



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115459856 B

(45) 授权公告日 2023.06.16

(21) 申请号 202210968837.X

H04B 10/25 (2013.01)

(22) 申请日 2022.08.12

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 103916186 A, 2014.07.09

申请公布号 CN 115459856 A

CN 106992835 A, 2017.07.28

CN 106411452 A, 2017.02.15

(43) 申请公布日 2022.12.09

CN 108551367 A, 2018.09.18

US 2018069631 A1, 2018.03.08

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

Kaoutar Benyahya 等. 200Gb/s

地址 518057 广东省深圳市南山区粤海街

Transmission over 20km of FMF Fiber using

道高新技术产业园南区粤兴一道18号

Mode Group Multiplexing and Direct

香港理工大学产学研大楼205室

Detection.《2018 Europe Conference on

(72) 发明人 张健博 吴雄 吕超

Optical Communication (ECOC)》. 2018, 第1-3

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事

页.

务所(普通合伙) 44268

审查员 钟泽槟

专利代理师 李可

(51) Int. Cl.

H04B 10/516 (2013.01)

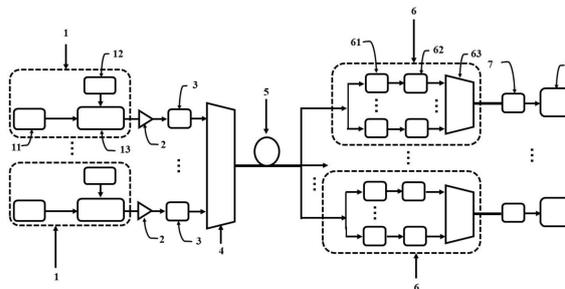
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于模组复用的直调直检光通信系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于模组复用的直调直检光通信系统及方法,系统包括:用于生成N路基模调制的光信号的N个光信号调制单元;用对光信号进行放大的N个光放大单元;用于得到N路不同模式信道的光信号的N个第一模式转换单元;用于将N路不同模式信道的光信号合成第一复用模式光信号的模式复用单元;用于将由通信光纤输出后的光信号中的N个模组分别进行解调以及模式转换,对应每个模组分别得到Mi路相互正交模式调制的光信号并合成第二复用模式光信号的N个模组解调模块;用于将第二复用模式光信号转换为电信号的N个光电探测器。本发明提高了系统的传输性能与稳定性,且成本低、方案简单、通用性强。



1. 一种基于模组复用的直调直检光通信系统,其特征在于,包括:N个光信号调制单元、N个光放大单元、N个第一模式转换单元、模式复用单元、通信光纤、N个模组解调模块、N个光电探测器;其中,N大于等于1;

N个所述光信号调制单元用于生成N路基模调制的光信号;

N个所述光放大单元分别与N个所述光信号调制单元连接,用对所述基模调制的光信号进行放大处理;

N个所述第一模式转换单元分别与N个所述光放大单元以及所述模式复用单元连接,用于将所述基模调制的光信号加载到对应的发送模式信道上得到N路不同模式信道的光信号并输入至所述模式复用单元;

所述模式复用单元分别与N个所述第一模式转换单元以及所述通信光纤连接,用于将N路不同模式信道的光信号合成一路第一复用模式光信号;

所述通信光纤分别与所述模式复用单元以及N个所述模组解调模块连接,用于输出第一复用模式光信号;

N个所述模组解调模块分别与所述通信光纤以及N个所述光电探测器连接,用于将由通信光纤输出光信号中的N个模组分别进行解调以及模式转换,对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号并合成一路第二复用模式光信号后传输至所述光电探测器;

N个所述光电探测器分别与N个所述模组解调模块连接,用于将所述第二复用模式光信号转换为电信号。

2. 根据权利要求1所述的基于模组复用的直调直检光通信系统,其特征在于,还包括:N个信号采集与恢复模块;N个所述信号采集与恢复模块分别与N个所述光电探测器连接,用于将所述光电探测器输出的电信号进行转换与恢复。

3. 根据权利要求1所述的基于模组复用的直调直检光通信系统,其特征在于,所述光信号调制单元包括:光源、信号发生器与光电调制器;其中,

所述光源与所述光电调制器连接,用于产生光信号并传输至所述光电调制器;

所述信号发生器与所述光电调制器连接,用产生电信号并传输至所述光电调制器上;

所述光电调制器分别与所述光源以及所述信号发生器连接,用于将所述信号发生器生成的电信号调制到所述光源提供的光载波上。

4. 根据权利要求1所述的基于模组复用的直调直检光通信系统,其特征在于,所述模组解调模块包括: $M_i$ 个第二模式转换单元与 $M_i$ 个第三模式转换单元以及单模组合并单元;其中,

每个所述模组解调模块中的 $M_i$ 个所述第二模式转换单元用于将同一模组所有 $M_i$ 个模式分别转换为基模模式以得到 $M_i$ 路基模模式;

所述 $M_i$ 个第三模式转换单元对应与 $M_i$ 个所述第二模式转换单元连接,用于将 $M_i$ 路基模模式转换为 $M_i$ 路相互正交模式;

所述单模组合并单元与 $M_i$ 个所述第三模式转换单元连接,用于将 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号合成第二复用模式光信号。

