

5G 商用，承载先行。日前，中国电信正式对外发布了《5G 时代光传送网技术白皮书》。该白皮书针对未来 5G 业务和网络架构的变化，清晰的描述了未来 5G 承载技术，非常值得一读，小编一边在学习的时候，顺便就把它编辑了出来，供大家一起学习。

## 1 5G 网络构架对承载网构架的影响

### 1.1 5G 分离的 RAN 构架

相对于 4G LTE 接入网的 BBU 和 RRU 两级构架，5G RAN 将演进为 CU、DU 和 AAU 三级结构。

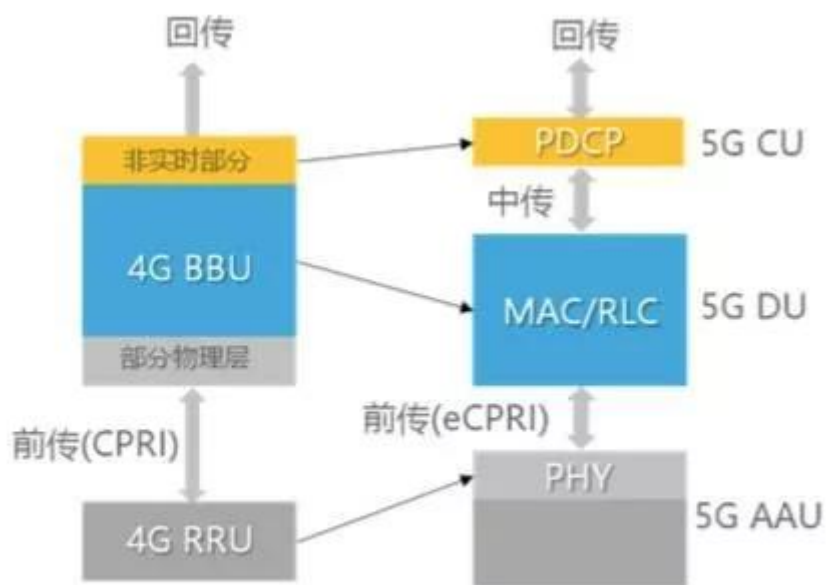


图 2 5G RAN 功能模块重构示意图 来源：5G通信

CU：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。

AAU：BBU 的部分物理层处理功能与原 RRU 合并为 AAU（Active Antenna Unit，有源天线处理单元）。

DU：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。

这样，RAN 分离后，承载网也就分成了三个部分：前传、中传和回传。

前传（Fronthaul）：AAU 和 DU 之间。

中传（Middlehaul）：DU 和 CU 之间。

回传（Backhaul）：CU 以上。

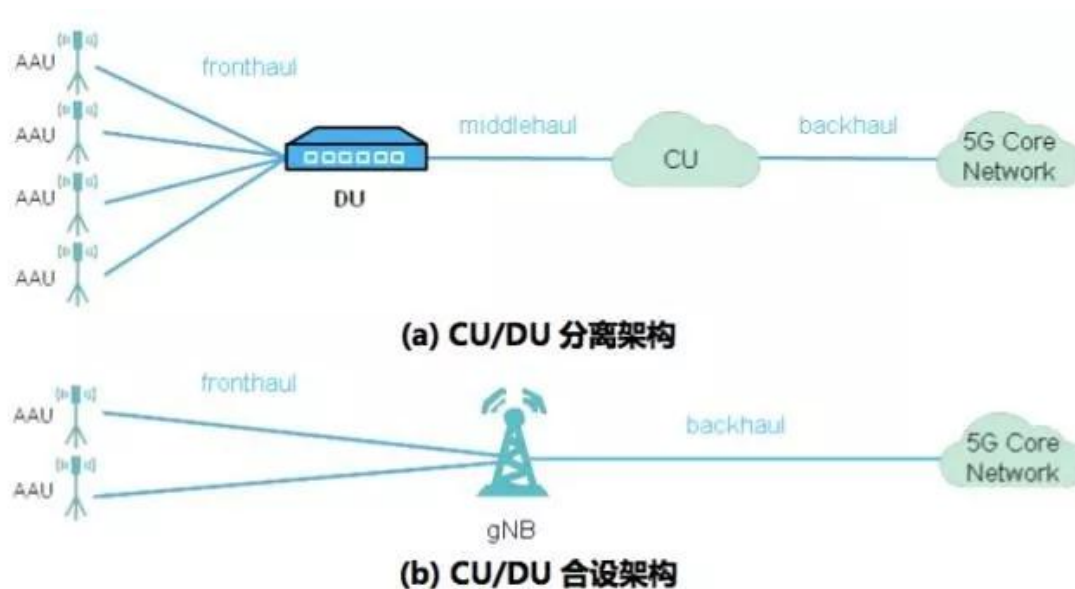


图 3 5G RAN 组网架构示意图

5G通信

其中，有一种 5G 部署与 4G 类似，采用 CU 和 DU 合设的方式，只有前传和回传，主要为了降低时延，如上图(b)。

## 1.2 核心网云化和下沉

为了满足 5G 网络的灵活性和低时延、降低回传负担，核心网下沉和云化成为必然趋势，并引入 MEC（移动边缘计算），组成更加分布式的构架。

