



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115582755 B

(45) 授权公告日 2025. 02. 28

(21) 申请号 202211178684.5

(56) 对比文件

(22) 申请日 2022.09.27

CN 104772661 A, 2015.07.15

CN 105426855 A, 2016.03.23

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115582755 A

审查员 赵慧

(43) 申请公布日 2023.01.10

(73) 专利权人 中国科学院国家天文台南京天文
光学技术研究所

地址 210042 江苏省南京市板仓街188号

(72) 发明人 李博 周健杰

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207

专利代理师 李湘群

(51) Int. Cl.

B24B 13/00 (2006.01)

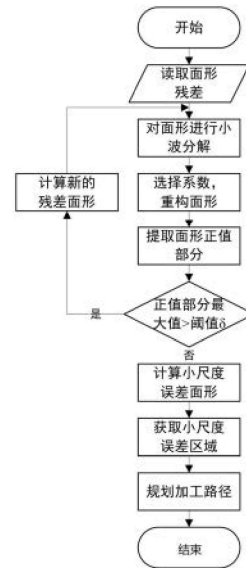
权利要求书1页 说明书3页 附图4页

(54) 发明名称

一种镜面小尺度误差的数控加工方法

(57) 摘要

本发明公开了一种镜面小尺度误差的数控加工方法,该方法包括基于残差面形进行小波分解,获得重构系数;对该重构系数进行小波反变换,重构面形,提取正值部分,计算残差;对该残差重复前述步骤,如果提取正值部分的最大值小于阈值 δ 则停止迭代,获得小尺度误差面形;对小尺度误差面形进行二值化、开运算和闭运算操作,得到小尺度误差所在区域,根据该区域分布生成最终加工路径;选择合适的研抛工具,控制数控机床或机械臂使用研抛工具对镜面小尺度误差按照生成的路径进行局部研抛。本发明提出的基于小尺度误差区域提取的镜面研抛方法,对镜面加工中出现的小尺度误差进行针对性修正,无需对整个镜面进行研抛,优化了研抛效果,提高了加工效率。



1. 一种镜面小尺度误差的数控加工方法,加工中先提取镜面的小尺度误差并对小尺度误差所在区域进行单独修正,修正小尺度误差后的镜面再继续进行全口径研磨抛光;其特征在于,所述小尺度误差的提取和修正方法包括:

步骤1:读取残差面形 $Z_1(x,y)$,对其进行n层小波分解,得到各层系数矩阵,选择尺寸最小的m个系数矩阵作为重构系数;

步骤2:对步骤1得到的重构系数进行小波反变换,重构面形,提取其中的正值部分 $h_1(x,y)$,计算得到残差 $Z_2(x,y)$,公式如下:

$$Z_2(x,y) = Z_1(x,y) - h_1(x,y);$$

步骤3:对步骤2得到的残差 $Z_2(x,y)$ 重复步骤1和步骤2,判断提取正值部分的最大值是否小于阈值 δ ,小于阈值 δ 则停止迭代,计算小尺度误差面形 $H(x,y)$,公式如下:

$$H(x,y) = \sum_{i=1}^k h_i(x,y);$$

其中,k为迭代次数;

步骤4:对步骤3得到的小尺度误差面形 $H(x,y)$ 进行二值化、开运算和闭运算操作,得到小尺度误差所在区域;

步骤5:对步骤4提取的区域分别进行区域内加工路径生成和区域间加工路径规划,整合得到最终加工路径;

步骤6:参考步骤4提取的区域大小,选择合适的研抛工具,在计算机上设置步骤5得到的加工路径,控制数控机床或机械臂使用研抛工具对镜面上小尺度误差进行局部研抛。

2. 根据权利要求1所述的一种镜面小尺度误差的数控加工方法,其特征在于,步骤1中,小波分解层数不是定值,结合残差矩阵的尺寸对分解层数初步设定,再根据得到的重构面形进行调整;选择作为重构系数的系数矩阵个数m不是定值,结合重构面形进行设置和修改。

