



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104207801 B

(45)授权公告日 2016.08.24

(21)申请号 201310221987.5

(22)申请日 2013.06.05

(73)专利权人 上海工程技术大学

地址 201620 上海市松江区龙腾路333号

(72)发明人 么尧 陈闵叶 徐海荣 曹达敏

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 赵继明

(51)Int.Cl.

A61B 8/00(2006.01)

审查员 薛艳华

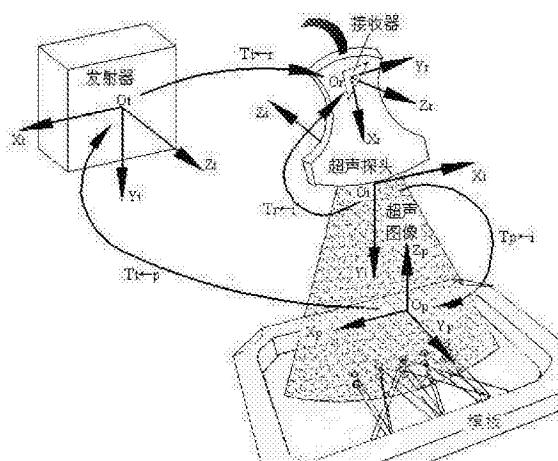
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种超声检测图像三维标定方法

(57)摘要

本发明涉及一种超声检测图像三维标定方法,该方法通过超声探头上的接收器实时获取超声探头的位姿信息,从而可将模板中任意点(包括棉线交点)坐标转换至接收器坐标系中;通过超声探头对网状模板中棉线交点的扫描,获得棉线交点的超声图像;通过模板中棉线交点构建空间矢量,按照模板中空间矢量间的几何特性计算超声图像中棉线交点成像点的坐标,进而应用同源点最小二乘匹配计算定位接收器坐标系 O_r 与探头扫描图像坐标系 O_i 间的关系。与现有技术相比,本发明通过空间矢量关系计算图像坐标系中同源点坐标,避免了以往方法中人工拾取图像同源点坐标时人为因素影响,从而具有标定精度与重建精度高、标定速度快等优点。



1. 一种超声检测图像三维标定方法, 定位接收器与定位发射器连接, 其特征在于, 该方法通过模板建立同源点空间矢量来计算固定在超声探头上的定位接收器坐标系 O_r 与探头扫描图像坐标系 O_i 间的关系, 所述的模板上设有两层网状棉线, 网状棉线在扫描面上有 n 个棉线交点, 所述的标定方法包括以下步骤:

1) 取超声扫描图像中的点 I_1 作为基准点, 所述的基准点 I_1 为网状棉线中最上层交点的中间一点在超声扫描图像中的成像点, 获取 I_1 在探头扫描图像坐标系上的坐标, I_1 在定位接收器坐标系中的坐标 R_1 为:

$$R_1 = T_{r \leftarrow t} \cdot T_{t \leftarrow p} \cdot P_1$$

其中, P_1 为基准点 I_1 在模板坐标系 O_p 中的对应坐标, $T_{r \leftarrow t}$ 为定位发射器坐标系 O_t 相对于定位接收器坐标系 O_r 的转换矩阵, $T_{t \leftarrow p}$ 为模板坐标系 O_p 相对于定位发射器坐标系 O_t 的转换矩阵;

2) 根据模板上棉线交点的位置在超声扫描图像中拾取点 I_2 , 获得向量 $\overline{I_1 I_2}$ 的方向, $\overline{I_1 I_2}$ 的方向平行于模板坐标系中的 x 轴方向, I_2 在模板坐标系 O_p 中的对应坐标为 P_2 , 根据 P_1 与 P_2 的距离 d_{12} 和 $\overline{I_1 I_2}$ 的方向计算 I_2 在探头扫描图像坐标系上的坐标, I_2 在定位接收器坐标系中的坐标 R_2 为:

$$R_2 = T_{r \leftarrow t} \cdot T_{t \leftarrow p} \cdot P_2;$$

3) 根据模板上棉线交点的位置在超声扫描图像中拾取点 I_3 , I_3 为临近基准点下层左侧的一点, I_3 在模板坐标系 O_p 中的对应坐标为 P_3 , 向量 $\overline{P_1 P_2}$ 、 $\overline{P_1 P_3}$ 间的夹角为 θ , 根据 $\overline{I_1 I_2}$ 和 θ 确定 $\overline{I_1 I_3}$ 的方向, 根据 P_1 与 P_3 的距离 d_{13} 和 $\overline{I_1 I_3}$ 的方向计算 I_3 在探头扫描图像坐标系上的坐标, I_3 在定位接收器坐标系中的坐标 R_3 为:

$$R_3 = T_{r \leftarrow t} \cdot T_{t \leftarrow p} \cdot P_3;$$

4) 重复步骤2)、3), 获得扫描面上 n 个棉线交点在定位接收器坐标系与探头扫描图像坐标系中的坐标, 并根据以下公式进行同源点最小二乘原理匹配, 获得标定矩阵 $T_{r \leftarrow i}$:

$$T_{r \leftarrow i} = \min_{R, p} \sum_{i=1}^n \|R I_i - (s R I_i + p)\|^2$$

其中, R_i 为第 i 个棉线交点在定位接收器坐标系中的坐标, I_i 为第 i 个棉线交点在探头扫描图像坐标系上的坐标, s 为比例系数, R 为旋转关系矩阵, p 为平移向量;

5) 采集 m 幅超声扫描图像, 重复步骤1)-4), 计算 m 个标定矩阵 $T_{r \leftarrow i}$ 的平均值作为最终标定结果。

2. 根据权利要求1所述的一种超声检测图像三维标定方法, 其特征在于, 所述的 $T_{t \leftarrow p}$ 通过模板标定方法计算得到, 所述的模板标定方法具体为:

模板两侧设有多个通孔, 且通孔坐标已知, 将定位接收器的探针针尖依次接触通孔, 根据针尖相对于其上定位接收器的位置关系及 $T_{r \leftarrow t}$ 获得这些通孔在定位发射器坐标系 O_t 上的坐标, 根据同源点最小二乘原理匹配获得 $T_{t \leftarrow p}$ 。

一种超声检测图像三维标定方法

技术领域

[0001] 本发明涉及超声标定技术领域,尤其是涉及一种超声检测图像三维标定方法。

背景技术

[0002] 三维(3-D)超声标定是超声图像3-D可视化不可缺少的关键步骤,因为手持超声探头Freehand采样,得到的是一系列非平行、不规则的二维(2-D)超声图像,只有从超声探头获取的2-D图像信息出发,计算其对应的3-D空间中的几何信息,再由此生成规则的平行图像序列,才能进行后续的三维重建和目标分割。这一定标计算过程称为3-D超声标定,其通常通过在超声探头上固定定位跟踪设备,计算该设备与超声探头扫描平面间的方位关系来实现。该设备可以实时记录超声探头以任意方位扫描目标时的方位信息,因此为扫描得到的一系列非平行超声图像提供了相应的空间方向与位置信息。

[0003] 目前常用的两种超声探头定位跟踪方法是磁定位与光学定位,本专利采用磁定位方法。而定位跟踪设备一旦固定,其与超声探头扫描平面间的方位关系即已确定,这种转换关系一般不能通过物理方法来测量,但可以表示为定位跟踪设备坐标相对于超声图像平面像素坐标的转换关系(旋转、平移和比例关系),其数学形式为 4×4 矩阵。此转换关系矩阵亦称标定矩阵,以往计算标定矩阵中通过同源点在不同坐标系下的坐标,应用最小二乘匹配算法获得两个坐标系间的转换矩阵。其中同源点在图像坐标系中的坐标依赖人工从图像中拾取,这样不可避免的带来人为因素对标定精度的影响。

