



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108961203 A

(43)申请公布日 2018.12.07

(21)申请号 201810152782.9

(22)申请日 2018.02.19

(71)申请人 江苏新时高温材料股份有限公司
地址 225261 江苏省扬州市江都区邵伯工
业园新时路
申请人 扬州大学

(72)发明人 孙进 王宁 丁煜 曹功庆
张恒网 竺志大 曾励 张帆
戴敏 杨晗 马煜中

(74)专利代理机构 北京连和连知识产权代理有
限公司 11278
代理人 田方正

(51)Int.Cl.
G06T 7/00(2017.01)
G06T 7/55(2017.01)

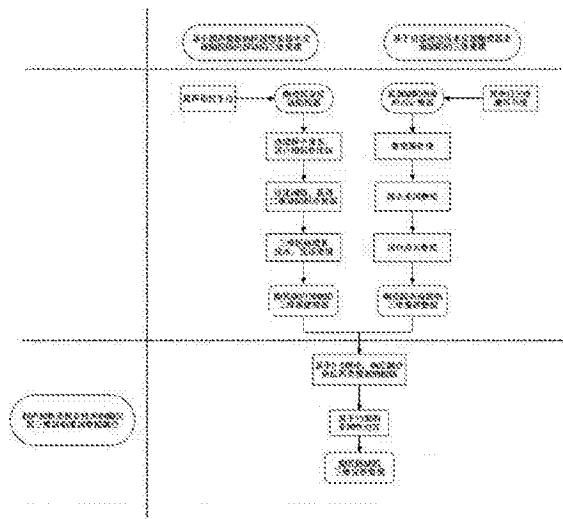
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法

(57)摘要

一种融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法。本发明通过融合中空板式陶瓷膜内部缺陷三维重建数据和中空板式陶瓷膜表面缺陷三维重建数据实现中空板式陶瓷膜完整缺陷的三维重建,前者由超声检测技术采集,后者由机器视觉技术采集;采用证据理论分别计算由超声技术采集的中空板式陶瓷膜内部缺陷三维数据和基于机器视觉采集的中空板式陶瓷膜表面缺陷三维数据的权值,并对上述获得的权值设定闭值,以确定最终的缺陷边界并获取中空板式陶瓷膜完整缺陷的三维数据;对重新分配后的完整缺陷的三维数据进行基于约束的非刚性对齐,从而实现三维重构。本发明方法可以有效解决缺陷复杂各异、材料浪费的问题。



1. 一种融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

- 1) 基于超声数据的区域增长技术实现中空板式陶瓷膜内部缺陷三维重建;
- 2) 基于机器视觉技术实现中空板式陶瓷膜表面缺陷的三维重建;
- 3) 融合超声和机器视觉技术实现中空板式陶瓷膜完整缺陷的三维重建。

2. 根据权利要求1所述的一种融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法,其特征是,所述步骤(1)中的超声数据,是指由超声检测技术采集的数据进行体绘制后应用一种新的基于区域增长技术的混合绘制方法来实现三维重构;

其中所述区域增长技术的原理是通过选取一个种子像素作为生长点,然后与周围区域内像素的相似性(一般为平均灰度值)在阈值范围内做比较,若具有一致性则连接起来构成区域,将平面的生长延伸到三维空间场中即可以实现可视化分割,运用阈值选取技术,设置一阈值范围,以得到最为清晰的二维缺陷形态;

所述三维重建是将整个扫查区域置于笛卡尔坐标系中,每个位置的值对应当前位置的体像素,运用三维区域增长技术,即选取一个体像素作为种子点然后寻找相邻位置处阈值范围内的演算点,将阈值选取的图像相邻像素连接重组成实体三维图像。

3. 根据权利要求1所述的一种融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法,其特征是,所述步骤(2)中的机器视觉技术是指采用双单目三维测量系统获取中空板式陶瓷膜表面缺陷的点云数据;

