



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102778242 A

(43) 申请公布日 2012. 11. 14

(21) 申请号 201210239375. 4

(22) 申请日 2012. 07. 12

(71) 申请人 顾杨

地址 100086 北京市海淀区太阳园 11 号楼  
303

(72) 发明人 顾杨

(51) Int. Cl.

G01D 3/036 (2006. 01)

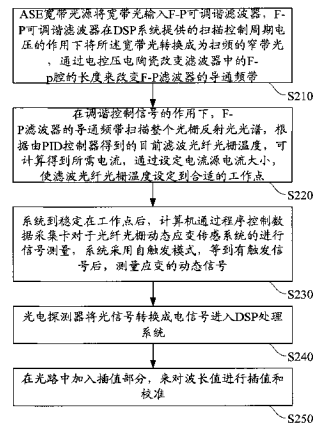
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

布拉格光栅的解调方法

(57) 摘要

一种布拉格光栅的解调方法,包括:ASE 宽带光源将宽带光输入 F-P 可调谐滤波器,F-P 可调谐滤波器在 DSP 系统提供的扫描控制周期电压的作用下将所述宽带光转换成为扫频的窄带光,通过电控压电陶瓷改变滤波器中的 F-P 腔的长度来改变 F-P 滤波器的导通频带;在调谐控制信号的作用下,F-P 滤波器的导通频带扫描整个光栅反射光谱,根据由 PID 控制器得到的目前滤波光纤光栅温度,可计算得到所需电流,通过设定电流源电流大小,使滤波光纤光栅温度设定到合适的工作点;系统到稳定在工作点后,计算机通过程序控制数据采集卡对于光纤光栅动态应变传感系统的进行信号测量,系统采用自触发模式,等到有触发信号后,测量应变的动态信号;光电探测器将光信号转换成电信号进入 DSP 处理系统;在光路中加入插值部分,来对波长值进行插值和校准。利用本方法,信噪比高,应变可测范围大。



1. 一种布拉格光栅的解调方法,其特征在于,包括:

S1:ASE 宽带光源将宽带光输入 F-P 可调谐滤波器,F-P 可调谐滤波器在 DSP 系统提供的扫描控制周期电压的作用下将所述宽带光转换为扫频的窄带光,通过电控压电陶瓷改变滤波器中的 F-P 腔的长度来改变 F-P 滤波器的导通频带;

S2:在调谐控制信号的作用下,F-P 滤波器的导通频带扫描整个光栅反射光光谱,根据由 PID 控制器得到的目前滤波光纤光栅温度,可计算得到所需电流,通过设定电流源电流大小,使滤波光纤光栅温度设定到合适的工作点;

S3:系统到稳定在工作点后,计算机通过程序控制数据采集卡对于光纤光栅动态应变传感系统的进行信号测量,系统采用自触发模式,等到有触发信号后,测量应变的动态信号,应变的动态信号计算如下:

传感光纤光栅的布拉格波长和应变的关系如下:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \lambda}{0.78 \lambda_0}$$

其中  $\lambda_0$  是传感光纤光栅的布拉格波长,  $\varepsilon$  是应变,  $\Delta \lambda$  是应变引起的传感光纤光栅的布拉格波长变化;

S4:光电探测器将光信号转换成电信号进入 DSP 处理系统;

S5:在光路中加入插值以对波长值进行插值和校准。

2. 如权利要求 1 所述的布拉格光栅的解调方法,其特征在于,通过输出电流  $I_x$  得到  $\Delta \lambda$ ,具体通过下式计算:

$$I_x = I_0 + \alpha n \Delta \lambda = I_0 + 0.78 \alpha n \lambda_0 \varepsilon$$

其中,  $I_0$  为基电流;  $\alpha$  为常数,取决于系统器件;  $n$  为噪音。

3. 如权利要求 1 所述的布拉格光栅的解调方法,其特征在于,步骤 S3 和 S4 之间还包括:

在控制信号的作用下,F-P 滤波器的导通频带扫描整个光栅反射光光谱,进而经过耦合器分成两路。

4. 如权利要求 1 所述的布拉格光栅的解调方法,其特征在于,所述在光路中加入插值以对波长值进行插值和校准包括:

