

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710133453.1

G01D 5/353 (2006.01)

G01D 5/36 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

G01K 11/32 (2006.01)

[43] 公开日 2008年3月19日

[11] 公开号 CN 101144729A

[22] 申请日 2007.9.30

[21] 申请号 200710133453.1

[71] 申请人 南京大学

地址 210093 江苏省南京市汉口路22号

[72] 发明人 路元刚 张旭苹 窦蓉蓉 王峰

[74] 专利代理机构 南京天翼专利代理有限责任公司
代理人 黄明哲

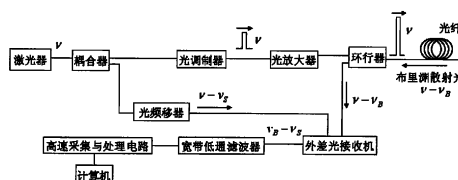
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

[54] 发明名称

基于快速傅立叶变换的布里渊光时域反射测量方法

[57] 摘要

本发明将本地参考光和传感光纤传回的布里渊散射光相干，产生的布里渊散射谱电信号完整通过宽带低通滤波器，由高速采集与处理电路采样，进行快速傅立叶变换，得到布里渊散射谱；再进行洛伦兹拟合，最终得到整个光纤上每个单元的布里渊频移；利用布里渊频移与应变和温度的关系，实现应变或温度的全分布式测量。本发明采用的高速采集与处理电路和快速傅立叶变换处理方法，可在一个脉冲探测周期内获得整个传感光纤上的布里渊散射谱，且快速傅立叶变换处理所需时间短，在不降低测量空间分辨率和测量精度的前提下，测量速度较现有技术提高一个数量级，从而可将信噪比提高至数倍以上，在很大程度上提高了测量精度，且本发明装置结构简单。



1、基于快速傅立叶变换的布里渊光时域反射测量方法，其特征是将连续光分为两路，一路做为本地参考光，一路做为探测光，探测光调制为脉冲宽度为 W 的脉冲光后，经放大注入传感光纤得到布里渊散射光，本地参考光和布里渊散射光在光接收机上相干后产生布里渊散射谱电信号，调整所述布里渊散射谱电信号的中心频率，使其完整通过带宽为布里渊散射谱半峰全宽的整数倍的宽带低通滤波器，再由高速采集与处理电路采样，采样频率 f 高于 2 倍宽带低通滤波器的带宽，时域采样信号被多次累加平均后，从

$\frac{W}{f}$

头至尾被分成时长为 W 的若干个单元，每个单元有 f 个采样点，对每个单元都进行快速傅立叶变换后，将所得布里渊散射谱进行洛伦兹拟合，得到各单元上布里渊散射谱峰值对应的频率，根据前述对布里渊散射谱电信号中心频率的调整进行恢复，即得整个光纤上每个单元的布里渊频移；利用布里渊频移与应变和温度成线性变化的关系，经过系统标定，即可获得传感光纤上任一位置处的应变或温度信息，实现应变或温度的全分布式测量。

2、根据权利要求 1 所述的测量方法，其特征是时域采样信号被多次累加平均后，分成的每个单元进行周期延拓，再做快速傅立叶变换。

3、根据权利要求 1 或 2 所述的测量方法，其特征是在本地参考光的光路或传感光纤与光接收机之间的光路中加入扰偏器。

4、根据权利要求 1 或 2 所述的测量方法，其特征是本地参考光经光频移器变频后注入到外差光接收机，探测光经过光调制器调制为脉冲光，再经光放大器和环行器后注入传感光纤，在所经过的光纤单元上产生后向布里渊散射光，不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经环行器注入到外差光接收机，在外差光接收机上，本地参考光与布里渊散射光相干，经光电转换，产生布里渊散射谱电信号，调整本地参考光的变频数，使布里渊散射谱电信号完整通过宽带低通滤波器。

5、根据权利要求 3 所述的测量方法，其特征是本地参考光经光频移器变频后注入到外差光接收机，探测光经过光调制器调制为脉冲光，再经光放大器和环行器后注入传感光纤，在所经过的光纤单元上产生后向布里渊散射光，不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经环行器注入到外差光接收机，在外差光接收机上，本地参考光与布里渊散射光相干，经光电转换，产生布里渊散射谱电信号，调整本地参考光的变频数，使布里渊散射谱电信号完整通过宽带低通滤波器。

