



ROADM 在光层组网中的配置及应用

赵春华

(广东省电信规划设计院有限公司 广州 510630)

摘 要: 阐述了可重构光分插复用器(ROADM)的各种配置方案,比较了光交叉和电交叉的应用差别,介绍了 ROADM 在运营商中的主要应用,分析了 ROADM 中 CDC 架构的可扩展性,提出了未来具备 CDC 功能的 ROADM 架构,并分析了其在光层、电层联合组网中的应用。

关键词: ROADM;波长无关;方向无关;竞争无关;波长选择开关

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.06.024

Configuration and Application of ROADM in Optical Layer Networking

Zhao Chunhua

(Guangdong Planning and Designing Institute of Telecommunications Co., Ltd., Guangzhou 510630, China)

Abstract: Various kinds of configuration of reconfigurable optical add-drop multiplexer (ROADM) were illustrated. Differences in application between optical cross-connect and electrical cross-connect were compared. The main application of ROADM in carrier's network was presented. The scalability of the structure on CDC based ROADM was analyzed. A future framework of CDC based ROADM was proposed and its application in the optical layer and the electrical layer combined networking was analyzed.

Key words: ROADM, colorless, directionless, contentionless, WSS

1 引言

可重构光分插复用器(ROADM)是波分复用(WDM)系统中实现光层调度和恢复的重要器件,在 WDM 网络规划建设中使用 ROADM 可以减少波长转换器(OTU)的使用,降低工程造价;ROADM 使得 WDM 由点对点系统演化为具有光层交叉连接功能的网络系统,借助 ROADM,维护人员可以在网管上调度部分光波长,减少人工入站跳纤的次数,从而降低运维成本,目前以波长选择开关(WSS)为组件的 ROADM 正得到越来越广泛的应用。

2 ROADM 的几种配置方案

ROADM 的配置分为群路直通侧配置和落地侧配置。

群路直通侧让波长从一个方向的群路侧直通到另一个方向,中间不经过电的再生,对于目前 1:8 的 WSS 来说,一个方向的波长可以直通到其他任意 7 个方向,与电层直通不同,光层没有波长转换,故必须在相同波长之间进行,两个不同群路的相同波长不能同时进入同一个群路,存在波长竞争;另外,光层没有再生功能,其传输信号的性能劣化(ONSR、PMD 等)是累积的,性能劣化的程度决定了无电中继距离。

落地侧(支路侧)的波长经 ROADM 在光层落地后,要么经过收发 OTU 终结落地,要么通过中继 OTU 继续上路,通过中继 OTU 的波长可以认为是波长在电层的直通或转接,电层的直通和转接分别是对光层信号再生功能和波长转换功能的弥补。落地侧可以配置电交叉,也可以不

配,电交叉可以在电层实现电路的调度和保护,但会带来较大的功耗。

2.1 ROADM 群路直通侧的配置

ROADM 群路直通侧的配置一般是把各个群路方向连接成网状网^[1],具体可以采用 3 种配置方式:一是合路器和分路器都用 WSS;二是合路器用耦合器,分路器用 WSS;三是合路器用 WSS,分路器用耦合器。这 3 种配置方式都可以实现群路的网状连接,实际使用较多的是方式二,即合路器用耦合器、分路器用 WSS 的方式,如图 1 所示。后文的图示采用方式一,即合路器和分路器都用 WSS 的方式,这种方式的上路和下路是完全对称的,图示起来比较方便。

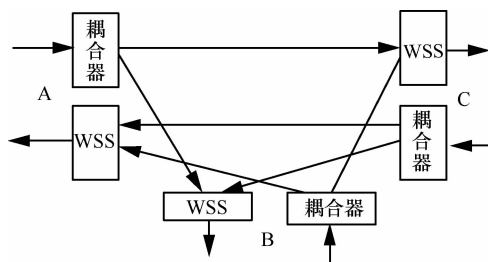


图 1 三维 ROADM 群路侧最常用的连接方式

2.2 ROADM 落地侧的配置

落地侧的配置需要考虑方向、波长和竞争是相关还是无关,方向无关(directionless)指落地的波长可以连接到不同的群路;波长无关(colorless)指落地光器件的端口与波长没有固定的对应关系;竞争无关(contentionless)是指在方向无关时,落地波长之间不存在波长冲突。不同的需求导致不同的配置,分以下几种情况分别考虑。

2.2.1 配置 1:方向相关、波长相关

这是最简单的配置,每对阵列波道光栅(AWG)直接连在各自的群路方向上,如图 2 所示,A、B、C 3 个群路侧连成网状网,对于落地的支路侧,每个 AWG 连接一个群路方向,只分离该群路方向上的波长,为方向相关;由于 AWG 器件

