

ROADM网络业务

波长一致编排方法研究

Research on Scheduling Methods
for Consistent Wavelength in
ROADM Network Services

刘烽博¹, 陈东², 赵满良¹, 刘刚¹, 李乐坚¹ (1. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450007; 2. 中国联合网络通信集团有限公司, 北京 100033)

Liu Fengbo¹, Chen Dong², Zhao Manliang¹, Liu Gang¹, Li Lejian¹ (1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China; 2. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China)

摘要:

随着 ROADM 全光网络的广泛部署与应用, 业务规划设计复杂性提升, 涵盖路由选择、光通路编排及电再生中继规划等多个关键环节。针对批量业务在 ROADM 全光网络中进行端到端一致波长的光通路波道编排和规划场景, 提出一种业务波道编排方法, 生成的波道编排方法具有波长碎片少、网络资源利用率高、本地维度占用分配和使用均衡、波长使用规范、便捷维护和管理等优点, 对 ROADM 网络业务规划设计具有重要的参考意义。

Abstract:

With the widespread deployment and application of ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) all-optical networks, the complexity of service planning and design has increased, encompassing multiple critical aspects such as routing selection, optical path orchestration, and electrical regeneration relay planning. It primarily focuses on the scenario of orchestrating and planning optical path channels with end-to-end consistent wavelengths for bulk services in ROADM all-optical networks. It proposes a service channel orchestration method that generates channel arrangements with advantages such as reduced wavelength fragmentation, high network resource utilization, balanced allocation and usage of local dimensions, standardized wavelength utilization, and convenient maintenance and management, which has significant reference value for the planning and design of ROADM network services.

Keywords:

ROADM; Bulk services; Consistent wavelength

引用格式: 刘烽博, 陈东, 赵满良, 等. ROADM网络业务波长一致编排方法研究[J]. 邮电设计技术, 2024(12): 22-27.

1 概述

目前, 各大运营商在省际及省内骨干网络中广泛部署了 ROADM 全光传输网, 以高效承载 IP 互联网、产业互联网、国际、大客户等多样化的波长级大带宽业务。为满足不同业务的特定要求, 运营商会综合考虑业务时延、成本效益、网络性能、安全可靠性及客户具体要求等因素, 编制业务路由规划、光通路波道分配以及电再生中继布局等传输承载方案。

为降低整体组网成本, 并显著提升运维的便捷性与效率, 在对批量业务进行光通路波道编排与规划设计的过程中, 需要考虑遵循波长使用规范、减少波长碎片的产生、提升波道资源的利用率、保持本地维度使用均衡性等因素。

2 ROADM全光网络介绍

ROADM 全光传输网在构建时采用 Mesh 型组网结构。这种结构的显著特点在于其网络节点数量众多且节点间链路选择灵活多样, 从而形成了高密度的网格状网络, 能够有效实现区域内的扁平化网状组网。

收稿日期: 2024-10-30

关键词:

ROADM; 批量业务; 一致波长

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.12.004

文章编号: 1007-3043(2024)12-0022-06

中图分类号: TN913

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Mesh型结构不仅增强了网络的连通性和冗余度,还赋予了ROADM系统光交叉调度的极高灵活性,使得光信号能够在复杂的网络环境中快速、准确地被分配路由,确保了网络在面临故障时能够迅速恢复,保障了传输的稳定性和可靠性^[1-2]。

ROADM光网络拓扑结构示意图如图1所示,其中A至J代表ROADM站点,实线代表ROADM站点间光缆路由连接。

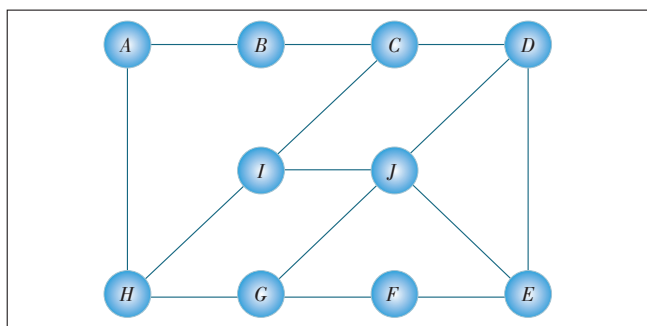


图1 ROADM全光网络拓扑结构示意图

根据图1,将2个ROADM节点之间相互连通的链路定义为ROADM网光复用段OMS,如OMS_{AH},OMS_{CD}等。每个OMS复用段为一个智能的WDM传输系统,可以承载 N 个100/200 Gbit/s光通路。

