



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110501092 A
(43)申请公布日 2019. 11. 26

(21)申请号 201910912361.6

(22)申请日 2019.09.25

(71)申请人 华北电力大学(保定)

地址 071003 河北省保定市永华北大街619号

(72)发明人 王健健 李永倩 廖建华

(74)专利代理机构 石家庄冀科专利商标事务所有限公司 13108

代理人 李羨民 高锡明

(51) Int. Cl.

G01K 11/32(2006.01)

G06N 3/08(2006.01)

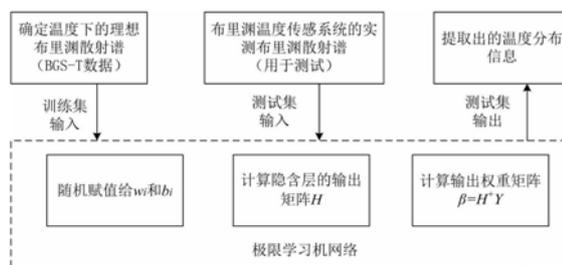
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种布里渊光纤传感系统温度提取方法

(57)摘要

一种布里渊光纤传感系统温度提取方法,所述布里渊光纤传感系统由激光器、第一光纤耦合器、电光调制器、任意信号发生器、第一掺铒光纤放大器、第二掺铒光纤放大器、第一光栅滤波器、第二光栅滤波器、环形器、扰偏器、第二光纤耦合器、光电检测器和数据采集单元构成;在进行温度提取时,首先确定布里渊频移的温度系数;然后构建确定温度下的理想布里渊增益谱数据;再将第二步骤获得的数据作为训练样本,按测量条件训练极限学习神经网络;最后将系统测量数据输入训练好的极限学习神经网络,则极限学习神经网络输出即为温度信息。本发明避免了曲线拟合带来的测量误差,提高了测量精度,同时也缩短了信号处理的时间,提高了系统测量效率。



1. 一种布里渊光纤传感系统温度提取方法,其特征是,所述布里渊光纤传感系统由激光器、第一光纤耦合器、电光调制器、任意信号发生器、第一掺铒光纤放大器、第二掺铒光纤放大器、第一光栅滤波器、第二光栅滤波器、环形器、扰偏器、第二光纤耦合器、光电检测器和数据采集单元构成;在进行温度提取时,首先利用布里渊光纤传感系统测量不同温度对应的布里渊频移,以确定布里渊频移的温度系数;然后利用洛伦兹型曲线和高斯型曲线按照一定比例的线性加权组合,构建确定温度下的理想布里渊增益谱数据;再将第二步骤获得的数据作为训练样本,按测量条件训练极限学习机网络;最后将系统测量数据输入训练好的极限学习机网络,则极限学习机网络输出即为温度信息。

2. 根据权利要求1所述的布里渊光纤传感系统温度提取方法,其特征是,所述方法包括以下步骤:

1) 确定布里渊频移的温度系数

利用布里渊分布式光纤传感系统测量不同温度对应的布里渊频移,取室温、40℃、45℃、50℃、55℃、60℃、65℃和70℃共8个温度对应的布里渊频移进行线性拟合,得到布里渊频移的温度系数为1.09MHz/℃。

2) 构建确定温度下的理想布里渊增益谱数据

$$f_B(v) = k \frac{(\Delta v_{B1} / 2)^2}{(v - v_B)^2 + (\Delta v_{B1} / 2)^2} + (1 - k) \exp[-2.773(v - v_B)^2 / \Delta v_{B2}^2]$$

其中, $f_B(v)$ 为布里渊增益谱, v 为频率, k 为线性权重比,取值范围为0-1, v_B 为布里渊频移, Δv_{B1} 和 Δv_{B2} 分别为洛伦兹曲线线宽和高斯曲线线宽,