6、根据权利要求 1 或 2 所述的测量方法，其特征是本地参考光直接注入到外差光

接收机，探测光经过光调制器调制为脉冲光，经光频移器频移，光放大器和环行器后注入传感光纤，在所经过的光纤单元上产生后向布里渊散射光，不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经环行器注入到外差光接收机，在外差光接收机上，本地参考光与布里渊散射光相干，经光电转换，产生布里渊散射谱电信号，调整探测光的变频数，使布里渊散射谱电信号完整通过宽带低通滤波器。

7、根据权利要求 3 所述的测量方法，其特征是本地参考光直接注入到外差光接收机，探测光经过光调制器调制为脉冲光，经光频移器频移，光放大器和环行器后注入传感光纤，在所经过的光纤单元上产生后向布里渊散射光，不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经环行器注入到外差光接收机，在外差光接收机上，本地参考光与布里渊散射光相干，经光电转换，产生布里渊散射谱电信号，调整探测光的变频数，使布里渊散射谱电信号完整通过宽带低通滤波器。

8、根据权利要求 1 或 2 所述的测量方法，其特征是本地参考光直接注入到外差高频光接收机，探测光经过光调制器调制为脉冲光，再经光放大器和环行器后注入传感光纤，在所经过的光纤单元上产生后向布里渊散射光，不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经环行器注入到外差高频光接收机，在外差高频光接收机上，本地参考光与布里渊散射光相干，经光电转换，产生高频外差布里渊散射谱信号，再与本地高频振荡源经混频器混频，使布里渊散射谱信号中心频率降低，完整通过宽带低通滤波器。

9、根据权利要求 3 所述的测量方法，其特征是本地参考光直接注入到外差高频光接收机，探测光经过光调制器调制为脉冲光，再经光放大器和环行器后注入传感光纤，在所经过的光纤单元上产生后向布里渊散射光，不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经环行器注入到外差高频光接收机，在外差高频光接收机上，本地参考光与布里渊散射光相干，经光电转换，产生高频外差布里渊散射谱信号，再与本地高频振荡源经混频器混频，使布里渊散射谱信号中心频率降低，完整通过宽带低通滤波器。

基于快速傅立叶变换的布里渊光时域反射测量方法

技术领域

本发明涉及对应变与温度进行全分布式测量的分布式光纤传感系统，具体为利用光纤中的布里渊散射来实现应变与温度全分布式测量的一种基于快速傅立叶变换的布里渊光时域反射测量方法。

背景技术

全分布式光纤传感技术以整条光纤为传感元件，利用光纤中的散射现象，可实现对传感光纤上待测物理量（应变、温度等）随时间和空间变化的连续分布测量。较以点式传感器阵列为基础的准分布式光纤传感技术，全分布式光纤传感技术具有更广阔的应用前景。布里渊光时域反射仪（Brillouin optical fiber time domain reflectometry, BOTDR）是一种基于布里渊散射的全分布式光纤传感系统，它利用传感光纤中后向布里渊散射光的频移随应变和温度成线性变化的关系，结合光时域反射技术，可实现对应变或温度的全分布式测量。由于布里渊光时域反射仪具有单端测量、空间分辨率高、传感距离长等优点，已经在很多结构监测中得到了应用。

在布里渊光时域反射测量中，为了获得传感光纤上各位置处的应变或温度，必须先向传感光纤中注入一束探测脉冲光，然后在光纤的同一端测量各位置处的后向布里渊散射光的频移。接收端光电探测器在不同时刻获得的散射光谱，与光纤上不同位置处的布里渊散射光一一对应。布里渊散射光的频移定义为布里渊散射光谱峰值处的频率与入射脉冲光频率的差值，普通单模光纤中布里渊散射光的频移约为 11GHz。布里渊散射光谱为洛伦兹型，其半峰全宽一般为数十兆赫兹。为获得某位置处布里渊散射光的频移，需要先探测该位置处的布里渊散射光谱，然后对探测到的布里渊散射光谱进行洛伦兹拟合，获得散射光谱峰值处的频率值，再结合已知的探测脉冲光频率，即可得到待求的布里渊散射光的频移。利用布里渊散射光的频移与应变变化或温度变化的线性关系，再经过系统标定，即可获得传感光纤上任一位置处的应变或温度信息。

