



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101718942 B

(45) 授权公告日 2011. 10. 26

(21) 申请号 200910241202. 4

审查员 房元锋

(22) 申请日 2009. 11. 25

(73) 专利权人 北京航空航天大学
地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 杨远洪 张萍萍 杨明伟 马游春
陈淑英

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责
任公司 11251

代理人 李新华

(51) Int. Cl.

G02F 2/00(2006. 01)

G01D 5/353(2006. 01)

G01J 3/42(2006. 01)

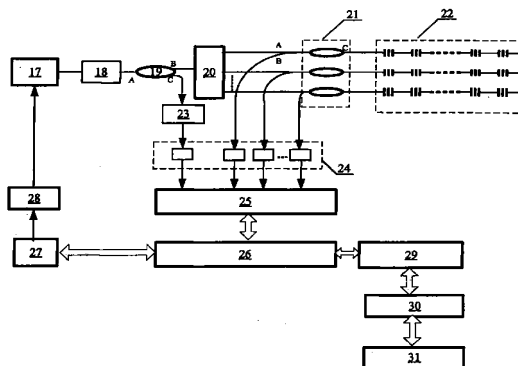
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种多通道光纤光栅解调仪

(57) 摘要

本发明公开了一种多通道光纤光栅解调仪, 该解调仪采用扫描式光纤激光器作为光源, 所述扫描式激光器基于带温控的微机械结构滤波器, 属于精确校准的窄线宽、高相干光源。校准通过带波长标记的热稳定 FP 标准具实现。增益匹配光纤放大器对激光器输出进行功率放大, 并实现扫描激光谱的功率平坦度。光纤光栅反射信号通过光电探测器和 AD 转换器处理模块后进入数据采集与处理系统。所述数据采集与处理及峰值检测系统采用基于 FPGA 的全数字式方案实现, 同时利用数字频率直接合成模块的同步信号得到微机械结构滤波器的控制电压。所述扫描式光纤激光器, 标准具和 FPGA 通过其他设备相结合实现多通道、高精度、稳定性高、重复性好、串并结构的光栅传感网络信号的检测。



1. 一种多通道光纤光栅解调仪,其特征在于包括:

由可调谐、带温控的微机械结构滤波器构成的扫描式光纤激光器(17),可为所述多通道光纤光栅解调仪提供一个高功率、窄线宽、波长可调谐的光源;

由增益平坦滤波器构成的增益匹配光纤放大器(18),实现扫描式光纤激光器(17)功率的放大,并保证多通道光纤光栅解调仪光源波长峰值的平坦度;

第二光纤耦合器(19)将增益匹配光纤放大器(18)输出光分为两份,一份通过FP标准具(23),实现扫描式光纤激光器的实时校准;

PLC分束器(20)、光纤耦合器阵列(21)将光源输出扫描激光耦合进串并结构分布的光纤光栅传感器阵列(22),并将光纤光栅传感器阵列的波长信息反馈给所述多通道光纤光栅解调仪;

基于FPGA的数据采集与控制模块,由AD转换器处理模块(25),FPGA(26),DA转换器(27),PCI接口(29)构成,实现多路信号的高速采集与处理及峰值检测,同时提供对可调谐微机械结构滤波器驱动电压的控制;

嵌入式计算机(30),对基于FPGA的数据采集与控制模块处理得到的数据进行进一步解算、存储和显示;

所述扫描式光纤激光器包括第一泵浦源(1)、第一波分复用器(2)、第一掺铒光纤(3)、第一隔离器(4)、第一光纤环行器(5)、第二掺铒光纤(6)、微机械结构滤波器(7)、光纤反射器(8)、第二隔离器(9)、第一光纤耦合器(10);第一光纤环形器(5)、第二掺铒光纤(6)、微机械结构滤波器(7)、光纤反射器(8)构成了一个利用饱和吸收效应压窄线宽,利用滤波原理选择频率,并且利用锯齿波电压驱动滤波器实现波长可调的装置;所述微机械结构滤波器(7)带有温控,可对谐振腔中的透射波长进行选择,并且保证扫描激光器输出波长的重复性;