5. 根据权利要求1所述的基于模组复用的直调直检光通信系统,其特征在于,所述通信光纤为少模光纤或多模光纤。

6. 根据权利要求5所述的基于模组复用的直调直检光通信系统,其特征在于,所述少模

光纤与所述模组解调模块之间或所述多模光纤与所述模组解调模块之间连接有光分束器，所述第一复用模式信号通过所述光分束器分为N路独立且相同的光信号。

7. 根据权利要求4所述的基于模组复用的直调直检光通信系统，其特征在于，所述单模组合并单元与所述光电探测器之间采用少模光纤或多模光纤连接。

8. 一种基于模组复用的直调直检光通信方法，其特征在于，包括：

将生成的N路基模调制的光信号进行放大处理；

将放大处理后的N路基模调制的光信号加载到对应的发送模式信道上以得到N路不同模式信道的光信号；

将N路不同模式信道的光信号合成第一复用模式光信号并送入通信光纤；

将经过通信光纤后的第一复用模式光信号分为N路独立且相同的光信号；

将N路独立且相同的光信号中的N个模组分别进行解调以及模式转换，对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号并合成第二复用模式光信号；

将所述第二复用模式光信号转换为电信号。

9. 根据权利要求8所述的基于模组复用的直调直检光通信方法，其特征在于，所述将N路独立且相同的光信号中的N个模组分别进行解调以及模式转换，对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号并合成第二复用模式光信号的步骤包括：

分别将N路独立且相同的光信号中同一模组所有 $M_i$ 个模式转换为基模模式以得到 $M_i$ 路基模模式；

将 $M_i$ 路基模模式转换为 $M_i$ 路相互正交模式；

将 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号合成第二复用模式光信号。

## 一种基于模组复用的直调直检光通信系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光纤通信技术领域,尤其涉及的是一种基于模组复用的直调直检光通信系统及方法。

### 背景技术

[0002] 基于空间维度的模分复用技术是解决下一代通信容量危机的颠覆性新技术,其原理是利用相互正交的光纤模式作为独立平行的信道进行数据传输。对于短距离光纤传输系统来说,低成本、低复杂度和低功率损耗的直调直检技术在检测方案中具有较大优势。所以,模组复用直调直检光纤传输方案在短距离光互连系统中有着广阔的发展前景,尤其在扩大光通信容量方面。

[0003] 在基于模组复用直接检测的光纤通信系统,因为涉及模式信道,其传输介质不再是仅仅支持基模的单模光纤,而是支持多个模式的少模或者多模光纤,在传输介质中,有效折射率极为接近或者相同的模式归为同一模组,同模组中的不同模式会在传输介质中发生随机耦合,所以在发送端一般会选择每个模组中的任意一个模式作为独立信道。同时发送的模式信道也可采用不同的模式基矢,例如:线偏振模式,轨道角动量模式或者矢量模式等等。基模模组内包含的模式数量(不包含偏振)为1,高阶模模组*i*内包含的模式数量(不包含偏振)大于或者等于2,记为 $M_i$ 。目前,现有的基于模组复用直调直检的光纤通信系统方案主要有以下三种:

[0004] 1. 在发送端,独立的 $N$ 个光信号调制单元产生 $N$ 路独立信号,分别加载在 $N$ 个模组的 $N$ 个模式上,每个模式信道分别隶属于不同的模组,其中每个模组包含 $M_i$ 个独立模式。经过模式复用单元形成复用光信号后,在对应的光纤介质中传输。传输后到达接收端,将复用光信号中的对应的 $N$ 个模式解调为 $N$ 路基模,然后 $N$ 路送入 $N$ 个单模光电探测器进行光电信号转换与检测,最后进行电信号数据采集和恢复。这种方案对于每个模组信道来说,将仅仅收到单个模组对应的 $M_i$ 个模式中的一个模式。但是因为模组内在光纤介质中传输时会发生随机强耦合,能量会在同模组的模式中随机分配,从而导致接收功率丢失,影响整体传输系统的性能和稳定性。

[0005] 2. 在发送端,独立的 $N$ 个光信号调制单元产生 $N$ 路独立信号,分别加载在 $N$ 个模组的 $N$ 个模式上,每个模式信道分别隶属于不同的模组,其中每个模组包含 $M_i$ 个独立模式。经过模式复用单元形成复用光信号后,在对应的光纤介质中传输。传输后到达接收端,将复用光信号中的对应的 $M_1+M_2+\dots+M_N$ 个模式解调为 $M_1+M_2+\dots+M_N$ 路基模,再将每个模组中的所有 $M_i$  ( $i=1$ 或 $2,\dots$ 或 $N$ )个模式分别送入 $M_i$ 个单模光电探测器进行光电信号转换,并进行数据采集,再通过将 $M_i$ 路进行分集合并,从而把加载在每个模组上的原始信号恢复。这种方案理论上可以把每个模组中的所有能量接收下来,但是此方案中,总共需要 $M_1+M_2+\dots+M_N$ 单模光电探测器,以及每个模组还需要使用分集合并的接收技术,成本以及复杂度都比较高。

[0006] 3. 在发送端,独立的 $N$ 个光信号调制单元产生 $N$ 路独立信号,分别加载在 $N$ 个模组的 $N$ 个模式上,每个模式信道分别隶属于不同的模组,其中每个模组包含 $M_i$ 个独立模式。经过

模式复用单元形成复用光信号后,在对应的光纤介质中传输。传输后到达接收端,利用特定的模组解复用器件将N个模组分开,并分别送入N个多模光电探测器。进行光电信号转换后,最后进行电信号数据采集和恢复。这种方案理论上可以把每个模组内全部能量收集下来,但是此方案需要模组解复用器件适配所用的模式基矢以及通信传输光纤,当使用不同的模式基矢或者不同的通信传输光纤时,需要特定的模组解复用器件与其匹配,通用性并不强。

[0007] 因此,现有技术还有待于改进和发展。

## 发明内容

[0008] 鉴于上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种基于模组复用的直调直检光通信系统及方法,以解决现有的基于模组复用直调直检的光纤通信系统存在的传输性能和稳定性较差、成本较高且较为复杂以及通用性不强的问题。

