(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2020 年 8 月 6 日 (06.08.2020)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2020/155653 A1

(51) 国际专利分类号:
H04L 12/24 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/107212

(22) 国际申请日: 2019 年 9 月 23 日 (23.09.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910103986.8 2019年2月1日 (01.02.2019) CN

(71) 申请人: 苏州大学(SOOCHOW UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215123 (CN)。

(72) 发明人: 沈纲祥(SHEN, Gangxiang); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215123 (CN)。 丁世峰(DING, Shifeng); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路199号, Jiangsu 215123 (CN)。

(74) 代理人: 北京集佳知识产权代理有限公司(UNITALEN ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市朝阳区建国门外大街22号赛特广场7层, Beijing 100004 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,

(54) **Title:** VIRTUAL OPTICAL NETWORK-ORIENTED SPECTRUM RESOURCE TRADING METHOD AND SYSTEM

(54) **发明名称:** 面向虚拟光网络的频谱资源交易方法及系统

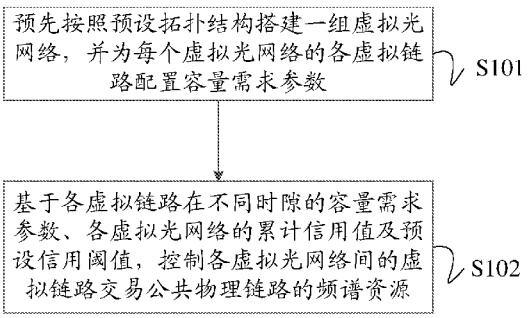

图 1

S101 Establish a group of virtual optical networks according to a preset topology structure, and configure capacity requirement parameters for virtual links of each of the virtual optical networks

S102 On the basis of the capacity requirement parameters of the virtual links in different time slots and the accumulated credit values and preset credit thresholds of the virtual optical networks, control the virtual links between the virtual optical networks to trade for spectrum resources of a common physical link

(57) **Abstract:** A virtual optical network-oriented spectrum resource trading method and system. Said method comprises: establishing virtual optical networks according to a preset topology structure, and then in different time slots, on the basis of information about capacity requirements of virtual links of virtual networks and the accumulated credit values and preset credit thresholds of the virtual optical networks, controlling virtual links between the virtual optical networks to trade for spectrum resources of a common physical link, so as to realize spectrum resource trading between the virtual optical networks according to real-time capacity requirements. According to the present application, a virtual link having an idle spectrum resource is able to provide a spectrum resource for a virtual link having an insufficient capacity, and by means of spectrum trading, a virtual optical network having an insufficient spectrum is able to use an idle spectrum of another virtual optical network to transmit undeployed service flows, thereby effectively improving the network spectrum resource utilization rate of virtual optical networks, reducing a service congestion rate of virtual optical networks; in addition, setting an accumulated credit value can ensure the fairness of spectrum resource trading between virtual optical networks.

WO 2020/155653 A1

[见续页]

AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种面向虚拟光网络的频谱资源交易方法及系统。其中，方法包括在按照预设拓扑结构搭建虚拟光网络后，在不同时隙，基于虚拟网络各虚拟链路的容量需求信息、各虚拟光网络的累计信用值及预设信用阈值，控制各虚拟光网络间的虚拟链路交易公共物理链路的频谱资源，从而实现虚拟光网络根据实时的容量需求交易频谱资源。本申请可使得有空闲频谱资源的虚拟链路向容量不足的虚拟链路提供频谱资源，频谱不足的虚拟光网络可以通过频谱交易使用其他虚拟光网络的空闲频谱传输其未部署业务流量，从而有效提升虚拟光网络的网络频谱资源利用率，降低虚拟光网络的业务堵塞率；此外，设置累计信用值还可保证虚拟光网络之间频谱资源交易的公平性。

面向虚拟光网络的频谱资源交易方法及系统

本申请要求于 2019 年 02 月 01 日提交中国专利局、申请号为**201910103986.8**、发明名称为“面向虚拟光网络的频谱资源交易方法及系统”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

本发明涉及网络虚拟化技术领域，特别是涉及一种面向虚拟光网络的频谱资源交易方法及系统。

背景技术

随着互联网技术及各种智能设备制造技术的快速发展，用户对互联网流量的需求量呈现指数级增长。光传输网络作为承载用户流量的骨干网，面临着巨大的压力。提高光网络资源利用率俨然可缓解用户流量需求压力，网络虚拟化技术应运而生。

网络虚拟化将物理光网络分割成多个独立的虚拟光网络，虚拟光网络通过嵌入到物理光网络中获得频谱资源，服务于不同的用户。

相关技术在虚拟光网络嵌入物理光网络后，虚拟光网络所分配的频谱资源在服务周期内是固定的，但其业务流量却在不断变化。在某一时间段内，虚拟光网络上的业务流量较低，其分配的频谱资源较多处于空闲状态；而在另一时间段内，虚拟光网络上的业务流量较高，其分配的频谱资源就出现不足。这种实时业务流量的波动以及固定的资源分配方式，导致网络频谱资源利用率较低。

发明内容

本公开实施例提供了一种面向虚拟光网络的频谱资源交易方法及系统，有效提高了虚拟光网络频谱资源利用率。

为解决上述技术问题，本发明实施例提供以下技术方案:

本发明实施例一方面提供了一种面向虚拟光网络的频谱资源交易

方法，包括:

预先按照预设拓扑结构搭建一组虚拟光网络，并为每个虚拟光网络的各虚拟链路配置容量需求参数;

基于各虚拟链路在不同时隙的容量需求参数、各虚拟光网络的累计信用值及预设信用阈值，控制各虚拟光网络间的虚拟链路交易公共物理链路的频谱资源，以实现有空闲频谱资源的虚拟链路向容量不足的虚拟链路提供频谱资源;

其中，各虚拟光网络具备频谱转换能力和子频带虚级联传输能力，且进行频谱交易的虚拟链路拥有公共物理链路; 所述容量需求参数包括虚拟链路所属虚拟光网络、源节点和目的节点、时隙的索引、分配给虚拟链路的频隙的起始和终止索引、在当前时隙中满足虚拟链路(源节点，目的节点)上所有业务流量所需频隙数; 所述累计信用值为虚拟光网络在当前时隙之前的各时隙信用值之和。

可选的，所述基于各虚拟链路在不同时隙的容量需求参数、各虚拟光网络的累计信用值及预设信用阈值，控制各虚拟光网络间的虚拟链路交易公共物理链路的频谱资源包括:

预先构建整形线性规划模型;

基于所述整形线性规划模型实现各虚拟光网络间虚拟链路频谱资源的交易;

其中，所述整形线性规划模型的约束条件包括虚拟链路优先使用分配的频隙来承载业务流量、虚拟链路不使用未分配给各虚拟光网络的频隙、虚拟链路借用的频隙数量不超出需求频隙数、拥有公共物理链路的虚拟链路使用的频谱不重叠、累计信用值低于所述信用阈值的虚拟光网络当前时隙中禁止使用其他虚拟光网络的空闲频谱。

可选的，所述整形线性规划模型的约束条件还包括部署各虚拟链路使用的非相邻子频带数量不超过 2 个。

可选的，所述基于各虚拟链路在不同时隙的容量需求参数、各虚拟光网络的累计信用值及预设信用阈值，控制各虚拟光网络间的虚拟链路交易公共物理链路的频谱资源包括:

对一个时隙中的各虚拟光网络，在使用预分配的频谱为各虚拟光网络部署业务流量后，将每个虚拟光网络的存在未部署业务流量的虚拟链路放入预建的虚拟链路列表中；

从所述虚拟链路列表中依次取出第一虚拟链路，直至所述虚拟链路列表为空，所述第一虚拟链路的未部署业务流量值在所述虚拟链路列表最大；

若所述第一虚拟链路所属虚拟光网络的累计信用值不低于所述信用阈值，利用频谱窗检查所述第一虚拟链路所经过物理路径上的频谱使用情况，通过首次选中算法选择空闲频谱传输所述第一虚拟链路未部署的业务流量，从所述虚拟链路列表中删除所述第一虚拟链路，并更新相应虚拟光网络的累计信用值；

若所述第一虚拟链路所属虚拟光网络的累计信用值低于所述信用阈值，从所述虚拟链路列表中删除所述第一虚拟链路。

可选的，所述将每个虚拟光网络的存在未部署业务流量的虚拟链路放入预建的虚拟链路列表中包括：

将每个虚拟光网络的各虚拟链路按照未部署业务流量值进行降序排列，并将排序后的虚拟链路依次放入预建的虚拟链路列表中；

相应的，所述第一虚拟链路为所述虚拟链路列表中的第一条虚拟链路。

可选的，所述利用频谱窗检查所述第一虚拟链路所经过物理路径上的频谱使用情况，通过首次选中算法选择空闲频谱传输所述第一虚拟链路未部署的业务流量包括：

判断与所述第一虚拟链路具有公共物理链路的各虚拟光网络的空闲频谱资源是否足以传输所述第一虚拟链路未部署业务流量；

若否，则使用运营商未分配给各虚拟光网络的频谱资源传输所述第一虚拟链路未部署的业务流量，并支付相应费用；

若是，则通过首次选中算法从分配给各虚拟光网络的频谱资源中选择空闲频谱传输所述第一虚拟链路未部署的业务流量。

可选的，所述预先按照预设拓扑结构搭建一组虚拟光网络之后，

还包括:

