



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102608208 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 09

(21) 申请号 201210042624. 0

CN 1542448 A, 2004. 11. 03, 全文.

(22) 申请日 2012. 02. 23

US 5710378 , 1998. 01. 20, 全文.

(73) 专利权人 浙江大学

陈晓冬等. 超声内窥镜图像数字扫描变换的研究与实现. 《生物医学工程学杂志》. 2009, 第26卷(第1期), 18-21.

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路38号

审查员 张然兮

(72) 发明人 居冰峰 白小龙 孙安玉 张威 姜燕 吴蕾

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务有限公司 33200

代理人 张法高

(51) Int. Cl.

G01N 29/06 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 7071594 B1, 2006. 07. 04, 全文.

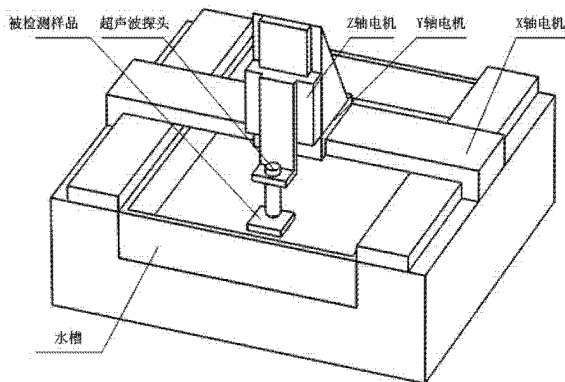
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于双轴联动的扫描超声波显微镜快速扫描方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于双轴联动的扫描超声波显微镜快速扫描方法。其步骤包括:1) 设定扫描面积  $S=(N \cdot a) \times (N \cdot a)$  后, 将  $L_{scan}=(N-1) a / \sqrt{2}$  作为 X 和 Y 电机运动位移的大小, X 和 Y 轴运动方向均为正方向并同时开始运动; 2) 两个电机停止后, 改变 Y 轴运动方向, X 轴不变, 将  $L_{step}=a / \sqrt{2}$  作为 X 和 Y 电机运动位移的大小使其同时运动; 3) 两个电机停止后, 再改变 X 轴运动方向, Y 轴不变, X 和 Y 轴电机继续开始运动, 位移大小均为  $L_{scan}$ ; 4) 两个电机停止后, 再改变 X 轴运动方向, Y 轴不变, X 和 Y 轴电机继续开始运动, 位移大小均为  $L_{step}$ ; 5) 电机停止后, 重复 1) 到 4) 中的步骤, 直至整幅图像扫描完毕。本发明在不改变运动系统硬件条件和不降低成像分辨率的前提下, 可提高扫描效率百分之二十以上。



CN 102608208 B

1. 一种基于双轴联动的扫描超声波显微镜快速扫描方法,采用扫描超声波显微镜,扫描超声波显微镜包括超声波探头、X轴电机、Y轴电机、Z轴电机、水槽、电机控制器、超声波发射接收器、计算机、显示器、被检测样品;被检测样品放置在水槽中,超声波探头设于被检测样品的正上方,超声波探头的上部连接于Z轴电机,Z轴电机与Y轴电机相连,Y轴电机与X轴电机相连,X轴电机、Y轴电机、Z轴电机与电机控制器相连,超声波探头与超声波发射接收器相连,计算机分别与超声波发射接收器、电机控制器、显示器相连,其特征在于方法的步骤如下:

1) 扫描超声波显微镜开机后,放置好被检测样品,超声波探头发射超声波;

2) 在扫描超声波显微镜的计算机中设置扫描面积 $S=(N \cdot a) \times (N \cdot a)$ 的大小,其中 $N$ 为所成图像的分辨率, $a$ 为单个像素的大小;

3) 使Y轴电机沿正方向运动,X轴电机沿负方向运动,令 $L_{scan} = (N-1) \cdot a / \sqrt{2}$ 为X轴电机和Y轴电机运动位移的大小,X轴电机和Y轴电机同时开始运动,其合速度使超声波探头在XY平面内完成对被检测样品的一次行扫描;