所述中空板式陶瓷膜表面缺陷的三维重建的方法为:

(1) 对获取的点云数据进行预处理:包括对数据进行中值滤波以提高数据的抗噪声能力、重采样、坐标归一化;

(2) 将拉普拉斯算子与点云数据卷积,除去无用的点云数据,拼合点云数据形成中空板式陶瓷膜表面缺陷的三维数据,并进行三维重建。

4. 根据权利要求1所述的一种融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法,其特征是,所述步骤(3)中数据融合是指融合由超声技术采集的数据三维重建后得到数据A和由机器视觉采集的数据三维重建后得到数据B,采用证据理论计算两类数据在融合后各自所占的权值,接着进行基于约束的非刚性对齐,来获取中空板式陶瓷膜三维缺陷完整数据并进行三维重建;

计算权值的过程如下:

(1) 分别确定由超声技术采集的中空板式陶瓷膜内部缺陷三维数据和基于机器视觉采集的中空板式陶瓷膜表面缺陷三维数据的权值,即融合前的概率分配值;

(2) 采用证据理论计算融合后两者的概率分配函数值,即确定不同三维数据采集方式的可信度;

(3) 对上述获得的融合后的概率分配函数值设定闭值,以确定最终的缺陷边界;

(4) 获取中空板式陶瓷膜完整缺陷的三维数据;

所述证据理论是指Dempster-Shafer理论或信任函数理论,通常简称为D-S理论,其组合规则如下

设 K_1 和 K_2 是同一识别框架 Θ 上的两个概率分配函数,则其正交和 $F = K_1 \oplus K_2$ 为

$$\text{当 } A = \Phi \text{ 时, } F(A) = 0 \quad (1)$$

$$\text{当 } A \neq \Phi \text{ 时, } F(A) = K_1(A) \oplus F_2(A) = K^{-1} \sum_{A \cap B_j \neq \Phi} K_1(A) K_2(B_j) \quad (2)$$

$$\text{其中, } K = 1 - \sum_{A \cap B_j \neq \Phi} K_1(A) K_2(B_j) = \sum_{A \cap B_j = \Phi} K_1(A) K_2(B_j) \quad (3)$$

如果 $K \neq 0$, 则正交和 F 也是一个概率分配函数; 如果 $K = 0$, 则不存在正交和 F , 称 K_1 与 K_2 相矛盾。

一种融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法,属于机械工程和计算机工程技术领域。

背景技术

[0002] 面对日益严峻的缺水形势,向占地球水资源总储量96.5%的大海要水是解决缺水问题的必由之路。在众多的海水淡化方法中,反渗透海水淡化(SWRO)技术具有占地少、建造周期短、操作简单、比投资小、无相变、能耗低和启动运行快等特点,在海水淡化领域发展迅速。目前SWRO预处理工艺可分为传统方法和膜法,膜法预处理工艺包括有机膜法和无机膜法。作为无机膜的一种,中空板式陶瓷膜具有孔径分布窄、孔隙率高、分离层薄、过滤阻力小等优点,而且单位膜表面积处理量高、产水能力大,膜的化学性质稳定,可以在海水中长期稳定运行,更适用于海水淡化预处理。中空板式陶瓷膜是脆性材料,杨氏模量较高,即使微小的缺陷或轻度应变都会导致极大的机械应力。裂纹类缺、内部气孔、夹层等缺陷是陶瓷材料中经常出现的非完备现象。要准确地探知缺陷的形貌、位置、分布等性状特征,因此需要实现上述缺陷的快速检测与三维重建。针对中空板式陶瓷膜内部缺陷检测,传统的基于二维CT图像检测手段容易出现误判、漏判,超声技术用于三维空间的缺陷检测、识别和测量是今后的发展方向。针对中空板式陶瓷膜表面检测,在传统的管道内壁检测技术中,漏磁法和涡流法受于检测材料的限制不能使用,而超声波检测法检测精度太低。机器视觉检测技术作为发展前景最好的管道内壁检测方法,具有测量速度快,测量精度高,图像包含信息完整,容易实现自动连续检测,可满足生产线上的速度要求等诸多优点。由超声技术能够实现中空板式陶瓷膜深层缺陷的三维检测,基于机器视觉能够实现中空板式陶瓷膜表面缺陷的三维检测,基于非刚性对齐融合两者的检测数据,来准确地探知各种缺陷的形貌、位置、分布和大小等特征,并能构建相应的三维重建模型。根据缺陷的体积计算,估算中空板式陶瓷膜质量的分类,有效解决缺陷复杂各异、材料浪费的问题。