设置以下参数:温度范围为0-100℃及变化步进为0.5℃;线宽 Δv_{B1} 和 Δv_{B2} 范围为10-70MHz及变化步进为1MHz;设置 k 的变化步进为0.1;设置 v_B 的范围为10.78-10.98GHz及变化步进为1MHz;

3) 训练极限学习机网络

具有L个隐藏层的极限学习机网络模型可描述为

$$f_L(x_j) = \sum_{i=1}^L \beta_i g(w_i x_j + b_i)$$

其中 $f_L(x_j)$ 为极限学习机网络的输出, x_j 为输入变量, $g(x)$ 为激励函数, β_i 为输出权重, w_i 和 b_i 分别为输入权重和偏置,训练过程如下:

a. 随机赋值给 w_i 和 b_i ;

$$H(w_1, w_2, \dots, w_L, b_1, \dots, b_L, x_1, \dots, x_N) = \begin{bmatrix} g(w_1 x_1 + b_1) \cdots g(w_L x_1 + b_L) \\ \dots \\ g(w_1 x_N + b_1) \cdots g(w_L x_N + b_L) \end{bmatrix}_{N \times L};$$

c. 计算输出权重矩阵 $\beta = H^\dagger Y$

其中 β 为权重矩阵, H^\dagger 为隐藏层输出矩阵的广义逆矩阵, Y 为输出变量矩阵;

4) 提取布里渊光纤传感系统测量的温度数据

将布里渊光纤传感系统的测量信号输入训练好的极限学习机网络,则网络输出即为所需的温度数据。

一种布里渊光纤传感系统温度提取方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于极限学习机网络的温度提取方法,该方法可提高温度测量精度,属于测量技术领域。

背景技术

[0002] 基于布里渊散射的分布式光纤传感技术是近几十年来研究的热点。布里渊光时域反射系统是一种典型的布里渊分布式光纤传感系统,通常由激光器、耦合器、电光调制器、任意信号发生器、掺铒光纤放大器、光栅滤波器、环形器、扰偏器、光电检测器和数据采集单元构成。该系统利用自发布里渊散射光实现温度等变量的分布式测量,并被广泛应用于电力线缆、油气管道等大型建筑的健康监测领域。具体来说,布里渊散射光和入射光的频差定义为布里渊频移,它是温度和应变的线性函数。因此,光纤沿线的温度等信息可以通过测量光纤某一位置的布里渊频移得到,这是基于布里渊散射实现分布式测量的基本原理。由于背向自发布里渊散射光非常微弱,该技术的关键问题之一是如何从检测到的信号中准确地找到布里渊频移,进而确定温度等信息。

[0003] 通常采用洛伦兹曲线拟合法确定布里渊频移,即找到被测布里渊增益谱的最大值对应的中心频率作为布里渊频移,然后利用布里渊频移与温度的线性关系公式计算得到温度信息。洛伦兹曲线拟合法确定布里渊频移的精度取决于拟合初始参数的合理设置,而且对被测布里渊增益谱的信号处理需要迭代优化拟合参数,这意味着曲线拟合法需要较长的时间。较长的数据处理时间会使得由该系统获得温度数据的时间可能严重滞后于温度的变化,降低了温度传感的时效性。而且曲线拟合过程中可能出现过拟合或欠拟合的现象,特别是在选择较大扫频步进时,会导致估计不准确,影响测量精度,也不利于实现高精度的传感测量。此外,光纤的不同掺杂和横向结构使得布里渊增益谱比单一的洛伦兹型曲线更加复杂。由于光纤中被测光的自然展宽和多普勒展宽现象以及电光调制器消光比不足导致的连续光泄漏,使得布里渊增益谱会逐渐趋于高斯型曲线。因此,布里渊增益谱不能用简单的洛伦兹型曲线公式来描述,需利用洛伦兹型曲线和高斯型曲线按照一定比例的线性加权组合来描述,这也在一定程度上影响了洛伦兹曲线拟合方法的测量精度。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于针对现有技术之弊端,提供一种布里渊光纤传感系统温度提取方法,以缩短温度测量时间,提高温度测量精度。

