



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110657879 B

(45) 授权公告日 2021.06.11

(21) 申请号 201910898681.0

EP 1096273 A2,2001.05.02

(22) 申请日 2019.09.23

CN 102628698 A,2012.08.08

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 102809421 A,2012.12.05

申请公布号 CN 110657879 A

CN 103954348 A,2014.07.30

(43) 申请公布日 2020.01.07

CN 104034409 A,2014.09.10

(73) 专利权人 郑州信大先进技术研究院

CN 104132693 A,2014.11.05

地址 450000 河南省郑州市高新技术产业  
开发区莲花街55号

CN 104204737 A,2014.12.10

US 2015033865 A1,2015.02.05

(72) 发明人 邵佳 杨纳川 刘正堂 牛原野  
袁航 王永华 赵翠霞

CN 107505042 A,2017.12.22

CN 108132092 A,2018.06.08

(74) 专利代理机构 郑州德勤知识产权代理有限  
公司 41128

CN 108474674 A,2018.08.31

CN 109297581 A,2019.02.01

代理人 张微微

CN 109752720 A,2019.05.14

郑华等.“空芯光子晶体光纤谐振腔的设计  
与优化”.《量子光学学报》.2015,第21卷(第2  
期),183-188页.

(51) Int. Cl.

G01H 9/00 (2006.01)

郑印等.“ $\phi$ -OTDR识别不同频率振动事件  
研究”.《光电工程》.2015,第42卷(第5期),68-74  
页. (续)

(56) 对比文件

US 4593385 A,1986.06.03

CN 109459126 A,2019.03.12

US 2009132183 A1,2009.05.21

CN 103090961 A,2013.05.08

审查员 付友昱

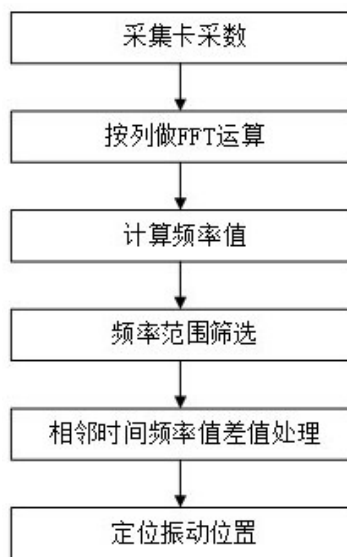
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于FFT的分布式光纤振动传感定位方  
法及装置

(57) 摘要

本发明提供一种基于FFT的分布式光纤振动  
传感定位方法,通过收集多个脉冲的后向瑞利散  
射信号,对每个位置处积累的信号做FFT,根据该  
位置处的幅频特性,确定此位置处振动信号频  
率,以频率为判决条件进行筛选,将符合判决条  
件的频率结果进行相邻时刻对应位置处差值处  
理,在光缆受到外界环境影响下准确识别出真实  
有效振动位置。本发明还提供一种基于FFT的分  
布式光纤振动传感定位装置,用于执行前述定位  
方法。本发明通过将不同振动形式的振动频率特  
征和真实振动突发性的特征相结合来判定振动  
位置,算法实现简单,具有良好的工程实用性。



CN 110657879 B

[接上页]

(56) 对比文件

张博.“基于 $\Phi$ -OTDR的高灵敏光纤振动传感器的研究”.《中国优秀硕士/博士学位论文全文数据库》.2016,全文.

熊显名 等.“ $\Phi$ -OTDR全分布式光纤振动传感系统的车辆识别方法改进”.《激光杂志》

.2018,第39卷(第6期),70-73页.

王鹏飞 等.“基于 $\Phi$ -OTDR的煤层气管线外界入侵振动检测系统”.《传感技术学报》.2019,第32卷(第1期),144-149页.

曹玉龙 等.“基于 $3\times 3$ 迈克耳孙干涉仪的分布式光纤振动传感器”.《中国激光》.2016,第43卷(第10期),205-215页.

