



工业和信息化部“十四五”规划教材

校企“双元”合作精品教材

高等职业院校“互联网+”系列精品教材

5G 承载网建设与维护

阴法明 周学龙 才岩峰 马敏 主编

杜卫东 罗明玉 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书围绕快速发展的移动通信技术——5G 承载网技术进行编写，从 5G 承载网组网架构和关键技术切入，主要内容包括 5G 承载网的建设与维护两大部分。网络建设部分包括安装规范及注意事项、调试方法和面向 5G 需求的业务配置方法；网络维护部分分为日常维护、定期维护及故障处理 3 个部分，主要介绍网络维护的方法及故障处理的技巧。本书内容全面翔实，对系统地掌握 5G 承载网技术具有较强的指导作用，对网络建设和运行维护等工作也具有较高的实用价值。

本书可作为高职高专院校 5G 承载网建设与维护课程的教材，也可作为开放大学、成人教育、自学考试、中职学校、培训班的教材，以及 5G 网络运维工程技术人员的参考用书。

本书配有免费的电子教学课件、微课视频等，详见前言。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

5G 承载网建设与维护 / 阴法明等主编. —北京：电子工业出版社，2023.2

高等职业院校“互联网+”系列精品教材

ISBN 978-7-121-44790-7

I. ①5… II. ①阴… III. ①无线电通信—移动网—高等职业教育—教材 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2022）第 249156 号

责任编辑：陈健德（E-mail: chenjd@phei.com.cn）

特约编辑：杨秋娜

印 刷：大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

装 订：大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：12 字数：307.2 千字

版 次：2023 年 2 月第 1 版

印 次：2023 年 2 月第 1 次印刷

定 价：48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：chenjd@phei.com.cn。



扫一扫看模拟试卷 A



扫一扫看模拟试卷 B

前 言



5G 商用, 承载先行。5G 大幕已缓缓拉开, 5G 承载网作为连接 5G 无线接入网和 5G 核心网的基础网络, 也面临着全新的挑战。相较于 4G 网络, 5G 全新的三大应用场景对承载网提出了更高的带宽、时延、同步、灵活调度及可靠性要求。

4G 承载网主要分为两个技术方向, 以中国移动为代表使用的 PTN (Packet Transport Network, 分组传送网) 技术和以中国电信、中国联通为代表使用的 IPRAN (Internet Protocol Radio Access Network, IP 无线接入网) 技术。两种技术各有特点: PTN 基于 MPLS (Multi-Protocol Label Switching, 多协议标记交换) -TP (Tunneling Protocol, 隧道协议) 协议, 在保护、同步、管理方面更有优势; IPRAN 基于 IP/MPLS 协议, 在 L3VPN、网络自愈方面表现更好。

5G 时代来临, 不管是 PTN 还是 IPRAN 均无法满足 5G 新业务的要求, 我国三大运营商均提出了自己的承载技术方案。2017 年 6 月, 中国移动联合中国信息通信研究院、中兴通讯股份有限公司 (以下简称中兴通讯)、华为技术有限公司和烽火科技集团等提交了 SPN 技术方案架构; 2017 年 10 月, 中国电信提出了 M-OTN 的概念及基于 FlexO (Flex OTN, 灵活光传送网) 技术的解决方案; 2018 年 2 月 9 日, 中国联通牵头制定了 ITU-T G.698.4 标准 (即 G.metro 标准)。

国内三大运营商提出各自不同的 5G 承载解决方案, 使 5G 承载网在建设初期也变得更复杂。但是笔者相信, 随着 5G 建设的全面展开, 5G 承载网会向着更灵活、更高效、更智能的方向发展。

本书的内容主要划分为 4 个项目。第一个项目为 5G 承载网认知, 包含 5G 承载网的概述、网络结构及关键技术; 第二个项目为 5G 承载设备安装, 包含 5G 承载设备介绍及硬件安装两部分; 第三个项目为 5G 承载设备调试和数据配置, 包含 5G 承载设备开通及业务配置两部分; 最后一个项目为 5G 承载网维护, 主要介绍一些维护知识及故障处理方法。

阴法明完成了全书架构设计和统稿工作, 并负责项目 1 和项目 2 的编写, 周学龙、才岩峰负责项目 3 的编写, 马敏负责项目 4 的编写工作, 杜卫东、罗明玉负责完成教材配套资源的制作。

由于 5G 标准尚未全面完成, 编者的知识和视野也有一定的局限性, 书中如有不准确、不完善之处, 请广大读者及专家批评指正。

为了方便教师教学, 本书还配有免费的电子教学课件、微课视频等, 请有此需要的教师通过扫一扫书中二维码浏览或登录华信教育资源网 (<http://www.hxedu.com.cn>) 免费注册后进

行下载，若有问题，请在网站留言或与电子工业出版社联系（E-mail: hxedu@phei.com.cn）。

编者



扫一扫看模拟试卷 A 参考答案



扫一扫看模拟试卷 B 参考答案

电子工业出版社版权所有
盗版必究

目 录



项目 1 5G 承载网认知	1	4.2 任务目标	27
任务 1 绘制 5G 承载网拓扑图	2	4.3 知识准备	27
1.1 任务描述	2	1. 硬件架构	27
1.2 任务目标	2	2. 单板介绍	31
1.3 知识准备	2	4.4 任务实施	32
1. 5G 的定义及特点	2	任务 5 开箱验货与设备清点	35
2. 5G 三大应用场景	2	5.1 任务描述	35
3. 5G 组网常见概念	2	5.2 任务目标	35
4. 5G 业务对承载网的需求	3	5.3 知识准备	35
5. 5G 无线接入网结构	4	1. 操作概述	35
6. 5G 承载网结构	5	2. 开箱验货的操作流程	36
7. 5G 承载技术	6	3. 货物摆放与管理方法	36
1.4 任务实施	6	4. 开箱验货工作汇报与过程	37
任务 2 理解 5G 承载网关键技术	9	文档输出要求	37
2.1 任务描述	9	5.4 任务实施	37
2.2 任务目标	9	任务 6 安装设备	43
2.3 知识准备	9	6.1 任务描述	43
1. 5G 承载网的分层架构	9	6.2 任务目标	43
2. 5G 承载网关键技术——		6.3 知识准备	43
FlexE 技术	10	1. 环境准备	43
3. 5G 承载网关键技术——		2. 资料准备	44
SR 技术	13	3. 工具准备	44
4. 5G 承载网的其他关键技术	18	6.4 任务实施	47
2.4 任务实施	18	任务 7 5G 承载设备线缆布放	63
任务 3 估算 5G 承载网的带宽	21	7.1 任务描述	63
3.1 任务描述	21	7.2 任务目标	63
3.2 任务目标	21	7.3 知识准备	63
3.3 知识准备	21	1. 线缆连接关系	63
1. 网络模型与计算方法	21	2. 线缆安装注意事项	64
2. 4G 承载网的带宽估算	21	3. 线缆整理	65
3. 5G 承载网的带宽估算	22	7.4 任务实施	66
3.4 任务实施	22	习题 2	77
习题 1	25	项目 3 5G 承载设备调试和数据配置	79
项目 2 5G 承载设备安装	26	任务 8 5G 承载设备调试准备	80
任务 4 认识 5G 承载设备	27	8.1 任务描述	80
4.1 任务描述	27	8.2 任务目标	80

8.3 知识准备	80	13.3 知识准备	135
1. 设备调试概述	80	1. BGP/MPLS IP VPN	135
2. 安全注意事项	80	2. HoVPN 原理	136
3. 需要收集的设备信息	80	3. L3VPN 业务配置流程	136
4. 调试工具	81	4. 组网及参数规划	138
5. 设备检查	81	13.4 任务实施	144
8.4 任务实施	82	习题 3	151
任务 9 5G 承载设备单站调试	85	项目 4 5G 承载网维护	152
9.1 任务描述	85	任务 14 5G 承载网日常维护	153
9.2 任务目标	85	14.1 任务描述	153
9.3 知识准备	85	14.2 任务目标	153
1. 配置接入网元前的 准备工作	85	14.3 知识准备	153
2. 设备清库原理	86	1. 维护准备	153
9.4 任务实施	87	2. 通过告警模板查看 重要告警	155
任务 10 5G 承载设备对接调试	103	3. 查询以太网端口告警	156
10.1 任务描述	103	4. 查询 SDH 光端口告警	156
10.2 任务目标	103	5. 数据备份与恢复	156
10.3 知识准备	103	6. 部件更换	158
10.4 任务实施	104	7. 维护注意事项	163
任务 11 5G 承载网 FLeXE 链路配置	117	14.4 任务实施	164
11.1 任务描述	117	任务 15 5G 承载网定期维护	167
11.2 任务目标	117	15.1 任务描述	167
11.3 知识准备	117	15.2 任务目标	167
1. L2VPN 原理	117	15.3 知识准备	167
2. FlexE 链路配置流程	118	1. 每周维护	167
3. 组网及参数规划	119	2. 每月维护	168
11.4 任务实施	121	3. 每季维护	169
任务 12 5G 承载网切片配置	129	15.4 任务实施	170
12.1 任务描述	129	任务 16 5G 承载网故障处理	173
12.2 任务目标	129	16.1 任务描述	173
12.3 知识准备	129	16.2 任务目标	173
1. 5G 承载网切片概述	129	16.3 知识准备	173
2. 5G 承载网网元切片	129	1. 故障处理原则	173
3. 5G 承载网网络切片	130	2. 故障分类	174
4. 网元切片关键技术	130	3. 故障定位常见方法	174
12.4 任务实施	131	16.4 任务实施	177
任务 13 5G 承载网 SR 业务配置	135	习题 4	183
13.1 任务描述	135	参考文献	184
13.2 任务目标	135		