[0009] 本发明的技术方案如下:

[0010] 一种基于模组复用的直调直检光通信系统,其包括:N个光信号调制单元、N个光放大单元、N个第一模式转换单元、模式复用单元、通信光纤、N个模组解调模块、N个光电探测器;其中,N大于等于1;

[0011] N个所述光信号调制单元用于生成N路基模调制的光信号;

[0012] N个所述光放大单元分别与N个所述光信号调制单元连接,用对所述基模调制的光信号进行放大处理;

[0013] N个所述第一模式转换单元分别与N个所述光放大单元以及所述模式复用单元连接,用于将所述基模调制的光信号加载到对应的发送模式信道上得到N路不同模式信道的光信号并输入至所述模式复用单元;

[0014] 所述模式复用单元分别与N个所述第一模式转换单元以及所述通信光纤连接,用于将N路不同模式信道的光信号合成一路第一复用模式光信号;

[0015] 所述通信光纤分别与所述模式复用单元以及N个所述模组解调模块连接,用于输出第一复用模式光信号;

[0016] N个所述模组解调模块分别与所述通信光纤以及N个所述光电探测器连接,用于将由通信光纤输出光信号中的N个模组分别进行解调以及模式转换,对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号并合成一路第二复用模式光信号后传输至所述光电探测器;

[0017] N个所述光电探测器分别与N个所述模组解调模块连接,用于将所述第二复用模式光信号转换为电信号。

[0018] 本发明的进一步设置,所述基于模组复用的直调直检光通信系统还包括:N个信号采集与恢复模块;N个所述信号采集与恢复模块分别与N个所述光电探测器连接,用于将所述光电探测器输出的电信号进行转换与恢复。

[0019] 本发明的进一步设置,所述光信号调制单元包括:光源、信号发生器与光电调制器;其中,

[0020] 所述光源与所述光电调制器连接,用于产生光信号并传输至所述光电调制器;

[0021] 所述信号发生器与所述光电调制器连接,用产生电信号并传输至所述光电调制器上;

[0022] 所述光电调制器分别与所述光源以及所述信号发生器连接,用于将所述信号发生器生成的电信号调制到所述光源提供的光载波上。

[0023] 本发明的进一步设置,所述模组解调模块包括: $M_i$ 个第二模式转换单元与 $M_i$ 个第三模式转换单元以及单模组合并单元;其中,

[0024] 每个所述模组解调模块中的 $M_i$ 个所述第二模式转换单元用于将同一模组所有 $M_i$ 个模式分别转换为基模模式以得到 $M_i$ 路基模模式;

[0025] 所述 $M_i$ 个第三模式转换单元对应与 $M_i$ 个所述第二模式转换单元连接,用于将 $M_i$ 路基模模式转换为 $M_i$ 路相互正交模式;

[0026] 所述单模组合并单元与 $M_i$ 个所述第三模式转换单元连接,用于将 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号合成第二复用模式光信号。

[0027] 本发明的进一步设置,所述通信光纤为少模光纤或多模光纤。

[0028] 本发明的进一步设置,所述少模光纤与所述模组解调模块之间或所述多模光纤与所述模组解调模块之间连接有光分束器,所述第一复用模式信号通过所述光分束器分为 $N$ 路独立且相同的光信号。

[0029] 本发明的进一步设置,所述单模组合并单元与所述光电探测器之间采用少模光纤或多模光纤连接。

[0030] 基于同样的发明构思,本发明还提供了一种基于模组复用的直调直检光通信方法,其包括:

[0031] 将生成的 $N$ 路基模调制的光信号进行放大处理;

[0032] 将放大处理后的 $N$ 路基模调制的光信号加载到对应的发送模式信道上以得到 $N$ 路不同模式信道的光信号;

[0033] 将 $N$ 路不同模式信道的光信号合成第一复用模式光信号并输入通信光纤;

[0034] 将经过通信光纤后的第一复用模式光信号分为 $N$ 路独立且相同的光信号;

[0035] 将 $N$ 路独立且相同的光信号中的 $N$ 个模组分别进行解调以及模式转换,对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号并合成第二复用模式光信号;

[0036] 将所述第二复用模式光信号转换为电信号。

[0037] 本发明的进一步设置,所述将 $N$ 路独立且相同的光信号中的 $N$ 个模组分别进行解调以及模式转换,对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号并合成第二复用模式光信号的步骤包括:

[0038] 分别将 $N$ 路独立且相同的光信号中同一模组中所有 $M_i$ 个模式转换为基模模式以得到 $M_i$ 路基模模式;

[0039] 将 $M_i$ 路基模模式转换为 $M_i$ 路相互正交模式;

[0040] 将 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号合成第二复用模式光信号。

[0041] 本发明所提供的一种基于模组复用的直调直检光通信系统及方法,系统包括: $N$ 个光信号调制单元、 $N$ 个光放大单元、 $N$ 个第一模式转换单元、模式复用单元、通信光纤、 $N$ 个模组解调模块、 $N$ 个光电探测器;其中, $N$ 大于等于1; $N$ 个所述光信号调制单元用于生成 $N$ 路基模调制的光信号; $N$ 个所述光放大单元分别与 $N$ 个所述光信号调制单元连接,用对所述基模调制的光信号进行放大处理; $N$ 个所述第一模式转换单元分别与 $N$ 个所述光放大单元以及所述模式复用单元连接,用于将所述基模调制的光信号加载到对应的发送模式信道上得到 $N$ 路