1. 一种基于FFT的分布式光纤振动传感定位方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤S1,采集光电探测器输出的多个脉冲数据串,所述脉冲数据串为单个发射脉冲下采集的若干个回向数据的集合;

步骤S2,按照时间顺序对采集的多个脉冲数据串进行排序,获得回向数据矩阵;

步骤S3,对回向数据矩阵逐列做M点FFT运算,获得二维频域矩阵,M为2的整次幂;

步骤S4,对二维频域矩阵逐列计算频率值,获得一维频率矩阵;

对二维频域矩阵逐列计算频率值的具体步骤为:

选取二维频域矩阵的第一列,从该列的第2个数据开始,到该列的第M/2个数据结束,判断是否存在大于预设幅度阈值的数据,若不存在,表示此位置处不存在振动,该列频率值记为0;若存在,则选取2到M/2之间幅度值最大的数据位置处的频率为该列的频率值;

每列第2到M/2行之间幅度值最大的数据位置处的频率为:

$$f_{m_{ni}} = \frac{m_{ni}}{M} * f_{PRF}$$

其中,n为1到N之间的任意数字,N为二维频域矩阵的列向量个数, $m_{ni}$ 表示第n列从2到M/2之间的任意数值,M表示FFT点数, $f_{m_{ni}}$ 表示第n列的频率值, $f_{PRF}$ 表示脉冲重复频率;

选取二维频域数组的第二列重复上述操作获得第2列的频率值,依次类推,获得二维频域数组的每一列的频率值组成一维频率矩阵;步骤S5,对一维频率矩阵逐列进行频率值范围限定,将高于频率值范围上限的频率限定为频率值上限,将低于频率值范围下限的频率限定为频率值下限,获得一维限定矩阵;

步骤S6,重复上述步骤,获得相邻时刻另一个一维限定矩阵;

步骤S7,对两个一维限定矩阵做差处理,获得一维差值矩阵;

步骤S8,逐列对一维差值矩阵进行阈值判断,差值大于预设阈值的列所对应的位置判定为入侵位置,否则无入侵。

2. 一种基于脉冲累加的分布式光纤振动传感定位装置,其特征在于,包括:

采集模块,用于采集光电探测器输出的多个脉冲数据串,所述脉冲数据串为单个发射脉冲下采集的若干个回向数据的集合;

排序模块,用于按照时间顺序对采集的多个脉冲数据串进行排序,获得回向数据矩阵;

二维频域矩阵获取模块,用于对回向数据矩阵逐列做M点FFT运算,获得二维频域矩阵;

一维频率矩阵获取模块,用于对二维频域矩阵逐列计算频率值,获得一维频率矩阵;

对二维频域矩阵逐列计算频率值的具体步骤为:

选取二维频域矩阵的第一列,从该列的第2个数据开始,到该列的第M/2个数据结束,判断是否存在大于预设幅度阈值的数据,若不存在,表示此位置处不存在振动,该列频率值记为0;若存在,则选取2到M/2之间幅度值最大的数据位置处的频率为该列的频率值;

每列第2到M/2行之间幅度值最大的数据位置处的频率为:

$$f_{m_{ni}} = \frac{m_{ni}}{M} * f_{PRF}$$

其中,n为1到N之间的任意数字,N为二维频域矩阵的列向量个数, $m_{ni}$ 表示第n列从2到M/2之间的任意数值,M表示FFT点数, $f_{m_{ni}}$ 表示第n列的频率值, $f_{PRF}$ 表示脉冲重复频率;

选取二维频域数组的第二列重复上述操作获得第2列的频率值,依次类推,获得二维频

域数组的每一列的频率值组成一维频率矩阵；

一维限定矩阵获取模块,用于对一维频率矩阵逐列进行频率值范围限定,将高于频率值范围上限的频率限定为频率值上限,将低于频率值范围下限的频率限定为频率值下限,获得一维限定矩阵；

做差模块,用于对相邻时刻两个一维限定矩阵做差处理,获得一维差值矩阵；

入侵判定模块,用于逐列对一维差值矩阵进行阈值判断,差值大于预设阈值的列所对应的位置判定为入侵位置,否则无入侵。

3. 一种计算机设备,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,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1所述分布式光纤振动传感定位方法的步骤。

4. 一种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权利要求1所述分布式光纤振动传感定位方法的步骤。

## 一种基于FFT的分布式光纤振动传感定位方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及分布式光纤振动传感领域,具体的说,涉及了一种基于FFT的分布式光纤振动传感定位方法及装置。