ROADM局站设备的CD-ROADM典型模式结构如图2所示,该模型采用多个线路方向共享本地上下路模块来实现方向无关,采用波长可调谐的两级WSS提供本地上下路端口。通常为了网络维护和管理便捷,一般会将会某个ROADM站的本地维度按照每2个设置为一个组进行分组,用于业务的电中继再生,本地维度1和本地维度2为一个组,本地维度3和本地维度4为一个组,业务在进行电再生中继时可以选择是否改变波长。

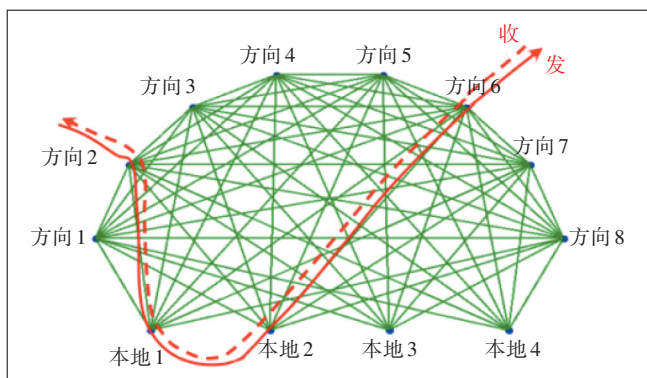


图2 CD-ROADM模式典型结构

3 批量业务端到端波长一致规划方法

3.1 批量业务端到端波长一致规划原理

业务编排方法由以下几大部分组成。

a) 业务信息处理。处理的主要信息有业务名称、编排优先级、OMS路由、路由沿途节点、电再生中继节点等。

b) 网络信息处理。主要处理ROADM全网的波道使用信息,如ROADM网络全网的OMS链路名称、OMS链路未用波道、全网ROADM网元节点名称、每个节点的本地维度数量、本地维度分组信息、每个本地维度的未用波道情况等。

c) 业务排序计算。通过计算每条业务的OMS权重(即OMS链路数量),将业务依次按照优先级、OMS权重由高到低进行排序。

d) 业务编排处理。编排业务OMS、本地维度波道及全路由波长一致规范的操作等。

e) 系统更新。根据业务编排结果更新网络的OMS链路、节点本地维度波道使用状况。

f) 结果统计。输出业务端到端一致波长的波道规划结果。具体的原理框图如图3所示。

3.2 批量业务端到端波长一致规划的实现步骤

批量业务端到端波长一致规划的实现步骤如下。

a) 获取 N 条待波道编排的业务信息,要求业务在ROADM网中端到端波长一致。以图1所示网络结构为基础,设定有7条业务需要按照端到端波长一致的原则进行波道编排业务,具体信息如表1所示,业务信息包括但不限于业务名称、业务优先级、业务OMS路由、业务起始和终端节点、业务电再生中继节点等。其中,业务优先级一般由工程需求方指定,可分为紧急业务需求、常规业务需求等(优先级越小,优先程度越高)。业务路由一般规划为最短路由,对于特定类型业务,则根据相对应的路由策略进行路由安排。

b) 获取ROADM网络具体信息。以图1所示网络结构为例,需要获取整个ROADM网络的OMS链路名称、可用波道、全网ROADM节点名称、每个节点本地维度数量、本地维度分组、每个本地维度的可用波道。具体如表2和表3所示,表中给出了每个OMS复用段、本地维度可用波道,其中仅节点J配置4个本地维度,其他节点均配置2个本地维度。