不同模式信道的光信号并送输入至所述模式复用单元;所述模式复用单元分别与N个所述第一模式转换单元以及通信光纤连接,用于将N路不同模式信道的光信号合成一路第一复用模式光信号;所述通信光纤分别与所述模式复用单元以及N个所述模组解调模块连接,用于输出第一复用模式光信号;N个所述模组解调模块分别与所述通信光纤后以及N个所述光电探测器连接,用于将由通信光纤输出光信号中的N个模组分别进行解调以及模式转换,对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号并合成一路第二复用模式光信号后传输至所述光电探测器;N个所述光电探测器分别与N个所述模组解调模块连接,用于将所述第二复用模式光信号转换为电信号。本发明通过将生成的N路基模调制的光信号进行放大处理,其后将放大处理后的N路基模调制的光信号加载到对应的发送模式信道上以得到N路不同模式信道的光信号,再将N路不同模式信道的光信号合成第一复用模式光信号并输入通信光纤,将由通信光纤输出光信号中的N个模组分别进行解调以及模式转换后,对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号,并合成第二复用模式光信号,再将第二复用光信号转换为电信号。可见,本发明通过N个光电探测器即可实现N个模组全接收,提高了系统的传输性能与稳定性,且在解调接收时,在光域即完成了滤模组的操作,成本较低且方案较为简单。另外,本发明不需要基于模组解复用器件,可以适用各种模式基矢与不同的通信传输光纤,通用性强。

## 附图说明

[0042] 为了更清楚的说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,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示出的结构获得其他的附图。

[0043] 图1是本发明中基于模组复用的直调直检光通信系统的结构示意图。

[0044] 图2是本发明一个实施例中基于两模组复用少模光纤传输直调直检光通信系统的结构示意图。

[0045] 图3是本发明一个实施例中基于两模组复用少模光纤传输直调直检光通信系统中由CCD相机拍摄的模式信道的模场分布图。

[0046] 图4是本发明中基于模组复用的直调直检光通信的流程示意图。

[0047] 附图中各标记:1、光信号调制单元;11、光源;12、信号发生器;13、光电调制器;2、光放大单元;3、第一模式转换单元;4、模式复用单元;5、通信光纤;6、模组解调模块;61、第二模式转换单元;62、第三模式转换单元;63、单模组合并单元;7、光电探测器;71、单模接口光电探测器;72、多模接口光电探测器;8、信号采集与恢复模块;9、延迟光纤。

## 具体实施方式

[0048] 本发明提供一种基于模组复用的直调直检光通信系统及方法,为使本发明的目的、技术方案及效果更加清楚、明确,以下参照附图并举实例对本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0049] 在实施方式和申请专利范围中,除非文中对于冠词有特别限定,否则“一”、“一个”、“所述”和“该”也可包括复数形式。若本发明实施例中有涉及“第一”、“第二”等的描述,

则该“第一”、“第二”等的描述仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示其相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。

[0050] 应该进一步理解的是,本发明的说明书中使用的措辞“包括”是指存在所述特征、整数、步骤、操作、元件和/或组件,但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、组件和/或它们的组。应该理解,当我们称元件被“连接”或“耦接”到另一元件时,它可以直接连接或耦接到其他元件,或者也可以存在中间元件。此外,这里使用的“连接”或“耦接”可以包括无线连接或无线耦接。这里使用的措辞“和/或”包括一个或更多个相关联的列出项的全部或任一单元和全部组合。

[0051] 本技术领域技术人员可以理解,除非另外定义,这里使用的所有术语(包括技术术语和科学术语),具有与本发明所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。还应该理解的是,诸如通用字典中定义的那些术语,应该被理解为具有与现有技术的上下文中的意义一致的意义,并且除非像这里一样被特定定义,否则不会用理想化或过于正式的含义来解释。

[0052] 另外,各个实施例之间的技术方案可以相互结合,但是必须是以本领域普通技术人员能够实现为基础,当技术方案的结合出现相互矛盾或无法实现时应当认为这种技术方案的结合不存在,也不在本发明要求的保护范围之内。

[0053] 请同时参阅图1至图3,本发明提供了一种基于模组复用的直调直检光通信系统的较佳实施例。

[0054] 如图1所示,本发明提供一种基于模组复用的直调直检光通信系统,其包括:N个光信号调制单元1、N个光放大单元2、N个第一模式转换单元3、模式复用单元4、通信光纤5、N个模组解调模块6、N个光电探测器7;其中,N大于等于1;N个所述光信号调制单元1用于生成N路基模调制的光信号;N个所述光放大单元2分别与N个所述光信号调制单元1连接,用对所述基模调制的光信号进行放大处理;N个所述第一模式转换单元3分别与N个所述光放大单元2以及所述模式复用单元4连接,用于将所述基模调制的光信号加载到对应的发送模式信道上得到N路不同模式信道的光信号并输入至所述模式复用单元4;所述模式复用单元4分别与N个所述第一模式转换单元3以及通信光纤5连接,用于将N路不同模式信道的光信号合成一路第一复用模式光信号;所述通信光纤5分别与所述模式复用单元6以及N个所述模组解调模块6连接,用于输出第一复用模式光信号;N个所述模组解调模块6分别与所述通信光纤5以及N个所述光电探测器7连接,用于将由通信光纤5输出光信号中的N个模组分别进行解调以及模式转换后,对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号,并合成第二复用模式光信号后传输至所述光电探测器7;N个所述光电探测器7分别与N个所述模组解调模块6连接,用于将所述第二复用模式光信号转换为电信号。