发明内容

[0004] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷,从同源点在图像中的坐标能够被自动提取的角度进行研究,独特之处在于应用同源点的空间矢量特征关系进行图像坐标的自动计算,从而提供减少算法中人为因素的影响,实现一种标定精度与重建精度高、标定速度快的超声检测图像三维标定方法。

[0005] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0006] 一种超声检测图像三维标定方法,定位接收器与定位发射器连接,该方法通过模板计算固定在超声探头上的定位接收器坐标系 0_r 与探头扫描图像坐标系 0_i 间的关系,所述的模板上设有两层网状棉线,网状棉线在扫描面上有 n 个棉线交点,所述的标定方法包括以下步骤:

[0007] 1)取超声扫描图像中的点 I_1 作为基准点,获取 I_1 在探头扫描图像坐标系上的坐标, I_1 在定位接收器坐标系中的坐标 R_1 为:

$$[0008] \quad R_1 = T_{r \leftarrow t} \cdot T_{t \leftarrow p} \cdot P_1$$

[0009] 其中, P_1 为基准点 I_1 在模板坐标系 0_p 中的对应坐标, $T_{r \leftarrow t}$ 为定位发射器坐标系 0_t 相对于定位接收器坐标系 0_r 的转换矩阵, $T_{t \leftarrow p}$ 为模板坐标系 0_p 相对于定位发射器坐标系 0_t 的转换矩阵;

[0010] 2)根据模板上棉线交点的位置在扫描图像中拾取点 I_2 ,获得向量 $\overrightarrow{I_1 I_2}$ 的方向, I_2 在

模板坐标系 O_p 中的对应坐标为 P_2 ,根据 P_1 与 P_2 的距离 d_{12} 和 $\overline{I_1I_2}$ 的方向计算 I_2 在探头扫描图像坐标系上的坐标, I_2 在定位接收器坐标系中的坐标 R_2 为:

$$[0011] \quad R_2 = T_{r \leftarrow t} \cdot T_{t \leftarrow p} \cdot P_2;$$

[0012] 3)根据模板上棉线交点的位置在扫描图像中拾取点 I_3 , I_3 在模板坐标系 O_p 中的对应坐标为 P_3 ,向量 $\overline{P_1P_2}$ 、 $\overline{P_1P_3}$ 间的夹角为 θ ,根据 $\overline{I_1I_2}$ 和 θ 确定 $\overline{I_1I_3}$ 的方向,根据 P_1 与 P_3 的距离 d_{13} 和 $\overline{I_1I_3}$ 的方向计算 I_3 在探头扫描图像坐标系上的坐标, I_3 在定位接收器坐标系中的坐标 R_3 为:

$$[0013] \quad R_3 = T_{r \leftarrow i} \cdot T_{t \leftarrow p} \cdot P_3;$$

[0014] 4)重复步骤2)、3),获得扫描面上 n 个棉线交点在定位接收器坐标系与探头扫描图像坐标系中的坐标,并根据以下公式进行同源点最小二乘原理匹配,获得标定矩阵 $T_{r \leftarrow t}$:

$$[0015] \quad T_{r \leftarrow t} = \min_{R, p} \sum_{i=1}^n \|R_i - (sRI_i + p)\|^2$$

[0016] 其中, R_i 为第 i 个棉线交点在定位接收器坐标系中的坐标, I_i 为第 i 个棉线交点在探头扫描图像坐标系上的坐标, s 为比例系数, R 为旋转关系矩阵, p 为平移向量;

[0017] 5)采集 m 幅超声扫描图像,重复步骤1)-4),计算 m 个标定矩阵 $T_{r \leftarrow i}$ 的平均值作为最终标定结果。

[0018] 所述的基准点 I_1 为网状棉线中最上层交点的中间一点在超声图像中的成像点。

[0019] 所述的 $\overline{I_1I_2}$ 的方向取决于 I_2 沿基准点 I_1 的方向。

[0020] 所述的 $T_{t \leftarrow p}$ 通过模板标定方法计算得到,所述的模板标定方法具体为:

[0021] 模板两侧设有多个通孔,且通孔坐标已知,将定位接收器的探针针尖依次接触通孔,根据针尖相对于其上定位接收器的位置关系及 $T_{r \leftarrow t}$ 获得这些通孔在定位发射器坐标系 O_t 上的坐标,根据同源点最小二乘原理匹配获得 $T_{t \leftarrow p}$ 。

[0022] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0023] 1、通过空间矢量的方法计算同源点坐标,是以往研究中没有采用过的方法。以往的方法中通常采用直接拾取图像同源点坐标或应用相似三角形的方法计算同源点坐标。

[0024] 2、同源点数目少,通过构建空间向量,得到三对同源点即可完成标定算法,标定简单快速。

[0025] 3、基准点选择在图像中心位置,实验证明此位置受超声束扇形发散效应影响小,可提高标定精度与重建精度。

[0026] 4、基准点选择在图像偏上位置,实验证明此位置受超声束深度影响小,可提高标定精度与重建精度高。

[0027] 5、超声图像中另外2个同源点选择在靠近图像中心线的位置,可减少超声束扇形发散效应影响,提高标定精度与重建精度。

[0028] 6、采用同源点最小二乘原理匹配及多次采集超声图像再求平均值的计算方法,来计算最终的标定矩阵,可以修正单次操作中由于探头对正、图像成像点拾取等因互引入的误差。

附图说明

- [0029] 图1为本发明的原理示意图；
 [0030] 图2为模板扫描面示意图；
 [0031] 图3为超声扫描图像选点示意图。

具体实施方式

[0032] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本实施例以本发明技术方案为前提进行实施，给出了详细的实施方式和具体的操作过程，但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0033] 一种超声检测图像三维标定方法，采用NDI磁定位方式，定位接收器与定位发射器连接，该方法需辅以模板来完成，通过模板计算固定在超声探头上的定位接收器坐标系 O_r 与探头扫描图像坐标系 O_i 间的关系，所述的模板上设有两层网状棉线，网状棉线在扫描面上有 n (n 为10)个棉线交点。

[0034] 标定过程所需的探头扫描图像坐标系 O_i 为自定义，定位接收器坐标系 O_r 为NDI公司定义，定位发射器坐标系 O_t 为NDI公司定义，模板坐标系 O_p 为自定义。

[0035] 当超声探头如图1所示扫描模板时，取模板上处于图像视野中的某点 $P_p = [x_k y_k z_k 1]^T$ ，其成像点在坐标系 O_i 中的坐标记为 $P_i = [s_u \cdot u_k s_v \cdot v_k 0 1]^T$ ， s_u 、 s_v 为超声图像两个方向的分辨率(比例系数，单位mm/pixel)，一般情况下： $s_u = s_v$ ，则 O_p 与 O_i 间的转换关系以齐次坐标变换矩阵表示为：

$$[0036] \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \\ 1 \end{pmatrix} = T_{p \leftarrow i} \cdot T_{i \leftarrow r} \cdot T_{r \leftarrow t} \cdot \begin{pmatrix} s_u \cdot u_k \\ s_v \cdot v_k \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

[0037] 简写为： $P_p = T_{p \leftarrow t} \cdot T_{t \leftarrow r} \cdot T_{r \leftarrow i} \cdot P_i$ (2)

[0038] 其中， $T_{t \leftarrow r}$ 为定位接收器坐标系 O_r 相对于定位发射器坐标系 O_t 的转换矩阵，由磁定位跟踪装置固有的定位算法计算可得； $T_{p \leftarrow t}$ 为发射器坐标系 O_t 相对于模板坐标系 O_p 的转换矩阵，由模板标定方法计算得到。(2)式全部以矩阵形式表示为：

