



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117994347 B

(45) 授权公告日 2024.06.11

(21) 申请号 202410404558.X

B23B 41/00 (2006.01)

(22) 申请日 2024.04.07

B23B 47/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 117994347 A

(56) 对比文件

US 2006274973 A1, 2006.12.07

WO 2023097931 A1, 2023.06.08

CN 108109157 A, 2018.06.01

CN 117642257 A, 2024.03.01

CN 110838117 A, 2020.02.25

US 2006031017 A1, 2006.02.09

US 2009129660 A1, 2009.05.21

US 2015065803 A1, 2015.03.05

US 2008012860 A1, 2008.01.17

US 5960371 A, 1999.09.28

EP 1429157 A1, 2004.06.16

JP 2005309862 A, 2005.11.04

CN 110866903 A, 2020.03.06

CN 113134683 A, 2021.07.20

CN 115345822 A, 2022.11.15

(43) 申请公布日 2024.05.07

(73) 专利权人 宝鸡市鹏盛鑫有色金属有限责任公司

地址 721000 陕西省宝鸡市高新开发区高新八路南口

(72) 发明人 沈观伦 沈鹏

(74) 专利代理机构 北京中佳信联知识产权代理有限公司 16122

专利代理师 裴景阳

审查员 陈华惠

(51) Int. Cl.

G06T 7/73 (2017.01)

G06T 7/13 (2017.01)

G06T 7/136 (2017.01)

G06T 7/168 (2017.01)

G06T 7/66 (2017.01)

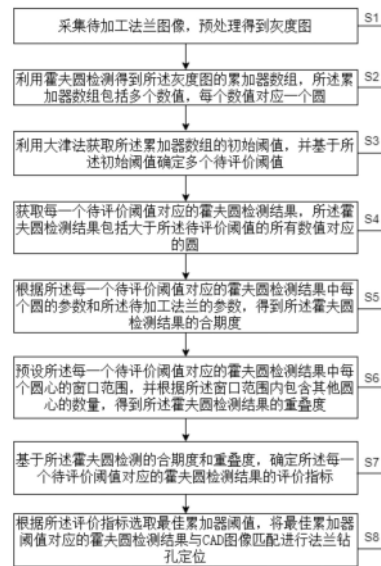
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种法兰加工钻孔高精度定位方法

(57) 摘要

本发明涉及图像处理领域,更具体地,本发明涉及一种法兰加工钻孔高精度定位方法,包括:通过对预处理后的待加工法兰图像进行霍夫圆检测,并基于天津法得到累加器数组中的初始阈值,并基于初始阈值设定多个待评价阈值,获取每个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果,通过霍夫圆检测结果中的霍夫圆合期度和霍夫圆重叠度得到每个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果的评价指标,并根据评价指标选取最佳累加器阈值,获取最佳累加器阈值对应的最佳霍夫圆检测结果,排除了多余圆的干扰,实现待加工法兰的霍夫圆检测结果与待加工法兰的CAD图像精确匹配,基于该匹配结果能够精确的定位钻孔位置。



1. 一种法兰加工钻孔高精度定位方法,其特征在于,包括:

采集待加工法兰图像,预处理得到灰度图;

利用霍夫圆检测得到所述灰度图的累加器数组,所述累加器数组包括多个数值,每个数值对应一个圆;

利用大津法获取所述累加器数组的初始阈值,并基于所述初始阈值确定多个待评价阈值;

获取每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果,所述霍夫圆检测结果包括大于所述待评价阈值的所有数值对应的圆;

根据所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果中每个圆的参数和所述待加工法兰的参数,得到所述霍夫圆检测结果的合期度;

预设所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果中每个圆心的窗口范围,并根据所述窗口范围内包含其他圆心的数量,得到所述霍夫圆检测结果的重叠度;

基于所述霍夫圆检测的合期度和重叠度,确定所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果的评价指标;

根据所述评价指标选取最佳累加器阈值,将最佳累加器阈值对应的霍夫圆检测结果与CAD图像匹配进行法兰钻孔定位;

所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果的评价指标,获取方法为:

