(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2020 年 12 月 17 日 (17.12.2020)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2020/248345 A1

(51) 国际专利分类号:
G01N 21/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/099008

(22) 国际申请日: 2019 年 8 月 2 日 (02.08.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910516180.1 2019年6月14日 (14.06.2019) CN

(71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(72) 发明人: 杨甬英 (YANG, Yongying); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 楼伟民 (LOU, Weimin); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 王凡祎 (WANG, Fanyi); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 都宇滨 (DU, Yubin); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 郭攀 (GUO, Pan); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 陈世炜 (CHEN, Shiwei); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司 (HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.); 中国浙江省杭州西湖区申花路465号申瑞国际银座1幢801朱月芬, Zhejiang 310013 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,

(54) **Title:** REAL-TIME TRACING METHOD FOR DEFECT WIDTHS BASED ON DIVIDE AND CONQUER IDEA

(54) 发明名称: 一种基于分治思想的疵病宽度实时溯源方法

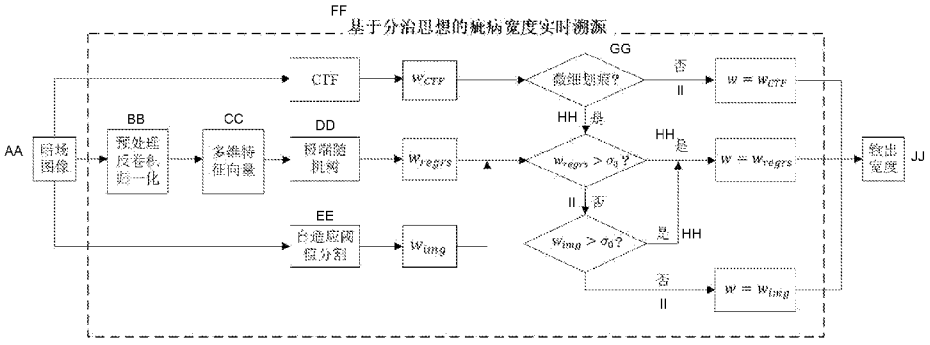


图 1

AA Dark field image
BB Preprocessing, deconvolution, and normalization
CC Multi-dimensional feature vector
DD Extremely randomized tree
EE Adaptive threshold segmentation
FF Real-time tracing of defect widths based on divide and conquer idea
GG Are there micro scratches?
HH Yes
II No
JJ Output widths

(57) **Abstract:** A real-time tracing method for defect widths based on the divide and conquer idea. That is, the defect widths greater than and close to the diffraction limit of a system are traced in real time separately using a calibrated transfer function, a multi-dimensional feature vector analysis technique based on a defect scattering dark field imaging electromagnetic field simulation database, and an adaptive threshold segmentation algorithm, wherein in the multi-dimensional feature vector analysis technique, an extremely randomized tree regression model is trained on the basis of the multi-dimensional feature vector in a defect heat dissipation dark field imaging electromagnetic field simulation database, and the multi-dimensional feature vector consists of the curve Gaussian pyramid features of data. The problems of difficulty to accurately measure the defect widths in real time in defect detection, and difficulty to accurately identify the defect widths close to the diffraction limit of the system in a conventional image processing algorithm are solved. The method is easy to operate and achieves high detection efficiency, and the mean square deviation of width tracing is greater than 0.3

WO 2020/248345 A1

[见续页]

CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

μm; in addition, the portability is excellent, transplantation to other systems can be easily performed only when it is required to know system parameters.

(57) 摘要：一种基于分治思想的疵病宽度实时溯源方法，即分别运用标定传递函数、基于疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库的多维特征向量分析技术、以及自适应阈值分割算法对大于及接近系统衍射极限的疵病宽度进行实时溯源，其中多维特征向量分析技术基于疵病散热暗场成像电磁场仿真数据库中的多维特征向量训练极端随机树回归模型，多维特征向量由数据的曲线高斯金字塔特征构成。解决了疵病检测中疵病宽度难以准确实时测量，以及常规图像处理算法难以准确识别接近系统衍射极限的疵病宽度的问题。易于操作，具有较高的检测效率，宽度溯源的均方偏差优于0.3μm，而且可移植性优异，只需知道系统参数即可方便移植至其它系统中。

一种基于分治思想的疵病宽度实时溯源方法

技术领域

本发明属于机器视觉检测技术领域，具体涉及一种基于分治思想的疵病宽度实时溯源方法。

背景技术

随着工业自动化制造和国际上高精尖技术研究的推进，对精密元件表面质量提出了越来越严格的要求。尤其是在高能激光系统领域，光滑玻璃元件表面疵病的存在可能导致元件炸裂、导致系统无法运行。其中，尤其是大口径元件的表面疵病，由于疵病尺寸相对于元件口径较小且分布随机，是表面质量控制的难点，对疵病的一项十分重要的评价指标就是疵病宽度。为克服传统人工目视检测的效率低、主观性强、易产生歧义等问题，结合机器视觉检测技术和模式识别技术，利用散射暗场成像技术获取大口径元件表面的微米量级宽度的疵病数字图像，针对常规图像处理算法难以对疵病宽度进行实时准确测量的问题，运用标定传递函数进行疵病宽度的实时溯源；针对疵病宽度接近系统衍射极限时标定传递函数难以对疵病宽度进行准确溯源的问题，以疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库中的多维特征向量作为数据基础，训练极端随机树回归模型对接近衍射极限的疵病宽度进行溯源；对于宽度更小的疵病则使用自适应阈值分割算法进行溯源。结合以上三种情况，提出一种具有优异可移植性的基于分治思想的疵病宽度实时溯源方法来对疵病宽度进行客观检测和评价。

发明内容

本发明的目的是克服现有技术的不足，提供一种应用于显微散射暗场成像检测环境下的疵病宽度实时溯源方法，提高疵病宽度的识别精度。

本发明解决其技术问题所采用的技术方案包括如下步骤：

步骤 1. 根据标准疵病数字化标定技术的标定传递函数来估计疵病宽度，记 CTF 宽度为w_{CTF}。若w_{CTF}大于 5μm，则此时疵病宽度符合几何成像规律，位于标定传递函数的线性段，使用w_{CTF}作为疵病实际宽度的估计值较准确；若w_{CTF}小于等于 5μm，则此时疵病宽度较小，成像时会出现衍射增宽现象，不再符合几何成像规律，使用w_{CTF}作为疵病实际宽度的估计值误差较大，此时跳转到步骤 2。

步骤2. 根据基于疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库的多维特征向量分析技术，估计疵病宽度，记为回归宽度w_{regrs}。若回归宽度w_{regrs}大于系统衍射极限σ_0，则使用疵病回归宽度w_{regrs}作为疵病实际宽度的估计值较准确；若回归宽度w_{regrs}小于等于系统衍射极限σ_0，则疵病回归宽度w_{regrs}不能分辨这一宽度范围的不同宽度值，需要使用步骤3进一步识别。

步骤3. 根据自适应阈值分割方法处理暗场图像，提取疵病宽度，记为成像宽度w_{img}。若成像宽度w_{img}大于系统衍射极限σ_0，则视为奇异点，仍使用回归宽度w_{regrs}作为实际宽度的估计值；若成像宽度w_{img}小于等于系统衍射极限σ_0，则使用疵病成像宽度w_{img}作为实际宽度的估计值。