项目 1

5G 承载网认知

本项目从 5G 的定义和特点切入，引出 5G 承载网面临的挑战及技术变迁，让学生能够深度掌握 5G 承载网的组成、特点及定位，引导学生绘制出 5G 承载网拓扑图。本项目还介绍了 5G 承载网用到的 FlexE (Flex Ethernet, 灵活以太网)、SR (Segment Routing, 分段路由) 和网络切片等关键技术，以及 5G 承载网不同场景下带宽的计算方法。

学习完本项目的内容之后，我们应该能够：

- (1) 掌握 5G 的定义和三大典型应用场景；
- (2) 掌握承载网的定义及演进；
- (3) 了解国内三大运营商 5G 承载网的解决方案；
- (4) 绘制 5G 承载网拓扑图；
- (5) 理解 5G 承载网的关键技术；
- (6) 计算 5G 承载网的带宽。



任务 1 绘制 5G 承载网拓扑图



扫一扫看 5G 承载网拓扑图的绘制教学课件

1.1 任务描述

通过本任务的学习，掌握承载网的定义及演进历史；初步认识 5G 承载网，了解 5G 的特点及三大应用场景；了解 5G 承载网的需求及国内三大运营商 5G 承载网的解决方案，熟悉 5G 承载网前传、中传和回传解决方案，绘制出 5G 承载网拓扑图。

1.2 任务目标

- (1) 掌握 5G 的定义和三大应用场景；
- (2) 了解 5G 的特点和承载网的需求；
- (3) 理解承载网的定义及演进发展；
- (4) 了解国内三大运营商 5G 承载网的前传、中传和回传解决方案。

1.3 知识准备

1. 5G 的定义及特点

5G 是第五代移动通信系统（5th Generation Mobile Networks）的简称，是第四代移动通信系统（4th Generation Mobile Networks, 4G）的升级，是新的无线接入技术和现有无线接入技术的高度融合，是 2020 年以后广泛使用的新一代移动通信系统。5G 的三大主要优点是超高带宽、超低时延及海量连接。

2. 5G 三大应用场景

国际标准化组织 3GPP（3rd Generation Partnership-Project，第三代合作伙伴）定义了 5G 的三大场景，分别是 eMBB（Enhanced Mobile Broadband，增强型移动宽带）、uRLLC（Ultra- Reliable Low-Latency Communications，低时延高可靠通信）和 mMTC（Massive Machine Type Communications，海量物联）。



扫一扫看 5G 三大应用场景微课视频

eMBB 集中表现为超高的传输数据速率、广覆盖下的移动性保证等。在 eMBB 场景下，用户可以轻松享受在线 4K 视频及 VR/AR 视频，用户体验速率可提升至 1Gb/s，峰值速度甚至达到 10Gb/s。

在 uRLLC 场景下，通信时延要达到 1ms 级别，而且支持高速移动（500km/h）下的高可靠性（99.999%）和高安全性连接。uRLLC 场景包括车联网、工业控制、远程医疗等应用。

mMTC 能够支持大量终端同时接入，适合数据传输速率低且对时延不敏感的场景，如智能井盖、智能路灯、智能水表电表等。它强大的连接能力可以促进各垂直行业（智慧城市、智能家居、环境监测等）的深度融合，改变人们的生活方式。

3. 5G 组网常见概念

4G 向 5G 演进的过程中，5G NR、5G 核心网、4G 核心网和 4G 接入网混搭，形成多种网络部署方案。3GPP 为不同需求的运营商制定了不同“套餐”搭配选择，总体上分为 SA 和 NSA 两大类，其网络架构如图 1.1 所示。

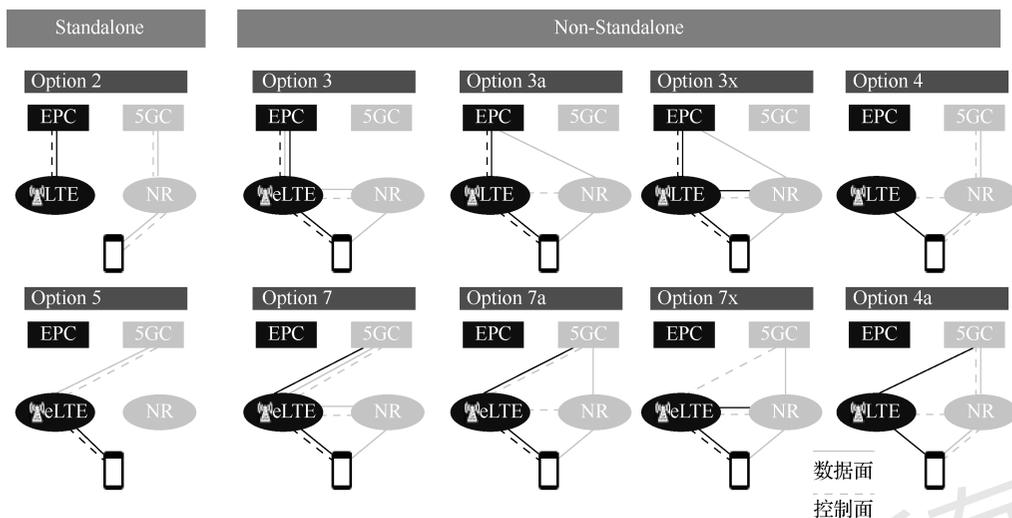


图 1.1 5G 组网模式

(1) 非独立部署 (Non-Standalone, NSA): 5G NR 以 LTE eNB 为控制面锚点接入 EPC, 或以 eLTE eNB 作为控制面锚点接入 NGC。典型的部署方式为 Option 3、Option 7 和 Option 4。Option 3 的核心网采用 EPC, 无线侧使用 LTE eNB; Option 7 的核心网采用 5GC, 无线侧使用 eLTE eNB。Option 4a 与 Option 4 的区别在于 LTE eNB 升级为 eLTE eNB, 可以与 5GC 直接连接, eLTE 数据流量可以直接进入 5GC。

(2) 独立部署 (Standalone, SA): 以 5G NR 作为控制面锚点接入 NGC, 典型的部署方式为 Option 2 和 Option 5。

4. 5G 业务对承载网的需求

5G 业务对承载网的带宽、时延、可靠性指标要求大幅提升。想要满足要求, 只靠无线空口改进是不行的, 包括承载网在内的端到端网络架构, 都必须更新。5G 承载网面临的挑战主要包括以下几个方面。

1) 单站带宽需求增强

5G 空口的速率提升了几十倍, 承载网带宽也大幅提升。5G 低频带宽的均值为 3Gb/s, 峰值为 8Gb/s; 5G 高频的均值为 6Gb/s, 峰值为 12Gb/s。5G 基站的峰值相比 4G 有几十倍的提升, 对现网设备 (特别是接入层) 带来巨大的挑战。

2) 低时延和高可靠性

uRLLC 场景如车联网、工业控制等, 对网络的时延和可靠性要求苛刻, 端到端时延低至毫秒级。根据 3GPP TR 38.913 的要求, 从手机、基站等终端设备到 5GC 核心网等设备的业务时延需求 (UE-CU): eMBB 场景业务为 4ms, uRLLC 业务为 500 μ s。5G 时延要求相比 4G 有一个数量级的提升, 现有网络架构难以满足。

此外很多 5G 场景, 都提出了“6 个 9 级别 (99.9999%)”的可靠性要求, 因此承载网还要有足够强大的容灾能力和故障恢复能力。

3) 泛在连接

5G 采用超密集组网技术, 基站密度更高, 站间协同是必选功能, 东西向流量带宽需求相



扫一扫看承载网的需求和结构微课程



比 4G 大幅增加。核心网云化部署在边缘 DC 中，边缘 DC 之间的东西向流量需要动态疏导。MEC 下沉到边缘汇聚层，MEC 之间也会产生东西向流量。同时 MEC 和边缘 DC 之间也产生南北向流量。因此 5G 承载网趋向于采用 Full Mesh 全连接，现有网络架构（L2+L3）需要重新设计。

