



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114938245 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 23

(21) 申请号 202210547929.0

(22) 申请日 2022.05.18

(71) 申请人 浙江大学

地址 310030 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72) 发明人 金晓峰 邹济军 杨凌 李志伟 朱亚峰 魏兵

(74) 专利代理机构 北京察格专利代理事务所 (普通合伙) 16129

专利代理师 杨丰佳

(51) Int. Cl.

H04B 10/2575 (2013.01)

H04B 10/079 (2013.01)

H04B 10/61 (2013.01)

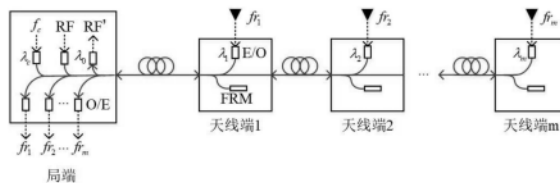
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种面向未来宽带无线通信的分布式多天线协同稳相方法与装置

(57) 摘要

本发明公开了一种面向未来宽带无线通信的分布式多天线协同稳相方法与装置,装置由局端和各天线端通过光纤串联构成线型通信系统。各分布式多天线接收信号在天线端光电调制为不同波长的光信号,使用波分复用技术耦合进一路光纤传送到局端后通过光电转换得到原始射频信号。该系统局端利用延时抖动测量获得链路的延时变化,再向天线端发送控制信号,控制天线端光延迟线对链路延时抖动进行补偿。该装置可以实现无线通信系统中分布式多天线协同信号的稳相传输,便于多天线协同信号的集中统一处理,节约分布式多天线系统的建设和使用成本。本发明系统结构简单,易于实现,易于拓展。



1. 一种面向未来宽带无线通信的分布式多天线协同稳相方法与装置,其特征就在于包含若干天线端和一个局端,局端和各天线端通过一路光纤串联,其中:

所述局端接收天线端上传的光信号,将光信号解波分复用并拍频得到原始接收信号 f_{r_i} ;局端可以分时依次向各天线端发送抖动测量信号用于延时抖动的测量并得到延时补偿量,再向天线端广播控制命令,由天线端完成稳相操作;

所述天线端将多天线接收的射频信号 f_{r_i} 通过电光调制的方式调制到不同波长的光载波 λ_i 上,各天线端光信号通过波分复用的方式将耦合到一路光纤传输至局端;天线端 i 可以将抖动测量信号反射回局端以完成局端至天线端 i 光链路的延时抖动测量;天线端 i 接收局端的控制信号,完成局端至天线端 i 之间光纤链路的延时补偿。

2. 根据权利要求1所述的一种面向未来宽带无线通信的分布式多天线协同稳相方法与装置,其特征就在于:所述局端包括延时抖动测量模块、第一光电调制电路、第一波分复用器、第一光电探测器、局端单片机、直调激光器、光电转换模块;其中:延时抖动测量模块产生产生延时抖动测量信号经第一光电调制器转换成光信号传输至天线端,从天线端返回的反馈信号经第一光电探测器转换为电信号在延时抖动测量模块中鉴相得到与光链路延时相关的相位信号;

所述局端单片机由相位信号计算光延迟线的延时补偿量并发送控制信号;

所述直调激光器用于将单片机的控制指令调制到波长为 λ_c 的光载波上,控制信号以广播的方式发送至各天线端;

所述第一波分复用器将不同波长光信号耦合进同一光纤链路传输;

所述光电转换模块将经由第一波分复用器解复用的光信号转换成电信号。

3. 根据权利要求1所述的一种面向未来宽带无线通信的分布式多天线协同稳相方法与装置,其特征就在于:所述天线端包括光延迟线、第二光电调制电路、电光开关、第二波分复用器、第三波分复用器、分光器、光滤波器、第二光电探测器、天线端单片机、法拉第旋转镜;其中:所述第二光电调制电路将多天线协同信号调制到不同波长的光载波上,不同波长的光信号通过第二波分复用的器耦合进一路光纤传回局端;所述电光开关根据天线端单片机指令决定抖动测量信号经第三波分复用器耦合回主光纤到达后续天线端或者经法拉第旋转镜反射回传至局端完成局端到本天线端光纤链路的延时抖动测量;