步骤1所述的标准疵病数字化标定技术，通过建立标定传递函数得到疵病宽度w_{CTF}。标定传递函数描述疵病的实际宽度与疵病成像后的像素宽度之间的关系，获取过程具体如下：

1-1. 根据二元光学原理，在熔石英玻璃基板上，采用电子束曝光与离子束刻蚀技术，刻蚀标准疵病，得到标准板；

1-2. 使用扫描电镜（SEM）测量标准板上标准疵病的实际宽度；

1-3. 使用暗场成像系统，采集标准板上疵病的暗场灰度图像；

1-4. 对暗场灰度图像进行阈值分割、形态学操作等一系列处理，得到疵病的像素宽度；

1-5. 以疵病暗场图像的像素宽度为自变量，以疵病SEM测量的实际宽度为因变量，使用最小二乘法对自变量和因变量拟合，得到物像关联函数即为标定传递函数。

由几何光学的物像关系可知，疵病像素宽度与实际宽度呈线性关系，因此通过标定传递函数可以对绝大多数疵病实现宽度溯源。但是随着疵病宽度变小，逼近系统衍射极限，此时几何光学成像理论不再适用，微细疵病将会引起衍射效应，像素宽度会出现增宽现象。这将导致利用标定传递函数进行宽度溯源时，同一像素宽度对应不止一个实际宽度，从而造成混淆而无法准确得到实际宽度。实验发现，疵病宽度小于等于5μm时，标定传递函数不再满足线性关系，宽度溯源出现混淆，对这一范围的宽度溯源需要使用步骤2与步骤3所述方法。

步骤2所述基于疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库的多维特征向量分析

技术，得到疵病回归宽度w_{regrs}，具体如下：

2-1. 建立疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库，得到多个疵病的散射光强分布的仿真数据；

2-2. 使用暗场成像系统采集待测疵病的暗场图像，得到沿宽度方向的灰度分布，然后经过反卷积，得到反卷积后理想成像系统下的灰度分布的实验数据；

2-3. 对步骤 2-1 得到的仿真数据与步骤 2-2 得到的实验数据，进行坐标系统一与 Min-Max 归一化，得到归一化后的散射光强分布仿真数据与归一化后的灰度分布实验数据，具体如下：

2-3-1. 仿真数据以物理尺寸 x 为横坐标，实验数据以像素 p 为横坐标，两者通过式(1)和式(2)将坐标系统一为以物理尺寸 x 为横坐标，

$$p = \frac{Mx}{s_p} \tag{1}$$

$$f_{res}(p) \xrightarrow{p=Mx/s_p} f_{res}(x) \tag{2}$$

其中 CCD 的像元大小为s_p，成像系统的放大倍数为 M；

2-3-2. 对仿真数据与实验数据进行 Min-Max 归一化，如式(3)所示，

$$\begin{cases} I_{norm}(x) = \dfrac{I_{sct}(x) - \min\{I_{sct}(x)\}}{\max\{I_{sct}(x)\} - \min\{I_{sct}(x)\}} \\ f_{norm}(x) = \dfrac{f_{res}(x) - \min\{f_{res}(x)\}}{\max\{f_{res}(x)\} - \min\{f_{res}(x)\}} \end{cases} \tag{3}$$

2-4. 分别提取归一化后的散射光强分布仿真数据的多维特征向量与归一化后的灰度分布实验数据的多维特征向量；

2-5. 以步骤 2-4 中归一化后仿真数据的多维特征向量为样本集，采用机器学习理论中有监督学习的极端随机树回归算法，训练得到疵病宽度的回归模型；

2-6. 以步骤 2-4 中待测疵病归一化后灰度分布的实验数据的多维特征向量为测试集，输入步骤 2-5 中得到的回归模型估计疵病宽度，得到疵病的回归宽度w_{regrs}。

步骤 2-1 所述的建立疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库，得到多个疵病的散射光强分布的仿真数据，具体如下：

2-1-1. 利用 FDTD 仿真软件建立疵病显微散射暗场成像的电磁场仿真模型；

2-1-2. 建立常用疵病的仿真模型；

2-1-3. 利用 FDTD 仿真软件进行电磁场数值计算，得到疵病散射光强分布；

2-1-4. 进行近场-远场投射，获得疵病在理想光学成像系统远场像面上光强分布，记为$I_{sct}(x)$；

2-1-5. 改变疵病的形状、尺寸，不断重复步骤 2-1-3 至 2-1-4，获得不同疵病的形状、尺寸对应的疵病散射光强分布，从而获得一系列仿真数据，所述的仿真数据包括疵病形状、疵病宽度、疵病散射光强分布$I_{sct}(x)$，最终构成疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库。

步骤 2-2 所述的采集待测疵病暗场图像，得到沿宽度方向的灰度分布，然后经过反卷积，得到反卷积后理想成像系统下的灰度分布的实验数据，具体如下：

2-2-1. 使用暗场成像系统采集待测疵病的暗场图像，提取疵病暗场图像的沿宽度方向的灰度分布$f_{exp}(p)$；

2-2-2. 使用棋盘格图测量暗场成像系统的点扩散函数（PSF），由于实际光学系统的 PSF 趋于高斯函数形式，所以在测量过程中使用高斯函数拟合来得到 PSF 的表达式；

2-2-3. 以步骤 2-2-2 测量得到的 PSF 为初始值，对步骤 2-2-2 得到的灰度分布$f_{exp}(p)$进行反卷积，得到反卷积后理想成像系统下的灰度分布$f_{res}(p)$。

步骤 2-2-1 所述的提取疵病暗场图像的沿宽度方向的灰度分布，具体如下：

1）对原始暗场图像进行 Otsu 阈值分割，选取长条形结构元进行开操作连接断裂、孔洞的线特征同时去除噪点，之后提取长直线特征即为疵病特征；

2）使用最小二乘法，对组成该线性特征的众多像素点的像素坐标(u_i,v_i)进行线性拟合，得到直线表达式 $av+b=u$；其中，a、b 均为参数；

3）通过参数 a 可得疵病与 v 轴正向夹角$\gamma=\arctan(a)$，将原始暗场图像绕左上角旋转$-\gamma$即可将疵病旋转为竖直方向；

4）计算原始暗场图像的灰度直方图，低灰度下的峰值为图像背景的灰度水平，用图像背景灰度填充旋转后出现的空白区域，获得填充后的图像，以保持图像的完整性；

5）取填充后图像的列平均值为疵病沿宽度方向的灰度分布$f_0(p)$，呈现单峰型或双峰型。取单峰型分布的峰值横坐标p_0所在的竖直直线为对称轴；取双峰型分布的双峰之间凹陷处的极小值点p_0所在的竖直直线为对称轴；假定数据宽度为 2N+1，截取$p_0-N\sim p_0+N$ 之间的数据点为灰度分布$f_N(p)$；