4) 高精度同步能力

5G 频段主要工作在 TDD 模式，空口帧结构相位同步要求端到端 $\pm 390\text{ns}$ ，承载网 $\pm 260\text{ns}$ 。在未来载波聚合场景下，端到端相位同步精度高至 $\pm 130\text{ns}$ ，室内定位业务更是要求基站空口时间同步精度达 $\pm 10\text{ns}$ 。

5) 智能运维

5G 设备数量多，网络切片、Full Mesh 流量等新特性，导致承载网架构复杂，需要更智能化的网络运维系统，以降低网络的运营成本，实现网络的灵活、智能、高效和开放。

6) 支持网络切片

网络切片是一种按需组网的方式，运营商在物理的通信网络上分离出多个虚拟的端到端网络。每个网络切片从无线接入网到承载网再到核心网，都在逻辑上隔离，以适配各种类型的应用，传送网切片是网络切片的重要组成部分。

5. 5G 无线接入网结构

无线接入网（Radio Access Network, RAN）的功能是把手机终端接入通信网络中。相比 4G 接入网，5G 接入网被重构为 3 个功能实体，分别是 CU（Centralized Unit, 集中单元）、DU（Distribute Unit, 分布单元）、AAU（Active Antenna Unit, 有源天线单元）。5G 接入网和 4G 接入网的关系如图 1.2 所示。

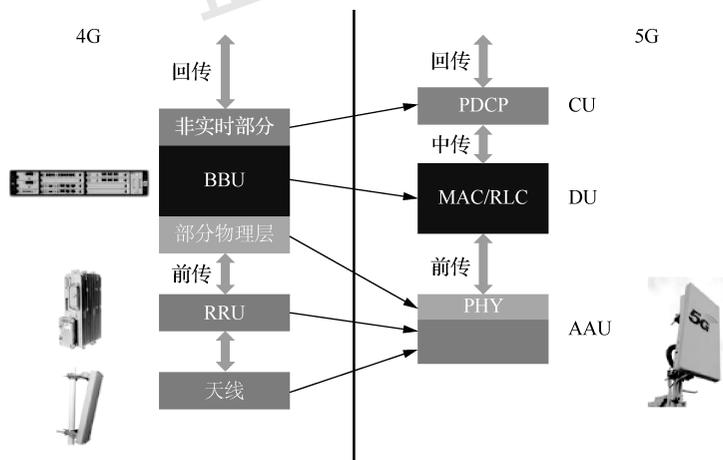


图 1.2 5G 接入网和 4G 接入网的关系

(1) CU: 负责处理非实时协议和服务，包括非实时的无线高层协议栈功能，同时支持部分核心网功能下沉和边缘应用业务的部署。

(2) DU: 负责处理物理层协议和实时服务。

(3) AAU: 包含 4G BBU 的部分物理层功能、原 RRU 及无源天线功能。

5G 基站回传网络，分为前传（AAU 和 DU 之间）、中传（DU 和 CU 之间）、回传（CU



和核心网之间)。运营商可以根据环境需要灵活调整 DU 和 CU 的位置, 按照其位置不同, 5G 承载网又可分为 D-RAN (Distributed RAN, 分布式无线接入网) 和 C-RAN (Centralized RAN, 集中化无线接入网) 两大类。其中, C-RAN 还可分为“小集中”和“大集中”, 如图 1.3 所示。

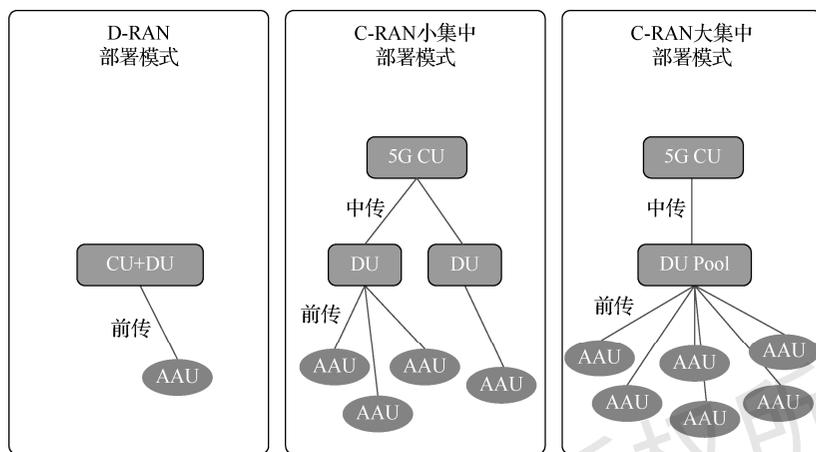


图 1.3 5G 无线接入网的部署方式

6. 5G 承载网结构

5G 承载网主要是由城域网和骨干网共同组成的。城域网又分为接入层、汇聚层和核心层; 骨干网又分为省级骨干网和国家骨干网。本书所述 5G 承载网主要指 5G 城域网。

5G 无线接入网部署模式的多样性, 使 5G 承载网前传、中传、回传的位置也随之不同, 依据 5G 提出的标准, CU、DU、AAU 可以采取分离或合设的方式, 会出现多种网络部署形态, 如图 1.4 所示, 共分为 4 种方案。

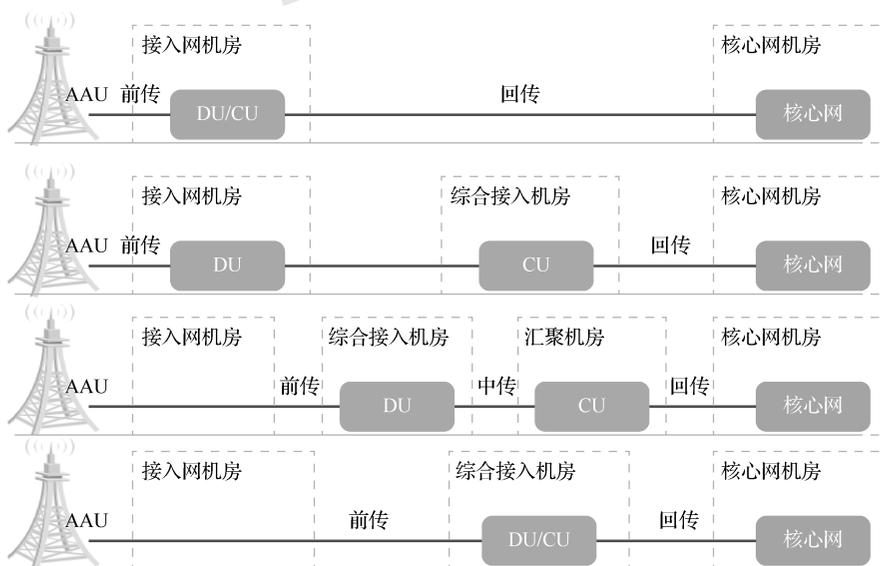


图 1.4 5G 承载网部署模式

方案 1: 部署方式与传统 4G 宏站一致, CU 与 DU 共硬件部署, 构成 BBU 单元, 只有前传网和回传网, 没有中传网。



方案 2: DU 部署在 4G BBU 机房, CU 集中部署。

方案 3: DU 集中部署, CU 更高层次集中。

方案 4: CU 与 DU 共站集中部署, 类似 4G C-RAN 方式, 只有前传网和回传网, 没有中传网。

总之, 5G 网络架构、网元形态、网络形态架构都发生了巨大的变化, 大部分网络设备均已经完成了虚拟化、云化, 硬件资源池化、网元功能软件化, 实现端到端的网络切片、统一按需的资源编排。5G 承载网形成了前传网、中传网、回传网、骨干网等多种形态, 5G 网络部署更加敏捷、智能、灵活。

7. 5G 承载技术

5G 承载网需要支持多层承载、网络切片、灵活连接调度及 4G/5G 混合承载。中回传还需要支持 L0~L3 的综合传送能力: ①L0 提供超高速光接口, 支持波分复用光层传输、组网和调度能力; ②L1 采用 TDM 技术, 为不同场景提供管道隔离及物理端口级别的网络切片功能; ③L2 和 L3 层采用分组隧道及 VPN (Virtual Private Network, 虚拟专用网络) 技术, 实现业务及应用的网络切片功能。