引入一个波长固定的 FBG 作为参考光栅,以在返回的信号中会多出一个波峰,从而该波峰与标准具滤波器的 50 个波峰的相对位置判定所有波峰对应的电压值。

5. 如权利要求 1 所述的布拉格光栅的解调方法,其特征在于,所述方法进一步包括:通过使用  $1 \times N$  的光开关实现多通道多传感器复用解调。

## 布拉格光栅的解调方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学技术领域,特别涉及一种布拉格光栅的解调方法。

### 背景技术

[0002] 光纤布拉格光栅 (FBG) 是国际上新兴的一种在光纤通讯、光纤传感等光电子处理领域有着广泛应用前景的基础性光纤器件。当前 FBG 的制作与应用研究成为世界各国光纤技术研究的热点和重点。作为传感元件,光纤光栅将被感测信息转化为其反射波长的移动,即波长编码,因而不受光源功率波动和系统损耗的影响。另外,光纤光栅具有可靠性好、抗电磁干扰、抗腐蚀等特点,易于将多个光纤光栅串联在一根光纤上构成光纤光栅阵列,实现分布式传感,这是其他传感元件所不及的。

[0003] 光纤布拉格光栅 (FBG) 传感器的工作原理如图 1 所示,包括如下:FBG 的周期较小(光栅周期),其基本特性表现为一个反射式的光学滤波器,反射谱宽  $200 \sim 300\text{pm}$ ,布拉格反射波长。当 FBG 所处环境的温度、应力、应变或其它物理量发生变化时,光栅周期或纤芯折射率将发生变化,从而使反射光的波长发生变化。通过测量反射光波长的变化,就可以获得待测物理量的变化情况。此外,利用磁场诱导的左右旋极化波的折射率变化不同,可实现对磁场的直接测量;通过在光栅上涂敷压电材料等特殊功能材料,还可实现对电场等物理量的间接测量。

[0004] FBG 传感器的关键就在于精确的检测反射波长的微小移动,即对波长编码信号进行解调。利用高精度的光谱分析仪可以达到这一目的,但由于其体积庞大,价格昂贵,很难用于实际应用中。

[0005] 目前,光纤光栅大多利用光纤材料的光敏性(峰值位于  $240\text{nm}$  的紫外区)制成。紫外光通过掺杂光纤时,与纤芯内掺杂离子相互作用而引起折射率的永久性变化,在纤芯中形成相位光栅,其作用相当于一个透射或反射式的窄带滤波器。光纤光栅的周期和折射率调制深度直接决定了它的光谱特性,设计出不同结构的光纤光栅,就能够制作出不同特性的光纤器件。另外,光纤布拉格光栅作为新型传感器件在应变和温度传感领域受到广泛关注。光纤 FBG 光栅传感器在应变传感领域可以分为准静态传感和动态传感。准静态传感目前已在桥梁、隧道和矿井监测和材料检测等现场获的一定的应用。动态测量主要侧重于频域信号的分析,目前也有较大的进展。对于光纤光栅传感系统的关键技术布拉格波长信号的解调,目前在该领域已进行了多方面研究:基于 FBG 滤波法,马赫-泽德干涉法,法布里-拍罗滤波法等。上述内容中的一个重要问题是对于应变的变化,如高频振动一类的动态信号变化,或瞬态脉冲信号等,没有足够高的响应时间。

[0006] 例如,1992 年由 A. D. Kersey 等人提出非平衡 Mach-Zehnder (M-Z) 干涉解调法,宽带光源通过耦合器入射到 FBG 上,其反射光经过两个耦合器进入不等臂长的 M-Z 干涉仪,当传感光纤光栅受到外界作用时,其中心波长的变化导致非平衡 M-Z 干涉的相位发生变化,解调出相位变化量即可得到波长偏移量,实现了  $0.6\text{n}\epsilon / \sqrt{\text{Hz}}$  (在  $500\text{Hz}$  下) 的分辨率。该解调方法具有响应速度快、分辨率高的特点,多适用于动态测量,但在实际应用过程中,极

