



(21) 申请号 202410625579.4

(22) 申请日 2024.05.20

(71) 申请人 北京市农林科学院智能装备技术研究中心

地址 100097 北京市海淀区曙光花园中路  
11号农科大厦A座1107

(72) 发明人 王跃亭 董大明 田宏武 马世祥  
郝亮林 邢振 刘帅 刘亚超  
李传霞

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

专利代理师 聂俊伟

(51) Int. Cl.

G01N 21/71 (2006.01)

G01N 21/359 (2014.01)

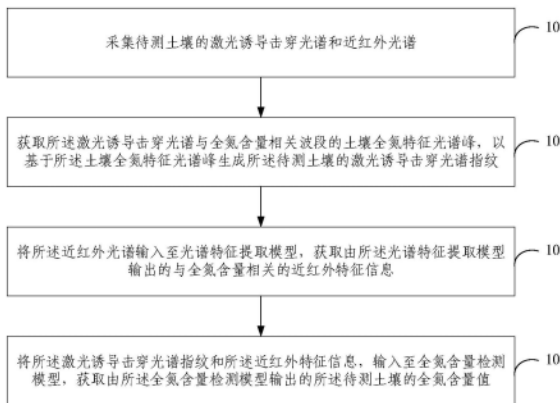
权利要求书2页 说明书12页 附图3页

(54) 发明名称

土壤全氮含量检测方法、装置、电子设备及存储介质

(57) 摘要

本发明提供一种土壤全氮含量检测方法、装置、电子设备及存储介质,属于智能检测技术领域,包括:采集待测土壤的LIBS光谱和近红外光谱;获取LIBS光谱的土壤全氮特征光谱峰,生成LIBS光谱指纹;将近红外光谱输入至光谱特征提取模型,获取近红外特征信息;将LIBS光谱指纹和近红外特征信息,输入至全氮含量检测模型,获取全氮含量值。本发明解决了单一近红外光谱在土壤全氮含量检测中存在的因波段相关性干扰严重、特定元素检测效果差的缺陷,将近红外光谱的稀疏特征与LIBS光谱的元素特征在全氮含量检测模型中进行特征融合,以基于融合光谱向量所提供的特征信息,输出满足要求的土壤全氮含量值,提升了检测精度和测量效率。



1. 一种土壤全氮含量检测方法,其特征在于,包括:
  - 采集待测土壤的激光诱导击穿光谱和近红外光谱;
  - 获取所述激光诱导击穿光谱与全氮含量相关波段的土壤全氮特征光谱峰,以基于所述土壤全氮特征光谱峰生成所述待测土壤的激光诱导击穿光谱指纹;
  - 将所述近红外光谱输入至光谱特征提取模型,获取由所述光谱特征提取模型输出的与全氮含量相关的近红外特征信息;
  - 将所述激光诱导击穿光谱指纹和所述近红外特征信息,输入至全氮含量检测模型,获取由所述全氮含量检测模型输出的所述待测土壤的全氮含量值。
2. 根据权利要求1所述的土壤全氮含量检测方法,其特征在于,所述光谱特征提取模型是基于TensorFlow框架或PyTorch框架构建和训练得到的基于卷积操作的自动编码器;
  - 所述光谱特征提取模型包括第一输入层、第一卷积层、第二卷积层和平坦层;
  - 所述第一输入层对接收到的所述近红外光谱进行预处理后转换成一维数组;
  - 所述第一卷积层和所述第二卷积层是以ReLU函数作为激活函数,用于逐层次提取所述一维数组中与全氮含量相关的特征,生成多通道特征图;
  - 所述平坦层将所述多通道特征图转换为近红外特征信息,所述近红外特征信息为一维NIRS特征向量。
3. 根据权利要求2所述的土壤全氮含量检测方法,其特征在于,所述激光诱导击穿光谱与全氮含量相关波段的土壤全氮特征光谱峰,包括746.8nm、821.6nm、388.3nm、247.8nm、193.0nm等5个波段的土壤全氮特征光谱峰;
  - 所述激光诱导击穿光谱指纹为包括不同所述土壤全氮特征光谱峰的位置以及光谱强度的LIBS特征向量。
4. 根据权利要求3所述的土壤全氮含量检测方法,其特征在于,所述全氮含量检测模型包括第二输入层、隐藏层和输出层;
  - 所述第二输入层用于融合所述激光诱导击穿光谱指纹和所述近红外特征信息,生成融合光谱向量;
  - 所述隐藏层用于提取所述融合光谱向量中与全氮含量相关的向量聚合特征;
  - 所述输出层接收所述向量聚合特征,计算出所述待测土壤的全氮含量值。
5. 根据权利要求4所述的土壤全氮含量检测方法,其特征在于,所述第二输入层用于融合所述激光诱导击穿光谱指纹和所述近红外特征信息,生成融合光谱向量,包括:
  - 所述第二输入层对所述LIBS特征向量和所述NIRS特征向量进行标准化,以使得标准化后的LIBS特征向量和标准化后的NIRS特征向量在数值范围上一致;
  - 拼接所述标准化后的LIBS特征向量和所述标准化后的NIRS特征向量,得到所述融合光谱向量。
6. 根据权利要求1所述的土壤全氮含量检测方法,其特征在于,在执行所述土壤全氮含量检测方法之前,还包括:
  - 采集多份原始土壤样品,对每份所述原始土壤样品进行风干、去杂、研磨以及过筛操作,并获取每份所述原始土壤样品的近红外光谱标签;
  - 分别利用所述原始土壤样品对初始的光谱特征提取模型进行自监督迭代训练,以基于每次训练中所述原始土壤样品的近红外光谱标签和重构光谱之间的预测均方根误差,更新

所述光谱特征提取模型的模型参数；

直至所述预测均方根误差小于预设阈值或者达到预设训练次数,得到训练好的所述光谱特征提取模型。

7. 根据权利要求1所述的土壤全氮含量检测方法,其特征在于,在执行所述土壤全氮含量检测方法之前,还包括:

采集多份原始土壤样品,对每份所述原始土壤样品进行风干、去杂、研磨以及过筛操作后,采集每份所述原始土壤样品的近红外光谱标签;

提取每份所述原始土壤样品的近红外光谱样本对应的近红外特征信息标签;

分别对每份所述原始土壤样品进行压实处理后,获取激光诱导击穿光谱标签;

提取每份所述原始土壤样品的激光诱导击穿光谱标签对应的激光诱导击穿光谱指纹标签;

测量标注出每份所述原始土壤样品的全氮含量实测值;

以每份所述原始土壤样品的所述近红外特征信息标签及激光诱导击穿光谱指纹标签作为初始的全氮含量检测模型的输入,获取所述全氮含量检测模型输出的全氮含量预测值;