3. 根据权利要求1所述的一种镜面小尺度误差的数控加工方法,其特征在于,步骤3中,阈值 δ 不是定值,根据每轮迭代提取正值部分的最大值的变化进行设定。

4. 根据权利要求1所述的一种镜面小尺度误差的数控加工方法,其特征在于,步骤4中,二值化处理的阈值以及开、闭运算操作的结构元大小根据小尺度误差区域进行设定,再根据提取结果进行调整。

5. 根据权利要求1所述的一种镜面小尺度误差的数控加工方法,其特征在于,步骤6中,完成小尺度误差针对性修正后的镜面,继续进行全口径的研磨抛光。

一种镜面小尺度误差的数控加工方法

技术领域

[0001] 本发明属于光学镜面加工领域,具体涉及一种镜面小尺度误差的数控加工方法。

背景技术

[0002] 高精度大口径光学镜面在若干前沿领域发挥着重要作用,是相关设备中加工周期最长、最具技术含量的核心器件之一,当前应用场合主要包括:(1)天文领域,上世纪末,世界上相继建成2台10m口径的凯克望远镜(Keck Telescope,美国),4架8.2m的甚大望远镜(VeryLargeTelescope:VLT)等,国际上在先进光学望远镜的帮助下取得了一批诺贝尔物理学奖级重大成果;(2)国防和空间领域,近年来对两类高难度镜面的需求激增,其一为高陡度非球面,巨大的非球面度对研抛效率提出很高要求;其二为长条形反射镜,相较于传统圆形镜面,其旋转非对称的特点给自动化加工带来很大困难。此外,二者往往都有很高的表面质量需求,进一步增加了加工难度。

[0003] 20世纪70年代,计算机控制光学表面成形技术(CCOS)被提出并逐渐发展起来。该技术根据定量的面形数据,用计算机控制一个小的抛光工具对光学元件进行研磨或抛光,使面形误差逐步收敛,最终达到精度要求。由于该技术具有确定性和稳定性,因此得到了广泛的应用。

[0004] 在应用CCOS技术进行全口径加工时,由于抛光工具尺寸比工件的尺寸小得多,以及加工路径的卷积效应,使得面形误差在收敛的同时,也会逐渐出现周期性小尺度误差,这种误差会引起光线散射,从而影响光学系统的成像对比度。

[0005] 小尺度误差通常表现为周期性的环带或区域性的碎片,若采用更小的工具直接进行全口径修正,则会降低加工效率。因此需要对局部小尺度误差进行有针对性地修正,以优化研抛效果,提高加工效率。

发明内容

[0006] 鉴于镜面加工过程中经常出现环状、碎片状的小尺度误差,因此,本发明旨在提出一种用于镜面小尺度误差的数控加工方法。此方法用于小尺度误差的提取和局部加工路径的确定,以实现针对性的修正,优化研抛效果,提高加工效率。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0008] 一种镜面小尺度误差的数控加工方法,加工中先提取镜面的小尺度误差并对小尺度误差所在区域进行单独修正,修正小尺度误差后的镜面再继续进行全口径研磨抛光;所述小尺度误差的提取和修正方法包括:

[0009] 步骤1:读取残差面形 $Z_1(x,y)$,对其进行n层小波分解,得到各层系数矩阵,选择尺寸最小的m个系数矩阵作为重构系数;

[0010] 步骤2:对步骤1得到的重构系数进行小波反变换,重构面形,提取其中的正值部分 $h_1(x,y)$,计算得到残差 $Z_2(x,y)$,公式如下:

[0011] $Z_2(x,y) = Z_1(x,y) - h_1(x,y)$;

[0012] 步骤3:对步骤2得到的残差 $Z_2(x, y)$ 重复步骤1、2,判断提取正值部分的最大值是否小于阈值 δ ,小于阈值 δ 则停止迭代,计算小尺度误差面形 $H(x, y)$,公式如下:

$$[0013] \quad H(x, y) = \sum_{i=1}^k h_i(x, y);$$

[0014] 其中,k为迭代次数;

[0015] 步骤4:对步骤3得到的小尺度误差面形 $H(x, y)$ 进行二值化、开运算和闭运算操作,得到小尺度误差所在区域;