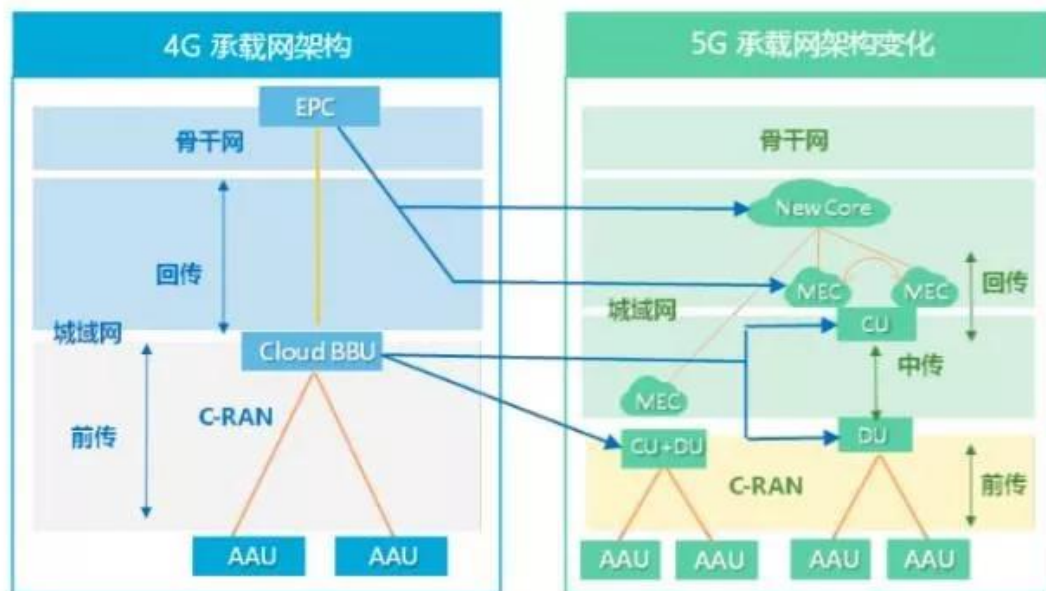


图 4 5G 核心网架构演进对承载网架构影响示意图

5G通信

原先的 EPC 拆分成 New Core 和 MEC 两部分：New Core 将云化部署在城域核心的大型数据中心，MEC 部署在城域汇聚或更低的位置中小型数据中心，两者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。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。

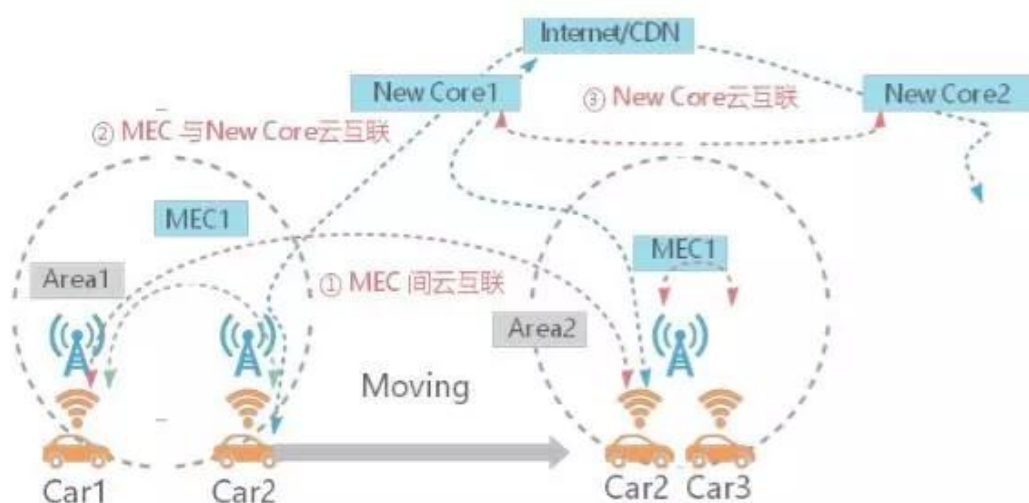


图 5 5G 核心网三种云互联示意图

5G通信

如上图所示，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、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。

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，如下图所示。

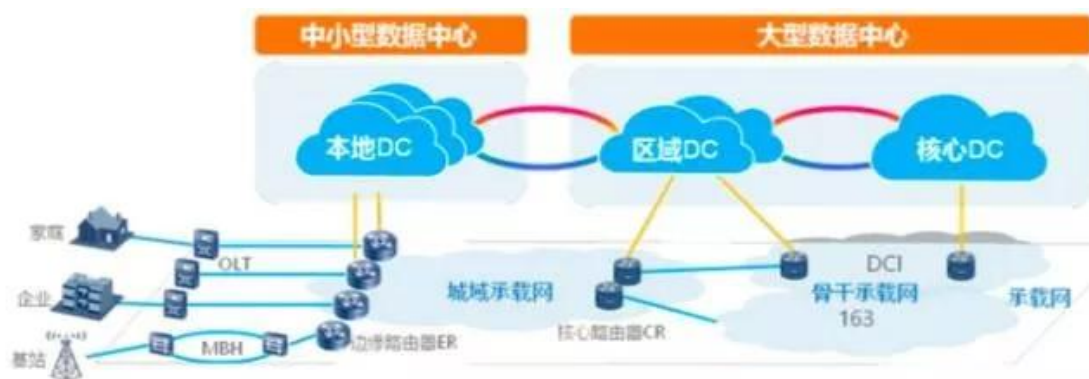


图 6 5G 时代下的云数据中心网络架构图

5G通信

## 2 5G 承载网需求分析

### 2.1 大带宽需求

由于采用高频段、更宽频谱和新空口技术，5G 基站带宽需求大幅提升，预计将达到 LTE 的 10 倍以上。下表为典型的 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/5Gbps

5G通信

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 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。