[0055] 具体地,N个光信号调制单元1、N个光放大单元2与N个第一模式转换单元3对应N个模组解调模块6与N个光电探测器7,N个光信号调制单元1、N个光放大单元2与N个第一模式转换单元3构成通信系统的发送端,N个模组解调模块6与N个光电探测器7构成通信系统的接收端,其中,N为大于等于1的正整数。

[0056] N个所述光信号调制单元1分别生成需要传输的符号,从而生成N路独立的基于基模调制的光信号并传输至N个所述光放大单元2,N个所述光放大单元2分别对N路基模调制

的光信号进行信号放大处理后传输至所述第一模式转换单元3,通过所述第一模式转换单元3将基模转换为对应的高阶模式,从而将所述基模调制的光信号分别加载到对应的发送模式信道上以得到N路不同模式信道的光信号并送入至所述模式复用单元4经所述模式复用单元4合成一路第一复用模式光信号。其中,每个信道模式隶属于不同的模组,每个模组内包含的模式数量为 $M_i$  ( $1 \leq i \leq N$ , 不包括偏振),所述第一模式转换模块可以面向不同的模式基矢,例如线偏振模、轨道角动量模式或矢量模等。其后第一复用模式光信号输入通信光纤5,经通信光纤5传输后的光信号分为N路独立且相同的光信号,在接收端通过N个所述模组解调模块6将N个模组分别进行解调以及模式转换后,对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号,并合成第二复用模式光信号后传输至所述光电探测器7,通过所述光电探测器7转换为电信号。

[0057] 在上述技术方案中,本发明通过将生成的N路基模调制的光信号进行放大处理,其后将放大处理后的N路基模调制的光信号加载到对应的发送模式信号上以得到N路不同模式信道的光信号,再将N路不同模式信道的光信号合成第一复用模式光信号并输入通信光纤,经通信光纤传输光信号中的N个模组分别进行解调以及模式转换后,对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号,并合成第二复用模式光信号,最后将所述第二复用模式光信号转换为电信号。由此,本发明通过N个光电探测器7即可实现N个模组全接收,能够在保障通信传输容量的前提下,提高了系统的传输性能、稳定性与可靠性,且在解调接收时,在光域即完成了滤模组的操作,这样针对单个模组,仅需要单个光电探测器7和单个接收通道即可完成单模组的数据采集和恢复,无需依赖多个光电探测器7分集合并接收,无需引入其他算法进行数据处理,成本较低且方案较为简单。另外,本发明不需要基于模组解复用器件(模组解复用器大多依旧处于研究阶段,商用产品较少),可以适用各种模式基矢与不同的通信传输光纤,通用性强,可灵活变通。

[0058] 请参阅图1,在一个实施例的进一步地实施方式中,所述基于模组复用的直调直检光通信系统还包括:N个信号采集与恢复模块8;N个所述信号采集与恢复模块8分别与N个所述光电探测器7连接,用于将所述光电探测器7输出的电信号进行转换与恢复。

[0059] 具体地,在所述光电探测器7将所述第二复用模式光信号转换为电信号后,所述信号采集与恢复模块8完成所述电信号(模拟信号)到数字信号的转换与恢复。

[0060] 请继续参阅图1,在一个实施例的进一步地实施方式中,所述光信号调制单元1包括:光源11、信号发生器12与光电调制器13;其中,所述光源11与所述光电调制器13连接,用于产生光信号并传输至所述光电调制器13;所述信号发生器12与所述光电调制器13连接,用于产生电信号并传输至所述光电调制器13上;所述光电调制器13分别与所述光源11与所述信号发生器12连接,用于将所述信号发生器12生成的电信号调制到所述光源11提供的光载波上。

[0061] 具体地,所述光源11为单波长光源,具体实施时,所述光电调制器13将信号发生器12生成的电信号调制到所述光源11提供的单波长载体上,以生成对应的光信号,即基模调制的光信号。

[0062] 请继续参阅图1,在一个实施例的进一步地实施方式中,所述模组解调模块6包括: $M_i$ 个第二模式转换单元61与 $M_i$ 个第三模式转换单元62以及单模组合并单元63;其中,每个所述模组解调模块中的 $M_i$ 个所述第二模式转换单元61用于将同一模组所有 $M_i$ 个模式分别

转换为基模模式以得到 $M_i$ 路基模模式;所述 $M_i$ 个第三模式转换单元62对应与 $M_i$ 个所述第二模式转换单元61连接,用于将 $M_i$ 路基模模式转换为 $M_i$ 路相互正交模式;所述单模组合并单元63与 $M_i$ 个所述第三模式转换单元52连接,用于将 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号合成第二复用模式光信号。

[0063] 具体地,在每一个所述模组解调模块6中,每路独立且相同的光信号按照1: $M_i$ 等分为 $M_i$ 路光信号, $M_i$  ( $1 \leq i \leq N$ )为对应的模组所包含的模式数量(不包含偏振),然后 $M_i$ 路光信号分别经过 $M_i$ 个第二模式转换单元61将同一模组中所有 $M_i$ 个模式转换为基模模式以得到 $M_i$ 路基模模式。

[0064] 得到 $M_i$ 路基模模式后,分别经过不同的第三模式转换单元62将 $M_i$ 路基模模式转换为 $M_i$ 路相互正交模式,其后将基于 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号送入单模组合并单元63,经过模式复用后将 $M_i$ 路光信号( $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号)合成一路第二复用模式光信号。

[0065] 需要说明的是,在进入所述单模组合并单元63之前,需要保证 $M_i$ 路光信号所经过的光程相同,以及保证 $M_i$ 路光信号在时间上对齐,从而使得光程对齐,避免多径效应。

