



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115014230 B

(45) 授权公告日 2024. 10. 25

(21) 申请号 202210730540.X

G06T 7/00 (2017.01)

(22) 申请日 2022.06.24

G06V 10/774 (2022.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115014230 A

(56) 对比文件

CN 108489413 A, 2018.09.04

CN 109883344 A, 2019.06.14

(43) 申请公布日 2022.09.06

审查员 路晓明

(73) 专利权人 北京无线电测量研究所

地址 100854 北京市海淀区永定路50号59楼

(72) 发明人 杨伟 郑明晔 叶晓盛

(74) 专利代理机构 北京轻创知识产权代理有限公司 11212

专利代理师 陈晓华

(51) Int. Cl.

G01B 11/16 (2006.01)

G01B 11/02 (2006.01)

权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

二维平面结构形变测量方法及系统

(57) 摘要

本发明涉及一种二维平面结构形变测量方法及系统,方法包括:通过与待测二维平面结构相对设置的二维平面部件上左右对称排布的CCD相机获取所述待测二维平面结构不同位置的实时应变数据;根据预建立的应变-位移预测模型确定与所述实时应变数据对应的实时位移数据;根据所述实时位移数据确定所述待测二维平面结构的实时形变情况。本发明适用于对待测二维平面结构的长期监测,测量结果稳定、误差小,且不会导致待测物件损伤;并且可大幅减少采集工作量,提高实时数据分析效率,便于及时上报危险状态,锁定危险部位,减少损失。

通过与待测二维平面结构相对设置的二维平面部件上左右对称排布的CCD相机获取所述待测二维平面结构不同位置的实时应变数据 S110

根据预建立的应变位移预测模型确定与所述实时应变数据对应的实时位移数据 S120

根据所述实时位移数据确定所述待测二维平面结构的实时形变情况 S130

1. 一种二维平面结构形变测量方法,其特征在于,包括:

通过与待测二维平面结构相对设置的二维平面部件上左右对称排布的CCD相机获取所述待测二维平面结构不同位置的实时应变数据;

根据预建立的应变-位移预测模型确定与所述实时应变数据对应的实时位移数据;

预建立所述应变-位移预测模型包括:

在标定状态下,获取训练样本包括应变向量和位移向量的原始训练集;所述在标定状态下,获取训练样本包括应变向量和位移向量的原始训练集,包括:在标定状态下,在待测二维平面结构上设置n个应变采集点和m个位移采集点;m和n均为正整数;在与所述待测二维平面结构相对设置的二维平面部件上阵列排布多个激光位移传感器,左右对称排布的至少两个CCD相机;通过多个激光位移传感器测量获取位移向量 $d_{m \times 1}$ ,通过两个CCD相机获取应变向量 $e_{2n \times 1}$ ;通过多次测量获取L个训练样本,组成原始训练集S,  $S = \{E, D\}$ ,其中,E代表输入应变矩阵 $E_{2n \times L}$ ,D代表输出位移矩阵 $D_{m \times L}$ ;

将所述原始训练集中的训练样本以应变向量归一化确定第一归一化系数,位移向量以所述第一归一化系数进行缩放处理,得到归一化训练集;

将测试样本以应变向量归一化确定第二归一化系数;

计算测试样本归一化应变向量与所述归一化训练集中每个训练样本归一化应变向量的距离;

对所述距离从小到大进行排序,选取排序结果中前k组距离对应的归一化训练集中的训练样本作为优选训练样本,得到优选训练集,并计算所述优选训练样本的权重;

根据所述第二归一化系数、优选训练样本的权重和优选训练样本的位移向量估计测量样本应变向对应的位移向量;

根据所述实时位移数据确定所述待测二维平面结构的实时形变情况。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述将所述原始训练集中的训练样本以应变向量归一化确定第一归一化系数,位移向量以所述第一归一化系数进行缩放处理,得到归一化训练集 $S^*$ ,计算公式如下:

$$a = \frac{1}{|e_{2n \times 1}|}, \quad d_{m \times 1}^* = \frac{1}{|e_{2n \times 1}|} d_{m \times 1};$$

其中,a代表第一归一化系数, $e_{2n \times 1}$ 为原始训练集训练样本的应变向量, $d_{m \times 1}$ 为原始训练集训练样本的位移向量, $d_{m \times 1}^*$ 代表归一化训练集 $S^*$ 训练样本的位移向量。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述将测试样本以应变向量归一化确定第二归一化系数,计算公式如下:

$$b = \frac{1}{|e_{2n \times 1}^0|};$$

其中,b为第二归一化系数, $e_{2n \times 1}^0$ 为测试样本的应变向量。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,计算测试样本归一化应变向量 $e_{2n \times 1}^{0*}$ 与所述归一化训练集 $S^*$ 中每个训练样本归一化应变向量 $e_{2n \times 1}^{i*}$ 的欧式距离 $r_i$ ,记 $r = \{r_i\}$ ,其中, $i = 1, 2, 3, \dots, I, I \leq 2n$ 。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述计算所述优选训练样本的权重,计算

