

(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
2017 年 11 月 30 日 (30.11.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/202106 A1

(51) 国际专利分类号:
H04Q 11/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/076222

(22) 国际申请日: 2017 年 3 月 10 日 (10.03.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201610368643.0 2016年5月27日 (27.05.2016) CN

(71) 申请人: 深圳大学(SHENZHEN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(72) 发明人: 陈彬(CHEN, Bin); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。

吴文龙(WU, Wenlong); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。 代明军(DAI, Mingjun); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。 林晓辉(LIN, Xiaohui); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。 王晖(WANG, Hui); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市顺天达专利商标代理有限公司 (SHENZHEN STANDARD PATENT & TRADEMARK AGENT LTD.); 中国广东省深圳市福田区深南大道1056号银座国际大厦810-815室, Guangdong 518040 (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,

(54) Title: WAVEBAND ROUTING METHOD BASED ON SERIES STRUCTURE LAYERING OPTICAL CROSS CONNECTION

(54) 发明名称: 基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法

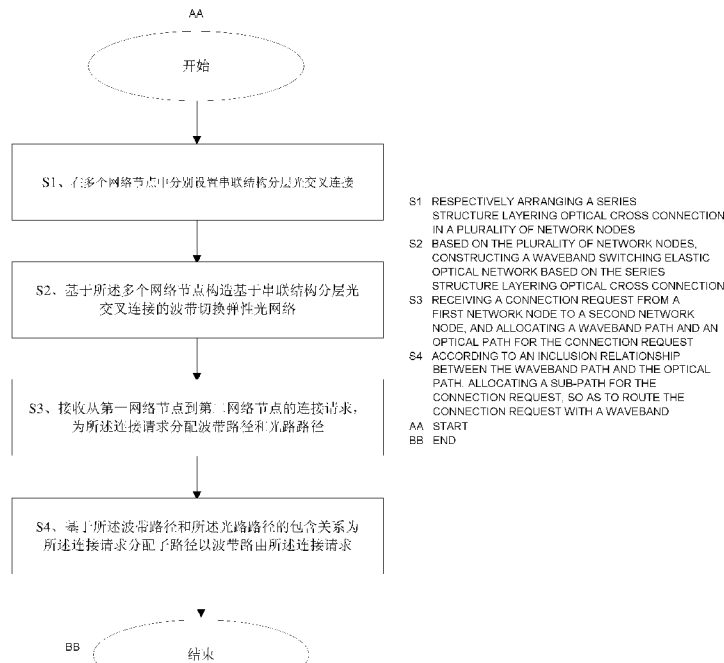


图 1

(57) Abstract: A waveband routing method based on a series structure layering optical cross connection, the method comprising: S1, respectively arranging a series structure layering optical cross connection in a plurality of network nodes; S2, based on the plurality of network nodes, constructing a waveband switching elastic optical network based on the series structure layering optical cross connection; S3, receiving a connection request from a first network node to a second network node, and allocating a waveband path and an optical path for the connection request; and S4, according to an inclusion relationship between the waveband path and the optical path, allocating

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, 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, 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))。

a sub-path for the connection request so as to route the connection request with a waveband. In the implementation of the waveband routing method based on a series structure layering optical cross connection, by allocating a waveband path and an optical path to a connection request, and allocating a sub-path for the connection request based on an inclusion relationship between the waveband path and the optical path so as to route the connection request with a waveband, the number of exchange ports can be significantly saved, thus reducing network costs.

(57) 摘要: 一种基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法, 包括: S1、在多个网络节点中分别设置串联结构分层光交叉连接; S2、基于所述多个网络节点构造基于串联结构分层光交叉连接的波带切换弹性光网络; S3、接收从第一网络节点到第二网络节点的连接请求, 为所述连接请求分配波带路径和光路路径; S4、基于所述波带路径和所述光路路径的包含关系为所述连接请求分配子路径以波带路由所述连接请求。实施本发明的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法, 通过基于分配波带路径和光路路径给连接请求, 并基于该波带路径和光路路径的包含关系为所述连接请求分配子路径以波带路由所述连接请求, 可以显著节省交换端口的数量, 从而降低网络成本。

基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法

技术领域

本发明涉及光通信领域，更具体地说，涉及一种基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法。

背景技术

现已观察到光传输技术的发展速度明显快于光交换技术。虽然在密集波分复用（Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM）系统中，光纤可以携带极大量的波长通道，但是目前可得的波长选择开关（Wavelength Selective Switch, WSS）的端口数至多只有 20。因此，弹性光网络中的大规模光交叉连接（(optical cross-connect, OCX) 结构，通常是利用层叠波长选择开关来获得大的交换端口数目。然而，这一方面使得波长选择开关需求数目快速增加，另一方面信号的损耗也会随着层叠的数目随之增大。所以，降低网络光交换端口数目具有重要意义的。

发明内容

本发明要解决的技术问题在于，针对现有技术的上述缺陷，提供一种可以降低网络光交换端口数的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法。

本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：构造一种基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法，包括：

S1、在多个网络节点中分别设置串联结构分层光交叉连接；

S2、基于所述多个网络节点构造基于串联结构分层光交叉连接的波带切换弹性光网络；

S3、接收从第一网络节点到第二网络节点的连接请求，为所述连接请求分配波带路径和光路路径；

S4、基于所述波带路径和所述光路路径的包含关系为所述连接请求分配子路径以波带路由所述连接请求。

在本发明所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法中,为所述连接请求分配光路路径满足所述连接请求只能在波带的一个光路路径上传输。

在本发明所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法中,为所述连接请求分配光路路径满足在所述光路路径上的频隙仅能被一个连接请求使用。

在本发明所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法中,为所述连接请求分配光路路径满足在所述光路路径上分配的频隙的数量等于所述连接请求的数量。

在本发明所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法中,为所述连接请求分配光路路径满足:

$$\lambda_{s,d}^t = \sum_k \sum_b P_{s,d,t}^{k,b} \quad \forall s,d,t \quad (3);$$

$$\sum_{s,d} \sum_k \sum_t G_{s,d,t}^{k,w} \times F_{s,d,k}^l \leq 1 \quad \forall l,w \quad (4);$$

$$\Lambda_{s,d}^t \times \sum_b P_{s,d,t}^{k,b} = \sum_w G_{s,d,t}^{k,w} \quad \forall s,d,t,k \quad (5)$$

$$(G_{s,d,t}^{k,w} - G_{s,d,t}^{k,w+1} - 1) \times M + \sum_{w' \in [w+2, S]} G_{s,d,t}^{k,w'} \leq 0 \quad \forall s,d,t,k,w \quad (6);$$