5G 中回传主要有 3 种方案。

1) 切片分组网 SPN 方案

切片分组网 SPN 方案利用切片分组网 SPN 设备组建中回传网络, 如图 1.5 所示。

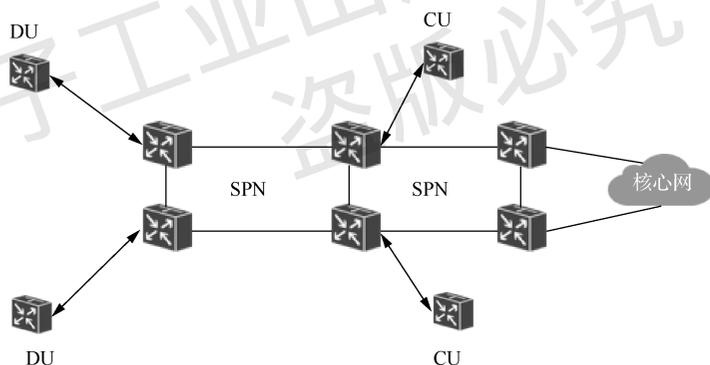


图 1.5 切片分组网 SPN 方案



扫一扫看运营商
承载网解决方案
微课视频

2) 端到端分组增强型 M-OTN 方案

端到端分组增强型 M-OTN 方案的中传与回传网络全部使用分组增强型 M-OTN 设备进行组网, 其网络架构与 SPN 类似。

3) IPRAN 2.0 方案

IPRAN 2.0 方案的中传采用 IPRAN 或 OTN 组建, 回传采用 IPRAN 组建, 其网络架构与 SPN 类似。

以上 3 种方案均支持 $n \times 200\text{GE}/400\text{GE}$ 接口、FlexE 端口捆绑、多层次 OAM 及保护机制、快速故障检测定位和快速保护倒换。目前, 中国移动使用 SPN 方案, 中国电信使用 M-OTN 方案, 中国联通使用 IPRAN 2.0 方案。

1.4 任务实施



任务实施记录单

班级_____学号_____姓名_____

S 省建有一套 5G 承载网，省会 5G 承载网核心层采用日子型（口子型 4 个网元，日子型 6 个网元）组网，核心网为 5GC+EPC 共存方式，通过干线下挂 3 个地市，分别为 A 市、B 市和 C 市。A 市承载网建有一个口子型核心层，下挂 3 个大区，每个大区建有一个口子型汇聚层，分别下挂 3 个、4 个和 5 个接入层，接入层均有 6 个网元。B 市和 C 市的情况与 A 市相同，请根据以上描述绘制 S 省的 5G 承载网拓扑图。

电子工业出版社版权所有
盗版必究



任务 2 理解 5G 承载网关键技术



扫一扫看 5G 承载网关键技术教学课件

2.1 任务描述

本次任务重点学习 FlexE 和 SR 两个 5G 承载网关键技术。FlexE 服务于 eMBB 场景，支持带宽按需扩展，为网络切片提供支撑，同时 FlexE 交叉技术可以有效降低业务的转发时延。SR 是解决 5G 承载网灵活大连接的有效解决方案，在同一物理网络基础上，为不同业务场景或大客户提提供基于 FlexE 的网络切片，不同的网络切片内基于 SR 实现业务灵活部署。网络切片能让网络资源统一协同调度，实现基于业务链的按需服务。

2.2 任务目标

- (1) 理解 FlexE 技术原理；
- (2) 理解 SR 技术原理。

2.3 知识准备

1. 5G 承载网的分层架构

如同 OSI (Open System Interconnection, 开放系统互连) 模型一样，5G 承载网也有自己的分层架构，不同的层级对应不同的功能，如图 2.1 所示。

中国移动、中国电信、中国联通分别选择了 SPN、M-OTN、IPRAN 2.0 作为 5G 承载网的演进方向，3 种方案关键技术对应的层级如表 2.1 所示。



图 2.1 5G 承载网的分层结构

表 2.1 三大运营商演进方案的各层级技术对比

层次	SPN	M-OTN	IPRAN 2.0
业务适配层	CBR、L2VPN 和 L3VPN	CBR、L2VPN 和 L3VPN	L2VPN 和 L3VPN
L2-L3 分组转发层	MPLS-TP、SR-TP/SR-BE	SR-TE/SR-BE/MPLS(-TP)	SR-TE/SR-BE/MPLS(-TP)
L1-TDM 通道层	切片通道层 (SCL)	ODUk/ODUflex	—
L1 数据链路层	FlexE 或 GMTN	ITU-T OTUk 或 FlexO	FlexE 或 Ethernet
L0 WDM 光层	灰光或 WDM 彩光	灰光或 WDM 彩光	灰光或 WDM 彩光

1) L0 WDM 光层

L0 WDM 光层主要提供单通路高速光接口，还有多波长的光层传输、组网和调度能力。它采用光纤作为自己的物理传输媒介，包含灰光和 WDM 彩光两种技术，其中灰光就是单通道单波长技术，WDM 彩光就是多通道多波长技术。

2) L1 数据链路层

L1 数据链路层提供 L1 通道到光层的适配。中国移动和中国联通倾向于使用 FlexE 技术，中国电信倾向于使用 FlexO 技术。

FlexE 把多个物理端口进行“捆绑合并”，形成一个虚拟的逻辑通道，以支持更高的业务速率。通过端口捆绑和时隙交叉技术，能轻松实现业务带宽 25G→50G→100G→200G→400G→



xT 的逐步演进。

FlexO 与 FlexE 类似，通过绑定多个标准速率的物理端口，来支持更高速率的光信号。

3) L1-TDM 通道层

在 L1 层除传统数据链路层外，5G 承载网新增加了 TDM 通道层，服务于网络切片所需的硬管道隔离，提供低时延保证。中国移动采用 SCL 切片通道层，中国电信采用 ODUk/ODUFlex，中国联通暂未详细定义这一层。

4) L2-L3 分组转发层

L2-L3 分组转发层提供路由转发相关的能力，在该层 SR 技术将逐步取代传统的 MPLS 技术。SR 也称源路由，是一种新型的 MPLS 技术，具有“不管中间节点”的特点，灵活性更高，开销更少，效率更高。

SR 技术主要提供 SR-TP (SR Transport Profile) 和 SR-BE (SR Best Effort) 两种隧道扩展技术 (SR-TE 太过复杂，应用较少)。SR-TP 隧道用于面向连接的、点到点业务承载，提供基于连接的端到端监控运维能力；SR-BE 隧道用于面向无连接的、Mesh 业务承载，提供任意拓扑业务连接并简化隧道规划和部署。

5) 业务适配层

业务适配层提供多业务映射和适配支持，主要包括 CBR (Constant Bit Rate, 恒定比特率)、L2VPN 和 L3VPN 这 3 种技术。CBR 是业务比特率恒定的电信业务。L2VPN 是工作在 L2 层的虚拟专用网络，能提供专线和专网业务。L3VPN 和 L2VPN 类似，也是虚拟专用网络，但工作在 L3 层，因此可以提供路由功能。

以上就是 5G 承载网各层级涉及的主要关键技术，下面我们选取 FlexE、SR 关键技术详细介绍。

2. 5G 承载网关键技术——FlexE 技术

1) FlexE 概述

FlexE 属于以太网的第三代技术，以太网的发展经历了以下 3 个阶段。

(1) 第一阶段：1980 年，原生以太网 (Native Ethernet)，支持互联互通；广泛应用于园区、企业及数据中心互联，并延伸到 HPC、存储和垂直应用领域。

(2) 第二阶段：2000 年，电信以太网 (Carrier Ethernet)，面向运营商网络应用，电信级的城域网、3G/4G/4.5G 承载网和专线接入服务；引入 IP/MPLS 技术，具备 QoS (Quality of Service, 服务质量) 保障、OAM、保护倒换和高性能时钟等电信级功能。

(3) 第三阶段：2015 年，FlexE，面向 5G 网络中的云服务、网络切片，以及 AR/VR/超高清视频等时延敏感业务；接口技术创新，实现大端口演进，子速率承载，硬管道隔离；构建智能端到端链路，IP 低时延。

FlexE 作为以太网的第三代技术，将成为 5G 承载网发展的关键技术。2016 年 3 月，OIF (Optical Internetworking Forum, 国际标准组织光互联网论坛) 发布 FlexE 1.0 标准内容 (OIF-FLEXE-01.0)，定义了 100GE 的物理 PHY 通道和单个时隙的速率为 5Gb/s。后面陆续发布了 FlexE 1.1/2.0/2.1 标准内容，将限于链路的 FlexE 技术扩展为网络技术，丰富了 FlexE 技术的应用场景，更好地配合 5G 承载网要求，并对物理 PHY 通道和时隙类型进行了增加，