针对任一所述原始土壤样品,根据所述全氮含量预测值与所述全氮含量实测值之间的预测均方根误差,对所述全氮含量检测模型的模型参数进行更新;

迭代训练,直至所述预测均方根误差小于预设阈值或者达到预设训练次数,得到训练好的所述全氮含量检测模型。

8. 一种土壤全氮含量检测装置,其特征在于,包括:

数据采集单元,用于采集待测土壤的激光诱导击穿光谱和近红外光谱;

第一特征提取单元,用于获取所述激光诱导击穿光谱与全氮含量相关波段的土壤全氮特征光谱峰,以基于所述土壤全氮特征光谱峰生成所述待测土壤的激光诱导击穿光谱指纹;

第二特征提取单元,将所述近红外光谱输入至光谱特征提取模型,获取由所述光谱特征提取模型输出的与全氮含量相关的近红外特征信息;

含量预测单元,用于将所述激光诱导击穿光谱指纹和所述近红外特征信息,输入至全氮含量检测模型,获取由所述全氮含量检测模型输出的所述待测土壤的全氮含量值。

9. 一种电子设备,包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求1至7任一项所述土壤全氮含量检测方法。

10. 一种非暂态计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至7任一项所述土壤全氮含量检测方法。

## 土壤全氮含量检测方法、装置、电子设备及存储介质

### 技术领域

[0001] 本发明涉及智能检测技术领域,尤其涉及一种土壤全氮含量检测方法、装置、电子设备及存储介质。

### 背景技术

[0002] 土壤由岩石风化而成的矿物质、动植物、微生物残体腐解产生的有机质、土壤生物(固相物质)、水分(液相物质)、空气(气相物质)、氧化的腐殖质等组成,含有氮、磷、钾、钙、镁等营养元素。复杂的结构与丰富的营养物质使得土壤能够为植物生长繁育提供支撑。土壤肥力是衡量土壤资源质量的最重要指标,代表了土壤能够为作物生长提供和协调所需养分、水分、空气和热量的能力,而在这其中需求量大、不易从自然界补充的营养元素则是重要的肥力检测指标。

[0003] 土壤氮元素作为植物蛋白质的主要成分,对植物根、茎、叶的生长和果实的发育都有着举足轻重的作用,但随着农作物的收获氮元素将从土壤中被带走而造成损耗。因此,土壤氮素是判断土壤肥力的重要指标之一。其中,土壤全氮(Total nitrogen, TN)含量是土壤中各类型氮素之和,其代表着土壤氮素总量和潜在的长期供氮能力,故其被选做土壤肥力的度量指标与养分等级划分依据。

[0004] 近红外光谱是光谱分析法的重要组成部分之一,因其能够反应含氮基团振动的合频和倍频信息,故常被选做土壤全氮含量的检测光谱。

[0005] 然而,近红外光谱与分子基团的共振关系等使得近红外光谱常常存在谱峰重叠严重、有效信息谱带较宽等特点,这使得土壤近红外光谱相邻波段间存在较大的相关性,同时对原子无法有效检测。

[0006] 有鉴于此,亟需改进现有的土壤全氮含量手段,以提升检测精度和检测效率。

### 发明内容

[0007] 本发明提供一种土壤全氮含量检测方法、装置、电子设备及存储介质,用以解决现有技术依靠单一近红外光谱在土壤全氮含量检测中存在的因波段相关性干扰严重、特定元素检测效果差的缺陷。

[0008] 第一方面,本发明提供一种土壤全氮含量检测方法,包括:

[0009] 采集待测土壤的激光诱导击穿光谱和近红外光谱;

[0010] 获取所述激光诱导击穿光谱与全氮含量相关波段的土壤全氮特征光谱峰,以基于所述土壤全氮特征光谱峰生成所述待测土壤的激光诱导击穿光谱指纹;

[0011] 将所述近红外光谱输入至光谱特征提取模型,获取由所述光谱特征提取模型输出的与全氮含量相关的近红外特征信息;

[0012] 将所述激光诱导击穿光谱指纹和所述近红外特征信息,输入至全氮含量检测模型,获取由所述全氮含量检测模型输出的所述待测土壤的全氮含量值。

[0013] 根据本发明提供的一种土壤全氮含量检测方法,所述光谱特征提取模型是基于

TensorFlow框架或PyTorch框架构建和训练得到的基于卷积操作的自动编码器；

[0014] 所述光谱特征提取模型包括第一输入层、第一卷积层、第二卷积层和平坦层；

[0015] 所述第一输入层对接收到的所述近红外光谱进行预处理后转换成一维数组；

[0016] 所述第一卷积层和所述第二卷积层是以ReLU函数作为激活函数,用于逐层次提取所述一维数组中与全氮含量相关的特征,生成多通道特征图；

[0017] 所述平坦层将所述多通道特征图转换为近红外特征信息,所述近红外特征信息为一维NIRS特征向量。

[0018] 根据本发明提供的一种土壤全氮含量检测方法,所述激光诱导击穿光谱与全氮含量相关波段的土壤全氮特征光谱峰,包括746.8nm、821.6nm、388.3nm、247.8nm、193.0nm等5个波段的土壤全氮特征光谱峰；

[0019] 所述激光诱导击穿光谱指纹为包括不同所述土壤全氮特征光谱峰的位置以及光谱强度的LIBS特征向量。

[0020] 根据本发明提供的一种土壤全氮含量检测方法,所述全氮含量检测模型包括第二输入层、隐藏层和输出层；

[0021] 所述第二输入层用于融合所述激光诱导击穿光谱指纹和所述近红外特征信息,生成融合光谱向量；

[0022] 所述隐藏层用于提取所述融合光谱向量中与全氮含量相关的向量聚合特征；

[0023] 所述输出层接收所述向量聚合特征,计算出所述待测土壤的全氮含量值。

[0024] 根据本发明提供的一种土壤全氮含量检测方法,所述第二输入层用于融合所述激光诱导击穿光谱指纹和所述近红外特征信息,生成融合光谱向量,包括：

[0025] 所述第二输入层对所述LIBS特征向量和所述NIRS特征向量进行标准化,以使得标准化后的LIBS特征向量和标准化后的NIRS特征向量在数值范围上一致；

[0026] 拼接所述标准化后的LIBS特征向量和所述标准化后的NIRS特征向量,得到所述融合光谱向量。

[0027] 根据本发明提供的一种土壤全氮含量检测方法,在执行所述土壤全氮含量检测方法之前,还包括：

[0028] 采集多份原始土壤样品,对每份所述原始土壤样品进行风干、去杂、研磨以及过筛操作,并获取每份所述原始土壤样品的近红外光谱标签；

[0029] 分别利用所述原始土壤样品对初始的光谱特征提取模型进行自监督迭代训练,以基于每次训练中所述原始土壤样品的近红外光谱标签和重构光谱之间的预测均方根误差,更新所述光谱特征提取模型的模型参数；

