



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106992835 A

(43)申请公布日 2017.07.28

(21)申请号 201710293411.8

(22)申请日 2017.04.28

(71)申请人 中山大学

地址 510275 广东省广州市海珠区新港西路135号

(72)发明人 刘洁 朱国轩 吴雄 陈钰杰 朱江波 余思远

(74)专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

代理人 林丽明

(51)Int.Cl.

H04J 14/04(2006.01)

H04J 14/06(2006.01)

H04B 10/532(2013.01)

H04B 10/61(2013.01)

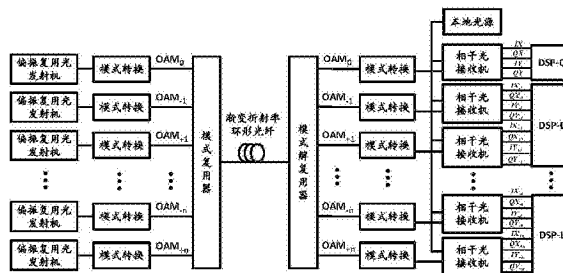
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

模分复用光纤通信系统的构建方法及构建的光纤通信系统

(57)摘要

本发明涉及一种模分复用光纤通信系统的构建方法,包括以下内容:在发射端将多路输入光信号转换为折射率渐变型环芯光纤所支持的光传播模式,经过模式复用器复用后,注入折射率渐变型环芯光纤中进行传输;在接收端首先通过模式解复用器将不同模式组光信号分开;对于模组内部模式的分离,采用多路接收并基于输入多输出均衡的数字信号处理方法进行处理;对于基模式组和高阶模式组内模式的分离,分别采用2x2和4x4多输入多输出均衡的数字信号处理算法进行恢复处理。本发明所述方法在增加模式组以扩展通信容量时,仅需要重复地增加光接收机和基于4X4多输入多输出均衡的数字信号处理模块。与现有技术相比,本发明具有复杂度低、可扩展性高和易于升级的特点。



1. 一种模分复用光纤通信系统的构建方法,其特征在于:包括以下内容:

在发射端将多路输入光信号转换为折射率渐变型环芯光纤所支持的光传播模式,经过模式复用器复用后,注入折射率渐变型环芯光纤中进行传输;

在接收端采用模式解复用器分离不同的模式组,此后每个模式组内的模式光信号被传输至相应的模式转换器,转换成可支持单模光纤传输的高斯模式光信号,然后被相干光接收机探测接收,提取出相应的复数电信号;

对于基模式组或零阶模式组被相干光接收机接收后输出的2路复数光信号,采用包含 2×2 多输入多输出均衡的数字信号处理算法进行恢复处理;

对于高阶模式组或非零阶模式组被相干光接收机接收后输出的4路复数电信号,采用包含 4×4 多输入多输出均衡的数字信号处理算法进行恢复处理。

2. 根据权利要求1所述的模分复用光纤通信系统的构建方法,其特征在于:所述注入折射率渐变型环芯光纤中或接收端接收的模式组所包含的模式为轨道角动量模式、线偏振模式或折射率渐变型环芯光纤本征模式中任一种。

3. 根据权利要求1所述的模分复用光纤通信系统的构建方法,其特征在于:所述包含 2×2 多输入多输出均衡的数字信号处理算法包括去采样偏移与正交性恢复、色散补偿、时钟恢复、 2×2 多输入多输出自适应均衡、频偏估计与补偿、载波相位恢复、前向纠错、信号解调与判决这些步骤。

4. 根据权利要求1所述的模分复用光纤通信系统的构建方法,其特征在于:所述包含 4×4 多输入多输出均衡的数字信号处理算法包括去采样偏移与正交性恢复、色散补偿、时钟恢复、 4×4 多输入多输出自适应均衡、频偏估计与补偿、载波相位恢复、前向纠错、信号解调与判决这些步骤。

