

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04J 14/02 (2006.01)

H04B 10/12 (2006.01)

H04Q 3/52 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02137618.2

[45] 授权公告日 2007 年 7 月 4 日

[11] 授权公告号 CN 1324830C

[22] 申请日 2002.10.24 [21] 申请号 02137618.2

[73] 专利权人 上海交通大学

地址 200030 上海市华山路 1954 号

共同专利权人 上海全光网络科技股份有限公司

[72] 发明人 肖石林 曾庆济 蒋 铭 王建新

赵焕东 肖鹏程 黄 俊

[56] 参考文献

CN1207232A 1999.2.3

CN1332546A 2002.1.23

Multicasting Optical Cross Connects Employing Splitter - and - Delivery Switch Wei S. Hu, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 10 No. 7 1998

Multiwavelength Cross - connects for Optical-Transport Networks Wen De Zhong, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol. 14 No. 7 1996

Optical Path Technologies : A comparison Among Different Cross - Connect Architectures Eugenio Iannone, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol. 14 No. 10 1996

光交叉连接结构的分类和推演 胡卫生等, 光子学报, 第 27 卷第 9 期 1998

审查员 左 萌

[74] 专利代理机构 上海交达专利事务所

代理人 毛翠莹

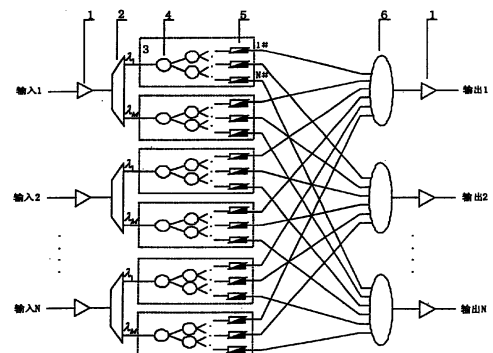
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 5 页

[54] 发明名称

可调光分路可扩展组播光交换结构

[57] 摘要

一种可调光分路可扩展组播光交换结构, 由 N 个 $1 \times M$ 光波分解复用器、MN 个 $1 \times N$ 内部组播模块和 N 个 $MN \times 1$ 光合路器构成, 其中, N 为交换结构支持输入/输出链路数, M 为每个链路复用同一组的波长数。交换结构内部采用具有复制功能的内部组播模块, 由多个多级可控 1×2 光分路器级联, 构成功率可调的分配结构, 输入的每个波长信号由多级光分路器选出所需输出链路, 由可调谐波长变换器选出所需波长, 实现信号功率分配和波长交换。本发明能同时支持点到点和点到多点广播的传送方式, 具有链路模块性和波长模块性两种扩充能力, 能利用有限波长资源, 提高波长复用效率, 可应用于各种光网络节点。



1、一种可调光分路可扩展组播光交换结构，其特征在于由 N 个 $1 \times M$ 光波分解复用器 (2)、 MN 个 $1 \times N$ 内部组播模块 (3) 和 N 个 $MN \times 1$ 光合路器 (6) 构成，其中， N 为交换结构支持输入/输出链路数， M 为每个链路复用同一组的波长数， N 个输入链路分别连至 N 个 $1 \times M$ 光波分解复用器 (2) 的输入端，每个光波分解复用器 (2) 将复合的光信号解复用成 M 个波长后分别接入 $1 \times N$ 内部组播模块 (3)，每个内部组播模块 (3) 的 N 个输出端分别接至与输出链路对应的 N 个 $MN \times 1$ 光合路器 (6) 的输入端，每个光合路器 (6) 将光信号耦合进同一根输出光纤后输出至交换结构的输出端口；所述内部组播模块 (3) 由可控 1×2 光分路器级联组成的 $\lceil \log_2 N \rceil$ 级光分路器 (4) 和 N 个可调谐波长变换器 (5) 组成，其中，第一级的 1 个可控 1×2 光分路器输入端即为内部组播模块的输入端，该 1×2 光分路器的 2 个输出端再各接 1 个可控 1×2 光分路器构成具有 4 个输出端的第二级，以此类推，级联的最后一级即第 $\lceil \log_2 N \rceil$ 级具有 N 个输出端，每个输出端再与可调谐波长变换器 (5) 相连，即形成具有 1 个输入端和 N 个输出端的 $1 \times N$ 内部组播模块；输入到内部组播模块的每个波长信号先由 $\lceil \log_2 N \rceil$ 级光分路器 (4) 选出所需输出链路，再由可调谐波长变换器 (5) 选出所需波长，实现组播光交换需要的光信号功率分配和波长交换。

2、如权利要求 1 所说的可调光分路可扩展组播光交换结构，其特征在于具有链路模块性，当交换结构的链路数加 1，原有交换结构的连接方式不变，增加 1 个 $1 \times M$ 光波分解复用器 (2)、 M 个内部组播模块 (3) 和 1 个光合路器 (6)，光合路器 (6) 的预留端口直接连接相应光器件。

3、如权利要求 1 所说的可调光分路可扩展组播光交换结构，其特征在于具有波长模块性，当每条链路的波长数加 1，原有交换结构的连接方式不变，增加 N 个 $1 \times N$ 内部组播模块 (3)，光波分解复用器 (2) 的输出端口和光合路器 (6) 的输入端口的扩展预留端口直接连接相应光器件。

可调光分路可扩展组播光交换结构

技术领域:

本发明涉及一种光交换结构,尤其涉及一种可调光分路可扩展组播光交换结构,适合IP业务在全光网络中实现广播功能,适用于全光网络中的光交叉连接节点。属于光通信技术领域。

背景技术:

目前,以IP为基础的因特网的迅速发展使得通信网络正逐渐由基于电路交换,优化承载话音业务的方式向基于分组交换,优化承载数据业务的方式发展。视频点播、IP会议及其他各种新型多媒体业务的应用对通信基础网络的传送能力提出了更高的要求。WDM(光波分复用)技术的成熟和广泛应用使得光纤的宽带资源充分利用。同时解决了传统通信网络中传输容量的瓶颈问题(Hu Ming, Li Lemin. A reservation distribution method of channels for wavelength division multiplexing networks. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1998. 27(3). 256-260)。从而WDM技术被认为是当前利用光纤资源中最具吸引力的一种方式。如何利用光网络来传送IP业务,即IP分组在WDM光网上的优化传输已成为当今研究热点。

为满足网络灵活性、生存性的要求,还应在波分复用的基础上结合各种光交换技术,从而解决电子式交换设备的瓶颈问题。提供大容量且能动态路由的光传输通道,使节点具有灵活的路由选择和光交换功能。全光网络中的核心节点是光交叉连接设备(OXC),光交叉连接设备的核心是光交换单元。它能使光纤中复用的多路光信号灵活地交叉连接到各目的地,还可实现网络的动态重构和自愈(Zhang Tao, Qu Kun, Qiu Qi, ATM photonic switch architecture based on WDM technology. Journal of University of Electronic Science and Technology of China. 1998. 27(4): 371-374)。目前光交换单元主要有空分交换,时分交换和波分交换等。但这些结构中,有些无广播能力,有些只具有部分可扩展性。有些

虽是无阻塞网络，但交换结构庞大且复杂，不易实现（《全光通信网》顾晓仪等编著，北京邮电大学出版社）。

目前出现的光交换机构主要有以下几种形式：

基于空间光开关矩阵和波分复用/解复用器对的交换结构是利用波分解复用器将链路中的 WDM 信号在空间上分开，然后利用空间光开关矩阵在空间上实现交换。完成空间交换后各波长信号直接经波分复用器复用到输出链路中，这种交换机构不具有广播发送能力。

基于空间光开关矩阵和可调谐滤波器的交换结构是利用耦合器+可调谐滤波器完成将输入的 WDM 信号在空间上分开的功能，经过空间光开关矩阵和波长变换器后，再由耦合器将各个波长复用起来。这种交换结构虽然具有广播发送能力，但只具有波长模块性，不具有链路模块性。

基于分送耦合开关的交换结构是 A.Watanabe 等人提出的，这种结构采用一种分散耦合开关实现空间光开关矩阵功能。这种交换结构虽然具有广播发送功能，但只具有链路模块性，而不具有波长模块性。

基于平行波长开关的交换结构是由 M.Nishio 等人提出的。它的每条输入链路对应一个波长开关，每个波长开关由 N 个 $1 \times M$ 星型耦合器、M 个 $N \times 1$ 空间交换矩阵、M 个可调谐滤波器、M 个波长变换器和一个 $M \times 1$ 星型耦合器组成。这种交换结构只具有链路模块性，不具有波长模块性。（《全光通信网》顾晓仪等编著，北京邮电大学出版社）。

发明内容：

本发明的目的在于针对现有技术的不足，设计提出一种新的可调光分路可扩展组播光交换结构，能同时支持点到点和点到多点广播的两种传送方式，具有很好的容量扩充性能，包括链路模块性和波长模块性两种扩充能力，有效利用波长资源，提高波长复用效率。

为实现这样的目的，本发明在交换结构的内部采用一个具有复制功能的内部组播模块。若本交换结构支持 N 个输入/输出链路，每个链路复用同一组 M 个波长（ $\lambda_1 \cdots \lambda_M$ ），则本交换结构共需要 2N 个掺铒光纤放大器

(EDFA)、 N 个 $1 \times M$ 光波分解复用器、 MN 个 $1 \times N$ 内部组播模块和 N 个 $MN \times 1$ 光合路器构成。交换结构的 N 个输入链路分别与 N 个 EDFA 相连，而后接至 N 个 $1 \times M$ 解复用器的输入端。每个解复用器将复合的光信号解复用成 M 个波长后分别接入 $1 \times N$ 内部组播模块，共接 MN 个内部组播模块。每个内部组播模块的 N 个输出端分别接至与输出链路对应的 N 个 $MN \times 1$ 光合路器的输入端。每个光合路器将输入信号耦合进同一根输出光纤经 EDFA 放大后输出至交换结构的输出端口。