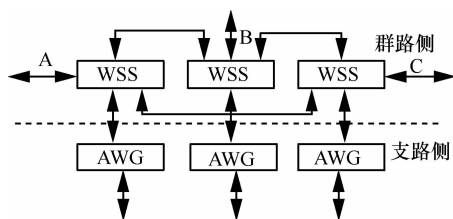


图 2 三维 ROADM 方向相关、波长相关的配置

的端口与波长是固定对应的,因此波长相关;这种配置没有波长竞争,因为波长竞争是在配置为方向无关时才可能出现。这是 ROADM 一种比较常用的配置方式,成本最低。

2.2.2 配置 2:方向无关、波长相关、竞争相关

方向无关的配置^[2]需要增加一个 WSS 将各群路方向的波长合并到落地侧的 AWG,使得 AWG 可以分离来自不同群路方向的波长,以实现方向无关,如图 3 所示。同样地,由于 AWG 的端口与波长是固定对应的,是波长相关的;这种配置在 AWG 与 WSS 之间的连接处,来自不同方向的相同波长存在竞争(如不能同时出现 λ_1)。这也是一种较常采用的配置方式,成本也比较低,图 3 可以下 80 个波长,如果需要下超过一个群路(80 波)的波长,则支路侧需要增加 WSS+AWG 的组合。

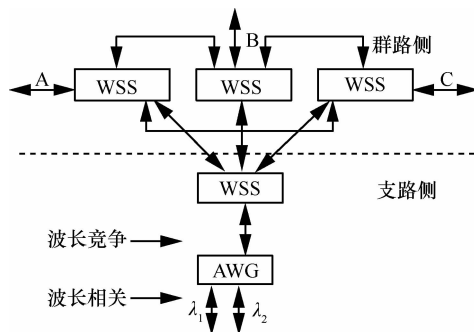


图 3 三维 ROADM 方向无关配置

2.2.3 配置 3:方向无关、波长无关、竞争相关

将图 3 中落地的 AWG 换成 WSS,由于 WSS 的端口与波长不存在固定的对应关系,这样的配置可以实现方向无关和波长无关,如图 4 所示。同图 3 一样,支路侧两个 WSS 的连接处存在波长冲突,例如,图 4 中 A 方向和 C 方向的 λ_1 不能同时进入落地的 WSS,即落地侧的两个端口不可能都是 λ_1 。这种配置的成本较高,因为主流的 WSS 维度是 1:8,即使下一个群路 80 个波长也需要多个 WSS 级联实现,而 AWG 一般都是 1:40,两个 AWG 通过奇、偶间插可以很容易地实现 80 波的合波与分波。

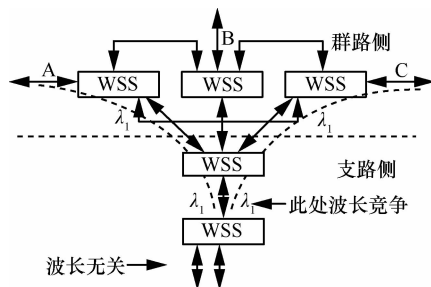


图 4 三维 ROADM 方向无关、波长无关配置



2.2.4 配置 4: 方向无关、波长无关、竞争无关

在图 4 的基础上,落地侧采用 3×4 的多维 WSS,可以实现波长无关、方向无关和竞争无关,具体实现如图 5 所示。图中框线内的部分就是 3×4 的 WSS,其内部由 3 个 $1:4$ 的 WSS 加上 4 个 $1:3$ 的 WSS 组合而成,此时群路 A 侧和群路 C 侧的 λ_1 可以同时进入 3×4 的多维 WSS,落地侧两个不同的端口可以出现相同的波长,实现了波长无关、方向无关和竞争无关(即 CDC)。