[0039] $T_{p \leftarrow i} = T_{p \leftarrow t} \cdot T_{t \leftarrow r} \cdot T_{r \leftarrow i}$ (3)

[0040] $T_{r \leftarrow i} = T_{t \leftarrow r}^{-1} \cdot T_{p \leftarrow t}^{-1} \cdot T_{p \leftarrow i}$ (4)

[0041] $T_{r \leftarrow i}$ 即为标定算法的最终目标。

[0042] 所述的 $T_{t \leftarrow p}$ 通过模板标定方法计算得到，所述的模板标定方法具体为：

[0043] 模板两侧设有多个通孔，且通孔坐标已知，将定位接收器的探针针尖依次接触通孔，根据针尖相对于其上定位接收器的位置关系及 $T_{r \leftarrow t}$ 获得这些通孔在定位发射器坐标系 O_t 上的坐标，根据同源点最小二乘原理匹配获得 $T_{t \leftarrow p}$ 。

[0044] 如图2所示，由于模板设计的尺寸已知，所以模板上的 $P_1, P_2, P_3, d_{12}, d_{13}$ 、向量 $\overrightarrow{P_1 P_2}$ 和 $\overrightarrow{P_1 P_3}$ 间的夹角 θ 是能够计算得到的，均作为已知条件。

[0045] 如图1-图3所示，该标定方法包括以下步骤：

[0046] 1)取超声扫描图像中的点 I_1 作为基准点， I_1 为网状棉线中最上层交点的中间一点，获取 I_1 在探头扫描图像坐标系上的坐标， I_1 在定位接收器坐标系中的坐标 R_1 为：

[0047] $R_1 = T_{r \leftarrow t} \cdot T_{t \leftarrow p} \cdot P_1$

[0048] 其中, P_1 为基准点 I_1 在模板坐标系 O_p 中的对应坐标, $T_{r \leftarrow t}$ 为定位发射器坐标系 O_t 相对于定位接收器坐标系 O_r 的转换矩阵, $t_{t \leftarrow p}$ 为模板坐标系 O_p 相对于定位发射器坐标系 O_t 的转换矩阵;

[0049] 2) 根据模板上棉线交点的位置在扫描图像中拾取点 I_2 , I_2 可选临近基准点上层左侧的一点, $\overline{I_1 I_2}$ 的方向取决于 I_2 沿基准点 I_1 的方向, 可平行于模板坐标系中的 x 轴方向, I_2 在模板坐标系 O_p 中的对应坐标为 P_2 , 将 P_1 与 P_2 的距离 d_{12} 转换为像素, 计算 I_1 与 I_2 的距离: $|I_1 I_2| = s \cdot d_{12}$, s 为比例系数, 单位是: pixel/mm , 也就是每毫米代表多少个像素, 根据距离和方向计算 I_2 在探头扫描图像坐标系上的坐标, I_2 在定位接收器坐标系中的坐标 R_2 为: $R_2 = T_{r \leftarrow t} \cdot T_{t \leftarrow p} \cdot P_2$;

[0050] 3) 根据模板上棉线交点的位置在扫描图像中拾取点 I_3 , I_3 可选临近基准点下层左侧的一点, I_3 在模板坐标系 O_p 中的对应坐标为 P_3 , 向量 $\overline{P_1 P_2}$ 、 $\overline{P_1 P_3}$ 间的夹角为 θ , 根据 $\overline{I_1 I_2}$ 和 θ 确定 $\overline{I_1 I_3}$ 的方向, 根据 P_1 与 P_3 的距离 d_{13} 和 $\overline{I_1 I_3}$ 的方向计算 I_3 在探头扫描图像坐标系中的坐标: $\overline{I_1 I_2} \cdot \overline{I_1 I_3} = |I_1 I_2| \cdot |I_1 I_3| \cos \theta = s \cdot d_{12} \cdot s \cdot d_{13} \cos \theta$ 。 I_3 在定位接收器坐标系中的坐标 R_3 为: $R_3 = T_{r \leftarrow t} \cdot T_{t \leftarrow p} \cdot P_3$;