公式如下：

$$\alpha_j = \frac{1}{(r_j + 0.01)^2 \sum_{j=1}^k \frac{1}{(r_j + 0.01)^2}}, \quad j = 1, 2, \dots, k;$$

其中,  $\alpha_j$  为所述优选训练集中第  $j$  个优选训练样本的权重,  $r_j$  测试样本归一化应变向量  $e_{2n \times 1}^{0*}$  与所述优选训练集中第  $j$  个训练样本归一化应变向量  $e_{2m \times 1}^{j*}$  的距离。

6. 根据权利要求5所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述第二归一化系数、优选训练样本的权重和优选训练样本的位移向量估计测量样本应变向对应的位移向量, 计算公式如下:

$$d_{m \times 1}^0 = b \sum_{j=1}^k \alpha_j d_{m \times 1}^{j*};$$

其中,  $d_{m \times 1}^0$  为测量样本应变向对应的位移向量的估计值,  $b$  为第二归一化系数,  $\alpha_j$  为所述优选训练集中第  $j$  个优选训练样本的权重,  $d_{m \times 1}^{j*}$  为优选训练样本的位移向量。

7. 一种二维平面结构形变测量系统, 其特征在于, 包括: 二维平面部件和处理控制装置; 所述二维平面部件上左右对称排布的两个 CCD 相机; 所述 CCD 的相机用于获取待测二维平面结构不同位置的实时应变数据;

所述处理控制装置包括存储器、处理器及存储在所述存储器上的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程序时实现如权利要求1至6任一项所述的二维平面结构形变测量方法。

8. 根据权利要求7所述的系统, 其特征在于, 在标定状态下, 二维平面部件上阵列排布多个激光位移传感器, 通过多个激光位移传感器测量获取位移向量; 还包括与所述处理控制装置连接的显示器, 所述显示器用于接收所述处理控制装置发送的所述待测二维平面结构不同位置在不同时刻的应变量与位移量估计值。

## 二维平面结构形变测量方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及形变测量技术领域,尤其涉及一种二维平面结构形变测量方法及系统。

### 背景技术

[0002] 二维平面结构在使用过程中可能会由于各种因素导致形变。如大型雷达天线阵面及结构框架对温度载荷较为敏感,在夏季温差及不均匀太阳辐射下,可导严重变形,极大影响雷达的精度;雷达天线阵面结构在重力、风载、温度等因素的影响下,会产生一定程度的随机变形,而结构变形会对雷达的整体探测精度产生重大影响;此外,有些结构采用了不同热膨胀系数的材料组合,温度载荷的影响更加凸显,结构容易产生较大应变,极易导致结构产生损伤甚至破坏。

[0003] 因此,如何实时快速准确的检测二维平面结构的形变成为亟待解决的技术问题。

### 发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是针对现有技术存在的问题,提供一种二维平面结构形变测量方法及系统。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明提供一种二维平面结构形变测量方法,包括:通过与待测二维平面结构相对设置的二维平面部件上左右对称排布的CCD相机获取所述待测二维平面结构不同位置的实时应变数据;根据预建立的应变-位移预测模型确定与所述实时应变数据对应的实时位移数据;根据所述实时位移数据确定所述待测二维平面结构的实时形变情况。

[0006] 本发明的有益效果是:本发明通过CCD相机获取待测二维平面结构不同位置的实时应变数据,并根据预建立的应变-位移预测模型确定与所述实时应变数据对应的实时位移数据;CCD相机测量为光学测量,可避免电测方法所带来的电磁干扰影响,也可以有效解决直接使用激光位移传感器长期测量获取位移数据的方式产生的采集数值不稳定,采集误差大,以及激光位移传感器长时间照射导致待测二维平面结构损伤等问题;本发明适用于对待测二维平面结构的长期监测,测量结果稳定、误差小,且不会导致待测物件损伤;而且测量的应变数据可全场、实时、非接触式测量,数据获取相对容易,并且可大幅减少采集工作量,提高实时数据分析效率,预测的位移结果可实时上报结构形变变化情况,便于及时上报危险状态,锁定危险部位,减少损失。

[0007] 在上述技术方案的基础上,本发明还可以做如下改进。

[0008] 进一步,预建立所述应变-位移预测模型包括:在标定状态下,获取训练样本包括应变向量和位移向量的原始训练集;将所述原始训练集中的训练样本以应变向量归一化确定第一归一化系数,位移向量以所述第一归一化系数进行缩放处理,得到归一化训练集;将测试样本以应变向量归一化确定第二归一化系数;计算测试样本归一化应变向量与所述归一化训练集中每个训练样本归一化应变向量的距离;对所述距离从小到大进行排序,选取

排序结果中前k组距离对应的归一化训练集中的训练样本作为优选训练样本,得到优选训练集,并计算所述优选训练样本的权重;根据所述第二归一化系数、优选训练样本的权重和优选训练样本的位移向量估计测量样本应变向对应的位移向量。

[0009] 采用上述进一步方案的有益效果是,基于采集获得的位移与应变参数作为训练集,建立对应的应变-位移函数关系,实现对二维平面结构开展实时变形估计研究。后续可直接依靠采集应变数据即可逆推得到相应的位移参数,大幅减少采集工作量,提高实时数据分析效率,便于及时上报危险状态,锁定危险部位,减少损失。