将一组虚拟光网络划分为多个频谱交易组，每个频谱交易组的虚拟光网络的虚拟链路进行频谱资源交易，不同频谱交易组的虚拟光网络间不进行频谱资源交易。

本发明实施例还提供了一种面向虚拟光网络的频谱资源交易系统，包括SDN控制器和存储器，所述SDN控制器用于执行所述存储器中存储的计算机程序时实现如前任一项所述面向虚拟光网络的频谱资源交易方法的步骤。

可选的，所述存储器中包含区块链数据库，所述区块链数据库将虚拟光网络间的频谱资源交易数据信息按照预设存储格式保存在数据块中;

所述数据块的存储格式为由块序列号，当前频谱资源交易发生的时隙索引，参与频谱资源交易的第一虚拟光网络和第二虚拟光网络，物理链路索引，当前频谱状态，更新后的频谱状态，所述第一虚拟光网络的当前累计信用值、虚拟链路索引、需求频隙数、当前时隙信用值及更新后的累计信用值，所述第二虚拟光网络的当前累计信用值、虚拟链路索引、提供频隙数、当前时隙信用值及更新后的累计信用值组成。

可选的，所述区块链数据库根据下述公式选择虚拟光网络创建新数据块:

$$\theta = C * t;$$

式中，θ为时间加权信用值，C为虚拟光网络在当前时隙的当前累计信用值，t为所述当前累计信用值的持续时长。

本申请提供的技术方案的优点在于，根据虚拟网络的各虚拟链路在不同时隙所需的频隙数和已有频隙确定存在空闲频谱资源的虚拟光网络和频谱资源不足的虚拟光网络，然后具有公共物理链路的虚拟链路根据所需求频隙数进行频谱资源交易，使得有空闲频谱资源的虚拟链路向容量不足的虚拟链路提供频谱资源，频谱不足的虚拟光网络可以通过频谱交易使用其他虚拟光网络的空闲频谱传输其未部署业务流

量，从而实现了虚拟光网络根据实时的容量需求交易频谱资源，从而有效地提高虚拟光网络频谱资源利用率，降低虚拟光网络的业务堵塞率；此外，设置虚拟光网络的累计信用值和信用阈值，可以保证虚拟光网络之间频谱交易的公平性，防止虚拟光网络只使用而不提供频谱资源。

此外，本发明实施例还针对面向虚拟光网络的频谱资源交易方法提供了相应的实现系统，进一步使得所述方法更具有实用性，所述系统具有相应的优点。

应当理解的是，以上的一般描述和后文的细节描述仅是示例性的，并不能限制本公开。

附图说明

为了更清楚的说明本发明实施例或相关技术的技术方案，下面将对实施例或相关技术描述中所需要使用的附图作简单的介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 为本发明实施例提供的一种面向虚拟光网络的频谱资源交易方法的流程示意图；

图 2 为本发明实施例提供的一个示例性应用场景的框架示意图；

图 3 为本发明实施例提供的另一种面向虚拟光网络的频谱资源交易方法的流程示意图；

图 4 为本发明实施例提供的面向虚拟光网络的频谱资源交易装置的一种具体实施方式结构图；

图 5 为本发明实施例提供的区块链数据块的数据块存储格式的结构示意图；

图 6 为本公开根据一示例性实施例示出的一种测试物理光网络的结构示意图；

图 7 为本公开根据另一示例性实施例示出的一种测试物理光网络

结构示意图;

图 8 为本公开根据图 6 的实施例示出的频谱交易方法性能测试结果对比示意图;

图 9 为本公开根据图 7 的实施例示出的频谱交易方法性能测试结果对比示意图;

图 10 为本公开累计信用值对频谱资源交易性能的影响对比示意图。

具体实施方式

为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案，下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步的详细说明。显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”“第四”等是用于区别不同的对象，而不是用于描述特定的顺序。此外术语“包括”和“具有”以及他们任何变形，意图在于覆盖不排他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备没有限定于已列出的步骤或单元，而是可包括没有列出的步骤或单元。

在介绍了本发明实施例的技术方案后，下面详细的说明本申请的各种非限制性实施方式。

首先参见图 1，图 1 为本发明实施例提供的一种面向虚拟光网络的频谱资源交易方法的流程示意图，本发明实施例可包括以下内容:

S101: 预先按照预设拓扑结构搭建一组虚拟光网络，并为每个虚拟光网络的各虚拟链路配置容量需求参数。

S102: 基于各虚拟链路在不同时隙的容量需求参数、各虚拟光网络的累计信用值及预设信用阈值，控制各虚拟光网络间的虚拟链路交易公共物理链路的频谱资源。

虚拟光网络为根据用户请求与网络资源、功能构建的虚拟网络，可采用任何一种相关技术为实际物理光网络搭建多个虚拟光网络，各虚拟光网络与物理光网络之间的映射关系和搭建过程可参阅相关技术的描述，此处，不再赘述。例如，虚拟光网络的每条虚拟链路经过的物理路径可通过虚拟网络嵌入方法（Virtual Network Embedding，VNE）确定。

频谱交易实质上是汇集所有虚拟光网络形成开放式的频谱资源交易市场，所有参与的虚拟光网络之间都可以进行频谱交易。频谱不足的虚拟光网络可以通过频谱交易使用其他虚拟光网络的空闲频谱传输其未部署业务流量。根据完成后虚拟链路的频谱是否满足一致性和邻接性，频谱资源交易存在下述三种情况:

第一种：两条虚拟链路经过的物理路径完全相同，并且拥有的频谱相邻接。此时，交易的频谱在整条物理路径上保持一致，并且与容量不足的虚拟链路的频谱相邻接。该情况适用于不具备频谱转换能力和子频带虚级联传输能力的网络。

第二种：两条虚拟链路经过的物理路径完全相同，但是拥有的频谱不邻接。此时，交易的频谱在整条物理路径上保持一致，但是与容量不足的虚拟链路的频谱相邻接。该情况适用于不具备频谱转换能力，但具备子频带虚级联传输能力的网络。

第三种：两条虚拟链路拥有公共物理链路，但是拥有的频谱不邻接。此时，虚拟链路只交易公共物理链路上的频谱。该情况适用于具备频谱转换能力和子频带虚级联传输能力的网络。

考虑最大化网络频谱资源的利用率，本申请针对的虚拟光网络为具备频谱转换能力和子频带虚级联传输能力，子频带虚级联传可使网络具有使用不邻接频谱传输业务的能力，这样，网络不仅可传输邻接频谱，还可传输不邻接频谱。如果两个虚拟光网络的虚拟链路经过的物理路径拥有公共物理链路，那么在该物理链路上具有空闲频谱的虚拟链路便可以将其空闲的频谱资源交易给容量不足的虚拟链路。

对于一组具有预定拓扑的虚拟光网络，每个虚拟光网络的虚拟链

路分配一定数量的FS，可表示为$C(v, s, d, x, y)$。其中，v是虚拟链路所属的虚拟光网络；s、d为虚拟链路的源节点和目的节点；x、y为分配给虚拟链路的FS的起始和终止索引。虚拟链路的容量需求可定义为$R(v, s, d, t, F_t)$，其中，t是时隙的索引，F_t是在时隙t中满足虚拟链路（s，d）上所有业务流量所需的FS数。也就是说，对于每个虚拟光网络，其各虚拟链路的容量需求参数可包括虚拟链路所属虚拟光网络、源节点和目的节点、时隙的索引、分配给虚拟链路的频隙的起始和终止索引、在当前时隙中满足虚拟链路(源节点，目的节点)上所有业务流量所需频隙数。

在不同时隙，虚拟链路（s，d）上所有业务流量所需的FS数可能不同，每条虚拟链路的容量需求参数随着时隙的不同而可能不同，也就是说，每条虚拟链路的容量需求参数为实时变化的，需要实时进行更新。

为了保证虚拟光网络频谱资源交易的公平性，也即各虚拟光网络既可向其他虚拟光网络提供空闲频谱资源，也可通过其他频谱资源传输自身未部署业务流量，可设置一个参数来表明虚拟光网络的资源交易情况。

在一种具体的实施方式中，可为虚拟光网络设置信用值，虚拟光网络的信用值由其在当前时隙提供或使用的频谱资源决定，虚拟光网络在向其他虚拟光网络提供空闲频谱资源后，会得到相应的信用值；而使用空闲频谱资源的虚拟光网络，会得到相应的负信用值。累计信用值为虚拟光网络在当前时隙之前各时隙的信用值之和，累计信用值的大小可反映在当前时隙，该虚拟光网络的频谱资源交易状况，如果某个虚拟光网络的累计信用值的绝对值较大，且为负数，说明该虚拟光网络使用其他虚拟光网络的频谱资源较多。为了避免虚拟光网络只使用其他虚拟光网络的空闲频谱资源却不提供频谱资源，可预先设置信用阈值，对于累计信用值小于预设信用阈值的虚拟光网络，将被禁止使用其他虚拟光网络提供的空闲频谱资源。信用阈值的设定，本领域技术人员可根据虚拟光网络的拓扑结构及运行业务的情况进行确