[0066] 请继续参阅图1,在一个实施例的进一步地实施方式中,所述通信光纤5为少模光纤或多模光纤。

[0067] 具体地,所述第一复用模式光信号进入通信传输光纤5中进行传输,其中,通信传输光纤5需要支持使用的所有模式信道,一般为少模光纤或者多模光纤。在所用的通信光纤中,模式的有效折射率极为接近或者相同的模式归为同一模组,同模组中的不同模式会在通信光纤中发生随机强耦合,从而在光纤输出端,同一模组中的各种模式会随机分布。而不同模组的模式信道在通信光纤中会发生一定程度的弱耦合,具体的模组串扰要取决于光纤传输长度,光纤特性以及外界环境等。

[0068] 请继续参阅图1,在一个实施例的进一步地实施方式中,所述少模光纤与所述模组解调模块6之间或所述多模光纤与所述模组解调模块6之间连接有光分束器,经通信光纤5后的光信号,被分为 $N$ 路独立且相同的光信号。

[0069] 具体地,在所述第一复用模式光信号从所述通信光纤5输出之后,通过光分束器将第一复用模式光信号分为 $N$ 路独立且相同的光信号。

[0070] 请继续参阅图1,在一个实施例的进一步地实施方式中,所述单模组合并单元63与所述光电探测器7之间采用少模光纤或多模光纤连接。

[0071] 具体地,所述第二复用模式光信号通过对应的传输光纤进入所述光电探测器7,其中通信传输光纤为支持 $M_i$ 路相互正交模式传输的少模光纤或多模光纤。因 $M_i$ 路光信号对应的不同模式相互正交,所以在少模或多模光纤中并不会发生干涉,从而实现单模组中所有模式携带的数据信息可以被探测接收,且保证所述光电探测器7接收的光信号稳定可靠,

[0072] 请参阅图2,为更好的理解本发明,以下以一具体实施例对本发明进行说明。

[0073] 如图2所示,图2为一个实施例中基于两模组复用少模光纤传输直调直检光通信系统的结构示意图。在此光纤通信系统中,采用轨道角动量(OAM)模式为模式基矢,利用阶数为0阶和3阶两个模组的OAM模式作为复用传输信道,每个模式加载38Gbaud PAM-4信号,实现基于2个光电探测器完成2个模组全接收方案的模组复用光纤通信系统。其中,光纤通信系统的光源11采用单波长激光器,光放大单元2采用光放大器,第一模式转换单元3、第二模

式转换单元61与第三模式转换单元62均采用螺旋相位片,模式复用单元4与单模组合并单元63采用光合束器,光电探测器7采用单模接口光电探测器71与多模接口光电探测器72,信号采集与恢复模块8采用示波器。其工作原理如下:

[0074] 首先,在光纤通信系统的发射端,信号发生器12产生38Gbaud PAM-4电信号,光电调制器13将生成的电信号调制到激光器输出的单载波上(波长为1550.12nm)。其后将调制后的光信号通过前置放大器将光信号进行放大,并将放大后的光信号等分成2路。在两路光信号中,其中一路保持基模模式状态,基模模组中只包含一个基模模式(不包含偏振)。基模调制的光信号经过一段延迟光纤9后和另外一路去相关。需要说明的是,在实际中,N个光信号调制模块是独立的,在此实例中通过在其中一路增加一段延迟光纤,使得两路信号去相关。9

[0075] 另外一路经过+3阶的螺旋相位片,原本的基模模式转换为+3阶OAM模式,针对此实施实例中所用的传输光纤,+3阶OAM模式隶属的模组(3阶OAM模组)包含2个模式(不包含偏振),分别为+3阶OAM模式和-3阶OAM模式。基模调制光信号和+3阶OAM模式调制光信号经过光合束器复用成一路。复用模式后的光信号进入5公里少模光纤传输。其中,图3(a)和图3(b)为:在通信光纤输出端,用CCD相机分别观测到的两路模场强度分布情况。

[0076] 经过通信光纤传输后的输出复用光信号等分为两路。其中一路直接送入单模接口的光电探测器,单模接口光电探测器71的单模尾纤直接将复用模式中的高阶模式滤除,实现基模调制光信号的探测,最后由示波器完成信号采集。这样,单个单模接口光电探测器71即可完成基模模组的接收。另外一路用于3阶OAM模组的解调和接收。因为其模组中包含两个模式,所以先将其等分成两路光信号,两路分别经过阶数为-3/+3的螺旋相位片,将复用模式中的+3/-3阶OAM还原为基模,而复用模式中的基模则转化为了-3/+3阶的OAM模式,再将这两路分别耦合进单模跳线滤掉高阶模式。从而完成了3阶OAM模组的解调。

[0077] 得到两路基模调制的光信号后,其中一路经过+3阶的螺旋相位片后,基模转化为+3阶OAM模式。这样此路的+3阶OAM模式和另外一路的基模模式相互正交,两路再经过光合束器复用成一路光信号。其中,需要保证两路光信号在进入光合束器之前所经过的光程一致,保证两路光信号在时间上对齐。

[0078] 将得到的复用光信号耦合进单根少模光纤跳线。所用的少模光纤跳线支持所用波长(1550.12nm)条件下的3阶OAM模组传输。图3(c)和图3(d)为:在少模光纤跳线输出端,用CCD相机分别观测到的两路模场强度分布情况。

[0079] 复用光信号经少模光纤跳线送入单个多模接口光电探测器72,从而实现3阶OAM模组光信号的探测,最后由示波器完成信号采集。这样,单个多模接口光电探测器72即完成了3阶OAM模组的接收。

[0080] 请参阅图4,在一些实施例中,本发明还提供来了一种基于模组复用的直调直检光通信方法,其包括步骤:

[0081] S100、将生成的N路基模调制的光信号进行放大处理;具体如一种基于模组复用的直调直检光通信系统的实施例所述,在此不再赘述。

[0082] S200、将放大处理后的N路基模调制的光信号加载到对应的发送模式信道上以得到N路不同模式信道的光信号;具体如一种基于模组复用的直调直检光通信系统的实施例所述,在此不再赘述。

[0083] S300、将N路不同模式信道的光信号合成第一复用模式光信号并输入通信光纤；具体如一种基于模组复用的直调直检光通信系统的实施例所述，在此不再赘述。

[0084] S400、将经过通信光纤传输后的第一复用模式光信号分成N路独立且相同的光信号；具体如一种基于模组复用的直调直检光通信系统的实施例所述，在此不再赘述。

[0085] S500、将N路独立且相同的光信号中的N个模组分别进行解调以及模式转换，对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号并合成第二复用模式光信号；具体如一种基于模组复用的直调直检光通信系统的实施例所述，在此不再赘述。

[0086] S600、将所述第二复用模式光信号转换为电信号。具体如一种基于模组复用的直调直检光通信系统的实施例所述，在此不再赘述。

[0087] 在一些实施例中，步骤S500包括步骤：

[0088] S510、分别将N路独立且相同的光信号中同一模组中所有 $M_i$ 个模式转换为基模模式以得到 $M_i$ 路基模模式；具体如一种基于模组复用的直调直检光通信系统的实施例所述，在此不再赘述。

[0089] S520、将 $M_i$ 路基模模式转换为 $M_i$ 路相互正交模式；具体如一种基于模组复用的直调直检光通信系统的实施例所述，在此不再赘述，

[0090] S530、将 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号合成第二复用模式光信号。具体如一种基于模组复用的直调直检光通信系统的实施例所述，在此不再赘述。

[0091] 综上所述，本发明所提供的一种基于模组复用的直调直检光通信系统及方法，系统包括：N个光信号调制单元、N个光放大单元、N个第一模式转换单元、模式复用单元、通信光纤、N个模组解调模块、N个光电探测器；其中，N大于等于1；N个所述光信号调制单元用于生成N路基模调制的光信号；N个所述光放大单元分别与N个所述光信号调制单元连接，用对所述基模调制的光信号进行放大处理；N个所述第一模式转换单元分别与N个所述光放大单元以及所述模式复用单元连接，用于将所述基模调制的光信号加载到对应的发送模式信道上得到N路不同模式信道的光信号并输入至所述模式复用单元；所述模式复用单元分别与N个所述第一模式转换单元以及通信光纤连接，用于将N路不同模式信道的光信号合成一路第一复用模式光信号；所述通信光纤分别与所述模式复用单元以及N个所述模组解调模块连接，用于输出第一复用模式光信号；N个所述模组解调模块分别与所述通信光纤以及N个所述光电探测器连接，用于将由通信光纤输出光信号中的N个模组分别进行解调以及模式转换后，对应每个模组分别得到 $M_i$ 路相互正交模式调制的光信号，并合成第二复用模式光信号传输至所述光电探测器；N个所述光电探测器分别与N个所述模组解调模块连接，用于将所述第二复用模式光信号转换为电信号。可见，本发明通过N个光电探测器即可实现N个模组全接收，提高了系统的传输性能与稳定性，且在解调接收时，在光域即完成了滤模组的操作，成本较低且方案较为简单。另外，本发明不需要基于模组解复用器件，可以适用各种模式基矢与不同的通信传输光纤，通用性强。

[0092] 应当理解的是，本发明的应用不限于上述的举例，对本领域普通技术人员来说，可以根据上述说明加以改进或变换，所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