由于布里渊散射光谱的频率高达 10^{14} Hz 数量级，一般采用光学外差相干方法把布里渊散射光谱信号的频率降至光电探测器可以响应的射频或中频频率范围进行探测。布里渊散射光谱的频率范围由光频降至射频或中频频段，但其频谱形状保持不变。相应地，我们称之为布里渊散射谱。可在射频或中频域探测布里渊散射谱后，根据光学相干中的

频率对应关系，获得待求的布里渊散射光谱。

现有技术：K. Shimizu, T. Horiguchi, Y. Koyamada and Toshio Kurashima, “Coherent self-heterodyne Brillouin OTDR for measurement of Brillouin frequency shift distribution in optical fibers”, *Journal of Lightwave Technology*, Vol.12, No.5, pp.730-736, 1994, 其对于布里渊散射谱的探测基于扫频探测方式，即多次向光纤中注入探测脉冲光，而每次仅探测光纤中布里渊散射光谱的不同部分。其检测系统如图 1 所示。相干光源激光器中射出频率为 ν 的连续光，被耦合器分成两路，其中一路作为本地参考光直接注入到外差光接收机。另一路激光作为探测光，首先被声光调制器调制为一定宽度的脉冲光，然后经移频电路使脉冲光的频率变为 $\nu + \nu_S$ ，再经光放大器和耦合器后注入传感光纤。脉冲光在传感光纤中前向传播的同时，在所经过的光纤单元上产生后向自发布里渊散射光，布里渊散射光谱的半峰全宽为数十兆赫兹，其中散射谱峰值处的频率为 $\nu + \nu_S - \nu_B$ ， ν_B 为布里渊频移，为待求的未知量。不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经耦合器注入到外差光接收机。在外差光接收机上，频率为 ν 的本地参考光与中心频率为 $\nu + \nu_S - \nu_B$ 的布里渊散射光相干，经光电转换，产生中心频率为 $\nu_B - \nu_S$ ，半峰全宽为数十兆赫兹的布里渊散射谱电信号。通过移频电路改变频移量 ν_S ，使电信号的中心频率 $\nu_B - \nu_S$ 降低至 100MHz 以下。布里渊散射谱电信号经混频器与频率为 ν_L 的本地振荡源混频，可获得布里渊散射谱的基带信号，经带宽为 B 的低通滤波器，进入由计算机控制的数字处理电路进行累加平均运算以提高信噪比，可获得整个传感光纤上频移量为 $\nu_S - \nu_L$ 、宽度为 B 的布里渊散射信号。由于低通滤波器的带宽 B 较窄，一般不超过 5MHz，如 1MHz，为了获得整个布里渊散射谱，需要多次，一般为数十次，向光纤中注入探测脉冲光，同时每次利用移频电路 4 改变频移量 ν_S 的值，使布里渊散射谱上不同频率成分的信号通过低通滤波器得到检测。

这种布里渊散射谱的扫频探测方式，把一个脉冲探测周期，即从探测脉冲光注入光纤，直至在同一端接收到光纤中所有的后向布里渊散射光，期间所获得的布里渊散射谱上以频率 $\nu_S - \nu_L$ 为中心、B 带宽范围内的功率信号，作为布里渊散射光谱上频移量 $\nu_S - \nu_L$ 对应的频率点处的功率。该探测方式存在的固有缺陷削弱了其测量精度：若滤波器带宽 B 过宽，会带来每个频率点处的较大的功率测量误差，引起较大的拟合误差，导

致应变或温度的测量误差较大。若带宽过窄，每个脉冲周期内获得的布里渊散射谱带宽范围较小，需要探测更多的频率点，会导致获取整个布里渊散射光谱的时间增加，导致整个测量时间过长。这在应变或温度变化较大的情况下尤甚。在测量时间确定的情况下，因为所需探测频率点的增多，会降低对每个频率点探测次数的减少，导致探测信噪比的降低，也会导致最终的应变或温的测量误差较大。

发明内容

本发明要解决的问题是：现有布里渊光时域反射测量方式需要多次测量才能得到所需的布里渊散射光谱数据，测量时间较长，虽可通过增加每次测量的带宽以缩短测量时间，但又会导致测量精度的降低。