定，这均不影响本申请的实现。

累计信用值可以保证虚拟光网络之间频谱交易的公平性，防止虚拟光网络只使用而不提供频谱资源。此外，若设置虚拟光网络使用空闲频谱资源，则其获取负信用值，那么累计信用值的负值的绝对值越大，它被区块链选中创建新块的概率越小。因为，它使用了许多其他虚拟网络的空闲资源，存在为继续使用空闲资源而篡改数据的可能。所以，不选择它创建新块，还可有效地提升区块链的安全性。

如果信用阈值表征虚拟光网络不向其他各虚拟光网络提供频谱资源的最小值，那么当前虚拟光网络的累计信用值只要大于信用阈值，即为满足信用条件的虚拟光网络。

在当前时隙，对于满足信用条件的虚拟光网络，基于各虚拟链路的容量需求参数，可知存在空闲频谱资源的虚拟光网络和频谱资源不足的虚拟光网络，根据频谱资源不足的源虚拟光网络所需的频隙数确定可为其提供频谱资源的目标虚拟光网络，然后利用目标虚拟光网络的空闲频谱传输源虚拟光网络未部署的业务流量，从而实现虚拟光网络根据实时的容量需求交易频谱资源。

在本发明实施例提供的技术方案中，根据虚拟网络的各虚拟链路在不同时隙所需的频隙数和已有频隙确定存在空闲频谱资源的虚拟光网络和频谱资源不足的虚拟光网络，然后具有公共物理链路的虚拟链路根据所需求频隙数进行频谱资源交易，使得有空闲频谱资源的虚拟链路向容量不足的虚拟链路提供频谱资源，频谱不足的虚拟光网络可以通过频谱交易使用其他虚拟光网络的空闲频谱传输其未部署业务流量，从而实现了虚拟光网络根据实时的容量需求交易频谱资源，从而有效地提高虚拟光网络频谱资源利用率，降低虚拟光网络的业务堵塞率；此外，设置虚拟光网络的累计信用值和信用阈值，可以保证虚拟光网络之间频谱交易的公平性，防止虚拟光网络只使用而不提供频谱资源。

为了使本领域技术人员更加清楚明白本申请技术方案的实现过

程，请参阅图 2 所示，本申请还提供了一个具体的实施例阐述虚拟光网络间的频谱资源交易，本发明实施例可包括:

由图 2 可知，虚拟光网络 VON1 和 VON2 映射在同一物理光网络 PON 中，VON1 的虚拟链路 b1-c1 和 VON2 的虚拟链路 b2-d2 分别映射到物理路径 B-C 和 B-C-D 上。虚拟光网络 VON1 和 VON2 具备频谱转换能力和子频带虚级联传输能力。

由于两条虚拟链路拥有公共物理链路 B-C，VON1 和 VON2 可以根据实时容量需求在物理链路 B-C 上进行频谱交易。可使用 $(F,\ t)$ 来表示虚拟链路上的实时容量需求，其中 F 是所需频隙（Frequency Slot，FS）的数量，t 是时隙索引。例如，图 2 中的 $(2,\ T_1)$ 表示虚拟链路 b1-c1 在时隙 T_1 需要 2 个 FS。物理链路 B-C 上的频谱使用状态如图 2 右下角子图所示。

在时隙 T_0（虚拟网络映射后），虚拟链路 b1-c1 和 b2-d2 均分配了 3 个 FS。在时隙 T_1，虚链路 b1-c1 和 b2-d2 所需的 FS 数分别为 2 和 4。在未采用频谱交易机制的情况下，由于分配容量不足，虚拟链路 b2-d2 上 25%的业务流量被阻塞。而在采用频谱交易机制的情况下，虚拟链路 b2-d2 可以向虚拟链路 b1-c1 借用 1 个 FS 来部署其业务。同样，在时隙 T_2，虚拟链路 b1-c1 和 b2-d2 所需的 FS 数量分别为 5 和 1。如果未采用频谱交易机制，虚拟链路 b1-c1 上 40%的业务流量被阻塞。但是，如果采用频谱交易机制，虚拟链路 b1-c1 可以向虚拟链路 b2-d2 借用 2 个 FS，即可保证其业务完全部署。在本发明实施例中，物理链路 B-C 在时隙 T_1 和 T_2 的总频谱利用率提高了 25%，计算过程可参阅下式:

$$\left[(12-9)\div 12\right]*100\%=25\%。$$

可通过定义信用值参数 $\varphi_{v,\ t}$ 来记录频谱资源交易中各虚拟光网络获得的信用，其中，v 是虚拟光网络，t 是时隙索引。如图 2 所示，在时隙 T_1，VON1 向 VON2 提供了 1 个空闲的 FS，VON1 的信用值为 $\varphi_{VON1,\ T_1}=1$，VON2 的信用值为 $\varphi_{VON2,\ T_1}=-1$。同样，在时隙 T_2，VON2

向 VON1 提供了 2 个空闲 FS，VON1 的信用值为 $\varphi_{VON1,\ T_2}=-2$，VON2 的信用值为 $\varphi_{VON2,\ T_2}=2$。

虚拟光网络的累计信用值参数可定义为 $\gamma_{v,\ T}=\sum_{i=1,2,\ \ldots,T}\varphi_{v,\ t}$，表示虚拟光网络 v 在前 T 个时隙的全部信用值 $\varphi_{v,\ t}$ 之和。在图 2 中，VON1 的累计信用值为 $\gamma_{VON1,\ T_2}=-2+1=-1$，VON2 的累计信用值为 $\gamma_{VON2,\ T_2}=2+(-1)=1$。如果在时隙 T 存在 $\gamma_{v,\ T}<\mu$（累计信用值低于信用阈值），将禁止虚拟光网络 v 在该时隙使用其他虚拟光网络的空闲频谱资源。其中，μ 为预设的信用阈值。

本发明实施例不仅有效提升虚拟光网络的网络频谱资源利用率，降低虚拟光网络的业务堵塞率；还可保证虚拟光网络之间频谱资源交易的公平性。

为了实现虚拟光网络间的频谱资源交易，本申请还可通过预先构建整形线性规划模型来解决频谱资源的交易问题。

整形线性规划模型的约束条件可包括虚拟链路优先使用分配的频隙来承载业务流量、虚拟链路不使用未分配给各虚拟光网络的频隙、虚拟链路借用的频隙数量不能超出需求频隙数、拥有公共物理链路的虚拟链路使用的频谱不重叠、累计信用值低于信用阈值的虚拟光网络当前时隙中禁止使用其他虚拟光网络的空闲频谱。

本申请通过为整形线性规划模型设置多个约束条件，从而得到频谱资源交易的最优解，整形线性规划模型基于上述约束条件，可采用任何一种相关技术进行构建，具体构建过程，此处，便不再赘述。

此外，为了降低整形线性规划模型的计算复杂度，整形线性规划模型的约束条件还包括各虚拟光网络可使用的非相邻子频带数量不超过 2 个。

在频谱资源交易中，任意虚拟光网络之间都可以进行频谱交易。

这使得频谱交易机制的实现及管理较为复杂，并且造成了一定的资源浪费。因为可能存在某些虚拟光网络之间从未进行过频谱交易。因此，可将构建的一组虚拟光网络划分为多个频谱交易组。同一组内的虚拟光网络可以相互交易其频谱资源，而不同组的虚拟光网络不允许进行频谱资源交易。为了均衡每个频谱交易组的频谱资源交易，在进行分组时，需要考虑虚拟光网络的实时业务流量，以避免同一组中的大多数虚拟光网络都拥有空闲频谱或都缺少频谱的情况出现。在一些具体实施方式中，每个频谱交易组中拥有空闲频谱资源的和频谱资源不足的虚拟光网络的比例可设置为 1: 1，进一步地提升频谱资源的利用率。

由于频谱交易问题为一个 NP-hard 问题，在大型网络中，上述整形线性规划模型很难在有效时间内寻找到最优解，频谱资源交易效率不高。鉴于此，本申请还提供了另外一种实施方法，该方法（在本申请中该方法称为启发式算法）考虑一个时隙中虚拟光网络间的频谱交易，优先传输未部署业务流量较大的业务，直到遍历完所有虚拟链路，具体步骤可如下所示：

1、在使用预分配的频谱为各虚拟光网络部署业务流量后，将每个虚拟光网络的存在未部署业务流量的虚拟链路放入预建的虚拟链路列表中。

一个虚拟光网络对应一个虚拟链路列表，各虚拟链路在虚拟链路列表中的排序可为随机排序，也可按照各虚拟链路的未部署业务流量值降序排列，还可按照各虚拟链路的未部署业务流量值升序排列，这均不影响本申请的实现。

2、从虚拟链路列表中依次取出第一虚拟链路，直至虚拟链路列表为空，第一虚拟链路的未部署业务流量值在虚拟链路列表最大。

对每个虚拟光网络的虚拟链路列表，从中选出未部署业务流量值最大的虚拟链路，执行下述步骤 3 或 4，执行完之后，继续从中选出未部署业务流量值最大的虚拟链路，直至虚拟链路列表为空。