### 背景技术

[0002] 分布式光纤振动传感系统由前端布设的长距离分布式探测光纤、光纤解调主机、上位机软件组成。该系统利用激光源和声光调制器向探测光纤中不断注入脉冲光,并接收传感光纤中在探测到振动或声波信号后输出含有振动或声波信号的后向瑞利散射光,通过光电探测器和采集卡将信号传输至上位机进行数据处理,最终解调出振动信息。分布式光纤振动传感系统对光纤所到之处进行全天时全天候的长距离连续振动监测并预警,是当前智能可靠的技术防范手段,具备高可靠性、高灵敏度、低功耗等特点,被广泛应用在国境边防、高铁沿线、营区监狱、文博古迹、高速林区、核电站、石油天然气管道等领域的入侵检测。

[0003] 目前主要的振动信息解调方法是利用采集到的振幅信号做时间差分,根据差分信号的强度值定位振动信号的发生位置。此方法实现简单,在实验室环境中能获得良好的判定效果。但在实际应用中,光缆依据铺设条件,会受到自然环境(如大风、大雨、冰雹等)和人文环境(如汽车行驶、地铁通过、人群聚集等)的多重影响,此时仅通过振幅信号时间差分的方法,各种作用在光纤上的振动信号都将被提取出来。在实际应用中做预警判别时,真正需要监测的振动信号被周围其他振动信号(环境引发)所淹没,这会给真实振动位置判定带来极大的困扰,造成较高的虚警率。现阶段解决这一问题主要采用动态阈值和模式识别的方法:动态阈值可以在一定程度上降低虚警率,但是会不可避免地增大漏警率;模式识别可以判断出振动类型,但算法实现复杂、实用性低。

[0004] 为了解决以上存在的问题,人们一直在寻求一种理想的技术解决方案。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是针对现有技术的不足,从而提供了一种基于FFT的分布式光纤振动传感定位方法,可以通过将不同振动形式的振动频率特征和真实振动突发性的特征相结合来判定振动位置,算法实现简单,具有良好的工程实用性。

[0006] 为了实现上述目的,本发明所采用的技术方案是:一种基于FFT的分布式光纤振动传感定位方法,包括以下步骤:

[0007] 采集光电探测器输出的多个脉冲数据串,所述脉冲数据串为单个发射脉冲下采集的若干个回向数据的集合;

[0008] 按照时间顺序对采集的多个脉冲数据串进行排序,获得回向数据矩阵;

[0009] 对回向数据矩阵逐列做M点FFT运算,获得二维频域矩阵,M为2的整次幂;

[0010] 对二维频域矩阵逐列计算频率值,获得一维频率矩阵;

[0011] 对一维频率矩阵逐列进行频率值范围限定,将高于频率值范围上限的频率限定为频率值上限,将低于频率值范围下限的频率限定为频率值下限,获得一维限定矩阵;

[0012] 重复上述步骤,获得另一个一维限定矩阵;

[0013] 对两个一维限定矩阵做差处理,获得一维差值矩阵;

[0014] 逐列对一维差值矩阵进行阈值判断,差值大于预设阈值的列所对应的位置判定为入侵位置,否则无入侵。

[0015] 基于上述,对二维频域矩阵逐列计算频率值的具体步骤为:

[0016] 选取二维频域矩阵的第一列,从该列的第2个数据开始,到该列的第M/2个数据结束,判断是否存在大于预设幅度阈值的数据,若不存在,表示此位置处不存在振动,该列频率值记为0;若存在,则选取2到M/2之间幅度值最大的数据位置处的频率为该列的频率值;

[0017] 选取二维频域数组的第二列重复上述操作获得第2列的频率值,依次类推,获得二维频域数组的每一列的频率值组成一维频率矩阵。

[0018] 基于上述,每列第2到M/2行之间幅度值最大的数据位置处的频率为:

$$[0019] \quad f_{m_{ni}} = \frac{m_{ni}}{M} * f_{PRF}$$

[0020] 其中,n为1到N之间的任意数字,N为二维频域矩阵的列向量个数, $m_{ni}$ 表示第n列从2到M/2之间的任意数值,M表示FFT点数, $f_{m_{ni}}$ 表示第n列的频率值, $f_{PRF}$ 表示脉冲重复频率。

[0021] 本发明还提供一种分布式光纤振动传感定位装置,包括:

[0022] 采集模块,用于采集光电探测器输出的多个脉冲数据串,所述脉冲数据串为单个发射脉冲下采集的若干个回向数据的集合;

[0023] 排序模块,用于按照时间顺序对采集的多个脉冲数据串进行排序,获得回向数据矩阵;

[0024] 二维频域矩阵获取模块,用于对回向数据矩阵逐列做M点FFT运算,获得二维频域矩阵;