所述增益匹配光纤放大器包括第二泵浦源(11)、第三隔离器(12)、第二波分复用器(13)、第三掺铒光纤(14)、第四隔离器(15)、增益匹配滤波器(16);通过选择相互匹配的第三掺铒光纤(14)和增益匹配滤波器(16)实现扫描激光器输出波长平坦度的控制。

2. 根据权利要求1所述的多通道光纤光栅解调仪,其特征在于:所述基于FPGA的数据采集与控制模块还包括滤波器电压驱动电路(28);由FPGA(26),DA转换器(27),滤波器电压驱动电路(28)为微机械结构滤波器(7)提供一个和数字相位同步信号存在对应关系的锯齿波电压信号,实现扫描式光纤激光器的周期性连续扫描;AD转换器处理模块(25)采用了对数放大处理。

3. 根据权利要求1所述的多通道光纤光栅解调仪,其特征在于:所述FP标准具(23)为带波长标记的热稳定标准具,可以实现对扫描光纤激光器波长的实时校准。

一种多通道光纤光栅解调仪

技术领域

[0001] 本发明涉及一种多通道光纤光栅解调仪,特别涉及了一种利用扫描光纤激光器技术实现光纤光栅传感网络检测的多通道解调仪。

背景技术

[0002] 基于光纤光栅的准分布式光纤应力和温度传感系统具有非常重要的应用价值,在电力能源、石油化工、工民建筑以及其它需要进行实时温度和应力监测的领域都有非常广泛的应用。采用该技术可以实现远距离的测量与监控,具有测量范围宽、高精度和高分辨率的特点,在强电磁干扰或者易燃易爆的严酷环境下更具优势。

[0003] 我国目前在光纤传感器的产业化和大规模推广应用方面远远不能满足国民经济发展的需求,相关技术的研究和产业化已成为一个经济增长热点。传统上,光纤光栅的解调采用光谱仪,单色仪以及波长计,但这些解调系统存在造价高,体积大等缺点,为此,人们相继提出了许多结构简单,更为实用的解调方法。主要有干涉解调技术、线性边缘滤波技术,匹配滤波解调技术,可调谐滤波解调技术等。其中干涉解调技术测量精度很高,但测量范围受限于干涉仪的自由光谱范围。线性边缘滤波技术测试范围与分辨率成反比,匹配滤波技术方法简单实用但调谐范围较小。基于可调谐 FP 滤波器的解调方法具有高灵敏度、光能利用率高、操作简单、调谐范围宽和系统稳定性好等优点。适合于工程应用的波长位移检测技术。故目前市场出售的光纤光栅解调仪主要基于可调谐 FP 技术。

[0004] 基于可调谐的 FP 解调方法主要基于大功率宽谱光源和窄带滤波技术实现光栅反射谱的峰值检测,其原理图如图 3 所示:大功率宽带 ASE 光源 (32) 发出的宽谱光通过耦合器 (33),其中一部分作用于光纤光栅阵列 (34),光纤光栅阵列的反射谱通过耦合器 (35) 耦合进入 FP 滤波器 (36);另一部分作用于标准光纤光栅 (37),同样,标准光纤光栅反射谱通过耦合器进入 FP 滤波器中并通过光电探测器 (38),由模拟信号处理电路 (39) 进行数据处理,随后输出温度或应变信息。

[0005] 但此光纤光栅解调技术仍存在以下两个问题:

[0006] (1) 信号衰减大:由于宽谱光源的出纤功率一般比较小。如果每一次通过 F-P 滤波器的光谱宽度很小,则每次通过滤波器的光强会很弱,即信号衰减较大。这样在光电探测器中所得到的光强也会很弱,不利于光电检测,增加了解调的难度。

[0007] (2) 信道受限:由于光源的输出功率较小,且信号的衰减较大,若增加信道的数量,分光后更不利于光电检测,因此可测量的光纤光栅阵列路数受到限制。

[0008] 基于上述原因,需要研发光源功率高、信号损耗率低、信道多的新型传感解调系统

发明内容

[0009] 本发明的目的是:提供一种基于窄线宽扫描激光器技术的多通道光纤光栅解调设备,克服以上现有技术的不足。该光纤光栅解调系统基于窄线宽扫描激光器技术,通过全数字方案实现串并结构的光纤光栅传感网络的实时解调。由于采用光源扫描技术,可保证信