其中, s, d 分别表示连接请求的源节点和目的节点, k 表示节点对间路径集中的一条路径, b 表示波带序号, B 表示光纤中波带的最大数量, w 表示频隙序号, S 表示在每个光纤中的频隙资源的总数; $r_{s,d}^t$ 表示从网络节点 s 到网络节点 d 的第 t 连接请求; $\lambda_{s,d}^t$ 在 $r_{s,d}^t$ 被网络节点 d 接受时为 1, 否则为 0; $P_{s,d,t}^{k,b}$ 在 $r_{s,d}^t$ 使用路径 $p_{s,d,k}$ 上的波带 $b \in [1, B]$ 为 1, 否则为 0; $p_{s,d,k}$ 表示从网络节点 s 到网络节点 d 的第 k 条路径; $F_{s,d,k}^l$ 在路径 $p_{s,d,k}$ 经过光纤 l 是为 1, 否则为 0;

$G_{s,d,t}^{k,w}$ 在频隙 $w \in [1, S]$ 分配给 $r_{s,d}^t$ 且 $P_{s,d,t}^{k,b} = 1$ 为 1, 否则为 0; $\Lambda_{s,d}^t$ 表示 $r_{s,d}^t$ 请求的频隙的数量; M 表示一个很大的数大值。

在本发明所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法中, 为所述连接请求分配波带路径满足在相同的链路两个波带并不共享相同的频隙。

在本发明所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法中, 为所述连接请求分配波带路径满足波带的终止频隙序号不小于起始频隙序号。

在本发明所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法中, 为所述连接请求分配波带路径满足连接请求使用的频隙序号不会小于波带的起始频隙序号且不会大于波带b的终止频隙序号。

在本发明所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法中, 为所述连接请求分配波带路径满足:

$$\sum_{i,j} \sum_{k'} B_{i,j,k'}^b \times F_{i,j,k'}^l \leq 1 \quad \forall l, b \quad (8)$$

$$\eta_l^b - \gamma_l^b \leq C \quad \forall l, b \quad (9)$$

$$\gamma_l^b \leq \eta_l^b \quad \forall l, b \quad (10)$$

$$\eta_l^b + 1 < \gamma_l^{b+1} \quad \forall l, b \quad (11)$$

$$\gamma_l^b \leq (2 - P_{s,d,t}^{k,b} \times F_{s,d,k}^l - G_{s,d,t}^{k,w} \times F_{s,d,k}^l) \times M + w \quad \forall l, b, w, s, d, t, k \quad (12)$$

$$w \leq (2 - P_{s,d,t}^{k,b} \times F_{s,d,k}^l - G_{s,d,t}^{k,w} \times F_{s,d,k}^l) \times M + \eta_l^b \quad \forall l, b, w, s, d, t, k \quad (13)$$

其中, s, d 分别表示连接请求的源节点和目的节点, k 表示节点对间路径集中的一条路径, b 表示波带序号, B 表示光纤中波带的最大数量, C 表示每个波带中频隙的最大数量, w 表示具体的频隙序号; γ_l^b 表示代表在光纤 1 上波

带 $b \in [1, B]$ 的起始频隙数标号; η_i^b 表示代表在光纤 1 上波带 $b \in [1, B]$ 的终止频隙标号; 光纤 1 光纤 1 $r_{s,d}^t$ 表示从网络节点 s 到网络节点 d 的第 t 连接请求; $\lambda_{s,d}^t$ 在 $r_{s,d}^t$ 被网络节点 d 接受时为 1, 否则为 0; $P_{s,d,t}^{k,b}$ 在 $r_{s,d}^t$ 使用路径 $p_{s,d,k}$ 上的波带 $b \in [1, B]$ 为 1, 否则为 0; $p_{s,d,k}$ 表示从网络节点 s 到网络节点 d 的第 k 条最短路径; $F_{s,d,k}^l$ 在路径 $p_{s,d,k}$ 经过光纤 l 是为 1, 否则为 0; $G_{s,d,t}^{k,w}$ 在频隙 $w \in [1, S]$ 分配给 $r_{s,d}^t$ 且 $P_{s,d,t}^{k,b} = 1$ 为 1, 否则为 0; M 表示大值; $B_{i,j,k}^b$ 在波带路径使用路径 $p_{s,d,k}$ 且波带 $b \in [1, B]$ 为 1, 否则为 0。

在本发明所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法中, 在所述步骤 S4 中, 所述波带传输通路满足:

$$P_{s,d,t}^{k,b} \leq \sum_{i,j} \sum_{k'} B_{i,j,k'}^b \times C_{i,j,k'}^{s,d,k} \quad \forall s, d, t, k, b$$

其中, $C_{i,j,k'}^{s,d,k}$ 在路径 $p_{s,d,k}$ 是 $p_{i,j,k'}$ 的子路径时为 1, 否则为 0。

实施本发明的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法, 通过基于分配波带路径和光路路径给连接请求, 并基于该波带路径和光路路径的包含关系为所述连接请求分配子路径以波带路由所述连接请求, 可以显著节省交换端口的数量, 从而降低网络成本。

附图说明

下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明, 附图中:

图 1 示出了根据本发明的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法的流程图;

图 2 示出了串联结构分层光交叉连接的逻辑示意图;

图 3 示出了基于 TS-HOXC 的波带切换弹性光网络的逻辑示意图;

图 4 示出了具有如 2 中的 WBS-EON 的拓扑和连接请求的弹性光网络;

图 5 示出了 6-节点网络拓扑;

图 6 绘制了基于本发明的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法

采用 WBS-EOC 和基于现有技术的方法采用 EON 的每个节点对的 CR 数量使用的光交换端口的数量；

图 7 绘制了基于本发明的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法采用 WBS-EOC 和基于现有技术的方法采用 EON 的每个节点对的 CR 数量使用的频谱。

具体实施方式

图 1 示出了根据本发明的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法的流程示意图。在步骤 S1 中，在多个网络节点中分别设置串联结构分层光交叉连接。