所述光延迟线可以受天线端单片机控改变光信号的延时,用于补偿链路的延时变化从而稳定传输光信号的相位;

所述分光器将主光纤中1%的光取出用于控制信号的提取;

所述天线端单片机用于接收局端发送的控制信号,控制天线端的电光开关切换以及控制光延迟线工作。

4. 根据权利要求2所述的一种面向未来宽带无线通信的分布式多天线协同稳相方法与装置,其特征就在于:所述延时抖动测量模块用于产生抖动测量信号 RF , RF 分时依次到达各天线端 i ,经过第二波分复用器解复用后延时抖动测量信号经过法拉第旋转镜反射回局端,经光第一电探测器拍频得到射频信号 RF' , RF' 与 RF 在模块中鉴相得到带有局端至天线端 i 之间光纤链路延时变化信息的相位信号;相位信号交由局端单片机由此计算延时补偿量。

5. 根据权利要求1所述的一种面向未来宽带无线通信的分布式多天线协同稳相方法与装置,其特征就在于:所述系统上行的数据信号与下行的抖动测量和控制信号通过波分复用

的方式在同一光纤中传输,构成线型通信系统;抖动测量信号在各天线端先通过第二波分复用器解波分复用与主光路分离,经过电光开关选择在此天线端通过法拉第旋转镜反射回局端完成局端到本天线端光纤链路的延时抖动测量或者经第三波分复用器耦合回到主光路继续传输至后续天线端;系统延时抖动测量过程不影响上行数据信号的传输。

6. 根据权利要求1所述的一种面向未来宽带无线通信的分布式多天线协同稳相方法与装置,其特征在于:系统稳相过程如下:局端依次向各天线端*i*发送延时抖动测量指令;对应天线端*i*将光开关选通法拉第旋转镜光路,抖动测量信号反射回局端抖动测量模块得到相位信号;局端单片机根据相位信号计算延时的补偿量,向对应天线端*i*发送控制信号;天线端*i*接收控制信号,驱动光延迟线补偿局端到天线端*i*之间光纤链路的延时抖动,由于局端到天线端*i-1*之间光纤的延时抖动已经由天线端*i-1*补偿,所以等效于天线端*i*完成了天线端*i-1*到天线端*i*之间这段光纤的延时抖动补偿。

一种面向未来宽带无线通信的分布式多天线协同稳相方法与装置

技术领域

[0001] 本发明属于微波光子技术领域,具体涉及一种面向未来宽带无线通信的分布式多天线协同稳相方法与装置。

背景技术

[0002] 未来宽带无线通信使用分布式多天线的实现高频载波的收发,天线阵列分布在一个相对广阔区域内,多天线的协同成为系统需要考虑的问题,如各天线间需要进行频率的同步,而随着系统通信频率的逐渐增高,此类系统对于信号的稳定性提出了更高的要求;再者传统的射频传输方法当距离增大到一定程度后,信号衰减严重,这对于分布在一个相对广阔区域内的多天线协同信号的传输提出了挑战。

[0003] 光纤通信由于其具有带宽大、衰减小、抗干扰、保密性好的特性,被广泛运用于长距离数据交换,遍布全球的光纤网络,解决了传统微波技术损耗大、可用带宽资源少、保密性不佳的问题。然而光纤在环境中并不是十分稳定的,会受到机械应力与温度变化的影响造成延时的随机变化,而信号的相位与延时有关,在光纤中传播时,其相位也会随着延时的变化而出现漂移和抖动,进而影响系统性能,因此光纤稳相传输技术的目的就是抑制光纤的延时变化或保证所传输射频信号的相位稳定。光纤稳相传输技术在雷达通信、深空探索、雷达定位等多基地、分布式多天线协同系统中一直扮演着重要的角色。未来宽带无线通信系统的速率将达到现在的10倍以上,因此对同步系统也就有了更高的要求,如果不对长距离光纤信道进行稳相,前传、回传接收时信号会受到光纤链路延时变化的影响而变形,接收端需要进行大量的时钟恢复计算,在数据量很大时很可能造成网络阻塞,因此未来的高速移动通信系统对稳相传输技术有更高的要求。