号具有较高的信噪比,而且一次扫描能实现多通道的解调,可大大减小光开关等器件的使用,进而明显提高传感系统的可靠性,大大改善信道受限的问题。

[0010] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案是:扫描激光器输出的光经过增益匹配光纤放大器,既可以实现信号的放大,又保证峰值的平坦度。增益匹配放大器输出光经过第一光纤耦合器分成两份,其中一份用于校准,根据实际应用中的需要,另一份经 PLC 分束器分成多份作用于光纤光栅传感网络实现波长的解调。在校准通道,采用的一种带波长标记的 FP 标准具可实现扫描激光器波长的实时校准,以保证波长重复精度。激光器波长的扫描通过在滤波器上施加周期性高压锯齿波实现,其原理是:由 FPGA (26) 产生与数字相位同步信号存在确定关系的原始锯齿,经过 D/A 转换器 (27) 和滤波器驱动模块 (28) 放大成高压锯齿信号,从而驱动滤波器透射波长的改变。在每一个光纤光栅解调通道,用一只光纤耦合器可将探测光耦合到传感光栅,同时将反射光耦合到光电探测器 (PD) (22)。各探测器输出的信号由数据采集与处理模块来处理,具体过程是多路光信号通过并行的多路 AD 转换器模块 (23) 同时量化,把得到的数字量输入 FPGA 进行处理及峰值检测,处理得到的数据通过 PCI 接口传输到嵌入式计算机,进行进一步的解算、存储和显示,测量结果可以通过多种接口(串口、USB 和以太网口)输出。

[0011] 本发明一种多通道光纤光栅解调仪的优点是:

[0012] (1) 采用窄线宽光纤激光器扫描技术,可保证信号具有较高的信噪比,而且一次扫描能实现多通道的解调,可大大减小光开关等器件的使用,进而明显提高传感系统的可靠性;

[0013] (2) 采用微机械结构滤波器和全数字式解调方案,能实现较高的数据响应和处理速度,从而实现传感系统的实时传感;

[0014] (3) 本系统采用动态的波长实时校准技术,可实现可调谐微机械滤波器透射波长和光纤光栅传感网络波长信息的精确读取;

[0015] (4) 本系统使用了增益匹配放大器及采用对数放大的 AD 转换器处理模块,保证了光源峰值的平坦度,避免了由于阈值设置不当,导致检测不到某些光纤光栅反射峰的问题。

[0016] 本发明具体采用的技术方案为:

[0017] 一种多通道光纤光栅解调仪,其特征在于包括:

[0018] 由可调谐、带温控的微机械结构滤波器构成的扫描式光纤激光器 (17),可为所述多通道光纤光栅解调仪提供一个高功率、窄线宽、波长可调谐的光源;

[0019] 由增益平坦滤波器构成的增益匹配光纤放大器 (18),实现扫描式光纤激光器 (17) 功率的放大,并保证多通道光纤光栅解调仪光源波长峰值的平坦度;

[0020] 第二光纤耦合器 (19) 将增益匹配光纤放大器 (18) 输出光分为两份,一份通过 FP 标准具 (23),实现扫描式光纤激光器的实时校准;

[0021] PLC 分束器 (20)、光纤耦合器阵列 (21) 将光源输出扫描激光耦合进串并结构分布的光纤光栅传感器阵列 (22),并将光纤光栅传感器阵列的波长信息反馈给所述多通道光纤光栅解调仪;

[0022] 基于 FPGA 的数据采集与控制模块,由 AD 转化器处理模块 (25),FPGA (26),DA 转化器 (27),PCI 接口 (29) 构成,实现多路信号的高速采集与处理及峰值检测,同时提供对可调谐微机械结构滤波器驱动电压的控制;

[0023] 嵌入式计算机 (30), 对基于 FPGA 的数据采集与控制模块处理得到的数据进行进一步解算、存储和显示;

[0024] 所述扫描式光纤激光器包括第一泵浦源 (1)、第一波分复用器 (2)、第一掺铒光纤 (3)、第一隔离器 (4)、光纤环形器 (5)、第二掺铒光纤 (6)、微机械结构滤波器 (7)、光纤反射器 (8)、第二隔离器 (9)、第一光纤耦合器 (10); 第一光纤环形器 (5)、第二掺铒光纤 (6)、微机械结构滤波器 (7)、光纤反射器 (8) 构成了一个利用饱和吸收效应压窄线宽, 利用滤波原理选择频率, 并且利用锯齿波电压驱动滤波器实现波长可调的装置; 所述微机械结构滤波器 (7) 带有温控, 可对谐振腔中的透射波长进行选择, 并且保证扫描激光器输出波长的重复性;