易受应变、温度等外界因素的干扰。

## 发明内容

[0007] 本申请实施例的目的是提供一种布拉格光栅的解调方法及装置,以实现适于应变控制的光纤布拉格光栅的波长解调方法及其系统。

[0008] 为解决上述技术问题,本申请实施例提供一种布拉格光栅的解调方法是这样实现的:

[0009] 1、一种布拉格光栅的解调方法,包括:

[0010] S1:ASE 宽带光源将宽带光输入 F-P 可调谐滤波器,F-P 可调谐滤波器在 DSP 系统提供的扫描控制周期电压的作用下将所述宽带光转换为扫频的窄带光,通过电控压电陶瓷改变滤波器中的 F-p 腔的长度来改变 F-P 滤波器的导通频带;

[0011] S2:在调谐控制信号的作用下,F-P 滤波器的导通频带扫描整个光栅反射光光谱,根据由 PID 控制器得到的目前滤波光纤光栅温度,可计算得到所需电流,通过设定电流源电流大小,使滤波光纤光栅温度设定到合适的工作点;

[0012] S3:系统到稳定在工作点后,计算机通过程序控制数据采集卡对于光纤光栅动态应变传感系统的进行信号测量,系统采用自触发模式,等到有触发信号后,测量应变的动态信号,应变的动态信号计算如下:

[0013] 传感光纤光栅的布拉格波长和应变的关系如下:

$$[0014] \quad \varepsilon = \frac{\Delta \lambda}{0.78 \lambda_0}$$

[0015] 其中  $\lambda_0$  是传感光纤光栅的布拉格波长, $\varepsilon$  是应变, $\Delta \lambda$  是应变引起的传感光纤光栅的布拉格波长变化;

[0016] S4:光电探测器将光信号转换成电信号进入 DSP 处理系统;

[0017] S5:在光路中加入插值以对波长值进行插值和校准。

[0018] 通过输出电流  $I_x$  得到  $\Delta \lambda$ ,具体通过下式计算:

$$[0019] \quad I_x = I_0 + \alpha n \Delta \lambda = I_0 + 0.78 \alpha n \lambda_0 \varepsilon$$

[0020] 其中, $I_0$  为基电流; $\alpha$  为常数,取决于系统器件; $n$  为噪音。

[0021] 步骤 S3 和 S4 之间还包括:

[0022] 在控制信号的作用下,F-P 滤波器的导通频带扫描整个光栅反射光光谱,进而经过耦合器分成两路。

[0023] 所述在光路中加入插值以对波长值进行插值和校准包括:

[0024] 引入一个波长固定的 FBG 作为参考光栅,以在返回的信号中会多出一个波峰,从而该波峰与标准具滤波器的 50 个波峰的相对位置判定所有波峰对应的电压值。

[0025] 所述方法进一步包括:

[0026] 通过使用  $1 * N$  的光开关实现多通道多传感器复用解调。

[0027] 由以上本申请实施例提供的技术方案可见,由于传感量是它反射波长的位移量,且该位移量与被测量对象应变变化呈线性关系,对系统中光源强度起伏、光纤损耗、光波相位、偏振等均不敏感,从根本上克服了强度干扰这一最为突出的问题。通过一根数据总线多

只光纤光栅实现了对物理量的分布式测量,又结合了采用微机并口双通道采集数据和信号处理软件的方案能较好的处理模拟信号,得到准确的应变场的空间分布状态和时间变化的信息,因此信噪比高,其稳定性、重复性和可靠性都很好,应变可测范围大。

### 附图说明

[0028] 为了更清楚地说明本申请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申请中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0029] 图 1 为光纤布拉格光栅 (FBG) 传感器的工作原理图;

[0030] 图 2 为本发明方法实施例的流程图;

[0031] 图 3 为 F-P 可调谐滤波器滤波法原理图。

### 具体实施方式

[0032] 本申请实施例提供一种布拉格光栅的解调方法。

[0033] 为了使本技术领域的人员更好地理解本申请中的技术方案,下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都应当属于本发明保护的范围。