[0004] 随着微波光子学的迅猛发展,为分布式多天线协同信号的稳相传输和集中处理提供了更多方法。光纤稳相传输中延时补偿分为主动补偿与被动补偿,主动补偿主要利用了相位往返法来测得光纤在环境中的延时变化,然后驱动主动补偿手段进行延时或者信号相位的补偿,来抑制光纤的影响。对延时的补偿手段有可调谐激光器、温控光纤延迟线等,其缺点是补偿范围往往有限,需要考虑光纤长度的变化范围,且补偿环路带宽较低,无法补偿一定频率以上的相位抖动,其优点是可以对宽带信号进行稳相,从而传输多个稳定的参考信号,或者保证宽带数字通信的进行;被动补偿方法由于理论上只使用了混频器,会有更快的补偿速度,但是一样具有与主动补偿方法类似的缺点。

发明内容

[0005] 鉴于上述,本发明提出了一种面向未来宽带无线通信的分布式多天线协同稳相方法与装置。该系统由局端和若干天线端组成,基于延时抖动测量与相位补偿实现分布式多天线协同信号的光纤稳相传输,解决了分布式多天线信号空间上分散不便集中处理的问题,节约了分布式多天线系统的建设和使用成本。

[0006] 所述局端接收天线端上传的数据信号,将数据信号解波分复用并通过光电转换模块O/E拍频得到原始射频信号 fr_i ;系统需要稳相操作时,局端分时依次向各天线端发送抖动测量信号用于链路延时抖动的测量并计算延时抖动的补偿量,最后将控制信号广播至天线端,由天线端完成链路稳相操作;

[0007] 所述天线端将分布式多天线接收的射频信号 fr_i 通过电光调制模块E/O调制到不同波长的光载波 λ_i 上,各天线端通过波分复用的方式将不同波长的光信号耦合到一路光纤传输至局端;延时抖动测量时天线端将抖动测量信号反射回传至局端作为反馈信号用以完成局端至天线端i光链路的延时抖动测量;天线端i接收局端的控制信号,完成局端至天线端i之间光纤的相位补偿;

[0008] 进一步地,所述局端包括延时抖动测量模块、第一光电调制电路、第一波分复用器、第一光电探测器、局端单片机、直调激光器、光电转换模块;其中:延时抖动测量模块产生产生延时抖动测量信号经第一光电调制器转换成光信号传输至天线端,从天线端返回的反馈信号经第一光电探测器转换为电信号在延时抖动测量模块中鉴相得到与光链路延时相关的相位信号;

[0009] 所述局端单片机由相位信号计算光延迟线的延时补偿量并发送控制信号;

[0010] 所述直调激光器用于将单片机的控制指令调制到波长为 λ_c 的光载波上,控制信号以广播的方式发送至各天线端;

[0011] 所述第一波分复用器将不同波长光信号耦合进同一光纤链路传输;

[0012] 所述光电转换模块将经由第一波分复用器解复用的光信号转换成电信号;

[0013] 进一步地,所述天线端包括光延迟线、第二光电调制电路、电光开关、第二波分复用器、第三波分复用器、分光器、光滤波器、第二光电探测器、天线端单片机、法拉第旋转镜;其中:所述第二光电调制电路将多天线协同信号调制到不同波长的光载波上,不同波长的光信号通过第二波分复用的器耦合进一路光纤传回局端;所述电光开关根据天线端单片机指令决定抖动测量信号经第三波分复用器耦合回主光纤到达后续天线端或者经法拉第旋转镜反射回传至局端完成局端到本天线端光纤链路的延时抖动测量;

[0014] 所述光延迟线可以受天线端单片机控改变光信号的延时,用于补偿链路的延时变化从而稳定传输光信号的相位;

[0015] 所述分光器将主光纤中1%的光取出用于控制信号的提取;

[0016] 所述天线端单片机用于接收局端发送的控制信号,控制天线端的电光开关切换以及控制光延迟线工作;