[0005] 本发明所述问题是以下述技术方案解决的:

[0006] 一种布里渊光纤传感系统温度提取方法,所述布里渊光纤传感系统由激光器、第一光纤耦合器、电光调制器、任意信号发生器、第一掺铒光纤放大器、第二掺铒光纤放大器、第一光栅滤波器、第二光栅滤波器、环形器、扰偏器、第二光纤耦合器、光电检测器和数据采集单元构成;在进行温度提取时,首先利用布里渊光纤传感系统测量不同温度对应的布里渊频移,以确定布里渊频移的温度系数;然后利用洛伦兹型曲线和高斯型曲线按照一定比

例的线性加权组合,构建确定温度下的理想布里渊增益谱数据;再后将第二步骤获得的数据作为训练样本,按测量条件训练极限学习神经网络;最后将系统测量数据输入训练好的极限学习神经网络,则极限学习神经网络输出即为温度信息。

[0007] 上述布里渊光纤传感系统温度提取方法,所述方法包括以下步骤:

[0008] 1) 确定布里渊频移的温度系数

[0009] 利用布里渊光纤传感系统测量不同温度对应的布里渊频移,取室温、40℃、45℃、50℃、55℃、60℃、65℃和70℃共8个温度对应的布里渊频移进行线性拟合,得到布里渊频移的温度系数为1.09MHz/℃;

[0010] 2) 构建确定温度下的理想布里渊增益谱数据

$$[0011] \quad f_B(\nu) = k \frac{(\Delta\nu_{B1}/2)^2}{(\nu - \nu_B)^2 + (\Delta\nu_{B1}/2)^2} + (1-k) \exp[-2.773(\nu - \nu_B)^2 / \Delta\nu_{B2}^2]$$

[0012] 其中, $f_B(\nu)$ 为布里渊增益谱, ν 为频率, k 为线性权重比,取值范围为0-1, ν_B 为布里渊频移, $\Delta\nu_{B1}$ 和 $\Delta\nu_{B2}$ 分别为洛伦兹曲线线宽和高斯曲线线宽,

[0013] 设置以下参数:温度范围为0-100℃,变化步进为0.5℃;线宽 $\Delta\nu_{B1}$ 和 $\Delta\nu_{B2}$ 范围为10-70MHz,变化步进为1MHz;设置 k 的变化步进为0.1;设置 ν_B 的范围为10.78-10.98GHz,变化步进为1MHz;

[0014] 3) 训练极限学习神经网络

[0015] 具有 L 个隐藏层的极限学习神经网络模型可描述为

$$[0016] \quad f_L(x_j) = \sum_{i=1}^L \beta_i g(w_i x_j + b_i)$$

[0017] 其中 $f_L(x_j)$ 为极限学习神经网络的输出, x_j 为输入变量, $g(x)$ 为激励函数, β_i 为输出权重, w_i 和 b_i 分别为输入权重和偏置,训练过程如下:

[0018] a. 随机赋值给 w_i 和 b_i ;

$$[0019] \quad b. \text{ 计算隐藏层输出矩阵 } \begin{bmatrix} H(w_1, w_2, \dots, w_L, b_1, \dots, b_L, x_1, \dots, x_N) = \\ \left[\begin{array}{c} g(w_1 x_1 + b_1) \cdots g(w_L x_1 + b_L) \\ \dots \\ g(w_1 x_N + b_1) \cdots g(w_L x_N + b_L) \end{array} \right]_{N \times L} \end{bmatrix};$$

[0020] c. 计算输出权重矩阵 $\beta = H^\dagger Y$

[0021] 其中 β 为权重矩阵, H^\dagger 为隐藏层输出矩阵的广义逆矩阵, Y 为输出变量矩阵;