优先部署未部署业务流量大的虚拟链路，可以使最终部署成功的

业务流量最大。

3、若第一虚拟链路所属虚拟光网络的累计信用值不低于信用阈值，利用频谱窗检查第一虚拟链路所经过物理路径上的频谱使用情况，通过首次选中（First-Fit）算法选择空闲频谱传输第一虚拟链路未部署的业务流量，从虚拟链路列表中删除第一虚拟链路，并更新相应虚拟光网络的累计信用值。

频谱窗为预先构建的，构建过程可参阅相关技术的描述，此处，便不再赘述。

利用 First-Fit 算法从各虚拟光网络中选择空闲频谱资源的实现方法可参阅 First-Fit 算法的原理，此处，便不再赘述。

虚拟链路列表中包含的是含有未部署业务流量的虚拟链路，故在将第一虚拟链路的未部署业务流量传输完成后，可从虚拟链路列表中删除第一虚拟链路。

4、若第一虚拟链路所属虚拟光网络的累计信用值低于信用阈值，从虚拟链路列表中删除第一虚拟链路。

为了进一步提升该方法的实施效率，可将每个虚拟光网络的各虚拟链路按照未部署业务流量值进行降序排列，并将排序后的虚拟链路依次放入预建的虚拟链路列表中，虚拟链路列表中第一条虚拟链路即为未部署业务流量值最大的，节省了从虚拟链路列表中选择第一虚拟链路的时间，从而有利于提升频谱交易效率。

基于此，本申请还提供了一个实施例，请参阅图 3 所示，本申请实施例可包括:

S301: 使用预分配的频谱部署虚拟光网络的业务流量。

S302: 将虚拟链路按照未部署的业务流量降序排列，依次放入虚拟链路列表中。

排序后的虚拟链路列表可用 L 表示。

S303: 从 L 中取出第一条虚拟链路，该条虚拟链路可表示为 l。

若虚拟链路列表中的各虚拟链路按照升序排列，那么第一虚拟链路为列表 L 中的最后一条虚拟链路。

S304：判断虚拟链路 l 所属虚拟光网络的累计信用值是否高于预设信用阈值，若是，则执行 S305；否则，则执行 S306。

S305：构建频谱窗检查虚拟链路 l 所经过物理路径上的频谱使用情况，通过 First-Fit 选择空闲频谱传输虚拟链路 l 未部署的业务流量，并更新相关虚拟光网络的累计信用值。

S306：从列表 L 中删除虚拟链路 l。

S307：判断虚拟链路列表 L 是否为空，若是，则结束频谱交易；若否，则跳转执行 S303。

本发明实施例将虚拟链路按照未部署业务流量的大小降序排列后，优先传输未部署业务流量较大的业务，直到遍历完所有虚拟链路，有效提升了频谱资源交易效率。

在当前系统中运行的业务量较大时，各虚拟光网络均在传输自身的业务流量，很少有空间频谱资源。而在上述频谱交易方法中，虚拟光网络只能交易其拥有（已分配）的频谱。但是，当大多数虚拟光网络的业务流量都较高时，可以交易的空闲频谱较少，业务的阻塞率就会上升。因此，可允许虚拟光网络在无法交易得到空闲频谱时，使用运营商尚未分配给任何虚拟光网络的频谱部署其业务，并支付相应的费用。

以图 3 对应的实施例来说，也就是在 S304 之后，可先判断与第一虚拟链路具有公共物理链路的各虚拟光网络的空闲频谱资源是否足以传输第一虚拟链路未部署业务流量。若与第一虚拟链路具有公共物理链路的各虚拟光网络的空闲频谱资源不足以传输第一虚拟链路未部署业务流量，则使用运营商未分配给各虚拟光网络的频谱资源传输第一虚拟链路未部署的业务流量，并向运营商支付相应费用；也就是说，如果第一虚拟链路传输其未部署业务流量所需的频隙数无法通过频谱资源交易完全获取，那么不足的频隙数可向运营商获取，并支付其相应费用。举例来说，第一虚拟链路传输其未部署业务流量需要 5 个频隙，而通过频谱资源交易可获取 4 个频隙，那么可向运营商购买 1 个

频隙来传输业务流量，购买的频谱资源为未分配给各虚拟光网络的频谱资源。

若与第一虚拟链路具有公共物理链路的各虚拟光网络的空闲频谱资源足以传输第一虚拟链路未部署业务流量，则通过首次选中算法从分配给各虚拟光网络的频谱资源中选择空闲频谱传输第一虚拟链路未部署的业务流量，也就是执行S305。

在各虚拟光网络的空闲频谱资源较少时，允许使用未分配的频谱资源，可进一步的提升网络资源利用率，降低业务阻塞率。

本发明实施例还针对面向虚拟光网络的频谱资源交易方法提供了相应的实现装置，进一步使得所述方法更具有实用性。下面对本发明实施例提供的面向虚拟光网络的频谱资源交易装置进行介绍，下文描述的面向虚拟光网络的频谱资源交易装置与上文描述的面向虚拟光网络的频谱资源交易方法可相互对应参照。

参见图 4，图 4 为本发明实施例提供的面向虚拟光网络的频谱资源交易装置在一种具体实施方式下的结构图，该装置可包括：

预处理模块 401，用于预先按照预设拓扑结构搭建一组虚拟光网络，并为每个虚拟光网络的各虚拟链路配置容量需求参数；容量需求参数包括虚拟链路所属虚拟光网络、源节点和目的节点、时隙的索引、分配给虚拟链路的频隙的起始和终止索引、在当前时隙中满足虚拟链路(源节点，目的节点)上所有业务流量所需频隙数。

频谱资源交易模块 402，用于基于各虚拟链路在不同时隙的容量需求参数、各虚拟光网络的累计信用值及预设信用阈值，控制各虚拟光网络间的虚拟链路交易公共物理链路的频谱资源，以实现有空闲频谱资源的虚拟链路向容量不足的虚拟链路提供频谱资源；各虚拟光网络具备频谱转换能力和子频带虚级联传输能力，且进行频谱交易的虚拟链路拥有公共物理链路；累计信用值为虚拟光网络在当前时隙之前的各时隙信用值之和。

可选的，在本实施例的一些实施方式中，所述频谱资源交易模块402还可以用于预先构建整形线性规划模型；基于整形线性规划模型实现各虚拟光网络间虚拟链路频谱资源的交易；其中，整形线性规划模型的约束条件包括虚拟链路优先使用分配的频隙来承载业务流量、虚拟链路不使用未分配给各虚拟光网络的频隙、虚拟链路借用的频隙数量不超出需求频隙数、拥有公共物理链路的虚拟链路使用的频谱不重叠、累计信用值低于信用阈值的虚拟光网络当前时隙中禁止使用其他虚拟光网络的空闲频谱。

在本实施例的另一些实施方式中，所述述频谱资源交易模块 402例如还可以用于对一个时隙中的各虚拟光网络，在使用预分配的频谱为各虚拟光网络部署业务流量后，将每个虚拟光网络的存在未部署业务流量的虚拟链路放入预建的虚拟链路列表中；从虚拟链路列表中依次取出第一虚拟链路，直至虚拟链路列表为空，第一虚拟链路的未部署业务流量值在虚拟链路列表最大；若第一虚拟链路所属虚拟光网络的累计信用值不低于信用阈值，利用频谱窗检查第一虚拟链路所经过物理路径上的频谱使用情况，通过首次选中算法选择空闲频谱传输第一虚拟链路未部署的业务流量，从虚拟链路列表中删除第一虚拟链路，并更新相应虚拟光网络的累计信用值；若第一虚拟链路所属虚拟光网络的累计信用值低于信用阈值，从虚拟链路列表中删除第一虚拟链路。

可选的，在另外一些实施方式中，所述预处理模块 401 还可用于将一组虚拟光网络划分为多个频谱交易组，每个频谱交易组的虚拟光网络的虚拟链路进行频谱资源交易，不同频谱交易组的虚拟光网络间不进行频谱资源交易。

本发明实施例所述面向虚拟光网络的频谱资源交易装置的各功能模块的功能可根据上述方法实施例中的方法具体实现，其具体实现过程可以参照上述方法实施例的相关描述，此处不再赘述。

由上可知，本发明实施例实现了虚拟光网络根据实时的容量需求交易频谱资源，不仅有效提升虚拟光网络的网络频谱资源利用率，降低虚拟光网络的业务堵塞率；还可保证虚拟光网络之间频谱资源交易

的公平性。

本发明实施例还提供了一种面向虚拟光网络的频谱资源交易设备，具体可包括:

存储器，用于存储计算机程序;

处理器，用于执行计算机程序以实现如上任意一实施例所述面向虚拟光网络的频谱资源交易方法的步骤。

本发明实施例所述面向虚拟光网络的频谱资源交易设备的各功能模块的功能可根据上述方法实施例中的方法具体实现，其具体实现过程可以参照上述方法实施例的相关描述，此处不再赘述。

由上可知，本发明实施例实现了虚拟光网络根据实时的容量需求交易频谱资源，不仅有效提升虚拟光网络的网络频谱资源利用率，降低虚拟光网络的业务堵塞率；还可保证虚拟光网络之间频谱资源交易的公平性。