[0010] 进一步,所述在标定状态下,获取训练样本包括应变向量和位移向量的原始训练集,包括:

[0011] 在标定状态下,在待测二维平面结构上设置n个应变采集点和m个位移采集点;m和n均为正整数;

[0012] 在与所述待测二维平面结构相对设置的二维平面部件上阵列排布多个激光位移传感器,左右对称排布的至少两个CCD相机;

[0013] 通过多个激光位移传感器测量获取位移向量 $d_{m \times 1}$ ,通过两个CCD相机获取应变向量 $e_{2n \times 1}$ ;

[0014] 通过多次测量获取L个训练样本,组成原始训练集S, $S = \{E, D\}$ ,其中,E代表输入应变矩阵 $E_{2n \times L}$ ,D代表输出位移矩阵 $D_{m \times L}$ 。

[0015] 采用上述进一步方案的有益效果是,通过在二维平面上布置多个位移测量点与应变测量点,可快速获取平面内参数信息,建立历史数据库,便于后续的数据分析。

[0016] 进一步,所述将所述原始训练集中的训练样本以应变向量归一化确定第一归一化系数,位移向量以所述第一归一化系数进行缩放处理,得到归一化训练集 $S^*$ ,计算公式如下:

$$[0017] \quad a = \frac{1}{|e_{2n \times 1}|}, \quad d_{m \times 1}^* = \frac{1}{|e_{2n \times 1}|} d_{m \times 1};$$

[0018] 其中,a代表第一归一化系数, $e_{2n \times 1}$ 为原始训练集训练样本的应变向量, $d_{m \times 1}$ 为原始训练集训练样本的位移向量, $d_{m \times 1}^*$ 代表归一化训练集 $S^*$ 训练样本的位移向量。

[0019] 进一步,所述将测试样本以应变向量归一化确定第二归一化系数,计算公式如下:

$$[0020] \quad b = \frac{1}{|e_{2n \times 1}^0|};$$

[0021] 其中,b为第二归一化系数, $e_{2n \times 1}^0$ 为测试样本的应变向量。

[0022] 采用上述进一步方案的有益效果是,将应变与位移归一化后,促使预备处理的数据信息被限制在一定的范畴内,清除奇特样本数据信息造成的负面景影响,可以提升模型算法的计算收敛速度,较好地提升模型的精度。

[0023] 进一步,计算测试样本归一化应变向量 $e_{2n \times 1}^{0*}$ 与所述归一化训练集 $S^*$ 中每个训练样本归一化应变向量 $e_{2n \times 1}^{i*}$ 的欧式距离 $r_i$ ,记 $r = \{r_i\}$ ,其中, $i = 1, 2, 3, \dots, I, I \leq 2n$ 。

[0024] 采用上述进一步方案的有益效果是,采用欧式距离测量方法,简单高效,可降低计算量,提升模型计算速度。

[0025] 进一步,所述计算所述优选训练样本的权重,计算公式如下:



$$[0026] \quad \alpha_j = \frac{1}{(r_j + 0.01)^2 \sum_{j=1}^k \frac{1}{(r_j + 0.01)^2}}, \quad j=1, 2, \dots, k;$$

[0027] 其中,  $\alpha_j$  为所述优选训练集中第  $j$  个优选训练样本的权重,  $r_j$  测试样本归一化应变向量  $e_{2n \times 1}^{0*}$  与所述优选训练集中第  $j$  个训练样本归一化应变向量  $e_{2n \times 1}^{j*}$  的距离。

[0028] 采用上述进一步方案的有益效果是, 便于更好的修正模型, 突出数据参数在模型中的比例作用, 使结果更为准确。

[0029] 进一步, 所述根据所述第二归一化系数、优选训练样本的权重和优选训练样本的位移向量估计测量样本应变向对应的位移向量, 计算公式如下:

$$[0030] \quad d_{m \times 1}^0 = b \sum_{j=1}^k \alpha_j d_{m \times 1}^{j*};$$

[0031] 其中,  $d_{m \times 1}^0$  为测量样本应变向对应的位移向量的估计值,  $b$  为第二归一化系数,  $\alpha_j$  为所述优选训练集中第  $j$  个优选训练样本的权重,  $d_{m \times 1}^{j*}$  为优选训练样本的位移向量。

[0032] 采用上述进一步方案的有益效果是, 对于二维平面结构, 可实现仅测量应变参数实现对位移参数的预测, 获得二维平面结构各个部位在不同时刻下的形变信息, 实时掌握二维平面的力学变化状态, 便于及时上传报警信息, 也可有效为其他需要变形补偿的精密部件提供位移参数, 实现精准补偿, 提高精度要求。

[0033] 为解决上述技术问题, 本发明还提供一种二维平面结构形变测量系统, 包括: 二维平面部件和处理控制装置; 所述二维平面部件上左右对称排布的两个 CCD 相机 (charge coupled device camera); 所述 CCD 的相机用于获取所述待测二维平面结构不同位置的实时应变数据; 所述处理控制装置包括存储器、处理器及存储在所述存储器上的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程序时实现上述技术方案所述的二维平面结构形变测量方法。