已有技术中,挪威的Kumakiri等在“Membrane characterisation by a novel defect detection technique”(Microporous and Mesoporous Materials, Vol1115, No1-2 (October), 2008:33-39)一文中提出了一种新的薄膜表征技术,用于纳米缺陷的可视化和定位,这种新技术大大简化了膜的泄漏检测,使准确定位小泄漏也成为可能;加州大学的Francesco Lanza等在“Ultrasonic Tomography for Three-Dimensional Imaging of Internal Rail Flaws Proof-of-Principle Numerical Simulations”(Transportation Research Record.Vol12374, 2013:162-168)一文中建立了缺陷轨道上超声层析成像阵列的有限元模型,提出了一种三维内轨缺陷层析成像算法;湖北工业大学汤亮等在“基于区域分级的陶瓷阀芯表面缺陷检测系统研究与实现”(组合机床与自动化加工技术, 2017年第10卷第82-86页)一文中,依据陶瓷阀芯表面反射率的不同,提出了一种分区域、多级优化的陶瓷阀芯表面缺陷检测算法;北京航空航天大学周正干、徐娜的“一种基于改进的动态深度聚

焦的相控阵超声检测方法”(专利授权号:CN102809610B)获得国家发明专利。但这些研究均只采用一种检测技术手段,在融合不同检测技术所获得的数据方面仍存在一定的空白,离实际生产应用也还有相当长的距离。来自Gunadarma University的Dennis Christie等在“3D reconstruction of dynamic vehicles using sparse 3D-laser-scanner and 2D image fusion”一文中提出了一个三点ICP的RANSAC细化算法,从而进行刚性运动物体的三维重建;同济大学的王婷在“数据融合技术在混凝土结构检测中的应用研究”一文中建立了数据融合CT技术在混凝土结构检测领域的应用框架,将红外成像与超声技术相结合,实现了对缺陷大小的三维重构以及对缺陷类型的识别。但是这些研究均处于理论探索阶段,是否适用于融合中空板式陶瓷膜内部缺陷和表面缺陷的三维数据还有待验证。

发明内容

[0003] 为了克服现有技术的不足和缺陷,本发明采用先进的融合技术,提供一种融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法,该方法能够提高中空板式陶瓷膜缺陷三维重建的准确度。

本发明的目的是通过以下技术方案实现的,融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法,包括以下步骤:

- 1) 基于超声数据的区域增长技术实现中空板式陶瓷膜内部缺陷三维重建;
- 2) 基于机器视觉技术实现中空板式陶瓷膜表面缺陷的三维重建;
- 3) 融合超声和机器视觉技术实现中空板式陶瓷膜完整缺陷的三维重建。

优选的,所述步骤(1)中的超声数据是指由超声检测技术采集的数据进行体绘制后应用一种新的基于区域增长技术的混合绘制方法来实现三维重构的;

其中所述的区域增长技术的原理是通过选取一个种子像素作为生长点,然后与周围区域内像素的相似性(一般为平均灰度值)在阈值范围内做比较,若具有一致性则连接起来构成区域,将平面的生长延伸到三维空间场中即可以实现可视化分割,运用阈值选取技术,设置一阈值范围,以得到最为清晰的二维缺陷形态;