本发明实施例还提供了一种计算机可读存储介质，存储有面向虚拟光网络的频谱资源交易程序，所述面向虚拟光网络的频谱资源交易程序被处理器执行时如上任意一实施例所述面向虚拟光网络的频谱资源交易方法的步骤。

本发明实施例所述计算机可读存储介质的各功能模块的功能可根据上述方法实施例中的方法具体实现，其具体实现过程可以参照上述方法实施例的相关描述，此处不再赘述。

由上可知，本发明实施例实现了虚拟光网络根据实时的容量需求交易频谱资源，不仅有效提升虚拟光网络的网络频谱资源利用率，降低虚拟光网络的业务堵塞率；还可保证虚拟光网络之间频谱资源交易的公平性。

本发明实施例还提供了一种面向虚拟光网络的频谱资源交易系统，可包括 SDN 控制器和存储器。

为了灵活、高效地进行频谱交易，可使用软件定义网络技术（Software Defined Networking，SDN）来管理网络。SDN 为一种动态、可管理、灵活高效的新兴架构，是管理当前具有高带宽、低延迟和动态特性要求网络的理想解决方案。在频谱交易系统中，SDN 处理器由分布式的 SDN 控制器组成，用于执行存储器中存储的计算机程序时实现如上任一个面向虚拟光网络的频谱资源交易实施例的步骤。

每个 SDN 控制器直接管理一个虚拟光网络，SDN 控制器主要功能如下：

创建虚拟光网络：SDN 控制器虚拟化用户业务，创建虚拟光网络。

映射虚拟光网络：SDN 控制器将创建完成的虚拟光网络以最优化的方式映射到物理光网络上，为虚拟光网络分配频谱资源。

执行频谱交易：SDN 控制器控制虚拟光网络间进行频谱交易。

重新配置网络：SDN 控制器根据频谱交易结果，重新配置网络。

在频谱交易的机制中，可能会出现恶意用户为了使用其他用户的空闲频谱资源而篡改频谱交易的数据。为了保护用户数据的安全，频谱交易系统引入了区块链技术，构建了基于区块链的数据库平面。区块链为一种新兴的分布式存储技术，它将数据信息存储在块中，新创建的块连接在原有的块上，形成链状结构。

在频谱交易系统中，存储器中包含区块链（Blockchain）数据库，区块链数据库将虚拟光网络间的频谱资源交易数据信息按照预设存储格式保存在数据块中。也就是说，用户（虚拟光网络）之间进行频谱产生的交易数据存储在区块链的数据块中，数据块的存储格式为由块序列号，当前频谱资源交易发生的时隙索引，参与频谱资源交易的第一虚拟光网络和第二虚拟光网络，物理链路索引，当前频谱状态，更新后的频谱状态，所述第一虚拟光网络的当前累计信用值、虚拟链路索引、需求频隙数、当前时隙信用值及更新后的累计信用值，所述第二虚拟光网络的当前累计信用值、虚拟链路索引、提供频隙数、当前时隙信用值及更新后的累计信用值组成。

数据块的存储格式可如图 5 所示。其中，图 5 中的用户指代虚拟

光网络。

（1）块序列号：每个块都有专属的序列号，以区别于其他块。

（2）时隙索引：频谱交易发生的时隙索引。

（3）用户：为指参与频谱交易的用户，用户 1 表示频谱需求用户；用户 2 表示频谱提供用户。

（4）当前累计信用值：用户所有时隙信用值的累计值。

（5）虚链路索引：进行频谱交易的虚链路索引。

（6）物理链路索引：进行频谱交易的物理链路索引。

（7）当前频谱状态：当前虚拟网络的频谱使用状态。

（8）需求/提供 FS 数：用户需求/提供的 FS 数量。

（9）当前时隙信用值：用户在当前时隙（此次频谱交易）得到的信用值。

（10）更新后的频谱状态：频谱交易完成后，虚拟网络的频谱使用状态。

（11）更新后的累计信用值：频谱交易完成后，用户的累计信用值。

区块链在创建新块时需要相关的共识协议。其中，最广泛使用的产生新块的协议为工作证明（PoW）协议。在该协议中，Blockchain 产生新块需要解决一个非常复杂、计算成本极高的数学问题，这使得 PoW 的能耗非常高。另外，PoW 协议需要支付给创建新块的用户奖励，加大了运行成本。

为了解决这些问题，本申请提出了一种信用证明（PoC）的新型共识协议。在 PoC 中，新块的创建者根据以下的公式进行选择：

$$\theta = C * t$$

其中，θ 是时间加权信用值，C 是用户的累积信用值，t 是用户累计信用的持续时间。具有较高时间加权信用值的用户创建新块的概率也较大。也就是说，用户的时间加权信用值越大，选择其创建新块的概率也就越大。因为拥有较大该值的用户为系统贡献了最多，因此它便不会伪造数据，影响自己作出的贡献，从而可提升数据安全性。

用户创建新块后，其累计信用的持续时间将会被重置。

与 PoW 相比，PoC 有以下优点:

PoC 不需要支付创建新块的用户奖励，降低了系统成本;

PoC 可以加强数据的安全性。因为恶意用户时间加权信用值需要超过其他所有用户的总和，才能通过共识协议，操纵区块链。

本发明实施例中的用户指的是虚拟光网络。

本发明实施例所述面向虚拟光网络的频谱资源交易系统的各功能模块的功能可根据上述方法实施例中的方法具体实现，其具体实现过程可以参照上述方法实施例的相关描述，此处不再赘述。

由上可知，采用 SDN 控制平面构建、管理虚拟光网络并执行频谱交易，Blockchain 数据库平面用于分布式存储频谱交易的数据，不仅可更灵活地管理虚拟光网络之间的频谱交易，同时还可保证交易数据的安全性。

最后，为了证实本申请提供的技术方案可有效提升虚拟光网络的网络资源利用率，本申请还进行了仿真分析。

本申请采用 n6s8 网络（6 个节点，8 条链路）和 NSFNET 网络（15 个节点，21 条链路）对频谱交易机制进行性能测试，测试网络分别如图 6 和 7 所示。根据表 1 中的传输距离，按照虚拟链路经过的物理路径的距离来确定其使用的调制格式。

表 1、不同调制格式下的传输距离

调制格式	频谱效率（比特/符号）	频隙容量（比特/秒）	传输距离（km）
BPSK	1	25	4000
QPSK	2	50	2000
8-QAM	3	75	1000

假设共有 8 个虚拟光网络，每个虚拟光网络的虚拟节点和虚拟链路的数量分别在$[N/2, N]$和$[L/2, L]$内随机生成，其中N和L分别

是物理网络节点和链路的数量。虚拟链路的平均业务流量从集合 $X \in \{40,60,\cdots,140\}$ Gb/s 中选取，实际业务流量在 $[10,2X-10]$ Gb/s 范围内随机产生。虚拟光网络的累积信用阈值设置为 $\mu=-10$。为了降低 ILP 模型的计算复杂度，最多可使用的非相邻子频带数量为 2 个。

图 8 显示了 n6s8 网络中，虚拟链路平均业务流量对虚拟光网络承载的总业务流量的影响，其中“Non_ST”、“Heu_ST”和“ILP_ST”分别对应于未采用频谱交易机制的情况，采用频谱交易方法的启发式算法和 ILP 模型的结果。如图 8 所示，采用频谱交易机制的情况比未采用频谱交易机制的情况承载更多的业务流量。随着虚拟链路平均业务流量的增加，采用频谱交易和未采用频谱交易的情况之间的差异变得更加显着。因为平均业务流量越大，实际业务流量的波动就越大。当虚拟链路平均业务流量为 70 Gb/s 时，采用和未采用频谱交易的结果相差超过 20％。此外，启发式算法和 ILP 模型的结果基本一致，这表明本申请的启发式算法能在合理的计算时间内求解出迫近最优解的结果。

在 NSFNET 网络中进行了类似的仿真，结果如图 9 所示。曲线“IR”表示采用频谱交易机制相比于未采用频谱交易机制，网络承载的总业务流量的提升率。随着虚拟链路平均业务流量需求的增加，频谱交易机制的性能逐渐提高。基于启发式算法的结果，图 10 显示了累计信用阈值对频谱交易机制性能的影响（X=140 Gb/s）。随着累计信用阈值的降低，频谱交易机制性能逐渐提升。但是，当累积信用阈值降低到一定值时，频谱交易机制的性能改善将趋于饱和。

由上可知，本发明实施例实现了虚拟光网络根据实时的容量需求交易频谱资源，不仅有效提升虚拟光网络的网络频谱资源利用率，降低虚拟光网络的业务堵塞率；还可保证虚拟光网络之间频谱资源交易的公平性。

本说明书中各个实施例采用递进的方式描述，每个实施例重点说

明的都是与其它实施例的不同之处，各个实施例之间相同或相似部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言，由于其与实施例公开的方法相对应，所以描述的比较简单，相关之处参见方法部分说明即可。

专业人员还可以进一步意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤，能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现，为了清楚地说明硬件和软件的可互换性，在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

结合本文中所公开的实施例描述的方法或算法的步骤可以直接用硬件、处理器执行的软件模块，或者二者的结合来实施。软件模块可以置于随机存储器（RAM）、内存、只读存储器（ROM）、电可编程ROM、电可擦除可编程ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质中。