图 2 示出了串联结构分层光交叉连接（Tandem Structure Hierarchical Optical Cross-Connect, TS-HOXC）。其中来自入路光纤的光路首先到达 1×2 WSS。如果任何业务连接到达目的节点，可以将其从波带光路中剥离并且下路到本地光接收器。剩余的波带光路将送到波带交叉连接（Waveband Cross-Connect, WBXC）进行波带交换。最后在输出光纤方向上通过 WSS 携带上需要上路的新的业务链接。这将业务链接的上路和下路功能从波带交叉连接中分离出来，使得本发明的串联结构分层光交叉连接更适合用于波带交换。可以注意到，在 TS-HOXC 中，单个光通道不能从一个波带切换到另一个波带。这意味着连接请求只能选择一条波带路径进行路由。因此，如果路径 PA 是路径 PB 的子路径，那么路径 PA 在的全部节点都将包括在路径 PB 中。因此，选择最佳波带路径变得至关重要。

在步骤 S2 中，基于所述多个网络节点构造基于串联结构分层光交叉连接的波带切换弹性光网络。图 3 示出了基于 TS-HOXC 的波带切换弹性光网络（Waveband Switched Elastic Optical Network, WBS-EON）。

在步骤 S3 中，接收从第一网络节点到第二网络节点的连接请求，为所述连接请求分配波带路径和光路路径。为所述连接请求分配光路路径满足所述连接请求只能在波带的一个光路路径上传输，在所述光路路径上的频隙仅能被一个连接请求使用，在所述光路路径上分配的频隙的数量等于所述连接请求的数

量。为所述连接请求分配波带路径满足在相同的链路两个波带并不共享相同的频隙。为所述连接请求分配波带路径满足波带的终止频隙数量不小于起始频隙数量，连接请求使用的频隙数量不会小于波带的起始频隙数量且不会大于波带 b 的终止频隙数量。

在步骤 S4 中基于所述波带路径和所述光路路径的包含关系为所述连接请求分配子路径以波带路由所述连接请求。

下面结合图 3 的基于 TS-HOXC 的波带切换弹性光网络以及图 4 的具有如图 3 中的 WBS-EON 的拓扑和连接请求 CR 的 EON，对本发明的方法说明如下。

需要注意的是，如果波带交换是位于两个相邻的节点，那么是不能为连接请求节省交换端口。因此，我们仅考虑多跳连接请求 CR，例如 CR1（A 到 D）、CR2（F 到 C）和 CR3（B 到 D）。当然，在实际操作中，本发明也可以实现单跳，双跳以及多跳连接请求的传输。在此，只是为了说明的方便，仅采用多跳连接请求为例。

每个连接请求 CR 的带宽假定为 2 频隙。当全部的连接请求 CR 沿着该波带路径路由时，波带路径沿着路径 A、F、B、E、C 和 D 设置。除了光信号上下路端口外，可以使用在节点 F、B 和 C 的三个交换端口，且在光纤连接（B、C）上的频谱使用数达到 6。

该系统也可以配置成使用具有一层 OXC 的 EON。在该 EON 中，单个的 OXC 节点将使用交换端口用于通过该节点的每个连接请求 CR。在图 4 中，除了光信号上下路端口外，其在节点 B、C、E 和 F 需要四个光学交换端口用于弹性光网络路径路由，即在节点 F 和 E 需要两个交换端口用于连接请求 CR1，在节点 B 需要一个交换端口用于连接请求 CR2，在节点 C 需要一个交换端口用于连接请求 CR3。频谱使用达到 4。如该实施例所示，使用 WBS-EON 可以使用更少的交换端口，然而代价可能是消耗更多的频谱。

下面，我们采用整数线性规划(Integer Linear Programming, ILP)公式比较 WBS-EON 和 EON 之间的优化路径解决方案，进而对本发明的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法的操作原理，具体步骤以及其有益效果说明如

下。

基于上述子路径关系采用 ILP 公式为路由、频谱和波带分配 (route, spectrum, and waveband assignment, RSBA) 寻找最优解。该 RSBA 问题可以分成两个子问题。第一个子问题是路由满足频谱一致性 (spectral continuity) 和频谱连续性 (spectral contiguity) 的弹性光路。频谱一致性约束要求光路在其传输通过的各个光纤中必须使用相同的频谱。频谱连续性约束要求将连续的频谱分配给光路。这叫做路由和频谱分配 (RSA) 问题。第二个问题是在波带路径和光路中找到良好的包含关系。波带路径路由需要符合波带一致性限制, 其限制弹性光路使用的频隙位于相同的波带内。因为保护波带 (guard band) 可以作为连接请求 CR 的一部分, 为了简化, 我们在 ILP 公式中不对其进行考虑。在网络中, 我们使用 i 和 j 表示波带-路径的源节点和目的节点, 且采用 s 和 d 表示连接请求 CR 的源节点和目的节点。

给定参数如下:

$G(V, E)$ 表示物理拓扑, V 是网络节点集合, 且 E 是定向物理光路路径集合。

$r_{s,d}^t$ 表示从节点 s 到节点 d 的第 t 个连接请求。

$\Lambda_{s,d}^t$ 表示 CR $r_{s,d}^t$ 请求的频隙的数量。

$p_{s,d,k}$ 表示在物理拓扑中从节点 s 到节点 d 的第 k 条最短路径。

S 表示在每个光纤中的频隙的总数。

C 表示波带大小, 其定义成在每个波带中频隙的最大数量。

B 表示光纤中波带的最大数量。

$F_{s,d,k}^l$, 如果路径 $p_{s,d,k}$ 经过光纤 l 是为 1, 否则为 0。

$C_{i,j,k}^{s,d,k}$, 如果路径 $p_{s,d,k}$ 是 $p_{i,j,k'}$ 的子路径为 1, 否则为 0。

M 表示大值 (big value), 用来保证优化时对某个目标的优先优化, 该值

大于次目标的值。

1 表示光纤。

决策变量：

$\lambda_{s,d}^t$ ，如果 $\text{CR } r_{s,d}^t$ 被接受为 1，否则为 0。

$G_{s,d,t}^{k,w}$ ，如果频隙 $w \in [1, S]$ 分配给 $r_{s,d}^t$ 且 $P_{s,d,t}^{k,b} = 1$ 为 1，否则为 0。