[0016] 步骤5:对步骤4提取的区域分别进行区域内加工路径生成和区域间加工路径规划,整合得到最终加工路径;

[0017] 步骤6:参考步骤4提取的区域大小,选择合适的研抛工具,在计算机上设置步骤5得到的加工路径,控制数控机床或机械臂使用研抛工具对镜面上小尺度误差进行局部研抛。

[0018] 进一步地,步骤1中,小波分解层数不是定值,结合残差矩阵的尺寸对分解层数初步设定,再根据得到的重构面形进行调整;选择作为重构系数的系数矩阵个数 m 不是定值,结合重构面形进行设置和修改。

[0019] 进一步地,步骤3中,阈值 δ 不是定值,根据每轮迭代提取正值部分的最大值的变化进行设定。

[0020] 进一步地,步骤4中,二值化处理的阈值以及开、闭运算操作的结构元大小根据小尺度误差区域进行设定,再根据提取结果进行调整。

[0021] 进一步地,步骤6中,完成小尺度误差针对性修正后的镜面,可以继续全口径的研磨抛光。

[0022] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0023] 相比于目前主流的对镜面进行全口径研抛修正的数控小工具技术,本发明提出了一种基于小尺度误差区域提取的镜面研抛方法,对镜面加工中出现的小尺度误差进行针对性修正,无需对整个镜面进行研抛,优化了研抛效果,提高了加工效率。

附图说明

[0024] 图1是本发明的方法流程图。

[0025] 图2是残差面形图。

[0026] 图3是提取的小尺度误差面形图。

[0027] 图4是小尺度误差区域二值图。

[0028] 图5是路径规划图。

具体实施方式

[0029] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0030] 如图1所示,本发明是一种镜面小尺度误差的数控加工方法,加工中先提取镜面的小尺度误差并对小尺度误差所在区域进行单独修正,修正小尺度误差后的镜面再继续进行全口径研磨抛光;所述小尺度误差的提取和修正方法包括:

[0031] 步骤1:读取残差面形 $Z_1(x, y)$,对其进行 n 层小波分解,得到各层系数矩阵,选择尺寸最小的 m 个系数矩阵作为重构系数;

[0032] 其中,小波分解层数不是定值,结合残差矩阵的尺寸对分解层数进行初步设定,再根据得到的重构面形进行调整,一般设置为4~5层。选择作为重构系数的系数矩阵个数 m 不是定值,结合重构面形进行设置和修改,一般选择2个。

[0033] 步骤2:对步骤1得到的重构系数进行小波反变换,重构面形,提取其中的正值部分 $h_1(x,y)$,计算得到残差 $Z_2(x,y)$,公式如下:

$$[0034] \quad Z_2(x,y) = Z_1(x,y) - h_1(x,y);$$

[0035] 步骤3:对步骤2得到的残差 $Z_2(x,y)$ 重复步骤1、2,判断提取的正值部分的最大值是否小于阈值 δ ,小于阈值 δ 则停止迭代,计算小尺度误差面形 $H(x,y)$,公式如下:

$$[0036] \quad H(x,y) = \sum_{i=1}^k h_i(x,y);$$

[0037] 其中, k 为迭代次数。

[0038] 其中,阈值 δ 不是定值,根据每轮迭代提取正值部分的最大值的变化进行设定。

[0039] 步骤4:对步骤3得到的小尺度误差面形 $H(x,y)$ 进行二值化、开运算和闭运算操作,得到小尺度误差所在区域;

[0040] 其中,二值化处理的阈值以及开、闭运算操作的结构元大小根据小尺度误差区域进行设定,再根据提取结果进行调整。

[0041] 步骤5:对步骤4提取的区域分别进行区域内加工路径生成和区域间加工路径规划,整合得到最终加工路径;

[0042] 步骤6:参考步骤4提取的区域大小,选择合适的研抛工具,在计算机上设置步骤5得到的加工路径,控制数控机床或机械臂使用研抛工具对镜面上小尺度误差进行局部研抛。