[0025] 所述增益匹配光纤放大器包括第二泵浦源 (11)、第三隔离器 (12)、第二波分复用器 (13)、第三掺铒光纤 (14)、第四隔离器 (15)、增益匹配滤波器 (16); 通过选择相互匹配的第三掺铒光纤 (14) 和增益匹配滤波器 (16) 实现扫描激光器输出波长平坦度的控制。

[0026] 多通道光纤光栅解调仪的特征进一步包括: 所述基于 FPGA 的数据采集与控制模块还包括滤波器电压驱动电路 (28); 由 FPGA (26), DA 转换器 (27), 滤波器电压驱动电路 (28) 为微机械结构滤波器 (7) 提供一个和数字相位同步信号存在对应关系的锯齿波电压信号, 实现扫描式光纤激光器的周期性连续扫描; AD 转换器处理模块 (25) 采用了对数放大处理。

[0027] 多通道光纤光栅解调仪的特征进一步包括: 所述 FP 标准具 (23) 为带波长标记的热稳定标准具, 可以实现对扫描光纤激光器波长的实时校准。

附图说明

[0028] 图 1 是本发明所采用窄线宽扫描式光纤激光器装置的原理结构框图;

[0029] 图 2 是本发明所采用的增益匹配光纤放大器装置的原理结构框图;

[0030] 图 3 是本发明所采用的基于扫描式激光器的光纤光栅解调装置结构框图;

[0031] 图 4 是现有的基于 FP 窄带滤波器的光纤光栅解调设备原理结构框图;

[0032] 图中: 1、第一泵浦源 2、第一波分复用器 3、第一掺铒光纤 4、第一光隔离器 5、光纤环形器 6、第二掺铒光纤 7、可调谐微机械结构滤波器 8、光纤反射器 9、第二光隔离器 10、第一光纤耦合器 11、第二泵浦源 12 第三隔离器 13 第二波分复用器 14 第三掺铒光纤 15 第四光隔离器 16 增益匹配滤波器 17、扫描式光纤激光器 18、增益匹配光纤放大器 19、第二光纤耦合器 20、PLC 分束器 21、光纤耦合器阵列 22、光纤光栅阵列 23、标准具 24、光电探测器阵列 25、A/D 转换器模块 26、FPGA 27、D/A 转换器 28、FP 滤波器电压驱动电路 29、PCI 接口 30、嵌入式计算机 31、显示与输出接口 32、宽谱 ASE 光源 33、光纤耦合器 34、光纤光栅阵列 35、标准参考光纤光栅 36、FP 滤波器 37、光电探测器 38、模拟信号处理电路。

具体实施方式

[0033] 下面将结合附图和实施例对本发明作进一步详细说明。

[0034] 本发明是一种基于扫描激光器的光纤光栅解调装置, 由第一泵浦源、第一波分复用器、第一掺铒光纤、第一光隔离器、第一光纤环形器、第二掺铒光纤、可调谐 FP 滤波器、第

二光纤环形器、第二光纤隔离器、第一光纤耦合器、第二泵浦源,第三光纤隔离器、第二波分复用器、第三掺铒光纤、第四光纤隔离器、增益匹配滤波器、第二光纤耦合器、PLC分束器、光纤耦合器阵列、标准具、光电探测器、A/D转换器、FPGA、D/A转换器、微机械结构滤波器电压驱动、PCI接口、嵌入式计算机、输出接口组成。在本发明中,根据信号不同,整个解调仪可以分为光路部分和电路部分,光路部分通过光纤熔接,而电路部分通过电信号联接。