[0034] 在上述技术方案的基础上, 本发明还可以做如下改进。

[0035] 进一步, 在标定状态下, 二维平面部件上阵列排布多个激光位移传感器, 通过多个激光位移传感器测量获取位移向量; 还包括与所述处理控制装置连接的显示器, 所述显示器用于接收所述处理控制装置发送的所述待测二维平面结构不同位置在不同时刻的应变量与位移量估计值。

[0036] 本发明附加的方面及其优点将在下面的描述中部分给出, 部分将从下面的描述中变得明显, 或通过本发明实践了解到。

## 附图说明

[0037] 图1为本发明实施例提供的二维平面结构形变测量方法流程图;

[0038] 图2为本发明实施例中二维平面结构形变测量数据和真实数据对比分析图;

[0039] 图3为本发明实施例提供的二维平面结构形变测量系统结构示意图。

## 具体实施方式

[0040] 以下通过特定的具体实例说明本公开的实施方式, 本领域技术人员可由本说明书

所揭露的内容轻易地了解本公开的其他优点与功效。显然,所描述的实施例仅仅是本公开的一部分实施例,而不是全部的实施例。本公开还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本公开的精神下进行各种修饰或改变。需说明的是,在不冲突的情况下,以下实施例及实施例中的特征可以相互组合。基于本公开中的实施例,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,都属于本公开保护的范围。

[0041] 需要说明的是,下文描述在所附权利要求书的范围内的实施例的各种方面。应显而易见,本文中所描述的方面可体现于广泛多种形式中,且本文中所描述的任何特定结构及/或功能仅为说明性的。基于本公开,所属领域的技术人员应了解,本文中所描述的一个方面可与任何其它方面独立地实施,且可以各种方式组合这些方面中的两者或两者以上。举例来说,可使用本文中所阐述的任何数目个方面来实施设备及/或实践方法。另外,可使用除了本文中所阐述的方面中的一或多者之外的其它结构及/或功能性实施此设备及/或实践此方法。

[0042] 如图1所示,本发明实施例提供一种二维平面结构形变测量方法,包括:

[0043] S110,通过与待测二维平面结构相对设置的二维平面部件上左右对称排布的CCD相机获取所述待测二维平面结构不同位置的实时应变数据;

[0044] S120,根据预建立的应变-位移预测模型确定与所述实时应变数据对应的实时位移数据;

[0045] S130,根据所述实时位移数据确定所述待测二维平面结构的实时形变情况。

[0046] 本发明实施例通过CCD相机获取待测二维平面结构不同位置的实时应变数据,并根据预建立的应变-位移预测模型确定与所述实时应变数据对应的实时位移数据;CCD相机测量为光学测量,可避免电测方法所带来的电磁干扰影响,也可以有效解决直接使用激光位移传感器长期测量获取位移数据的方式产生的采集数值不稳定,采集误差大,以及激光位移传感器长时间照射导致待测二维平面结构损伤等问题;本发明适用于对待测二维平面结构的长期监测,测量结果稳定、误差小,且不会导致待测物件损伤;而且测量的应变数据可全场、实时、非接触式测量,数据获取相对容易,并且可大幅减少采集工作量,提高实时数据分析效率,预测的位移结果可实时上报结构形变变化情况,便于及时上报危险状态,锁定危险部位,减少损失。

[0047] 在执行上述二维平面结构形变测量方法之前,本发明实施例首先要构建应变-位移预测模型,构建过程包括:

[0048] S101,在标定状态下,获取训练样本包括应变向量和位移向量的原始训练集。具体地,包括如下步骤:

[0049] S1011,在标定状态下,在待测二维平面结构上设置 $n$ 个应变采集点和 $m$ 个位移采集点; $m$ 和 $n$ 均为正整数;

[0050] S1012,在与所述待测二维平面结构相对设置的二维平面部件上阵列排布多个激光位移传感器,左右对称排布的至少两个CCD相机;

[0051] S1013,通过多个激光位移传感器测量获取位移向量 $d_{m \times 1}$ ,通过两个CCD相机获取应变向量 $e_{2n \times 1}$ ;

[0052] S1014,通过多次测量获取 $L$ 个训练样本,组成原始训练集 $S$ , $S = \{E, D\}$ ,其中, $E$ 代表

输入应变矩阵 $E_{2n \times L}$ ,  $D$ 代表输出位移矩阵 $D_{m \times L}$ 。

[0053] S102, 将所述原始训练集中的训练样本以应变向量归一化确定第一归一化系数, 位移向量以所述第一归一化系数进行缩放处理, 得到归一化训练集 $S^*$ ; 计算公式如下:

$$[0054] \quad a = \frac{1}{|e_{2n \times 1}|}, \quad d_{m \times 1}^* = \frac{1}{|e_{2n \times 1}|} d_{m \times 1};$$