5. 根据权利要求1所述的模分复用光纤通信系统的构建方法,其特征在于:根据具体的网络环境和光纤传输距离不同,所述包含 2×2 或 4×4 多输入多输出均衡的数字信号处理算法为时域盲均衡算法、频域盲均衡算法、混合时域频域盲均衡算法、基于训练序列的频域均衡算法中任一种;根据具体传输信号的调制格式不同,所述包含 2×2 或 4×4 多输入多输出均衡的数字信号处理算法为恒模算法、级联多模算法、半径导向算法或者最小均方算法中任一种。

6. 一种根据权利要求1~5任一项所述构建方法所构建的光纤通信系统,其特征在于:包括模式复用器、折射率渐变型环芯光纤、模式解复用器、 $(2n+1)$ 个模式转换器B、 $(2n+1)$ 个相干光接收机、 2×2 数字信号处理模块和 4×4 数字信号处理模块; n 为高阶模式组或者非零阶模式组的个数;

其中模式复用器的输出端与折射率渐变型环芯光纤的输入端连接,折射率渐变型环芯光纤的输出端与模式解复用器的输入端连接,模式解复用器的输出端分别与 $(2n+1)$ 个模式转换器B的输入端连接, $(2n+1)$ 个模式转换器B的输出端分别与 $(2n+1)$ 个相干光接收机的输入端二连接, $(2n+1)$ 个相干光接收机的输入端一与本地光源连接, $(2n+1)$ 个相干光接收机的输出端与 2×2 数字信号处理模块或 4×4 数字信号处理模块连接。

7. 根据权利要求6所述的光纤通信系统,其特征在于:所述光纤通信系统还包括有 $(2n+1)$ 个模式转换器A和 $(2n+1)$ 个偏振复用光发射机,其中 $(2n+1)$ 个偏振复用光发射机的输出端分别与 $(2n+1)$ 个模式转换器A的输入端连接, $(2n+1)$ 个模式转换器A的输出端与模式复用

器的输入端连接。

8. 根据权利要求6所述的光纤通信系统,其特征在于:所述2X2数字信号处理模块的数量为1个,所述4X4数字信号处理模块的数量为n个;其中1个2X2数字信号处理模块的输入端与基模式组或零阶模式组对应的相干光接收机的输出端连接;1个4X4数字信号处理模块的输入端与1个高阶模式组或者非零阶模式组对应的相干光接收机的输出端连接。

9. 根据权利要求6所述的光纤通信系统,其特征在于:所述2X2数字信号处理模块包括依次连接的采样偏移与正交性恢复子模块、色散补偿子模块、时钟恢复子模块、2X2多输入多输出自适应均衡子模块、频偏估计与补偿子模块、载波相位恢复子模块、前向纠错和信号解调与判决子模块。

10. 根据权利要求6所述的光纤通信系统,其特征在于:所述4X4数字信号处理模块包括依次连接的采样偏移与正交性恢复子模块、色散补偿子模块、时钟恢复子模块、4X4多输入多输出自适应均衡子模块、频偏估计与补偿子模块、载波相位恢复子模块、前向纠错和信号解调与判决子模块。

模分复用光纤通信系统的构建方法及构建的光纤通信系统

技术领域

[0001] 本发明涉及光纤通信领域,更具体地,涉及一种模分复用光纤通信系统的构建方法及构建的光纤通信系统。

背景技术

[0002] 近年来,基于多模光纤的模分复用技术,由于其可以进一步提高频谱效率,而受到广泛关注。然而,此类系统所用的多输入多输出均衡算法的复杂度成为限制系统扩展的主要因素。因为随着系统容量的扩展,复用的模式组数增加,需要更高复杂度的多输入多输出算法才能均衡模式组各个模式之间的相互串扰。基于弱耦合少模光纤的模分复用系统近年来被提出,以降低系统多输入多输出算法复杂度。在这些方案中仅需要2X2或者4X4的多输入多输出算法来均衡模式组内部的线性偏振(LP)模式间串扰,但是随着系统容量的扩展以及模式组数的增加,对于更高阶的模式组,比如LP41,LP32等,其每个模式组包含的简并模式数多于4个,利用4X4的多输入多输出算法将难以实现模式组内部模式间串扰的均衡。