c) 对 N 条业务进行路由分析,计算各条业务的OMS权重,并依次按照优先级、OMS权重对业务进行

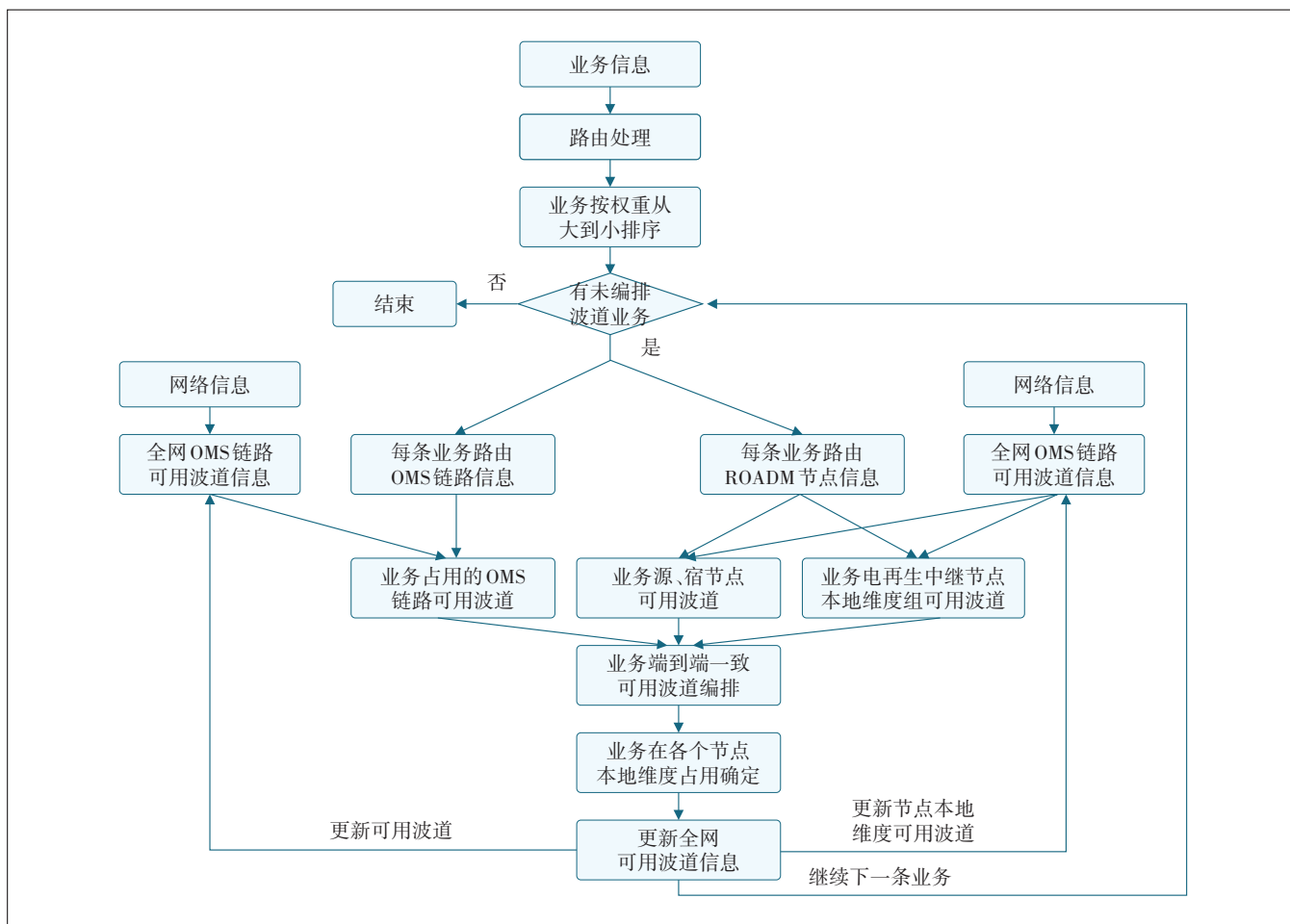


图3 业务端到端一致波长的波道编排方法原理

表1 业务基本信息

序号	业务名称	优先级	业务路由	电中继位置
1	业务1	3	A-H-I	-
2	业务2	3	J-E	-
3	业务3	3	A-H-I-J-E	I, J
4	业务4	3	I-J-E	J
5	业务5	3	B-C-D-J	D
6	业务6	2	H-G-J	G
7	业务7	3	A-H-I-J	I