[0030] 直至所述预测均方根误差小于预设阈值或者达到预设训练次数,得到训练好的所述光谱特征提取模型。

[0031] 根据本发明提供的一种土壤全氮含量检测方法,在执行所述土壤全氮含量检测方法之前,还包括：

[0032] 采集多份原始土壤样品,对每份所述原始土壤样品进行风干、去杂、研磨以及过筛操作后,采集每份所述原始土壤样品的近红外光谱标签；

[0033] 提取每份所述原始土壤样品的近红外光谱样本对应的近红外特征信息标签；

[0034] 分别对每份所述原始土壤样品进行压实处理后,获取激光诱导击穿光谱标签；

[0035] 提取每份所述原始土壤样品的激光诱导击穿光谱标签对应的激光诱导击穿光谱指纹标签;

[0036] 测量标注出每份所述原始土壤样品的全氮含量实测值;

[0037] 以每份所述原始土壤样品的所述近红外特征信息标签及激光诱导击穿光谱指纹标签作为初始的全氮含量检测模型的输入,获取所述全氮含量检测模型输出的全氮含量预测值;

[0038] 针对任一所述原始土壤样品,根据所述全氮含量预测值与所述全氮含量实测值之间的预测均方根误差,对所述全氮含量检测模型的模型参数进行更新;

[0039] 迭代训练,直至所述预测均方根误差小于预设阈值或者达到预设训练次数,得到训练好的所述全氮含量检测模型。

[0040] 第二方面,本发明还提供一种土壤全氮含量检测装置,包括:

[0041] 数据采集单元,用于采集待测土壤的激光诱导击穿光谱和近红外光谱;

[0042] 第一特征提取单元,用于获取所述激光诱导击穿光谱与全氮含量相关波段的土壤全氮特征光谱峰,以基于所述土壤全氮特征光谱峰生成所述待测土壤的激光诱导击穿光谱指纹;

[0043] 第二特征提取单元,将所述近红外光谱输入至光谱特征提取模型,获取由所述光谱特征提取模型输出的与全氮含量相关的近红外特征信息;

[0044] 含量预测单元,用于将所述激光诱导击穿光谱指纹和所述近红外特征信息,输入至全氮含量检测模型,获取由所述全氮含量检测模型输出的所述待测土壤的全氮含量值。

[0045] 第三方面,本发明提供一种电子设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述程序时实现如上述任一种所述土壤全氮含量检测方法。

[0046] 第四方面,本发明还提供一种非暂态计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现如上述任一种所述土壤全氮含量检测方法。

[0047] 本发明提供的土壤全氮含量检测方法、装置、电子设备及存储介质,解决了单一近红外光谱在土壤全氮含量检测中存在的因波段相关性干扰严重、特定元素检测效果差的缺陷,将近红外光谱的稀疏特征与LIBS光谱的元素特征在全氮含量检测模型中进行特征融合,以基于融合光谱向量所提供的特征信息,输出满足要求的土壤全氮含量值,提升了检测精度和测量效率。

## 附图说明

[0048] 为了更清楚地说明本发明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一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0049] 图1是本发明提供的土壤全氮含量检测方法的流程示意图之一;

[0050] 图2是本发明提供的土壤全氮含量检测方法的流程示意图之二;

[0051] 图3是本发明提供的土壤全氮含量检测方法的流程示意图之三;

[0052] 图4是本发明提供的土壤全氮含量检测方法的流程示意图之四;

[0053] 图5是本发明提供的土壤全氮含量检测装置的结构示意图；

[0054] 图6是本发明提供的电子设备的结构示意图。

### 具体实施方式

[0055] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明中的附图，对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，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，都属于本发明保护的范围。

[0056] 需要说明的是，在本发明的描述中，术语“包括”、“包含”或者其他任何其变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。术语“上”、“下”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0057] 本发明中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便本发明的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施，且“第一”、“第二”等所区分的对象通常为同类，并不限定对象的个数，例如第一对象可以是一个，也可以是多个。

[0058] 下面结合图1-图6描述本发明所提供的土壤全氮含量检测方法、装置、电子设备及存储介质。

[0059] 由于近红外光谱能够反应含氮基团振动的合频和倍频信息，故现有技术一般是采用单一的近红外光谱进行土壤全氮含量检测，但近红外光谱与分子基团的共振关系等使得近红外光谱常常存在谱峰重叠严重、有效信息谱带较宽等特点，这使得土壤的近红外光谱相邻波段间存在较大的相关性，同时对原子无法有效检测。

[0060] 对此，一方面需要设计满足近红外光谱数据特点的数据表征方式；另一方面需要对与全氮含量相关的元素进行光谱指纹特征的获取，以增加数据源信息量等。

[0061] 为解决上述问题，本发明提供一种融合激光诱导击穿光谱(Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, LIBS光谱)和近红外光谱(Near Infrared Spectrum, NIRS光谱)，以根据融合特征实现对于土壤的全氮含量检测。

[0062] 具体来说，本发明所涉及的土壤的全氮含量检测方法，主要包括几个方面的内容：土壤光谱数据的采集、全氮含量检测模型的应有，并补充说明了光谱特征提取模型以及全氮含量检测模型的训练等。其中，土壤光谱数据主要涉及LIBS光谱指纹和NIRS特征信息等。

[0063] 图1是本发明提供的土壤全氮含量检测方法的流程示意图之一，如图1所示，包括

但不限于以下步骤:

[0064] 步骤101:采集待测土壤的LIBS光谱和NIRS光谱。

[0065] 在进行待测土壤的NIRS光谱采集之前,需先取一部分待测土壤进行风干、去杂、研磨、过筛(如100目)等预处理,以获取初始状态一致、均匀、干燥的土壤样品状态,以便剔除因颗粒度、含水率等因素的影响。

[0066] 但对于LIBS光谱采集来说,可以取一部分待测土壤除了进行风干、去杂、研磨、过筛等预处理之外,还需要将预处理后的土壤颗粒进行压实处理,以获得便于聚焦处理的平面。

[0067] 针对LIBS光谱的采集,一般使用LIBS光谱设备来实现,LIBS光谱设备主要包括激光器和光谱仪,具体采集过程包括:先设置激光器的能量、波长、脉冲频率等参数,以及光谱仪的扫描范围、分辨率参数。使用激光器向待测土壤发射激光脉冲,激光脉冲对待测土壤进行激光诱导击穿以产生等离子体,等离子体在冷却过程中会发出特定波长的LIBS光谱数据,这些光谱数据包含了土壤样品的元素信息。