[0055] 其中,  $a$ 代表第一归一化系数,  $e_{2n \times 1}$ 为原始训练集是训练样本的应变向量,  $d_{m \times 1}$ 为原始训练集是训练样本的位移向量,  $d_{m \times 1}^*$ 代表归一化训练集 $S^*$ 训练样本的位移向量;

[0056] S103, 将测试样本以应变向量归一化确定第二归一化系数; 计算公式如下:

$$[0057] \quad b = \frac{1}{|e_{2n \times 1}^0|};$$

[0058] 其中,  $b$ 为第二归一化系数,  $e_{2n \times 1}^0$ 为测试样本的应变向量。

[0059] S104, 计算测试样本归一化应变向量 $e_{2n \times 1}^{0*}$ 与所述归一化训练集 $S^*$ 中每个训练样本归一化应变向量 $e_{2n \times 1}^{i*}$ 的距离 $r_i$  (本发明实施例采用欧式距离); 记 $r = \{r_i\}$ , 其中,  $i = 1, 2, 3, \dots, I, I \leq 2n$ 。

[0060] S105, 对所述距离从小到大进行排序, 选取排序结果中前 $k$ 组距离对应的归一化训练集中的训练样本作为优选训练样本, 得到优选训练集 $S'^*$ , 并计算所述优选训练样本的权重; 计算公式如下:

$$[0061] \quad \alpha_j = \frac{1}{(r_j + 0.01)^2 \sum_{j=1}^k \frac{1}{(r_j + 0.01)^2}}, \quad j = 1, 2, \dots, k;$$

[0062] 其中,  $\alpha_j$ 为优选训练集中第 $j$ 个优选训练样本的权重,  $r_j$ 测试样本归一化应变向量 $e_{2n \times 1}^{0*}$ 与所述优选训练集中第 $j$ 个训练样本归一化应变向量 $e_{2n \times 1}^{j*}$ 的欧式距离。

[0063] S106, 根据所述第二归一化系数、优选训练样本的权重和优选训练样本的位移向量估计测量样本应变向对应的位移向量, 计算公式如下:

$$[0064] \quad d_{m \times 1}^0 = b \sum_{j=1}^k \alpha_j d_{m \times 1}^{j*};$$

[0065] 其中,  $d_{m \times 1}^0$ 为测量样本应变向对应的位移向量的估计值,  $b$ 为第二归一化系数,  $\alpha_j$ 为所述优选训练集中第 $j$ 个优选训练样本的权重,  $d_{m \times 1}^{j*}$ 为优选训练样本的位移向量。

[0066] 获取训练集过程中, 在待测二维平面结构上布置了 $n$ 个点, 分别采集了 $x$ 和 $y$ 两个方向的应变, 同时在二维平面结构上布置了 $m$ 个点, 并且测量了 $m$ 个点的位移, 则每次测量可以得到应变向量 $e_{2n \times 1}$ 和位移向量 $d_{m \times 1}$ 。假设训练样本有 $L$ 个, 则训练集由输入应变矩阵 $E_{2n \times L}$ 和输出位移矩阵 $D_{m \times L}$ 组成, 训练集 $S = \{E, D\}$ 。

[0067] 在一个具体实施例中, 当待测二维平面结构为二维平面框架时, 位移测量选取12个测点, 应变测量选取25个测点。实测数据共获得57组样本, 将数据发送至处理控制装置1的数据库模块中, 将其中1组作为测试集, 其他组作为训练集, 用以验证方法的可行性, 评估算法的泛化能力。其验证结果如图2所示, 可得处预测结果与实测所得的位移结果基本一



致,最大误差为2.2mm,最大均方误差率为0.45%,RMS远小于0.5mm,满足指标要求。

[0068] 至此,可实现同时准确地获取平面框架结构在实际使用过程中的实时位移量与应变变量,将上述两种参数作为历史数据库,依据上述历史数据库训练得到模型算法,从而实现通过应变逆推位移,为数据处理过程中的变形误差补偿环节提供数据支持,保障了二维平面结构在复杂环境条件下的精度要求与结构可靠性。

[0069] 其中,二维平面部件可为一块钢板、铝合金板或塑料板等,或间隔分布的多个处于同一平面的板材,将多个激光位移传感器阵列分布在二维平面部件的表面上,例如,可将16个激光位移传感器按照 $4 \times 4$ 的方式阵列分布在二维平面部件的表面上,将30个激光位移传感器按照 $5 \times 6$ 的方式阵列分布在二维平面部件的表面上,可以理解的是,可根据实际情况调整激光位移传感器的阵列方式,如可以设置较密集分布的激光位移传感器来测量待测二维平面结构容易发生变形位置的测量信号,可设置较分散分布的激光位移传感器来测量待测二维平面结构不易发生变形位置的测量信号。同理,将两个CCD相机左右对称分布在二维平面部件的表面上。

[0070] 多个激光位移传感器和两个CCD相机均按照预设频率采集雷达的天线阵面不同位置在不同时刻的测量信号并发送至处理控制装置中。其中,预设频率可为一秒采集10次、一秒采集20次等,也可根据实际情况进行设置。

