

用于光传输系统的频谱调整方法及网络管理系统

5 本申请要求于 2022 年 01 月 30 日提交中国专利局、申请号为 202210113395.0、申请名称为“用于光传输系统的频谱调整方法及网络管理系统”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

10 本公开涉及光传输技术领域，特别是涉及一种用于光传输系统的频谱调整方法及网络管理系统。

背景技术

15 随着光传输收发机波特率的演化和提升，多种不同波特率的设备会共存于同一个光传输系统中，这就要求光传输系统中的光层设备能够支持灵活栅格（Flexgrid）属性，便于具有各种带宽需求的电层设备接入。相关标准协议规定了灵活栅格系统中可以创建的通道宽度。例如，ITU-T 698.1 约定了灵活栅格系统中通道宽度是 12.5GHz 的整数倍。

20 在光传输系统中，伴随着通道的上线和下线，原本连续的频谱上可能会出现离散的碎片频谱。由于碎片的宽度与最初创建时的通道宽度相关，因此后续分配通道时，可能会出现空余频谱总量超过请求的通道宽度，但每个单独的频谱碎片都不能满足需求的场景。毫无疑问，这会大大降低频谱利用率。

因此，需要一种能够提升光传输系统的频谱利用率的方案。

发明内容

25 本公开要解决的一个技术问题是提供一种能够提升光传输系统的频谱利用率的频谱调整方案。

30 根据本公开的第一个方面，提供了一种频谱调整方法，包括：以为期望创建的第一波长通道提供至少一个可用的空闲频段为目标，基于光传输系统中与第一波长通道对应的收发端设备当前所使用的第二波长通道的频段信息，生成频谱调整方案，频谱调整方案用于表征需要调整的第二波长通道的频段调整信息；基于频谱调整方案向收发端设备下发调整指令。

35 可选地，生成频谱调整方案的步骤包括：判断第一波长通道的频段宽度是否大于所有未使用的频段的宽度的总和；若第一波长通道的频段宽度小于或等于所有未使用的频段的宽度的总和，则判断第一波长通道的频段宽度是否小于或等于未使用的频段中最大的频段宽度；若第一波长通道的频段宽度大于未使用的频段中最大的频段宽度，则针对至少部分未使用的频段中的各个片段，以将该频段扩展为第一波长通道的频段为目标，生成与各个

频段对应的频谱调整方案。

可选地，该方法还包括：基于收发端设备的调节能力判断频谱调整方案的可行性，并剔除不可行的频谱调整方案；并且/或者判断频谱调整方案是否符合预先录入的约束条件，并剔除不符合约束条件的频谱调整方案。

- 5 可选地，该方法还包括：对保留的频谱调整方案进行指标评估，评估的指标包括频谱调整方案涉及调整的第二波长通道的个数和/或涉及调整的第二波长通道的调节频率之和；基于指标评估结果从保留的频谱调整方案中选择频谱调整方案。

- 10 可选地，该方法还包括：获取意图信息，意图信息包括收发端设备的标识信息、第一波长通道的传输速率以及第一波长通道的频段宽度中的至少一项；并且/或者获取约束信息，约束信息包括第一波长通道的频段区间、第一波长通道所处频段的优先级、频谱调整方案涉及调整的第二波长通道的最大值、频谱调整方案执行时涉及的调整步骤的最大值以及收发端设备的激光器的中心频率的调节范围中的至少一项，其中，生成频谱调整方案的步骤包括：基于收发端设备当前使用的第二波长通道的频段信息以及意图信息和/或约束信息，生成频谱调整方案。

- 15 可选地，基于频谱调整方案向收发端设备下发调整指令的步骤包括：向收发端设备下发用于拓展第二波长通道的频段宽度的第一指令；响应于接收到第一指令执行成功的消息，向收发端设备下发用于调整激光器频率的第二指令，以促使收发端设备将激光器频率调整为目标值；在收发端设备将激光器频率调整为目标值后，向收发端设备下发用于将第二波长通道的频段宽度缩小为调整前的频段宽度的第三指令。

- 20 可选地，向收发端设备下发用于调整激光器频率的第二指令的步骤包括：分别向收发端设备中位于发送端的第一电层设备和位于接收端的第二电层设备下发第二指令，第二指令所表征的激光器频率调节范围不超过第一数值；在第一电层设备和第二电层设备均执行完第二指令后，再次分别向第一电层设备和第二电层设备发送第二指令，直至第一电层设备和第二电层设备均将激光器频率调整为目标值。

- 25 根据本公开的第二个方面，提供了一种用于光传输系统的频谱调整方法，包括：基于频谱调整方案所表征的当前使用的波长通道的频段调整信息，拓展波长通道的频段宽度；调整与波长通道对应的收发端设备中的激光器频率，以使得调整后的激光器发出的光信号的频率处于调整后的波长通道的频段范围内；以及将波长通道的频段宽度缩小为调整前的频段宽度。

- 30 可选地，调整与波长通道对应的收发端设备中的激光器频率的步骤包括：通过一次或多次调节将收发端设备中的激光器频率调整为目标值，以使得收发端设备中的激光器各自发出的光信号的频率均处于调整后的波长通道的频段范围内，其中，在每次调节过程中对收发端设备中激光器的中心频率的调节范围不超过第一数值，且在收发端设备中位于发送端的第一电层设备和位于接收端的第二电层设备均对激光器频率进行调节后再进入下次
35 调节。