本发明的技术方案是：基于快速傅立叶变换的布里渊光时域反射测量方法，将连续光分为两路，一路做为本地参考光，一路做为探测光，探测光调制为脉冲宽度为 W 的脉冲光后，经放大注入传感光纤得到后向布里渊散射光，本地参考光和布里渊散射光在光接收机上相干后产生布里渊散射谱电信号，调整所述布里渊散射谱电信号的中心频率，使其完整通过带宽为布里渊散射谱半峰全宽的整数倍的宽带低通滤波器，再由高速采集与处理电路采样，采样频率 f 高于 2 倍宽带低通滤波器的带宽，时域采样信号被多

次累加平均后，从头至尾被分成时长为 W 的若干个单元，每个单元有 $\frac{W}{f}$ 个采样点，对每个单元都进行快速傅立叶变换后，将所得布里渊散射谱进行洛伦兹拟合，得到各单元上布里渊散射谱峰值对应的频率，根据前述对布里渊散射谱电信号中心频率的调整进行恢复，即得整个光纤上每个单元的布里渊频移；利用布里渊频移与应变和温度成线性变化的关系，经过系统标定，即可获得传感光纤上任一位置处的应变或温度信息，实现应变或温度的全分布式测量。

被测传感光纤的空间分辨率 $\frac{cW}{2n}$ ，其中 c 为真空中的光速， n 为光纤的折射率，每个单元中共有 $\frac{W}{f}$ 的采样点，进行一次快速傅立叶变换即可获得该光纤单元上的整个布里渊散射谱。为了提高布里渊散射谱的频率分辨率，时域采样信号被多次累加平均后，分成的每个单元进行周期延拓，再做快速傅立叶变换。

为了降低布里渊散射光偏振态变化对相干探测的影响，本发明还在本地参考光的光

路中或传感光纤与光接收机之间的探测光路中加入扰偏器。

本发明获得布里渊散射谱电信号的方式有以下几种：

(1)、本地参考光经光频移器变频后注入到外差光接收机，探测光经过光调制器调制为脉冲光，再经光放大器和环行器后注入传感光纤，在所经过的光纤单元上产生后向布里渊散射光，不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经环行器注入到外差光接收机，在外差光接收机上，本地参考光与布里渊散射光相干，经光电转换，产生布里渊散射谱电信号，调整本地参考光的变频数，使布里渊散射谱电信号完整通过宽带低通滤波器。

(2)、本地参考光直接注入到外差光接收机，探测光经过光调制器调制为脉冲光，经光频移器变频，再经光放大器和环行器后注入传感光纤，在所经过的光纤单元上产生后向布里渊散射光，不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经环行器注入到外差光接收机，在外差光接收机上，本地参考光与布里渊散射光相干，经光电转换，产生布里渊散射谱电信号，调整探测光的变频数，使布里渊散射谱电信号完整通过宽带低通滤波器。

(3)、本地参考光直接注入到外差高频光接收机，探测光经过光调制器调制为脉冲光，再经光放大器和环行器后注入传感光纤，在所经过的光纤单元上产生后向布里渊散射光，不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经环行器注入到外差高频光接收机，在外差高频光接收机上，本地参考光与布里渊散射光相干，经光电转换，产生高频外差布里渊散射谱信号，再与本地高频振荡源经混频器混频，使布里渊散射谱信号中心频率降低，完整通过宽带低通滤波器。

本发明的优点有：

(1)、测量速度得到较大提高：

本发明由于采用了高速采集与处理电路和快速傅立叶变换处理方法，可在一个脉冲探测周期内获得整个传感光纤上的布里渊散射谱，对于布里渊散射谱的探测时间为现有技术的数十分之一。由于快速傅立叶变换处理所需时间仅与几个脉冲探测周期相当，故本发明在不降低测量空间分辨率和测量精度的前提下，测量速度较现有技术提高一个数量级；