[0071] 如图3所示,本发明实施例还提供一种二维平面结构形变测量系统,包括:二维平面部件2和处理控制装置1;实际测量时,二维平面部件2上左右对称排布的两个CCD相机4;所述CCD的相机4用于获取所述待测二维平面结构5不同位置的实时应变数据;所述处理控制装置1包括存储器、处理器及存储在所述存储器上的并可在所述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上述实施例所述的二维平面结构形变测量方法。包括根据预建立的应变-位移预测模型确定与所述实时应变数据对应的实时位移数据;根据所述实时位移数据确定所述待测二维平面结构的实时形变情况等步骤。本发明实施例中,二维平面部件2通过支架固定,支架用于支撑二维平面部件。

[0072] 在标定状态下,二维平面部件2上阵列排布多个激光位移传感器3,左右对称排布的两个CCD相机4,通过多个激光位移传感器测量获取二维平面结构的位移向量 $d_{m \times 1}$ ,通过CCD相机获取二维平面激光的应变向量 $e_{2n \times 1}$ 。

[0073] 处理控制装置1包括硬件系统和软件系统。硬件系统主要进行位移与应变两种类型参数的采集、分类与存储;软件系统主要基于上述获得的数据库,进行模型训练,获得对应的模型参数,最终建立数学模型实现对二维平面结构展开实时形变估计研究,该方法也适用于其他机动式装备的大型平面结构框架的实时变形估计。

[0074] 硬件系统包括:二维平面部件2、多个激光位移传感器3、两个CCD相机4(charge coupled device camera)、显示器6、处理控制装置1等,多个激光位移传感器3阵列排布在二维平面部件2上,两个CCD相机4左右对称排布在二维平面部件2上。多个激光位移传感器3和两个述CCD相机4用于二维平面部件2相对于待测二维平面结构5设置时,均按照预设频率采集待测二维平面结构5不同位置在不同时刻下的测量信号并发送至处理控制装置1。

[0075] 处理控制装置用1于实现软件系统的安装与运行,负责数据存储、监测与智能管理,显示器6用于显示多个激光位移传感器3和CCD相机4采集的实时信号、用户管理界面(包括信号可视化、警报可视化、警报查询、信号处理结果的可视化以及参数设置界面)等详细

内容。处理控制装置内置多个软件模块,便于统一管理维护。

[0076] 软件系统包括:数据库模块、数据处理模块、数据可视化模块、警报管理模块、用户管理模块、数字模拟量A/D转换模块、航空插头模块、机箱电源接口模块等。

[0077] 数据库模块用于对数据进行分类存储,保存历史采集数据以及用于后续数据统计分析与数据处理。具体地,用于分别采集多个激光位移传感器的位移参数以及CCD相机采集获得的应变参数,分类存储在对应的数据库中,作为历史数据用于后续的数据分析。

[0078] 数据处理模块用于对采集到的时域数据进行数据处理分析,包括且不限于滤波、降噪、统计分析、快速傅里叶变换、主成分分析、小波分析、谱分析、神经网络分类等,用于对信号进行更进一步的识别与分类。

[0079] 具体地,根据每个激光位移传感器以及两个CCD相机在初始时刻采集的信号,得到每个激光位移传感器对应的一个初始值以及两个CCD相机对应的初始图像;根据每个激光位移传感器以及两个CCD相机在初始时刻之后的每个时刻的测量值,得到每个激光位移传感器以及两个CCD相机在初始时刻之后的每个时刻的一个实时测量值;根据所测得的初始值和所述初始时刻之后的每个时刻的实时测量值,得到待测二维平面结构不同位置在不同时刻的位移量与应变变量。

[0080] 数据可视化模块用于显示各通道实时信号、数据处理效果、监测状态信息、数据统计信息等,便于实时掌握各通道测量情况、数据统计信息、监测状态效果等。

[0081] 警报管理模块用于当数据处理模块分析处理后所得的结果超过预设安全阈值后,将报警信息上传到显示器界面,发出警报信息,警报信息记录可以以表格形式展现,包括警报发出时间,警报原因,严重性以及可能的解决办法,该模块可快速锁定危险部位,反馈待测结构平面健康状态和评估,出现故障和隐患及时发出警报,保证设备正常可靠工作,减少损失。

[0082] 用户管理模块,主要包括用户对软件各功能模块功能的软件权限管理,给予各个用户不同权限,可减少用户由于对专业知识的不足导致的误操作行为。具体可将用户分为操作员、技术员以及管理员三个等级,对应由低到高不同的修改参数权限,便于系统管理以及防止误操作。

[0083] 数字模拟量A/D转换模块用于将传感器测量的信号进行数字模拟量A/D转换,得到每个测量信号一一对应的数字量信号,并将每个数字量信号发送至所述数据处理模块。

[0084] 处理控制装置还包括供电模块,供电模块连接数据处理模块、A/D转换模块和接口并供电。不能发明实施例通过独立的供电模块,可有效提高装置的便携性。

[0085] 软件系统还包含对应的软件接口:主要包括窗口接口、信号处理方法接口、以及采集卡接口。通过接口化,可以方便开发者对各个信号处理方法、数据采集卡管理等功能模块进行快速开发以及更新迭代。