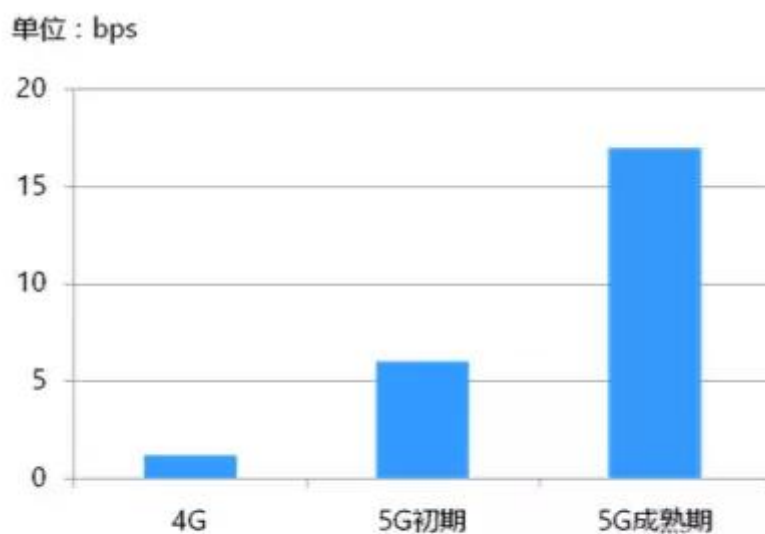


图 7 5G 网络带宽增长趋势图

5G通信

## 2.2 低时延需求

3GPP 等相关标准组织关于 5G 时延的相关技术指标如下表所示。

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	eCPF 5G通信

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。

下图所示为一个典型的 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。

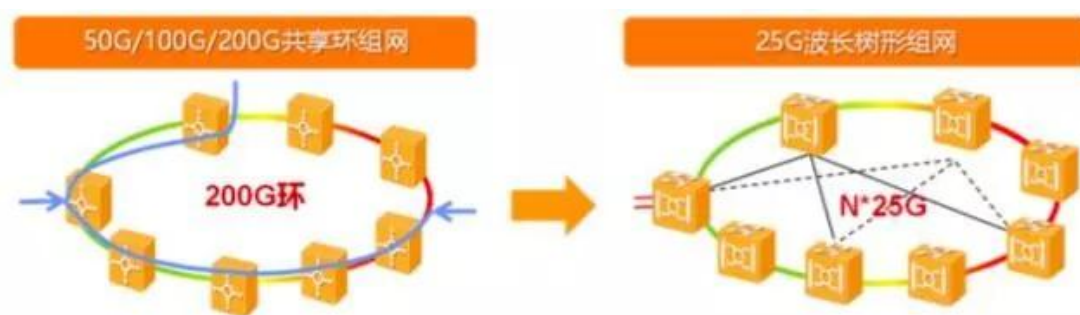


图 8 承载网从环形向树形组网演进示意图

### 2.3 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  $\pm 1.5\mu s$ 。

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 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。