根据本公开的第三个方面，提供了一种网络管理系统，包括频谱调整模块、指令生成模块以及通信模块，频谱调整模块以为期望创建的第一波长通道提供至少一个可用的空闲频段为目标，基于光传输系统中与第一波长通道对应的收发端设备当前所使用的第二波长通道的频段信息，生成频谱调整方案，频谱调整方案用于表征需要调整的第二波长通道的
5 频段调整信息，指令生成模块基于频谱调整方案生成用于收发端设备执行的调整指令，通信模块向收发端设备发送调整指令。

根据本公开的第四个方面，提供了一种计算设备，包括：处理器；以及存储器，其上存储有可执行代码，当可执行代码被处理器执行时，使处理器执行如上述第一方面或第二方面所述的方法。

10 根据本公开的第五个方面，提供了一种计算机程序产品，包括可执行代码，当所述可执行代码被电子设备的处理器执行时，使所述处理器执行如上述第一方面或第二方面所述的方法。

根据本公开的第六个方面，提供了一种非暂时性机器可读存储介质，其上存储有可执行代码，当可执行代码被电子设备的处理器执行时，使处理器执行如上述第一方面或第二
15 方面所述的方法。

由此，本公开通过基于收发端设备当前所使用的第二波长通道的频段信息生成频谱调整方案，并基于频谱调整方案向收发端设备下发调整指令，使得可以实现对频谱资源的优化，从而能够为第一波长通道的创建提供支持。

20 附图说明

通过结合附图对本公开示例性实施方式进行更详细的描述，本公开的上述以及其它目的、特征和优势将变得更加明显，其中，在本公开示例性实施方式中，相同的参考标号通常代表相同部件。

图 1 示出了搭载了本公开的频谱调整算法的光传输系统的一种典型结构示意图。

25 图 2 示出了根据本公开一个实施例的生成频谱调整方案的整体流程示意图。

图 3 示出了图 2 中步骤 S340 的实现流程示意图。

图 4 示出了光层设备的波长通道的配置特性示意图。

图 5 示出了根据本公开一个实施例的频谱调整方案执行流程示意图。

图 6 示出了根据本公开一个实施例的网络管理系统的结构示意图。

30 图 7 示出了根据本公开一个实施例的计算设备的结构示意图。

具体实施方式

下面将参照附图更详细地描述本公开的优选实施方式。虽然附图中显示了本公开的优选实施方式，然而应该理解，可以以各种形式实现本公开而不应被这里阐述的实施方式所
35 限制。相反，提供这些实施方式是为了使本公开更加透彻和完整，并且能够将本公开的范围

围完整地传达给本领域的技术人员。

本公开提出了一种适用于光传输系统的频谱调整方法。

光传输系统是指用光信号传输信息的通信系统。光传输系统可以是点对点传输网络拓扑结构，也可以是 Mesh 网络结构。在光传输系统是 Mesh 网络结构时，本公开的频谱调整方法还可以与路由算法相结合，以实现频谱、路由这两个维度的优化（即调整）。

图 1 示出了搭载了本公开的频谱调整方法的光传输系统的一种典型结构示意图。

光传输系统可以包括多个光传输设备以及网络管理系统（Network Management System, NMS）。多个光传输设备可以构成一个利用光信号传输信息的传输网络（即光网络），该传输网络可以是基于波分复用的光网络（如全光网络）。每个光传输设备可以视为传输网络中的一个节点，分布在相应站点。

作为示例，光传输设备可以实现为一种光电分层结构。如图 1 所示，由光层设备（Optical Line Device）和电层设备（Transponder, TPD）组成的框线部分即为光传输设备。

光传输设备可以包含一个光层设备以及一个或多个电层设备。电层设备负责将数通设备（交换机、路由器等）的信号变成光信号，如电层设备可以通过控制激光器发射的光的频率（如中心频率）产生光信号。光层设备负责将电层设备产生的光信号进行传输。

光传输网络中位于发送端的电层设备可以通过控制激光器的发光频率以产生一个或多个光信号。光层设备可以包括复用、放大、均衡、解复用等功能模块。位于发送端的光层设备可以将电层设备生成的多种光信号进行合波，合波后的光信号可以经过放大后在同一根光纤中传输。在一根光纤上可以传输多路信号，每一路信号都由某种特定波长的光来传送，特定波长的信号的传输路径即可称为波长通道。位于接收端的光层设备接收到光信号后，可以进行预放大和分波，然后由电层设备控制激光器产生相同的光信号。

作为示例，光层设备可以采用支持 Flexgrid 的合分波单元，即灵活栅格光合分波单元（Flex Mux and Demux, FMD）。Flexgrid 是指灵活栅格技术。同固定栅格技术相对应，Flexgrid 技术可以灵活调整波分复用系统中波长通道的宽度，适配不同频谱宽度的光波长通道。光层设备具体可以由多端口的耦合器组成，也可以通过多端口的波长选择开关（Wavelength Selective Switch, WSS）组成，还可以通过耦合器与 WSS 的组合一同组成。