[0086] 软件系统还包含应变-位移测量模型,模型算法生成包括:标定状态下,获取不同工况下的应变-位移关系,形成训练集数据库;基于训练集数据库应变-位移测量模型进行模型训练,将训练完成的预测模型部署至工程中;实测状态下,实时采集应变数据,通过训练后的模型预测对应的位移数据,实现二维平面的实时形变测量。

[0087] 获取训练集过程中,在待测二维平面结构上布置了 $n$ 个点,分别采集了 $x$ 和 $y$ 两个方向的应变,同时在二维平面结构上布置了 $m$ 个点,并且测量了 $m$ 个点的位移,则每次测量可以

得到应变向量 $e_{2n \times 1}$ 和位移向量 $d_{m \times 1}$ 。假设训练样本有L个,则训练集由输入应变矩阵 $E_{2n \times L}$ 和输出位移矩阵 $D_{m \times L}$ 组成,训练集 $S = \{E, D\}$ 。

[0088] 本发明实施例通过测试样本应变向量 $e_{2n \times 1}^0$ 估计位移向量 $d_{m \times 1}^0$ 的主要原理为:

[0089] 1) 将训练集S中每个训练样本以应变向量归一化,位移向量以应变向量归一化系数放大或缩小,即对于每个训练样本

$|e_{2n \times 1}^*| = 1$ ,  $d_{m \times 1}^* = \frac{1}{|e_{2n \times 1}^*|} d_{m \times 1}$ , 形成归一化训练集 $S^*$ ; 第一归一化系数记为  $a = \frac{1}{|e_{2n \times 1}^*|}$ ;

[0090] 2) 将测试样本以应变向量归一化 $|e_{2n \times 1}^{0*}| = 1$ , 第二归一化系数记为  $b = \frac{1}{|e_{2n \times 1}^{0*}|}$ ;

[0091] 3) 计算测试样本归一化应变向量 $e_{2n \times 1}^{0*}$ 与归一化训练集 $S^*$ 中每个训练样本 $e_{2n \times 1}^{i*}$ 的距离 $r_i$ , 记 $r = \{r_i\}$ ; 距离度量有多种形式, 本发明实施例采用欧式距离; 其中,  $i = 1, 2, 3, \dots, I, I \leq 2n$ ;

[0092] 4) 对所述距离从小到大进行排序, 选取排序结果中前k组距离对应的归一化训练集中的训练样本作为优选训练样本, 得到优选训练集 $S'^*$ ; 并计算所述优选训练样本的权重; 计算公式如下:

[0093] 
$$\alpha_j = \frac{1}{(r_j + 0.01)^2 \sum_{j=1}^k \frac{1}{(r_j + 0.01)^2}}, \quad j = 1, 2, \dots, k;$$

[0094] 5) 根据所述第二归一化系数、优选训练样本的权重和优选训练样本的位移向量估计测量样本应变向对应的位移向量, 计算公式如下:

[0095] 
$$d_{m \times 1}^0 = b \sum_{j=1}^k \alpha_j d_{m \times 1}^*$$

[0096] 本发明实施例提供的二维平面结构形变测量系统还包括与所述处理控制装置连接的显示器, 所述显示器用于接收所述处理控制装置发送的所述待测二维平面结构不同位置在不同时刻的应变量与位移量估计值。本发明实施例将待测二维平面结构不同位置在不同时刻的应变数值与位移估值在显示器上进行显示, 便于用户直观查看。

[0097] 本发明实施例中, 当待测二维平面结构为雷达的天线阵面时, 将二维平面部件相对于雷达的天线阵面设置, 多个激光位移传感器和两个CCD相机均按照预设频率采集雷达的天线阵面不同位置在不同时刻的测量信号并发送至处理控制装置, 处理控制装置内部配置的数据库模块用于存储每个激光位移传感器以及两个CCD相机采集到的不同时刻的测量信号, 然后经由处理控制箱内部的数据处理模块分析处理后, 得到雷达天线阵面不同位置在不同时刻下的位移量与应变参数, 即能准确地获取天线阵面在实际使用过程中的实时位移与应变参数, 从而建立数据库, 以此数据库可以为后续的数据分析做基础。

[0098] 待测二维平面结构为雷达的天线阵面, 可以依据上述得到的实时应变参数和位移估计值为数据处理过程中的误差补偿环节提供数据支持, 进而保证了雷达的天线阵面对目标的探测精度以及结构可靠性。

[0099] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,上述描述的装置和单元的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0100] 在本申请所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的装置和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,例如,单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。

[0101] 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单元来实现本发明实施例方案的目的。

[0102] 另外,在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以是两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。

[0103] 集成的单元如果以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,或者该技术方案的全部或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)执行本发明各个实施例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。