将所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果的合期度和重叠度的比值,作为霍夫圆检测结果的评价指标;

所述霍夫圆检测结果的合期度,满足如下关系式:

$$G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{\sqrt{(x_i - \mu(x))^2 + (y_i - \mu(y))^2}}{d_l} \right) \times \frac{r_{max}}{\mu(r)} \times \frac{D_A + D_S}{D_A} \times \frac{r_{min}}{\mu(r)} \times \frac{D_A + D_S}{D_S};$$

式中, G 为霍夫圆检测结果的合期度, N 为霍夫圆检测结果中所有圆的总数, i 为霍夫圆检测结果中圆的序号, i 的值取遍 $[1,N]$ 范围内所有整数, x_i 为霍夫圆检测结果中第 i 个圆圆心的横坐标, $\mu(x)$ 为霍夫圆检测结果中圆心的横坐标均值, y_i 为霍夫圆检测结果中第 i 个圆圆心的纵坐标, $\mu(y)$ 为霍夫圆检测结果中圆心的纵坐标均值, $\mu(r)$ 为霍夫圆检测结果中圆的半径均值, r_{max} 为霍夫圆检测结果中的最大半径, r_{min} 为霍夫圆检测结果中的最小半径, D_A 为法兰外径, D_S 为法兰内径, d_l 为待加工法兰图像的对角线距离;

所述霍夫圆检测结果的重叠度,满足如下关系式:

$$F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N-1} \left(\text{ReLU} \left(\frac{r_i + r_j}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}} - 1 \right) \times \frac{Q_i}{N} \right);$$

式中, F 为霍夫圆检测结果的重叠度, N 为霍夫圆检测结果中所有圆的总数, i 为霍夫圆检测结果中圆的序号, i 的值取遍 $[1,N]$ 范围内所有整数, x_i 为霍夫圆检测结果中第 i 个圆圆心的横坐标, y_i 为霍夫圆检测结果中第 i 个圆圆心的纵坐标, r_i 为霍夫圆检测结果中第 i 个圆的半径, j 为霍夫圆检测结果中除了第 i 个圆之外的其他圆的序号, j 的值取遍 $[1,N-1]$ 范围内所有整数, x_j 为霍夫圆检测结果中第 j 个圆圆心的横坐标, y_j 为霍夫圆检测结果中第 j 个圆圆心的纵坐标, r_j 为霍夫圆检测结果中第 j 个圆的半径, Q_i 为霍夫圆检测结果中第 i 个圆

心的窗口范围包含其他圆心的数量, $ReLU()$ 为线性整流函数;

所述待加工法兰的参数, 包括: 所述待加工法兰的内径和外径;

所述每个圆的参数, 包括: 所述每个圆的圆心坐标和半径。

2. 根据权利要求1所述的一种法兰加工钻孔高精度定位方法, 其特征在于, 基于所述初始阈值确定多个待评价阈值, 包括:

在所述累加器数组中, 以所述初始阈值为中心, 前后各取M个数值, 加上所述初始阈值自身, 总共 $2M+1$ 个数值, 作为待评价阈值, M为预设值。

3. 根据权利要求1所述的一种法兰加工钻孔高精度定位方法, 其特征在于, 根据所述评价指标选取最佳累加器阈值, 包括:

将霍夫圆检测结果的评价指标最大值时对应的待评价阈值作为最佳累加器阈值。

4. 根据权利要求1所述的一种法兰加工钻孔高精度定位方法, 其特征在于, 所述窗口范围大小为所述灰度图的九分之一。

一种法兰加工钻孔高精度定位方法

技术领域

[0001] 本发明涉及图像处理领域,具体涉及一种法兰加工钻孔高精度定位方法。

背景技术

[0002] 法兰作为管道连接件,在各个基础工程领域中发挥着关键作用,确保管道系统的安全运行和设备的连接稳固,它广泛应用于化工、建筑、能源、制造等领域,为各种工程项目提供了必要的连接支持和保障,而法兰钻孔是一种常用的金属加工工艺,在法兰上钻孔以便安装螺栓或其他连接件,随着机器视觉的发展和应用,在法兰加工钻孔过程中,可以通过结合图像识别技术实现对法兰的自动识别和定位,减少人为操作的误差,提高生产效率和产品质量,通过实时监测和反馈,确保每个钻孔位置的准确性,使得生产过程更加智能化和可控。