(2)、测量精度可得到提高：

在测量时间确定的情况下，由于本发明对于布里渊散射谱的探测时间为现有技术的数十分之一，故平均次数可相应提高数十倍，从而可将信噪比提高至数倍以上，在很大

程度上提高了测量精度；

(3)、测量装置结构更简单：

本发明不需使用本地振荡源，装置结构比现有技术的装置更为简单，而在使用本地振荡源的方式中，则无需光频移器，结构仍然精简。

附图说明

图 1 为现有技术扫频布里渊光时域反射仪的结构示意图。

图 2 为本发明测量方式 1 的结构示意图。

图 3 为本发明测量方式 2 的结构示意图。

图 4 为本发明测量方式 3 的结构示意图。

图 5 为本发明中具体实施例的分布式温度测量结果。

具体实施方式

下面结合具体测量方式和附图说明本发明的测量方法。

测量方式 1：

如图 2 所示，相干光源激光器中出射的频率为 ν 的连续光，被耦合器分成两路，其中一路经光频移器后频率变为 $\nu - \nu_s$ ，作为本地参考光注入到外差光接收机；另一路激光作为探测光，首先被光调制器调制为脉冲宽度为 W 的脉冲光，再经光放大器和环形器注入传感光纤。脉冲光在传感光纤中前向传播的同时，在所经过的光纤单元上产生后向自发布里渊散射光，布里渊散射光谱的半峰全宽为数十兆赫兹，其中散射谱峰值处的频率为 $\nu - \nu_B$ ， ν_B 是布里渊频移。不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经环形器注入到外差光接收机。在外差光接收机上，频率为 $\nu - \nu_s$ 的本地参考光与中心频率为 $\nu - \nu_B$ 的布里渊散射光相干，经光电转换，产生中心频率为 $\nu_B - \nu_s$ ，半峰全宽为数十兆赫兹的布里渊散射谱电信号。通过调整光频移器使 ν_s 为某一适当的确定值，可使中心频率为 $\nu_B - \nu_s$ 的整个布里渊散射谱电信号均通过宽带低通滤波器，宽带低通滤波器的带宽 B 可为布里渊散射谱半峰全宽的数倍。布里渊散射谱电信号被高速采集与处理电路采样，采样频率 f 高于宽带低通滤波器带宽 B 的 2 倍。在高速采集与处理电路中，时域采样信号被多次累加平均后，从头至尾被分成若干个单元进行快速傅立叶变换(FFT)。

每个单元的时长为 W ，对应于被测传感光纤的空间分辨率 $\frac{cW}{2n}$ ，其中 c 为真空中的光速，

n 为光纤的折射率。每个单元中共有 $\frac{W}{f}$ 的采样点，进行一次 FFT 即可获得该光纤单元上的整个布里渊散射谱。为了提高布里渊散射谱的频率分辨率，可将每个单元进行周期延拓后再做 FFT，从而提高后继洛伦兹拟合的精度及最终测量的精度。每个单元都进行 FFT 后，对所得布里渊散射谱进行洛伦兹拟合，得出各单元上布里渊散射谱峰值对应的频率 $\nu_B - \nu_S$ ，再根据已知的 ν_S ，即可获得整个光纤上每个单元的布里渊频移 ν_B 。在计算机中利用布里渊频移与应变和温度成线性变化的关系，再经过系统标定，即可获得传感光纤上任一位置处的应变或温度信息，实现应变或温度的全分布式测量。

其中，激光器采用波长为 1550.546nm 的 DFB 半导体激光器，耦合器的分光比为 50:50，把激光器出射的光等分为探测光和本地参考光。光频移器为一 15.2GHz 的电光调制器，通过控制电光调制器驱动源的频率，令光频频移量 ν_S 固定为 10.5GHz。探测光路中光调制器为一 10.8GHz 的电光调制器，将连续光调制为脉冲宽度为 300ns 的脉冲光。光放大器中放大器件为 C 波段掺铒光纤放大器，为了滤除掺铒光纤放大器带来的自发辐射噪声，放大器单元中还包含一个环行器与一个光纤光栅。放大后的探测脉冲光经环行器后注入一条长为 1080 米的传感光纤中，传感光纤在 925 米至 1005 米共 80 米的长度上为大有效面积光纤，其余部分为普通单模光纤。在传感光纤中接入一段大有效面积光纤，是为了模拟传感光纤在该段上处于超低温。在 26℃ 的温度且不受应变的条件下，普通单模光纤与大有效面积光纤的布里渊频移之差为 182MHz，根据布里渊频移与温度变化的关系 $\Delta\nu_B = k\Delta T$ (其中 $k = 1.07 \text{ MHz}/^\circ\text{C}$)，这相当于在不受应变的条件下，若 1080 米长的传感光纤均为普通单模光纤，925 米至 1005 米这段光纤的温度比其余段的温度低 170℃，即该段光纤真实温度应为 -144℃。