[0035] 参见图1,在本发明所述扫描式光纤激光器中,第一泵浦源1与第一波分复用器2的980nm输入端通过光纤相熔接,第一波分复用器2的980nm输出端与第一掺铒光纤3一端通过光纤熔接,第一掺铒光纤3另一端与第一光隔离器4输入端通过光纤熔接,第一光隔离器4输出端与光纤环形器5输入端口A通过光纤熔接;第一光纤环形器5输出端口B与第二掺铒光纤6一端通过光纤熔接,第二掺铒光纤6的另一端与微机械结构滤波器7输入端通过光纤熔接,微机械结构滤波器7的输出端与光纤反射器8的输入端口通过光纤熔接,光纤反射器的输出端口与微机械结构滤波器端口通过光纤熔接,微机械结构滤波器7的输出再通过第二掺铒光纤6与光纤环形器5的B端口通过光纤熔接;第一光纤环形器5输出端口C与第二隔离器9的输入端通过光纤熔接,第二隔离器9的输出端与第一光纤耦合器10的输入端通过光纤熔接,第一光纤耦合器的输出端A与第一波分复用器2的1550信号输入端通过光纤熔接。

[0036] 在光传输过程中,经过第一波分复用器2,第一980nm泵浦源1输出光耦合进第一掺铒光纤3,对其进行抽运,在第一掺铒光纤3中形成粒子数反转,并出现ASE,辐射光经过光纤环形器5、第二掺铒光纤6、可调谐微机械结构滤波器7、光纤反射器8、微机械结构滤波器7、第二掺铒光纤6、光纤环形器5滤波,滤波后的辐射光通过第二隔离器9、第一光纤耦合器10,一输出端提供激光输出,另一输出端提供反馈,再经第一波分复用器2耦合进第一掺铒光纤3,完成一次循环;每一次循环过程中光波的能量均得到放大,当增益大于环路中的传输损耗时,从第一光纤耦合器的C端会输出窄线宽,波长可调的激光。同时,随着泵浦功率的逐渐增加,噪声会随之下降,自发辐射会受到一定程度的抑制。

[0037] 参见图2,在本发明所述增益匹配光纤放大器中,第二泵浦源11与第二波分复用器13的980输入端A通过光纤相熔接,第二波分复用器13的980nm输出端C与第三掺铒光纤14一端通过光纤熔接;第二波分复用器13的信号输入端B与第三隔离器12输出端通过光纤熔接,第三个隔离器12输入端与第一光纤耦合器10的输出端通过光纤熔接;第三掺铒光纤14另一端与第四光纤隔离器15通过光纤熔接,第四光纤隔离器15的输出端与增益匹配滤波器16的输入端通过光纤熔接。增益匹配滤波器16的输出端作为输出。

[0038] 在光传输过程中,第二980nm泵浦源11输出光经过第二波分复用器13耦合进第三掺铒光纤14,对其进行抽运,在第三掺铒14光纤中形成粒子数反转,并出现ASE;扫描激光器17输出光作为信号光先经过第三光纤隔离器12,再经第二波分复用器13耦合进第三掺铒光纤14,由于掺铒光纤的ASE被放大,被放大后信号通过第四光纤隔离器15,噪声信号被抑制掉,然后通过增益平坦滤波器16保证输出峰值的平坦度。

[0039] 参见图3,扫描光纤激光器17的第一耦合器10输出端B与增益匹配光纤放大器18的第三光纤隔离器12输入端熔接,增益匹配放大器18中的增益匹配滤波器输出端与第二光纤耦合器19输入端熔接,第二光纤耦合器19的输出端A与PLC分束器20输入端,分束器20的输出端与第三光纤耦合器阵列21的A端熔接,第三光纤耦合器阵列21的C端与

光纤光栅阵列 22 熔接,第三光纤耦合器阵列 21 的 B 端与光电探测器 24 的输入端熔接;第二光纤耦合器 19 的输出端 B 与标准具 23 的输入端熔接,标准具 23 的输出端与光电探测器 24 的输入端熔接;A/D 转换器 25 与光电探测器 24 采用模拟信号连接,FPGA 26 与 D/A 转换器 27、PCI 接口 29 采用数字信号连接;D/A 转换器 27 与 FP 滤波器驱动电路 28 采用模拟信号连接;PCI 接口 29 与嵌入式计算机 30 采用数字信号连接,嵌入式计算机 30 与输出端口 31 采用电信号连接。