## 2.5 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，如下图所示。

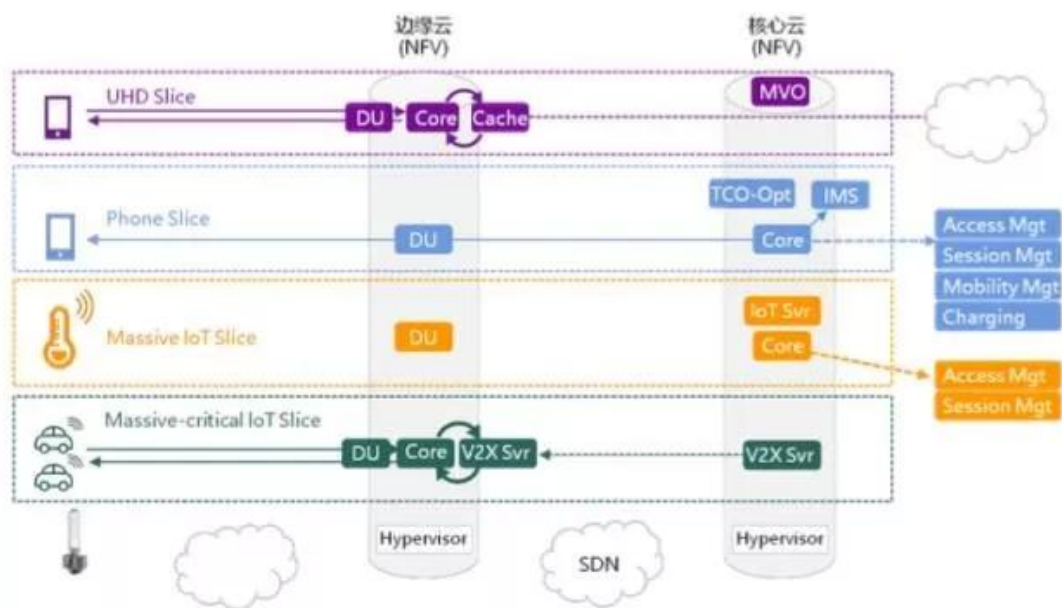


图 9 5G 网络切片示意图

5G通信

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。

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。

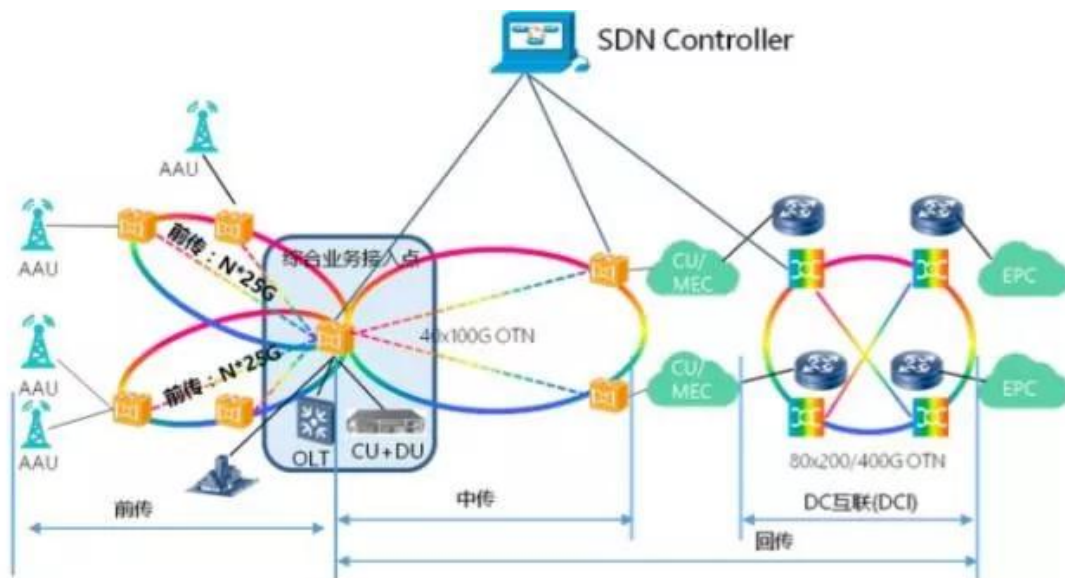


图 10 基于光传送网的 5G 端到端承载网示意图

5G通信

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。

### 3.1 5G 前传承载方案

5G 前传分为 3 种不同场景：(a)小集中、(b)P2P 大集中、(c)环网大集中。

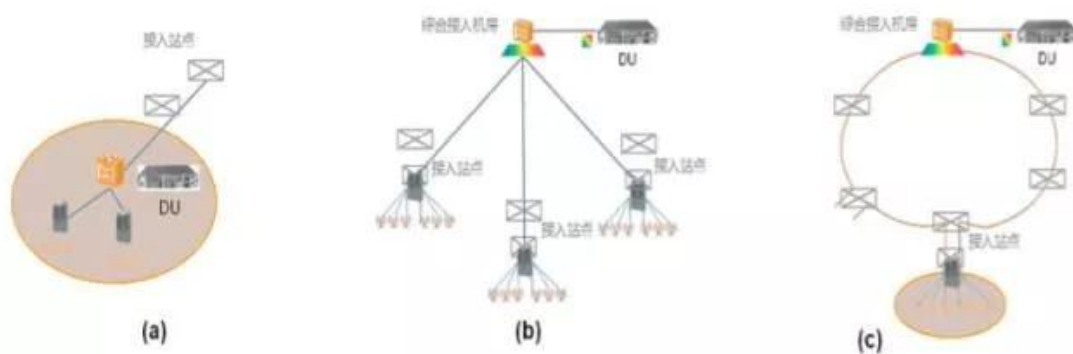


图 11 5G 前传的 3 种不同场景：(a)小集中(b)P2P 大集中(c)环网大集中

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)。

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。

针对 5G 前传的 3 个组网场景，可选的承载技术方案建议下表所示：

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

### 3.1.1 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，如下图所示。

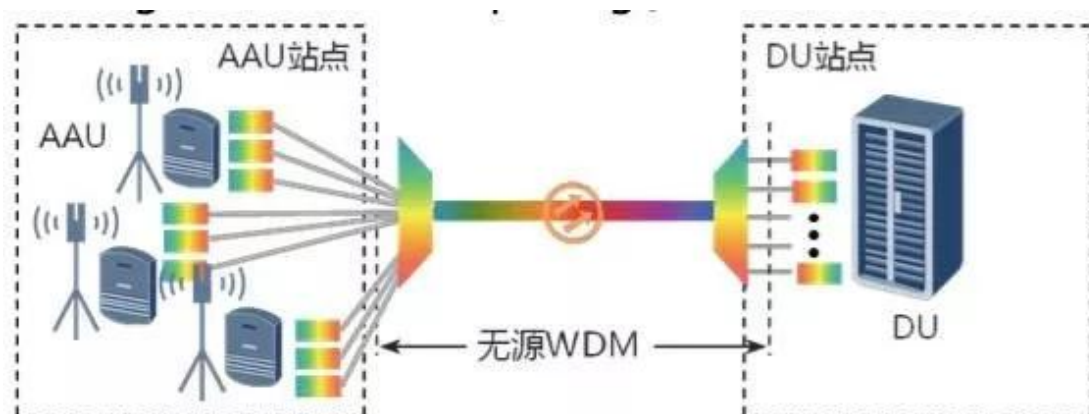


图 13 无源 WDM 方案架构图

5G通信

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。

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：波长通道数受限、波长规划复杂、运维困难、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。下图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

5G通信

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。

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，其原理如下图所示。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。