NMS 也可称为网管。由光传输设备（也即光层设备和电层设备）组成的光传输系统可以统一由 NMS 进行管理。NMS 与设备之间可以通过一种或多种协议进行交互，例如 Netconf、Restconf、SNMP 等。NMS 内部可以包含多个管理层级，最下一层可以包含拓扑管理（Topology Management）、资源管理（Resource Management）、配置管理（Configuration Management）、性能管理（Performance Management）、告警管理（Alarm Management）等功能管理模块。在此基础上 NMS 可以实现对网络层级的对象进行管理，如可以包括通道管理（Media Channel Management）、光通道管理（OCH Management）、光复用段管理（OMS Management）等功能管理模块。

本公开提出的频谱调整方法也可称为频段调整方法，该方法可以作为一个功能模块

(如频谱优化模块)嵌入在NMS中的更高一层中,在波长通道的规划过程中发挥作用。

频谱调整方案的生成

伴随着波长通道(Channel)的上线和下线,原本连续的频谱上可能会出现离散的碎片频谱,即空闲的频段可能是多个频段宽度较小的频谱碎片。这使得后续创建新的波长通道
5 (即第一波长通道)时,未使用的频段无法直接提供能够满足第一波长通道的频段宽度要求的频段。例如,在未使用的频段中各个连续频段的宽度均小于需要创建的第一波长通道的频段宽度时,就无法直接使用空闲的频段资源创建第一波长通道。

为此,本公开提出,NMS可以以为期望创建的第一波长通道提供至少一个可用的空闲频段为目标,基于光传输系统中与第一波长通道对应的收发端设备当前使用的波长通道
10 (即第二波长通道)的频段信息,生成频谱调整方案。通过执行频谱调整方案可以达到优化频谱资源的效果,因此频谱调整方案也可以称为频谱优化方案或频谱优化策略。

可以在当前具有第一波长通道创建需求时执行本公开的频谱调整方案,以生成能够为第一波长通道提供可用频段的频谱调整方案。也可以在当前存在较多的频谱碎片时执行本公开的频谱调整方案,以对频谱碎片进行整理,得到更宽的空闲频段,以为后续创建第一
15 波长通道提供支持。换言之,“以为第一波长通道提供至少一个可用的空闲频段为目标”中的第一波长通道可以是指当前需要创建的真实通道,也可以是指为实现对频谱碎片进行整理以得到更宽的空闲频段而设置的一个虚拟通道,该虚拟通道仅表征需要整理出大于一定宽度的频段,而无需使用该频段创建新通道,如可以在后续有通道创建需求时再使用该频段。

收发端设备包括位于信号发送端的光传输设备(如位于信号发送端的光层设备和电层设备)和位于信号接收端的光传输设备(如位于信号接收端的光层设备和电层设备)。根据收发端设备当前使用的第二波长通道的频段信息可以确定当前未使用的频段。收发端设备的总可用频段减去已使用的第二波长通道的频段即为未使用的频段,即空闲频段。

频谱调整方案用于表征收发端设备当前使用的第二波长通道中需要调整的第二波长
25 通道的频段调整信息。频段调整信息主要是指频段的平移,即在不改变第二波长通道的频段宽度的情况下对频段的挪动。

在空闲频段的宽度之和大于需要创建的第一波长通道的频段宽度,但空闲频段中单个连续频段的宽度均小于需要创建的第一波长通道所需求的频段宽度时,通过对当前使用的波长通道的频段进行调整,可以整理出能够用于创建第一波长通道的空闲频段。

在实际应用场景中,频谱调整需要考虑多种因素,例如限定的局部频谱区间、对现有波长通道可能造成的风险、频谱调整的耗时、出现异常后的处理方式等。为了满足上述多种需求,NMS可以录入如下信息。

1、意图录入

NMS可以获取意图信息,该意图信息可以由用户录入。

35 意图信息可以是与需要开通第一波长通道的意图相关的信息。

意图信息可以包括需要开通第一波长通道的收发端设备（如收发两端的电层设备）的标识信息、第一波长通道的传输速率以及第一波长通道的频段宽度中的至少一项。

- 5 作为示例，用户可以按照实际需求进行意图录入，所录入的信息主要可以包括：需要开通第一波长通道的两端（即信号发送端和信号接收端）电层设备标识，如设备的 ID、设备的名称或者设备的 IP 地址等；需要开通第一波长通道的两端电层设备的线路口标识，如 1/L1 标识第一块板卡的第一个线路口；需要开通第一波长通道的速率，如 400Gb/s、600Gb/s、800Gb/s 等；需要开通第一波长通道的最小频谱宽度 W，如 87.5GHz，100GHz 等。

2、约束录入

NMS 也可以获取约束信息，该约束信息可以由用户录入。

- 10 约束信息可以是用于反映在生成频谱调整方案时需要考虑的约束条件。

约束信息可以包括第一波长通道的频段区间、第一波长通道所处频段的优先级（该优先级可以是指频段搜索时优先从低频开始还是高频开始）、频谱调整方案涉及调整的波长通道的最大值、频谱调整方案执行时涉及的调整步骤的最大值以及收发端设备（如收发端的电层设备）的激光器的中心频率的调节能力（如调节范围）中的至少一项。