排序。以上述7条业务为例,该步骤执行后的结果如表4所示。业务 OMS 权重的计算则根据 OMS 复用段的数量、局向等因素进行赋值;业务 OMS 权重越高,则优先程度越高。

d) 根据排序后的业务信息,按顺序选择1条业务,结合网络资源信息,获取该条业务的 OMS 信息、节点信息等。以业务3为示例,其 OMS 复用段信息和路由沿线节点信息如表5和表6所示。

表2 ROADM网络 OMS 链路基本信息

序号	OMS 链路名称	A 端节点名称	Z 端节点名称	可用波道
1	OMS_AB	A	B	1,2,3,4,5,6
2	OMS_BC	B	C	1,2,3
3	OMS_CD	C	D	1,2,3,4,5,6
4	OMS_DE	D	E	1,2,3,4,5,6
5	OMS_EF	E	F	1,2,3,4,5,6
6	OMS_FG	F	G	1,2,3
7	OMS_GH	G	H	1,2,3,4,5
8	OMS_AH	A	H	1,2,3
9	OMS_HI	H	I	1,2,3,4,5,6
10	OMS_CI	C	I	1,2,3,4,5,6
11	OMS_IJ	I	J	1,2,3,4,5
12	OMS_DJ	D	J	1,2,3,4,5,6
13	OMS_GJ	G	J	1,2,3
14	OMS_EJ	E	J	1,2,3,4,5,6

e) 计算业务 OMS 链路的可用波道。按照业务全端到端波长一致的原则,通过将各个 OMS 复用段可

表3 ROADM网络节点基本信息

序号	节点名称	本地维度名称	可用波道	本地维度分组
1	A	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4	
2	B	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
3	C	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
4	D	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
5	E	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
6	F	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
7	G	本地维度1	1,2,3,4	本地组1
		本地维度2	1,2,3	
8	H	本地维度1	1,2,3,4	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
9	I	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4	
10	J	本地维度1	1,2,3,4	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
		本地维度3	1,2,3	本地组2
		本地维度4	1,2,3,4,5	

表4 业务处理及排序

序号	业务名称	优先级	OMS权重	业务路由	电中继位置
1	业务6	2	2	H-G-J	G
2	业务3	3	4	A-H-I-J-E	I, J
3	业务5	3	3	B-C-D-J	D
4	业务7	3	3	A-H-I-J	I
5	业务1	3	2	A-H-I	-
6	业务4	3	2	I-J-E	J
7	业务2	3	1	J-E	-

表5 业务3的OMS复用段信息

业务名称	路由OMS段	可用波道
业务3	OMS _{AH}	1,2,3
	OMS _{HI}	1,2,3,4,5,6
	OMS _{IJ}	1,2,3,4,5
	OMS _{EJ}	1,2,3,4,5,6

用波道求交集的方式,筛选业务OMS链路中波长一致的可用波道。以业务3为例,用 $S_{OMS_{AH}}$ 集合代表OMS_{AH}的可用波道。用 S_{OMS} 集合表示该业务3的OMS链路可用波道。则 S_{OMS} 集合的计算如下:

表6 业务3的路由沿线节点信息

节点名称	节点类型	本地维度名称	可用波道	本地维度分组
A	源节点	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4	
H	光穿通	本地维度1	2,3,4	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
I	电中继节点	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4	
J	电中继节点	本地维度1	2,3,4	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
		本地维度3	1,2,3	本地组2
		本地维度4	1,2,3,4,5	
E	宿节点	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	

$$S_{OMS} = S_{OMS_{AH}} \cap S_{OMS_{HI}} \cap S_{OMS_{IJ}} \cap S_{OMS_{EJ}} = \{1,2,3\}$$