[0003] 与此同时,基于轨道角动量(OAM)模分复用的通信系统,因其原则上具有无限数目、相互正交的本征模式而受到广泛关注。近几年来,基于OAM模分复用的光纤通信系统被相继报导,其采取的复用方式主要分为两类:第一类是尝试维持所有OAM模式间的正交性,从而通过模式解复用器在物理上实现所有模式的复用和解复用。此类方法由于受到系统缺陷以及传输环境的不稳定性等因素影响,很难在较长距离传输中保证OAM模式间的正交性,因而限制了系统的传输距离。第二类方式则是在接收端通过多输入多输出均衡的数字信号方式来补偿OAM模式间的非正交性带来的模式间串扰,但是类似于少模光纤,随着系统容量和传输模式的增加,多输入多输出均衡的复杂度也会随之增长。

发明内容

[0004] 本发明为解决以上现有技术提供的通信系统多输入多输出算法复杂度会随着模式信道的数量而增长的缺陷,提供了一种模分复用光纤通信系统的构建方法。

[0005] 为实现以上发明目的,采用的技术方案是:

[0006] 一种模分复用光纤通信系统的构建方法,包括以下内容:

[0007] 在发射端将多路输入光信号转换为折射率渐变型环芯光纤所支持的光传播模式,经过模式复用器复用后,注入折射率渐变型环芯光纤中进行传输;

[0008] 在接收端采用模式解复用器分离不同的模式组,此后每个模式组内的模式光信号被传输至相应的模式转换器,转换成可支持单模光纤传输的高斯模式光信号,然后被相干光接收机探测接收,提取出相应的复数电信号;

[0009] 对于基模式组或零阶模式组被相干光接收机接收后输出的2路复数光信号,采用包含2x2多输入多输出均衡的数字信号处理算法进行恢复处理;

[0010] 对于高阶模式组或非零阶模式组被相干光接收机接收后输出的4路复数电信号,采用包含4x4多输入多输出均衡的数字信号处理算法进行恢复处理。上述方案中,本发明提

供的通信系统构建方法在扩展通信容量时,接收端除了增加相应的模式转换器和相干光接收机外,仅需要增加包含 4×4 多输入多输出均衡的数字信号处理算法的数字信号处理模块,因此通信系统的多输入多输出算法复杂度不会随着扩容而增加。

[0011] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0012] 本发明利用折射率渐变型环芯光纤模式组隔离度高,模组内模式简并,且除基模(包含两个模式)外,其余模式组内模式数量都为四个的特点,而模式组内部模式的分离仅需要 2×2 或者 4×4 多输入多输出均衡,降低了数字信号处理算法的复杂度。并且在增加传输模式组数量以扩展通信容量时,仅需要增加基于 4×4 多输入多输出均衡的数字信号处理算法的数字信号处理模块,具有较高的可扩展性。本发明提供的方法避免了多输入多输出算法复杂度随着模式信道数量增长的问题,具有复杂度低、可扩展性高和可基于现有商用光通信技术升级的特点。

附图说明

[0013] 图1为系统的构建示意图。

[0014] 图2为包含 2×2 多输入多输出均衡的数字信号处理算法/ 2×2 数字信号处理模块的示意图。

[0015] 图3为包含 4×4 多输入多输出均衡的数字信号处理算法/ 4×4 数字信号处理模块的示意图。

具体实施方式

[0016] 附图仅用于示例性说明,不能理解为对本专利的限制;

[0017] 以下结合附图和实施例对本发明做进一步的阐述。

[0018] 实施例1

[0019] 以轨道角动量(OAM)模分复用光纤通信为例,如图1所示,本发明提供了一种模分复用光纤通信系统的构建方法,包括以下内容:

[0020] 在发射端将多路输入光信号转换为折射率渐变型环芯光纤所支持的光传播模式,经过模式复用器复用后,注入折射率渐变型环芯光纤中进行传输;

[0021] 在接收端采用模式解复用器分离不同的模式组,此后每个模式组内的模式光信号被传输至相应的模式转换器,转换成可支持单模光纤传输的高斯模式光信号,然后被相干光接收机探测接收,提取出相应的复数电信号;