在外差光接收机上，产生中心频率约为 350MHz，半峰全宽为 90MHz 的布里渊散射谱电信号，宽带低通滤波器的带宽 B 为 1GHz。布里渊散射谱电信号被高速采集与处理电路采样，采样频率 f 为 4GHz。在高速采集与处理电路中，时域采样信号被 4860 次累加平均后，从头至尾被分成 36 个单元进行 FFT，每个单元的采样点数为 1200，所对应的被测传感光纤的空间分辨率为 30 米。每个单元都进行 FFT 后，对所得布里渊散射

谱进行洛伦兹拟合，得到各单元上布里渊散射谱峰值对应的频率 $\nu_B - \nu_S$ ，再根据已知的 ν_S ，获得整个光纤上每个单元的布里渊频移 ν_B 。利用布里渊频移与温度变化的关系，获得整个传感光纤上的温度信息，实现了温度的全分布式测量，测量结果如图 5 所示。与理论值相比，整条光纤上的温度测量的均方根误差为 1.3°C 。整个测量过程小于 2 分钟。

测量方式 2:

如图 3 所示，相干光源激光器中出射的频率为 ν 的连续光，被耦合器分成两路，本地参考光直接注入到外差光接收机，探测光经过光调制器调制为脉冲光，经光频移器将频率频移为 $\nu + \nu_S$ ，光放大器和环行器后注入传感光纤，在所经过的光纤单元上产生后向布里渊散射光，不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经环行器注入到外差光接收，在外差光接收机上，本地参考光与布里渊散射光相干，经光电转换，产生中心频率为 $\nu_B - \nu_S$ ，半峰全宽为数十兆赫兹的布里渊散射谱电信号， ν_B 是布里渊频移，调整探测光的变频数 ν_S ，使布里渊散射谱电信号完整通过宽带低通滤波器。在高速采集与处理电路中，时域采样信号被多次累加平均后，分单元进行 FFT，之后对所得布里渊散射谱进行洛伦兹拟合，求出各单元上布里渊散射谱峰值对应的频率，再根据探测光的移频量，即可获得整个光纤上每个单元的布里渊频移。在计算机中利用布里渊频移与应变和温度成线性变化的关系，再经过系统标定，即可获得传感光纤上任一位置处的应变或温度信息，实现应变或温度的全分布式测量。

与测量方式 1 相比，光频移器 4 被置于探测光路中，将探测光进行光频频移而本地参考光路的频率保持不变，其检测与信号处理方式与测量方式 1 方法相同。

测量方式 3:

如图 4，本地参考光直接注入到外差高频光接收机，探测光经过光调制器调制为脉冲光，再经光放大器和环行器后注入传感光纤，在所经过的光纤单元上产生后向布里渊散射光，不同光纤位置处的后向布里渊散射光依次后向传播，经环行器注入到外差高频光接收机，在外差高频光接收机上，本地参考光与布里渊散射光相干，经光电转换，产生频率为 ν_B 的高频外差布里渊散射谱信号， ν_B 即为布里渊频移，再与本地高频振荡源经混频器混频，使布里渊散射谱信号中心频率降低，完整通过宽带低通滤波器。在高速

采集与处理电路中，时域采样信号被多次累加平均后，分单元进行 FFT，之后对所得布里渊散射谱进行洛伦兹拟合，求出各单元上布里渊散射谱峰值对应的频率，再根据探测光的移频量，即可获得整个光纤上每个单元的布里渊频移。在计算机中利用布里渊频移与应变和温度成线性变化的关系，再经过系统标定，即可获得传感光纤上任一位置处的应变或温度信息，实现应变或温度的全分布式测量。

测量方式 3 不对探测光或本地参考光移频，布里渊散射光与本地参考光相干后即为本布里渊频移，频率约为 11GHz，故外差光接收机为响应带宽高于 11GHz 的外差高频光接收机。经光接收机光电转换后，高频外差布里渊散射谱信号与本地高频振荡源经混频器混频，中心频率降至几百兆赫兹以下的中频，经宽带低通滤波器滤波。其信号采集与处理方式与测量方式 1 的方法相同。