6）将灰度分布$f_N(p)$轴对称后平均，变为轴对称分布$f_{sym}(p)$，即

$$f_{sym}(p)=\frac{1}{2}[f_N(p)+f_N(2p_0-p)],p\epsilon[p_0-N,p_0+N] \quad (4)$$

并将坐标轴平移至以对称轴横坐标为坐标原点，得到疵病暗场图像沿宽度方向的灰度分布$f_{exp}(p)$，即，

$$f_{exp}(p)=f_{sym}(p-p_0),p\epsilon[-N,N] \quad (5)$$

步骤 2-4 所述的归一化后散射光强分布仿真数据的多维特征向量和归一化后灰度分布实验数据的多维特征向量，均由数据的曲线高斯金字塔特征构成，其提取过程具体如下：

2-4-1. 记某一分布数据为 $f(n)$，n 表示离散的数据点。$f(n)$放在金字塔的底层 J 层，记为$f_J(n)$；

2-4-2. 记金字塔第 j 层曲线分布为$f_j(n)$，对$f_j(n)$进行低通高斯滤波，得到$f_j^{'}(n)$；

2-4-3. 对低通高斯滤波后的曲线分布$f_j^{'}(n)$以 2 为因数下采样得到金字塔第 j-1 层，可以看成是每间隔 1 个数据点丢弃 1 个数据点，即

$$f_{j-1}(n)=f_2(n)=f_j(2n) \quad (6)$$

2-4-4. 迭代步骤 2-4-2、2-4-3 P 次，其中 $j=J,J-1,...,J-P+1$，得到 $P+1$ 层高斯金字塔；

2-4-5. 将 $P+1$ 层高斯金字塔数据串联起来，即为数据的多维特征向量。

若回归宽度w_{regrs}小于等于系统衍射极限σ_0，此时疵病暗场图像退化严重，反卷积后效果不佳，该宽度范围内的灰度分布归一化后十分接近，回归模型无法分辨，对这一范围的宽度溯源需要使用步骤 3 所述方法。

步骤 3 所述的根据自适应阈值分割方法处理暗场图像，得到疵病成像宽度 w_{img}，具体如下：

3-1. 使用 Otsu 算法对疵病暗场图像进行阈值分割；

3-2. 提取疵病特征的面积 A 与长度 l，得到疵病的像素宽度$w_p=A/l$；

3-3. 利用 CCD 的像元大小s_p，成像系统的放大倍数 M，得到简单成像宽度 $w_{img}^{'}$，

$$w_{img}^{'}=\frac{s_p}{M}w_p \quad (7)$$

3-4. 线性拟合位于衍射极限σ_0以下的疵病简单成像宽度w'_{img}与实际宽度，得到二者之间的关联函数，根据此函数可以修正疵病成像宽度的偏差，据此得到成像宽度w_{img}。

本发明有益效果如下：

本发明提出的一种基于分治思想的疵病宽度实时溯源方法，解决了疵病检测过程中宽度难以实时测量以及接近系统衍射极限的疵病宽度难以检测的问题。该方法综合了标定传递函数、基于疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库的多维特征向量的极端随机树回归模型、自适应阈值分割算法来对疵病宽度进行实时溯源，宽度识别的均方偏差优于 0.3μm。该方法不仅可以迁移到其它系统，所构建的疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库，还可以方便地与今后的物联网、大数据分析相结合，有利于推动疵病检测技术向智能化、服务化方向发展。

附图说明

图 1 为本发明方法的总流程图；

图 2(a)为 16 倍放大倍率下的标定传递函数；

图 2(b)为 16 倍放大倍率下的标定误差曲线；

图 3 为基于疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库的多维特征向量分析技术流程图；

图 4 为曲线高斯金字塔示意图；

图 5(a)为 9.7 倍放大倍率下溯源宽度与实际宽度对比图；

图 5(b)为 9.7 倍放大倍率下溯源宽度与实际宽度的差值示意图；

图 6(a)为将本溯源方法应用于 Olympus 显微镜暗场成像系统采集的疵病暗场图像时所得溯源宽度与实际宽度对比图；

图 6(b)为将本溯源方法应用于 Olympus 显微镜暗场成像系统采集的疵病暗场图像时所得溯源宽度相对实际宽度的差值示意图；

具体实施方式

下面结合附图与具体实施例对本发明作进一步详细描述。

参见附图 1，一种基于分治思想的疵病宽度实时溯源方法，具体包括如下步

骤：

步骤 1、根据标准疵病数字化标定技术的标定传递函数，估计疵病宽度，若疵病宽度小于 5μm，则执行步骤 2；

1-1. 根据二元光学原理，在熔石英玻璃基板上，采用电子束曝光与离子束刻蚀技术，刻蚀标准疵病，得到标准板；

1-2. 使用扫描电镜（SEM）测量标准板上标准疵病的实际宽度；

1-3. 使用暗场成像系统，采集标准板上疵病的暗场灰度图像；

1-4. 对暗场灰度图像进行阈值分割、形态学操作等一系列处理，得到疵病的像素宽度；

1-5. 以疵病暗场图像的像素宽度为自变量，以疵病 SEM 测量的实际宽度为因变量，使用最小二乘法对自变量和因变量拟合，得到物像关联函数即为标定传递函数。

如图 2 所示为 16 倍放大倍率下标定的标定传递函数，能够看出标定传递函数在 5μm 以上的宽度范围具有很好的线性规律，但在 5μm 以下的宽度范围呈现非线性规律，同一像素宽度对应多个实际宽度无法分辨。

步骤 2、根据基于疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库的多维特征向量分析技术，估计疵病宽度，具体流程如图 3 所示。若疵病宽度小于系统的衍射极限，则执行步骤 3；

2-1. 建立疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库，得到多个疵病的散射光强分布的仿真数据；

2-2. 使用暗场成像系统采集待测疵病的暗场图像，得到沿宽度方向的灰度分布，然后经过反卷积，得到反卷积后理想成像系统下的灰度分布的实验数据；

2-3. 对步骤 2-1 得到的仿真数据与步骤 2-2 得到的实验数据，进行坐标系统一与 Min-Max 归一化，得到归一化后的散射光强分布仿真数据与归一化后的灰度分布实验数据，具体如下：

2-3-1. 仿真数据以物理尺寸 x 为横坐标，实验数据以像素 p 为横坐标，两者通过式(1)和式(2)将坐标系统一为以物理尺寸 x 为横坐标，

$$p = \frac{Mx}{s_p} \tag{1}$$

$$f_{res}(p) \xrightarrow{p=Mx/s_p} f_{res}(x) \tag{2}$$

其中 CCD 的像元大小为s_p，成像系统的放大倍数为 M；

2-3-2. 对仿真数据与实验数据进行 Min-Max 归一化，如式(3)所示，

$$\begin{cases} I_{norm}(x) = \frac{I_{sct}(x) - \min\{I_{sct}(x)\}}{\max\{I_{sct}(x)\} - \min\{I_{sct}(x)\}} \\ f_{norm}(x) = \frac{f_{res}(x) - \min\{f_{res}(x)\}}{\max\{f_{res}(x)\} - \min\{f_{res}(x)\}} \end{cases} \tag{3}$$