本发明所述结构中输入端和输出端的光放大器 EDFA 用来放大和补偿光信号的功率,不是本发明的必需部件。

本发明的内部组播模块由多个可控 1×2 光分路器和可调谐波长变换器组成,具有一个输入端和 N 个输出端,每个输出端口依序对应每个输出链路。输入的每个波长信号送入组播模块,先由多级光分路器选出所需输出链路,再由可调谐波长变换器选出所需波长,这样就可以将信号送入任一链路任一波长。 1×2 可控光分路器由控制模块统一管理,按照业务需要控制分光比,通过多级级联实现信号功率分配。在极端情况下可控 1×2 光分路器相当于 1×2 光开关,全部光功率仅从一个端口输出,另一端口没有光信号,因此可以认为光信号直通经过内部组播模块,连接至某条输出链路,类似于一般交换结构中的波长交换。每条链路的每个波长对应一个组播模块,需要 NM 个组播模块,每个组播模块由 $\lceil \log_2 N \rceil$ 级 1×2 可控光分路器和 N 个波长变换器组成。其工作方式可以分成 3 大类: (I) 交换,当一个波长只需要唯一的交叉连接到一条输出链路时,光分路器的状态设置成类似于光开关的通断情况,选择所需的一个端口将光信号全部输出,实现波长交换功能; (II) 广播: 当一个波长上的光信号需要连接到每个输出链路时,控制每个光分路器的分光比为 $1:1$,光信号功率平均分成 N 份,送入到 N 个输出链路; (III) 组播: 介于前两种情况之间,按照业务要求控制模块控制光分路器的状态,光信号连接到所需的输出链路。上述三种模式输入信号的光功率都没有损失。

每个组播模块后端有 N 个可调谐波长变换器，可以将前端多级可控光分路器选出的链路上的波长变换到其他波长，打破波长连续性限制，使交换结构支持虚波长通道，充分利用波长资源，提高波长利用率。更重要的是，当 2 个或多条链路的同一波长都要连接到同一个输出链路时，造成波长竞争冲突，在组播这种一点到多点的通信方式使这个问题尤为严重。发生冲突时，控制模块控制可调谐波长变换器使信号从一个波长变换到空闲波长，实现波长的再利用和再分配，从而提高交换的灵活性和可扩展性。

本发明交换结构同时具有链路模块性和波长模块性两种性能。在本交换结构中，若输入输出各增加一条链路，只需要增加一个光波分解复用器， M 个内部组播模块和一个光合路器，而原有器件和连接结构的改动很少，具有链路模块性。若每条链路波长数增加 1，则仅需增加 N 个内部组播模块即可，即又具有波长模块特性。同时具有这两种扩展性能，这在以前提出的交换结构中是很少的。此交换结构的模块化减少扩容对网络结构的影响，具有良好的容量扩充能力。

本发明交换结构内部组播模块中的可控光器件可由 OXC 中的控制模块进行控制，具有很强的灵活性。控制模块对内部组播模块进行控制，按照业务需求合理设置光分路器和可调谐波长变换器，可支持动态波长路由功能，实现简单，算法复杂度低。同时根据控制模块机制的不同（即不同交换粒度的控制），采用不同交换粒度（即变换时间的不同）的可控光器件，此交换结构可在分别具有波长路由功能和光突发交换功能的 OXC 中使用，具有很强的适用效果。

本发明结构简单可行，各元器件均可采用现有成熟技术，其中波分解复用器可采用通常使用的薄膜滤波片型解复用器。输入端和输出端的光放大器采用 EDFA（掺铒光纤放大器）实现。可调谐波长变换器可采用交叉增益调制半导体光放大器和交叉相位调制半导体光放大器。整个交换结构均由光交换器件构成，充分体现了 WDM 全光网的透明性和灵活性。

本发明的光交换结构可实现组播功能，即输入的光波信号进入光交换连接设备上，在交换模块内可实现任意出口的信号复制，将任何光纤上的任何波长交叉连接到多个输出光纤的任何多个不同波长上。同时交换结构具有链路模块性和波长模块性两种可扩展性，大大增强全光网络中 OXC 的交换能力和空间扩展能力。

附图说明：

图 1 为本发明的可扩展组播方式的光交换结构示意图。

图 1 中主要包括的光器件有 EDFA 掺铒光纤放大器 1、波分解复用器 2、内部组播模块 3、光合路器 6。其中内部组播模块 3 包括可控光分路器 4 和可调谐波长变换器 5。

图 2 为本发明的内部组播模块 3 的具体实现方式。

图 2 中包括多级可控 1×2 光分路器 4 和可调谐波长变换器 5。

图 3 为四根光纤输入输出，且每根光纤上仅复用一個波长时，本发明的交换结构示意图。

图 4 为四根光纤输入输出，且每根光纤上复用同组 4 个波长时，本发明的交换结构示意图。

图 5 为本发明交换结构实现组播功能示意图。

图 6 为本发明交换结构的链路模块性示意图。

图 7 为本发明交换结构的波长模块性示意图。

具体实施方式：

以下结合附图对本发明技术的具体实施方案做详细描述。

以交换结构为 $N \times N$ 交换结构为例。如图 1 所示，交换结构的 N 个输入端经 N 个 EDFA (1) 放大后分别接至 N 个光波分解复用器 (2)。每个光波分解复用器 (2) 将光复用信号解复用到 M 根光纤后分别连接到 M 个 $1 \times N$ 内部组播模块 (3)。经内部组播模块 (3) 的功率分配和波长变换后 N 个输出端分别接至相应链路的 $NM \times 1$ 光合路器 (6)。光合路器 (6) 将由内部组播模块 (3) 选择输出的光信号耦合在一根光纤上。为了弥补由于光信号经过交换模