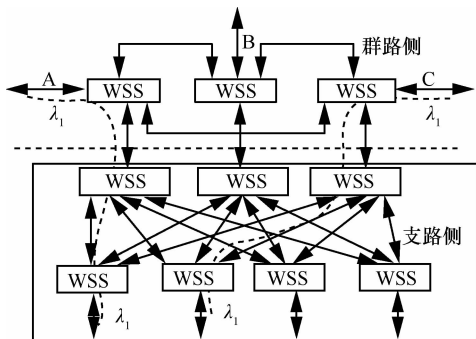


图 5 三维 ROADM 波长无关、方向无关和竞争无关的配置

2.2.5 CDC 方案的可扩展性

图 5 是 CDC 功能的简化示意。实际系统中典型的 WSS 一般是 $1:n$ ($n=8$), n 最大可做到 20, 其 n 比波长的数量小, 图 6 是一种 4 方向下 20 波 ROADM 的支路侧配置, 将此配置看作一个 4×20 的 WSS 单元, 如果下满 80 波, 需要 4 个 4×20 的 WSS 组合才能实现, 具体做法是将 4×20 的 WSS 连接到群路侧剩余的端口(群路 WSS 为 $1:8$, 3 个端口用于群路侧的互联后还剩下 5 个端口), 每个群路侧用 4 个端口与 4×20 的 WSS 连接, 如图 7 所示, 如果要将 4 个方向 4×80 波全部下完, 配置将非常复杂, 事实上完全具备 CDC 功能的 ROADM 目前只存在技术上的可行性, 并不具备商用价值, 运营商实际商用的 ROADM 系统主要采用比较简单的方案 1 或方案 2 进行配置, 方案 3 因成本较高而较少采用, 基于 CDC 的方案 4 则完全

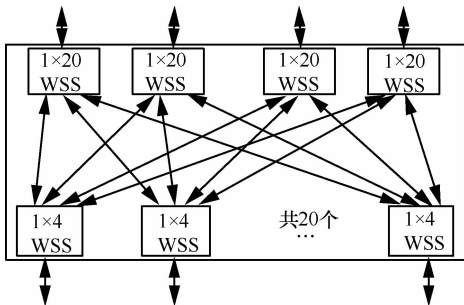


图 6 4×20 WSS 的内部结构

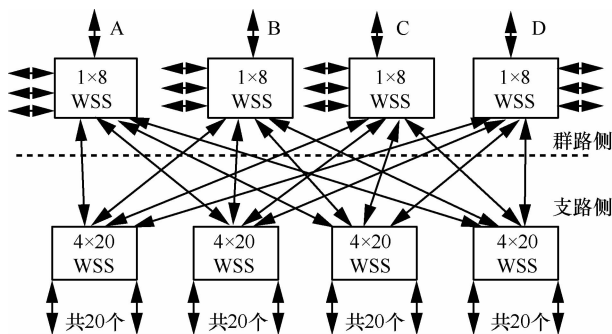


图 7 4 维 ROADM 下 80 波基于 CDC 的 ROADM 配置

没有商用化。

3 光层交叉与电层交叉

光层调度对速率是透明的, 与速率是 10 Gbit/s、40 Gbit/s 或 100 Gbit/s 关系不大, 因此其交叉容量比较大, 功耗比电层交叉低, 这是光层最突出的优势。光层调度的主要缺点体现在以下 3 点。

- 没有电层的再生功能和波长转换功能, 当距离较长或穿通的节点较多时, 需要电层进行再生; 由于不能实现波长转换, 各群路之间的波长直通可能存在冲突。例如, 对于三维的 ROADM(如图 8 所示), 群路 C 方向的前 40 波和后 40 波分别与群路 B 和群路 A 方向的前 40 波和后 40 波光层直通, 群路 A 方向剩余的前 40 波和群路 B 方向剩余的后 40 波由于波长不同无法在光层做直通连接, 必须经过电层的波长转换在电层转接。
- ROADM 在上下波长时, 需要考虑方向、波长和竞争是相关还是无关, 其配置不同, 设备的复杂程度也不同。
- 光层的保护恢复速度一般比电层慢, 通常需要结合控制平面完成路由的恢复。

电层交叉的优势是其天然具备信号再生、波长转换功能, 群路侧的交叉不需要考虑波长竞争, 落地的支路侧无

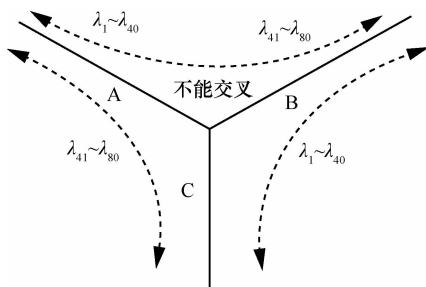


图 8 3 个群路方向的波长在光层直通时发生冲突

需考虑方向、波长和竞争是相关还是无关的问题,电层交叉的工程设计比较简单。从维护角度看,电层调度与传统的 SDH 调度类似,比光层调度更易于理解和掌握。电层交叉的缺点主要有两个:一是交叉容量较小,二是功耗较大。目前商用系统的交叉容量大约为 10 TB,对于单波 100 Gbit/s 系统来说,一个群路方向的 80 波就占用了 8 TB 的容量,消耗了电交叉的大部分容量,故电交叉的组网常采用分波带的方式实现,以减少对交叉容量的需求;另外,电层交叉的功耗也随着单波道速率的提升而升高。