[0043] 完成小尺度误差针对性修正后的镜面,可以继续全口径的研磨抛光。

[0044] 提取小尺度误差面形时,先读取原始残差面形 $Z_1(x,y)$,如图2所示。对其进行小波分解,该残差矩阵尺寸为 500×500 ,设定分解层数为4层,第3、4层系数矩阵尺寸最小,选择作为重构系数。对重构系数进行小波反变换,重构面形,提取其中的正值部分 $h_1(x,y)$,计算得到残差 $Z_2(x,y)$ 。设置阈值 δ 为0.01,重复小波分解、面形重构和正值提取,当提取正值部分最大值小于 δ 时,停止迭代,共迭代24次,计算得到小尺度误差面形 $H(x,y)$,如图3所示。

[0045] 提取小尺度误差区域时,首先对小尺度误差面形 $H(x,y)$ 进行二值化,结合小尺度误差分布设置二值化的阈值为0.65(归一化阈值)。接着进行开运算和闭运算操作,结构元选择圆形,半径为1。最终得到小尺度误差所在区域的二值图,如图4所示。

[0046] 对图4区域分别进行区域内加工路径生成和区域间加工路径规划,整合得到最终加工路径,如图5所示。

[0047] 综上所述,本发明的镜面小尺度误差数控加工方法,针对镜面精修阶段出现的小尺度误差,进行小波分解、面形重构、正值提取、迭代,实现小尺度误差面形的提取。面形提取后进行二值化和开、闭运算操作,实现小尺度误差区域的提取。依此选择研抛工具,生成加工路径,对小尺度误差进行研磨抛光。本发明实现对小尺度误差的针对性修正,优化了研抛效果,提升了镜面的加工效率。

[0048] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,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、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