[0003] 现有技术在进行法兰加工钻孔过程中,往往通过霍夫圆检测提取法兰图像中的圆,并将检测结果与CAD图像匹配以确定法兰的钻孔位置,然而由于法兰图像中存在背景噪声与干扰光线,在进行霍夫圆检测时,若累加器阈值选取不当会检测到由背景噪声与干扰光线产生的多余圆,使得霍夫圆检测结果无法与CAD图像正确匹配,进而导致钻孔位置无法精确定位。

发明内容

[0004] 为解决上述一个或多个技术问题,本发明提出一种法兰加工钻孔高精度定位方法,该方法提高了法兰加工钻孔定位的精度。具体采用如下技术方案:一种法兰加工钻孔高精度定位方法,包括:

[0005] 采集待加工法兰图像,预处理得到灰度图;

[0006] 利用霍夫圆检测得到所述灰度图的累加器数组,所述累加器数组包括多个数值,每个数值对应一个圆;

[0007] 利用大津法获取所述霍夫圆检测的累加器数组的初始阈值,并基于所述初始阈值确定多个待评价阈值;

[0008] 获取每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果,所述霍夫圆检测结果包括大于所述待评价阈值的所有数值对应的圆;

[0009] 根据所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果中每个圆的参数和所述待加工法兰的参数,得到所述霍夫圆检测结果的合期度;

[0010] 预设所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果中每个圆心的窗口范围,并根据所述窗口范围内包含其他圆心的数量,得到所述霍夫圆检测结果的重叠度;

[0011] 基于所述霍夫圆检测的合期度和重叠度,确定所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果的评价指标;

[0012] 根据所述评价指标选取最佳累加器阈值,将最佳累加器阈值对应的霍夫圆检测结果与CAD图像匹配进行法兰钻孔定位。

[0013] 进一步的,所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果的评价指标,获取方法为:

[0014] 将所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果的合期度和重叠度的比值,作为霍夫圆检测结果的评价指标。

[0015] 进一步的,所述霍夫圆检测结果的合期度,满足如下关系式:

$$[0016] \quad G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{\sqrt{(x_i - \mu(x))^2 + (y_i - \mu(y))^2}}{d_i} \right) \times \frac{r_{max}}{\mu(r)} \times \frac{D_A + D_S}{D_A} \times \frac{r_{min}}{\mu(r)} \times \frac{D_A + D_S}{D_S}$$

[0017] 式中, G 为霍夫圆检测结果的合期度, N 为霍夫圆检测结果中所有圆的总数, i 为霍夫圆检测结果中圆的序号, i 的值取遍 $[1,N]$ 范围内所有整数, x_i 为霍夫圆检测结果中第 i 个圆圆心的横坐标, $\mu(x)$ 为霍夫圆检测结果中圆心的横坐标均值, y_i 为霍夫圆检测结果中第 i 个圆圆心的纵坐标, $\mu(y)$ 为霍夫圆检测结果中圆心的纵坐标均值, $\mu(r)$ 为霍夫圆检测结果中圆的半径均值, r_{max} 为霍夫圆检测结果中的最大半径, r_{min} 为霍夫圆检测结果中的最小半径, D_A 为法兰外径, D_S 为法兰内径, d_i 为待加工法兰图像的对角线距离。

[0018] 进一步的,所述霍夫圆检测结果的重叠度,满足如下关系式:

$$[0019] \quad F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N-1} \left(\text{ReLU} \left(\frac{r_i + r_j}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}} - 1 \right) \right) \times \frac{Q_i}{N}$$