- 15 作为示例，约束信息可以包括：第一波长通道的频段区间，如无输入则对此无约束，可在全频段范围内进行选择；方案（即频谱调整方案）搜索时，优先从低频还是高频开始；方案搜索时，涉及到的其他通道数量的最大值；方案搜索时，涉及到的调整的步骤最大值。

- 20 NMS 可以基于收发端设备当前使用的第二波长通道的频段信息以及上述意图信息和/或约束信息，生成频谱调整方案（也可称为频谱调整策略）。NMS 可以在生成频谱调整方案的过程中，根据上述意图信息和/或约束信息判断要生成的频谱调整方案是否可行，即是否意图信息和/或约束信息相适配。并放弃不可行的频谱调整方案，以使得生成的频谱调整方案均为可行的优化方案。或者 NMS 也可以在生成频谱调整方案之后，根据上述意图信息和/或约束信息判断所生成的频谱调整方案是否可行，并保留可行的频谱调整方案。

作为示例，可以基于如下流程生成频谱调整方案。

- 25 首先可以判断第一波长通道的频段宽度是否大于所有未使用的频段的宽度的总和。若第一波长通道的频段宽度大于所有未使用的频段的宽度的总和，则表明当前可用频段总和都不足以用于建立第一波长通道，可以结束优化方案生成流程，或者暂时停止（挂起）优化方案生成流程，等待已使用的波长通道下线后有足够的空闲频段时再启动优化方案生成流程。

- 30 若第一波长通道的频段宽度小于或等于所有未使用的频段的宽度的总和，则表明当前可用频段总和足以用于建立第一波长通道，此时可以进一步判断第一波长通道的频段宽度是否小于或等于未使用的频段中最大的频段宽度。

- 35 若第一波长通道的频段宽度小于或等于未使用的频段中最大的频段宽度，则表明当前未使用的频段中存在能够直接用于创建第一波长通道的空闲频段，此时可以将能够直接使用的频段（如最大频段）分配给第一波长通道。

若第一波长通道的频段宽度大于未使用的频段中最大的频段宽度，则表明当前未使用的频段中不存在能够直接用于创建第一波长通道的空闲频段，此时可以针对至少部分（如所有）未使用的频段中的各个频段，以将该频段扩展为第一波长通道的频段为目标，生成与各个频段对应的频谱调整方案。

- 5 在按照上述流程生成频谱调整方案后，可以基于收发端设备的调节能力（如激光器频率调节能力、波长通道的频谱调整能力）判断频谱调整方案的可行性，并剔除不可行的频谱调整方案。并且/或者，还可以判断频谱调整方案是否符合预先录入的约束条件，并剔除不符合约束条件的频谱调整方案。关于约束条件可以参见上文相关描述。

- 10 在保留的频谱调整方案为多个的情况下，还可以对保留的频谱调整方案进行指标评估，评估的指标可以包括频谱调整方案涉及调整的第二波长通道的个数和/或涉及调整的第二波长通道的调节频率之和。调节频率之和可以是指激光器频率的调整数值的总和。

- 指标评估结果可以作为选择频谱调整方案的辅助决策信息，即可以基于指标评估结果从保留的频谱调整方案中选择频谱调整方案。例如，可以将指标评估结果提供给用户，由用户根据指标评估结果从保留的频谱调整方案中选择频谱调整方案作为最终确定的频谱调整方案。
- 15

图2示出了根据本公开一个实施例的生成频谱调整方案的整体流程示意图。

- 如图2所示，首先可以执行步骤S310，判断 $W > \text{SUM}(V_i)$ 是否成立。 W 表示请求的新通道（即第一波长通道）的频谱宽度。 $\text{SUM}(V_i)$ 表示剩余空闲通道的频谱宽度的和。在本公开中，频谱与频段的概念相当，对频谱资源进行优化也可以理解为对频段资源进行优化，频谱宽度也即频段宽度。
- 20

若 $W > \text{SUM}(V_i)$ 成立，表明无法分配，可以结束频谱调整方案生成流程。

若 $W > \text{SUM}(V_i)$ 不成立，则可以执行步骤S320，判断 $W \leq \text{MAX}(V_i)$ 是否成立。 $\text{MAX}(V_i)$ 表示最宽的空闲通道。

若 $W \leq \text{MAX}(V_i)$ 成立，则可以直接将大于请求的宽度的空闲通道分配给新通道。

- 25 若 $W \leq \text{MAX}(V_i)$ 不成立，则可以执行步骤S330，按照输入的优先级，从高频或低频开始循环所有的空闲频段。循环完毕后可以执行步骤S350，输出所有符合要求的策略。

在一次循环过程中针对第 i 个空闲频段（即 V_i ），可以执行步骤S340，寻找第 i 个空闲频段对应的所有方案，这里方案是指将第 i 个空闲频段向低频和/或高频扩展为宽度符合请求的新通道的频段宽度时其他正在使用的通道（即第二波长通道）的挪动策略。

- 30 图3示出了图2中步骤S340的实现流程示意图。

参见图3，在步骤S410，计算 V_i 需要拓展的频谱宽度。

在步骤S420，假设 V_i 需要往低频方向拓展 x 、往高频方向拓展 y ， $y = \Delta - x$ ，开始循环 x 。 Δ 表示 V_i 需要拓展的频谱宽度。具体循环流程可以参见步骤S421至步骤S426。