2-4. 分别提取归一化后的散射光强分布仿真数据与归一化后的灰度分布实验数据的多维特征向量，两者均由数据的曲线高斯金字塔特征构成，如图 4 所示，曲线金字塔是一系列以金字塔形状排列，来源于同一曲线但分辨率逐渐降低的曲线数据集合，可以实现对数据的多尺度表征。金字塔越往上层，曲线的分辨率和尺寸逐层降低，上层曲线的采样点数是下层曲线的一半。曲线高斯金字塔的提取过程具体如下：

2-4-1. 记某一分布数据为 $f(n)$，n 表示离散的数据点。$f(n)$放在金字塔的底层 J 层，记为$f_J(n)$；

2-4-2. 记金字塔第 j 层曲线分布为$f_j(n)$，对$f_j(n)$进行低通高斯滤波，得到$f_j^{'}(n)$；

2-4-3. 对高斯滤波后的曲线分布$f_j^{'}(n)$以 2 为因数下采样得到金字塔第 j-1 层，可以看成是每间隔 1 个数据点丢弃 1 个数据点，即

$$f_{j-1}(n) = f_2(n) = f_j(2n) \tag{4}$$

2-4-4. 迭代步骤 2-4-2、2-4-3P 次，其中 $j = J, J-1, \ldots, J-P+1$，得到 $P+1$ 层高斯金字塔；

2-4-5. 将 $P+1$ 层高斯金字塔数据串联起来，即为数据的多维特征向量。

2-5. 以步骤 2-4 中归一化后仿真数据的多维特征向量为样本集，采用机器学习理论中有监督学习的极端随机树回归算法，训练得到疵病宽度的回归模型；

2-6. 以步骤 2-4 中待测疵病归一化后灰度分布的实验数据的多维特征向量为测试集，输入步骤 2-5 中得到的回归模型估计疵病宽度，得到疵病的回归宽度 w_{regrs}。

步骤 2-1 所述的建立疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库，得到多个疵病的散射光强分布的仿真数据，具体如下：

2-1-1. 利用 FDTD 仿真软件建立疵病显微散射暗场成像的电磁场仿真模型；

2-1-2. 建立常用疵病的仿真模型；

2-1-3. 利用 FDTD 仿真软件进行电磁场数值计算，得到疵病散射光强分布；

2-1-4. 进行近场-远场投射，获得疵病在理想光学成像系统远场像面上光强分布，记为$I_{sct}(x)$；

2-1-5. 改变疵病的形状、尺寸，不断重复步骤 2-1-3 至 2-1-4，获得不同疵病的形状、尺寸对应的疵病散射光强分布，从而获得一系列仿真数据，所述的仿真数据包括疵病形状、疵病宽度、疵病散射光强分布$I_{sct}(x)$，最终构成疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库。

步骤 2-2 所述的采集待测疵病暗场图像，得到沿宽度方向的灰度分布，然后经过反卷积，得到反卷积后理想成像系统下的灰度分布的实验数据，具体如下：

2-2-1. 使用暗场成像系统采集待测疵病的暗场图像，提取疵病暗场图像的沿宽度方向的灰度分布$f_{exp}(p)$；

2-2-2. 使用棋盘格图测量暗场成像系统的点扩散函数（PSF），由于实际光学系统的 PSF 趋于高斯函数形式，所以在测量过程中使用高斯函数拟合来得到 PSF 的表达式；

2-2-3. 以步骤 2-2-2 测量得到的 PSF 为初始值，对步骤 2-2-2 得到的灰度分布$f_{exp}(p)$进行反卷积，得到反卷积后理想成像系统下的灰度分布$f_{res}(p)$。

步骤 2-2-1 所述的提取疵病暗场图像的沿宽度方向的灰度分布，具体如下：

1）对原始暗场图像进行 Otsu 阈值分割，选取长条形结构元进行开操作连接断裂、孔洞的线特征同时去除噪点，之后提取长直线特征即为疵病特征；

2）使用最小二乘法，对组成该线性特征的众多像素点的像素坐标(u_i,v_i)进行线性拟合，得到直线表达式 $av+b=u$；其中，a、b 均为参数；

3）通过参数 a 可得疵病与 v 轴正向夹角$\gamma=\arctan(a)$，将原始暗场图像绕左上角旋转$-\gamma$即可将疵病旋转为竖直方向；

4）计算原始暗场图像的灰度直方图，低灰度下的峰值为图像背景的灰度水平，用图像背景灰度填充旋转后出现的空白区域，获得填充后的图像，以保持图像的完整性；

5）取填充后图像的列平均值为疵病沿宽度方向的灰度分布$f_0(p)$，呈现单峰

型或双峰型。取单峰型分布的峰值横坐标p_0所在的竖直直线为对称轴；取双峰型分布的双峰之间凹陷处的极小值点p_0所在的竖直直线为对称轴；假定数据宽度为 2*N*+1，截取$p_0 - N \sim p_0 + N$ 之间的数据点为灰度分布$f_N(p)$；

6）将灰度分布$f_N(p)$轴对称后平均，变为轴对称分布$f_{sym}(p)$，即

$$f_{sym}(p) = \frac{1}{2}[f_N(p) + f_N(2p_0 - p)], p\epsilon[p_0 - N, p_0 + N] \quad (5)$$

并将坐标轴平移至以对称轴横坐标为坐标原点，得到疵病暗场图像沿宽度方向的灰度分布$f_{exp}(p)$，即，

$$f_{exp}(p) = f_{sym}(p - p_0), p\epsilon[-N, N] \quad (6)$$

若回归宽度w_{regrs}小于等于系统衍射极限σ_0，此时疵病暗场图像退化严重，反卷积后效果不佳，该宽度范围内的灰度分布归一化后十分接近，回归模型无法分辨，对这一范围的宽度溯源需要使用步骤 3 所述方法。

步骤 3、根据自适应阈值分割方法处理暗场图像，得到疵病成像宽度w_{img}，具体如下：

3-1. 使用 Otsu 算法对疵病暗场图像进行阈值分割；

3-2. 提取疵病特征的面积 *A* 与长度 *l*，得到疵病的像素宽度$w_p = A/l$；

3-3. 利用 CCD 的像元大小s_p，成像系统的放大倍数 *M*，得到简单成像宽度$w_{img}^{'}$，

$$w_{img}^{'} = \frac{s_p}{M} w_p \quad (7)$$

3-4. 线性拟合位于衍射极限σ_0以下的疵病简单成像宽度$w_{img}^{'}$与疵病实际宽度，得到二者之间的关联函数，根据此函数可以修正疵病成像宽度的偏差，据此得到成像宽度w_{img}。

实施例 1：

本发明能够对接近系统衍射极限的疵病进行有效溯源。结合回归宽度w_{regrs}和成像宽度w_{img}，以系统的衍射极限为界，暗场成像系统采用白光照明，中心波长$\lambda = 550nm$，高倍（9.7 倍）检测时 $NA = 0.15$，可得此时系统的衍射极限：$\sigma_0 = \frac{0.5\lambda}{NA} \approx 1.83\mu m$。使用本溯源方法对深度分别为 0.028、0.053、0.128、0.149、0.205、0.257、0.503、1.155μm 的 8 块标准板上理论宽度分别为 0.5、1、2、3、4、5μm 的 6 条疵病进行溯源，可以得到 6×8=48 条疵病宽度的溯源结果。图 5 为基于分