扫一扫看以太网
基础知识微课
视频



进一步简化网络。

2) FlexE Shim 层

传统 IEEE 802.3 的 MAC (Medium Access Control, 介质访问控制) 层与 PHY 层速率一一对应, 为了实现 MAC 层与 PHY 层的解耦合, 需要增加一个功能层来完成时隙调度, 实现多业务承载, 这个功能层就是 FlexE Shim 层。

FlexE 技术在 IEEE 802.3 的协议栈的 MAC 层和 PCS 子层之间增加一个 FlexE Shim 层, 将业务逻辑层和物理层隔开。通过时隙调度的方式实现多个子速率业务; 通过绑定多条 100GE PHY 来传输大流量的以太网业务, 实现逻辑层面的大速率、子速率、通道化功能。绑定多条 100GE PHY 的技术也称反向复用, 反向复用可以实现绑定多个低速服务层承载大速率业务的功能。

FlexE Shim 层融合了时隙和反向复用技术。严格来讲, FlexE Shim 层仍然位于 PHY 层的 PCS 子层之中, 并非位于其上, 所以能最大限度地重用以太网底层技术。PHY 分层如图 2.2 所示。

如图 2.2 所示, 在 100GE 以太网数据传递中, 以太网数据报文 (MAC) 通过 RS 层连接 PHY, 在 PHY 层经过 PCS、PMA、PMD 功能模块后发送出去。在 PCS 功能模块中, 对业务流进行 64b/66b 编码, 然后是扰码、lane 分配和 AM 信息块的插入。FlexE Shim 层由 64b/66b 编码、时隙排列、成员分发和开销插入 4 个部分组成, 其中 FlexE Shim 层的 64b/66b 编码和 PCS 的 64b/66b 编码功能相同, 可以代替后者。

此外, 我们还定义了以下两个概念。

(1) FlexE Client: FlexE 网络的服务客户, 基于 MAC 速率的以太网数据流, 速率是 10GE、25GE、40GE、 $n \times 50\text{GE}$, 可扩展支持 $n \times 50\text{GE}$ 。

(2) FlexE Group: FlexE 协议组, 一个 FlexE Group 中通常包含多个成员 (PHY 通道), 如包含 $1 \sim n$ 个绑定的以太网 PHY, 但目前只支持 100GE。

FlexE Shim 功能层实现 FlexE Client 和 FlexE Group 之间的映射/解映射功能, 与 FlexE Group 一一对应。FlexE Client 通过 FlexE Shim 层承载, FlexE Shim 通过 FlexE Group 传送。FlexE Shim 层采用时分复用方式, 通过多个绑定物理 PHY 通道来承载各种 IEEE 定义的以太网业务。

3) FlexE 时隙分配

在物理 PHY 为 100GE 时, FlexE Shim 中有 $n \times 20$ 个时隙 (n 是成员数量, 每个成员有 20 个时隙), 每个时隙代表 5Gb/s 的速率, 以 66bit 的数据块作为基本传送单位。

在发送端, FlexE Shim 层将以以太网报文进行 64b/66b 编码, 进行速度适配, 然后将业务通过时隙分配到不同的成员链路进行发送。



扫一扫看 FlexE Shim 层微课视频

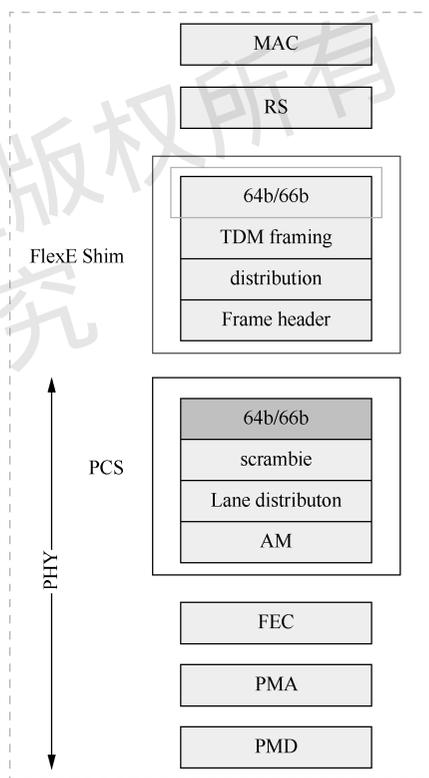


图 2.2 PHY 分层



扫一扫看 FlexE 时隙分配微课视频



在接收端，通过调整接收到 66bit 数据块的速率，进而恢复出原始客户业务数据。

FlexE 使用 Calendar 机制完成 FlexE 客户和 PHY 端口之间的时隙分配，Master Calendar 将所有时隙分成 n 组，每组 20 个时隙，由每个 Sub Calendar 承载；每个 100GE 速率的 PHY 通道有 20 个时隙，每个时隙代表 5GE 的速率。

如图 2.3 所示，FlexE 协议定义每个物理成员 PHY(速率 100GE)上传递一个 Sub Calendar，按照 20 个 5GE 时隙来划分。

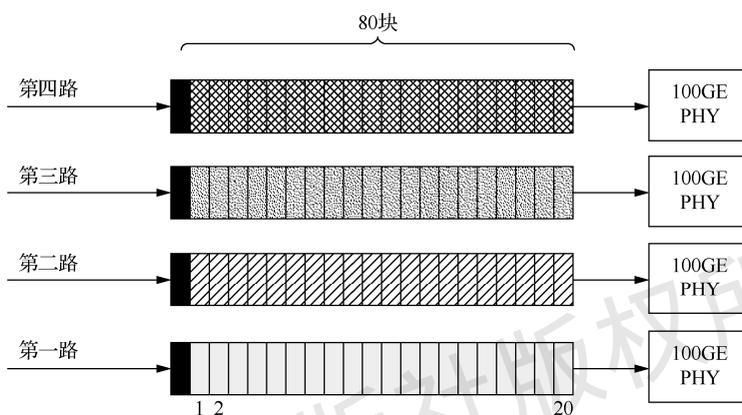


图 2.3 FlexE 时隙分配

FlexE Shim 层是一个 Master Calendar (由多个 Sub Calendar 组成)，有 $n \times 20$ 个 5GE 时隙 (n 为捆绑组的总成员数)。

FlexE Client 的 64b/66b 按照时隙方式插入到 FlexE Shim 层，10GE/25GE/40GE/ $n \times 50$ GE 的 FlexE Client 分别在 Flex Shim 层占用 2 个/5 个/8 个/ $n \times 10$ 个 5GE 时隙。

单 PHY FlexE 传送，是将多个不同客户侧业务报文配置到 Master Calendar 的不同时隙中，该 Master Calendar 仅包含一个 100GE (20 时隙) PHY 的 Sub Calendar，该 FlexE Group 也仅包含一个 Master Calendar。

多 PHY FlexE 传送，首先将多个 PHY 绑定成一个逻辑管道 Master Calendar，然后将多个不同客户侧业务报文配置到 Master Calendar 的 n 个 Sub Calendar 中的不同时隙中。实际上，Master Calendar 一般绑定 4~8 个 100GE 的 PHY 通道。

4) FlexE 数据交叉

如图 2.4 所示，FlexE 数据交叉是指 FlexE Channel 在两个 FlexE Shim 之间，或者 Client 与 FlexE Shim 之间的交叉行为。

传统逐跳解析转发方式：转发前需要恢复出完整的以太网报文，根据路由信息转发到下一个节点，在二层 (MAC 层) 完成报文转发操作。

FlexE 物理层交叉方式：P 节点上客户业务在物理层 (PCS 层) 进行处理，而不是在二层 (MAC 层) 进行处理，不需要恢复出完整的报文格式；从 FlexE Shim 层恢复出的客户业务是 66bit 的数据块，直接交叉到另外一个 FlexE 物理端口；交叉粒度是一个 66bit 的数据块，交叉活动透明，在交叉过程中不改变传输管道中的任何客户业务数据。