4) 行扫描结束后,然后改变Y轴电机运动方向为负方向,X轴电机运动方向不变,并令 $L_{step} = a / \sqrt{2}$ 为X轴电机和Y轴电机运动位移的大小,X轴电机和Y轴电机同时开始运动,其合速度使超声波探头做微量步进;

5) 微量步进结束后,再改变X轴电机运动方向为正方向,Y轴电机运动方向仍未负方向,令 $L_{scan} = (N-1) \cdot a / \sqrt{2}$ 为X轴电机和Y轴电机运动位移的大小,X轴电机和Y轴电机同时开始运动,其合速度使超声波探头在XY平面内完成对被检测样品的再一次行扫描;

6) 再一次行扫描结束后,然后再改变X轴电机运动方向为负方向,Y轴电机运动方向不变,并令 $L_{step} = a / \sqrt{2}$ 为X轴电机和Y轴电机运动位移的大小,X轴电机和Y轴电机同时开始运动,其合速度使超声波探头做微量步进;

7) 微量步进结束后,重复步骤3)到步骤6),对被检测样品进行来回扫描,直至整幅图像扫描完毕。

## 一种基于双轴联动的扫描超声波显微镜快速扫描方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及显微成像快速扫描的方法,特别涉及一种基于双轴联动的扫描超声波显微镜快速扫描方法。

### 背景技术

[0002] 扫描超声波显微镜 (SAM:Scanning Acoustic Microscope) 广泛应用于关键电子器件和精密机械部件的无损检测与评估,同时也广泛用于生物组织的显微观测。

[0003] 扫描超声波显微镜中,常采用二维机械扫描机构携带探头完成对整个被测样品的检测。扫描机构的执行器一般都采用直线电机或旋转电机加精密滚珠丝杠。传统的二维机械扫描模式为栅格扫描模式,使 X 轴电机负责行扫描,每扫描完一行,Y 轴电机步进一次,步进大小为一个像素所对应的大小。X 轴电机进行行扫描时,由 X 轴电机的光栅信号触发高速 AD 卡采集回波信号,并实时处理为二维图像中该点处的灰度值。X 轴电机往复的对样品进行扫描,直至扫描完毕。

[0004] 为了提高扫描超声波显微成像的速度,德国 KSI 公司采用了多探头同时扫描方案,即每个探头扫描一个子区域,然后将各个子区域拼接起来,形成最终的扫描结果。采用 N 个探头,那么扫描时间就可以节约 N 倍。但是这种方法明显增加了成本。目前,国外大公司提高效率的方式都是在现有的栅格扫描模式下对每个电机的硬件结构提出优化,在满足运动精度的前提下,尽可能地提高 X 或 Y 电机的速度。但是这种方式不能根本性地显著提高电机速度,电机速度的最大值受限于光栅频率和分辨率。

[0005] 国外对 AFM 的研究中提出了螺旋式扫描模式,但是这种扫描模式不仅增加了控制器负担,而且将极坐标下的图像点转换到笛卡尔坐标系下又会带来相应的位置误差,图像处理较为繁琐。在螺旋式扫描中,扫描效率必须有所牺牲才能保证良好的稳定性,而且本质上它的扫描时间与传统栅格模式相比并没有优势。传统栅格扫描模式目前仍然是工业界机械扫描类的探头式显微镜的常用扫描模式。

[0006] 但是传统栅格的扫描模式未能充分利用 X 轴和 Y 轴电机的协同工作,在扫描过程中,始终是一个电机带动超声波探头进行扫描,效率低下。基于此,提出一种基于双轴联动式的快速栅格扫描模式,经理论计算和实验证明,在不改变任何系统硬件条件(如控制器、驱动器等)的情况下,可以提高扫描速率 20% 以上,并且不会降低扫描后所成像的分辨率。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的是为了 提高扫描超声波显微镜的扫描成像的效率,提出一种基于双轴联动的扫描超声波显微镜快速扫描方法。