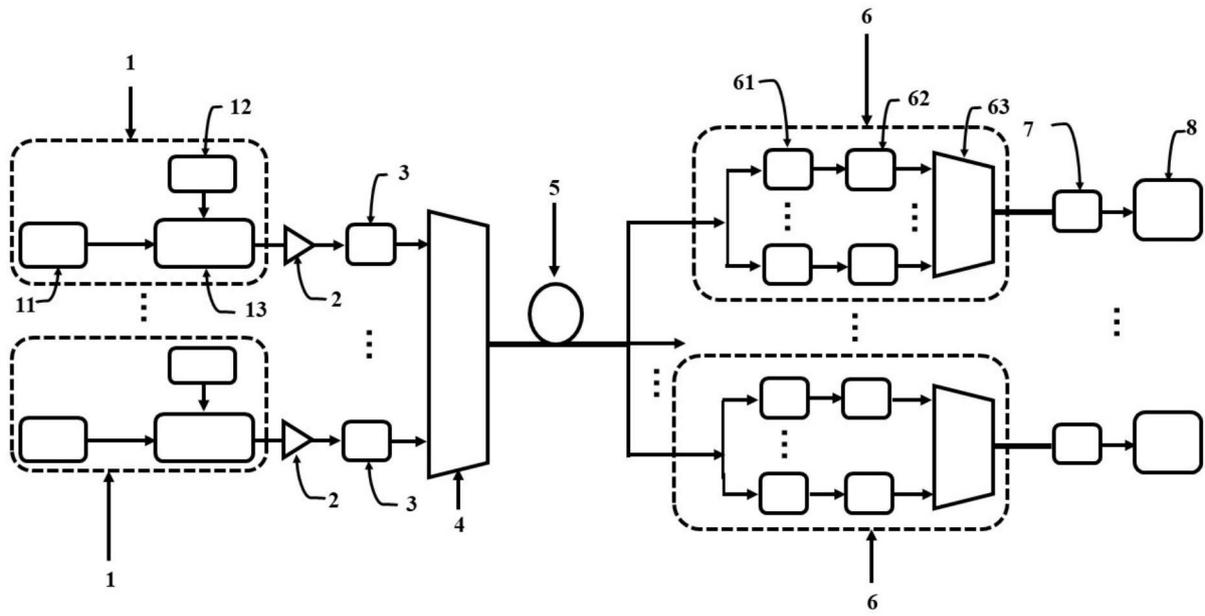


图1

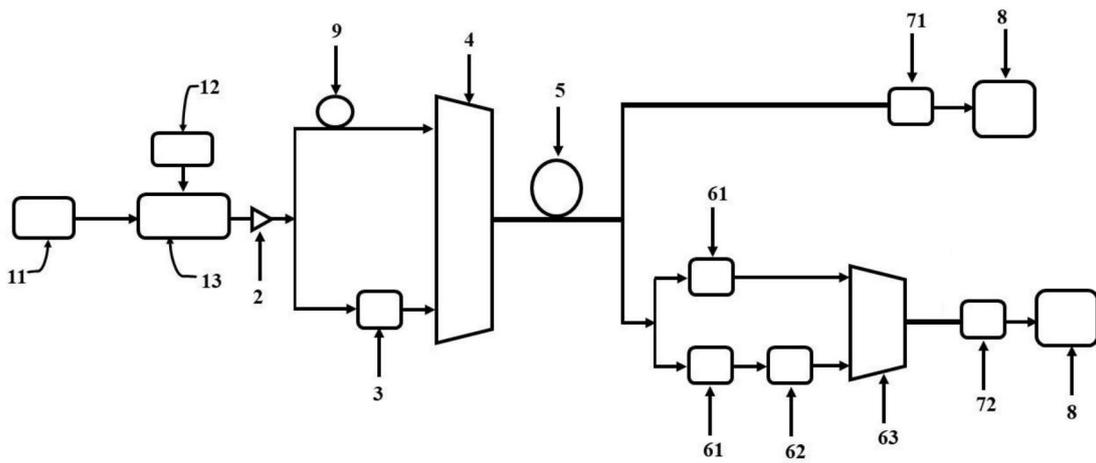


图2

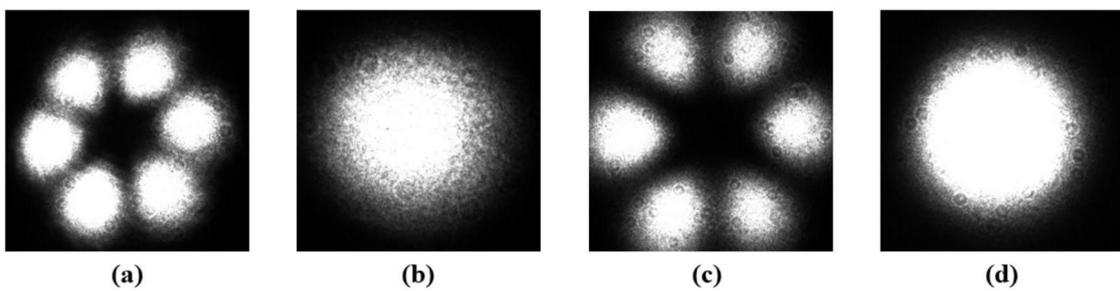


图3

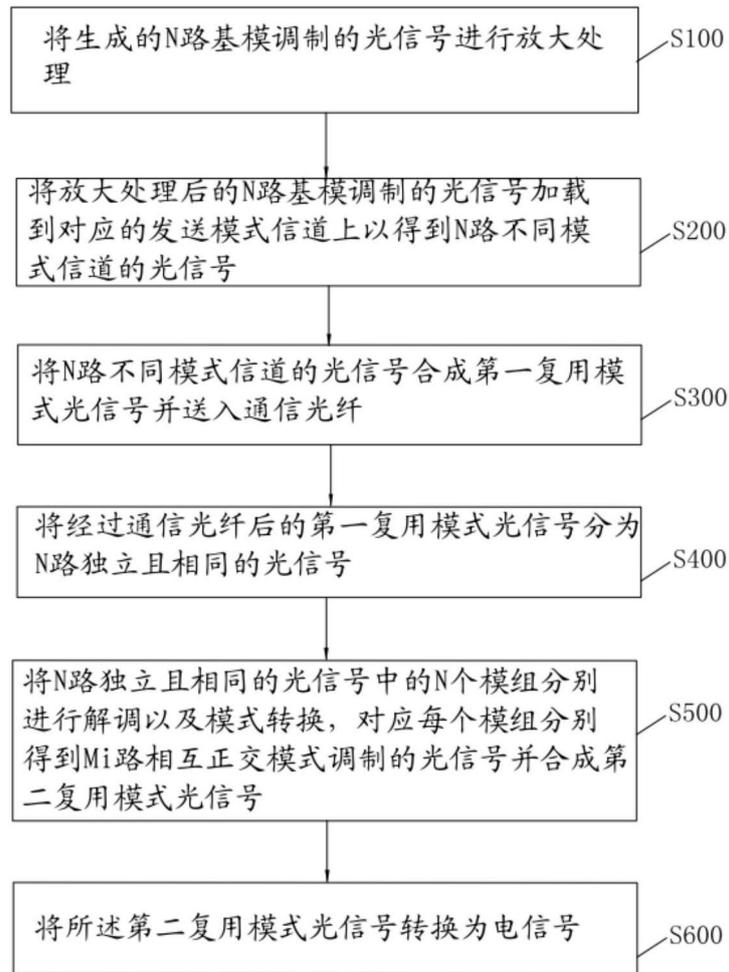


图4