[0020] 式中, F 为霍夫圆检测结果的重叠度, N 为霍夫圆检测结果中所有圆的总数, i 为霍夫圆检测结果中圆的序号, i 的值取遍 $[1,N]$ 范围内所有整数, x_i 为霍夫圆检测结果中第 i 个圆圆心的横坐标, y_i 为霍夫圆检测结果中第 i 个圆圆心的纵坐标, r_i 为霍夫圆检测结果中第 i 个圆的半径, j 为霍夫圆检测结果中除了第 i 个圆之外的其他圆的序号, j 的值取遍 $[1,N-1]$ 范围内所有整数, x_j 为霍夫圆检测结果中第 j 个圆圆心的横坐标, y_j 为霍夫圆检测结果中第 j 个圆圆心的纵坐标, r_j 为霍夫圆检测结果中第 j 个圆的半径, Q_i 为霍夫圆检测结果中第 i 个圆心的窗口范围包含其他圆心的数量, $\text{ReLU}()$ 为线性整流函数。

[0021] 进一步的,基于所述初始阈值确定多个待评价阈值,包括:

[0022] 在所述累加器数组中,以所述初始阈值为中心,前后各取 N 个数值,加上所述初始阈值自身,总共 $2N+1$ 个数值,作为待评价阈值。

[0023] 进一步的,根据所述评价指标选取最佳累加器阈值,包括:

[0024] 将霍夫圆检测结果的评价指标最大值时对应的待评价阈值作为最佳累加器阈值。

[0025] 进一步的,所述待加工法兰的参数,包括:所述待加工法兰的内径和外径。

[0026] 进一步的,所述每个圆的参数,包括:所述每个圆的圆心坐标和半径。

[0027] 进一步的,所述窗口范围大小为所述灰度图的九分之一。

[0028] 本发明具有以下效果:

[0029] 本发明通过对预处理后的待加工法兰图像进行霍夫圆检测,并基于天津法得到累加器数组中的多个待评价阈值,并对每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果进行评价,具体通过获取霍夫圆检测结果的合期度和重叠度获取霍夫圆检测结果评价指标,并根据评价指标在多个待评价阈值选取最佳的累加器阈值,最佳累加器阈值对应的霍夫圆检测结果,排除了图像中的干扰噪声或其他影响产生的多余圆,以获取最佳霍夫圆检测结果,进而

实现检测结果与CAD图像精确匹配,从而精确定位钻孔位置。

附图说明

[0030] 通过参考附图阅读下文的详细描述,本发明示例性实施方式的上述以及其他目的、特征和优点将变得易于理解。在附图中,以示例性而非限制性的方式示出了本发明的若干实施方式,并且相同或对应的标号表示相同或对应的部分,其中:

[0031] 图1是本发明的方法流程的示意图。

具体实施方式

[0032] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例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,本领域技术人员在没有做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。

[0033] 下面结合附图来详细描述本发明的具体实施方式。

[0034] 参照图1,一种法兰加工钻孔高精度定位方法,包括步骤S1-S8,具体如下:

[0035] S1:采集待加工法兰图像,预处理得到灰度图。

[0036] 本实施例采用工业相机,采集待加工法兰的图像,对采集的待加工法兰图像进行预处理,所述预处理为灰度化,通过灰度化节省了存储空间,后续可以更加方便地通过灰度值特征对图像内部区域特征进行分析。

[0037] S2:利用霍夫圆检测得到所述灰度图的累加器数组,所述累加器数组包括多个数值,每个数值对应一个圆。

[0038] 由于经过预处理后的待加工法兰图像的外轮廓与中心轮廓均为圆形,因此可以通过霍夫圆检测提取法兰轮廓特征作为匹配指标,从而精确定位待加工法兰位置,在进行霍夫圆检测时,预设累加器阈值,对于每个可能的圆心和半径组合,算法会在图像中遍历所有像素点,并根据这个像素点与圆心和半径的关系来为对应的累加器数组增加值,如果某个圆心和半径组合对应的圆确实经过了某个像素点,那么该累加器数组的值就会增加,也就是霍夫圆检测过程中累加器数组包含多个数值,每一个数值,对应一个圆,并将累加器数组中数值超过累加器阈值的数值对应的圆,作为霍夫圆的检测结果,即检测出灰度图像中的多个圆,累加器数组中有多少个超过累加器阈值的数值,灰度图像中就有多个圆,然后基于该结果进行匹配与定位,若霍夫圆检测过程中的累加器阈值选取不当,会造成霍夫圆检测结果不准确,故本实施例在后续步骤对霍夫圆检测过程中的累加器阈值进行准确选取,以得到精准的检测结果,提高法兰钻孔定位的精度。