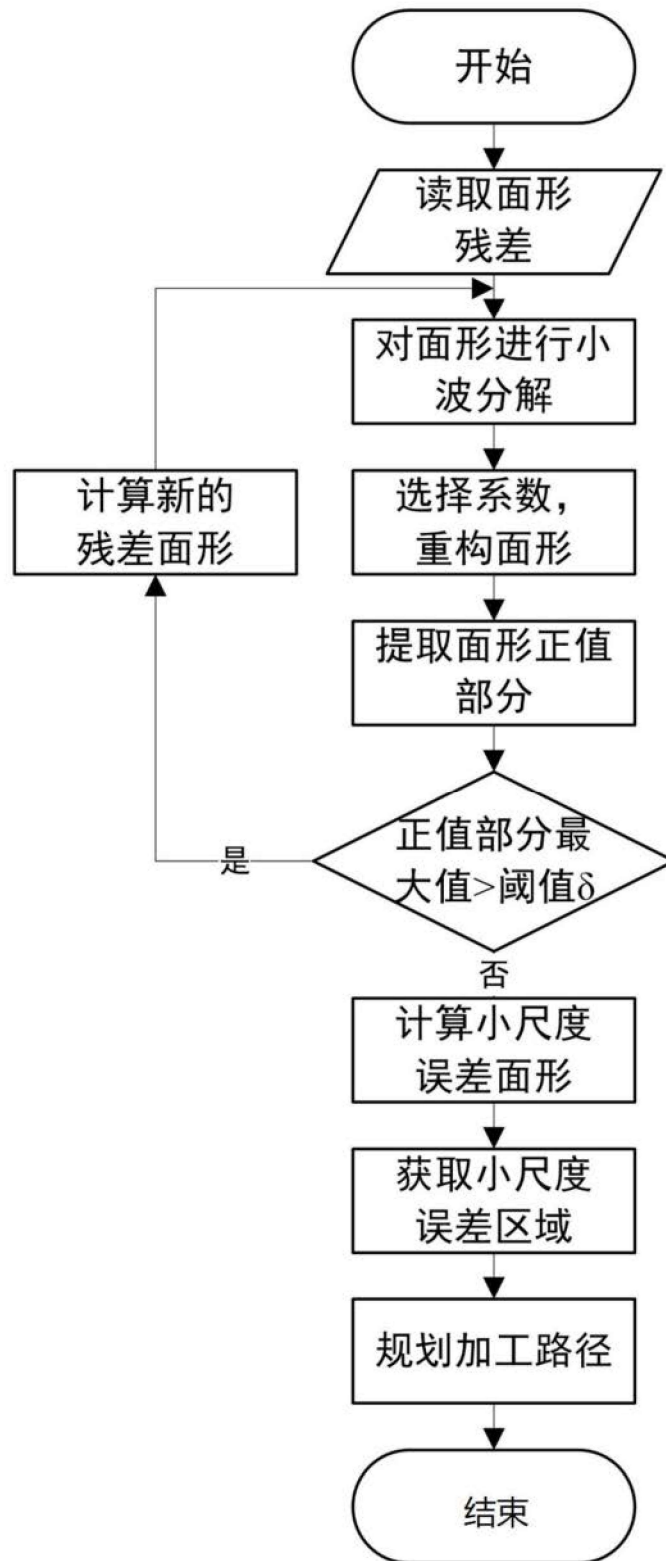


图1

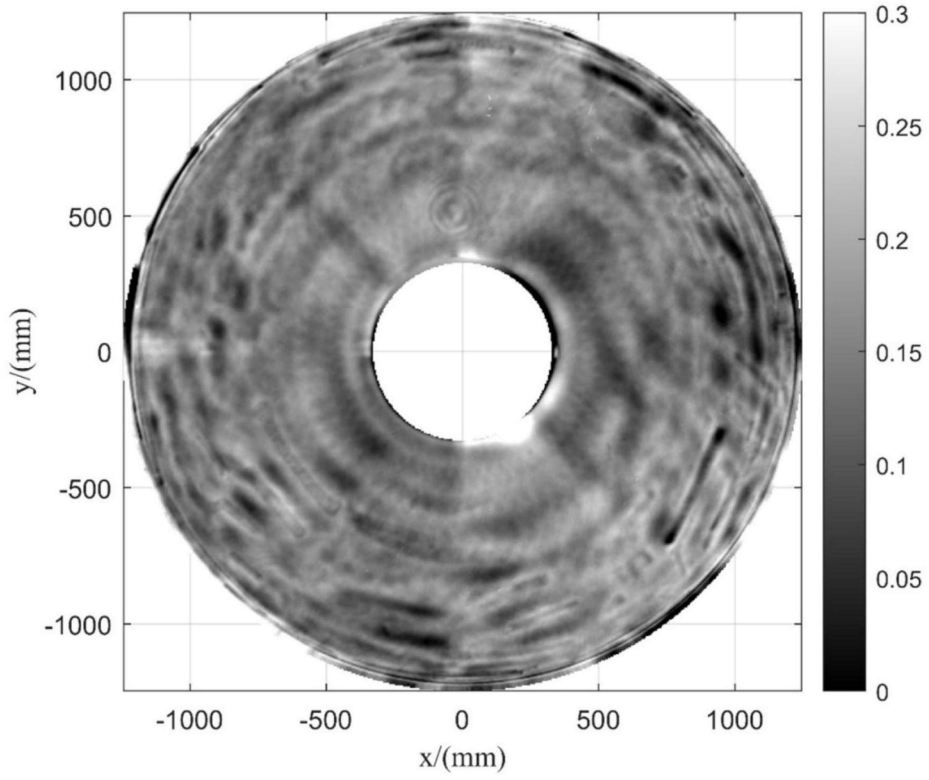