[0068] 必要的时候,可以对获取的LIBS光谱数据进行归一化预处理操作,以消除背景噪声、校正仪器误差等。

[0069] 针对NIRS光谱的采集,先设置好NIRS光谱设备的扫描范围、分辨率、光源等参数。将预处理后的待测土壤放入和NIRS光谱设备的样品室中,使用近红外光源照射,待测土壤中的分子会吸收特定波长的光,并产生反射或透射光谱,和NIRS光谱设备会接收这些光谱数据,作为近红外光谱。

[0070] 步骤102:获取所述LIBS光谱与全氮含量相关波段的土壤全氮特征光谱峰,以基于所述土壤全氮特征光谱峰生成所述待测土壤的LIBS光谱指纹。

[0071] 在LIBS光谱设备采集到待测土壤的LIBS光谱数据之后,对其中与全氮含量相关的氮、碳等元素相关的波段的LIBS光谱特征进行提取,主要需确定这些波段的光谱峰作为土壤全氮特征光谱峰,并将这些土壤全氮特征光谱峰对应的光谱强度,排列组合成LIBS光谱指纹。

[0072] 步骤103:将所述NIRS光谱输入至光谱特征提取模型,获取由所述光谱特征提取模型输出的与全氮含量相关的NIRS特征信息。

[0073] 本发明提供的基于LIBS光谱和NIRS光谱融合的土壤全氮含量检测方法,主要是为了解决了采用单一的NIRS光谱进行土壤全氮含量检测中所存在的因波段相关性干扰严重、特定元素检测效果差所造成的检测效果差的问题,通过一维卷积操作实现光谱波段间相关性信息剔除,辅以LIBS光谱所提供的相关元素信息,实现对土壤样品全氮含量的有效测量。

[0074] 作为一种可选实施例,本发明在采集到待测土壤的NIRS光谱后,利用光谱特征提取模型对NIRS光谱所包含的与全氮含量相关的近红外特征信息进行提取。

[0075] 其中,光谱特征提取模型至少包括多个卷积层,来实现对于NIR光谱的上述特征提取。每个卷积层的卷积核的数量和大小、池化方式等,可以根据实际需要进行调整和优化。

[0076] 步骤104:将所述LIBS光谱指纹和所述NIRS光谱的近红外特征信息,输入至全氮含量检测模型,获取由所述全氮含量检测模型输出的所述待测土壤的全氮含量值。

[0077] 本发明在实现对待测土壤的全氮含量检测时,是将其LIBS光谱指纹所提供的与全氮含量相关的元素信息和NIRS光谱的近红外特征信息相结合来实现检测的。

[0078] 在将待测土壤的LIBS光谱指纹和NIRS光谱的近红外特征信息输入至全氮含量检测模型之后,可以先对LIBS光谱指纹和NIRS光谱进行数据预处理,包括去噪、基线校正、归一化等步骤,以确保数据的质量和一致性。然后在全氮含量检测模型的输入层中,将LIBS光谱指纹和NIRS光谱的近红外特征信息进行融合。这可以通过多种方式实现,如直接拼接两个特征向量,或使用更复杂的特征融合技术,例如深度学习中的多模态特征融合方法等实现,这样融合后的融合光谱向量将包含来自LIBS光谱和NIRS光谱两种光谱的特征信息,这些信息将共同用于预测土壤的全氮含量。

[0079] 其中,全氮含量检测模型可以是一个已经训练好的机器学习模型或深度学习模型,如神经网络、支持向量机等,在本实施例中不作具体地限定。

[0080] 本发明提供的土壤全氮含量检测方法,解决了单一近红外光谱在土壤全氮含量检测中存在的因波段相关性干扰严重、特定元素检测效果差的缺陷,将近红外光谱的稀疏特征与LIBS光谱的元素特征在全氮含量检测模型中进行特征融合,以基于融合光谱向量所提供的特征信息,输出满足要求的土壤全氮含量值,提升了检测精度和测量效率。

[0081] 图2是本发明提供的土壤全氮含量检测方法的流程示意图之二,如图2所示,本发明提供通过将待测土壤的LIBS光谱和NIRS光谱这两种光谱的特征信息进行融合来实现土壤全氮含量检测。一方面通过对LIBS光谱信息进行相关元素光谱匹配,输出LIBS光谱指纹;另一方面,将NIRS光谱通过光谱特征提取模型进行NIRS光谱的近红外特征信息的提取。然后将LIBS光谱指纹与NIRS光谱的近红外特征信息输入至全氮含量检测模型中,以通过全氮含量检测模型对上述LIBS光谱指纹与近红外特征信息进行融合后,实现对待测土壤的全氮含量精准检测。

[0082] 作为一种可选实施例,参考图2所示,本发明提供一种光谱特征提取模型,该模型是基于TensorFlow框架或PyTorch框架构建和训练得到的基于卷积操作的自动编码器;

[0083] 所述光谱特征提取模型包括第一输入层、第一卷积层、第二卷积层和平坦层;

[0084] 所述第一输入层对接收到的所述NIRS光谱进行预处理后转换成一维数组;

[0085] 所述第一卷积层和所述第二卷积层是以ReLU函数作为激活函数,用于逐层次提取所述一维数组中与全氮含量相关的特征,生成多通道特征图;

[0086] 所述平坦层将所述多通道特征图转换为近红外特征信息,所述近红外特征信息为一维NIRS特征向量。

[0087] 具体地,第一输入层将NIRS光谱转换成适合神经网络输入的一维数组,其中每个波段的光谱是一个行向量。

[0088] 使用深度学习框架,如TensorFlow、PyTorch等来构建一维卷积神经网络,称作光谱特征提取模型。

[0089] 初始化光谱特征提取模型,定义第一输入层的形状,以匹配NIRS光谱数据的维度。同时,设定学习率(Learning Rate,LR)、批大小(Batch Size)、训练轮次(Epoch)等初始模型参数。

[0090] 添加第一卷积层,设定其卷积核的数量为4,并设定卷积核的大小和步长等参数。选择ReLU函数作为第一卷积层的激活函数,以便引入非线性特性。在第一卷积层之后,一般可以添加一个池化层(如最大池化层)来减少数据的空间大小,同时保留所述NIRS光谱的重要特征。

[0091] 在第一卷积层之后添加第二卷积层,以进一步提取出更高级别的与全氮含量相关的特征。设定其卷积核的数量为8,并设定卷积核的大小和步长等参数。同样地,可以在第二卷积层后添加一个池化层。

[0092] 在经过两个卷积层处理之后得到的多通道特征图 (Feature Map) 的基础上,通过添加一个平坦层,以将多通道特征图转换成一维的特征向量,称作一维NIRS特征向量,以便于后续与LIBS光谱指纹的融合。