[0039] S3:利用大津法获取所述累加器数组的初始阈值,并基于所述初始阈值确定多个待评价阈值。

[0040] 本实施例中,利用大津法获取累加器数组的初始阈值,初始阈值将累加器中的数值分割为超过初始阈值的一部分和未超过初始阈值的一部分,超过初始阈值的一部分数值在灰度图中对应的圆的圆形可能程度较高,未超过初始阈值的一部分数值在灰度图中对应的圆的圆形可能程度较低,圆形可能程度较高的圆相对于圆形可能程度较低的圆更适合作为霍夫圆检测结果,也更适合与CAD图像进行匹配以完成法兰钻孔定位,但是利用大津法获

取的阈值只是粗略地将圆形可能程度高的圆与圆形可能程度低的圆分离开,并不能直接获取到与法兰CAD图像可以精确匹配的霍夫圆集合,因此需要进一步的分析,获取到累加器数组的精准阈值。

[0041] 其中,基于所述初始阈值确定多个待评价阈值,包括:

[0042] 在所述累加器数组中,以所述初始阈值为中心,前后各取M个数值,加上所述初始阈值自身,总共2M+1个数值,作为待评价阈值,M为预设值,具体可自行设定,本实施例中设定M为5,即总共选取11个数值,将这11个数值作为待评价阈值。

[0043] S4:获取每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果,所述霍夫圆检测结果包括大于所述待评价阈值的所有数值对应的圆。

[0044] 其中,每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果为:

[0045] 以该待评价阈值为基准,将所述累加器数组中超过所述待评价阈值的数值对应的所有圆,作为所述待评价阈值对应的霍夫圆检测结果。

[0046] S5:根据所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果中每个圆的参数和所述待加工法兰的参数,得到所述霍夫圆检测结果的合期度。

[0047] 其中,所述待加工法兰的参数,包括待加工法兰的内径和外径(根据待加工法兰规格得到),所述每个圆的参数,包括每个圆的圆心坐标和半径。

[0048] 其中,所述霍夫圆检测结果的合期度,满足如下关系式:

$$[0049] \quad G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{\sqrt{(x_i - \mu(x))^2 + (y_i - \mu(y))^2}}{d_i} \right) \times \frac{r_{max}}{\mu(r)} \times \frac{D_A + D_S}{D_A} \times \frac{r_{min}}{\mu(r)} \times \frac{D_A + D_S}{D_S}$$

[0050] 式中,G为霍夫圆检测结果的合期度,N为霍夫圆检测结果中所有圆的总数,i为霍夫圆检测结果中圆的序号,i的值取遍[1,N]范围内所有整数, x_i 为霍夫圆检测结果中第i个圆圆心的横坐标, y_i 为霍夫圆检测结果中第i个圆圆心的纵坐标, $\mu(x)$ 为霍夫圆检测结果中圆心的横坐标均值, $\mu(y)$ 为霍夫圆检测结果中圆心的纵坐标均值, $\mu(r)$ 为霍夫圆检测结果中圆的半径均值, r_{max} 为霍夫圆检测结果中的最大半径, r_{min} 为霍夫圆检测结果中的最小半径, D_A 为法兰外径, D_S 为法兰内径, d_i 为待加工法兰图像的对角线距离, $r_{max}/\mu(r)$ 和 $r_{min}/\mu(r)$ 分别表示霍夫圆检测结果中,所有圆的最大半径与平均半径比值和所有圆的最小半径与平均半径比值; D_A 和 D_S 分别为待加工法兰的外径和内径, $(D_A + D_S)/D_A$ 和 $(D_A + D_S)/D_S$ 分别表示法兰外径与内外径均值之比、法兰内径与内外径均值之比;