γ_l^b 表示代表在光纤 1 上波带 $b \in [1, B]$ 的起始频隙数的整数变量。

η_l^b 表示代表在光纤 1 上波带 $b \in [1, B]$ 的终止频隙数的整数变量。

$P_{s,d,t}^{k,b}$ ，如果 $\text{CR } r_{s,d}^t$ 使用路径 $p_{s,d,k}$ 上的波带 $b \in [1, B]$ 为 1，否则为 0。

$B_{i,j,k}^b$ ，如果波带-路径使用路径 $p_{s,d,k}$ 且波带 $b \in [1, B]$ 为 1，否则为 0。

Z 表示频谱使用：在网路中全部光纤中使用的频隙的最大标号。

在WBS-EON中的RSBA问题

目标函数：

$$\text{Minimize: } \left(\sum_{i,j} \sum_k \sum_l F_{i,j,k}^l \times B_{i,j,k}^b - B_{i,j,k}^b \right) \cdot M + Z \quad (1)$$

在等式 (1) 中，第一项是光交换端口的数量，其中仅考虑在中间节点中使用的光交换端口。第二项是频谱使用。因为我们将最小化光交换端口作为主要目标，所以等式 (1) 中的 M 取远大于 Z 的值，优选为 Z 的 10 倍以上的值。当然，在本发明的其他实施例中，也可以根据实际情况，选用其他 M 值。

约束式：

$$Z \geq w \times G_{s,d,t}^{k,w} \quad \forall s, d, t, k, w \quad (2)$$

$$\lambda_{s,d}^t = \sum_k \sum_b P_{s,d,t}^{k,b} \quad \forall s, d, t \quad (3)。$$

等式（2）用于获得频谱使用。等式（3）保证连接请求CR仅能在波带中的一个路径上传输。应注意，在此我们不考虑CR被分配到多个路径的情况。

$$\sum_{s,d} \sum_k \sum_t G_{s,d,t}^{k,w} \times F_{s,d,k}^l \leq 1 \quad \forall l, w \quad (4)$$

$$\Lambda_{s,d}^t \times \sum_b P_{s,d,t}^{k,b} = \sum_w G_{s,d,t}^{k,w} \quad \forall s, d, t, k \quad (5)$$

$$(G_{s,d,t}^{k,w} - G_{s,d,t}^{k,w+1}) \times M + \sum_{w' \in [w+2, S]} G_{s,d,t}^{k,w'} \leq 0 \quad \forall s, d, t, k, w \quad (6)$$

等式（4）确保在光纤1上的频隙 w 仅仅能够被一个连接请求CR使用。等式（5）确保分配的频隙的数量等于请求的连接请求数量。在等式（6）中定义了频谱一致性。

$$P_{s,d,t}^{k,b} \leq \sum_{i,j} \sum_{k'} B_{i,j,k'}^b \times C_{i,j,k'}^{s,d,k} \quad \forall s, d, t, k, b \quad (7)$$

等式（7）确保在连接请求CR可以被分配到波带-路径。在此，在整个波带-路径中，波带大小不需要相同。

$$\sum_{i,j} \sum_{k'} B_{i,j,k'}^b \times F_{i,j,k'}^l \leq 1 \quad \forall l, b \quad (8)$$

等式（8）确保在光纤1上的波带 b 的独特性（uniqueness）。

$$\eta_l^b - \gamma_l^b \leq C \quad \forall l, b \quad (9)$$

$$\gamma_l^b \leq \eta_l^b \quad \forall l, b \quad (10)$$

$$\eta_l^{b+1} < \gamma_l^{b+1} \quad \forall l, b \quad (11)$$

等式（9）确保最大波带大小限制。等式（10）确保波带的终止频隙数量不小于起始频隙数量。等式（11）确保在相同的链路两个波带并不共享相同的频隙。 $\gamma_l^b \leq (2 - P_{s,d,t}^{k,b} \times F_{s,d,k}^l - G_{s,d,t}^{k,w} \times F_{s,d,k}^l) \times M + w$
 $\forall l, b, w, s, d, t, k \quad (12)$

$$w \leq \left(2 - P_{s,d,t}^{k,b} \times F_{s,d,k}^l - G_{s,d,t}^{k,w} \times F_{s,d,k}^l \right) \times M + \eta_l^b \quad \forall l, b, w, s, d, t, k \quad (13)$$

等式(12)和(13)给出了波带一致性约束。如果连接请求CR使用光纤1上的波带b,等式(12)确保连接请求使用的频隙数量不会小于波带b的起始频隙数量。如果连接请求CR使用光纤1上的波带b,等式(13)确保连接请求使用的频隙数量不会大于波带b的终止频隙数量。

在此,在图5中示出了6-节点、9-光路路径网络。下面在图5所示网络中采用本发明的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法,以验证其结果。当然,本发明的方法也可在其他更大的网络中进行使用。基于本发明的教导,本领域技术人员能够实现这样的使用。

假设每个光路路径在每个方向具有一个光纤。每个光纤有32个频隙。在此,我们选择四个波带的大小(C),如8、16、24、32个频隙。值得注意的是,波带宽度可以小于或等于波带大小。在每一个光纤中,可以容纳至多B=4个波带。不考虑相邻节点之间的连接请求,因为对于这样的节点,波带交换网络不能节省光交换端口。除了邻居节点对之外,每个节点对具有相同数量的连接请求(7)。每个请求的带宽是随机选择为1、2或3个频隙。对于每个节点对,首先计算K=5个最短路径。对于连接请求和波带-路径,使用相同的路径组。

图6绘制了每个节点对的CR数量使用的光交换端口的数量。在使用一个层的OXC中,随着CR数量的增加,使用的光交换端口的数量从14增加到42。在具有TS-HOXC的网络中,光交换端口的数量的上升趋势大大小于C的增加值。在具有TS-HOXC的网络中,当C=8时,光交换端口的数量增至10-16。因为波带大小越来越大,波带交换端口可以分组光路的增加数量。应注意,对于C=32,当流量负载增加时,交换端口的数量总是等于9。对于T=3,使用TS-HOXC的网络与一层OXC相比,可以节省78%的交换端口。