[0034] 光纤布拉格光栅的解调原理:FBG 光栅是指单模掺铒光纤经紫外光照射成栅技术形成的全新光纤型 FBG 光栅。成栅后的光纤纤芯折射率呈现周期性分布条纹并产生 FBG 光栅效应。这种光栅的基本光学特性就是以共振波长为中心的窄带光学滤波器。FBG 光栅解调系统的解调原理是:外界测量加在传感头 FBG 上,根据光纤耦合模理论,当一宽光谱光源注入光纤,将产生模式耦合,FBG 光栅将反射回一个中心波长为布拉格波长的窄带光波,其布拉格波长为:

$$[0035] \quad \lambda_B = 2n_{\text{eff}} \Lambda \quad (1)$$

[0036] 其中  $\lambda$  是光栅周期,  $n_{\text{eff}}$  是纤芯的有效折射率。 $\lambda$  和  $n_{\text{eff}}$  均受外界环境的影响(如温度、应变),从而将导致 FBG 波长的改变。例如当沿光纤光栅轴向施加应力时,光纤产生应变,光栅的布拉格波长发生漂移,这就是光纤光栅的应变效应,应变效应可表示为:

$$[0037] \quad \Delta \lambda_B = 2(n_{\text{eff}} \Delta \Lambda + \Lambda \Delta n_{\text{eff}}) \quad (1)$$

[0038] 或者:

[0039]

$$\Delta \lambda_B = \lambda_B \left( \frac{\partial \Lambda}{\Lambda} + \frac{\partial n_{\text{eff}}}{n_{\text{eff}}} \right) \quad (2)$$

[0040] 这里,  $\Delta \lambda_B$  是由于应变效应光栅布拉格波长所产生的漂移,  $l$  是光栅的长度。任何对光栅的激励影响如温度或应变,都将导致 FBG 波长的改变,这个改变可以从光栅的反射光谱中检测出来,并且将这个改变的布拉格波长与以前没受激励影响时的布拉格波长进行比较,可以测定光栅受激励程度,然后通过插值漂移,进而通过计算机系统的计算和分析,

可以得到不同点上所受到的压力和应变的大小。

[0041] 基于此,提出本发明布拉格光栅的解调方法实施例。

[0042] 图 2 示出了该实施例的流程,如图所示,包括如下步骤:

[0043] S210:ASE 宽带光源将宽带光输入 F-P 可调谐滤波器,F-P 可调谐滤波器在 DSP 系统提供的扫描控制周期电压的作用下将所述宽带光转换为扫频的窄带光,通过电控压电陶瓷改变滤波器中的 F-P 腔的长度来改变 F-P 滤波器的导通频带。

[0044] F-P 可调谐滤波器滤波法原理如图 3 所示。FBG 的布拉格反射光经 3dB 耦合器注入可调谐光纤 F-P 滤波器,当可调谐光纤 F-P 滤波器的透射波峰和传感光栅的反射波峰重合时,滤波器的透射光强最大,通过透射光的强度和施加在压电陶瓷 (PZT) 上的电压就可以判断待测量的大小。在扫描电压上加一个小的抖动电压,可以提高系统的分辨率。可调谐 F-P 滤波法可以用于绝对测量和相对测量,也可用于动态和静态测量。而且,也可以用于分布式测量。

[0045] S220:在调谐控制信号的作用下,F-P 滤波器的导通频带扫描整个光栅反射光光谱,根据由 PID 控制器得到的目前滤波光纤光栅温度,可计算得到所需电流,通过设定电流源电流大小,使滤波光纤光栅温度设定到合适的工作点。

[0046] 发出激励信号,经功放驱动激振器,由激振器提供振动信号驱动悬臂梁,悬臂梁上的电阻应变片和光纤光栅分别感应到动态悬臂梁的动态应变,电阻应变片将振动信号转换为电信号经电阻应变仪进入信号分析仪(作为解调器输出的参考对比信号),光纤光栅接受振动信号后引起光栅波长发生改变,从而将振动信号转变为光信号,光信号通过光纤光栅解调器解调为电信号与动态应变仪的信号同时输入示波器,将两路信号进行对比,得到光纤光栅解调器探测到的信号频率与动态电阻应变仪探测到的频率关系,从而说明解调器正确地解调出了激励信号。改变函数发生器激出光栅应变信号,经过长时间的观测,解调出来的信号不发生变化,说明系统很好的地实现了自动跟踪。