本发明中对时域信号进行 FFT、洛伦兹拟合等运算也可以在计算机中完成。另外为了降低布里渊散射光偏振态变化对相干探测的影响，本发明在本地参考光的光路中或传感光纤与光接收机之间的探测光路中加入扰偏器。

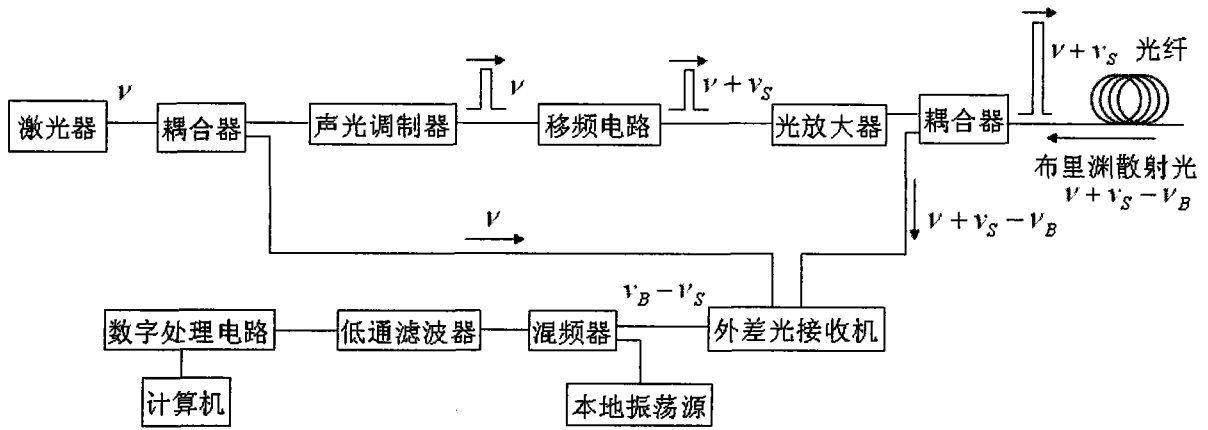


图 1