治思想的疵病宽度实时溯源方法的结果，图 5(a)中横坐标为样本编号，离散数据点表示实际宽度，实线表示溯源宽度，图 5(b)表示溯源宽度对实际宽度的估计误差，宽度的溯源误差在±0.8μm 之间。

实施例 2：

本发明能够对不同暗场系统下的疵病进行有效溯源，只要获取相关系统参数进行替换即可。需要获取和计算的系统参数包括：

1）获取放大倍率和 CCD 像元大小。在所有需要成像坐标系与像素坐标系转换的地方都会用到系统放大倍率与 CCD 像元大小，在转换过程中都需要替换；

2）获取数值孔径并计算衍射极限。不同检测系统，具有不同的数值孔径 *NA*，计算不同的衍射极限σ_0，在宽度溯源时加以替换：

$$\sigma_0 = \frac{0.5\lambda}{NA} \tag{8}$$

其中λ为相应暗场检测系统光源的波长；

3）计算点扩散函数。不同检测系统的 PSF 不同，重新用棋盘格图标定，不符合快速检测需求。由于反卷积采用的算法不必以先验 PSF 知识为基础，仅需提供 PSF 的初始估计，其它暗场系统的 PSF 计算方法如式(9)所示：

$$h'(p) = \begin{cases} Kexp(-\frac{p^2}{2\sigma'^2}), p\epsilon D \\ 0, others \end{cases} \tag{9}$$

其中$\sigma' = \frac{\sigma M}{M'}$，σ为原 PSF 的标准差，*M* 为原系统的放大倍率，M'为其它暗场系统的放大倍率，*K* 为常数。

在 OlympusBX51M 金相显微镜的暗场成像模式中，采用 10 倍物镜，$NA^{Olym} = 0.3$，CCD 像元大小$s_p^{Olym} = 3.45\mu m$，CCD 前有 0.63 倍成像镜。对溯源方法的放大倍数、衍射极限、点扩散函数进行如下替换：

1）放大倍率：

$$M^{Olym} = 10 \times 0.63 = 6.3 \tag{10}$$

2）衍射极限：

$$\sigma_0^{Olym} = \frac{0.5\lambda}{NA^{Olym}} \approx 0.9\mu m \tag{11}$$

3）点扩散函数：

$$h^{Olym}(p) = 10.71\, exp\left[-\left(\frac{p}{5.503\times 9.7/6.3}\right)^2\right] = 10.71\, exp\left[-\left(\frac{p}{8.525}\right)^2\right] \tag{12}$$

采集深度为0.128、0.149、0.205、0.257、0.503μm标准板上宽度为0.5、1、2、3、4、5μm的疵病的暗场图像，使用经过参数替换后的模型对其进行宽度识别。图6为基于分治思想的疵病宽度实时溯源方法的结果，图6(a)中横坐标为样本编号，离散数据点表示实际宽度，实线表示溯源宽度，图6(b)表示溯源宽度对实际宽度的估计误差，宽度的溯源误差在±0.65μm之间。

1. 一种基于分治思想的疵病宽度实时溯源方法，其特征在于包括如下步骤：

步骤 1. 根据标准疵病数字化标定技术的标定传递函数来估计疵病宽度，记估计的疵病宽度为w_{CTF}；若w_{CTF}大于 5μm，则此时疵病宽度符合几何成像规律，位于标定传递函数的线性段，使用w_{CTF}作为疵病实际宽度的估计值较准确；若w_{CTF}小于等于 5μm，则此时疵病宽度较小，成像时会出现衍射增宽现象，不再符合几何成像规律，使用w_{CTF}作为疵病实际宽度的估计值误差较大，此时跳转到步骤 2；

步骤 2. 根据基于疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库的多维特征向量分析技术，估计疵病宽度，记为回归宽度w_{regrs}；若回归宽度w_{regrs}大于系统衍射极限σ_0，则使用疵病回归宽度w_{regrs}作为疵病实际宽度的估计值较准确；若回归宽度w_{regrs}小于等于系统衍射极限σ_0，则疵病回归宽度w_{regrs}不能分辨这一宽度范围的不同宽度值，需要使用步骤 3 进一步识别；

步骤 3. 根据自适应阈值分割方法处理暗场图像，提取疵病宽度，记为成像宽度w_{img}；若成像宽度w_{img}大于系统衍射极限σ_0，则视为奇异点，仍使用回归宽度w_{regrs}作为实际宽度的估计值；若成像宽度w_{img}小于等于系统衍射极限σ_0，则使用疵病成像宽度w_{img}作为实际宽度的估计值。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于分治思想的疵病宽度实时溯源方法，其特征在于步骤 2 所述的基于疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库的多维特征向量分析技术，具体如下：

2-1. 建立疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库，得到远场 CCD 像面上多个疵病的散射光强分布的电磁场仿真数据；

2-2. 采集待测疵病暗场图像，得到沿宽度方向的灰度分布，然后经过反卷积，得到理想成像系统下的灰度分布的实验数据；

2-3. 对步骤 2-1 得到的仿真数据与步骤 2-2 得到的实验数据，进行坐标系统一与 Min-Max 归一化，得到归一化后的散射光强分布仿真数据与归一化后的灰度分布实验数据；

2-4. 分别提取归一化后的散射光强分布仿真数据的多维特征向量与归一化后的灰度分布实验数据的多维特征向量；

2-5. 以步骤 2-4 中归一化后仿真数据的多维特征向量为样本集，采用机器学

习理论中有监督学习的极端随机树回归算法，训练得到疵病宽度的回归模型；

2-6. 以步骤 2-4 中待测疵病归一化后灰度分布的实验数据的多维特征向量为测试集，输入步骤 2-5 中得到的回归模型所溯源出的疵病宽度，得到疵病的回归宽度w_{regrs}。

3. 根据权利要求 2 所述的基于疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库的多维特征向量分析技术，其特征在于步骤 2-2 所述的反卷积后理想成像系统下灰度分布的实验数据获得过程，具体如下：

2-2-1. 使用暗场成像系统采集待测疵病的暗场图像，提取疵病暗场图像的沿宽度方向的灰度分布$f_{exp}(p)$；

2-2-2. 使用棋盘格图来初步测量暗场成像系统的点扩散函数（PSF），由于实际光学系统的 PSF 趋于高斯函数形式，所以在测量过程中使用高斯函数拟合来得到 PSF 的表达式；

2-2-3. 以该点扩散函数作为初始值，来对得到的灰度分布进行反卷积，即可得到反卷积后理想成像系统下的灰度分布$f_{res}(p)$。

4. 根据权利要求 3 所述的反卷积后理想成像系统下灰度分布的检测数据获得过程，其特征在于步骤 2-2-1 所述的提取疵病暗场图像的沿宽度方向的灰度分布，具体如下：