以上对本发明所提供的一种面向虚拟光网络的频谱资源交易方法及系统进行了详细介绍。本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想。应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以对本发明进行若干改进和修饰，这些改进和修饰也落入本发明权利要求的保护范围内。

权 利 要 求

1、一种面向虚拟光网络的频谱资源交易方法，其特征在于，包括:

预先按照预设拓扑结构搭建一组虚拟光网络，并为每个虚拟光网络的各虚拟链路配置容量需求参数;

基于各虚拟链路在不同时隙的容量需求参数、各虚拟光网络的累计信用值及预设信用阈值，控制各虚拟光网络间的虚拟链路交易公共物理链路的频谱资源，以实现有空闲频谱资源的虚拟链路向容量不足的虚拟链路提供频谱资源;

其中，各虚拟光网络具备频谱转换能力和子频带虚级联传输能力，且进行频谱交易的虚拟链路拥有公共物理链路; 所述容量需求参数包括虚拟链路所属虚拟光网络、源节点和目的节点、时隙的索引、分配给虚拟链路的频隙的起始和终止索引、在当前时隙中满足虚拟链路(源节点，目的节点)上所有业务流量所需频隙数; 所述累计信用值为虚拟光网络在当前时隙之前的各时隙信用值之和。

2、根据权利要求 1 所述的面向虚拟光网络的频谱资源交易方法，其特征在于，所述基于各虚拟链路在不同时隙的容量需求参数、各虚拟光网络的累计信用值及预设信用阈值，控制各虚拟光网络间的虚拟链路交易公共物理链路的频谱资源包括:

预先构建整形线性规划模型;

基于所述整形线性规划模型实现各虚拟光网络间虚拟链路频谱资源的交易;

其中，所述整形线性规划模型的约束条件包括虚拟链路优先使用分配的频隙来承载业务流量、虚拟链路不使用未分配给各虚拟光网络的频隙、虚拟链路借用的频隙数量不超出需求频隙数、拥有公共物理链路的虚拟链路使用的频谱不重叠、累计信用值低于所述信用阈值的虚拟光网络当前时隙中禁止使用其他虚拟光网络的空闲频谱。

3、根据权利要求 2 所述的面向虚拟光网络的频谱资源交易方法，其特征在于，所述整形线性规划模型的约束条件还包括部署各虚拟链路使用的非相邻子频带数量不超过 2 个。

4、根据权利要求 1 所述的面向虚拟光网络的频谱资源交易方法，其特征在于，所述基于各虚拟链路在不同时隙的容量需求参数、各虚拟光网络的累计信用值及预设信用阈值，控制各虚拟光网络间的虚拟链路交易公共物理链路的频谱资源包括:

对一个时隙中的各虚拟光网络，在使用预分配的频谱为各虚拟光网络部署业务流量后，将每个虚拟光网络的存在未部署业务流量的虚拟链路放入预建的虚拟链路列表中;

从所述虚拟链路列表中依次取出第一虚拟链路，直至所述虚拟链路列表为空，所述第一虚拟链路的未部署业务流量值在所述虚拟链路列表最大;

若所述第一虚拟链路所属虚拟光网络的累计信用值不低于所述信用阈值，利用频谱窗检查所述第一虚拟链路所经过物理路径上的频谱使用情况，通过首次选中算法选择空闲频谱传输所述第一虚拟链路未部署的业务流量，从所述虚拟链路列表中删除所述第一虚拟链路，并更新相应虚拟光网络的累计信用值;

若所述第一虚拟链路所属虚拟光网络的累计信用值低于所述信用阈值，从所述虚拟链路列表中删除所述第一虚拟链路。

5、根据权利要求 4 所述的面向虚拟光网络的频谱资源交易方法，其特征在于，所述将每个虚拟光网络的存在未部署业务流量的虚拟链路放入预建的虚拟链路列表中包括:

将每个虚拟光网络的各虚拟链路按照未部署业务流量值进行降序排列，并将排序后的虚拟链路依次放入预建的虚拟链路列表中;

相应的，所述第一虚拟链路为所述虚拟链路列表中的第一条虚拟链路。

6、根据权利要求 4 所述的面向虚拟光网络的频谱资源交易方法，其特征在于，所述利用频谱窗检查所述第一虚拟链路所经过物理路径上的频谱使用情况，通过首次选中算法选择空闲频谱传输所述第一虚拟链路未部署的业务流量包括:

判断与所述第一虚拟链路具有公共物理链路的各虚拟光网络的空

闲频谱资源是否足以传输所述第一虚拟链路未部署业务流量;

若否，则使用运营商未分配给各虚拟光网络的频谱资源传输所述第一虚拟链路未部署的业务流量，并支付相应费用;

若是，则通过首次选中算法从分配给各虚拟光网络的频谱资源中选择空闲频谱传输所述第一虚拟链路未部署的业务流量。

7、根据权利要求 1 至 6 任意一项所述的面向虚拟光网络的频谱资源交易方法，其特征在于，所述预先按照预设拓扑结构搭建一组虚拟光网络之后，还包括:

将一组虚拟光网络划分为多个频谱交易组，每个频谱交易组的虚拟光网络的虚拟链路进行频谱资源交易，不同频谱交易组的虚拟光网络间不进行频谱资源交易。

8、一种面向虚拟光网络的频谱资源交易系统，其特征在于，包括 SDN 控制器和存储器，所述 SDN 控制器用于执行所述存储器中存储的计算机程序时实现如权利要求 1 至 7 任一项所述面向虚拟光网络的频谱资源交易方法的步骤。

9、根据权利要求 8 所述的面向虚拟光网络的频谱资源交易系统，其特征在于，所述存储器中包含区块链数据库，所述区块链数据库将虚拟光网络间的频谱资源交易数据信息按照预设存储格式保存在数据块中;

所述数据块的存储格式为由块序列号，当前频谱资源交易发生的时隙索引，参与频谱资源交易的第一虚拟光网络和第二虚拟光网络，物理链路索引，当前频谱状态，更新后的频谱状态，所述第一虚拟光网络的当前累计信用值、虚拟链路索引、需求频隙数、当前时隙信用值及更新后的累计信用值，所述第二虚拟光网络的当前累计信用值、虚拟链路索引、提供频隙数、当前时隙信用值及更新后的累计信用值组成。

10、根据权利要求 9 所述的面向虚拟光网络的频谱资源交易系统，其特征在于，所述区块链数据库根据下述公式选择虚拟光网络创建新数据块:

$$\theta = C * t;$$

式中，θ为时间加权信用值，C为虚拟光网络在当前时隙的当前累计信用值，t为所述当前累计信用值的持续时长。

5

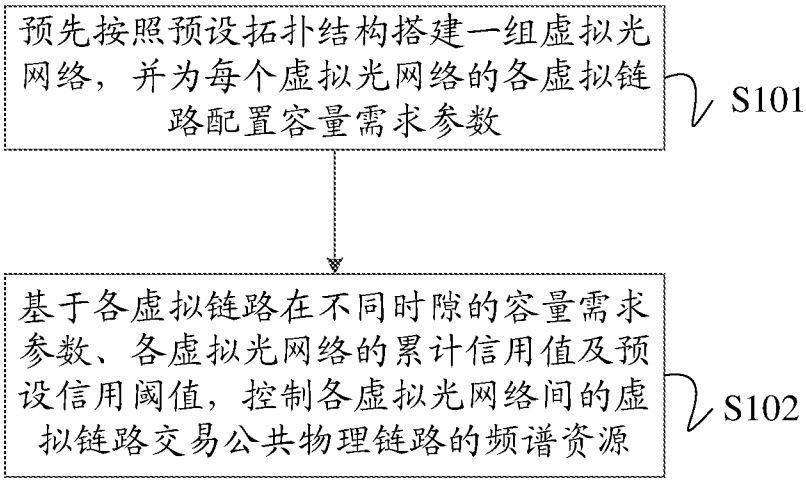
预先按照预设拓扑结构搭建一组虚拟光网络，并为每个虚拟光网络的各虚拟链路配置容量需求参数
S101
基于各虚拟链路在不同时隙的容量需求参数、各虚拟光网络的累计信用值及预设信用阈值，控制各虚拟光网络间的虚拟链路交易公共物理链路的频谱资源
S102