[0022] 对于基模式组或零阶模式组被相干光接收机接收后输出的2路复数光信号,采用包含 2×2 多输入多输出均衡的数字信号处理算法进行恢复处理;

[0023] 对于高阶模式组或非零阶模式组被相干光接收机接收后输出的4路复数电信号,采用包含 4×4 多输入多输出均衡的数字信号处理算法进行恢复处理。

[0024] 其中,所述注入折射率渐变型环芯光纤中或接收端接收的模式组所包含的模式为轨道角动量模式、线偏振模式或折射率渐变型环芯光纤本征模式中任一种。

[0025] 在具体地实施过程中,如图2所示,所述包含 2×2 多输入多输出均衡的数字信号处理算法包括去采样偏移与正交性恢复、色散补偿、时钟恢复、 2×2 多输入多输出自适应均衡、频偏估计与补偿、载波相位恢复、前向纠错、信号解调与判决这些步骤。

[0026] 在具体地实施过程中,如图3所示,所述包含4x4多输入多输出均衡的数字信号处理算法包括去采样偏移与正交性恢复、色散补偿、时钟恢复、4X4多输入多输出自适应均衡、频偏估计与补偿、载波相位恢复、前向纠错、信号解调与判决这些步骤。

[0027] 在具体地实施过程中,根据具体的网络环境和光纤传输距离不同,所述包含2x2或4X4多输入多输出均衡的数字信号处理算法为时域盲均衡算法、频域盲均衡算法、混合时域频域盲均衡算法、基于训练序列的频域均衡算法中任一种;根据具体传输信号的调制格式不同,所述包含2x2或4X4多输入多输出均衡的数字信号处理算法为恒模算法、级联多模算法、半径导向算法或者最小均方算法中任一种。

[0028] 实施例2

[0029] 以轨道角动量(OAM)模分复用光纤通信为例,本实施例提供了一种应用实施例1方法的系统,如图1所示,其具体的方案如下:

[0030] 包括模式复用器、折射率渐变型环芯光纤、模式解复用器、 $(2n+1)$ 个模式转换器B、 $(2n+1)$ 个相干光接收机、2X2数字信号处理模块和4X4数字信号处理模块; n 为高阶模式组或者非零阶模式组的个数;

[0031] 其中模式复用器的输出端与折射率渐变型环芯光纤的输入端连接,折射率渐变型环芯光纤的输出端与模式解复用器的输入端连接,模式解复用器的输出端分别与 $(2n+1)$ 个模式转换器B的输入端连接, $(2n+1)$ 个模式转换器B的输出端分别与 $(2n+1)$ 个相干光接收机的输入端二连接, $(2n+1)$ 个相干光接收机的输入端一与本地光源连接, $(2n+1)$ 个相干光接收机的输出端与2X2数字信号处理模块或4X4数字信号处理模块连接。

[0032] 其中,上述系统的工作过程如下:多路输入光信号转换为折射率渐变型环芯光纤所支持的光传播模式并经过模式复用器复用后,注入折射率渐变型环芯光纤中进行传输;接收端采用模式解复用器将接收到的信号分离为 $(2n+1)$ 个不同的模式组,然后 $(2n+1)$ 个不同的模式组内的模式分别被传输至 $(2n+1)$ 个模式转换器B中进行转换,转换成可支持单模光纤传输的高斯模式光信号,然后分别被 $(2n+1)$ 个相干光接收机接收, $(2n+1)$ 个相干光接收机提取出相应的复数电信号。对于零阶模式组被相干光接收机接收后输出的2路复数光信号,采用2X2数字信号处理模块对信号进行恢复处理;对于非零阶模式组被相干光接收机接收后输出的4路复数电信号,采用4X4数字信号处理模块对信号进行恢复处理。