[0025] 一维限定矩阵获取模块,用于对一维频率矩阵逐列进行频率值范围限定,将高于频率值范围上限的频率限定为频率值上限,将低于频率值范围下限的频率限定为频率值下限,获得一维限定矩阵;

[0026] 做差模块,用于对两个一维限定矩阵做差处理,获得一维差值矩阵;

[0027] 入侵判定模块,用于逐列对一维差值矩阵进行阈值判断,差值大于预设阈值的列所对应的位置判定为入侵位置,否则无入侵。

[0028] 本发明还提供一种计算机设备,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计算机程序时实现前述分布式光纤振动传感定位方法的步骤。

[0029] 本发明还提供一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现前述分布式光纤振动传感定位方法的步骤。

[0030] 本发明相对现有技术具有突出的实质性特点和显著的进步,具体的说,本发明对采集到的脉冲响应信号按对应位置做FFT算法,再根据幅频特性确定该位置处的振动频率,根据频率预设范围和频率值差值结果确定此处是否为有效振动,以此抑制光缆受外界环境影响引发的虚警率高、有效位置难以识别的问题,提高系统对于各种外界环境条件下有效振动行为的判别正确率,降低系统虚警率,在工程应用中具备高可用性。

## 附图说明

[0031] 图1是本发明所述定位方法的流程示意图。

[0032] 图2是本发明所述定位装置的原理框图。

## 具体实施方式

[0033] 下面通过具体实施方式,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

[0034] 分布式光纤振动监测系统主要有基于强度解调和相位解调两种监测系统,两种系统在做振动位置定位时都可以用本发明所述的定位方法,本实施例以相位解调系统( $\phi$ -OTDR)为例详细介绍本发明所述的定位方法。

[0035] 如图1所示,一种基于FFT的分布式光纤振动传感定位方法,包括以下步骤:

[0036] S1,采集光电探测器输出的多个脉冲数据串,所述脉冲数据串为单个发射脉冲下采集的若干个回向数据的集合。

[0037] 所述回向数据的个数与光在光纤上的传播距离相对应,每个回向数据对应光纤中的一个位置点,表示从该点返回的脉冲响应信号。

[0038] 具体的,在 $\phi$ -OTDR系统中,数据采集卡采集到的干涉光信号为:

$$[0039] \quad C(t) = 4E_R E_{L0} \cos[\Delta\omega t + \varphi(t)] \quad (1)$$

[0040] 式中

$$[0041] \quad \varphi(t) = \phi_{L0}(t) - \phi_R(t) \quad (2)$$

[0042] 其中, $E_R$ 是干涉光的振幅, $E_{L0}$ 是本地光的振幅, $\Delta\omega$ 是声光调制器引入的频偏移, $\phi_{L0}(t)$ 是本地光的初始相位, $\phi_R(t)$ 是干涉光的相位。

[0043] S2,按照时间顺序对采集的多个脉冲数据串进行排序,获得回向数据矩阵。

[0044] 对上述干涉光信号按照脉冲时间顺序排列组合得到 $M \times N$ 二维矩阵,其中, $M$ 为采集到的脉冲数据串个数, $N$ 为单个脉冲数据串中回向数据的个数,每个矩阵元素为一个回向数据,矩阵的每一行对应一个采集脉冲,矩阵的每一列对应光纤中的一个位置点。

[0045] S3,对回向数据矩阵逐列做 $M$ 点FFT运算,获得二维频域矩阵,其中, $M$ 必须是2的整次幂。

[0046] 将 $M \times N$ 二维时域矩阵按列做 $M$ 点FFT运算后矩阵获得 $M \times N$ 二维频域矩阵,该二维频域矩阵包含脉冲响应信号的幅频特性。

[0047] S4,对二维频域矩阵逐列计算频率值,获得一维频率矩阵。

[0048] 选取二维频域数组的第一列,从该列的第2个数据开始,到该列的第 $M/2$ 个数据结束,判断是否存在大于预设幅度阈值的数据,预设幅度阈值根据实际现场应用中会作用到光缆上的振动强度而定,初值可设置为4。

[0049] 若不存在,表示此位置处不存在振动,该列频率值记为0;若存在,则选取2到 $M/2$ 之间幅度值最大的数据位置 $m_{1i}$ ,第 $m$ 个数据位置所对应的频率为:

$$[0050] \quad f_{m_{1i}} = \frac{m_{1i}}{M} * f_{PRF}$$

[0051] 其中, $m_{1i}$ 表示第1列从2到 $M/2$ 之间的任意数值, $M$ 表示FFT点数, $f_{m_{1i}}$ 表示第1列的频率值, $f_{PRF}$ 表示脉冲重复频率;