图 1

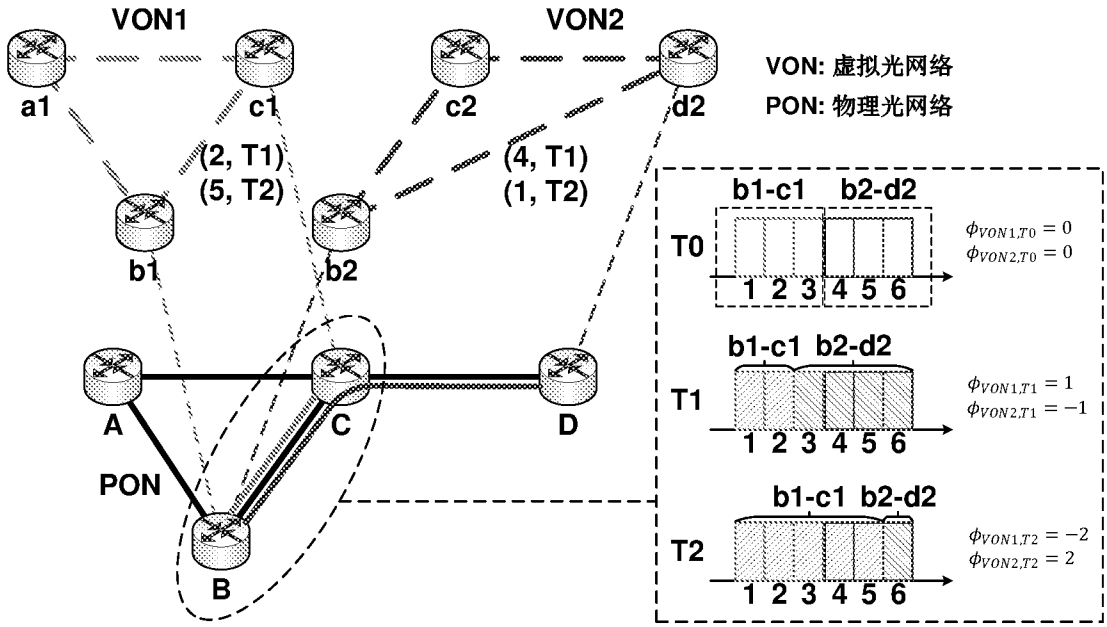
VON1
VON2
a1
c1
c2
d2
VON: 虚拟光网络
PON: 物理光网络
(2, T1)
(5, T2)
(4, T1)
(1, T2)
b1
b2
A
C
D
PON
B
b1-c1 b2-d2
T0
1 2 3 4 5 6
$\phi_{VON1,T0} = 0$
$\phi_{VON2,T0} = 0$
b1-c1 b2-d2
T1
1 2 3 4 5 6
$\phi_{VON1,T1} = 1$
$\phi_{VON2,T1} = -1$
b1-c1 b2-d2
T2
1 2 3 4 5 6
$\phi_{VON1,T2} = -2$
$\phi_{VON2,T2} = 2$

图 2

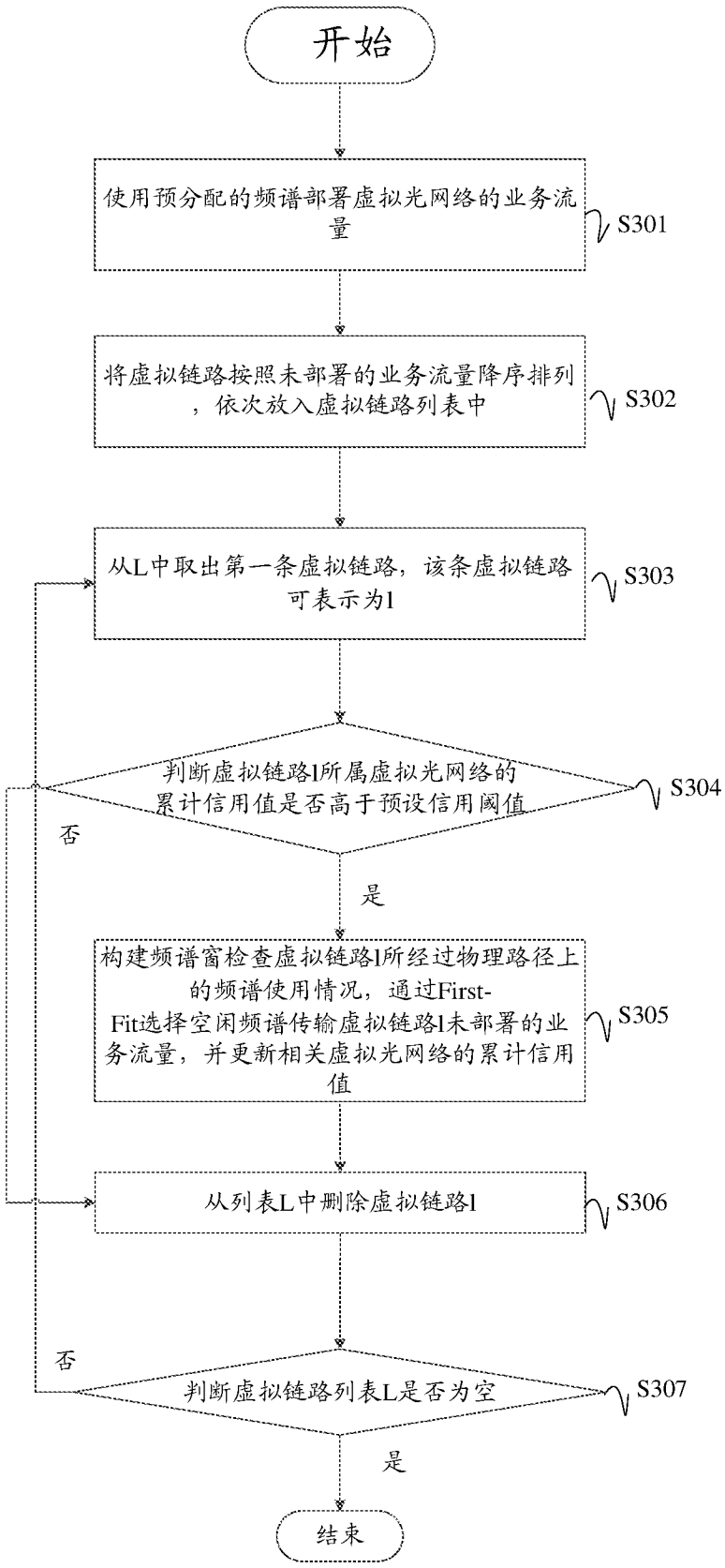
开始
使用预分配的频谱部署虚拟光网络的业务流量
S301
将虚拟链路按照未部署的业务流量降序排列，依次放入虚拟链路列表中
S302
从L中取出第一条虚拟链路，该条虚拟链路可表示为l
S303
判断虚拟链路l所属虚拟光网络的累计信用值是否高于预设信用阈值
S304
否
是
构建频谱窗检查虚拟链路l所经过物理路径上的频谱使用情况，通过First-Fit选择空闲频谱传输虚拟链路l未部署的业务流量，并更新相关虚拟光网络的累计信用值
S305
从列表L中删除虚拟链路l
S306
否
判断虚拟链路列表L是否为空
S307
是
结束

图 3

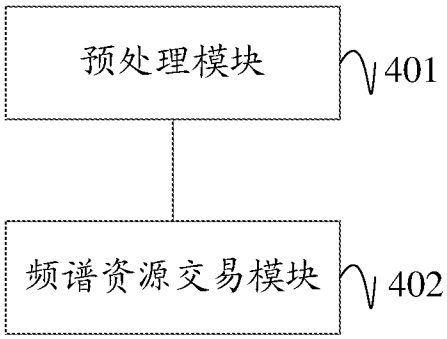

图 4

块序列号	
时隙索引	
用户1	用户2
当前累计信用值1	当前累计信用值2
虚拟链路索引1	虚拟链路索引2
物理链路索引	
当前频谱状态	
需求FS数	提供FS数
当前时隙信用值1	当前时隙信用值2
更新后的频谱状态	
更新后的累计信用值1	更新后的累计信用值2

图 5

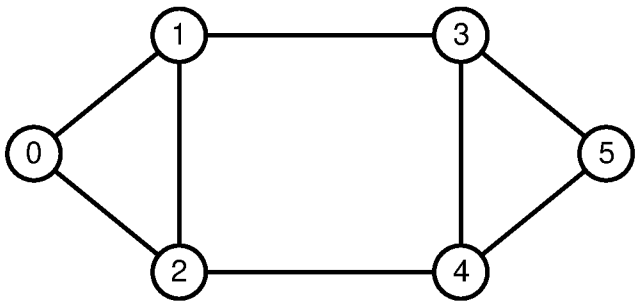

图 6

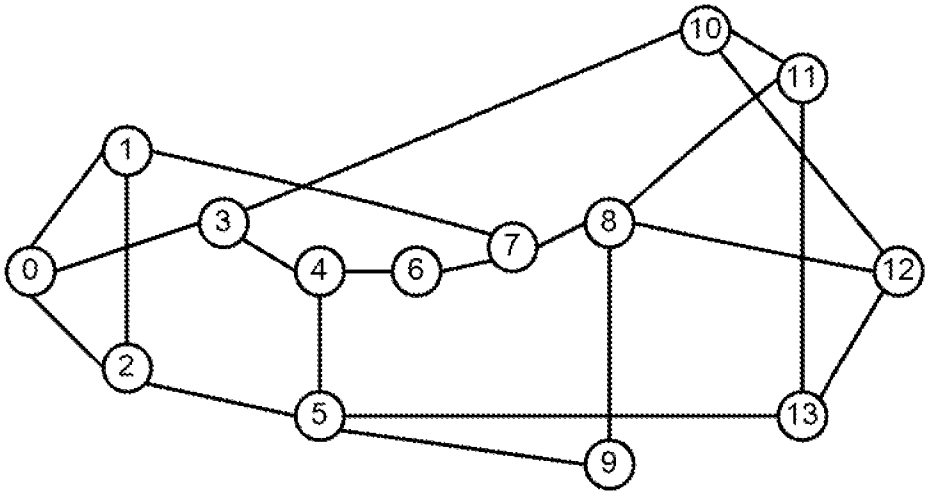
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