[0051] $r_{max}/\mu(r)$ 和 $(D_A + D_S)/D_A$ 的乘积表示最大半径与平均半径比值的合期度, $r_{min}/\mu(r)$ 和 $(D_A + D_S)/D_S$ 的乘积表示最小半径与平均半径比值的合期度,当最大半径与平均半径比值的合期度、最小半径与平均半径比值的合期度都较大时,则霍夫圆合期度更高,此时由背景噪声和光线干扰导致的多余的圆越少。

[0052] 其中:

$$[0053] \quad \sqrt{(x_i - \mu(x))^2 + (y_i - \mu(y))^2}$$

[0054] 该公式表示霍夫圆检测结果中第i个圆与其他圆圆心的偏移距离;

$$[0055] \quad \frac{\sqrt{(x_i - \mu(x))^2 + (y_i - \mu(y))^2}}{d_i}$$

[0056] 该公式表示霍夫圆检测结果中第i个圆与其他圆圆心的偏移程度,将霍夫圆检测

结果中第*i*个圆与其他的所有圆圆心的偏移距离和待加工法兰图像对角线距离的比值进行表示,第*i*个圆与其他圆圆心的偏移程度,极端情况下,当第*i*个圆的圆心和另一个圆的圆心分别位于待加工法兰图像的对角线上的两个端点处,此时圆心之间的偏移距离最大,故通过此种计算方式对第*i*个圆与其他圆圆心的偏移程度进行表征,该公式的值越大,说明第*i*个圆与其他圆圆心的偏移程度越大。

$$[0057] \quad 1 - \frac{\sqrt{(x_i - \mu(x))^2 + (y_i - \mu(y))^2}}{d_i}$$

[0058] 该公式的含义表示霍夫圆检测结果中第*i*个圆与其他圆圆心的无偏度,含义与偏移程度相反,无偏度越高,说明第*i*个圆与其他圆圆心的偏移程度越小。

$$[0059] \quad \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{\sqrt{(x_i - \mu(x))^2 + (y_i - \mu(y))^2}}{d_i} \right)$$

[0060] 该公式表示霍夫圆检测结果中所有圆的圆心无偏度,当霍夫圆检测结果中所有的圆平均圆心无偏度高时,霍夫圆检测结果与圆环状的实际法兰轮廓更相符,其霍夫圆合期度更高,此时由背景噪声和光线干扰导致的多余的圆越少。

[0061] 需要说明的是,由于通过大津法获取累加器数组的初始阈值只能粗略地分割出待加工法兰图像中轮廓为圆形的区域,此时的检测结果中仍旧包含多余的圆,这些多余的圆主要是由背景噪声、干扰光线产生的,这部分圆的圆心坐标与半径大小与可以进行匹配的圆存在差异,可以进行匹配的圆与待加工法兰的圆形轮廓更为吻合,因此可以根据霍夫圆检测结果中各霍夫圆圆心坐标与半径大小获取霍夫圆合期度作为霍夫圆检测结果评价指标,以判断霍夫圆检测结果达标程度。

[0062] S6:预设所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果中每个圆心的窗口范围,并根据所述窗口范围内包含其他圆心的数量,得到所述霍夫圆检测结果的重叠度。

[0063] 其中,设定窗口范围方法为:将待加工法兰图像大小等分为九份正方形区域,以每一份正方形区域的大小作为窗口范围大小,即将所述灰度图的九分之一作为窗口范围大小,然后,以每个圆心为中心,获取在窗口范围内的其他圆心的数量。

[0064] 其中,所述霍夫圆检测结果的重叠度,满足如下关系式:

$$[0065] \quad F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N-1} \left(\text{ReLU} \left(\frac{r_i + r_j}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}} - 1 \right) \times \frac{Q_i}{N} \right)$$