f) 计算业务源节点、宿节点的可用波长。由于业务在源、宿节点仅需要一个本地维度即可满足需求,通过将节点内各个本地维度可用波道求并集的方式,筛选业务在源、宿节点中的可用波道。以业务3为例,用 S_A 集合代表源节点的可用波道,用 S_E 集合代表宿节点的可用波道。用 S_{A1} 集合表示该A节点本地维度1的可用波道,用 S_{A2} 集合表示该A节点本地维度2的可用波道,则节点可用波道的计算如下:A节点(源节点)的可用波长: $S_A = S_{A1} \cup S_{A2} = \{1,2,3,4,5\}$;E节点(宿节点)的可用波长: $S_E = S_{E1} \cup S_{E2} = \{1,2,3,4,5\}$ 。

g) 计算业务电再生中继节点的可用波道。由于业务在电再生中继节点需要一个本地维度组(即2个本地维度)才能可满足需求,且编排原则为端到端一致波长,则需要首先将节点内单个本地维度组内各个本地维度可用波道求交集,然后在节点内各个本地维度组间求并集,即为该电再生中继节点可用波道,最后将所有电再生中继节点的可用波道求交集,获取业务所有电再生中继节点共同可用波道。以上述业务3为例,用 S_{Reg} 集合代表业务沿线所有电再生中继节点的可用波道,用 S_I, S_J 集合代表I节点、J节点(电再生中继)的可用波道。用 S_{J1}, S_{J2} 集合表示该J节点本地维度组1、2的可用波道,用 S_{J11}, S_{J12} 集合表示该J节点本地维度组1的本地维度1、本地维度2的可用波道,用 S_{J21}, S_{J22} 集合表示该J节点本地维度组2的本地维度3、本地维度4的可用波道,则节点可用波道的计算方式及结果如下。

(a) 计算各个本地维度组可用波道。对于I节点

本地维度组 1: $S_{n1} = S_{n11} \cap S_{n12} = \{1,2,3,4\}$; 对于 J 节点本地维度组 1: $S_{j1} = S_{j11} \cap S_{j12} = \{2,3,4\}$; 对于 J 节点本地维度组 2: $S_{j2} = S_{j21} \cap S_{j22} = \{1,2,3\}$ 。

(b) 计算电再生中继节点可用波道。对于 I 节点: $S_i = S_{i1} = \{1,2,3,4\}$ (I 节点仅有一个本地维度组); 对于 J 节点: $S_j = S_{j1} \cup S_{j2} = \{1,2,3,4\}$ (J 节点有 2 个本地维度组)。

(c) 计算业务 3 所有电再生中继节点共同可用波道: $S_{Reg} = S_i \cap S_j \dots = \{1,2,3,4\}$ 。

h) 计算该业务端到端一致波长的波道。通过计算该业务的所有 OMS 可用波道、源节点和宿节点可用波道、所有电再生中继节点可用波道的交集, 获取业务端到端可用波道集合, 在该集合中挑选波道序号最小的波道作为业务最终一致波长编排的波道。以业务 3 为例, 该业务基于端到端一致波长原则下, 可选用的波道集合用 S 表示, 则 S 的计算方式为: $S = S_{OMS} \cap S_{Reg} \cap S_A \cap S_E = \{1,2,3\}$, 按照波道号从小到大原则选择, 业务 3 全程端到端的最终波道选择为第 1 波。

i) 业务在各个节点的本地维度占用和分配。根据所选择的波道号, 在业务源节点、宿节点、电再生中继节点处, 按照本地维度组顺序、本地维度从小到大的顺序, 依次筛选业务在各个节点具体占用的本地维度, 光穿通的节点不涉及本地维度的选择。以业务 3 为例, 其最终选择波道为第 1 波。

(a) 业务源节点 A : 本地维度 1 和本地维度 2 的第 1 波都可以使用, 根据本地维度从小到大的顺序, 确定在源节点 A 处选择本地维度 1。

(b) 业务宿节点 E : 本地维度 1 和本地维度 2 的第 1 波都可以使用, 根据本地维度从小到大的顺序, 确定在源节点 E 处选择本地维度 1。

(c) 业务中继节点 I : 本地维度 1 和本地维度 2 的第 1 波可用, 只有一个本地维度, 根据本地维度从小到大的顺序, 确定在源节点 I 处选择本地维度 1 和本地维度 2 的第 1 波。