[0033] 在具体的实施过程中,如图1所示,所述光通信系统还包括有 $(2n+1)$ 个模式转换器A和 $(2n+1)$ 个偏振复用光发射机,其中 $(2n+1)$ 个偏振复用光发射机的输出端分别与 $(2n+1)$ 个模式转换器A的输入端连接, $(2n+1)$ 个模式转换器A的输出端与模式复用器的输入端连接。

[0034] 其中 $(2n+1)$ 个偏振复用光发射机用于产生多路输入光信号, $(2n+1)$ 个模式转换器A用于将多路输入光信号转换为折射率渐变型环芯光纤所支持的光传播模式。

[0035] 在具体的实施过程中,如图1所示,所述2X2数字信号处理模块(DSP-0)的数量为1个,所述4X4数字信号处理模块(DSP-L)的数量为 n 个;其中1个2X2数字信号处理模块的输入端与零阶模式组对应的相干光接收机的输出端连接;1个4X4数字信号处理模块的输入端与阶数绝对值相同的2个非零阶模式对应的相干光接收机的输出端连接。

[0036] 在具体的实施过程中,如图2所示,所述2X2数字信号处理模块(DSP-0)包括依次连接的采样偏移与正交性恢复子模块、色散补偿子模块、时钟恢复子模块、2X2多输入多输出

自适应均衡子模块、频偏估计与补偿子模块、载波相位恢复子模块、前向纠错和解调与判决子模块。

[0037] 在具体的实施过程中,如图3所示,所述4X4数字信号处理模块(DSP-L)包括依次连接的采样偏移与正交性恢复子模块、色散补偿子模块、时钟恢复子模块、4X4多输入多输出自适应均衡子模块、频偏估计与补偿子模块、载波相位恢复子模块、前向纠错和解调与判决子模块。

[0038] 显然,本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例,而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明权利要求的保护范围之内。