[0047] 实验表明,对于不同频率信号,光纤光栅动态波长解调系统有相同的响应度,在解调仪的带宽范围内,电路输出本底噪声为 10Mv,所以分辨率 13pm。对动态信号响应带宽为 20Hz ~ 5kHz,通过改变 PIN 探测电路的反应速度可以改善这一指标。

[0048] S230:系统到稳定在工作点后,计算机通过程序控制数据采集卡对于光纤光栅动态应变传感系统的进行信号测量,系统采用自触发模式,等到有触发信号后,测量应变的动态信号。应变的动态信号计算如下:

[0049] 传感光纤光栅的布拉格波长和应变的关系如下:

[0050]

$$\varepsilon = \frac{\Delta \lambda}{0.78 \lambda_0}$$

(4)

[0051] 其中  $\lambda_0$  是传感光纤光栅的布拉格波长,  $\varepsilon$  是应变,  $\Delta \lambda$  是应变引起的传感光纤光栅的布拉格波长变化。

[0052] 可以通过输出电流  $I_x$  得到  $\Delta \lambda$ ,具体通过下式计算:

$$I_x = I_0 + \alpha n \Delta \lambda = I_0 + 0.78 \alpha n \lambda_0 \varepsilon$$

[0054]

(5)

[0055] 其中,  $I_0$  为基电流;  $\alpha$  为常数, 取决于系统器件 (包括光电二极管、滤波光纤光栅、光源等);  $n$  为由光源、循环器、传感器、耦合器、光纤等光学系统带来的噪音。

[0056] 还可以包括, 在控制信号的作用下, F-P 滤波器的导通频带扫描整个光栅反射光谱, 进而经过耦合器分成两路。其中一路光进入 FBG 传感器, 由于 F-P 滤波器的导通频带很窄, 当 F-P 滤波器的导通中心波长与某一光纤光栅的布拉格波长相等时, 光纤光栅的反射光经过耦合器进入光电探测器, 光电探测器将这一光纤光栅的反射光转换成电信号, 这个信号的峰项对应于从这一光纤光栅反射回的波长。进入光纤光栅传感器传回的光信号经过被测物理量的作用, 中心波长会发生移动。

[0057] S240: 光电探测器将光信号转换成电信号进入 DSP 处理系统。

[0058] 扫描控制电压为频率可调的锯齿波, 导通波长与扫描电压呈线性关系, FBG 反射的波峰中心波长就与扫描电压建立了对应关系。

[0059] 此时根据输出到 F-P 腔体压电陶瓷的电压即可推知反射光的波长, 即此刻 FBG 的中心波长。按照一个扫描周期对应一个光源带宽波长值推算出 FBG 的波长。

[0060] S250: 在光路中加入插值部分, 来对波长值进行插值和校准。

[0061] 引入一个波长固定的 FBG 作为参考光栅, 这样返回的信号中会多出一个波峰, 根据该波峰与标准具滤波器的 50 个波峰的相对位置, 可以判定所有波峰对应的电压值。根据传感器返回的电信号与插值光路输出电信号的相对时间即可知道 FBG 传感此刻的波长值, 进而知道波长变化量。整个系统可以包括三路电压信号, 即 FBG 传感器转换来的电信号, 插值光路输出的电信号, F-P 滤波器的扫描控制电信号。这些电压信号进入 DSP 系统处理, 并通过通信接口与计算机连接, 由计算机进行更进一步的处理。通过使用  $1 \times N$  的光开关, 可以实现多通道多传感器复用解调。在光路中使用标准具滤波器和参考 FBG, 很好地解决了这个问题。Etalon 标准具滤波器通过特殊的封装方式, 保证标准具能保持反射波长的极端稳定, 基本不受环境温度和湿度的影响。在一个扫描周期中, 标准具滤波器会反射回 50 个等间隔的波峰, 每个波峰间隔为 11ms。