块而带来的损耗每个输出端接一个 EDFA (1)，而后输出至交换结构的输出端口。

此交换结构中的内部组播模块 (3) 具体实现方式如图 2 所示。通过多级可控 1×2 光分路器 (4) 将输入的光信号分路到 N 个端口，并且分别与 N 个可调谐波长变换器 (5) 相连，从而实现交换结构的组播功能。 1×2 可控光分路器 (4) 由控制模块统一管理，作为连续可调功率分配器，形成多级功率分配结构。当输入光信号唯一地交叉连接到一个输出链路时，内部组播模块 (3) 中光分路器 (4) 设成光开关的通断状态，光信号全部从与那条输出链路相对应地端口输出，实现波长交换的功能；当输入光信号要连接到每条输出链路时，可控光分路器 (4) 组成 $\lceil \log_2 N \rceil$ 级功率分配器，最大可以将输入信号平均分配成 N 路，分别与每个输出链路相对应，实现广播功能；如果光信号仅需要连接到几个输出链路，则控制模块统一控制 $\lceil \log_2 N \rceil$ 级光分路器 (4) 的分光比，使光功率仅分配给与所需输出链路相应的输出端口，实现组播功能。内部组播模块利用多级 1×2 光分路器 (4) 进行功率分配，光功率仅分配给有需要的端口，没有功率的损失，这是此交换结构的一个很大的优势。内部组播模块 (3) 中最后一级的光分路器 (4) 后面分别连接了 N 个可调谐波长变换器 (5) 使得交换结构可支持虚波长通道，而且能够解决不同输入链路相同波长的信号交叉连接到同一个输出链路的波长冲突问题，充分利用有限的波长资源，提高波长重用效率。它可根据业务的需求由控制模块控制相应的状态，从而达到选择不同波长、不同路径输出的目的。由这些设备组合在一起构成的内部组播模块 (3) 经控制模块的动态控制可具有支持虚波长信道，广播传送光信号，动态可控选择波长信道及通过缓存解决由于组播存在竞争阻塞的功能。

为了更好的描述本发明，下面将举例说明交换结构和组播特性。

当 4 个输入输出链路，且每条链路上仅传输一个波长时（见图 3），交换结构不需要光波分解复用器 (2) 和波长变换器 (5)，由 8 个输入输出的 EDFA (1)、4 个 1×4 内部组播模块 (3) 和 4 个 4×1 光合路器 (6) 组成。内部组播模块 (3) 包括 2 级 3 个 1×2 光分路器 (4)，输入链路的光信号通过

组播模块(3)分成4路,每路信号分别连接至每条输出链路的 4×1 光合路器(6)。控制模块控制组播模块(3)中的光分路器(4),选择信号所需的输出链路,光合路器(6)将每条链路输入的信号耦合到同一根光纤上输出。图中的粗虚线表示一个点对点的光信号的传递,第二条输入链路的信号交叉连接到第三条输出链路,则按照图中内部组播模块(3)内的光分路器(4)设置,可以使信号的光功率从与第三条输出链路相连的内部组播模块(3)的第三个输出端口输出,实现信号的交叉连接。图中的粗实线表示一路光信号传送到多条输出链路的路径,假设按照业务需求第一条链路的光信号要传送到第一条输出链路和第四条输出链路,因此控制模块控制组播模块(3)的光分路器(4)的分光比,使组播模块(3)的输入光信号功率平均分成2份分别从它的第一个和第四个输出口输出。组播模块内(3)第一级光分路器(4)设置成1:1的分光比,各有50%的光功率送入第二级光分路器(4),其余2个光分路器(4)都设置成通断模式,工作方式同 1×2 光开关,全部光功率仅从一路输出,另一路没有光信号输出,光功率没有损失。所以输入的光信号经过组播模块(3)后从第一和第四个端口输出,光功率均为输入信号的50%,分别连接至第一条和第四条输出链路的光合路器,耦合后发送到输出光纤,实现了组播功能。

当4个输入输出链路且每条链路复用4个同组波长(见图4)时,交换结构由8个EFDA(1)、4个 1×4 的光波分解复用器(2),16个内部组播模块(3)和4个 16×1 的光合路器(6)组成,其中每个内部组播模块(3)包括2级3个可控光分路器(4)和4个可调谐波长变换器(5)。每条链路经过光波分解复用器(2)后,复合光信号解复用成4个不同的波长,每个波长送入组播模块(3)后按照光功率分成4路,控制模块选择所需的波长和输出链路分别送入相应的光合路器(6),将4个不同的波长复用到一根光纤上。图中粗实线和粗虚线分别表示点对多点和点对点的光信号传递。假设第一条链路的波长 λ_1 的光信号需要传送到第一,第二和第四条输出链路,则组播模块(3)需要将 λ_1 的光信号分成3份,分别从第一,第二和第四条端口输出。为此控制模块(3)控制每个光分路器(4)的分光比,光分路器a(4)的分光比为2:1,则