(d) 业务中继节点 J : 本地维度 1 第 1 波已经占用, 本地维度 3 和本地维度 4 的第 1 波可以使用, 根据本地维度从小到大的顺序, 确定在电中继节点 J 处选择本地维度 3 和本地维度 4。

业务 3 的在全程波长一致的原则下, 端到端波道规划及编排结果如表 7 所示。

表 7 业务 3 端到端波道规划编排结果(全程一致波长)

类别	名称	本地维度	波道号
节点(源)	A	本地维度 1	1
链路	OMS_AH	-	1
节点(光穿通)	H	-	-
链路	OMS_HI	-	1
节点(电中继)	I	本地维度 1、本地维度 2	1
链路	OMS_IJ	-	1
节点(电中继)	J	本地维度 3、本地维度 4	1
链路	OMS_EJ	-	1
节点(宿)	E	本地维度 1	1

j) 根据该业务的波道规划编排结果, 将该业务在 OMS 链路、节点本地维度波道占用情况更新至全网网络的 OMS 链路信息、节点信息, 保证该波道不被后序业务占用。以业务 3 为例, 业务 3 在 OMS_AH、OMS_HI、OMS_IJ、OMS_EJ 占用的第 1 波, 需将该 4 个业务复用段中可用波道集合中的第 1 波删除, 业务 3 在节点 A 本地维度 1、节点 I 的本地维度 1 和本地维度 2、节点 J 的本地维度 3 和本地维度 4、节点 E 的本地维度 1 中可用波道集合中的第 1 波删除, 详见表 8 和表 9。

k) 重复上述 d)~j) 步, 依次循环规划编排, 直至 N 条业务基于全程波长一致原则全部完成波道编排规划为止。按照此编排方法进行的波道编排结果如图 4 所示, 按业务原始顺序编排结果如图 5 所示。

从图 4 和图 5 可以看出, 按业务原始顺序编排方法进行的波道编排, $A-H-I-J-E$ 段 OMS 链路的波道碎片较多, 且使用了 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ 这 4 个波平面, 后期如利用波

表 8 业务 3 编排后的更新网络 OMS 段信息库

序号	OMS 链路名称	A 端节点名称	Z 端节点名称	可用波道
1	OMS_AB	A	B	1,2,3,4,5,6
2	OMS_BC	B	C	1,2,3
3	OMS_CD	C	D	1,2,3,4,5,6
4	OMS_DE	D	E	1,2,3,4,5,6
5	OMS_EF	E	F	1,2,3,4,5,6
6	OMS_FG	F	G	1,2,3
7	OMS_GH	G	H	2,3,4,5
8	OMS_AH	A	H	2,3
9	OMS_HI	H	I	2,3,4,5,6
10	OMS_CI	C	I	1,2,3,4,5,6
11	OMS_IJ	I	J	2,3,4,5
12	OMS_DJ	D	J	1,2,3,4,5,6
13	OMS_GJ	G	J	2,3
14	OMS_EJ	E	J	2,3,4,5,6

表9 业务3编排后的更新网络节点本地维度信息库

序号	节点名称	本地维度名称	可用波道	本地维度分组
1	A	本地维度1	2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4	
2	B	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
3	C	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
4	D	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
5	E	本地维度1	2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
6	F	本地维度1	1,2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
7	G	本地维度1	2,3,4	本地组1
		本地维度2	2,3	
8	H	本地维度1	2,3,4	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
9	I	本地维度1	2,3,4,5	本地组1
		本地维度2	2,3,4	
10	J	本地维度1	2,3,4	本地组1
		本地维度2	1,2,3,4,5	
		本地维度3	2,3	本地组2
		本地维度4	2,3,4,5	