[0062] 在解调系统中, 将布拉格光栅反射光谱与电压驱动可调法布里腔相叠加的部分, 作为整个系统的信号。当外界的振动引起传感探头光纤布拉格光栅的反射波长漂移的同时, 这个反射光谱与电压驱动可调法布里腔相叠加的部分将起变化, 使光信号的强弱变化将通过光电转换电路转变为更易于观测的电信号。测量该电信号变化的大小和频率就可以得知待测应变的大小和频率。

[0063] 需要说明的是, 还可以通过调整 F-P 腔的腔长使得其透射谱从一侧与 FBG 的反射谱相叠加。另外, 为了使解调系统的灵敏度尽可能提高, 使 F-P 透射谱与 FBG 反射谱相交在斜率最大的地方, 这样在同等的振动变化引起的反射波长漂移情况下, 两者的叠加部分将有最明显的变化。也就是说, 在同等的振动下将得到理想的灵敏度。

[0064] 任何对光纤光栅的激励影响如温度或应变, 都将导致这个光纤光栅布拉格波长的改变。分布式光纤光栅解调系统通过测量各测试点光纤光栅传感器反射光波长的精细变化来测量各点的待测参量的变化。

[0065] 用耦合器导引光纤光栅反射光进入可调谐窄带光纤 F-P 滤波器, 通过电控压电陶瓷改变滤波器中 F-P 的腔长来改变 F-P 滤波器的导通频带。

[0066] 在调谐控制信号的作用下, 光纤 F-P 滤波器的导通频带扫描整个光栅反射光光

谱。由于光纤 F-P 滤波器的导通频带很窄,当光纤 F-P 滤波器的导通中心波长与某一光纤光栅的布拉格波长相等时,有且仅有一个光纤光栅的反射光通过光纤 F-P 滤波器进入到光电探测器,光电探测器将这一光纤光栅的反射光转换成电信号,这个信号的峰顶对应于从这一光纤光栅反射回的波长。当某个被测 FBG 在某时刻的被测物理量如温度或者是应变发生改变,相应的反射 FBG 波长发生改变,检测出的反射波长的改变对应被测物理量的变化。通过这种解调方式,此解调系统能以几百 Hz 频率甚至几 kHz 的频率进行扫描,在可调谐 F-P 滤波器的每个扫描周期中,所有光纤光栅传感器的布拉格波长能得到快速测定。

[0067] 由于传感量是它反射波长的位移量,且该位移量与被测量对象应变变化呈线形关系,对系统中光源强度起伏、光纤损耗、光波相位、偏振等均不敏感,从根本上克服了强度干扰这一最为突出的问题。通过一根数据总线多只光纤光栅实现了对物理量的分布式测量,又结合了多通道采集数据和信号处理软件的方案能较好的处理 PIN 输出的模拟信号,得到准确的应变场的空间分布状态和时间变化的信息。本系统是集光机电和计算机一体化的分布式光纤解调系统,信噪比高,其稳定性、重复性和可靠性都很好,应变可测范围大。

[0068] 通过以上的实施方式的描述可知,本领域的技术人员可以清楚地了解到本发明可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品可以存储在存储介质中,如 ROM/RAM、磁碟、光盘等,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例或者实施例的某些部分所述的方法。

[0069] 本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其,对于系统实施例而言,由于其基本相似于方法实施例,所以描述的比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

[0070] 本发明可用于众多通用或专用的计算系统环境或配置中。例如:个人计算机、服务器计算机、手持设备或便携式设备、平板型设备、多处理器系统、基于微处理器的系统、置顶盒、可编程的消费电子设备、网络 PC、小型计算机、大型计算机、包括以上任何系统或设备的分布式计算环境等等。

[0071] 本发明可以在由计算机执行的计算机可执行指令的一般上下文中描述,例如程序模块。一般地,程序模块包括执行特定任务或实现特定抽象数据类型的例程、程序、对象、组件、数据结构等等。也可以在分布式计算环境中实践本发明,在这些分布式计算环境中,通过通信网络而被连接的远程处理设备来执行任务。在分布式计算环境中,程序模块可以位于包括存储设备在内的本地和远程计算机存储介质中。