送入光分路器 b, c 的信号光功率分别是原信号光功率的 $2/3$ 和 $1/3$ 。光分路器 b (4) 按照 1: 1 的分光比再次分配光功率, 使输出口 1 和 2 的光功率均是 $1/3$, 而光分路器 c (4) 的光功率全部分配给输出口 4, 其光功率也为原信号的 $1/3$ 。因此控制模块按照业务需要控制光分路器 (4), 使所需的链路获得公平的功率分配, 而功率没有损失。由于每条链路的每个波长都分成了 4 路分别连接到每条输出链路的光合路器 (6) 上, 因此可能一个光合路器 (6) 上会有相同的波长进行耦合, 造成波长冲突。为了解决这种冲突, 控制模块需要合理调谐波长变换器 (5), 将冲突的波长变换成不同的波长。图中第一条链路的波长 λ_1 分成了 3 路, 其中有一路连接到第四条输出链路, 同时, 第三条输入链路的波长 λ_1 也交叉连接到第四条链路, 如图中虚线所示, 这两个相同的波长在第四条输出链路上发生了冲突, 假设 4 条输入链路都没有波长为 λ_2 的信号需要交叉连接到第四条输出链路, 则控制模块控制可调谐波长变换器 (5) 将第三条输入链路的波长 λ_1 变换成 λ_2 , 连接到第四条输出链路的光合路器上 (6), 和其他信号耦合到光纤上。而第一条链路中波长不需要变换, 波长变换器 (5) 不工作。因此组播模块 (3) 可以有效的复制信号, 选择所需的波长和链路, 光功率没有损失。

本交换结构的组播功能可由图 5 来说明。交换结构支持 N 条输入输出链路, 每条链路支持 M 个波长。图中粗虚线表示一个点对点光信号的传递。设第二个输入链路上波长为 λ_M 的光信号经交换结构需传递到第 N 条输出链路波长为 λ_j 的通道上。链路为 2 波长为 λ_M 的光信号经过内部组播模块 (3), 经 OXC 中控制模块控制可控光分路器 (4) 光信号仅从第 N 个端口输出, 可调谐波长变换器 (5) 使其光信号波长由 λ_M 变为 λ_j , 而后进入光合路器 (6) 耦合进输出链路。图中粗实线部分表示一个点对多点光信号的传递。设第一条输入链路上波长为 λ_1 的光信号经交换结构需传递到第一条和第二条输出链路且波长为 λ_j 的通道。则链路为 1 波长为 λ_1 的光信号进入组播模块 (3), 由控制模块控制可控光分路器 (4), 各以 50% 的光功率为从第一端口和第二个端口输出, 并且调谐波长变换器 (5) 使波长变换为 λ_j , 分别连接至第一个和第二个

输出链路的光合路器(6)。

当光交换节点需要扩容时,有增加链路数和波长数两种方式,在此交换结构中两种方式兼具。图6为此交换结构的链路模块性。当交换结构为 $N \times N$ 交换结构,每条链路支持 M 个波长时,此交换结构需由 N 个 $1 \times M$ 光波分解复用器(2)、 MN 个 $1 \times N$ 内部组播模块(3)和 N 个 $MN \times 1$ 光合路器(6)构成。当交换结构的链路数加1,扩展为 $(N+1) \times (N+1)$ 的交换结构时,原有交换结构的连接方式不变,只需增加1个 $1 \times M$ 光波分解复用器(2)、 M 个内部组播模块(3)和1个光合路器(6),如图6中虚线所示。此时的内部组播模块(3)从原有的 $1 \times N$ 内部组播模块(3)扩展成 $1 \times (N+1)$ 内部组播模块(3),也就是说内部组播模块(3)中多级光分路器(4)要从 $\lceil \log_2 N \rceil$ 级扩展成 $\lceil \log_2(N+1) \rceil$ 级且相应增加一个波长变换器(5)。原有的 $MN \times 1$ 光合路器(6)要扩展成 $[M(N+1)] \times 1$ 光合路器(6)。这里光合路器(6)的输入端口的扩展,可以是在交换结构最初设计时预留出,不用连接。当交换结构需要扩展时,预留出的端口可以直接连接相应光器件,从而实现交换结构的链路模块性。光器件预留端口的数量决定此交换结构的可扩展链路的数量。

图7为此交换结构的波长模块性。当交换结构为 $N \times N$ 交换结构,每条链路包括 M 个波长时,此交换结构需由 N 个 $1 \times M$ 光波分解复用器(2)、 MN 个 $1 \times N$ 内部组播模块(3)和 N 个 $MN \times 1$ 光合路器(6)构成。当交换结构的每条链路的波长数加1,原有交换结构的连接方式不变,仅需增加 N 个 $1 \times N$ 内部组播模块(3)即可,如图7中虚线所示。同时交换结构原有的 $1 \times M$ 光波分解复用器(2)要扩展成 $1 \times (M+1)$ 波分解复用器(2),原有的 $MN \times 1$ 光合路器(6)要扩展成 $[(M+1)N] \times 1$ 光合路器(6)。这里的光波分解复用器(2)的输出端口和光合路器(6)的输入端口的扩展,同样是在交换结构最初设计时预留出。当交换结构需要扩展时,预留出的端口可以直接连接相应光器件,从而实现交换结构的波长模块性。光器件预留端口的数量决定此交换结构的可扩展波长的数量。