[0040] 在传输过程中,扫描激光器 17 输出光通过第二光纤耦合器 12,其中,一部分通过标准具 23 作为校准光,另一部分经 PLC 分束器 20 分为多份,通过光纤耦合器阵列 21 之后进入到光纤光栅阵列 22,光栅阵列的反射光通过耦合器进入到光电探测器 24,同校准光路并行进入到并行的多路 A/D 转换器 25 中,转化后的数字信号传输到 FPGA26 中,进行峰值检测处理,处理后的数据通过 PCI 接口 22 传输给嵌入式计算机做后续的处理计算、存储及显示,最后通过 RS232, USB 串口等输出接口 31 将数据输出。

[0041] 实施例 1

[0042] 根据图 3 所示进行各器件的连接,采用频率为 200Hz 的相位信号作为可调谐滤波器驱动电压初始值,通过 12 位的 DA 转换器,经过 PA84 运算放大器放大后成为锯齿波电压驱动信号,将此驱动电压作用于可调谐微机械结构滤波器上,则得到频率为 200Hz,波长间隔约为 10pm 的扫描激光输出,扫描激光信号通过增益匹配光纤放大器放大后,使用 5:95 的耦合器将扫描激光分为两份,其中一份作用于 FP 标准具,作为实时校准信号;另一份通过 1×12 分束器作用于 12 路光纤光栅传感序列。每一路光纤光栅序列由 20 个光纤光栅传感器组成。12 路光纤光栅传感序列及一路校准信号经过 13 个 PD 探测,经过 AD 转换器处理模块对数放大后,经过 FPGA 进行高速数据采集、数据处理和峰值检测,再经过嵌入式计算机进行进一步解算后输出光纤光栅传感序列携带的温度或应力信息。