[0051] 4) 重复步骤2)、3), 获得扫描面上10个棉线交点在定位接收器坐标系与探头扫描图像坐标系中的坐标, 并根据以下公式进行同源点最小二乘原理匹配, 获得标定矩阵 $T_{r \leftarrow i}$:

$$[0052] \quad T_{r \leftarrow i} = \min_{R, p} \sum_{i=1}^n \|R_i - (s R I_i + p)\|^2$$

[0053] 其中, R_i 为第 i 个棉线交点在定位接收器坐标系中的坐标, I_i 为第 i 个棉线交点在探头扫描图像坐标系上的坐标, R 为旋转关系矩阵, p 为平移向量;

[0054] 5) 采集10幅超声扫描图像, 重复步骤1)-4), 计算 m 个标定矩阵 $T_{r \leftarrow i}$ 的平均值作为最终标定结果。

[0055] 最后的 $T_{r \leftarrow i}$ 是一个 4×4 矩阵, 前三列为旋转关系 R , 最后一列为平移向量 p :

$$[0056] \quad T_{r \leftarrow i} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

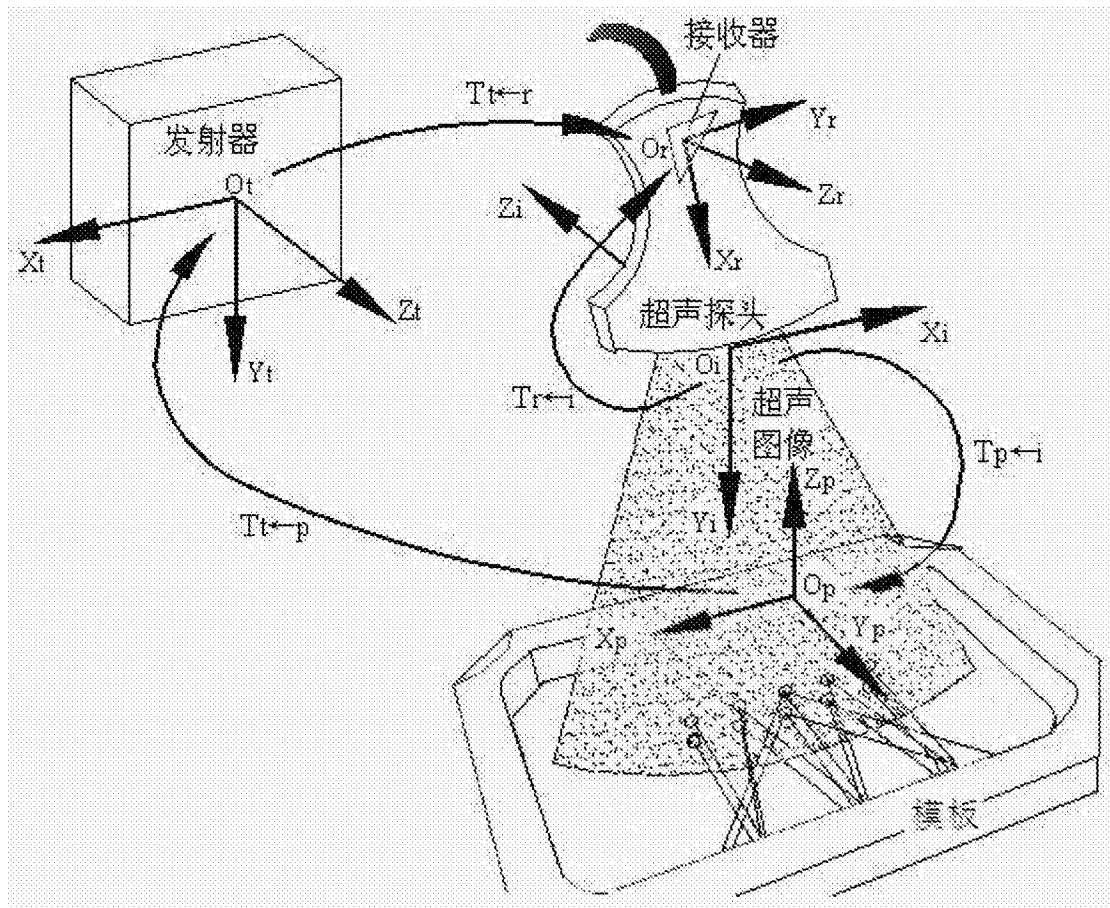


图1

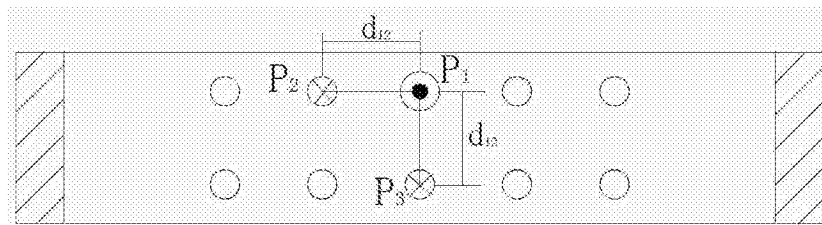


图2