图7绘制了每个节点对的CR数量使用的频谱。可以看到,对于两个网络,在流量负载增加时,频谱使用增加。对于T=1和T=2,WBS-EON和EON

(无波带交换)具有相同的频谱使用。当 $T=3$ 时, $C=8$ 的WBS-EON和EON频谱使用相等且等于13。 $C=16$ 、24和32的WBS-EON的频谱使用相同且等于14。值得注意的是, 频谱使用在等式(1)中是次要优化目标。因此, 如果必要的话, 网络可以牺牲一些频谱资源, 用于节省交换端口。

比较图5和图6可知, WBS-EON可以显著节省交换端口的数量, 并且, 该节省效果随着连接请求数量的增加和最大波带的增加而变得更加显著。当最大波带大小等于光纤容量, 网络可以节省最大数量的光交换端口。同时, 为了节省光交换端口所付出的成本并不多。当 $C = 32$, WBS-EON的频谱使用仅略高于EON。总之, 因此基于WBS-EON的TS-HOXC可以大大减少光交换端口, 并且达到几乎相同的路由性能。

实施本发明的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法, 通过基于分配波带路径和光路路径给连接请求, 并基于该波带路径和光路路径的包含关系为所述连接请求分配子路径以波带路由所述连接请求, 可以显著节省交换端口的数量, 从而降低网络成本。

虽然本发明是通过具体实施例进行说明的, 本领域技术人员应当明白, 在不脱离本发明范围的情况下, 还可以对本发明进行各种变换及等同替代。因此, 本发明不局限于所公开的具体实施例, 而应当包括落入本发明权利要求范围内的全部实施方式。

权 利 要 求 书

1、一种基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法，其特征在于，包括：

S1、在多个网络节点中分别设置串联结构分层光交叉连接；

S2、基于所述多个网络节点构造基于串联结构分层光交叉连接的波带切换弹性光网络；

S3、接收从第一网络节点到第二网络节点的连接请求，为所述连接请求分配波带路径和光路路径；

S4、基于所述波带路径和所述光路路径的包含关系为所述连接请求分配子路径以波带路由所述连接请求。

2、根据权利要求 1 所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法，其特征在于，为所述连接请求分配光路路径满足在所述光路路径上只能在一条波带传输通道传输。

3、根据权利要求 2 所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法，其特征在于，为所述连接请求分配光路路径满足在所述光路路径上的频隙仅能被一个连接请求使用。

4、根据权利要求 3 所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法，其特征在于，为所述连接请求分配光路路径满足在所述光路路径上分配的频隙的数量等于所述连接请求的频隙资源数量。

5、根据权利要求 3 所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法，其特征在于，为所述连接请求分配光路路径满足：

$$\lambda_{s,d}^t = \sum_k \sum_b P_{s,d,t}^{k,b} \quad \forall s,d,t \quad (3);$$

$$\sum_{s,d} \sum_k \sum_t G_{s,d,t}^{k,w} \times F_{s,d,k}^l \leq 1 \quad \forall l,w \quad (4);$$

$$\Lambda_{s,d}^t \times \sum_b P_{s,d,t}^{k,b} = \sum_w G_{s,d,t}^{k,w} \quad \forall s,d,t,k \quad (5)$$

$$(G_{s,d,t}^{k,w} - G_{s,d,t}^{k,w+1} - 1) \times M + \sum_{w' \in [w+2, S]} G_{s,d,t}^{k,w'} \leq 0 \quad \forall s, d, t, k, w \quad (6);$$

其中, s, d 分别表示连接请求的源节点和目的节点, k 表示节点对间路径集中的一条路径, b 表示波带序号, B 表示光纤中波带的最大数量, w 表示频隙序号, S 表示在每个光纤中的频隙资源的总数; $r_{s,d}^t$ 表示从网络节点 s 到网络节点 d 的第 t 连接请求; $\lambda_{s,d}^t$ 在 $r_{s,d}^t$ 被网络节点 d 接受时为 1, 否则为 0; $P_{s,d,t}^{k,b}$ 在 $r_{s,d}^t$ 使用路径 $p_{s,d,k}$ 上的波带 $b \in [1, B]$ 为 1, 否则为 0; $p_{s,d,k}$ 表示从网络节点 s 到网络节点 d 的第 k 条路径; $F_{s,d,k}^l$ 在路径 $p_{s,d,k}$ 经过光纤 l 是为 1, 否则为 0; $G_{s,d,t}^{k,w}$ 在频隙 $w \in [1, S]$ 分配给 $r_{s,d}^t$ 且 $P_{s,d,t}^{k,b} = 1$ 为 1, 否则为 0; $\Lambda_{s,d}^t$ 表示 $r_{s,d}^t$ 请求的频隙的数量; M 表示大值。

6、根据权利要求 1-5 中任意一项权利要求所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法, 其特征在于, 为所述连接请求分配波带路径满足在相同的链路两个波带并不共享相同的频隙。

7、根据权利要求 6 所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法, 其特征在于, 为所述连接请求分配波带路径满足波带的终止频隙序号不小于起始频隙序号。

8、根据权利要求 7 所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法, 其特征在于, 为所述连接请求分配波带路径满足连接请求使用的频隙序号不会小于波带的起始频隙序号且不会大于波带 b 的终止频隙序号。

9、根据权利要求 8 所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法, 其特征在于, 为所述连接请求分配波带路径满足:

$$\sum_{i,j} \sum_{k'} B_{i,j,k'}^b \times F_{i,j,k'}^l \leq 1 \quad \forall l, b \quad (8)$$

$$\eta_l^b - \gamma_l^b \leq C \quad \forall l, b \quad (9)$$

$$\gamma_l^b \leq \eta_l^b \quad \forall l, b \quad (10)$$

$$\eta_l^b + 1 < \gamma_l^{b+1} \quad \forall l, b \quad (11)$$

$$\gamma_l^b \leq (2 - P_{s,d,t}^{k,b} \times F_{s,d,k}^l - G_{s,d,t}^{k,w} \times F_{s,d,k}^l) \times M + w \quad \forall l, b, w, s, d, t, k \quad (12)$$

$$w \leq (2 - P_{s,d,t}^{k,b} \times F_{s,d,k}^l - G_{s,d,t}^{k,w} \times F_{s,d,k}^l) \times M + \eta_l^b \quad \forall l, b, w, s, d, t, k \quad (13)$$