所述的三维重建是将整个扫描区域置于笛卡尔坐标系中,每个位置的值得对应当前位置的体像素,运用三维区域增长技术,即选取一个体像素作为种子点然后寻找相邻位置处阈值范围内的演算点,将阈值选取的图像相邻像素连接重组成实体三维图像。

优选的,所述步骤(2)中的机器视觉技术是指采用双单目三维测量系统获取中空板式陶瓷膜表面缺陷的点云数据。

所述中空板式陶瓷膜表面缺陷的三维重建的方法为:

(1) 对获取的点云数据进行预处理:包括对数据进行中值滤波以提高数据的抗噪声能力、重采样、坐标归一化;

(2) 将拉普拉斯算子与点云数据卷积,除去无用的点云数据,拼合点云数据形成中空板式陶瓷膜表面缺陷的三维数据,并进行三维重建。

优选的,所述步骤(3)中数据融合是指融合由超声技术采集的数据三维重建后得到的数据A和由机器视觉采集的数据三维重建后得到的数据B,采用证据理论计算两类数据在融合后各自所占的权值,接着进行基于约束的非刚性对齐,来获取中空板式陶瓷膜三维缺陷完整数据并进行三维重建。计算权值的过程如下:

(1) 分别确定由超声技术采集的中空板式陶瓷膜内部缺陷三维数据和基于机器视觉采集的中空板式陶瓷膜表面缺陷三维数据的权值,即融合前的概率分配值;

(2) 采用证据理论计算融合后两者的概率分配函数值,即确定不同三维数据采集方式的可靠度;

(3) 对上述获得的融合后的概率分配函数值设定闭值,以确定最终的缺陷边界;

(4) 获取中空板式陶瓷膜完整缺陷的三维数据;

所述的证据理论是指 *Dempster - Shafer* 理论或信任函数理论,通常简称为 *D-S* 理论,其组合规则如下

设 F_1 和 F_2 是同一识别框架 Θ 上的两个概率分配函数,则其正交和 $F = F_1 \oplus F_2$ 为

$$\text{当 } A = \Phi \text{ 时, } F(A) = 0 \quad (1)$$

$$\text{当 } A \neq \Phi \text{ 时, } F(A) = F_1(A) \oplus F_2(A) = K^{-1} \sum_{A_i \cap B_j = A} F_1(A_i) F_2(B_j) \quad (2)$$

$$\text{其中, } K = 1 - \sum_{A_i \cap B_j = \Phi} F_1(A_i) F_2(B_j) = \sum_{A_i \cap B_j \neq \Phi} F_1(A_i) F_2(B_j) \quad (3)$$

如果 $K \neq 0$,则正交和 F 也是一个概率分配函数;如果 $K = 0$,则不存在正交和 F ,称 F_1 与 F_2 相矛盾。

与现有技术相比,本发明有益效果是:由于采用新型算法进行融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法,减少了数据计算、存储,简化成像算法,提高了陶瓷膜检测效率。

附图说明

[0004] 图1 一种融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法的流程图。

具体实施方式

[0005] 下面结合附图和一种融合超声和机器视觉技术的中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法对本发明的具体实施作进一步描述。

如图1所示,本发明融合超声和机器视觉技术实现中空板式陶瓷膜缺陷的三维重建方法,包括下述步骤:

1) 基于超声数据的区域增长技术实现中空板式陶瓷膜内部缺陷三维重建

超声检测采集的数据进行体绘制后应用一种新的基于区域增长技术的混合绘制方法来实现三维重构。区域增长的原理是通过选取一个种子像素作为生长点,然后与周围区域内像素的相似性(一般为平均灰度值)在阈值范围内做比较,若具有一致性则连接起来构成区域,将平面的生长延伸到三维空间场中即可以实现可视化分割。运用阈值选取技术,设置一阈值范围,以得到最为清晰的二维缺陷形态。将整个扫查区域置于笛卡尔坐标系中,每个位置的值得对应当前位置的体像素。运用三维区域增长技术,即选取一个体像素作为种子点然后寻找相邻位置处阈值范围内的演算点,将阈值选取的图像相邻像素连接重组成实体三维图像。