[0017] 进一步地,所述延时抖动测量模块用于产生抖动测量信号RF,RF分时依次到达各天线端i,经过第二波分复用器解复用后延时抖动测量信号经过法拉第旋转镜反射回局端,经光第一电探测器拍频得到射频信号 RF' , RF' 与RF在模块中鉴相得到带有局端至天线端i之间光纤链路延时变化信息的相位信号;相位信号交由局端单片机由此计算延时补偿量;

[0018] 进一步地,所述系统上行的数据信号与下行的抖动测量和控制信号通过波分复用的方式在同一光纤中传输,构成线型通信系统;抖动测量信号在各天线端先通过第二波分复用器解波分复用与主光路分离,经过电光开关选择在此天线端通过法拉第旋转镜反射回局端完成局端到本天线端光纤链路的延时抖动测量或者经第三波分复用器耦合回到主光路继续传输至后续天线端;系统延时抖动测量过程不影响上行数据信号的传输;

[0019] 进一步地,所述系统稳相过程如下:局端依次向各天线端*i*发送延时抖动测量指令;对应天线端*i*将光开关选通法拉第旋转镜光路,抖动测量信号反射回局端抖动测量模块得到相位信号;局端单片机根据相位信号计算延时的补偿量,向对应天线端*i*发送控制信号;天线端*i*接收控制信号,驱动光延迟线补偿局端到天线端*i*之间光纤链路的延时抖动,由于局端到天线端*i-1*之间光纤的延时抖动已经由天线端*i-1*补偿,所以等效于天线端*i*完成了天线端*i-1*到天线端*i*之间这段光纤的延时抖动补偿。

附图说明

[0020] 图1为本发明装置的系统整体链路图。

[0021] 图2为本发明装置的局端和天线端1的具体结构示意图。

[0022] 图中:1—1号激光器,2—1号马赫增德尔调制器,3—第一波分复用器,4—延时抖动测量模块,5—第一光电探测器,6—局端单片机,7—直调激光器,8—光电转换模块,9—单模光纤,10—光延迟线,11—第二波分复用器,12—第三波分复用器,13—法拉第旋转镜,14—分光器,15—光滤波器、16—第二光电探测器、17—天线端单片机,18—电光开关,19—3号激光器,20—3号马赫增德尔调制器。

具体实施方式

[0023] 为了更为具体地描述本发明,下面结合附图及具体实施方式对本发明的技术方案进行详细说明:

[0024] 如图1所示,为本发明面向未来宽带无线通信的分布式多天线协同稳相装置,包括用于局端和*m*个天线端,局端与各天线端通过单模光纤串联形成线型通信结构。各天线端*i*将分布式多天线接收的射频信号 f_{r_i} 通过电光调制模块E/O,即第二光电调制电路,包括3号激光器和3号马赫增德尔调制器,调制到不同波长的光载波 λ_i 上,各天线端通过波分复用的方式将不同波长的光 λ_i 耦合到一路光纤传输至局端解波分复用,经O/E模块,即光电转换模块8,还原成射频信号后做后续处理;本系统由局端负责延时抖动的测量,由天线端负责光纤延时抖动补偿;其中:

[0025] 如图2所示,为本发明所述局端和天线端的结构图。所述局端包括1号激光器LD1、1号马赫增德尔调制器MZM2、第一波分复用器WDM3、延时抖动测量模块4、第一光电探测器PD5、局端单片机MCU6、直调激光器7、光电转换模块8;所述天线端包括第二波分复用器11、第三波分复用器12、法拉第旋转镜FRM13、分光器14、光滤波器15、第二光电探测器16、天线端单片机17、电光开关18、3号激光器19、3号马赫增德尔调制器20;