[0072] 虽然通过实施例描绘了本发明,本领域普通技术人员知道,本发明有许多变形和变化而不脱离本发明的精神,希望所附的权利要求包括这些变形和变化而不脱离本发明的精神。



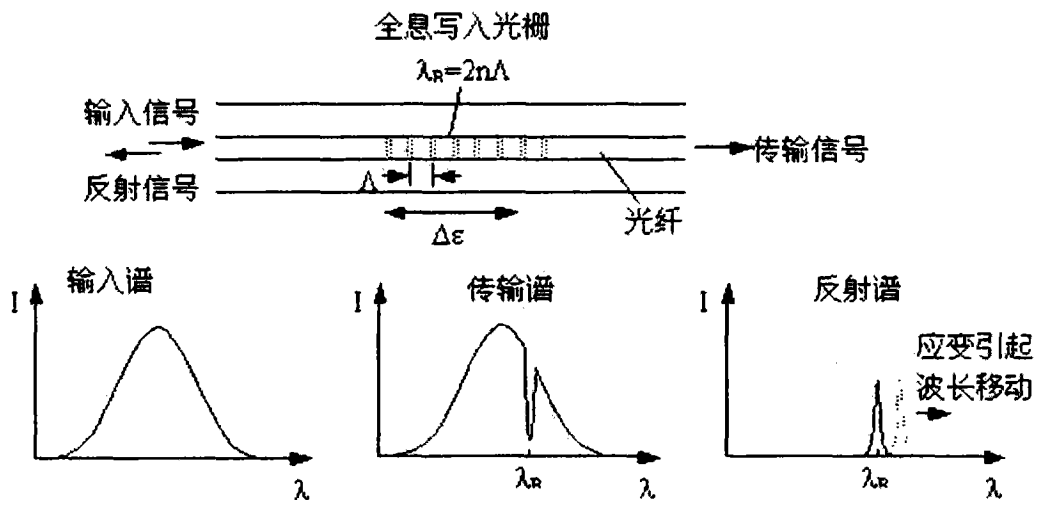