[0066] 式中,*F*为霍夫圆检测结果的重叠度,*N*为霍夫圆检测结果中所有圆的总数,*i*为霍夫圆检测结果中圆的序号,*i*的值取遍[1,*N*]范围内所有整数,*x_i*为霍夫圆检测结果中第*i*个圆圆心的横坐标,*y_i*为霍夫圆检测结果中第*i*个圆圆心的纵坐标,*r_i*为霍夫圆检测结果中第*i*个圆的半径,*j*为霍夫圆检测结果中除了第*i*个圆之外的其他圆的序号,*j*的值取遍[1,*N*-1]范围内所有整数,*x_j*为霍夫圆检测结果中第*j*个圆圆心的横坐标,*y_j*为霍夫圆检测结果中第*j*个圆圆心的纵坐标,*r_j*为霍夫圆检测结果中第*j*个圆的半径,*Q_i*为霍夫圆检测结果中第*i*个圆心的窗口范围包含其他圆心的数量,*ReLU()*为线性整流函数。

[0067] 其中:

$$[0068] \quad ReLU\left(\frac{r_i + r_j}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}} - 1\right)$$

[0069] 该公式表示当霍夫圆检测结果第*i*个圆与除第*i*个点之外的第*j*个圆的半径之和大于两圆圆心距离的程度,即两圆重叠的程度, $ReLU()$ 函数用于将不存在重叠圆时的取值置零; Q_i/N 表示第*i*个圆的圆心在窗口范围内包含其他圆心的数量与总圆心数量之比,该比值能反映第*i*个圆的密度,密度高的圆认为其重叠度高。

[0070] 需要说明的是,在背景噪声与干扰光线的影响下,霍夫圆检测结果中存在许多重叠圆区域,此时仅仅依靠圆心坐标和半径大小可能无法准确区分这些重叠的圆,由于霍夫圆合期度仅考虑了圆心和半径与CAD法兰图像的匹配程度,而霍夫圆检测结果中还存在圆心和半径上与CAD法兰图像匹配但实际存在重叠应去除的重叠圆区域,故本步骤获取霍夫圆检测结果中的霍夫圆重叠度。

[0071] S7:基于所述霍夫圆检测的合期度和重叠度,确定所述每一个待评价阈值对应的霍夫圆检测结果的评价指标。

[0072] 为获取到与待加工法兰CAD图像相符的霍夫圆检测结果,也就是既与法兰圆形轮廓特征相符,又不存在重叠的霍夫圆检测结果,故可结合霍夫圆检测结果的霍夫圆合期度与霍夫圆重叠度设置霍夫圆检测结果的评价指标。

[0073] 具体的,根据霍夫圆合期度*G*和霍夫圆重叠度*F*,得到霍夫圆检测结果的评价指标*H*可以表示为:

$$[0074] \quad H = \frac{G}{F}$$

[0075] 式中,*H*为霍夫圆检测结果的评价指标,*G*为霍夫圆合期度,*F*为霍夫圆重叠度,霍夫圆检测结果的评价指标反映了霍夫圆检测结果的与理想检测结果的差距,与理想检测结果的差距越小,越能与法兰CAD图像精确匹配,进行钻孔定位,反之,不能与法兰CAD图像精确匹配,当霍夫圆检测结果的评价指标越大时,霍夫圆检测结果中的圆与法兰的圆形轮廓特征更相符,且重叠度更低,即*G*越大且*F*越小时,此时与法兰CAD图像匹配时的精度更高,能进行精准的钻孔定位。

[0076] S8:根据所述评价指标选取最佳累加器阈值,将最佳累加器阈值对应的霍夫圆检测结果与CAD图像匹配进行法兰钻孔定位。

[0077] 其中,根据所述评价指标选取最佳累加器阈值,包括:霍夫圆检测结果的评价指标最大值时对应的待评价阈值作为最佳累加器阈值,将最佳累加器阈值对应的霍夫圆检测结果作为最佳霍夫圆检测结果,即将累加器数组中超过最佳累加器阈值的数值在灰度图中对应的所有圆,作为最佳霍夫圆检测结果,基于最佳霍夫圆检测结果与法兰的CAD图像进行精准匹配,进而完成法兰钻孔的精准定位。