4 ROADM 目前的主要应用

国外 ROADM 较多的应用场景是城域网或区域较小的干线网,较短的传输距离允许较多的光层穿透,采用 ROADM 可方便网络的光层调度和恢复;对于范围较大的干线网,由于距离较长,大多数电路不能直接穿透 ROADM,必须进行电层的再生,运营商往往直接选择熟悉的电层交叉实现网络的调度和保护。目前的 ROADM 主要有以下两种应用。

采用第 1 种配置,作为智能配线架在网管上实现调度,减少光纤的人工连接,这种配置没有重路由功能。

目前运营商干线中采用的固定 ROADM 通常是利用合、分波器之间直接的跳纤实现,当群路方向比较多时,跳纤会非常多,采用 ROADM 可以将大量的外部光纤连接变成 WSS 器件内部的连接,具体的连接方向(波长路由)通过网管指配完成,这一方面减少了工程施工中的人工连纤,另一方面也减少了维护中的故障点数量,跳纤的接头故障在维护中常常占据较大的比例。

采用第 2 种或第 3 种配置(主要是第 2 种配置),实现光层调度和光层的重路由恢复。

这种配置主要应用在地域较小的干线或城域网中,国外的一些运营商采用 ROADM 一方面进行光层的调度,减少人工跳纤;另一方面开启光层的控制平面实现光层的重路由功能,或者结合电层的保护功能实现 ASON 下的永久“1+1”保护。

5 ROADM 未来的应用——基于 CDC 的 ROADM 节点

在基于 CDC 的 ROADM 成熟商用后,利用 CDC 结构的 ROADM 加上电中继 OTU 可以实现各类光层的调度和

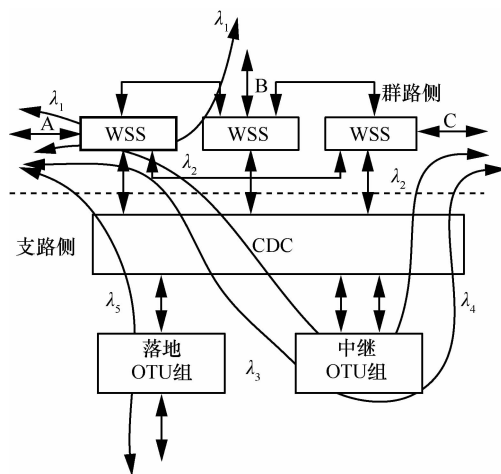


图 9 基于 CDC 的三维 ROADM 节点的波长调度方案

保护恢复,这种结构可以替代容量偏小、功耗偏大的电交叉矩阵。

一种基于光层调度/保护恢复的 CDC ROADM 节点架构如图 9 所示。

将需要进行交叉调度的波长分为如下 4 类:

- 群路 A 的 λ_1 可以在光层利用 ROADM 的群路侧连接直接在光层穿透至群路 B;
- 群路 A 的 λ_2 由于信号劣化不能直接在光层穿透,需要在光层落地经过中继 OTU 后再上路到群路 C;
- 群路 A 的 λ_3 由于与群路 C 的 λ_4 无法在光层进行转换,需要经过中继 OTU 进行波长转换,以实现交叉连接;
- 群路 A 的 λ_5 经落地 OTU 落地后接业务层的设备,也可以转接到其他的波分系统。

如果配备具有 CDC 功能的 ROADM,则落地的端口可以与任意群路连接,与波长无关且不存在波长竞争,从而可以大大简化网络配置,将电层的 OTU 分为两类:一类是落地的 OTU 组,用于波长的终结落地;另一类是中继的 OTU 组,实现电层的再生中继和波长转换的功能。所有 OTU 都采用 80 波可调,在此配置下, λ_1 直接走光层直通,不经过 OTU; λ_2 、 λ_3 、 λ_4 接入全波可调的中继 OTU 组,实现电层的直通和转接; λ_5 接入落地的 OTU 组后直接落地。从网络调度的角度看,群路之间的波长直通要么直接在光层进行,要么在光层落地后经中继 OTU 在电层直通,不同波长的交叉连接在光层落地后经 OTU 实现波长转换,此时无需配置电交叉矩阵,即可实现各类的调度;从网络保护的角度看,这种架构结合光层的控制平面,未来引入具有全