[0052] 选取二维频域数组的第二列重复上述操作获得第2列的频率值 $f_{m_{2i}}$ ,依次类推,获得二维频域数组的每一列的频率值 $f_{m_n}$ 组成一维频率矩阵,n大于等于2且n小于等于N。

[0053] S5,对一维频率矩阵逐列进行频率值范围限定,获得一维限定矩阵;

[0054] 其中设定频率值范围为[P:Q],将高于频率值范围上限Q的频率限定为频率值上限Q,将低于频率值范围下限P的频率限定为频率值下限P。

[0055] P、Q的实际数值根据施工现场环境及光纤布设方式设定,例如当光纤是挂网或沿栏杆铺设时,可设P为0,Q为60hz;当光纤埋地铺设时,可设P为20,Q为100hz。因为振动信号本质是经过介质传播的机械波,通过结构和介质的作用,工程应用中分布式光纤振动传感系统采集到的振动信号频率分布不会太宽,以20Hz到60Hz之间的信号居多,20Hz以下低频的振动多是地脉动、自然天气影响的微弱振动等信号,高于60Hz的振动信号一般仅在小结构上或是机械振动引发才能出现,100hz以上的振动信号长距离大结构的监测活动中很少发生。

[0056] S6,重复上述步骤,获得另一个一维限定矩阵。

[0057] S7,对两个一维限定矩阵做差处理,获得一维差值矩阵。

[0058] 由于获得两个一维差值矩阵携带有相邻时刻的振动频率信息,因此,将两次获得的一维限定矩阵的对应位置做差值处理,获得一个1\*N的一维差值矩阵。

[0059] 因为有效振动多为突发性的,如人为翻越栏杆、挖掘光缆覆土等,经过相邻时刻的差值处理后,可以将此行为引起的振动频率异常值筛选出来,便于后续阈值定位振动位置。而在某位置处长时间存在的振动源(如光缆上的虫子及树木植被、地脉振动等)引发的振动会通过相邻差值进行抵消,以此降低对振动位置的误判。

[0060] S8,逐列对一维差值矩阵进行阈值判断,差值大于预设阈值T的列所对应的位置判定为入侵位置,否则无入侵。

[0061] 其中,预设阈值T根据现场测试效果设定,初值可设置为5。

[0062] 本发明还提供一种基于脉冲累加的分布式光纤振动传感定位装置,如图2所示,该定位装置包括:

[0063] 采集模块,用于采集光电探测器输出的多个脉冲数据串,所述脉冲数据串为单个发射脉冲下采集的若干个回向数据的集合;

[0064] 排序模块,用于按照时间顺序对采集的多个脉冲数据串进行排序,获得回向数据矩阵;

[0065] 二维频域矩阵获取模块,用于对回向数据矩阵逐列做M点FFT运算,获得二维频域矩阵;

[0066] 一维限定矩阵获取模块,用于对一维频率矩阵逐列进行频率值范围限定,将高于频率值范围上限的频率限定为频率值上限,将低于频率值范围下限的频率限定为频率值下限,获得一维限定矩阵;

[0067] 做差模块,用于对两个一维限定矩阵做差处理,获得一维差值矩阵;

[0068] 入侵判定模块,用于逐列对一维差值矩阵进行阈值判断,差值大于预设阈值的列所对应的位置判定为入侵位置,否则无入侵。

[0069] 本装置通过对采集到的脉冲响应信号按对应位置做FFT算法,再根据幅频特性确定该位置处的振动频率,根据频率预设范围和频率值差值结果确定此处是否为有效振动,



以此抑制光缆受外界环境影响引发的虚警率高、有效位置难以识别的问题,提高系统对于各种外界环境条件下有效振动行为的判别正确率,降低系统虚警率,在工程应用中具备高可用性。

[0070] 本发明还提供一种计算机设备,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计算机程序时实现前述分布式光纤振动传感定位方法的步骤。

[0071] 本发明还提供一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现前述分布式光纤振动传感定位方法的步骤。

[0072] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制;尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者对部分技术特征进行等同替换;而不脱离本发明技术方案的精神,其均应涵盖在本发明请求保护的技术方案范围当中。