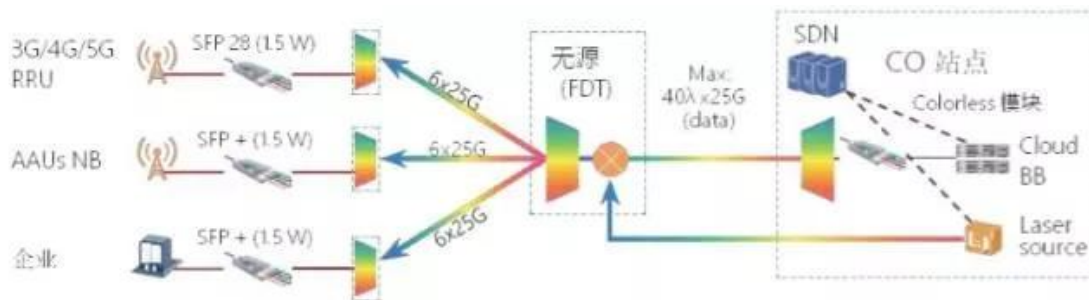


图 15 光源集中无源 DWDM 方案示意图

5G通信

### 3.1.2 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：

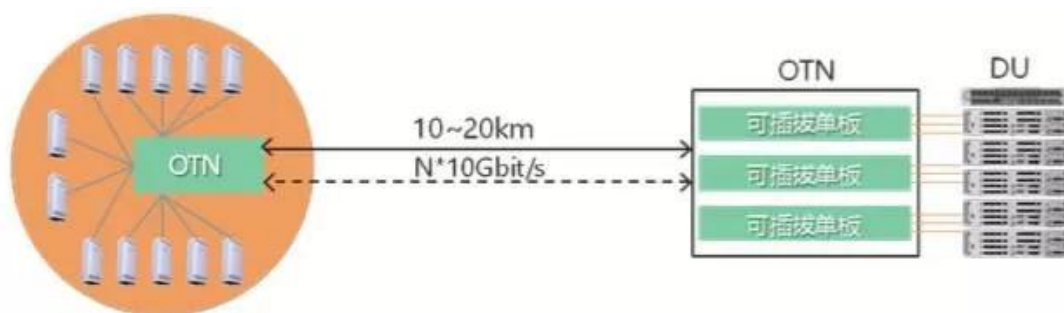


图 16 有源 WDM 方案点到点架构图

5G通信



上图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。

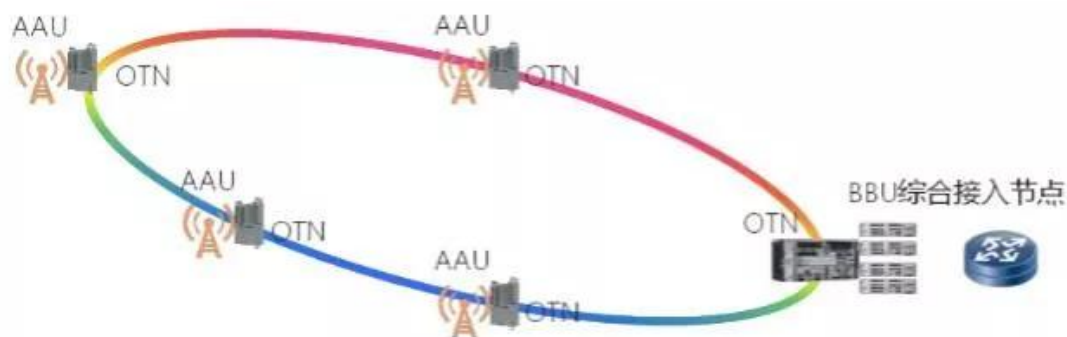


图 17 有源 WDM 方案环网架构图

5G通信

上图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。

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。

### 3.2 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，如下图所示。



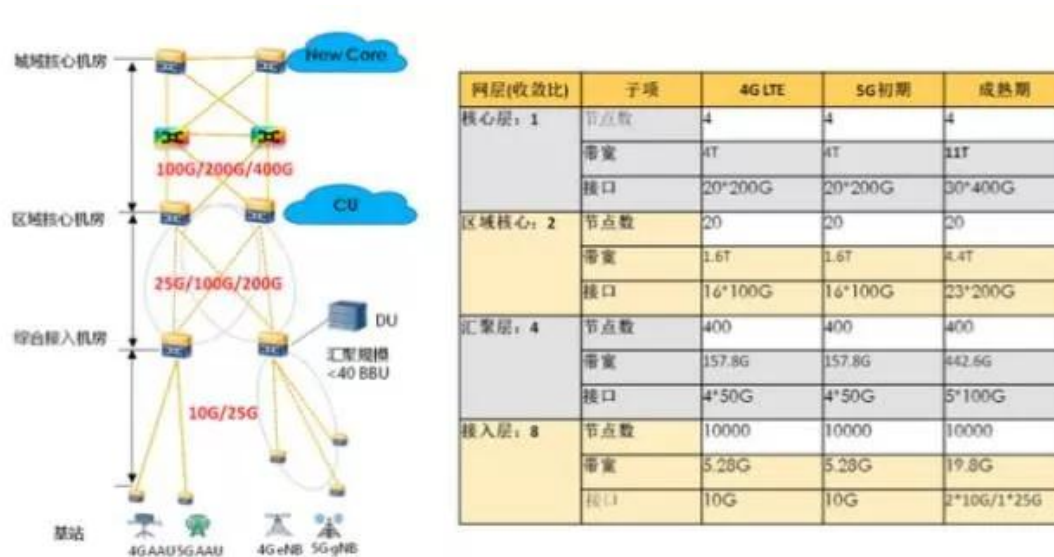


图 18 城域 OTN 网络架构匹配 5G 承载需求示意图

5G通信

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。

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。

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，则继续延用现有的 IPRAN(IP Radio Access Network ,IP 化无线接入网)承载架构，如下图所示。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。