[0026] 当天线端*i*需要稳相操作时,局端通过波长为 λ_c 的控制光路向各天线端广播天线端*i*的地址,控制信号经过天线端的分光器14到达各天线端,各天线端通过光滤波器15将控制信号对应波长 λ_c 对应的光信号滤出,通过第二光电探测器16转换成电信号,天线端*i*接收到局端发送的地址信息后,控制电光开关18选通法拉第旋转镜13对应反射光路。同时第一光电调制电路,包括1号激光器和1号马赫增德尔调制器,将抖动测量信号RF调制到波长为 λ_0 的光上,通过波分复用器1耦合进主光纤传输到天线端。抖动测量信号RF经过拉第旋转镜反射回传局端得到RF', RF' 携带局端到天线端*i*之间的光纤链路延时变化信息,RF' 进入第一光电探测器5转化为电信号到延时抖动测量模块4处与RF完成鉴相生成相位信号,局端单

片机6根据相位信号计算得到链路的延时抖动量,局端向天线端i发送控制命令,天线端单片机17接收控制命令并控制光延迟线10完成将局端至天线端i之间光纤链路的延时抖动补偿,由于局端至天线端i-1之间光纤链路的延时抖动已经由天线端i-1补偿,所以天线端i对局端至天线端i之间光纤链路的延时抖动补偿等效于对天线端i-1到天线端i之间的光纤链路的延时抖动补偿。

[0027] 假设RF的初始相位为 φ_0 , $\tau_{\text{comp,forward}}$ 与 $\tau_{\text{comp,backward}}$ 为信号正反向传输时,主动补偿装置对延时所做的补偿, $\tau_{\text{drift,forward}}$ 与 $\tau_{\text{drift,backward}}$ 为信号正反向传输时,光纤链路发生的延时变化, $\tau_{\text{link,forward}}$ 与 $\tau_{\text{link,backward}}$ 为信号正反向传输时,光纤链路的初始延时。对于光纤链路延时发生变化时间 τ_{drift} 与测量信号往返光纤链路的时间 τ_{round} ,有:

$$[0028] \quad \tau_{\text{round}} \ll \tau_{\text{drift}} \quad (1)$$

[0029] 可以得到:

$$[0030] \quad \tau_{\text{comp,forward}} = \tau_{\text{comp,backward}} = \tau_{\text{comp}} \quad (2)$$

[0031] 正向传输延时变化与反向传输延时变化也是一样的,初始的正反向传输延时也相等。 f_{RF} 为RF信号的频率,则局端鉴相结果应为:

$$[0032] \quad \Delta\varphi = 2 \cdot f_{\text{RF}} \cdot (\tau_{\text{link}} + \tau_{\text{comp}} + \tau_{\text{drift}}) \quad (3)$$

[0033] 设初始相位为:

$$[0034] \quad \varphi_{\text{init}} = 2 \cdot f_{\text{RF}} \cdot \tau_{\text{link}} \quad (4)$$

[0035] 将初始相位与鉴相器输出的相位信号进行比较,对延时抖动进行测量,随后根据测量结果驱动光延迟线主动补偿改变延时,使得 $\tau_{\text{comp}} = -\tau_{\text{drift}}$ 有

$$[0036] \quad \Delta\varphi \equiv 2 \cdot f_{\text{RF}} \cdot \tau_{\text{link}} \equiv \varphi_{\text{init}} \quad (5)$$

[0037] 对于局端而言,其接收的信号与延时抖动测量信号经过相同的链路,也就经过了相同的延时,其相位变化与测量信号的相位变化成正比,相位变化应为

$$[0038] \quad \Delta\varphi_{\text{trans}} = \Delta\varphi \cdot \frac{f_{\text{trans}}}{f_{\text{RF}}} \quad (6)$$

[0039] 由此,链路延时得到补偿,实现了天线端到局端的多天线协同信号稳相传输。

[0040] 在相位稳定的前提下,分布式多天线协同信号经过波长为 λ_i ($i=1,2,3,\dots,m$)的3号激光器和3号马赫增德尔调制器进行光电调制为光信号,经过第二波分复用器耦合至信号传输链路,经过单模光纤传输至局端后经过第一波分复用器解复用,通过光电转换模块8拍频得到原始多天线信号。当本天线端不需要稳相操作时,电光开关18选通另一光路,抖动测量信号经过第三波分复用器12耦合入主光纤,到达后续天线端。