- 35 在步骤S421，从 V_i 向低频方向搜寻，并累计计算空闲的频谱宽度，直到找到 V_j ，满足从 V_j 到 V_i 的空闲频谱的和大于或等于 x 。

在步骤 S422, 从 V_i 向高频方向搜寻, 并累计计算空闲的频谱宽度, 直到找到 V_k , 满足从 V_j 到 V_k 的空闲频谱的和大于或等于 y 。

步骤 S421 和步骤 S422 可以不分先后同时执行, 也可以先执行步骤 S422 再执行步骤 S421。在执行完步骤 S421 和步骤 S422 后, 可以执行步骤 S423, 判断从 V_i 向两个方向的
5 搜寻是否成功。

若搜寻不成功表明步骤 S420 所设置的 x 不可行, 此时可以执行步骤 S430, 判断是否遍历完成, 若未遍历完成则可以执行步骤 S440, 更新 x , 并返回步骤 S421、步骤 S422 开启针对更新后的 x 的搜索流程。若遍历完成则可以跳至步骤 S460, V_i 对应方案计算完毕。

若搜寻成功, 则可以执行步骤 S424, 根据搜寻到的 V_j 和 V_i , 得到 V_i 左侧、右侧所有
10 需要挪动的通道的挪动方案。然后执行步骤 S425, 判断该方案是否符合要求。若符合要求则可以执行步骤 S426, 判断当前生成的所有方案是否超过数量。若超过数量则可以执行步骤 S450, 输出所有符合要求的策略。若未超过数量, 则可以执行步骤 S440, 更新 x , 并返回步骤 S421、步骤 S422 开启针对更新后的 x 的搜索流程。

基于上述频谱调整方案生成流程, NMS 可以提供所有满足要求的频谱调整方案 (即频谱调整方案)。当从所有满足要求的频谱调整方案中明确了要执行的策略后, NMS 可以基
15 于频谱调整方案向收发端设备下发调整指令, 以促使收发端设备执行频谱调整方案。

频谱调整方案的执行

为了支持本公开的频谱调整方案执行方案, 电层设备可以配置为能够提供如下能力。

1、支持开光状态下的频率最大的可调节范围 RangeMax。频率范围可调节范围可以是
20 对称的, 并且 RangeMax 需要大于等于 ITUT 694.1 中约定的最小通道间隔 12.5GHz。

2、处于当前频率时, 支持开光状态下的频率可调范围 CurrentRange。CurrentRange 可以是不对称的, 但区间的大小可以与 RangeMax 相等。

3、支持的无代价的频率调节步长 Step。这里的 Step 指的是收发两端电层设备在中心频率配置值上差异的绝对值, 并且这个差异导致的性能代价可以忽略, 例如小于 0.2dB。
25 注意, 两个电层设备的中心频率配置值偏差 Step (即下文述及的第一数值), 并不意味着实际的频率偏差就是 Step, 还需要考虑两个激光器本身的固有频差。

在实际中, 可以通过不同的寄存器来实现对中心频率的配置。例如通过寄存器 A 表示基数频率 F 的整数倍 M , 寄存器 B 表示细调频率 T 。最终的中心频率 $f=M \cdot F+T$ 。这里的前提是改变细调频率 T 不会让激光器关闭, 即保证开光状态下的频率调节, 而修改寄存器
30 A 的值会导致激光器关闭。

为了支持本公开的频谱调整方案执行方案, 光层设备可以配置为能够提供如下能力。

当光层的 FMD 设备中包含 WSS 时, 需要在支持波长通道创建、删除操作的同时, 还能够支持波长通道的扩张和收缩, 并且在扩张和收缩的过程中, 对重叠部分的通道信号不产生影响。

35 图 4 示出了光层设备的波长通道的配置特性示意图。

如图 4 所示, 一个 WSS 端口上的若干个波长通道。从 Phase A 到 Phase B, 中间的通道进行扩张, 如果原始的电层信号处于 Phase A 中的中心通道中, 那么这个扩张不会对电层信号的属性产生任何影响。同样, 从 Phase B 到 Phase A, 如果原始的电层信号处于 Phase A 中的中心通道中, 那么这个收缩不会对电层信号的属性产生任何影响。

- 5 作为示例, 若调整后的波长通道的频段与调整前的波长通道的频段存在交集, 则可以将调整后的波长通道的工作模式设置为与调整前的波长通道的工作模式相同。例如, 假设原始的波长通道表示为[Min A, Max A], 修改后的波长通道为[Min B, Max B]。二者频段的交集为[Min K, Max K], 这里 Min K 为 Min A 和 Min B 的最大值, Max K 为 Max A 和 Max B 的最小值。当频段交集不是空时, WSS 新创建通道的工作模式可以有如下处理方式:
- 10 1.当原始通道工作在衰减模式时, 新通道依然工作在衰减模式, 且损耗与原始状态的通道损耗一致。2.当原始通道工作在锁功率模式, 新通道依然工作在锁功率模式, 并且目标功率值保持一致。

- 在执行频谱调整方案, 即在调整当前使用的第二波长通道的频段时, 需要使得第二波长通道仍能正常提供数据传输服务。即, 需要以不影响第二波长通道的正常使用为前提执行
- 15 行频谱调整方案。基于这一考虑, 本公开提出了如下频谱调整方案执行方案。