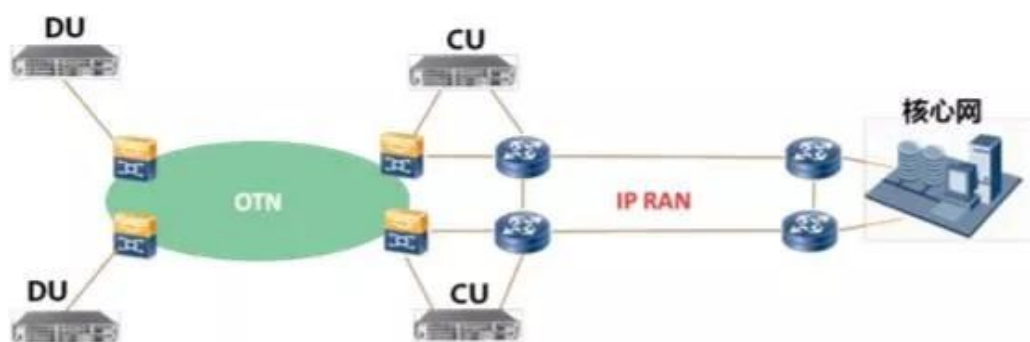


图 19 分组增强型 OTN+IPRAN 组网方案示意图

5G通信

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。

### (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，如下图所示。

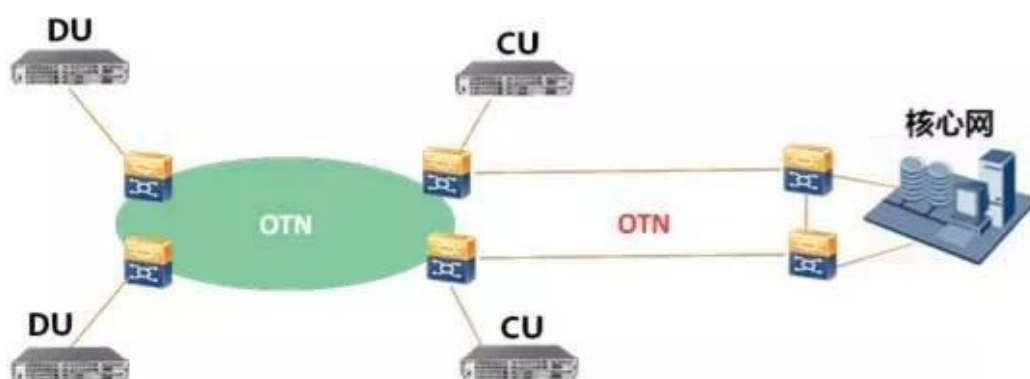


图 20 端到端分组增强型 OTN 方案示意图

5G通信

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。

### 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。

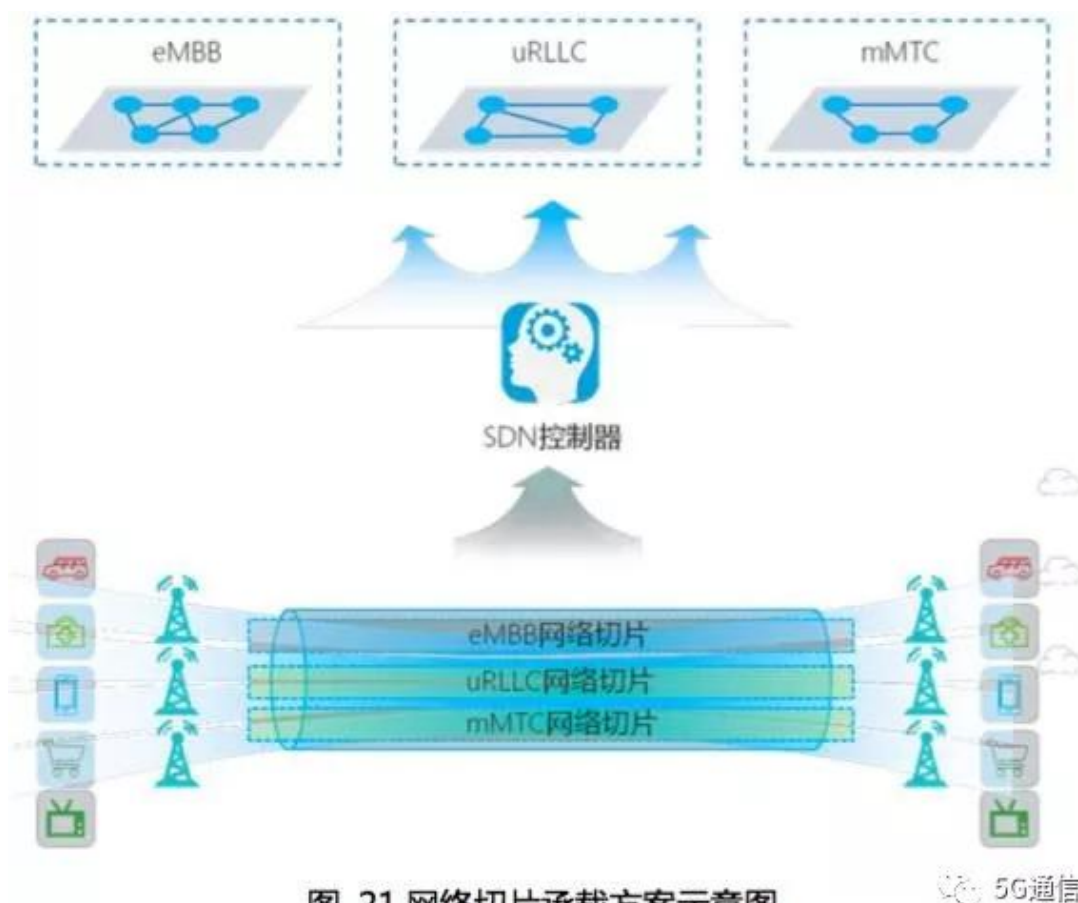


图 21 网络切片承载方案示意图

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，如下图 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。