图 7

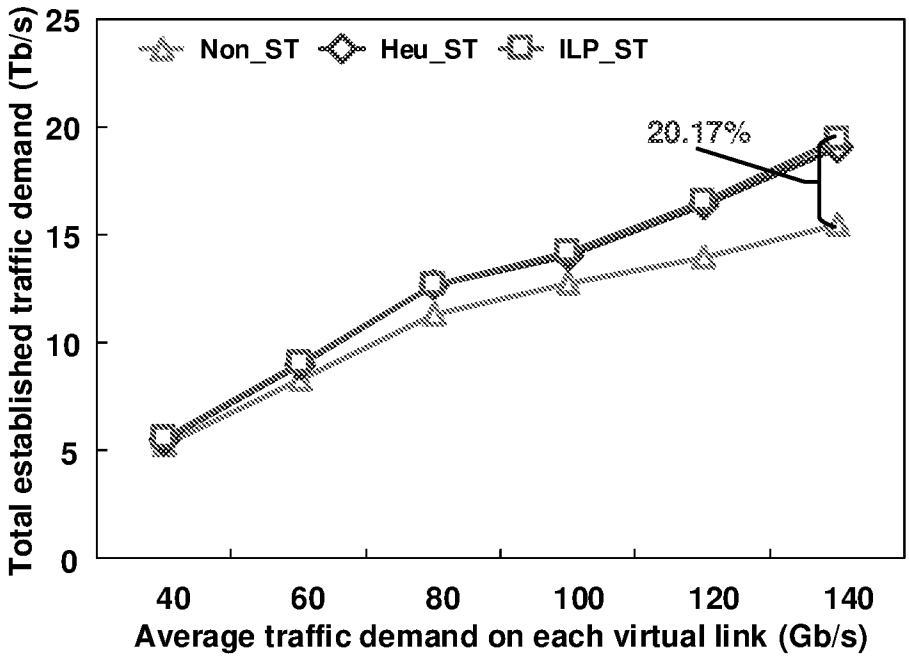
Non_ST
Heu_ST
ILP_ST
20.17%
Total established traffic demand (Tb/s)
0
5
10
15
20
25
40
60
80
100
120
140
Average traffic demand on each virtual link (Gb/s)

图 8

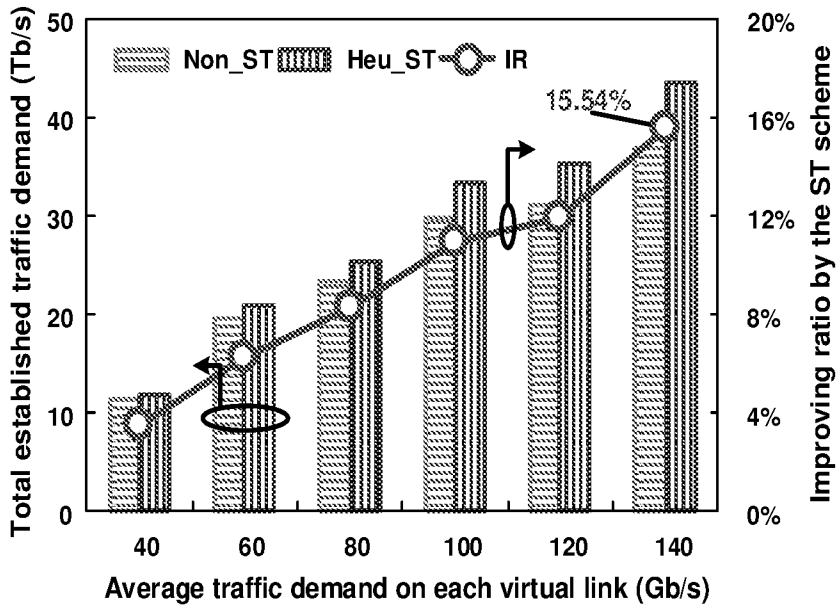
Non_ST
Heu_ST
IR
15.54%
Total established traffic demand (Tb/s)
Improving ratio by the ST scheme
0
10
20
30
40
50
0%
4%
8%
12%
16%
20%
40
60
80
100
120
140
Average traffic demand on each virtual link (Gb/s)

图 9

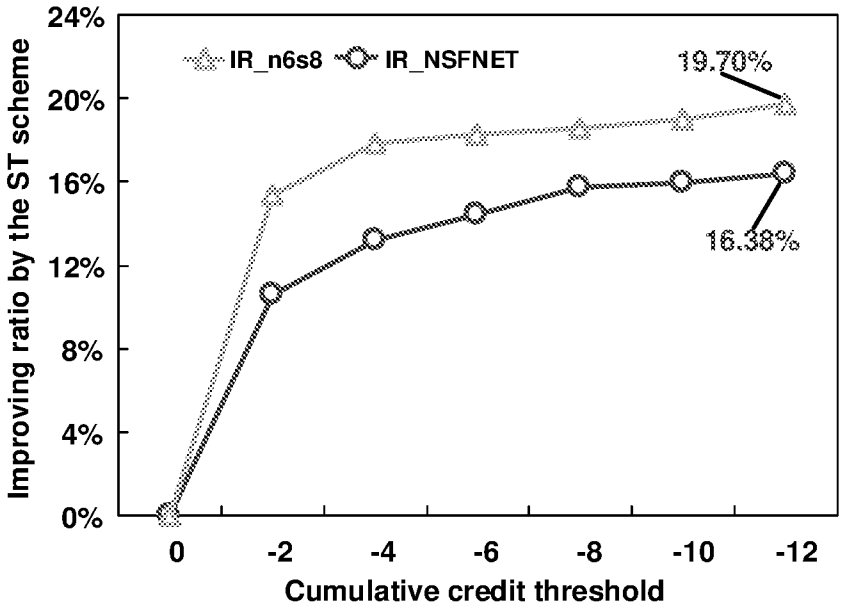
IR_n6s8
IR_NSFNET
19.70%
16.38%
Improving ratio by the ST scheme
0%
4%
8%
12%
16%
20%
24%
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
Cumulative credit threshold

图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2019/107212

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L 12/24(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04L H04Q H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 虚拟, 光, 空闲, 空余, 多余, 闲置, 富余, 频谱, 频隙, 信用, 阈值, 门限, virtual, optical, spare, idle, free, unoccupied, frequency, spectrum, credit, threshold

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109617752 A (SOOCHOW UNIVERSITY) 12 April 2019 (2019-04-12) claims 1-10	1-10
A	CN 106100722 A (LIUAN POWER SUPPLY CO OF STATE GRID ANHUI ELECTRIC POWER CO. et al.) 09 November 2016 (2016-11-09) description, paragraphs [0004] and [0008]-[0037]	1-10
A	CN 104301255 A (BEIJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 21 January 2015 (2015-01-21) entire document	1-10
A	CN 108377220 A (CHONGQING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 07 August 2018 (2018-08-07) entire document	1-10
A	US 2015333824 A1 (CIENA CORPORATION) 19 November 2015 (2015-11-19) entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
19 November 2019	**19 December 2019**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088** **China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2019/107212

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109617752	A	12 April 2019	None			
CN	106100722	A	09 November 2016	None			
CN	104301255	A	21 January 2015	None			
CN	108377220	A	07 August 2018	None			
US	2015333824	A1	19 November 2015	WO	2015178997	A1	26 November 2015
				US	2017048018	A1	16 February 2017
				EP	3146656	A1	29 March 2017
				US	2015333864	A1	19 November 2015
				US	2015333862	A1	19 November 2015

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2019/107212

A. 主题的分类

H04L 12/24(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H04L H04Q H04B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI：虚拟，光，空闲，空余，多余，闲置，富余，频谱，频隙，信用，阈值，门限，virtual, optical, spare, idle, free, unoccupied, frequency, spectrum, credit, threshold

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 109617752 A (苏州大学) 2019年 4月 12日 (2019-04-12) 权利要求1-10	1-10
A	CN 106100722 A (国网安徽省电力公司六安供电公司等) 2016年 11月 9日 (2016-11-09) 说明书第[0004]、[0008]-[0037]段	1-10
A	CN 104301255 A (北京邮电大学) 2015年 1月 21日 (2015-01-21) 全文	1-10
A	CN 108377220 A (重庆邮电大学) 2018年 8月 7日 (2018-08-07) 全文	1-10
A	US 2015333824 A1 (CIENA CORPORATION) 2015年 11月 19日 (2015-11-19) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2019年 11月 19日	2019年 12月 19日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	王欣 电话号码 86-(10)-53961617

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2019/107212

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	109617752	A	2019年 4月 12日	无			
CN	106100722	A	2016年 11月 9日	无			
CN	104301255	A	2015年 1月 21日	无			
CN	108377220	A	2018年 8月 7日	无			
US	2015333824	A1	2015年 11月 19日	WO	2015178997	A1	2015年 11月 26日
				US	2017048018	A1	2017年 2月 16日
				EP	3146656	A1	2017年 3月 29日
				US	2015333864	A1	2015年 11月 19日
				US	2015333862	A1	2015年 11月 19日