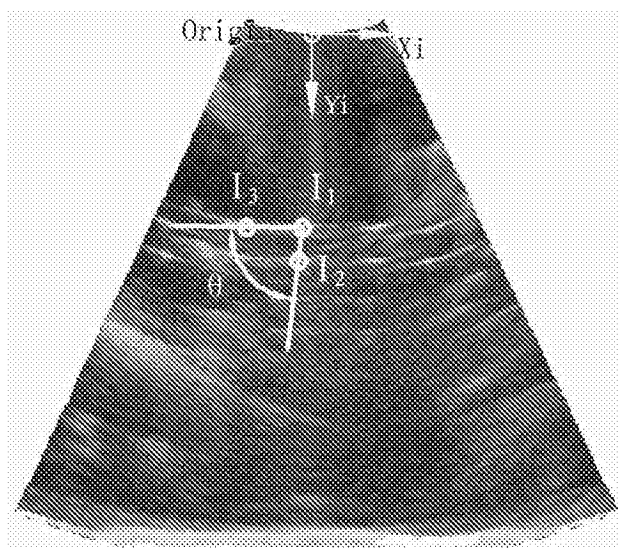


图3

专利名称(译)	一种超声检测图像三维标定方法		
公开(公告)号	CN104207801B	公开(公告)日	2016-08-24
申请号	CN201310221987.5	申请日	2013-06-05
[标]申请(专利权)人(译)	上海工程技术大学		
申请(专利权)人(译)	上海工程技术大学		
当前申请(专利权)人(译)	上海工程技术大学		
[标]发明人	么晓 陈闵叶 徐海荣 曹达敏		
发明人	么晓 陈闵叶 徐海荣 曹达敏		
IPC分类号	A61B8/00		
代理人(译)	赵继明		
其他公开文献	CN104207801A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明涉及一种超声检测图像三维标定方法，该方法通过超声探头上的接收器实时获取超声探头的位姿信息，从而可将模板中任意点(包括棉线交点)坐标转换至接收器坐标系中；通过超声探头对网状模板中棉线交点的扫描，获得棉线交点的超声图像；通过模板中棉线交点构建空间矢量，按照模板中空间矢量间的几何特性计算超声图像中棉线交点成像点的坐标，进而应用同源点最小二乘匹配计算定位接收器坐标系 O_r 与探头扫描图像坐标系 O_i 间的关系。与现有技术相比，本发明通过空间矢量关系计算图像坐标系中同源点坐标，避免了以往方法中人工拾取图像同源点坐标时人为因素影响，从而具有标定精度与重建精度高、标定速度快等优点。