[0093] 需要说明的是,上述关于光谱特征提取模型的网络结构说明仅仅是本发明提供的一个具体实施例,其具体地网络结构如每个卷积层中卷积核的数量和大小、池化方式等,以及初始模型参数的设置,如学习率、批次大小等可以根据你的具体任务和数据集进行调整和优化。

[0094] 此外,本发明还可以考虑使用更复杂的网络结构,例如残差网络、Inception网络等来进行光谱特征提取模型的搭建,以进一步提高特征提取的性能。

[0095] 作为一种可选实施例,所述LIBS光谱与全氮含量相关波段的土壤全氮特征光谱峰,包括746.8nm、821.6nm、388.3nm、247.8nm、193.0nm等5个波段的土壤全氮特征光谱峰;

[0096] 所述LIBS光谱指纹为包括不同所述土壤全氮特征光谱峰的位置以及光谱强度的LIBS特征向量。

[0097] 作为一种可选实施例,本发明提供一种对待测土壤的LIBS光谱进行特征提取,以获取与全氮含量检测相关的LIBS光谱指纹的方法,主要包括:

[0098] 首先,对采集到的LIBS光谱进行归一化预处理操作以及基线校正等预处理,以消除背景噪声、校正仪器误差等,以提高后续光谱匹配的准确性。

[0099] 基于标准光谱库寻峰的方式,对LIBS光谱中面向土壤中全氮含量相关的氮、碳等元素的LIBS指纹光谱特征进行提取,可以选取出746.8nm、821.6nm、388.3nm、247.8nm、193.0nm等5个波段为土壤全氮特征光谱峰,具体实施过程可以是:

[0100] 其中,标准光谱库是预先对不同元素的LIBS指纹光谱特征进行提取后构建的,本发明不对其具体地构建流程作具体限定。

[0101] 使用峰值检测算法(如高斯拟合、二阶导数等)在LIBS光谱中识别出峰值点,将识别出的峰值点与标准光谱库中的特征光谱进行比对,以确定哪些峰值对应于氮、碳等与全氮含量相关的元素,以基于比对结果,选取与土壤全氮含量密切相关的氮、碳等元素的LIBS光谱特征,选定对应的土壤全氮特征光谱峰,最终根据这些土壤全氮特征光谱峰的特征光谱峰参数构建出LIBS特征向量。

[0102] 分析上述土壤全氮特征光谱峰的特征光谱峰参数,如光谱强度、面积、位置等与土壤全氮含量之间的关系,具体可以使用统计学方法,例如多元线性回归、神经网络模型分析等手段建立特征光谱峰参数与土壤全氮含量之间的定量关系。

[0103] 本发明提供的土壤全氮含量检测方法,利用LIBS光谱表征土壤全氮含量相关的元素信息,为NIRS光谱提供辅助检测信息,通过选取与土壤全氮含量密切相关的特征光谱峰,并建立定量关系模型,并通过将其与一维NIRS特征向量进行融合,可以提高土壤全氮含量分析的精度和准确性。

[0104] 本发明可实现将LIBS特征向量与一维NIRS特征向量进行融合,以达到土壤全氮含量检测,主要是通过全氮含量检测模型来实现的。

[0105] 图3是本发明提供的土壤全氮含量检测方法的流程示意图之三,如图3所示,本发明提供的全氮含量检测模型主要包括但不限于:第二输入层、隐藏层和输出层。

[0106] 其中,所述第二输入层用于融合所述LIBS光谱指纹和所述NIRS特征信息,生成融合光谱向量;

[0107] 所述隐藏层用于提取所述融合光谱向量中与全氮含量相关的向量聚合特征;

[0108] 所述输出层接收所述向量聚合特征,计算出所述待测土壤的全氮含量值。

[0109] 作为一种可选实施例,在本发明提供的土壤全氮含量检测方法中,在第二输入层中将LIBS光谱指纹和NIRS特征信息进行融合的方法,包括:

[0110] 在特征提取阶段就将LIBS光谱指纹和NIR特征向量进行拼接或组合,形成一个更大的向量聚合特征。这个向量聚合特征将同时包含LIBS光谱和NIRS光谱的特征信息,然后输入到全氮含量检测模型的后续隐藏层中进行特征的提取。

[0111] 作为一种可选实施例,第二输入层用于融合所述LIBS光谱指纹和所述NIRS特征信息,生成融合光谱向量,包括:

[0112] 所述第二输入层对所述LIBS特征向量和所述NIRS特征向量进行标准化,以使得标准化后的LIBS特征向量和标准化后的NIRS特征向量在数值范围上一致;

[0113] 拼接所述标准化后的LIBS特征向量和所述标准化后的NIRS特征向量,得到所述融合光谱向量。

[0114] 假设,选定的LIBS光谱指纹特征向量包含5个特征信息,即746.8nm、821.6nm、388.3nm、247.8nm、193.0nm波段的土壤全氮特征光谱峰对应的光谱特征和一个NIRS特征向量,其大小为隐藏层内特征数量。

[0115] 将LIBS光谱指纹表示为: $LIBS\_features = [f1, f2, \dots, f5]$ ,将NIRS特征向量: $NIRS\_features = [g1, g2, \dots, gn]$ ,将上述两个向量拼接起来,得到一个n+5维的融合光谱向量,表示为:

[0116]  $combined\_features = [f1, f2, \dots, f5, g1, g2, \dots, gn]$ 。

[0117] 这个融合光谱向量 $combined\_features$ 就是融合了LIBS光谱和NIR光谱重要信息的特征向量,其具体效果取决于LIBS光谱指纹和NIRS特征向量之间的互补性

[0118] 需要说明的事,在第二输入层中可以对输入的LIBS光谱指纹以及NIRS特征向量进行标准化或归一化,以确保它们在数值范围上是一致的。

[0119] 在全氮含量检测模型中,隐藏层和输出层也起到至关重要的作用,以下是关于这两个层次的具体执行方式、原理以及整个模型运用效果的详细阐述:

[0120] 隐藏层接收来自第二输入层的融合光谱向量,其包含了LIBS光谱指纹和NIRS特征信息,这些信息都是关于待测土壤中全氮含量的潜在指示器。

[0121] 隐藏层通过一系列神经元(也称为节点或单元)对融合光谱向量进行非线性变换。这些神经元之间通过权重和偏置项连接,形成复杂的网络结构。

[0122] 经过非线性变换后,隐藏层能够提取出与全氮含量密切相关的向量聚合特征,这些向量聚合特征是对原始的融合光谱向量的抽象表示,能够更直接地反映全氮含量的信息。

[0123] 输出层接收来自隐藏层的向量聚合特征,通过一个或多个神经元对接收到的向量聚合特征进行线性组合和非线性激活(如使用sigmoid或ReLU函数),计算出待测土壤的全