[0022] 4) 提取布里渊光纤传感系统测量的温度数据

[0023] 将布里渊光纤传感系统的测量信号输入训练好的极限学习神经网络,则网络输出即为所需的温度数据。

[0024] 本发明利用训练好的极限学习神经网络提取温度测量值,一方面避免了曲线拟合带来的测量误差,同时考虑到布里渊增益谱线宽对温度测量的影响,理想布里渊增益谱数据按Pseudo-Voigt型函数构建,提高了测量精度。在扫频间隔为16MHz、测量温度为80℃的情况下,相对于洛伦兹曲线拟合的方法,利用极限学习神经网络获得的温度测量精度可提高3.09℃。该结果也说明即使在较大的扫频步进时,利用极限学习神经网络提取温度信息仍能够保证测量精度。另一方面,避免了曲线拟合确定布里渊频移,再由布里渊频移计算温度的步骤,即不需要“测量信号——布里渊频移——温度”的转换,缩短了系统测量时间。由

于极限学习机网络一旦训练完成即能够重复利用,因此可将极限学习机网络提取温度信息的测量时间定义为极限学习机网络的测试时间。计算机采用Core i3 380M处理器和4G内存,在Matlab2014a环境下完成相关计算,在扫频间隔为16MHz、测量温度为80℃的情况下,利用极限学习机网络提取温度信息仅需约3.98s;而洛伦兹曲线拟合法最终提取温度信息则需约77.21min。该结果说明利用极限学习机网络提取温度信息可大大缩短测量时间。

附图说明

[0025] 下面结合附图对本发明作进一步详述。

[0026] 图1为利用极限学习机网络实现布里渊光纤传感系统的温度信息提取的过程;

[0027] 图2是极限学习机网络图;

[0028] 图3是布里渊分布式光纤传感系统图。

[0029] 文中所用符号为: $f_B(v)$ 为布里渊增益谱, v 为频率, k 为线性权重比,取值范围为0-1, v_B 为布里渊频移, Δv_{B1} 和 Δv_{B2} 分别为洛伦兹曲线线宽和高斯曲线线宽, $f_L(x_j)$ 为极限学习机网络的输出, x_j 为输入变量, $g(x)$ 为激励函数, β_i 为输出权重, w_i 和 b_i 分别为输入权重和偏置, β 为权重矩阵, H^\dagger 为隐藏层输出矩阵的广义逆矩阵, Y 为输出变量矩阵。

具体实施方式

[0030] 为了解决温度测量时间和测量精度的问题,同时考虑到布里渊增益谱线宽对测量精度的影响,本发明提出一种基于极限学习机网络实现布里渊光纤传感系统温度信息提取的方法。该方法只需按测量条件提前训练极限学习机网络,再将系统测量数据输入训练好的极限学习机网络,则极限学习机网络输出即为温度信息。

[0031] 极限学习机作为一种单隐层前馈神经网络,可以随机选择隐藏层节点的参数,且不需要调整隐藏层,具有训练效率高、误码率低等优点。此外,极限学习机网络具有良好的全局搜索能力,克服了传统神经网络拟合度过高的缺点。近年来,极限学习机网络已经被广泛应用于科学工程的分类和预测领域。极限学习机网络图如图2所示,图中 $x_1: x_n$ 为输入变量, $y_1: y_m$ 为输出变量, $0_1: 0_j$ 为隐藏层节点, ω_{ij} 为输入权重, β_{jm} 为输出权重。

[0032] 本方法包括以下步骤:

[0033] 步骤1:确定布里渊频移的温度系数

[0034] 利用布里渊分布式光纤传感系统测量不同温度对应的布里渊频移,取室温、40℃、45℃、50℃、55℃、60℃、65℃和70℃共8个温度对应的布里渊频移进行线性拟合,得到布里渊频移的温度系数为1.09MHz/℃。

[0035] 步骤2:构建用于训练极限学习机网络的理想布里渊增益谱数据

[0036] 利用Pseudo-Voigt型函数构建理想布里渊增益谱,所用公式为

$$[0037] \quad f_B(v) = k \frac{(\Delta v_{B1} / 2)^2}{(v - v_B)^2 + (\Delta v_{B1} / 2)^2} + (1 - k) \exp[-2.773(v - v_B)^2 / \Delta v_{B2}^2]$$