[0104] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

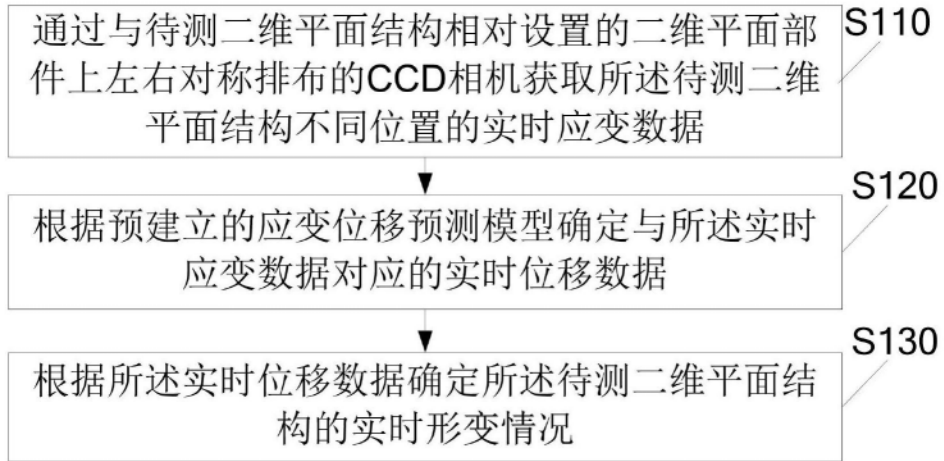


图1

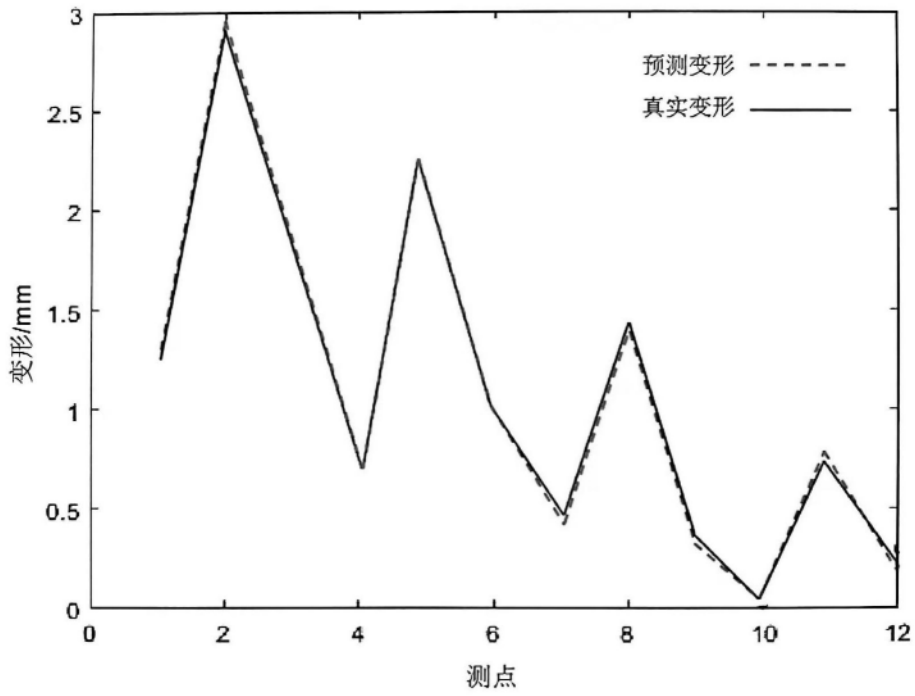


图2



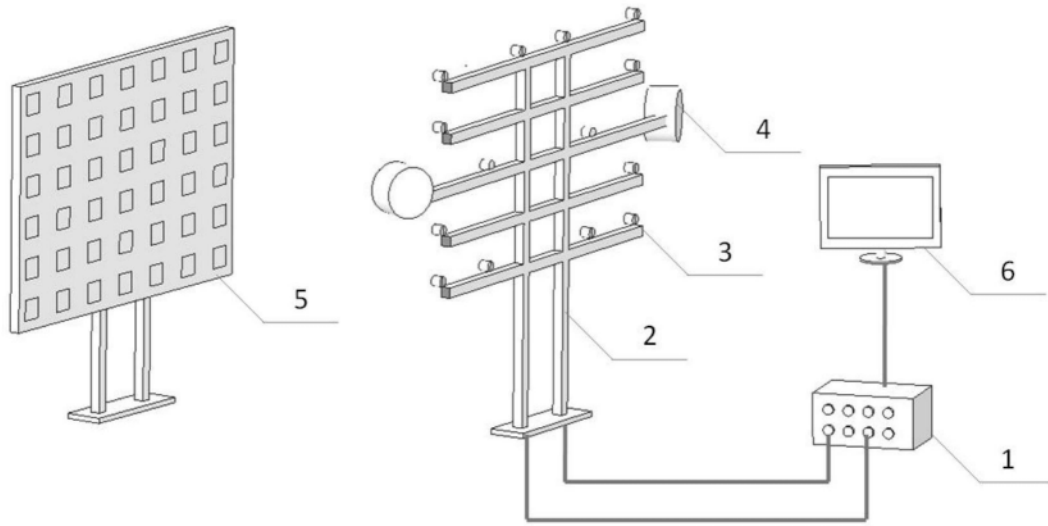


图3