图 1

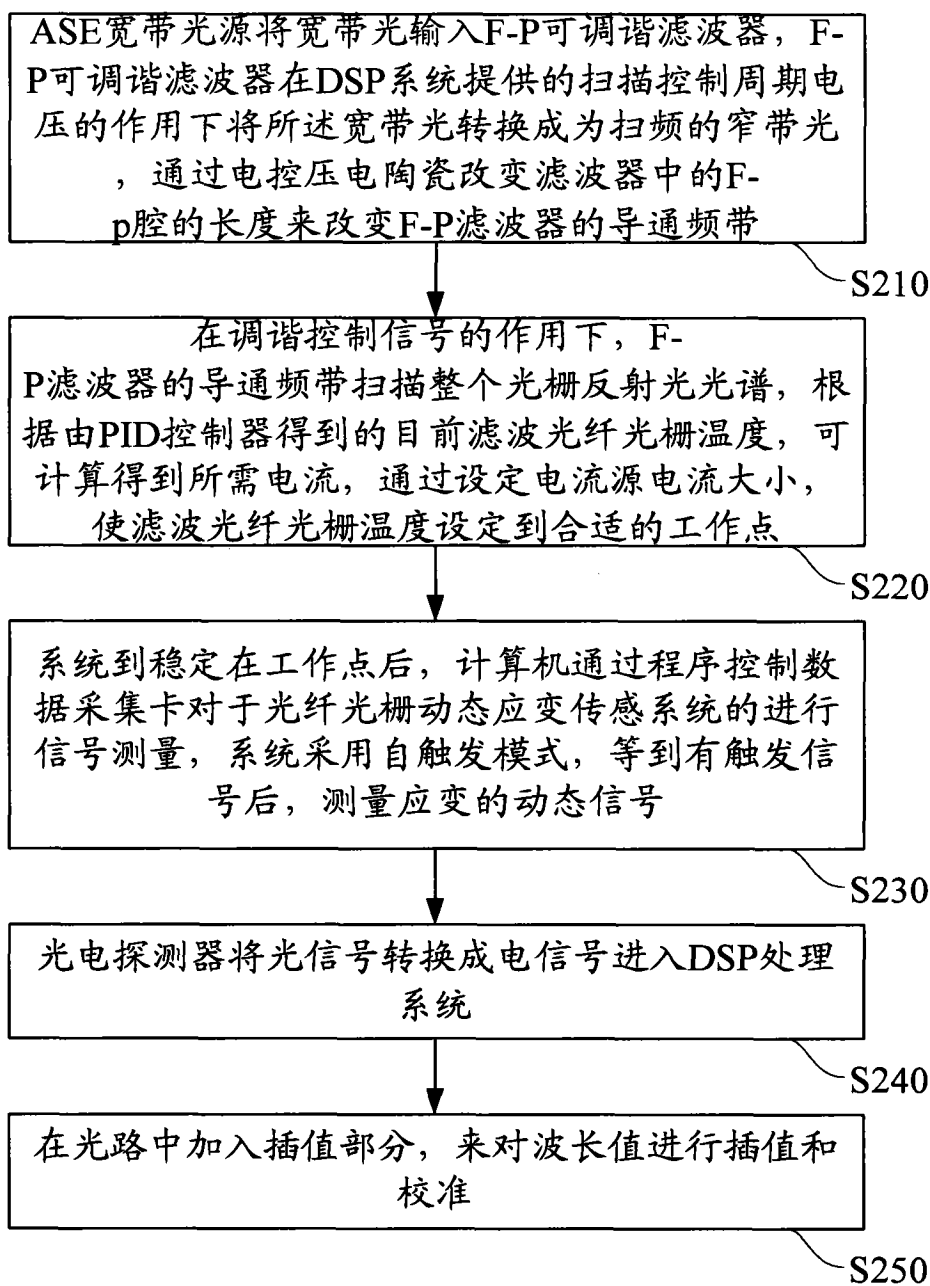


图 2

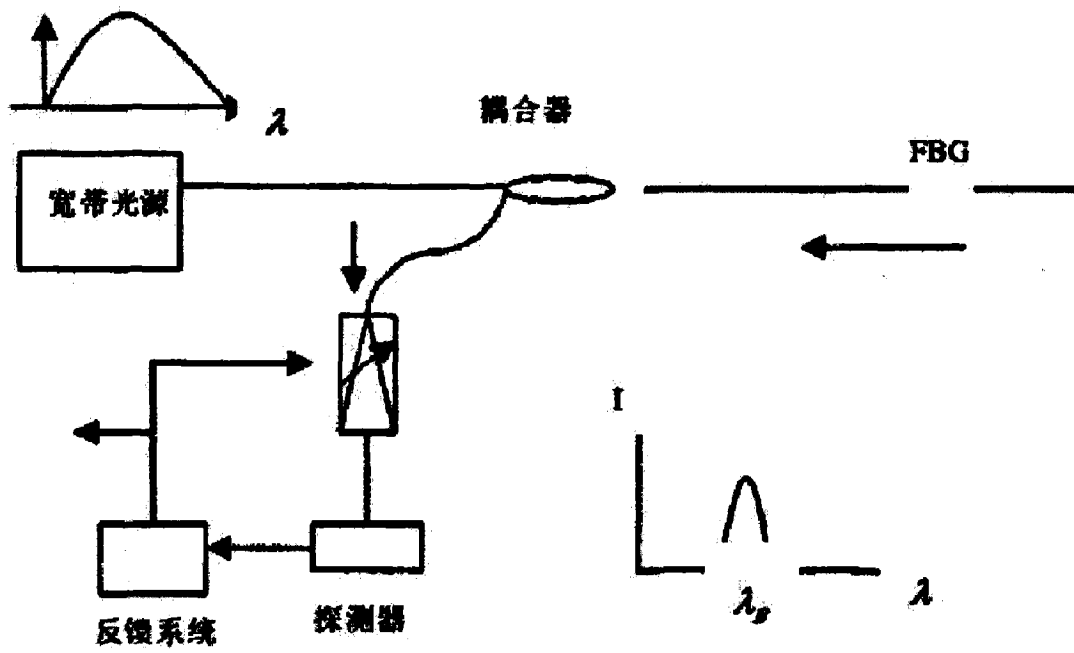


图 3