[0078] 在本说明书的描述中,“多个”、“若干个”的含义是至少两个,例如两个,三个或更多个等,除非另有明确具体的限定。

[0079] 虽然本说明书已经示出和描述了本发明的多个实施例,但对于本领域技术人员显而易见的是,这样的实施例只是以示例的方式提供的。本领域技术人员会在不偏离本发明思想和精神的情况下想到许多更改、改变和替代的方式。应当理解的是在实践本发明的过程中,可以采用对本文所描述的本发明实施例的各种替代方案。

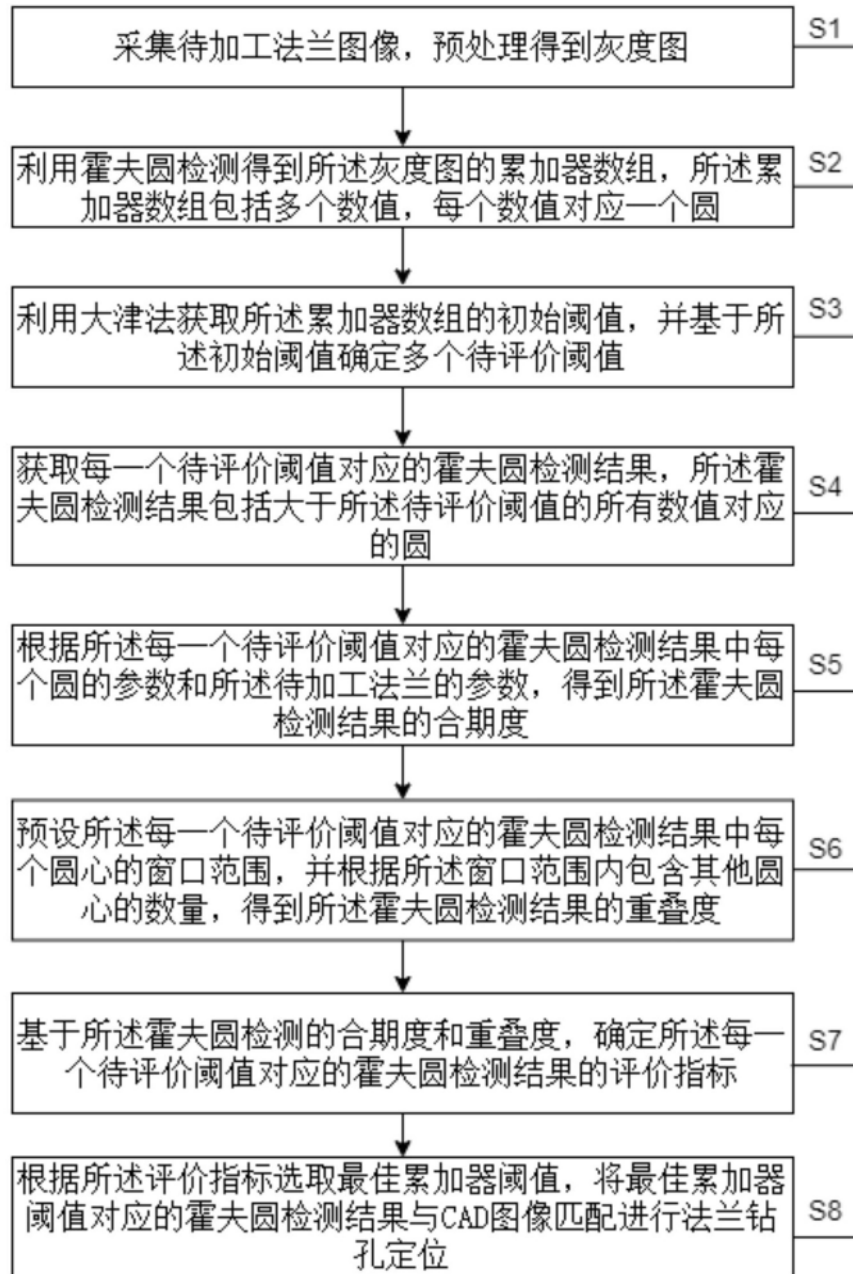


图1