扫一扫看 FlexE 交叉微课视频

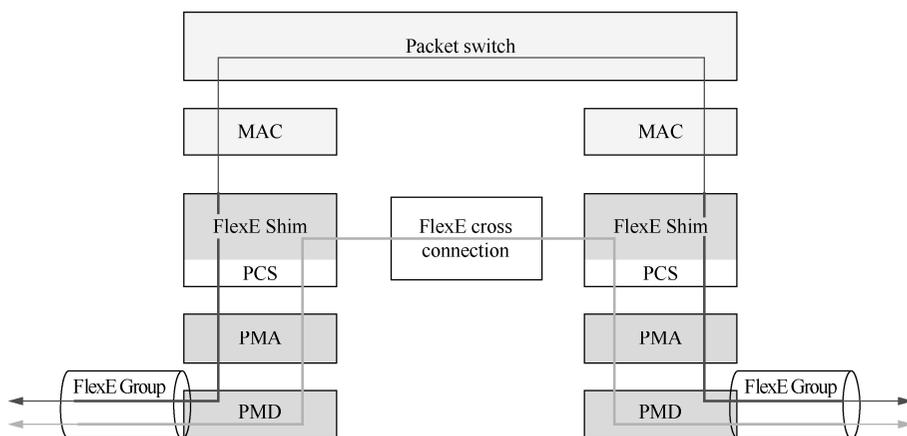


图 2.4 FlexE 数据交叉

3. 5G 承载网关键技术——SR 技术

4G PTN 和 IPRAN 承载网采用 MPLS 技术。MPLS 建立路线时，调度中心要为每个站点规划路线，并把路线下发给所有站点。每个站点除了转发，还要维护规划的路线及路线状态，站点不堪重负，无法满足 5G 高速承载的需求。

SR 是对现有 MPLS 技术的高效简化，同时复用 MPLS 已有的转发机制，能很好地兼容目前的 MPLS 和 IP 网络，并帮助现有 MPLS 网络向 SDN（Software Defined Network，软件定义网络）平滑地演进。

SR 由 IETF SPRING 工作组制定，同时其他工作组（如 OSPF、IS-IS、PCEP 等）也定义 SR 的功能扩展。

SR 技术是一种源路由技术，在头节点计算路径，并把整条路径以有序的 Segment 列表的方式打到报文头中。中间节点只需要按照当前有效的 Segment 对报文进行转发处理，而无须维护这条路径的状态信息。

SR 技术在入口设备上增加 SR 报头，携带 Segment 信息，中间节点基于 Segment 进行寻路和转发，出口设备剥离 SR 报头。Segment 信息是一系列节点或链路标识，用于表述报文必须经过的节点和链路信息。通过 Segment 信息可以实现基于业务类型、基于拓扑或其他任何需求的流量规划，如强制报文经过节点、链路或业务网关等。

1) SR 基本概念

(1) Segment: 本质是指令，Segment list 是指令的合集。

(2) SR 域 (Segment Routing Domain): SR 节点的集合。

(3) SID: 即 Segment ID，用来标识唯一的段，在转发层面，可以映射为 MPLS 标签。

(4) SRGB (Segment Routing Global Block): 用户指定的为 Segment Routing 预留的本地标签集合。建议在一个 SR 域内的所有节点使用相同的 SRGB，便于管理和定位故障。在入口压栈 SR Header，在出口出栈 SR Header，节点无须维护任何状态。

(5) Prefix Segment (前缀段): 手工配置，用于标识网络中的某个目的地址前缀 (Prefix)。通过 IGP (Interior Gateway Protocol, 内部网关协议) 扩散到其他网元，全局可见，全局有效。Prefix Segment 通过 Prefix Segment ID (SID) 标识，Prefix SID 是源端发布的 SRGB 范围内的



扫一扫看 SR
技术特点微
课视频



偏移值，接收端会根据自己的 SRGB 计算实际标签值用于生成 MPLS 转发表项。

(6) **Adjacency Segment (邻接段)**: 源节点通过协议动态分配，也可以手工配置，用于标识网络中的某个邻接。通过 IGP 扩散到其他网元，全局可见，本地有效。Adjacency Segment 通过 Adjacency Segment ID (SID) 标识，Adjacency SID (简称为 Adj SID) 为 SRGB 范围外的本地 SID。

(7) **Node Segment (节点段)**: 手工配置，Node Segment 是特殊的 Prefix Segment，用于标识特定的节点 (Node)。在节点的 loopback 接口下配置 IP 地址作为前缀，这个节点的 Prefix SID 实际就是 Node SID。

通俗地理解，Prefix Segment 代表目的地址，Adjacency Segment 代表数据包的外发链路，分别类似于传统 IP 转发中的目的 IP 地址和转发端口。在 IGP 区域内，网元设备使用扩展 IGP 消息将自身的 Node SID 及 Adjacency SID 进行泛洪，这样任意一个网元都可以获得其他网元的信息。

通过按序组合前缀 (节点) SID 和邻接 SID，可以构建出网络内的任何路径。SR 技术通过在 Ingress 节点上维护每个数据流的状态，就能强制一个数据流通过任意路径或服务链。其实现“源路由”的基本转发原理如下。

① 在 Ingress 节点上，给流量打上一组 (也可能只有一个) 有序的指令 (称为 Segment)。

② 在中间节点上，能根据报文当前的 Active Segment 找到对应的 Segment 转发表，进行转发，同时根据 Segment 类型决定下一个 Active Segment。

对于每个 Segment，一个设备形成的转发表，应具备如下 3 个基本属性。

a. Segment (匹配报文的 Active Segment)。

b. 下一跳 (可以是 ECMP)。

c. 操作类型，包括 PUSH、NEXT、CONTINUE。

PUSH: 打上一层 Segment。

NEXT: 当前 Active Segment 已处理完成，设置新的 Active Segment。

CONTINUE: 当前 Active Segment 尚未处理完成，继续保持 Active 状态。

SR 技术有如下几个优势。

(1) **简化网络**: 在 IGP 域内，SR 对 IGP 进行了扩展，LDP (Label Distribution Protocol, 标记分配协议) /RSVP (Resource Reservation Protocol, 资源预留协议) 不再需要运行。

(2) **可扩展性**: 在中间节点，不需要维护其转发信息，解决了大容量 TE 路径可扩展的问题，可以实现大规模的路径规划，满足 5G 网络的海量连接需求。

(3) **SDN 2.0**: 因为路径信息只需要在头节点进行维护与计算，更适合 SDN 控制器进行路径计算与路径下发。

(4) **负载均衡**: 与 SDN 结合，实现自动的流量工程，SR 使用 IGP，因此天然支持 ECMP 功能，达到网络流量负载均衡的效果。

2) SR 报文转发流程

我们先来看一下 SR 如何通过 IGP 消息发布自身的 Node SID 及 Adjacency SID。

如图 2.5 所示，节点 4 的 loopback 地址为 4.4.4.4/32，配置的 Node SID 为 104，IGP 协议发布 4.4.4.4/32 路由携带 Node SID 104，在每个



扫一扫看 SR 报文转发流程微课视频



节点用 SPF 算法计算 4.4.4.4/32 的路径，节点 1~节点 4 的路径如图 2.5 中的粗箭头所示。

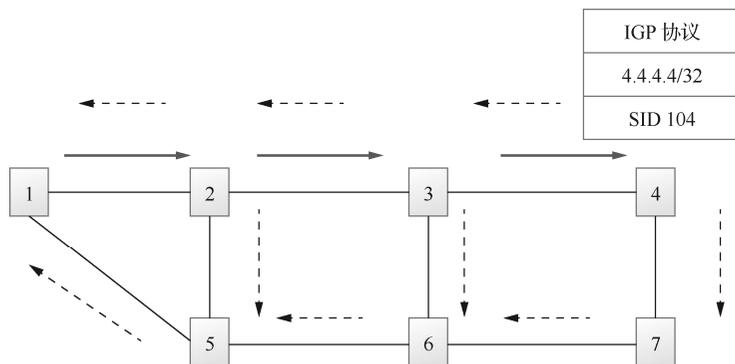


图 2.5 IGP 发布 SR 信息 Node SID

通过 IGP 扩散之后，整个 IGP 域的所有设备学习到节点 4 的 Node SID，之后都会使用 SPF 算法得出一条到节点 Z 的最短路径（Shortest Path），也即开销最小路径。

如果网络中存在等价路径，则可以实现负载分担（ECMP）；如果存在不等价路径，则可以形成链路备份。由此可见，基于 Prefix Segment 的转发路径并不是一条固定路径，头节点也无法控制报文的整条转发路径。

目的 IP 为 4.4.4.4（节点 4 的 loopback 地址）的报文到达节点 1，通过路由匹配走上最短路径，并打上 Node SID 104，节点 2 收到 Node SID，据此 SID 继续转发，并保持此 SID Active。节点 3 弹掉 104 继续转发。网络中任何节点都可以分配 Node SID，其他节点可以通过打上 Node SID 抵达所属节点。

如图 2.6 所示，节点为所有的 IGP 出向邻接分配 Adj SID，如节点 3 为链路 3→6 自动分配 9001，节点 1 为链路 1→2 自动分配 9003。所有的节点都会为其邻接分配对应的 Adj SID。IGP 发布链路状态信息，携带对应的 Adj SID。在节点 1 的一个 SR 隧道，假设其路径全部手工严格指定，依次是 1→2→3→6→7，那么，其形成的 SID 列表为{9003,9002,9001, 9004}。