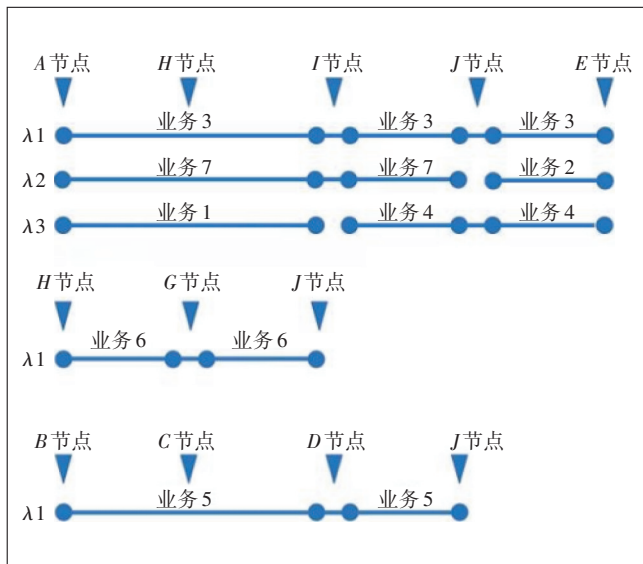


图4 按本文业务编排方法进行波道编排结果

长碎片,存在需要进行光电转换的可能,会增加网络投资成本。而按本文所提的编排方法进行的波道编排,OMS波道图中波道碎片很少,且仅占用 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ 这3个波平面即完成同样业务的编排。

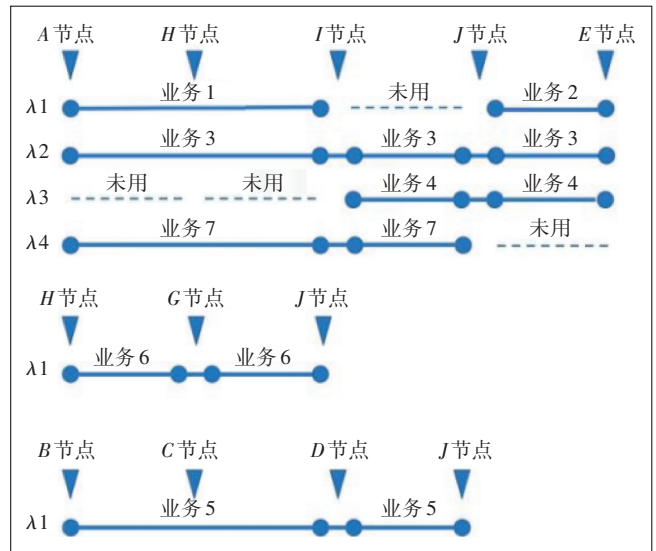


图5 按业务的原始顺序依次波道编排结果

4 总结及意义

本文介绍的ROADM网络批量业务端到端波长一致的光通路波道编排设计方法,基于业务优先级、OMS复用段权值进行该批次 N 条业务排序,实现了优先级高、OMS复用段权重大的业务优先进行波道编排和规划的目标。

本文研究的ROADM网络波道编排方法按照OMS链路、源/宿节点、电再生中继节点分割,独立寻找可用波长,再通过交集确定最终可选方案,优化算法,防止波道冲突。波长规划基于波道序号最小原则筛选,跨本地维度时按顺序分配,确保均衡使用、少碎片、低波平面占用,对使用ROADM网规划批量业务时具有重要的参考及指导意义。

参考文献:

- [1] 费星瑞,段致岩. ROADM网络最优路径计算算法研究[J]. 邮电设计技术, 2024(6): 58-62.
- [2] 乔月强,金飙,王先枝. 链性传输系统ROADM应用模式探讨[J]. 邮电设计技术, 2018(4): 12-16.

作者简介:

刘烽博,工程师,主要从事骨干光传输网规划、设计、研究等工作;陈东,高级工程师,硕士,主要从事光通信网络的维护、管理和优化工作;赵满良,高级工程师,硕士,主要从事骨干光传输网技术研究、网络测试、网络规划等工作;刘刚,高级工程师,注册咨询工程师,硕士,主要从事干线、本地传输网络及政企业务传输承载方面的技术研究、网络测试、网络规划、工程项目的可研设计等工作;李乐坚,高级工程师,硕士,主要从事骨干光传输网规划、设计、研究等工作。