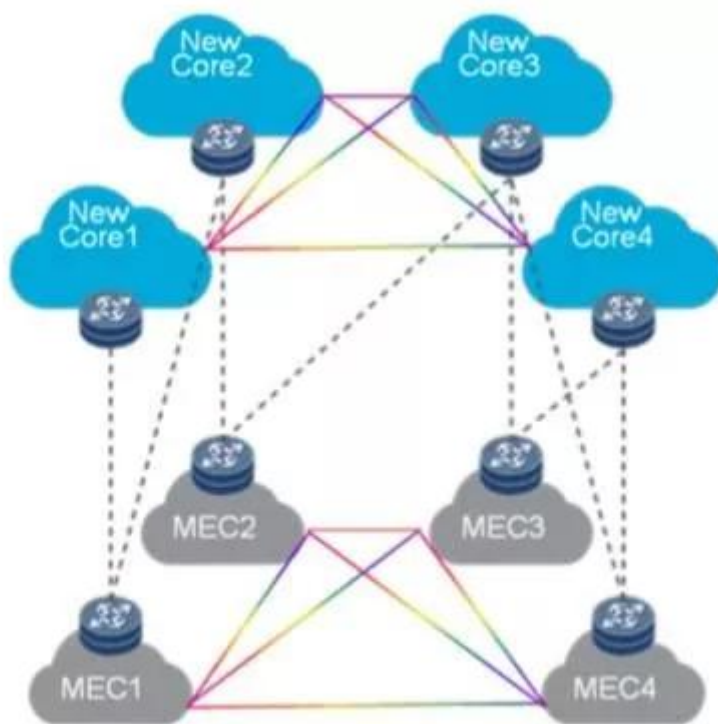


图 22 5G 中期中小型 DC 互联方案示意图

(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。



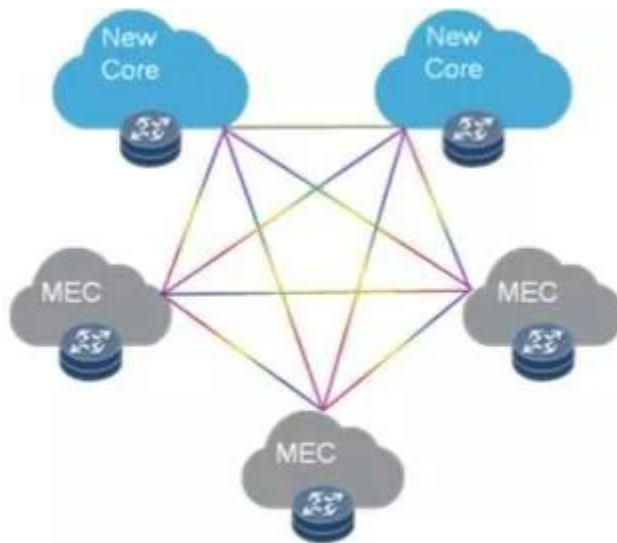


图 23 5G 后期中小型 DC 互联方案示意图

### 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：

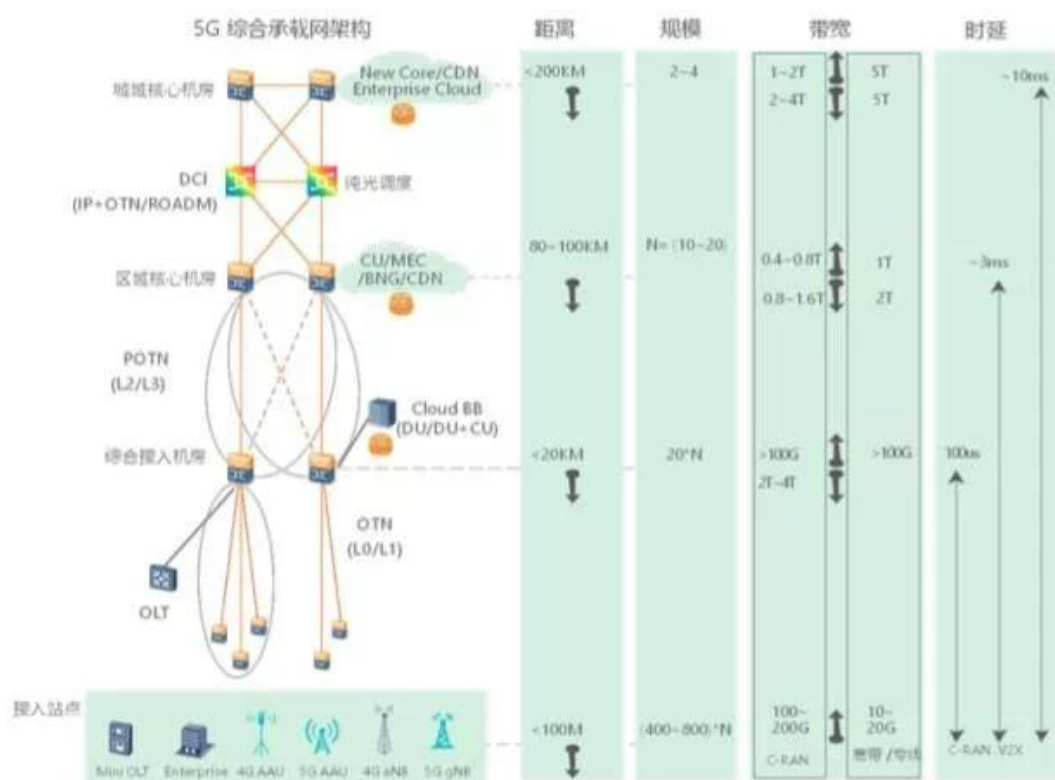


图 24 5G 综合承载网架构示意图

5G通信

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。

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/CPE/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，利用较低波特率光器件实现多倍(2 倍、4 倍或更高)传输带宽的增长，例如：DMT(Discrete Multi-Tone，离散多频音调制)技术、PAM4(Pulse Amplitude Modulation，四电平脉冲幅度调制)技术。

#### 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 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；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。

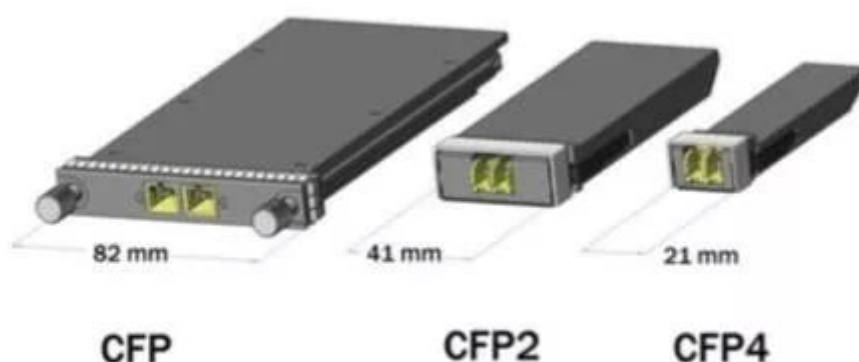


图 25 CFP、CFP2、CFP4 三种可插拔光模块 5G通信

(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

超低时延的 5G 业务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 RODAM)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。