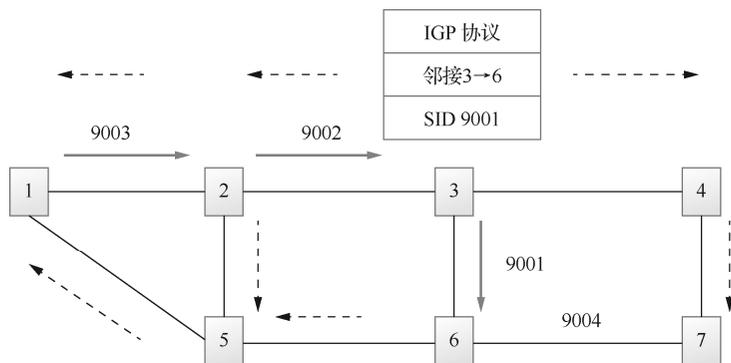


图 2.6 IGP 发布 SR 信息 Adj SID

通过给网络中每个邻接分配一个 Adjacency Segment，然后在头节点定义一个包含多个 Adjacency Segment 的 Segment List，就可以严格指定任意一条显式路径（Strict Explicit）。这种方式可以更好地配合实现 SDN。



Node SID 和 Adj SID 各自存在优缺点，Node SID 属于全局 Segment，只需要打一层 Segment 即可到达目的地，但中间转发路径只能遵照 IGP 或 BGP（Border Gateway Protocol，边界网关协议）的路由选择算法来确定，不能按需指定。Adj SID 属于局部 Segment，可以随意指定并叠加，形成任何需要的转发路径，但是需要打 n 层 Segment，而报文头部过长会影响转发效率。

因此结合实际应用，可以选择使用全局和局部 Segment 结合转发，如此既可指定进行某些特定节点的转发，又能控制标签栈的深度，如图 2.7 所示。

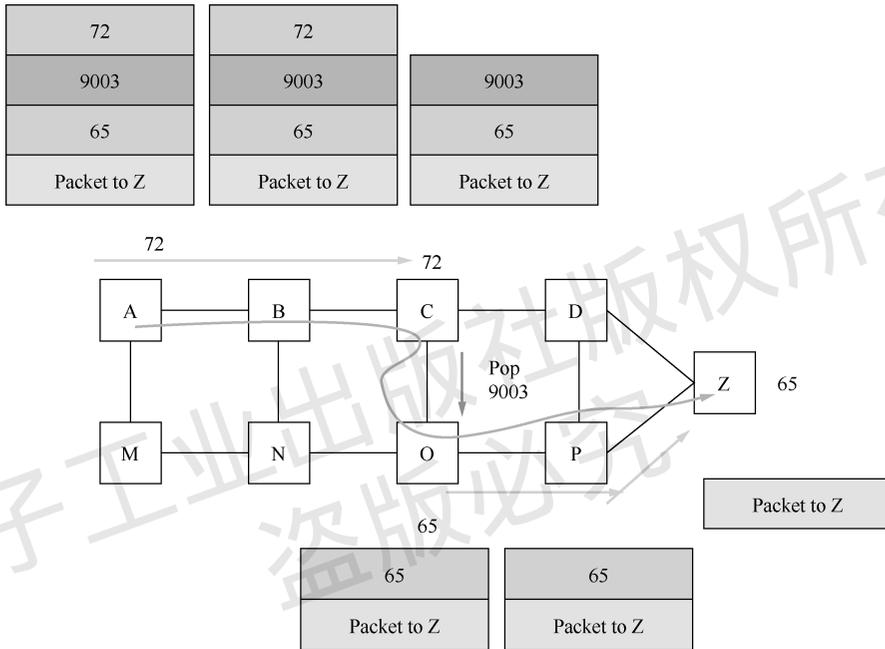


图 2.7 全局和局部 Segment 结合转发

{72,9003,65}描述了一条 A→B→C→O→P→Z 的转发路径。先通过节点 C 的 Node SID 72 到达节点 C，然后通过 Adjacency SID 指定报文通过链路 C→O 到达节点 O，最后使用节点 Z 的 Node SID 转发到达节点 Z。这样报文长度得到了控制，并且可以指定路径。

3) SR LSP

SR LSP（Link State Packet，链路状态分组）是指使用 SR 技术建立的标签转发路径，由一个 Prefix 或 Node Segment 指导数据包转发。SR-BE 是指 IGP 使用最短路径算法计算得到的最优 SR LSP。SR LSP 创建需要完成以下动作。

- (1) 网络拓扑上报（仅在基于控制器创建 LSP 时需要）/标签分配。
- (2) 路径计算。

SR LSP 主要基于前缀标签创建。目的节点通过 IGP 发布 Prefix SID，转发器解析 Prefix SID，并根据自己的 SRGB 计算标签值。此后各节点使用 IGP 收集的拓扑信息，根据最短路径算法计算标签转发路径，并将计算的下一跳及出标签（OuterLabel）信息下发转发表，指导数据报文转发。



SR 的标签操作类型和 MPLS 相同，包括标签栈压入（Push）、标签栈交换（Swap）和标签弹出（Pop）。

(1) Push: 当报文进入 SR LSP 时，入节点设备在报文二层首部和 IP 首部之间插入一个标签；或者根据需要，在报文标签栈的栈顶增加一个新的标签。

(2) Swap: 当报文在 SR 域内转发时，根据标签转发表，用下一跳分配的标签，替换 SR 报文的栈顶标签。

(3) Pop: 当报文在离开 SR 域时，根据栈顶的标签查找转发出口之后，将 SR 报文的栈顶的标签剥掉。

如图 2.8 所示，在 IGP 域内可形成 fullmesh 的 SR-BE 隧道。域内的 SR-BE 都只有一层标签，SR-BE 不带任何约束条件，完全按照 IGP SFP 路径转发，而 IGP 选路原则是不考虑带宽约束条件的。因此 SR-BE 隧道不能保证 TE 能力。跨域的 SR-BE 隧道由控制器计算，仅包含 ABR 节点的 Node SID 或 Anycast SID。

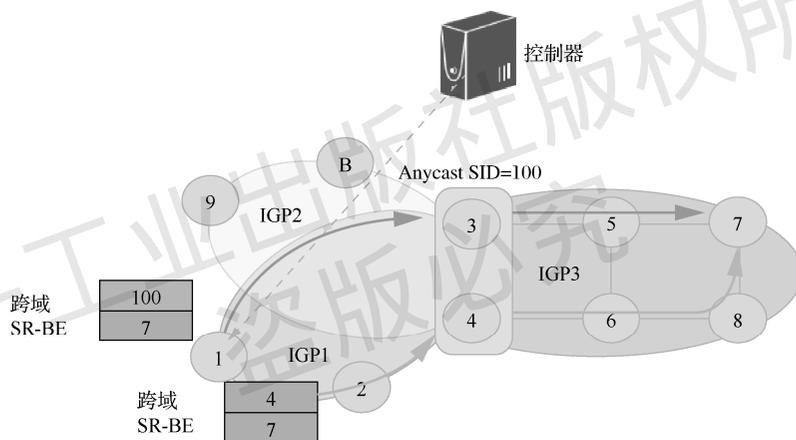


图 2.8 SR-BE 隧道

如图 2.9 所示，SR-TE 是由控制器创建带约束条件的 SR 路径，其中包含严格约束和松散约束两种 SR-TE。

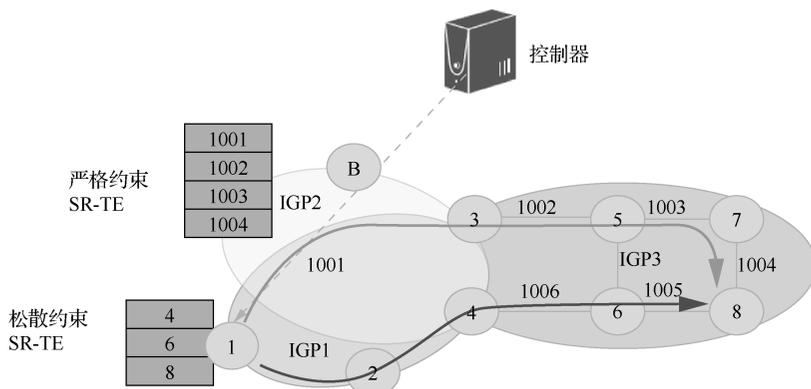


图 2.9 SR-TE 隧道



(1) 严格约束一般采用 Adj SID 标签逐跳约束，完全屏蔽 IGP 的选路原则，不允许局部保护。控制器需要为工作路径和保护路径都预留带宽。

(2) 松散约束一般采用 Node SID 或 Node SID+Adj SID 组合的方式约束，部分跨段允许局部保护。

不论是 SR-BE 还是 SR-TE，与现有的 MPLS-TP LSP 相比还是有较大的差异，主要表现在以下几个方面。

(1) SR 是单向隧道，而 MPLS-TP LSP 是双向隧道。

(2) SR OAM 基于 BFD，且反向路径是 native IP 转发，功能也不完整，而 MPLS-TP 有一整套完整和成熟的 OAM 体系。

(3) SR 是单向倒换，而 MPLS-TP 隧道可以通过 APS 实现双向倒换。

所以我们在 SR-BE 和 SR-TE 两种隧道的基础上提出了 SR-TP 隧道，实现双向、复用 MPLS-TP 的 OAM 体系，以及实现 50ms 保护性能的双向保护。具体实现方式如图 2.10 所示。