氮含量预测值。

[0124] 本发明提供的全氮含量检测模型通过融合LIBS光谱指纹和NIRS特征信息,结合神经网络的强大学习能力,能够实现对土壤全氮含量的快速、准确检测。相比传统的化学分析方法,该模型具有更高的效率和更低的成本,适用于大规模土壤样本的全氮含量检测。此外,该模型还具有较好的鲁棒性和泛化能力,能够适应不同土壤类型和条件下的全氮含量检测需求。

[0125] 作为一种可选实施例,在执行所述土壤全氮含量检测方法之前,还包括:

[0126] 采集多份原始土壤样品,对每份所述原始土壤样品进行风干、去杂、研磨以及过筛操作,并获取每份所述原始土壤样品的近红外光谱标签;

[0127] 分别利用所述原始土壤样品对初始的光谱特征提取模型进行自监督迭代训练,以基于每次训练中所述原始土壤样品的近红外光谱标签和重构光谱之间的预测均方根误差,更新所述光谱特征提取模型的模型参数;

[0128] 直至所述预测均方根误差小于预设阈值或者达到预设训练次数,得到训练好的所述光谱特征提取模型。

[0129] 结合图3所示,本发明提供的光谱特征提取模型的模型结构主要是基于卷积的自动编码器(Convolutional Autoencoder, CAE)的设计,由编码器和解码器两部分组成,其中编码器用于提取光谱数据的特征,解码器则用于根据这些特征重构原始光谱。

[0130] 其中编码器主要包括第一卷积层和第二卷积层,第一卷积层对输入的每份原始土壤样品的原始光谱进行卷积操作,提取初步的光谱特征。第二卷积层则在第一卷积层的基础上进一步提取更深层次的光谱特征,形成特征向量。

[0131] 解码器则主要包括第一反卷积层和第二反卷积层,第一反卷积层对编码器提取出的特征向量进行反卷积操作,逐步还原光谱数据的结构。而第二反卷积层则在第一反卷积层的基础上继续重构,直至得到与原始光谱数据相似的重构光谱。

[0132] 该对光谱特征提取模型进行自监督迭代训练时,其训练的过程包括:

[0133] (1) 使用多份原始土壤样品的光谱数据作为输入,通过编码器提取NIRS特征向量。

[0134] (2) 解码器根据特征向量生成重构光谱。

[0135] (3) 计算重构光谱与原始光谱之间的预测均方根误差(RMSE)。

[0136] (4) 根据RMSE更新模型的参数,通常使用反向传播算法和梯度下降优化器。

[0137] (5) 重复上述过程,直至RMSE小于预设阈值或达到预设训练次数。

[0138] 其中对于均方根误差RMSE的计算,其表达式具体可以是:

$$[0139] \quad \text{RMSEP} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}};$$

[0140] 其中, $y_i$ 指NIRS光谱标签的数据值, $\hat{y}_i$ 指重构光谱的数据值,N则代表样本总数。

[0141] 本发明在进行NIRS特征信息提取是借助光谱特征提取模型来实现的,对该模型的训练则是依据自监督训练来实现的,在训练的过程中,通过比较原始光谱(NIRS光谱标签的数据值)和重构光谱的数据值之间的预测均方根误差,以确定特征挖掘的效果:当RMSEP值越小,表明数据重构值与原始数据值更加相近,进而说明提取的NIRS光谱特征更重要。

[0142] 图4是本发明提供的土壤全氮含量检测方法的流程示意图之四,如图4所示,作为

一种可选实施例,在执行所述土壤全氮含量检测方法之前,还包括但不限于:

[0143] 采集多份原始土壤样品,对每份所述原始土壤样品进行风干、去杂、研磨以及过筛操作后,采集每份所述原始土壤样品的NIRS光谱标签;

[0144] 提取每份所述原始土壤样品的NIRS光谱样本对应的NIRS特征信息标签;

[0145] 分别对每份所述原始土壤样品进行压实处理后,获取LIBS光谱标签;

[0146] 提取每份所述原始土壤样品的LIBS光谱标签对应的LIBS光谱指纹标签;

[0147] 测量标注出每份所述原始土壤样品的全氮含量实测值;

[0148] 以每份所述原始土壤样品的所述NIRS特征信息标签及LIBS光谱指纹标签作为初始的全氮含量检测模型的输入,获取所述全氮含量检测模型输出的全氮含量预测值;

[0149] 针对任一所述原始土壤样品,根据所述全氮含量预测值与所述全氮含量实测值之间的预测均方根误差,对所述全氮含量检测模型的模型参数进行更新;

[0150] 迭代训练,直至所述预测均方根误差小于预设阈值或者达到预设训练次数,得到训练好的所述全氮含量检测模型。

[0151] 全氮含量检测模型的输入是NIRS特征信息和LIBS光谱指纹,该全氮含量检测模型可以使基于极限学习机(Extreme Learning Machine,ELM)构建,作为一种可监督网络模型,在其训练过程中也可以利用预测均方根误差,将任一原始土壤样品的的全氮含量预测值和全氮含量实测值进行比较,RMSEP值越小,则证明预测效果越好,用以确定最优的模型参数。

[0152] 图5是本发明提供的土壤全氮含量检测装置的结构示意图,如图5所示,主要包括但不限于:

[0153] 数据采集单元51,用于采集待测土壤的激光诱导击穿光谱和近红外光谱;

[0154] 第一特征提取单元52,用于获取所述激光诱导击穿光谱与全氮含量相关波段的土壤全氮特征光谱峰,以基于所述土壤全氮特征光谱峰生成所述待测土壤的激光诱导击穿光谱指纹;

[0155] 第二特征提取单元53,将所述近红外光谱输入至光谱特征提取模型,获取由所述光谱特征提取模型输出的与全氮含量相关的近红外特征信息;

[0156] 含量预测单元54,用于将所述激光诱导击穿光谱指纹和所述近红外特征信息,输入至全氮含量检测模型,获取由所述全氮含量检测模型输出的所述待测土壤的全氮含量值。

[0157] 需要说明的是,本发明提供的土壤全氮含量检测装置,在具体运行时,可以执行上述任一实施例所述的土壤全氮含量检测方法,对此本实施例不作赘述。

[0158] 本发明提供的土壤全氮含量检测装置,解决了单一近红外光谱在土壤全氮含量检测中存在的因波段相关性干扰严重、特定元素检测效果差的缺陷,将近红外光谱的稀疏特征与LIBS光谱的元素特征在全氮含量检测模型中进行特征融合,以基于融合光谱向量所提供的特征信息,输出满足要求的土壤全氮含量值,提升了检测精度和测量效率。