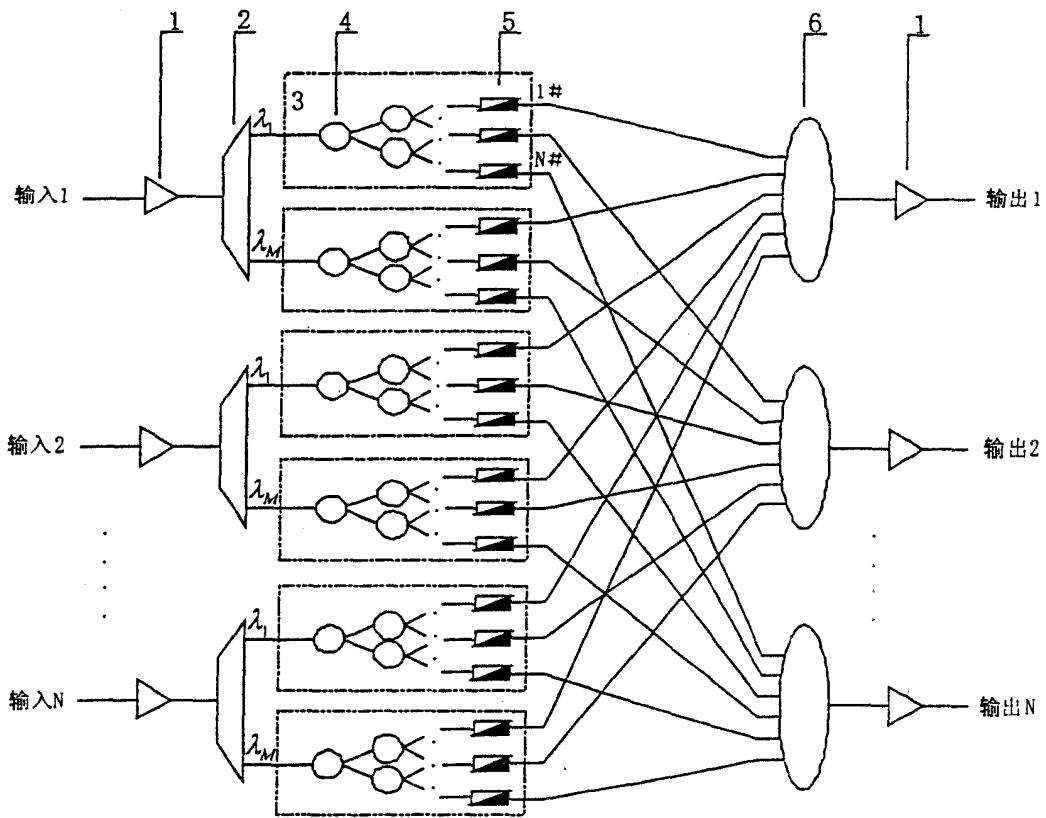


图 1

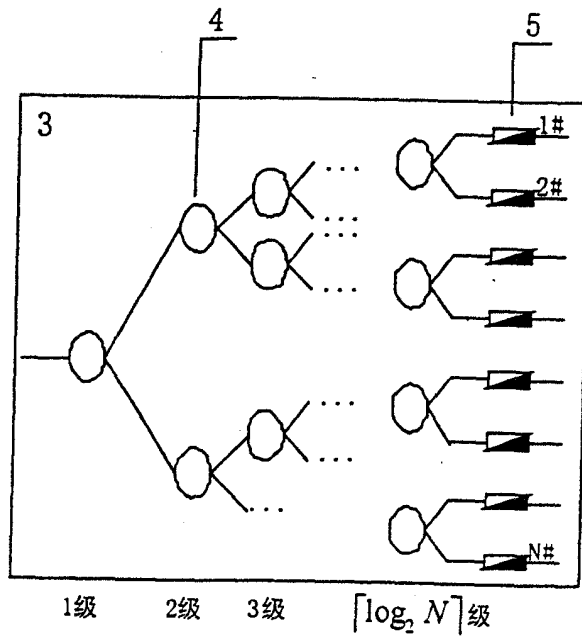


图 2