1）对原始暗场图像进行 Otsu 阈值分割，选取长条形结构元进行开操作连接断裂、孔洞的线特征同时去除噪点，之后提取长直线特征即为疵病特征；

2）使用最小二乘法，对组成该线性特征的众多像素点的像素坐标(u_i,v_i)进行线性拟合，得到直线表达式 $av+b=u$；其中，a、b 均为参数；

3）通过参数 a 可得刻线与 v 轴正向夹角$\gamma=\arctan(a)$，将原始暗场图像绕左上角旋转$-\gamma$即可将疵病旋转为竖直方向；

4）计算原始暗场图像的灰度直方图，低灰度下的峰值为图像背景的灰度水平，用图像背景灰度填充旋转后出现的空白区域，获得填充后的图像，以保持图像的完整性；

5）取填充后图像的列平均值为疵病沿宽度方向的灰度分布$f_0(p)$，呈现单峰型或双峰型；取单峰型分布的峰值横坐标p_0所在的竖直直线为对称轴；取双峰型分布的双峰之间凹陷处的极小值点p_0所在的竖直直线为对称轴；假定数据宽

度为 2*N*+1，截取$p_0 - N \sim p_0 + N$ 之间的数据点为灰度分布$f_N(p)$；

6）将灰度分布$f_N(p)$轴对称后平均，变为轴对称分布$f_{sym}(p)$，即

$$f_{sym}(p) = \frac{1}{2}[f_N(p) + f_N(2p_0 - p)], p\epsilon[p_0 - N, p_0 + N] \quad (1)$$

并将坐标轴平移至以对称轴横坐标为坐标原点，得到疵病暗场图像沿宽度方向的灰度分布$f_{exp}(p)$，即，

$$f_{exp}(p) = f_{sym}(p - p_0), p\epsilon[-N, N] \quad (2)。$$

5. 根据权利要求 2 或 4 所述的基于疵病散射暗场成像电磁场仿真数据库的多维特征向量分析技术，其特征在于步骤 2-4 所述的归一化后散射光强分布仿真数据的多维特征向量和归一化后灰度分布实验数据的多维特征向量均由数据的曲线高斯金字塔特征构成，其提取过程具体如下：

1）记某一分布数据为 $f(n)$，n 表示离散的数据点；$f(n)$放在金字塔的底层 *J* 层，记为$f_J(n)$；

2）记金字塔第 *j* 层曲线分布为$f_j(n)$，对$f_j(n)$进行低通高斯滤波，得到$f_j^{'}(n)$；

3）对高斯滤波后的曲线分布$f_j^{'}(n)$以 2 为因数下采样得到金字塔第 *j*-1 层，可以看成是每间隔 1 个数据点丢弃 1 个数据点，即：

$$f_{j-1}(n) = f_{2\downarrow}(n) = f_j(2n) \quad (3)$$

4）迭代步骤 2）、3）*P* 次，其中 $j = J, J-1, \ldots, J-P+1$，得到 $P+1$ 层高斯金字塔；

5）将 $P+1$ 层高斯金字塔数据串联起来，即为数据的多维特征向量。

6. 根据权利要求 5 所述的一种基于分治思想的疵病宽度实时溯源方法，其特征在于步骤 3 所述的根据自适应阈值分割方法处理暗场图像，得到疵病成像宽度w_{img}，具体如下：

利用 CCD 的像元大小s_p，成像系统的放大倍数 *M*，得到简单成像宽度$w_{img}^{'}$，其表达式为：

$$w_{img}^{'} = \frac{s_p}{M} w_p \quad (4)$$

线性拟合位于衍射极限σ_0以下的疵病简单成像宽度$w_{img}^{'}$与疵病实际宽度，得到二者之间的关联函数，根据此函数可以修正疵病成像宽度的偏差，据此得

到成像宽度w_{img}。

7. 根据权利要求 6 所述的一种基于分治思想的疵病宽度实时溯源方法，其特征在于本发明对于其它暗场成像系统下的疵病检测具有可移植性，只需要获取其它暗场成像系统的相关系统参数进行替换即可，具体如下：

获取放大倍率与 CCD 像元大小；在所有需要成像坐标系与像素坐标系转换的地方都会用到系统放大倍率与 CCD 像元大小，在转换过程中都需要替换；

获取数值孔径并计算衍射极限；不同检测系统，具有不同的数值孔径 *NA*，计算不同的衍射极限σ_0，在使用决策模型库时加以替换；

计算点扩散函数；不同检测系统的 PSF 不同，重新用棋盘格图标定，不符合快速检测需求；由于反卷积不必以先验 PSF 知识为基础，仅需提供 PSF 的初始估计，其它暗场系统的 PSF 计算方法如式(5)所示：

$$h'(p)=\begin{cases}Kexp(-\frac{p^2}{2\sigma'^2}),p\epsilon D\\0,others\end{cases} \tag{5}$$

其中$\sigma'=\frac{\sigma M}{M'}$，σ为原 PSF 的标准差，*M* 为原系统的放大倍率，M'为其它暗场系统的放大倍率，*K* 为常数。

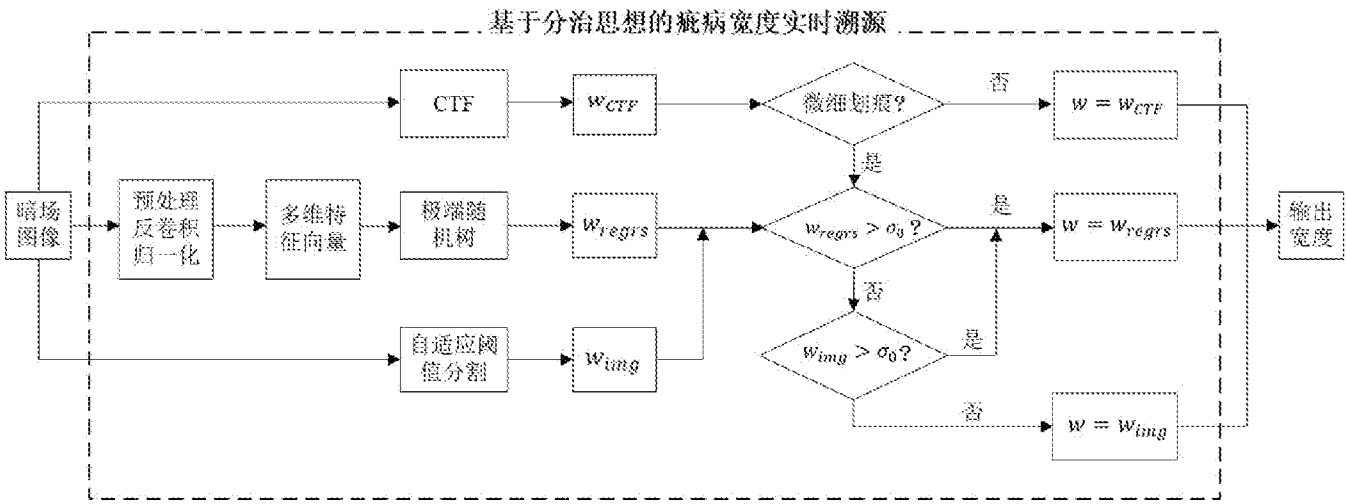

基于分治思想的疵病宽度实时溯源
暗场图像
预处理 反卷积 归一化
多维特征向量
CTF
w_{CTF}
极端随机树
w_{regrs}
自适应阈值分割
w_{img}
微细划痕?
否
$w = w_{CTF}$
是
$w_{regrs} > \sigma_0$?
是
$w = w_{regrs}$
否
$w_{img} > \sigma_0$?
是
否
$w = w_{img}$
输出宽度