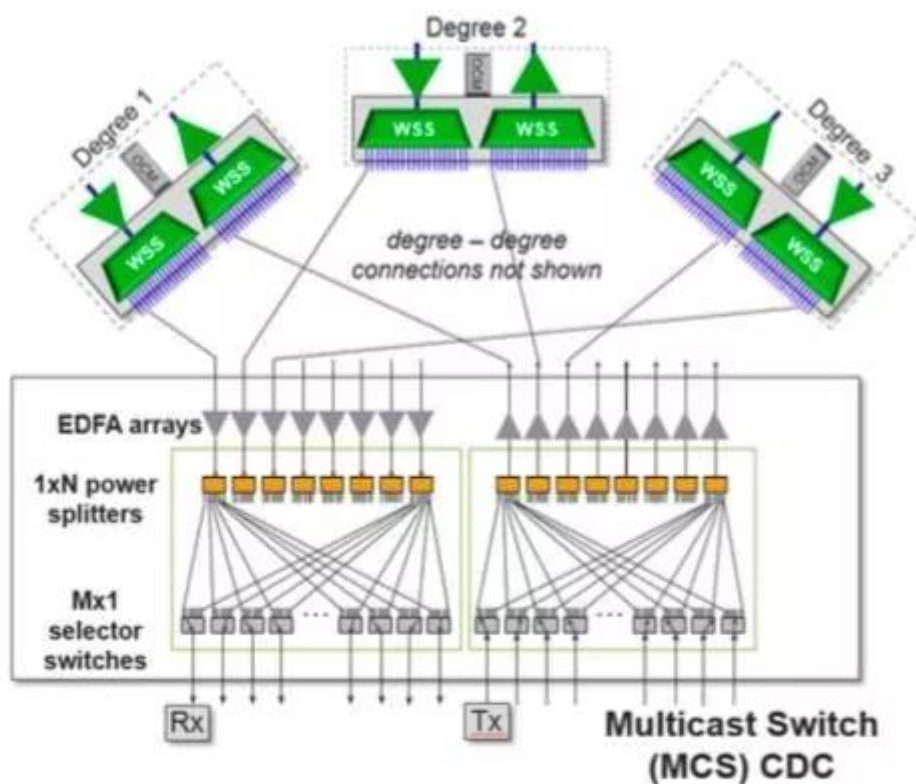


图 26 典型 CDC-ROADM 架构示意图 5G通信

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。



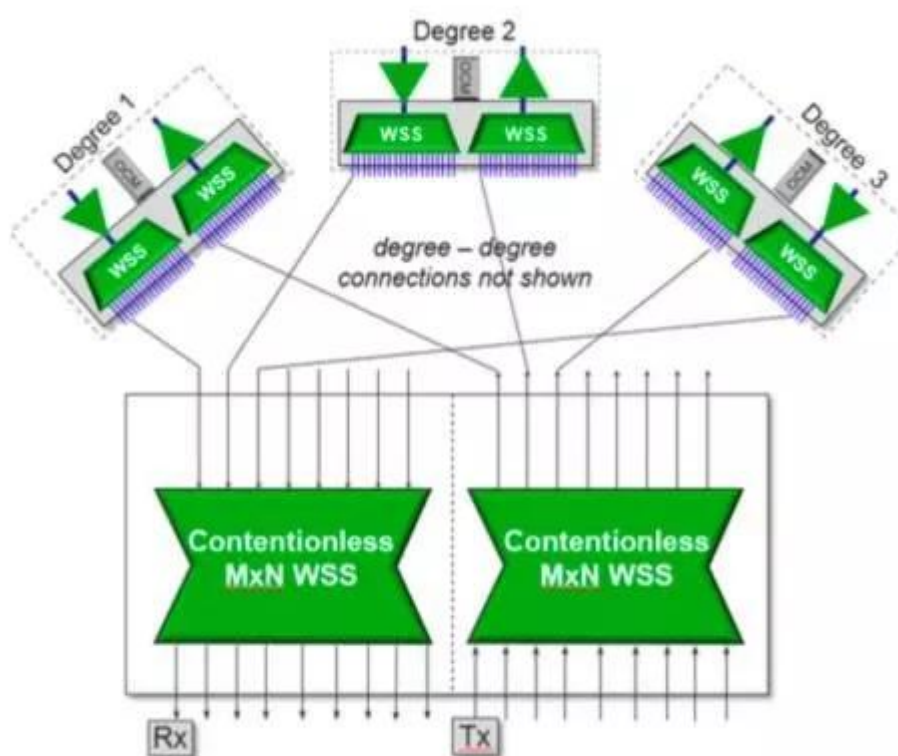


图 27 基于 MxN WSS 技术的下一代 CDC-ROADM 架构示意图

#### 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；（2）简化映射封装路线；（3）简化 ODU 映射复用路径。

#### 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

5G通信

(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)

5G通信

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。

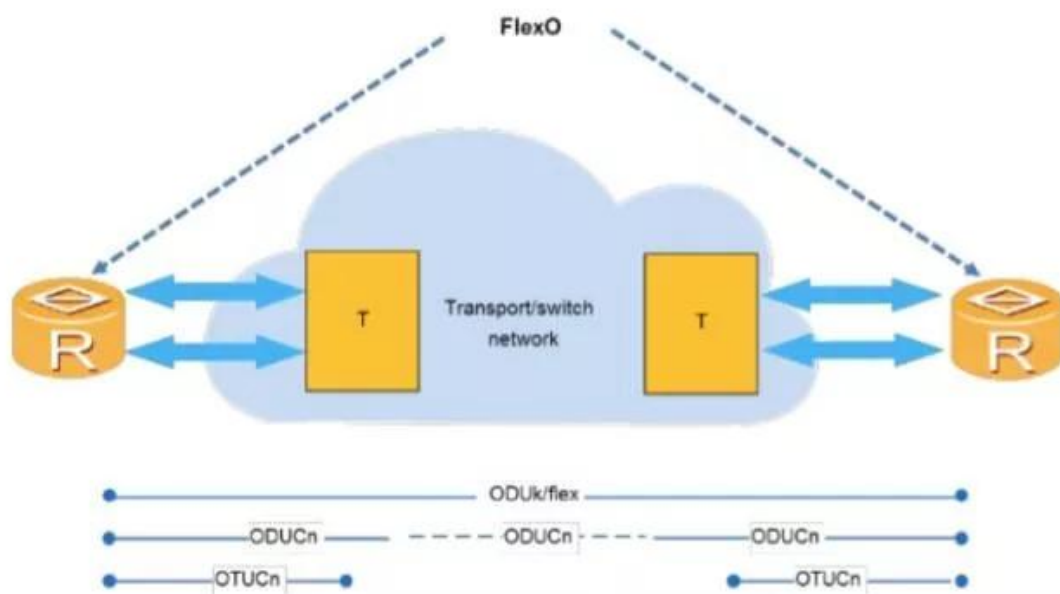


图 30 FlexO 连接路由器和传送设备示意图

场景一是用于路由器和传送设备之间，如上图所示，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。

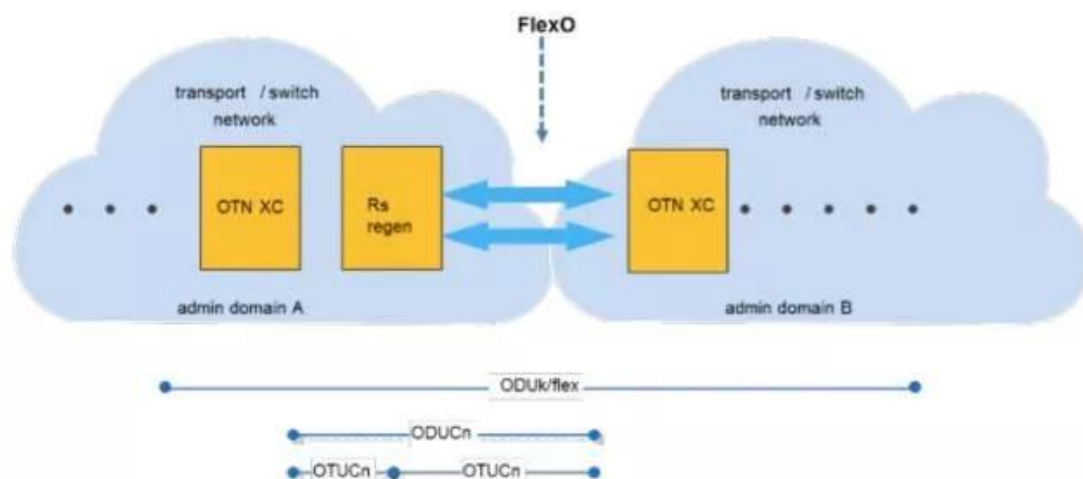


图 31 FlexO IrDI 连接 OTN 管理域示意图

5G通信

场景二是作为域间接口用于不同管理域之间的互联互通，如上图所示，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。

### 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。

微信扫描以下二维码，免费加入【5G 俱乐部】，还赠送整套：5G 前沿、NB-IoT、4G+ (VoLTE) 资料。