2) 基于机器视觉实现中空板式陶瓷膜表面缺陷的三维重建

基于机器视觉技术是指采用双单目三维测量系统获取中空板式陶瓷膜表面缺陷的点

云数据。首先对获取的点云数据进行预处理：包括对数据进行中值滤波以提高数据的抗噪声能力、重采样和坐标归一化等，接着将拉普拉斯算子与点云数据卷积，确定缺陷边缘并除去无用的点云数据，然后拼合点云数据形成中空板式陶瓷膜表面缺陷的三维数据，最后进行三维重建。

3) 融合超声和机器视觉技术实现中空板式陶瓷膜完整缺陷的三维重建

设由超声技术采集的数据三维重建后得到数据 A ，由机器视觉采集的数据三维重建后得到数据 B ，采用证据理论计算两类数据在融合后各自所占的权值，接着进行基于约束的非刚性对齐，来获取中空板式陶瓷膜三维缺陷完整数据。计算权值的过程如下：

(1) 分别确定由超声技术采集的中空板式陶瓷膜内部缺陷三维数据和基于机器视觉采集的中空板式陶瓷膜表面缺陷三维数据的权值，即融合前的概率分配值；

(2) 采用证据理论计算融合后两者的概率分配函数值，即确定不同三维数据采集方式的可信度；

(3) 对上述获得的融合后的概率分配函数值设定闭值，以确定最终的缺陷边界；

(4) 获取中空板式陶瓷膜完整缺陷的三维数据；

所述的证据理论是指 *Dempster-Shafer* 理论或信任函数理论，通常简称为 *D-S* 理论，其组合规则如下

设 F_1 和 F_2 是同一识别框架 Θ 上的两个概率分配函数，则其正交和 $F = F_1 \oplus F_2$ 为

$$\text{当 } A = \Phi \text{ 时, } F(A) = 0 \quad (4)$$

$$\text{当 } A \neq \Phi \text{ 时, } F(A) = F_1(A) \oplus F_2(A) = K^{-1} \sum_{A_i \cap B_j = A} F_1(A_i) F_2(B_j) \quad (5)$$

$$\text{其中, } K = 1 - \sum_{A_i \cap B_j = \Phi} F_1(A_i) F_2(B_j) = \sum_{A_i \cap B_j \neq \Phi} F_1(A_i) F_2(B_j) \quad (6)$$

如果 $K \neq 0$ ，则正交和 F 也是一个概率分配函数；如果 $K=0$ ，则不存在正交和 F ，称 F_1 与 F_2 相矛盾。

对重新分配后的完整缺陷的三维数据进行基于约束的非刚性对齐，从而实现中空板式陶瓷膜完整缺陷的三维重建。非刚性对齐选择的是薄板样条插值算法 (*TPS*)，定义相应的误差函数，包括

$$\text{距离误差 } E_{dis} = \sum_{i=1}^n w_i \text{dist}^2(T_i p_i, q_i); \quad (7)$$

$$\text{平滑误差 } E_{sm} = \sum_{\{(i,j) | (v_i, v_j) \in \text{edges}(T)\}} \|T_i - T_j\|_F^2; \quad (8)$$

$$\text{优化公式定义如下: } \arg \min E(V_0, \dots, V_n) = \alpha E_{dis} + \beta E_{sm}; \quad (9)$$

采用 *L-BFGS-B* 算法进行求解。

其中式 (7) 中 p_i 代表数据 A ， q_i 代表数据 B ， T_i 为变换矩阵。采用 *L-BFGS-B* 算法 (一种拟牛顿的方法) 进行求解，数值试验表明 *L-BFGS-B* 算法是求解大规模边界问题的有效方法之一。