[0038] 其中,加号前的部分表示洛伦兹曲线,加号后的部分表示高斯曲线, $f_B(v)$ 为布里渊增益谱, v 为频率, k 为线性权重比,取值范围为0-1。 v_B 为布里渊频移, Δv_{B1} 和 Δv_{B2} 分别为洛伦兹曲线线宽和高斯曲线线宽。需要设置以下参数:

[0039] 1) 设置理想布里渊增益谱的温度范围为0-100℃,变化步进为0.5℃;

[0040] 2) 设置 Δv_{B1} 和 Δv_{B2} 的变化范围为10-70MHz,变化步进为1MHz;

[0041] 3) 设置k的变化步进为0.1;

[0042] 4) 设置 v_B 的变化范围为10.78-10.98GHz,变化步进为1MHz。

[0043] 步骤3:训练极限学习机网络

[0044] 具有L个隐藏层的极限学习机网络模型可描述为

$$[0045] \quad f_L(x_j) = \sum_{i=1}^L \beta_i g(w_i x_j + b_i),$$

[0046] 其中 $f_L(x_j)$ 为极限学习机网络的输出, x_j 为输入变量, $g(x)$ 为激励函数, β_i 为输出权重, w_i 和 b_i 分别为输入权重和偏置。训练过程如下:

[0047] 1) 随机赋值给 w_i 和 b_i ;

$$[0048] \quad 2) \text{ 计算隐藏层输出矩阵 } H(w_1, w_2, \dots, w_L, b_1, \dots, b_L, x_1, \dots, x_N) = \begin{bmatrix} g(w_1 x_1 + b_1) \cdots g(w_L x_1 + b_L) \\ \dots \\ g(w_1 x_N + b_1) \cdots g(w_L x_N + b_L) \end{bmatrix}_{N \times L};$$

[0049] 3) 计算输出权重矩阵 $\beta = H^\dagger Y$,

[0050] 其中 β 为权重矩阵, H^\dagger 为隐藏层输出矩阵的广义逆矩阵, Y 为输出变量矩阵;

[0051] 步骤4:提取布里渊光纤传感系统测量的温度数据

[0052] 将布里渊光纤传感系统的测量信号输入训练好的极限学习机网络,即能够由网络输出直接获得温度数据。

[0053] 对于布里渊光纤传感系统而言,传统的温度提取方法是需要将传感系统测量信号进行洛伦兹曲线拟合确定布里渊频移,再利用布里渊频移与温度的线性关系公式计算得到温度信息,即完成“测量信号——布里渊频移——温度”的转换。这种传统的方法耗时长,不满足快速测量的需求;而且在测量过程中若扫频步进较大,则会使得曲线拟合产生较大误差,进而造成较大的温度测量误差。本发明提出的方法只需提前训练极限学习机网络,然后将系统测量信号作为极限学习机网络的输入,则极限学习机网络的输出即为传感系统的温度测量信息。因此,本发明提出的方法考虑到了布里渊增益谱线宽对温度测量的影响,理想布里渊增益谱数据按Pseudo-Voigt型函数构建,该方法避免了曲线拟合的步骤,既避免了上述提到的拟合误差问题,提高了测量精度,也缩短了信号处理的时间;而且一旦极限学习机网络训练完成,则可以重复利用,能够进一步缩短系统测量所需的时间。