简要说来, 可以在 NMS 的控制下实现频谱调整方案在收发端设备上的执行。

- 具体而言, NMS 可以先向收发端设备下发用于拓展第二波长通道的频段宽度的第一指令。拓展方向(向高频拓展还是向低频拓展)以及拓展的宽度可以根据频谱调整方案确定。如上文结合图 4 的描述, 拓展第二波长通道的频段宽度并不会对第二波长通道的使用造成
- 20 影响。

响应于接收到第一指令执行成功的消息, NMS 可以判断收发端设备的激光器频率(中心频率)是否为目标值。目标值可以是指使得激光器按照目标值发射的光信号的频率均处于调整后的第二波长通道的频段范围内的一个数值。目标值的具体数值可以根据实际情况确定, 例如目标值可以是指调整后第二波长通道对应的频率范围内的中间值。

- 25 若收发端设备的激光器频率不是目标值, 则 NMS 可以向收发端设备下发用于调整激光器频率的第二指令, 促使收发端设备将激光器频率(如激光器中心频率)调整为目标值。

- 若收发端设备的激光器频率是目标值, 或者在收发端设备将激光器频率(如激光器中心频率)调整为目标值后, NMS 可以再向收发端设备下发用于将第二波长通道的频段宽度缩小为调整前的频段宽度的第三指令。收发端设备(位于收发端的光层设备)通过执行第
- 30 三指令, 即可以实现对第二波长通道的频段的调整。如上文结合图 4 的描述, 在将收发端设备的激光器频率调整为目标值后, 将拓展后的第二波长通道缩小为调整前的频段宽度不会对第二波长通道的使用造成影响。

在调整收发端设备中激光器频率时, 需要保证调节过程中保持收发两端的电层设备的激光器频率的差异在允许的范围内, 以不影响当前第二波长通道的使用。

- 35 为此, 本公开进一步提出, 可以通过一次或多次调节将收发端设备中激光器的中心频

率调整为目标值, 以使得收发端设备中的激光器各自发出的光信号的频率均处于调整后的波长通道的频段范围内。其中, 在每次调节过程中对收发端设备中激光器的中心频率的调节范围不超过第一数值, 且在对收发端设备中的激光器均进行一次调节后再进入下次调节。

换言之, NMS 可以通过下发多轮用于调节收发端设备中的激光器频率的指令, 通过多
5 轮小范围的调节实现将收发端设备中的激光器频率调整为目标值。具体地, NMS 可以分别向收发端设备中位于发送端的第一电层设备和位于接收端的第二电层设备下发第二指令, 第二指令所表征的激光器频率调节范围不超过第一数值; 在第一电层设备和第二电层设备均执行完第二指令后, 再次分别向第一电层设备和所述第二电层设备发送第二指令, 循环第二指令下发流程, 直至第一电层设备和第二电层设备均将激光器频率调整为目标值。

10 由此, 基于本公开的频谱调整方案的执行方案, 使得针对第二波长通道的整个调整过程不会影响第二波长通道的正常使用。

图 5 示出了根据本公开一个实施例的频谱调整方案执行流程示意图。

如图 5 所示, 首先在步骤 S510, 确定当前波长通道 (即第二波长通道) 需要挪动的宽度 Δ 。

15 在步骤 S520, 对应的光层设备的波长通道宽度拓展 Δ 。

在步骤 S530, 检查收发端 (即 A 端和 Z 端) 的激光器频率是否为目标值。

若不是目标值, 则执行步骤 S540 和步骤 S550, 分别对 A 端、Z 端的激光器频率调节
step。激光器频率的一次调节过程包括步骤 S540 和步骤 S550。对于收发端的电层设备, 每
次频率调节大小不超过 step (即上文述及的第一数值), 收发端两台设备可以并行下发指令,
20 但需要明确两台设备均实现在频率上 step 的调节后, 才能进入下一轮调节。

在步骤 S560, 将光层设备 WSS 的通道宽度缩小 Δ 。

需要说明的是, 包含 WSS 的光层设备往往是两台甚至多台, 在需要调整波长通道的光层设备是两台或多台时, 针对波长通道的调整命令 (即上文述及的第一指令、第三指令) 可以并行下发, 也可以串行下发。

25 通过本公开提出的这种先扩大通道宽度、再挪电层频率、挪到位后再缩小通道宽度的方式, 使得频谱调整方案的执行流程不会影响波长通道的正常使用。

在频谱调整方案执行过程中, 由于各种原因均有可能导致异常的出现。这里的异常可以包括命令无法下发成功、光层 media channel 拓展调节失败、光层 media channel 收缩调节失败、电层激光器频率调节失败等。针对这些异常, 处理方式可以均采用跳出整个频谱
30 调整的流程, 并上报信息, 包括已经完成的步骤以及失败的步骤, 供人工参与解决。

本公开的频谱调整方法 (包括频谱调整方案的生成、频谱调整方案的执行) 可以用于传统系统厂商提供的完整系统 (包含电层、光层以及网管控制器) 中, 也可以应用于异构解耦的网络 (电层设备、光层设备以及网管控制器可以来自于不通的供应商) 中。