图2

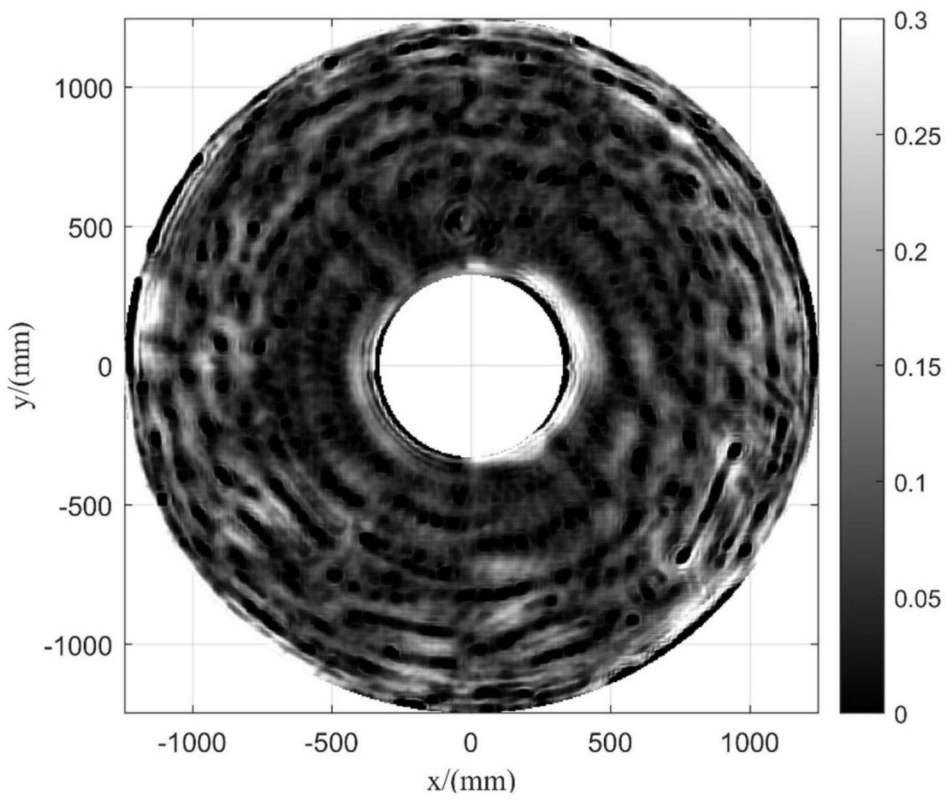


图3