其中, s, d 分别表示连接请求的源节点和目的节点, k 表示节点对间路径集中的一条路径, b 表示波带序号, B 表示光纤中波带的最大数量, C 表示每个波带中频隙的最大数量, w 表示具体的频隙序号; γ_l^b 表示代表在光纤 1 上波带 $b \in [1, B]$ 的起始频隙数标号; η_l^b 表示代表在光纤 1 上波带 $b \in [1, B]$ 的终止频隙标号; $r_{s,d}^t$ 表示从网络节点 s 到网络节点 d 的第 t 连接请求; $\lambda_{s,d}^t$ 在 $r_{s,d}^t$ 被网络节点 d 接受时为 1, 否则为 0; $P_{s,d,t}^{k,b}$ 在 $r_{s,d}^t$ 使用路径 $p_{s,d,k}$ 上的波带 $b \in [1, B]$ 为 1, 否则为 0; $p_{s,d,k}$ 表示从网络节点 s 到网络节点 d 的第 k 条最短路径; $F_{s,d,k}^l$ 在路径 $p_{s,d,k}$ 经过光纤 1 是为 1, 否则为 0; $G_{s,d,t}^{k,w}$ 在频隙 $w \in [1, S]$ 分配给 $r_{s,d}^t$ 且 $P_{s,d,t}^{k,b} = 1$ 为 1, 否则为 0; M 表示大值; $B_{i,j,k}^b$ 在波带路径使用路径 $p_{s,d,k}$ 且波带 $b \in [1, B]$ 为 1, 否则为 0。

10、根据权利要求 9 所述的基于串联结构分层光交叉连接的波带路由方法, 其特征在于, 在所述步骤 S4 中, 所述波带传输通路满足:

$$P_{s,d,t}^{k,b} \leq \sum_{i,j} \sum_{k'} B_{i,j,k'}^b \times C_{i,j,k'}^{s,d,k} \quad \forall s, d, t, k, b$$