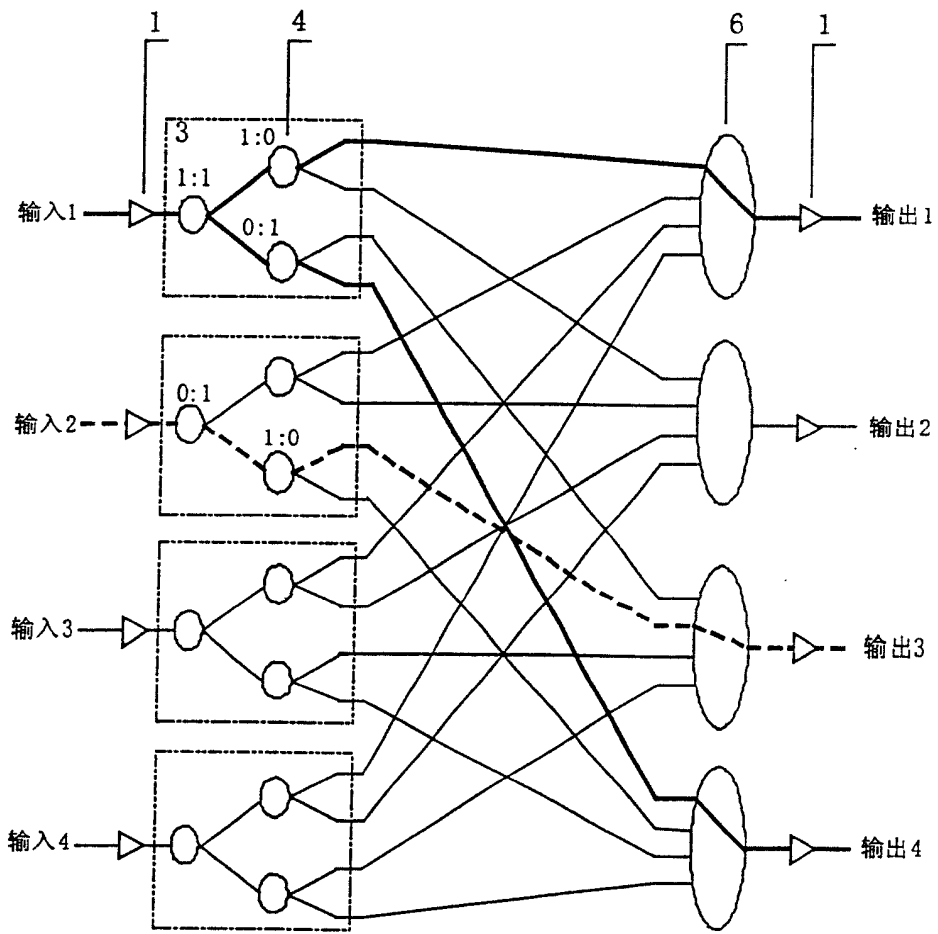


图 3

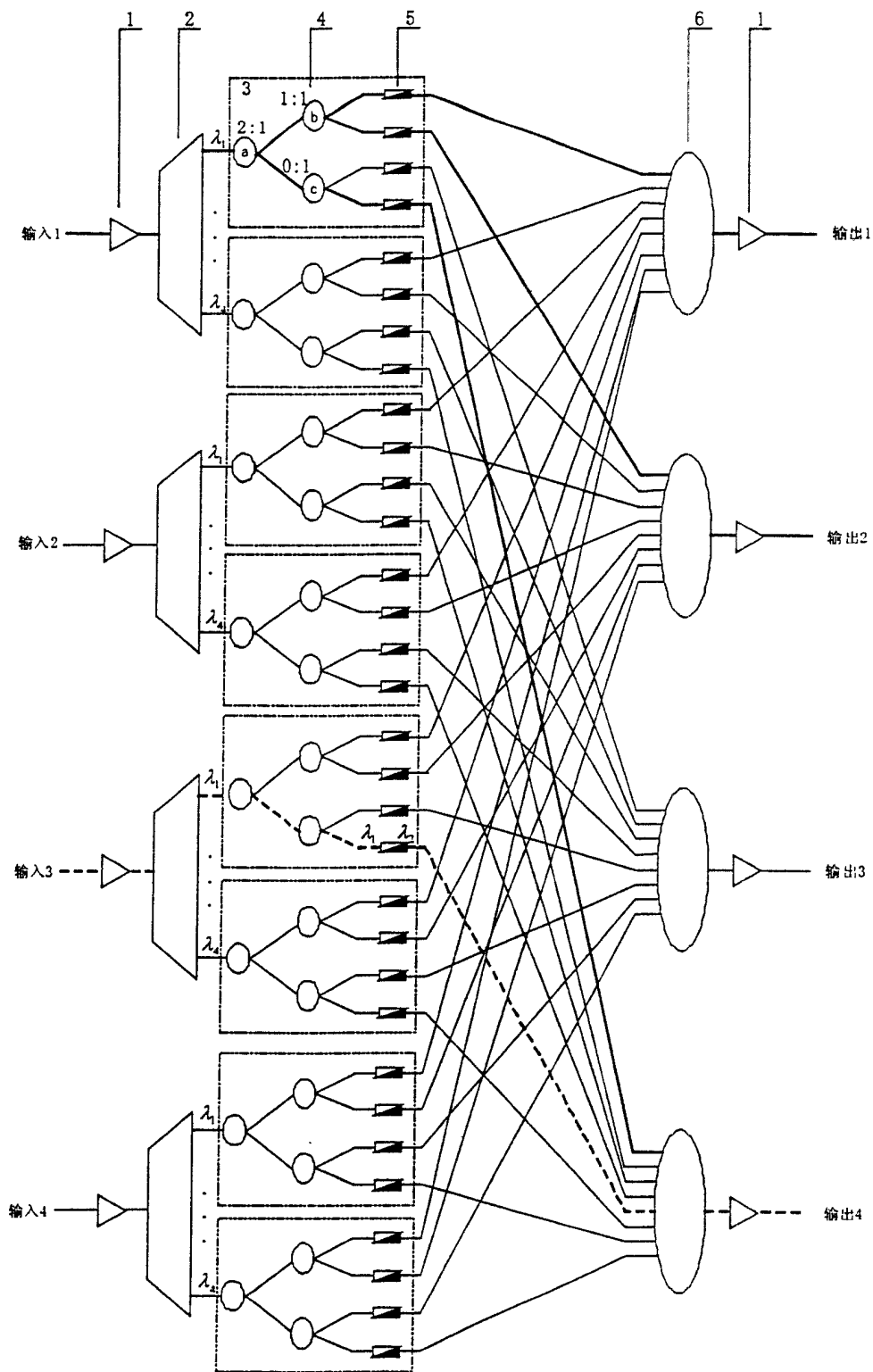


图 4

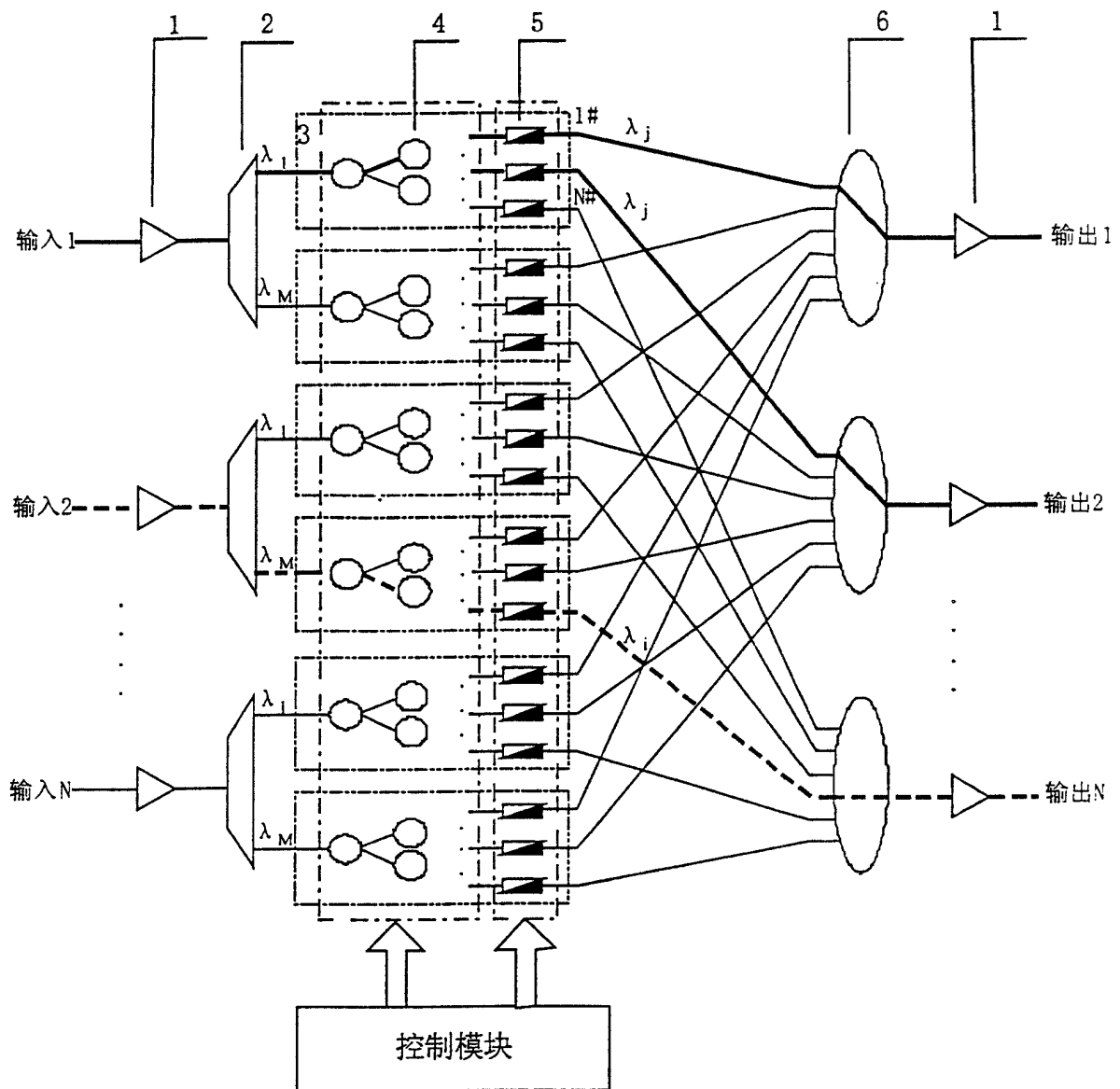