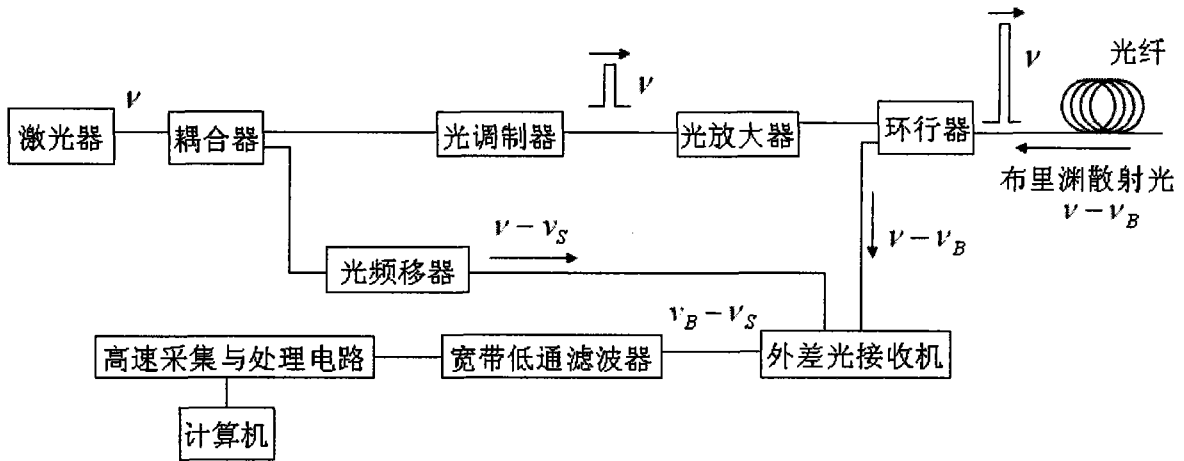


图 2

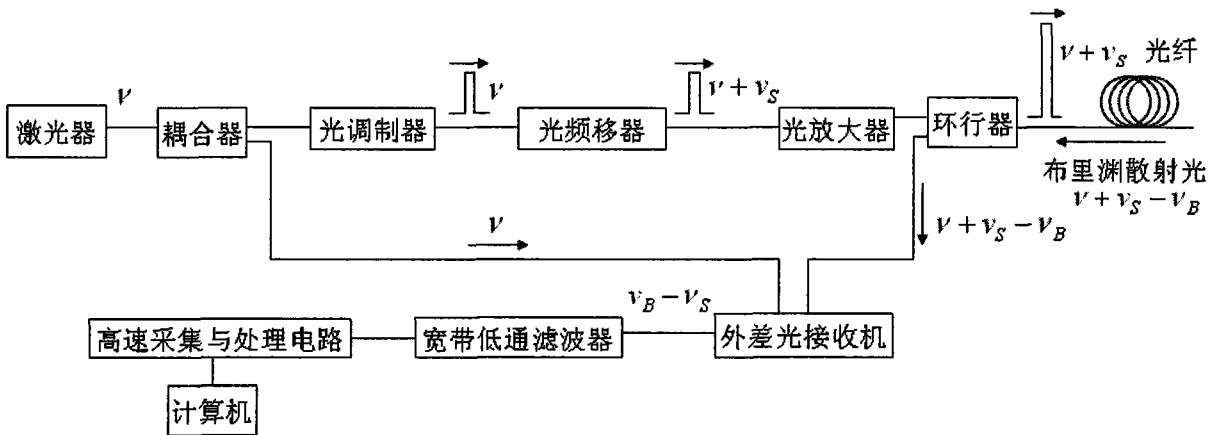


图 3

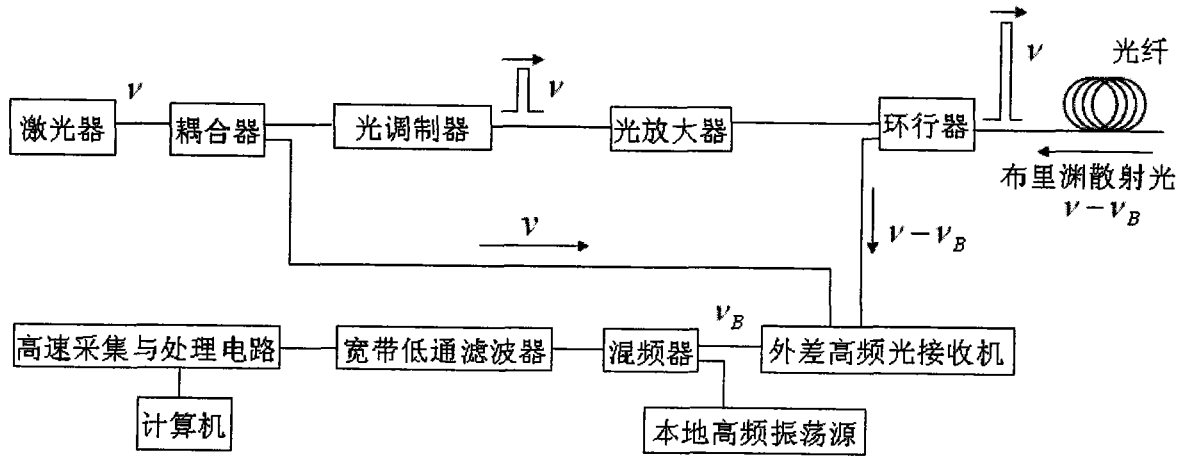


图 4

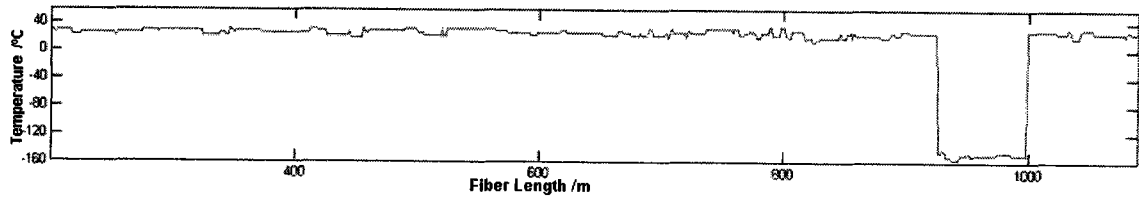


图 5