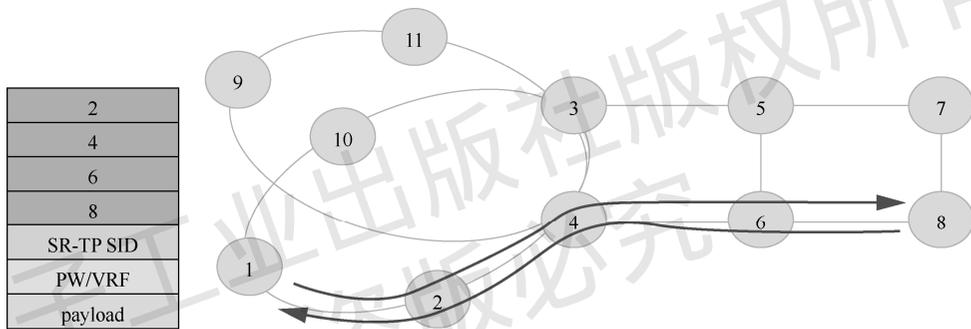


图 2.10 SR-TP 隧道

通过增加一层标签代表 SR-TP 双向隧道，其在 SR tunnel 的内层，可实现将两个单向 SR-TE path 绑定成一个双向隧道。

SR-TP SID 由控制器自动生成。控制器自动为 Segment List 分配一个 SR-TP 标签，并下发到头尾节点。SR-TP 标签为本地标签，保证节点唯一即可。

4. 5G 承载网的其他关键技术

(1) SDN 是一种加强型的集权管理模式。SDN 把网络的控制和流量转发进行拆分，上层 SDN 控制器专门进行控制，下层节点只进行转发。SDN 与 SR 技术完美结合，使 5G 承载网足够灵活，可以更好地实现切片。

(2) 网络切片技术支持网络资源统一协同调度，实现基于业务链的按需服务。

(3) 超高精度时间同步技术包括高精度同步源头技术、高精度同步传输技术、高精度同步局内分配技术、高精度同步检测技术。



扫一扫看网络切片概述微课视频

2.4 任务实施



任务3 估算 5G 承载网的带宽



扫一扫看 5G 承载网
带宽估算教学课件

3.1 任务描述

5G 承载网不仅大幅增加带宽，还需要根据业务需求及时调度分配带宽资源。本任务介绍 4G 和 5G 承载网带宽的估算。

3.2 任务目标

- (1) 会计算 4G 承载网带宽；
- (2) 会计算 5G 承载网带宽。

3.3 知识准备

1. 网络模型与计算方法

核心调度层：根据地市规模部署，调度层下挂骨干汇聚点，每个核心调度层设备，下挂 2~4 个骨干汇聚点。

每个骨干汇聚点下挂 6 个汇聚环；骨干汇聚点上行方向带宽=汇聚环带宽×汇聚环数×收敛比。

每个汇聚环有 6 个普通汇聚节点。

每对汇聚点下挂 4 个接入环；汇聚环带宽=接入环带宽×3×4×收敛比。

热点区域：接入环 4 个节点，平均每个接入节点接入 2 个 5G 基站。

一般区域：接入环 8 个节点，每个节点接入 1 个 5G 基站。

接入环带宽=单站均值×(N-1)+单站峰值（高频场景下计算高频站峰值）。

2. 4G 承载网的带宽估算

1) 网络模型 1

每基站带宽 80Mb/s，核心、汇聚、接入按照 8:6:4 收敛；大城市按照 4000 个基站，中小城市按照 2000 个基站。

带宽分析如下。

(1) 接入层：接入环 6 个节点，考虑 2G/3G 流量 (8+14) Mb/s，大客户预留 100Mb/s，同时满足一个 LTE 基站峰值，接入环带宽为 $6 \times (80+8+14) + 240 + 100 = 952 \text{ Mb/s}$ 。

(2) 汇聚层：汇聚环 6 个节点，每个节点带 6 个接入环。汇聚环带宽为 $6 \times 6 \times 6 \times 80 \times (6/8) / 1000 = 12.96 \text{ Gb/s}$ ，需要根据现网情况为 2G/3G/大客户预留。

(3) 核心层：大城市为 $4000 \times 80 \times (4/8) / 1000 = 160 \text{ Gb/s}$ ；中小城市为 $2000 \times 80 \times (4/8) / 1000 = 80 \text{ Gb/s}$ 。



扫一扫看 4G 承载
网带宽估算 网络
模型 1 微课视频



2) 网络模型 2

每基站带宽 240Mb/s，核心、汇聚、接入按照 8 : 6 : 4 收敛；大城市按照 10000 个基站，中小城市按照 6000 个基站。

带宽分析如下。

(1) 接入层：接入环 6 个节点，考虑 2G/3G 流量 (8+14) Mb/s，大客户预留 100Mb/s，接入环带宽为 $6 \times (240 + 8 + 14) + 100 = 1672 \text{ Mb/s}$ 。

(2) 汇聚层：汇聚环 6 个节点，每个节点带 6 个接入环。汇聚环带宽： $6 \times 6 \times 6 \times 240 \times (6/8) / 1000 = 38.88 \text{ Gb/s}$ 。

(3) 核心层：大城市为 $10000 \times 240 \times (4/8) / 1000 = 1200 \text{ Gb/s}$ ；中小城市为 $6000 \times 240 \times (4/8) / 1000 = 720 \text{ Gb/s}$ 。



扫一扫看 4G 承载网带宽估算 网络模型 2 微课视频



扫一扫看 5G 承载网带宽估算 微课视频

3. 5G 承载网的带宽估算

5G 单站带宽需求如表 3.1 所示。

表 3.1 5G 单站带宽需求

参数	频段		
	5G 低频		5G 高频
频谱资源	3.4~3.5Gb/s, 100MHz 频宽		28Gb/s 以上频谱, 800MHz 带宽
基站配置	3 Cells, 64T64R	3 Cells, 16T16R	3 Cells, 4T4R
小区峰值	6Gb/s	4Gb/s	8Gb/s
小区均值	1Gb/s	400Mb/s	2Gb/s
单站峰值	单站峰值=单小区峰值+均值×(N-1)		
	$6 \text{ Gb/s} + (3-1) \times 1 \text{ Gb/s} = 8 \text{ Gb/s}$	$4 \text{ Gb/s} + (3-1) \times 0.4 \text{ Gb/s} = 4.8 \text{ Gb/s}$	$8 \text{ Gb/s} + (3-1) \times 2 \text{ Gb/s} = 12 \text{ Gb/s}$
单站均值	单站均值=单小区均值×N		
	$1 \text{ Gb/s} \times 3 = 3 \text{ Gb/s}$	$0.4 \text{ Gb/s} \times 3 = 1.2 \text{ Gb/s}$	$2 \text{ Gb/s} \times 3 = 6 \text{ Gb/s}$

5G 基站峰值带宽相比 4G，有几十倍的提升，对现网设备（特别是接入层）带来巨大的挑战。5G 承载网初期接入、汇聚、核心的收敛比建议为 16 : 4 : 1，中后期的收敛比为 8 : 4 : 1。

3.4 任务实施



任务实施记录单

班级 _____ 学号 _____ 姓名 _____

场景 1：热点区域。

1 个接入环 4 个节点，平均每节点带 2 个 5G 站(其中 4 个高频站,4 个低频 64T64R)。请分别计算接入环带宽、汇聚环带宽、骨干汇聚点上行带宽。

场景 2：一般区域。

1 个接入环 8 个节点，每节点带 1 个低频站 (8 个低频站 16T16R, 1 个站取峰值)。请分别计算接入环带宽、汇聚环带宽、骨干汇聚点上行带宽。



习题 1

1. 5G 承载网在 L0~L3 层分别使用了哪些技术？
2. 5G 承载网前传、中传、回传都使用了哪些解决方案？
3. 5G 承载网中，核心、汇聚、接入的收敛比是多少？

电子工业出版社版权所有
盗版必究