[0159] 图6是本发明提供的电子设备的结构示意图,如图6所示,该电子设备可以包括:处理器(processor)610、通信接口(Communications Interface)620、存储器(memory)630和通信总线640,其中,处理器610,通信接口620,存储器630通过通信总线640完成相互间的通信。处理器610可以调用存储器630中的逻辑指令,以执行土壤全氮含量检测方法,该方法包

括:采集待测土壤的激光诱导击穿光谱和近红外光谱;获取所述激光诱导击穿光谱与全氮含量相关波段的土壤全氮特征光谱峰,以基于所述土壤全氮特征光谱峰生成所述待测土壤的激光诱导击穿光谱指纹;将所述近红外光谱输入至光谱特征提取模型,获取由所述光谱特征提取模型输出的与全氮含量相关的近红外特征信息;将所述激光诱导击穿光谱指纹和所述近红外特征信息,输入至全氮含量检测模型,获取由所述全氮含量检测模型输出的所述待测土壤的全氮含量值。

[0160] 此外,上述的存储器630中的逻辑指令可以通过软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。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或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,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所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0161] 另一方面,本发明还提供一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括存储在非暂态计算机可读存储介质上的计算机程序,所述计算机程序包括程序指令,当所述程序指令被计算机执行时,计算机能够执行上述各实施例所提供的土壤全氮含量检测方法,该方法包括:采集待测土壤的激光诱导击穿光谱和近红外光谱;获取所述激光诱导击穿光谱与全氮含量相关波段的土壤全氮特征光谱峰,以基于所述土壤全氮特征光谱峰生成所述待测土壤的激光诱导击穿光谱指纹;将所述近红外光谱输入至光谱特征提取模型,获取由所述光谱特征提取模型输出的与全氮含量相关的近红外特征信息;将所述激光诱导击穿光谱指纹和所述近红外特征信息,输入至全氮含量检测模型,获取由所述全氮含量检测模型输出的所述待测土壤的全氮含量值。

[0162] 又一方面,本发明还提供一种非暂态计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现以执行上述各实施例提供的土壤全氮含量检测方法,该方法包括:采集待测土壤的激光诱导击穿光谱和近红外光谱;获取所述激光诱导击穿光谱与全氮含量相关波段的土壤全氮特征光谱峰,以基于所述土壤全氮特征光谱峰生成所述待测土壤的激光诱导击穿光谱指纹;将所述近红外光谱输入至光谱特征提取模型,获取由所述光谱特征提取模型输出的与全氮含量相关的近红外特征信息;将所述激光诱导击穿光谱指纹和所述近红外特征信息,输入至全氮含量检测模型,获取由所述全氮含量检测模型输出的所述待测土壤的全氮含量值。

[0163] 以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,其中所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性的劳动的情况下,即可以理解并实施。

[0164] 通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到各实施方式可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现,当然也可以通过硬件。基于这样的理解,上述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计算机可读存储介质中,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)执行各个实施例或者实施例的某些部分所述的方法。