图 5

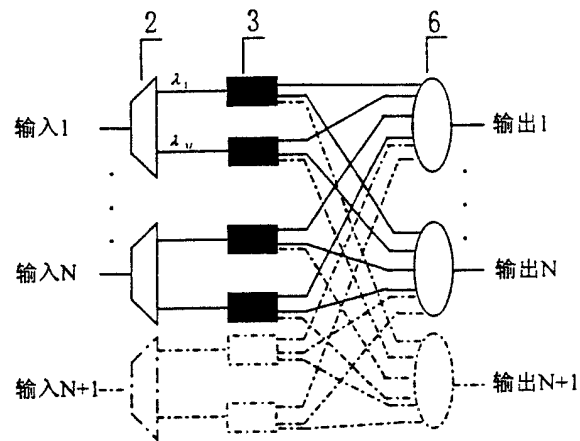


图 6

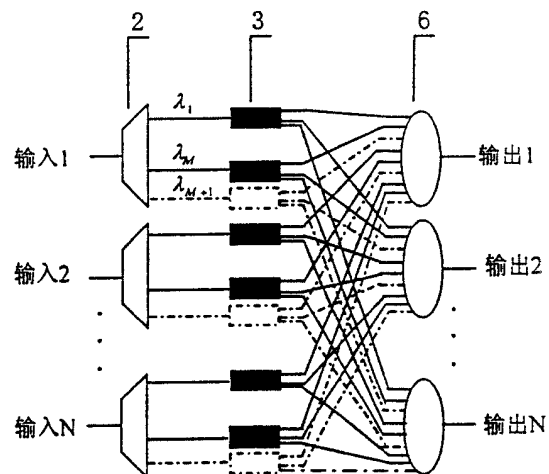


图 7