外,传送网络的北向切片API将是支撑端到端切片协同的关键纽带。OIF/ONF也正在制定VTNS ( Virtual Transport Network Service ) 业务规范和相关北向API模型,以应对未来新业务的挑战。

## 5 总结与展望

光传送网是现代经济、社会的大动脉，未来随着5G应用、网络云化进程逐步铺开，给传送网带来的不仅仅是流量的攀升，超低时延、高可靠、高度灵活、智能化等等都是传送网即将面临的挑战。现有网络架构在一定程度上已经无法满足这些要求，我们相信通过上述解决方案和关键技术，能够帮助未来更好地应对5G时代的挑战。

对于超大带宽需求，在短距前传领域，通过非相干技术，目前已经能实现5倍速率扩展。未来随着DSP超频技术的发展，将进一步实现包括10倍以上的更高速率扩展。而在中/回传方面，基于硅光技术、光子集成技术的低成本相干模块将在百公里传输距离上满足带宽和成本的最优配置。

对于网络灵活调度需求，可借助ODUflex、FlexO、ROADM/OXC( Optical Cross Connection, 全光交叉 ) 等带宽灵活调度和调整技术，并通过引入SDN实现端到端的网络综合管控，实现网络资源的最优配置和管道的最大利用效率，完成快速业务发放。

对于运营商而言，5G只是一种重要业务，承载网络必须考虑所有业务的综合承载。基于光传送网技术自身的大带宽、透明传输等优点，OTN/WDM综合业务承载网可以为5G、固定宽带、云和政企专线等业务提供统一的综合承载服务。OTN标准完善，产业成熟，可以满足5G承载的提出的大带宽、低时延、高精度时钟、高可靠等多数需求，在此基础上通过技术演进补足短板，是实现5G高效承载的一条风险和成本俱佳的技术演进路线。

为了满足5G前传低成本和低时延的需求，需要对OTN技术进行简化，包括减少复用层级、简化开销、使用更大的支路时隙( TS ) 等。同时，为了满足中传/回传在灵活组网方面的需求，需要考虑在增强OTN分组处理能力的基础上，增强路由转发功能。

## 6 缩略语

缩略语	英文全称	中文
3GPP	The 3rd Generation Partner Project	第三代合作伙伴计划
AAU	Active Antenna Unit	有源天线处理单元
ASON	Automatically Switched Optical Network	自动交换光网络
BBU	Baseband Unit	基带单元
BGP	Border Gateway Protocol	边界网关协议
BoD	Bandwidth on Demand	带宽按需发放
CA	Carrier Aggregation	载波聚合
CFP	Centum Form-factor Pluggable	封装可插拔
CDC	Colorless , Directionless & Contentionless	波长无关、方向无关、无阻塞
CDN	Content Delivery Network	内容分发网络
CoMP	Coordinated Multipoint Transmission/Reception	协作多点发送/接收
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	互补金属氧化物半导体
CO	Central Office	中心局
CPE	Customer Premise Equipment	客户终端设备
CU	Centralized Unit	集中单元
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing	粗波分复用
DCI	Data Center Interconnect	数据中心互联
DMT	Discrete Multi-Tone	离散多频音调制
DSP	Digital Signal Processor	数字信号处理
DU	Distribute Unit	分布单元
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	密集波分复用
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	增强型移动宽带
FlexE	Flexible Ethernet	灵活以太网
EPC	Evolved Packet Core	演进型分组核心网

FO	Full Outdoor	全室外
FPGA	Field Programmable Gate Array	现场可编程门阵列
GFP	Generic Framing Procedure	通用成帧规程
G.HAO	Hitless Adjustment of ODUflex	ODUflex 的无损伤调整
IPFPM	IP Flow Performance Measurement	IP 流性能测量
IPRAN	IP Radio Access Network	IP 化无线接入网
IS-IS	Intermediate system to Intermediate system	中间系统-中间系统
MCS	Multi-cast Switching	多路广播开关
MEC	Mobile Edge Computing	移动边缘计算
MLSE	Maximum Likelihood Sequence Estimation	最大似然序列估计
mMTC	Massive Machine Type Communication	大规模机器通信
MPLS-TP	Multiprotocol Label Switching Traffic Policing	多协议标签交换流量监控
OAM	Operation, Administration, and Maintenance	运行管理和维护
ODU	Optical Channel Data Unit	光通路数据单元
OLT	Optical Line Terminal	光线路终端
OSPF	Open Shortest Path First	开放式最短路径优先
OTN	Optical Transport Network	光传送网
OXC	Optical Cross Connection	光交叉连接
P2P	Point to Point	点对点
PAM4	Pulse Amplitude Modulation 4	四电平脉冲幅度调制
QoS	Quality of Service	服务质量
QSFP	Quad Small Form-factor Pluggable	四通道小型化封装可插拔
RAN	Radio Access Network	无线接入网
ROADM	Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplex	可重构光分插复用器
SDN	Software-defined Networking	软件定义网络
SNCP	Sub-Network Connection Protection	子网连接保护

TDD	Time Division Duplex	时分双工
UE	User Equipment	用户设备
uRLLC	Ultra Reliable & Low Latency Communication	高可靠低时延通信
VTNS	Virtual Transport Network Service	虚拟传送网业务
WDM	Wave-division Multiplexing	波分复用
WSON	Wavelength Switched Optical Network	波长交换光网络
WSS	Wavelength Selective Switching	波长选择开关