图 1

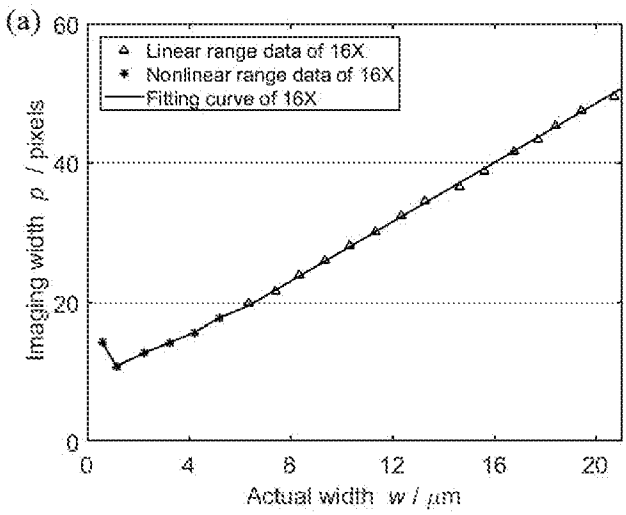

(a)
Linear range data of 16X
Nonlinear range data of 16X
Fitting curve of 16X
Imaging width p / pixels
Actual width w / μm
0
20
40
60
0
4
8
12
16
20

图 2(a)

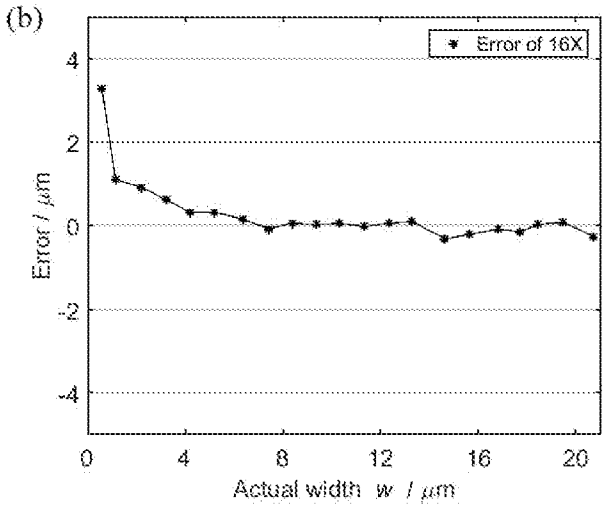

(b)
Error of 16X
Error / μm
Actual width w / μm
4
2
0
-2
-4
0
4
8
12
16
20

图 2(b)

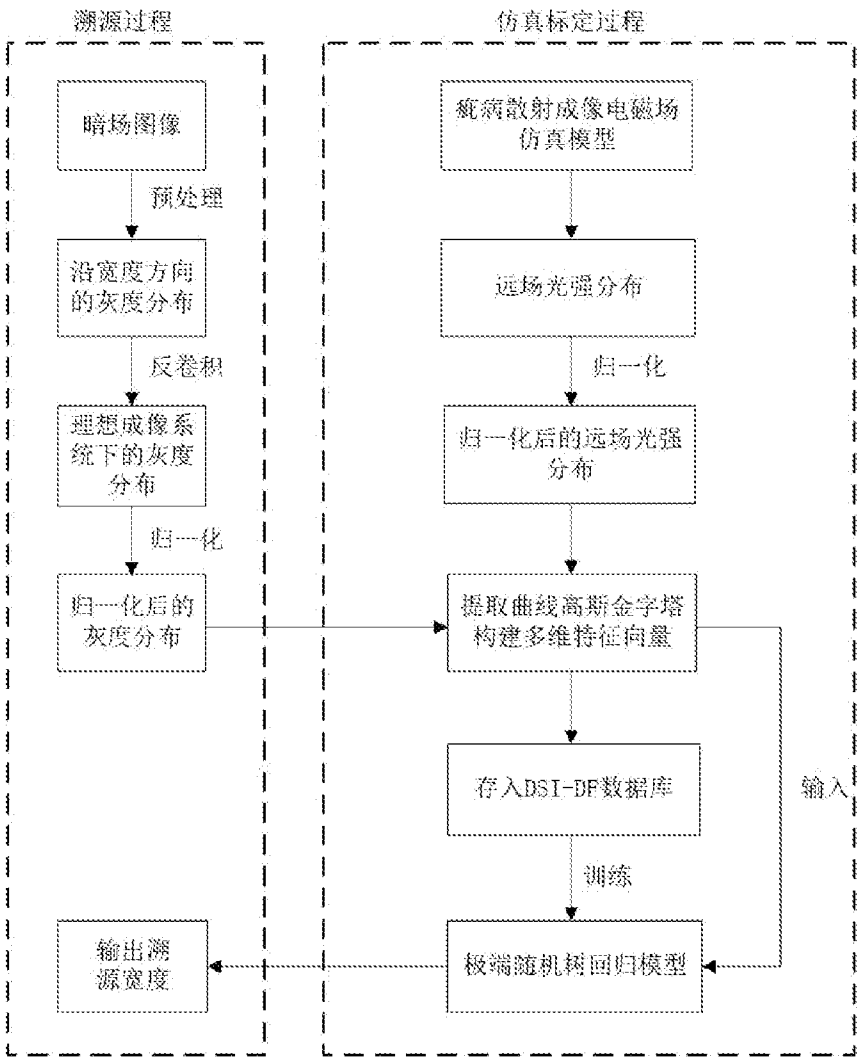

溯源过程
仿真标定过程
暗场图像
预处理
沿宽度方向的灰度分布
反卷积
理想成像系统下的灰度分布
归一化
归一化后的灰度分布
疵病散射成像电磁场仿真模型
远场光强分布
归一化
归一化后的远场光强分布
提取曲线高斯金字塔构建多维特征向量
存入DSI-DF数据库
训练
极端随机树回归模型
输出溯源宽度
输入

图 3

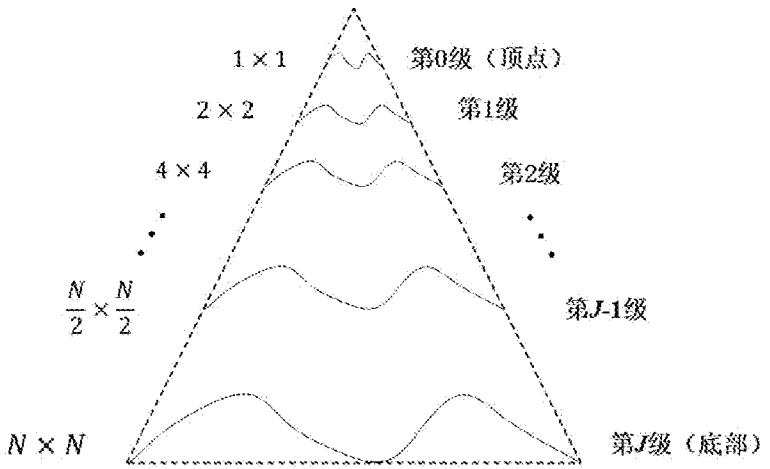

1 × 1
第0级（顶点）
2 × 2
第1级
4 × 4
第2级
N/2 × N/2
第J-1级
N × N
第J级（底部）

图 4

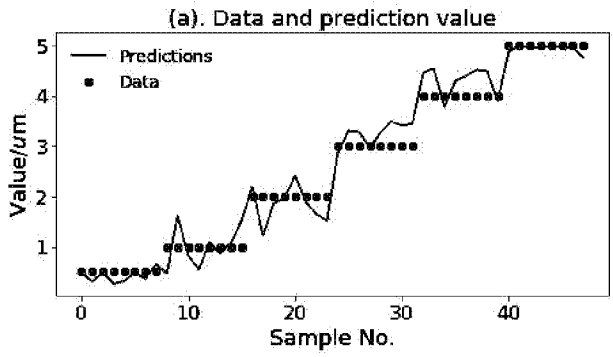


图 5(a)