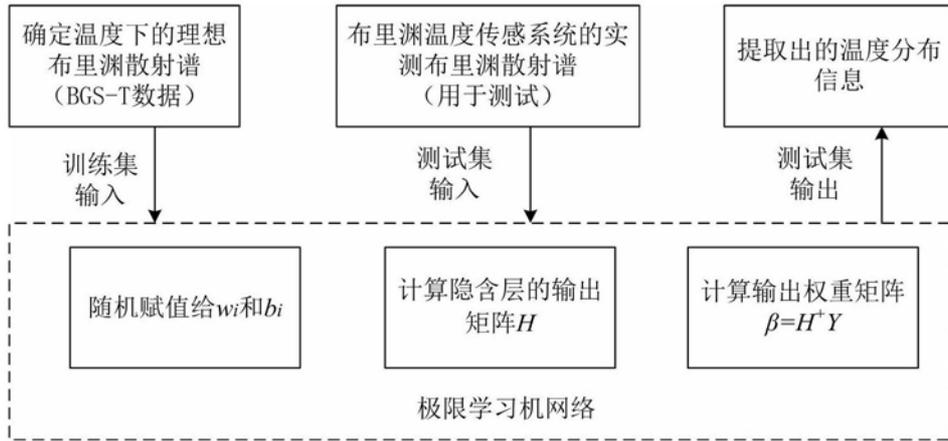


图1

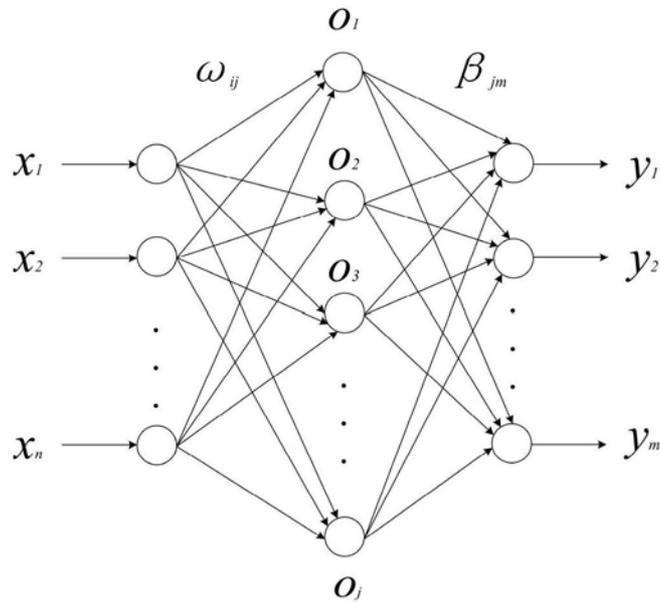


图2

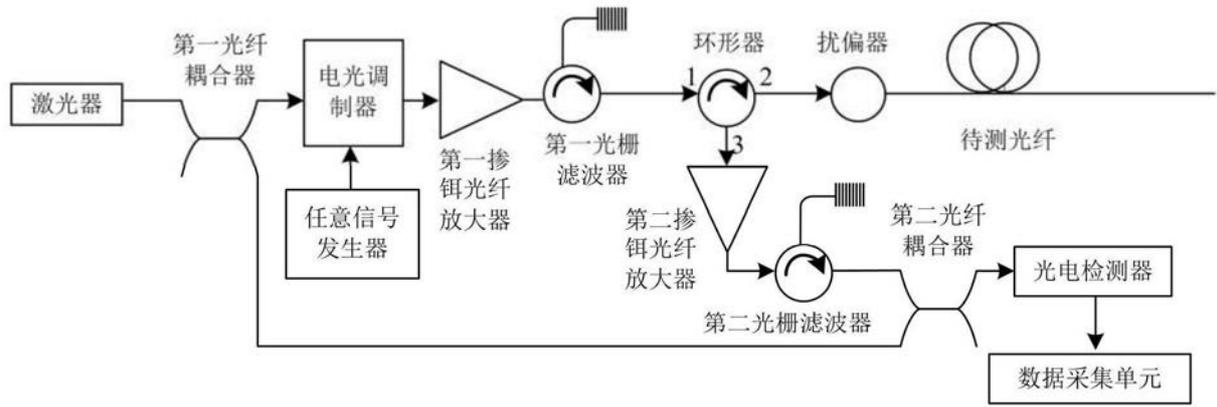


图3