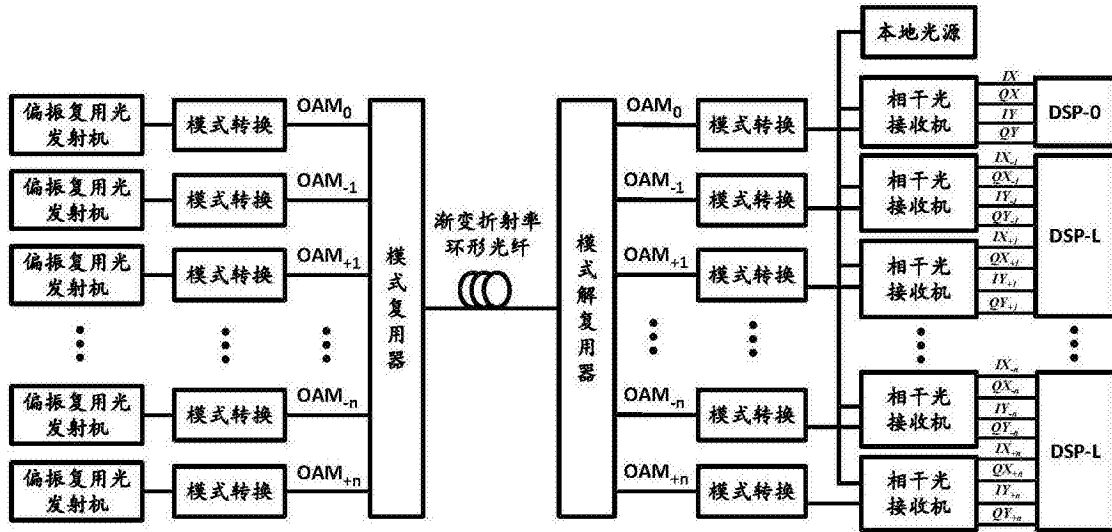


图1

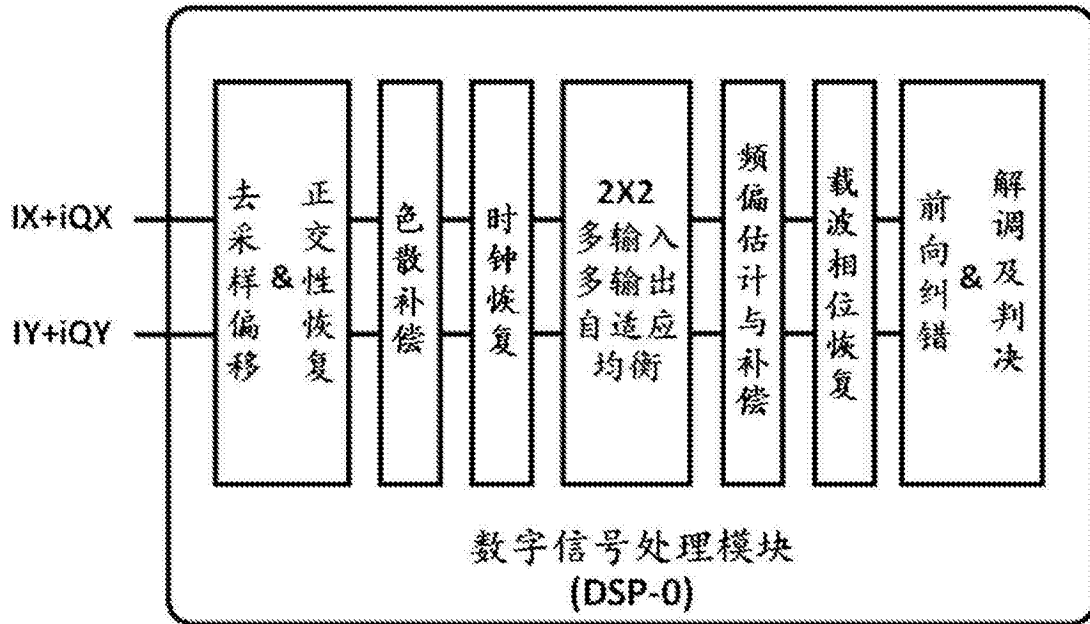


图2

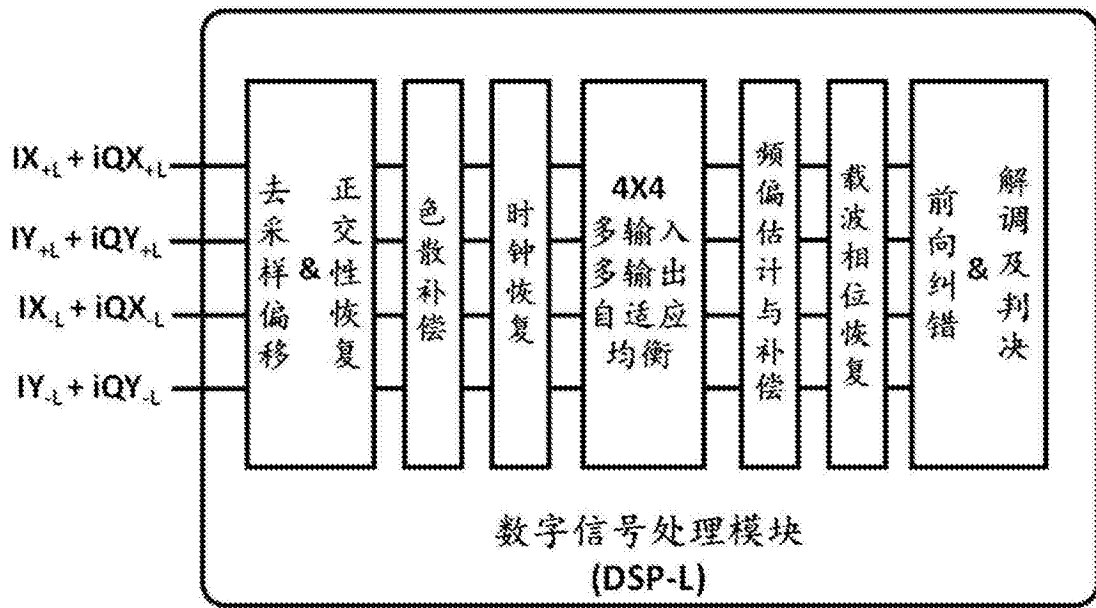


图3