其中, $C_{i,j,k'}^{s,d,k}$ 在路径 $p_{s,d,k}$ 是 $p_{i,j,k'}$ 的子路径时为 1, 否则为 0。

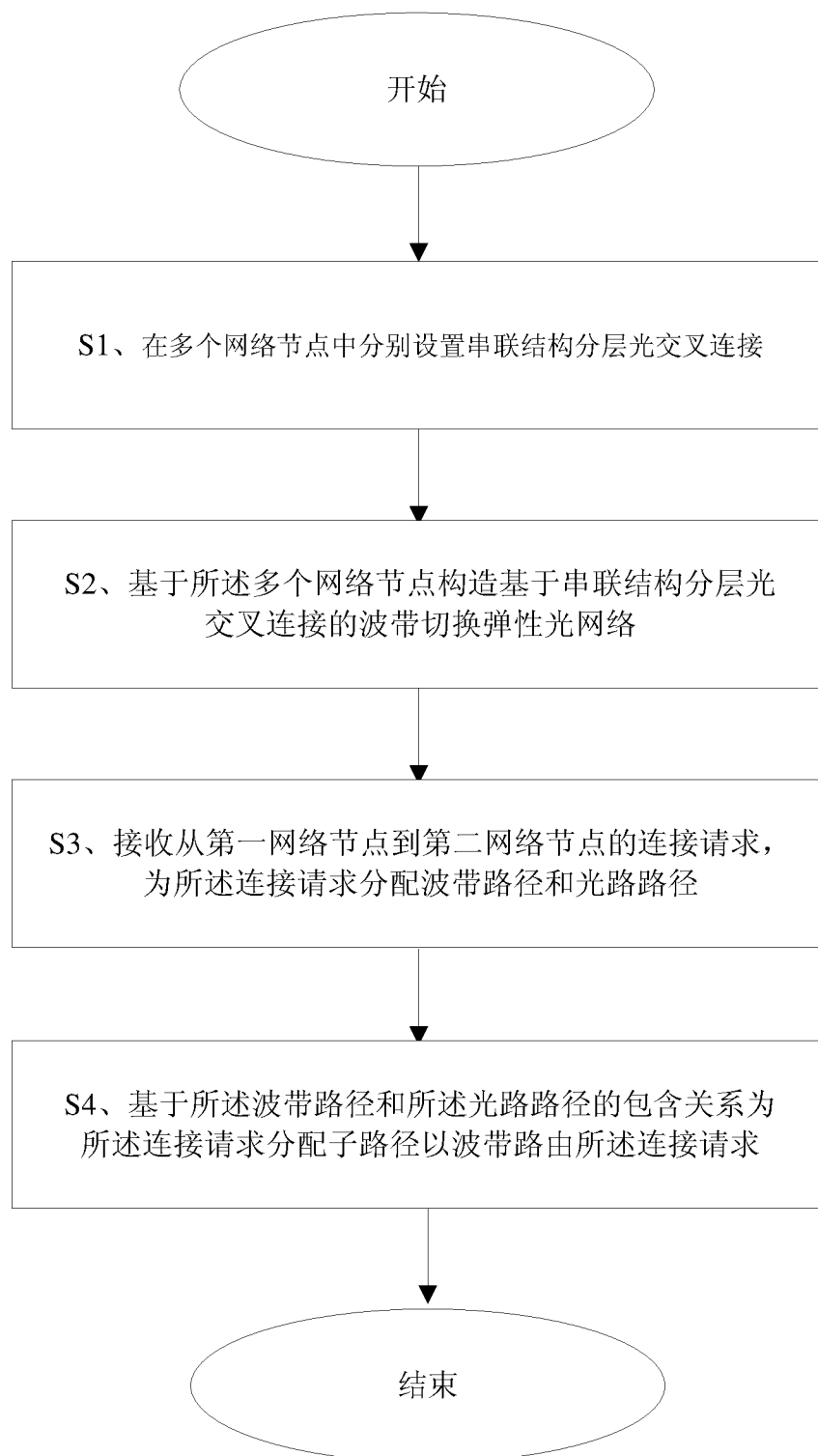


图 1

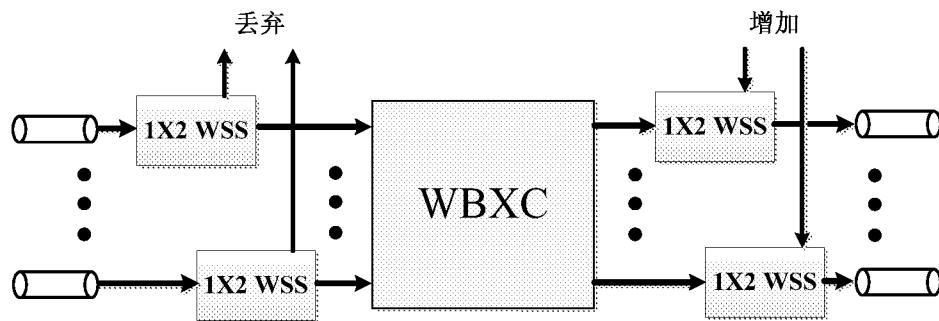


图 2

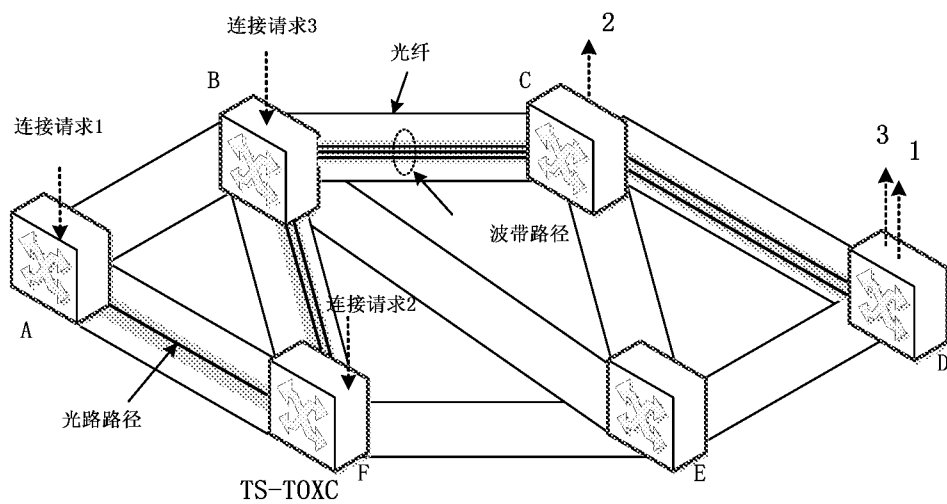


图 3

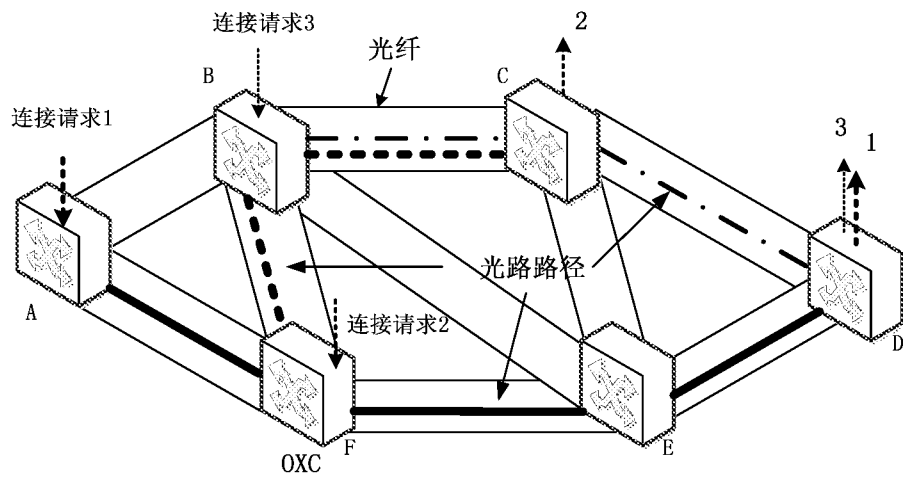


图 4

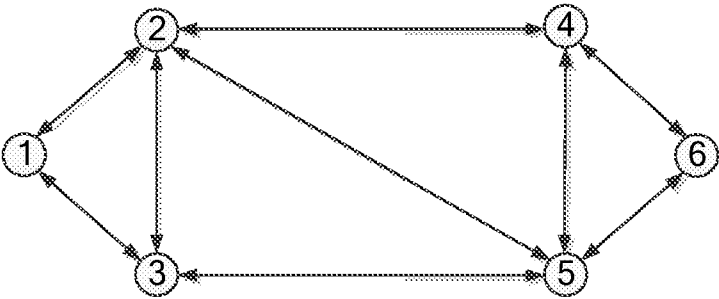


图 5

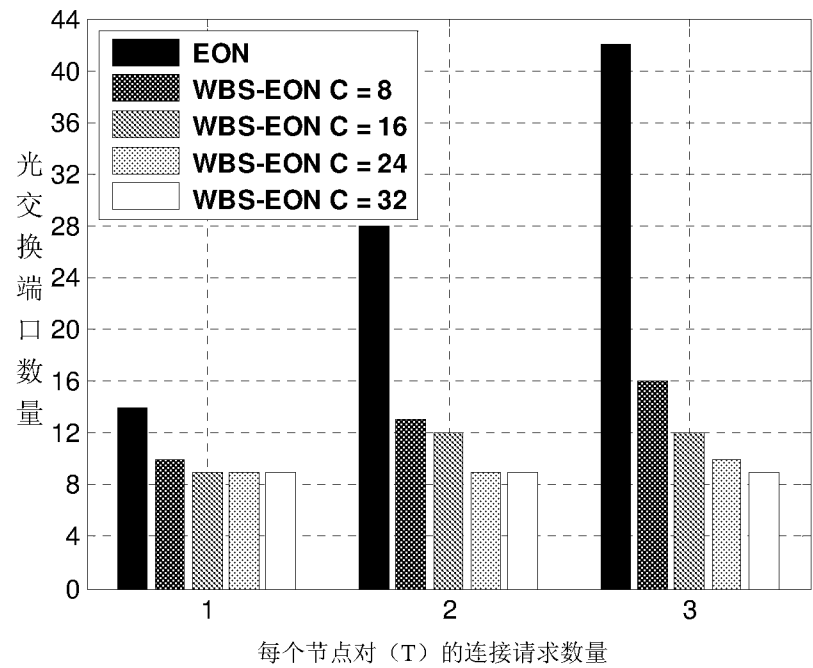


图 6

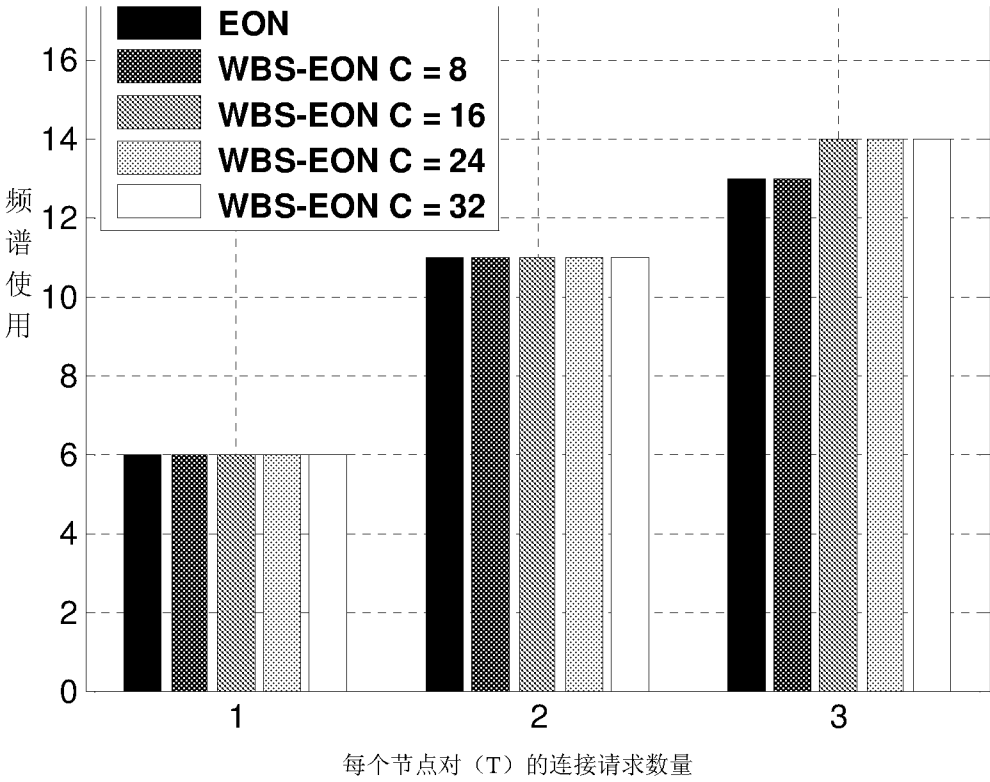


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2017/076222

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04Q 11/00 (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)

H04Q; H04W; H04L

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)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: optical cross connection, optical path, path, frequency slot, tandem, hierarchical, OXC, waveband, optical, routing, connection, request, frequency, gap, sharing

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 106060682 A (SHENZHEN UNIVERSITY), 26 October 2016 (26.10.2016), claims 1-10	1-10
A	CN 1791000 A (UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA), 21 June 2006 (21.06.2006), description, page 3, paragraph 4 to page 6, paragraph 10	1-10
A	CN 102457782 A (COMMUNICATION AUTOMATION CENTER, SICHUAN ELECTRIC POWER CORPORATION), 16 May 2012 (16.05.2012), the whole document	1-10
A	CN 103441929 A (FIBERHOME TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES CO., LTD.), 11 December 2013 (11.12.2013), the whole document	1-10
A	CN 102137313 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY), 27 July 2011 (27.07.2011), the whole document	1-10
A	US 2014294383 A1 (TELEFONAKTIEBOLAGET L M ERICSSON PUBL), 02 October 2014 (02.10.2014), the whole document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 06 April 2017 (06.04.2017)	Date of mailing of the international search report 08 May 2017 (08.05.2017)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer YANG, Yingxiao Telephone No.: (86-10) 62413196