[0041] 上述对实施例的描述是为便于本技术领域的普通技术人员能理解和应用本发明。熟悉本领域技术的人员显然可以容易地对上述实例做出各种修改,并把在此说明的一般原理应用到其他实施例中而不必经过创造性的劳动。因此,本发明不限于上述实施例,本领域技术人员根据本发明的揭示,对于本发明做出的改进和修改都应该在本发明的保护范围之内。

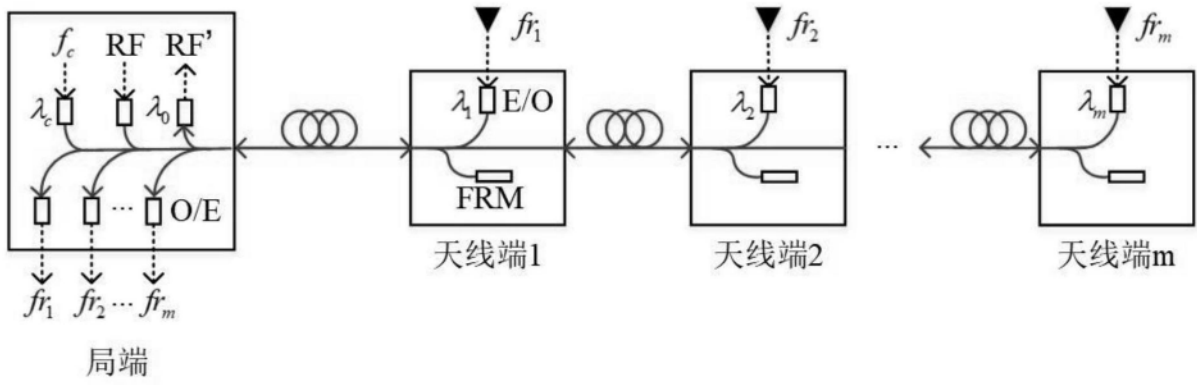


图1

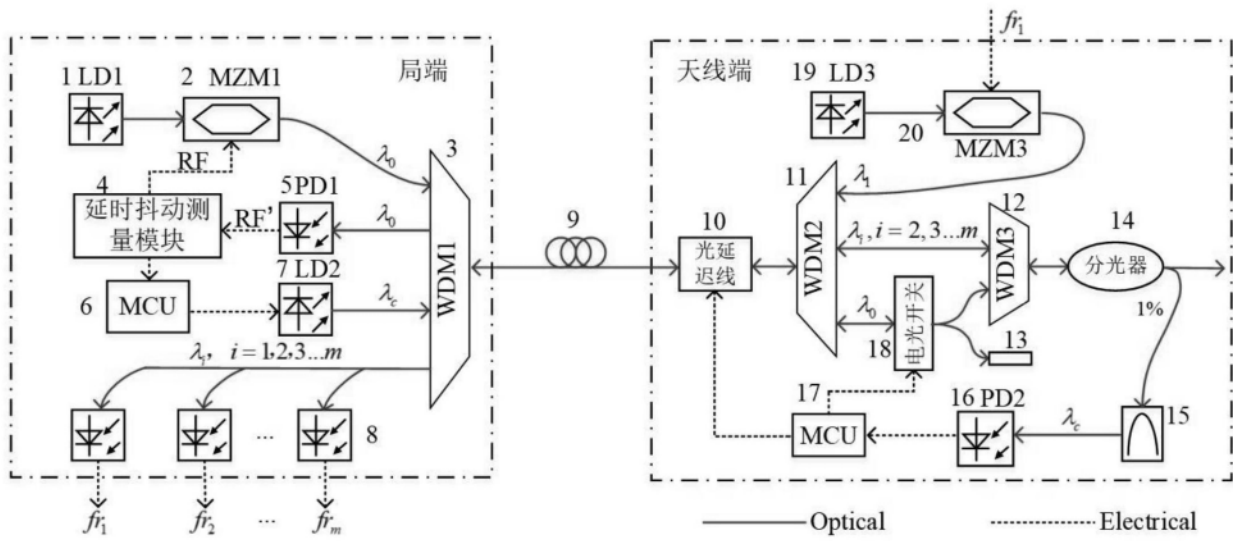


图2