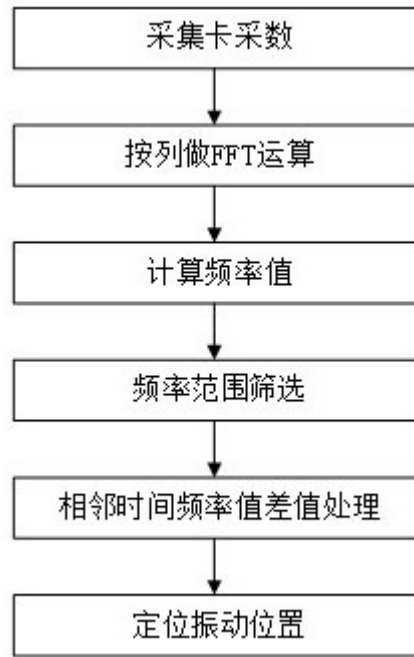


图1

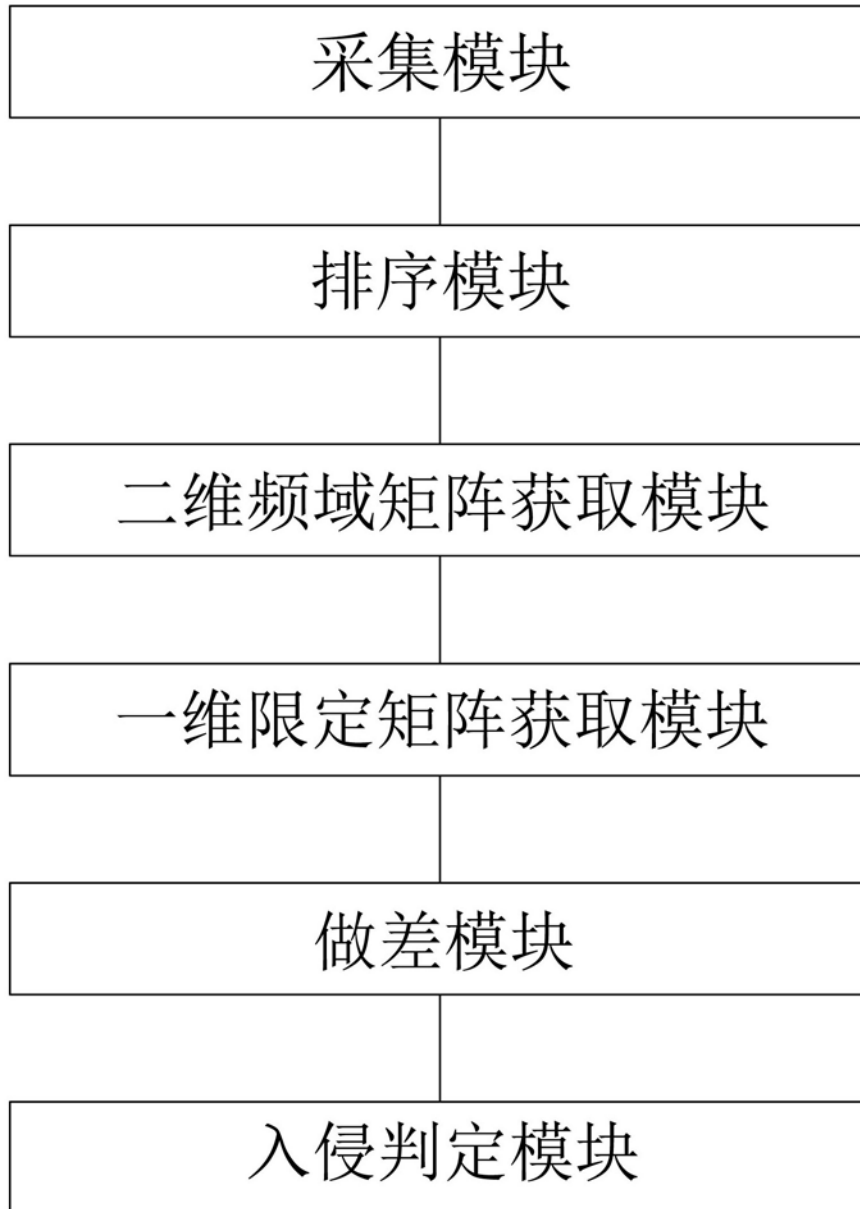


图2