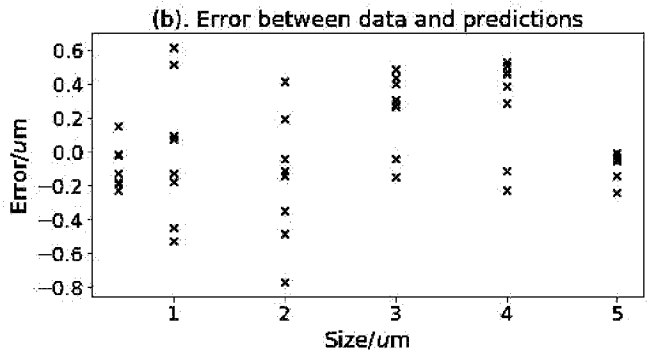


图 5(b)

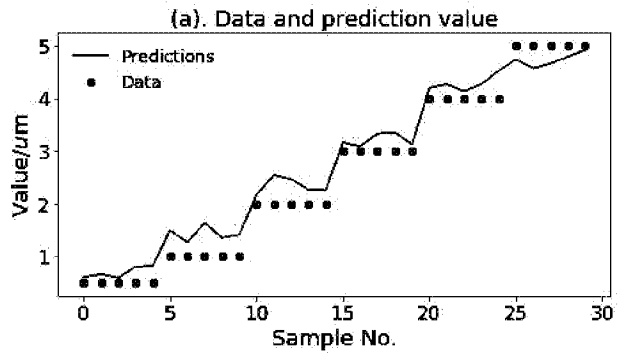


图 6(a)

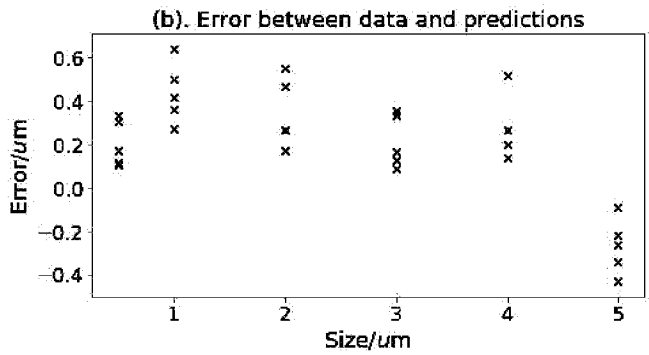


图 6(b)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2019/099008

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 21/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 分治, 疵病宽度, 实时, 溯源, 传递函数, 衍射, 散射, 电磁场, 数据库, 极限, 阈值, 分割, 归一化, divide w and w conquer, defect w width, real w time, affiliation, transfer w function, diffract, diffuse, electromagnetic w field, database, limit, threshold, segment, normalization.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102636496 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 15 August 2012 (2012-08-15) description, paragraphs [0010]-[0021], and figures 1-8	1-7
A	CN 108061529 A (SOUTHWEST UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 22 May 2018 (2018-05-22) entire document	1-7
A	CN 1563957 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 12 January 2005 (2005-01-12) entire document	1-7
A	CN 104833679 A (ZHEJIANG UNIVERSITY et al.) 12 August 2015 (2015-08-12) entire document	1-7
A	CN 105021417 A (TIANJIN UNIVERSITY) 04 November 2015 (2015-11-04) entire document	1-7
A	CN 2729708 Y (ZHEJIANG UNIVERSITY) 28 September 2005 (2005-09-28) entire document	1-7
A	US 7423746 B2 (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) 09 September 2008 (2008-09-09) entire document	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
18 February 2020	**12 March 2020**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088** **China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2019/099008

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	102636496	A	15 August 2012	CN	102636496	B	10 July 2013
CN	108061529	A	22 May 2018		None		
CN	1563957	A	12 January 2005	CN	1313821	C	02 May 2007
CN	104833679	A	12 August 2015	CN	104833679	B	26 September 2017
CN	105021417	A	04 November 2015		None		
CN	2729708	Y	28 September 2005		None		
US	7423746	B2	09 September 2008	JP	2007234798	A	13 September 2007
				US	2008317330	A1	25 December 2008
				US	2007201018	A1	30 August 2007
				JP	4728144	B2	20 July 2011

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2019/099008

A. 主题的分类

G01N 21/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01N

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNPAT,CNKI,WPI,EPODOC:分治,疵病宽度,实时,溯源,传递函数,衍射,散射,电磁场, 数据库,极限,阈值,分割,归一化, divide w and w conquer,defect w width, real w time,affiliation,transfer w function,diffract,diffuse, electromagnetic w field,database,limit,threshold,segment,normalization.

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 102636496 A (浙江大学) 2012年 8月 15日 (2012-08-15) 说明书第[0010]-[0021]段以及图1-8	1-7
A	CN 108061529 A (西南科技大学) 2018年 5月 22日 (2018-05-22) 全文	1-7
A	CN 1563957 A (浙江大学) 2005年 1月 12日 (2005-01-12) 全文	1-7
A	CN 104833679 A (浙江大学 等) 2015年 8月 12日 (2015-08-12) 全文	1-7
A	CN 105021417 A (天津大学) 2015年 11月 4日 (2015-11-04) 全文	1-7
A	CN 2729708 Y (浙江大学) 2005年 9月 28日 (2005-09-28) 全文	1-7
A	US 7423746 B2 (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) 2008年 9月 9日 (2008-09-09) 全文	1-7

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2020年 2月 18日	2020年 3月 12日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 李宁馨 电话号码 86-(10)-53962543

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2019/099008

检索报告引用的专利文件			公布日（年/月/日）	同族专利			公布日（年/月/日）
CN	102636496	A	2012年 8月 15日	CN	102636496	B	2013年 7月 10日
CN	108061529	A	2018年 5月 22日		无		
CN	1563957	A	2005年 1月 12日	CN	1313821	C	2007年 5月 2日
CN	104833679	A	2015年 8月 12日	CN	104833679	B	2017年 9月 26日
CN	105021417	A	2015年 11月 4日		无		
CN	2729708	Y	2005年 9月 28日		无		
US	7423746	B2	2008年 9月 9日	JP	2007234798	A	2007年 9月 13日
				US	2008317330	A1	2008年 12月 25日
				US	2007201018	A1	2007年 8月 30日
				JP	4728144	B2	2011年 7月 20日