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/076222

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 106060682 A	26 October 2016	None	
CN 1791000 A	21 June 2006	None	
CN 102457782 A	16 May 2012	None	
CN 103441929 A	11 December 2013	WO 2015039554 A1	26 March 2015
CN 102137313 A	27 July 2011	None	
US 2014294383 A1	02 October 2014	CN 103748818 A	23 April 2014
		EP 2748958 A1	02 July 2014
		WO 2013026499 A1	28 February 2013

A. 主题的分类		
H04Q 11/00 (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)		
H04Q; H04W; H04L		
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))		
CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI: 串联, 分层, 光交叉连接, 波带, 光路, 路由, 路径, 连接, 请求, 频隙, 共享, tandem, hierarchical, OXC, waveband, optical, routing, connection, request, frequency, gap, sharing		
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 106060682 A (深圳大学) 2016年 10月 26日 (2016 - 10 - 26) 权利要求1-10	1-10
A	CN 1791000 A (电子科技大学) 2006年 6月 21日 (2006 - 06 - 21) 说明书第3页第4段-第6页第10段	1-10
A	CN 102457782 A (四川省电力公司通信自动化中心) 2012年 5月 16日 (2012 - 05 - 16) 全文	1-10
A	CN 103441929 A (烽火通信科技股份有限公司) 2013年 12月 11日 (2013 - 12 - 11) 全文	1-10
A	CN 102137313 A (东北大学) 2011年 7月 27日 (2011 - 07 - 27) 全文	1-10
A	US 2014294383 A1 (TELEFONAKTIEBOLAGET L M ERICSSON PUBL) 2014年 10月 2日 (2014 - 10 - 02) 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 “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
2017年 4月 6日		2017年 5月 8日
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员
中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		杨盈霄
传真号 (86-10) 62019451		电话号码 (86-10) 62413196

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/076222

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	106060682	A	2016年 10月 26日	无			
CN	1791000	A	2006年 6月 21日	无			
CN	102457782	A	2012年 5月 16日	无			
CN	103441929	A	2013年 12月 11日	WO	2015039554	A1	2015年 3月 26日
CN	102137313	A	2011年 7月 27日	无			
US	2014294383	A1	2014年 10月 2日	CN	103748818	A	2014年 4月 23日
				EP	2748958	A1	2014年 7月 2日
				WO	2013026499	A1	2013年 2月 28日