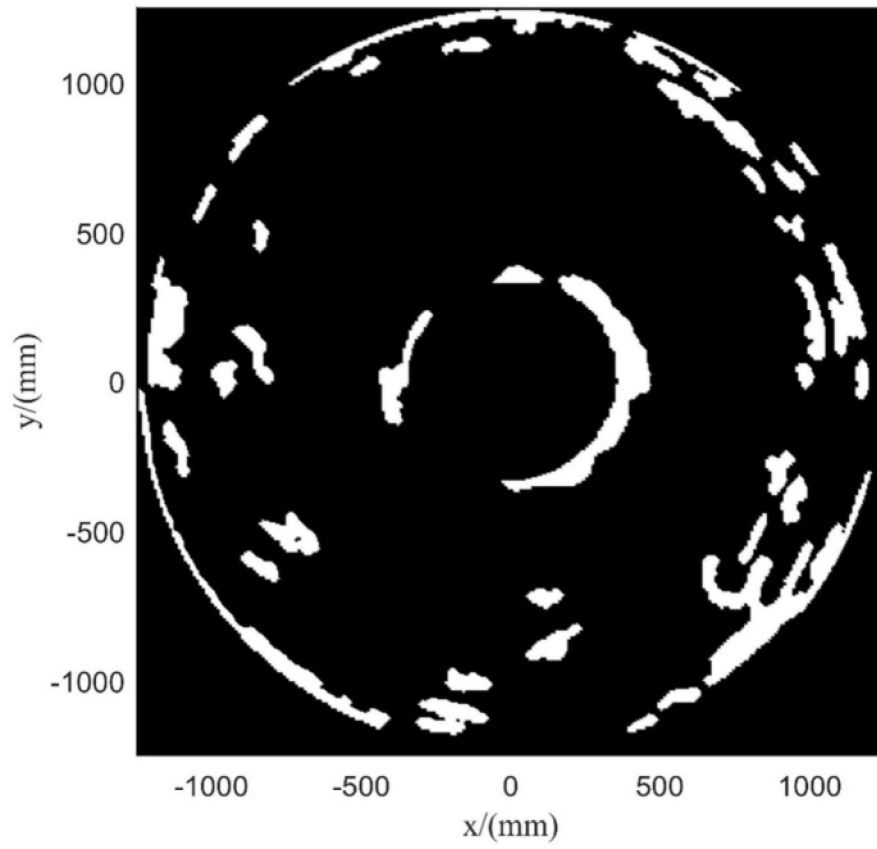


图4

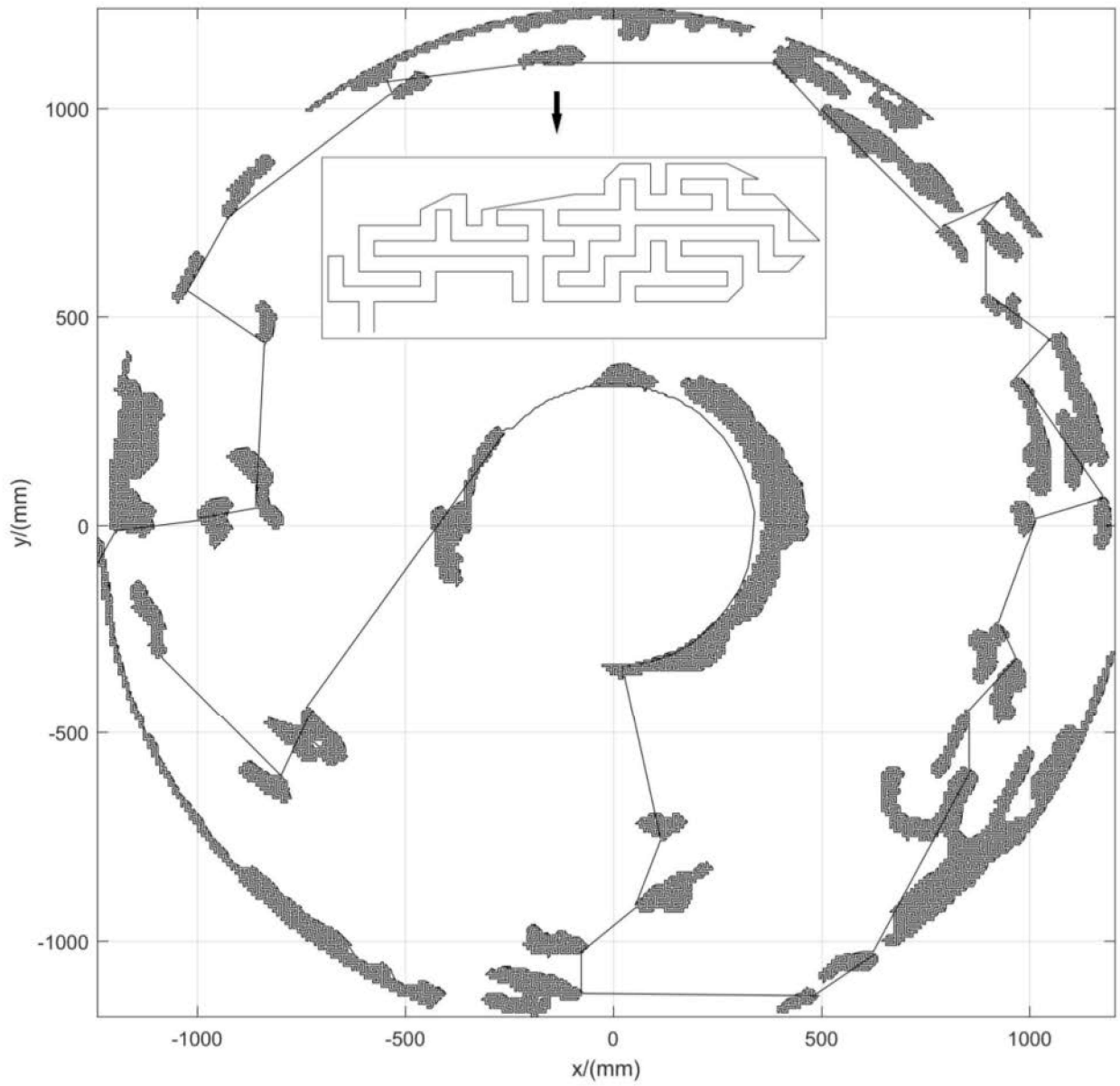


图5