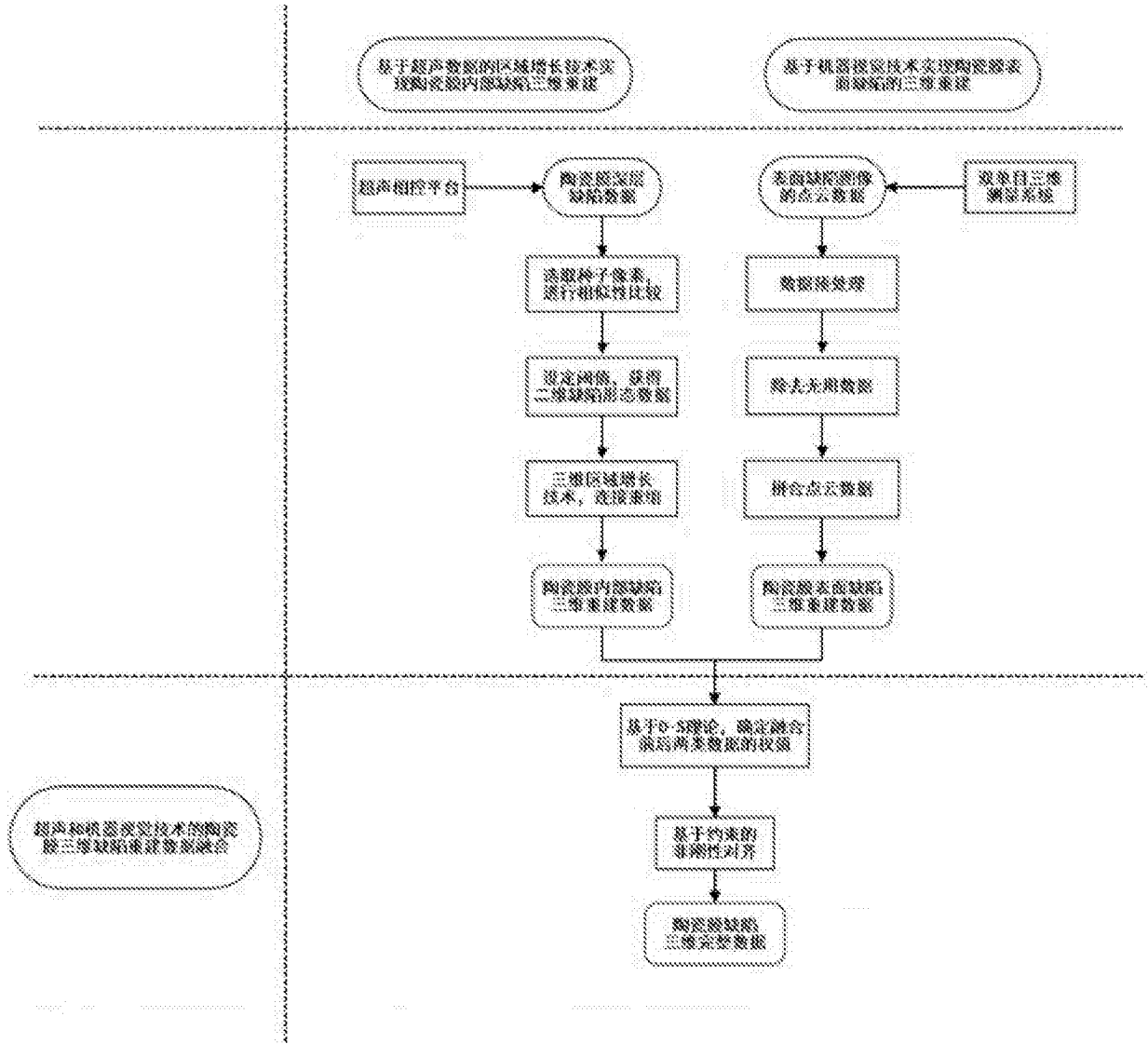


图1