[0165] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

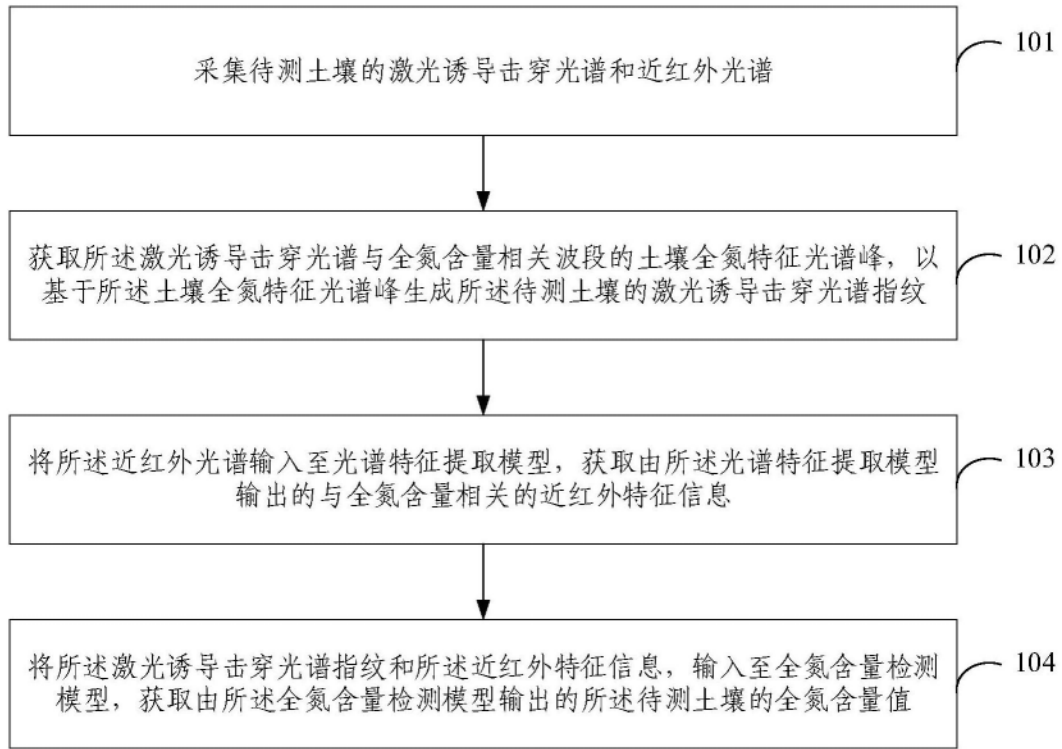


图1

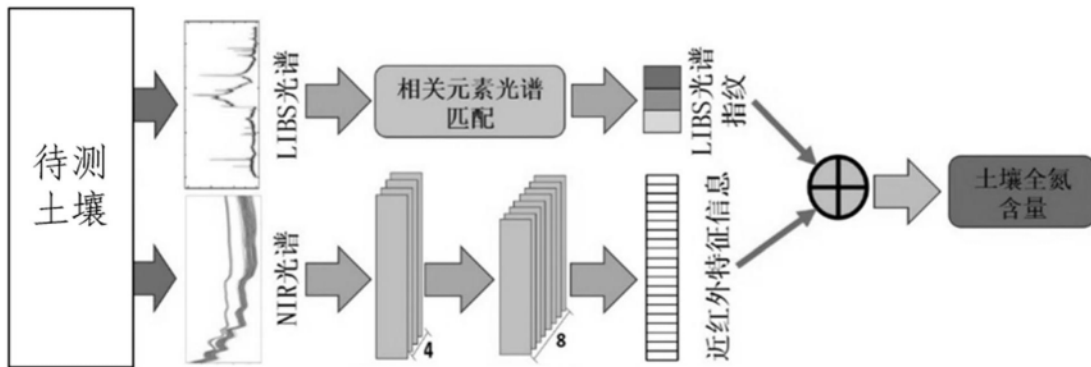


图2

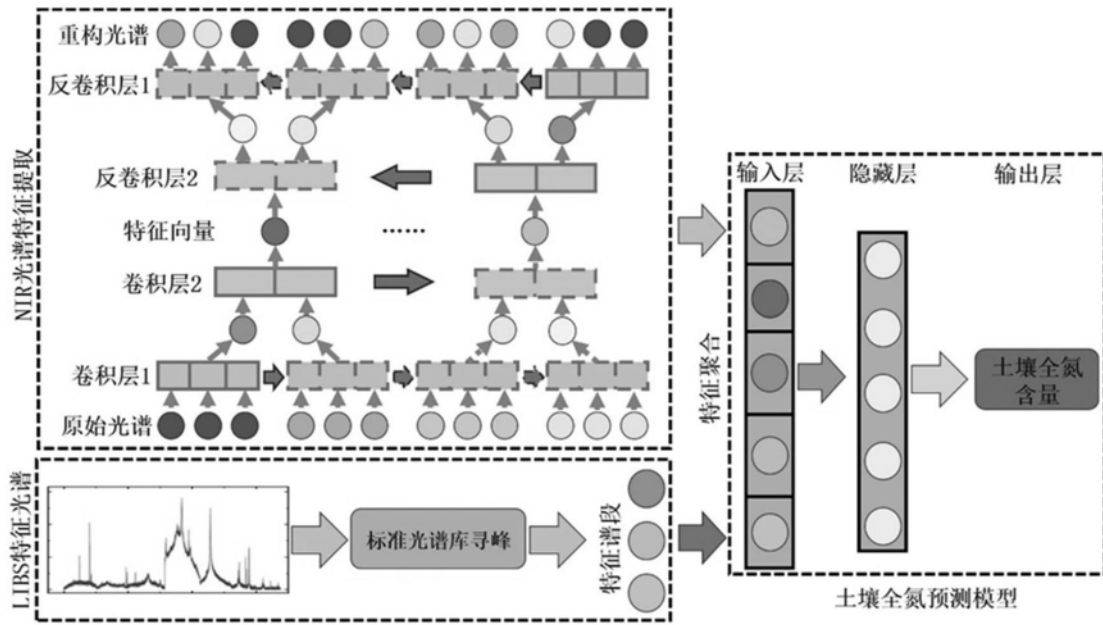


图3

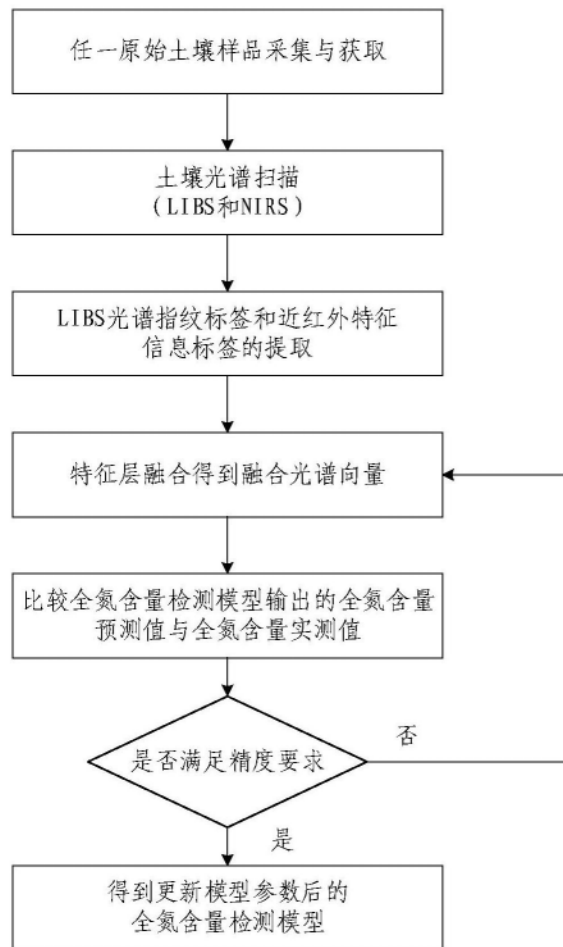


图4

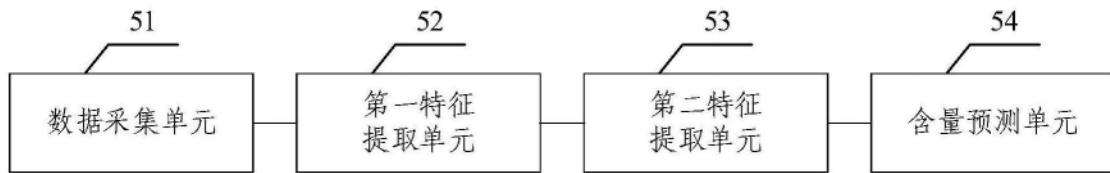


图5

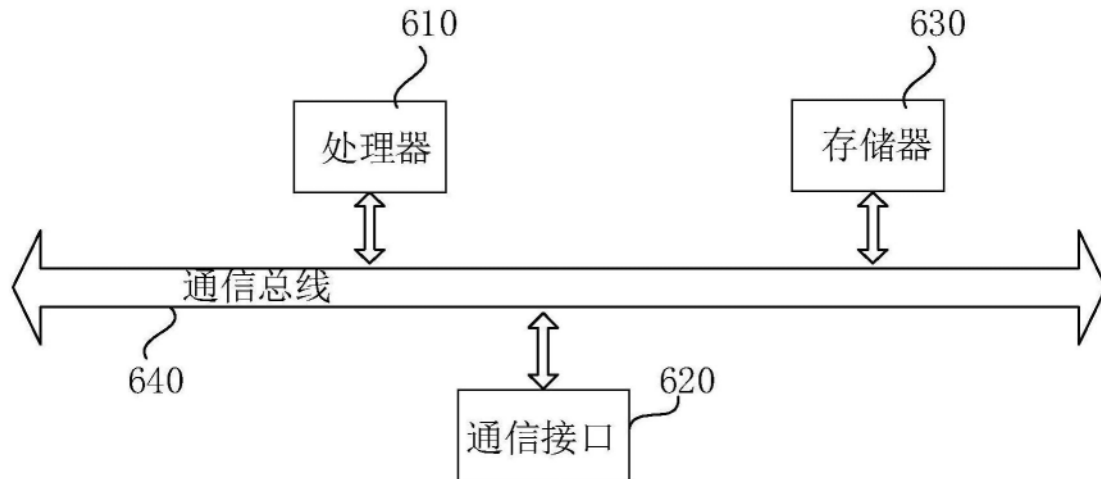


图6