图 6 示出了根据本公开一个实施例的网络管理系统的结构示意图。

35 参见图 6, 网络管理系统 600 可以包括频谱调整方案生成模块 610、指令生成模块 620

以及通信模块 630。

频谱调整方案生成模块 610 以为期望创建的第一波长通道提供至少一个可用的空闲频段为目标，基于光传输系统中与第一波长通道对应的收发端设备当前所使用的第二波长通道的频段信息，生成频谱调整方案，频谱调整方案用于表征需要调整的第二波长通道的频段调整信息。

指令生成模块 620 基于频谱调整方案生成用于收发端设备执行的调整指令。

通信模块 630 向收发端设备发送调整指令。

关于频谱调整方案的生成流程以及指令下发流程可以参见上文相关描述。

图 7 示出了根据本公开一个实施例的计算设备的结构示意图。

10 参见图 7，计算设备 700 包括存储器 710 和处理器 720。

处理器 720 可以是一个多核的处理器，也可以包含多个处理器。在一些实施例中，处理器 720 可以包含一个通用的主处理器以及一个或多个特殊的协处理器，例如图形处理器（GPU）、数字信号处理器（DSP）等等。在一些实施例中，处理器 720 可以使用定制的电
路实现，例如特定用途集成电路（ASIC，Application Specific Integrated Circuit）或者现场
15 可编程逻辑门阵列（FPGA，Field Programmable Gate Arrays）。

存储器 710 可以包括各种类型的存储单元，例如系统内存、只读存储器（ROM），和永久存储装置。其中，ROM 可以存储处理器 720 或者计算机的其他模块需要的静态数据或者指令。永久存储装置可以是可读写的存储装置。永久存储装置可以是即使计算机断电后也不会失去存储的指令和数据的非易失性存储设备。在一些实施方式中，永久性存储装置采用大容量存储装置（例如磁或光盘、闪存）作为永久存储装置。另外一些实施方式中，永久性存储装置可以是可移除的存储设备（例如软盘、光驱）。系统内存可以是可读写存储设备或者易失性可读写存储设备，例如动态随机访问内存。系统内存可以存储一些或者所有处理器在运行时需要的指令和数据。此外，存储器 710 可以包括任意计算机可读存储媒介的组合，包括各种类型的半导体存储芯片（DRAM，SRAM，SDRAM，闪存，可编程
20 只读存储器），磁盘和/或光盘也可以采用。在一些实施方式中，存储器 710 可以包括可读和/或写的可移除的存储设备，例如激光唱片（CD）、只读数字多功能光盘（例如 DVD-ROM，双层 DVD-ROM）、只读蓝光光盘、超密度光盘、闪存卡（例如 SD 卡、min SD 卡、Micro-SD 卡等等）、磁性软盘等等。计算机可读存储媒介不包含载波和通过无线或有线传输的瞬间电子信号。

30 存储器 710 上存储有可执行代码，当可执行代码被处理器 720 处理时，可以使处理器 720 执行上文述及的用于光传输系统的频谱调整方法。

上文中已经参考附图详细描述了根据本发明的用于光传输系统的频谱调整方法、网络管理系统及设备。

此外，根据本发明的方法还可以实现为一种计算机程序或计算机程序产品，该计算机
35 程序或计算机程序产品包括用于执行本发明的上述方法中限定的上述各步骤的计算机程

序代码指令。

或者，本发明还可以实施为一种非暂时性机器可读存储介质（或计算机可读存储介质、或机器可读存储介质），其上存储有可执行代码（或计算机程序、或计算机指令代码），当所述可执行代码（或计算机程序、或计算机指令代码）被电子设备（或计算设备、服务器等）的处理器执行时，使所述处理器执行根据本发明的上述方法的各个步骤。

本领域技术人员还将明白的是，结合这里的公开所描述的各种示例性逻辑块、模块、电路和算法步骤可以被实现为电子硬件、计算机软件或两者的组合。

附图中的流程图和框图显示了根据本发明的多个实施例的系统和方法的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上，流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或代码的一部分，所述模块、程序段或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意，在有些作为替换的实现中，方框中所标记的功能也可以以不同于附图中所标记的顺序发生。例如，两个连续的方框实际上可以基本并行地执行，它们有时也可以按相反的顺序执行，这依所涉及的功能而定。也要注意的是，框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合，可以用执行规定的功能或操作的专用的基于硬件的系统来实现，或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

以上已经描述了本发明的各实施例，上述说明是示例性的，并非穷尽性的，并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下，对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。本文中所用术语的选择，旨在最好地解释各实施例的原理、实际应用或对市场中的技术的改进，或者使本技术领域的其它普通技术人员能理解本文披露的各实施例。