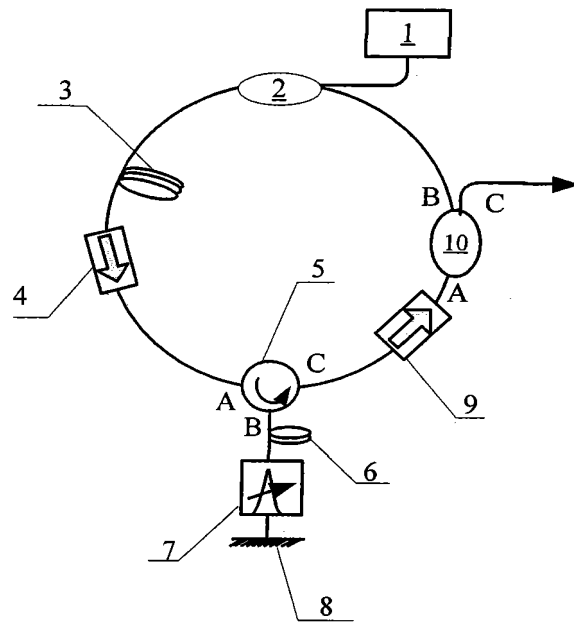


图 1

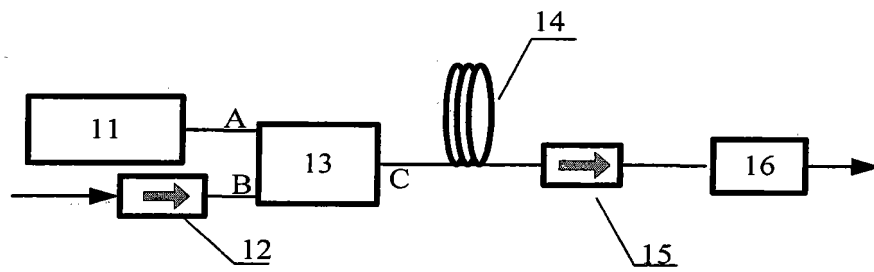


图 2

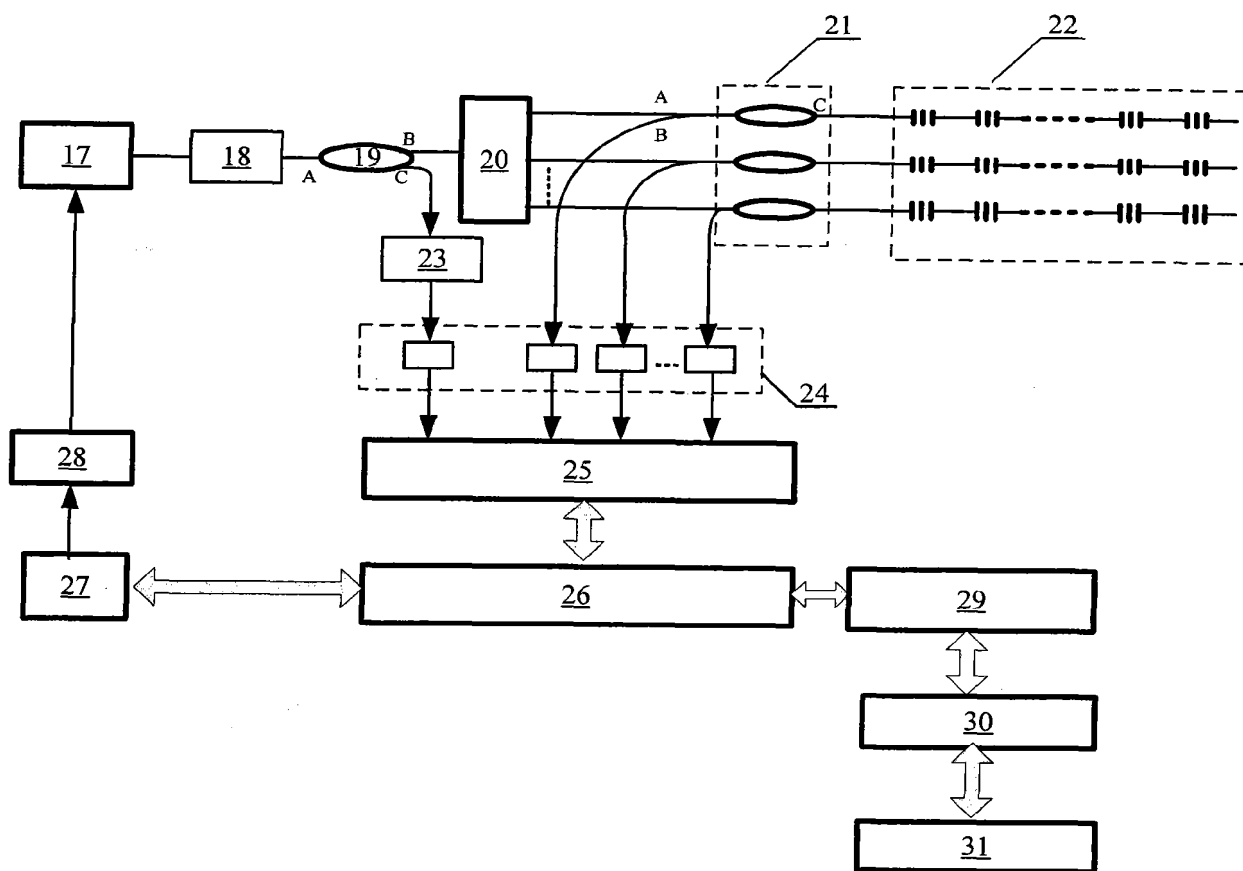


图 3

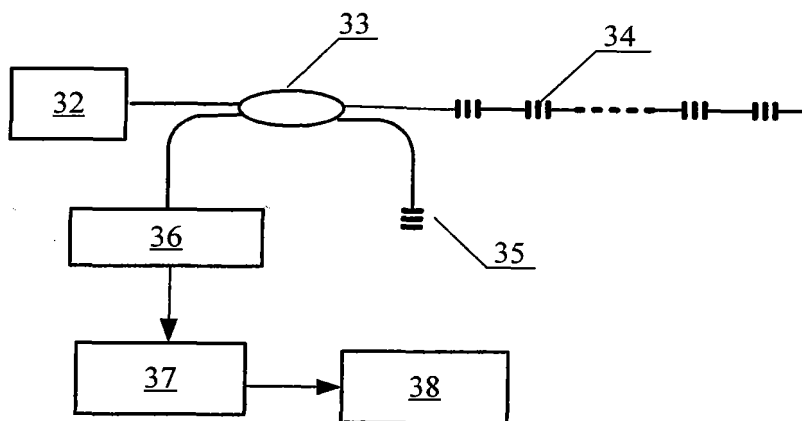


图 4