权 利 要 求 书

1. 一种用于光传输系统的频谱调整方法，包括：
- 以为期望创建的第一波长通道提供至少一个可用的空闲频段为目标，基于光传输系统中与所述第一波长通道对应的收发端设备当前所使用的第二波长通道的频段信息，生成频谱调整方案，所述频谱调整方案用于表征需要调整的第二波长通道的频段调整信息；
- 5 基于所述频谱调整方案向所述收发端设备下发调整指令。
2. 根据权利要求1所述的方法，其中，生成频谱调整方案的步骤包括：
- 判断所述第一波长通道的频段宽度是否大于所有未使用的频段的宽度的总和；
- 10 若所述第一波长通道的频段宽度小于或等于所有未使用的频段的宽度的总和，则判断所述第一波长通道的频段宽度是否小于或等于未使用的频段中最大的频段宽度；
- 若所述第一波长通道的频段宽度大于未使用的频段中最大的频段宽度，则针对至少部分未使用的频段中的各个片段，以将该频段扩展为所述第一波长通道的频段为目标，生成与各个频段对应的频谱调整方案。
- 15 3. 根据权利要求2所述的方法，还包括：
- 基于所述收发端设备的调节能力判断所述频谱调整方案的可行性，并剔除不可行的频谱调整方案；并且/或者
- 判断所述频谱调整方案是否符合预先录入的约束条件，并剔除不符合约束条件的频谱调整方案。
- 20 4. 根据权利要求3所述的方法，还包括：
- 对保留的频谱调整方案进行指标评估，评估的指标包括所述频谱调整方案涉及调整的第二波长通道的个数和/或涉及调整的第二波长通道的调节频率之和；
- 25 基于指标评估结果从保留的频谱调整方案中选择频谱调整方案。
5. 根据权利要求1所述的方法，还包括：
- 获取意图信息，所述意图信息包括所述收发端设备的标识信息、所述第一波长通道的传输速率以及所述第一波长通道的频段宽度中的至少一项；并且/或者
- 30 获取约束信息，所述约束信息包括第一波长通道的频段区间、第一波长通道所处频段的优先级、频谱调整方案涉及调整的第二波长通道的最大值、频谱调整方案执行时涉及的调整步骤的最大值以及所述收发端设备的激光器的中心频率的调节范围中的至少一项，
- 其中，生成频谱调整方案的步骤包括：基于所述收发端设备当前使用的第二波长通道的频段信息以及所述意图信息和/或所述约束信息，生成频谱调整方案。
- 35 6. 根据权利要求1所述的方法，其中，基于所述频谱调整方案向所述收发端设备下

发调整指令的步骤包括：

向所述收发端设备下发用于拓展所述第二波长通道的频段宽度的第一指令；

响应于接收到所述第一指令执行成功的消息，向所述收发端设备下发用于调整激光器频率的第二指令，以促使所述收发端设备将激光器频率调整为目标值；以及

- 5 在收发端设备将激光器频率调整为目标值后，向所述收发端设备下发用于将所述第二波长通道的频段宽度缩小为调整前的频段宽度的第三指令。

7. 根据权利要求 6 所述的方法，其中，向所述收发端设备下发用于调整激光器频率的第二指令的步骤包括：

- 10 分别向所述收发端设备中位于发送端的第一电层设备和位于接收端的第二电层设备下发第二指令，所述第二指令所表征的激光器频率调节范围不超过第一数值；

在所述第一电层设备和所述第二电层设备均执行完所述第二指令后，再次分别向所述第一电层设备和所述第二电层设备发送所述第二指令，直至所述第一电层设备和所述第二电层设备均将激光器频率调整为目标值。

15

8. 一种用于光传输系统的频谱调整方法，包括：

基于频谱调整方案所表征的当前使用的波长通道的频段调整信息，拓展所述波长通道的频段宽度；

- 20 调整与所述波长通道对应的收发端设备中的激光器频率，以使得调整后的激光器发出的光信号的频率处于调整后的波长通道的频段范围内；以及

将所述波长通道的频段宽度缩小为调整前的频段宽度。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其中，调整与所述波长通道对应的收发端设备中的激光器频率的步骤包括：

- 25 通过一次或多次调节将收发端设备中的激光器频率调整为目标值，以使得所述收发端设备中的激光器各自发出的光信号的频率均处于调整后的波长通道的频段范围内，其中，在每次调节过程中对所述收发端设备中激光器的中心频率的调节范围不超过第一数值，且在所述收发端设备中位于发送端的第一电层设备和位于接收端的第二电层设备均对激光器频率进行调节后再进入下次调节。

30

10. 一种网络管理系统，包括频谱调整方案生成模块、指令生成模块以及通信模块，

所述频谱调整方案生成模块以为期望创建的第一波长通道提供至少一个可用的空闲频段为目标，基于光传输系统中与所述第一波长通道对应的收发端设备当前所使用的第二波长通道的频段信息，生成频谱调整方案，所述频谱调整方案用于表征需要调整的第二波长通道的频段调整信息，

35

所述指令生成模块基于所述频谱调整方案生成用于所述收发端设备执行的调整指令，所述通信模块向所述收发端设备发送所述调整指令。

11. 一种计算设备，包括：
- 5 处理器；以及
- 存储器，其上存储有可执行代码，当所述可执行代码被所述处理器执行时，使所述处理器执行如权利要求 1 至 9 中任何一项所述的方法。
12. 一种计算机程序产品，包括可执行代码，当所述可执行代码被电子设备的处理器
- 10 执行时，使所述处理器执行如权利要求 1 至 9 中任何一项所述的方法。
13. 一种非暂时性机器可读存储介质，其上存储有可执行代码，当所述可执行代码被电子设备的处理器执行时，使所述处理器执行如权利要求 1 至 9 中任何一项所述的方法。