[0008] 基于双轴联动的扫描超声波显微镜快速扫描方法,采用扫描超声波显微镜,扫描超声波显微镜包括超声波探头、X 轴电机、Y 轴电机、Z 轴电机、水槽、电机控制器、超声波发射接收器、计算机、显示器、被检测样品;被检测样品放置在水槽中,超声波探头设于被检测样品的正上方,超声波探头的上部连接于 Z 轴电机,Z 轴电机与 Y 轴电机相连,Y 轴电机与 X

轴电机相连, X 轴电机、Y 轴电机、Z 轴电机与电机控制器相连, 超声波探头与超声波发射接收器相连, 计算机分别与超声波发射接收器、电机控制器、显示器相连, 方法的步骤如下:

[0009] 1) 扫描超声波显微镜开机后, 放置好被检测样品, 超声波探头发射超声波;

[0010] 2) 在扫描超声波显微镜的计算机中设置扫描面积  $S = (N \cdot a) \times (N \cdot a)$  的大小, 其中  $N$  为所成图像的分辨率,  $a$  为单个像素的大小;

[0011] 3) 使 Y 轴电机沿正方向运动, X 轴电机沿负方向运动, 令  $L_{scan} = (N-1) \cdot a / \sqrt{2}$  为 X 轴电机和 Y 轴电机运动位移的大小, X 轴电机和 Y 轴电机同时开始运动, 其合速度使超声波探头在 XY 平面内完成对被检测样品的一次行扫描;

[0012] 4) 行扫描结束后, 然后改变 Y 轴电机运动方向为负方向, X 轴电机运动方向不变, 并令  $L_{step} = a / \sqrt{2}$  为 X 轴电机和 Y 轴电机运动位移的大小, X 轴电机和 Y 轴电机同时开始运动, 其合速度使超声波探头做微量步进;

[0013] 5) 微量步进结束后, 再改变 X 轴电机运动方向为正方向, Y 轴电机运动方向仍未负方向, 令  $L_{scan} = (N-1) \cdot a / \sqrt{2}$  为 X 轴电机和 Y 轴电机运动位移的大小, X 轴电机和 Y 轴电机同时开始运动, 其合速度使超声波探头在 XY 平面内完成对被检测样品的再一次行扫描;

[0014] 6) 再一次行扫描结束后, 然后再改变 X 轴电机运动方向为负方向, Y 轴电机运动方向不变, 并令  $L_{step} = a / \sqrt{2}$  为 X 被检测样品和 Y 轴电机运动位移的大小, X 被检测样品和 Y 轴电机同时开始运动, 其合速度使超声波探头做微量步进;

[0015] 7) 微量步进结束后, 重复步骤 3) 到步骤 6), 对被检测样品进行来回扫描, 直至整幅图像扫描完毕。

[0016] 本发明与现有技术相比具有的有益效果是:

[0017] 1) 本发明可以提高扫描超声波显微镜扫描成像效率 20% 以上;

[0018] 2) 本发明属于对 X 和 Y 电机控制器中运动控制算法的改变, 不会带来对硬件系统的改动, 也不会造成图像映射时产生位置误差, 不会降低扫描成像后的分辨率。

## 附图说明

[0019] 图 1 是扫描超声波显微镜主体结构示意图;

[0020] 图 2 是本发明中 XY 扫描平台上电机的运动控制框图;

[0021] 图 3 是本发明的传统栅格扫描模式的扫描轨迹示意图;

[0022] 图 4 是本发明的基于双轴联动的快速栅格扫描模式的扫描轨迹示意图;

[0023] 图 5 是扫描超声波显微镜在传统栅格扫描和快速栅格扫描模式下对同一硬币进行扫描成像的结果对比。

## 具体实施方式

[0024] 基于双轴联动的扫描超声波显微镜快速扫描方法, 采用扫描超声波显微镜, 扫描超声波显微镜包括超声波探头、X 轴电机、Y 轴电机、Z 轴电机、水槽、电机控制器、超声波发射接收器、计算机、显示器、被检测样品; 被检测样品放置在水槽中, 超声波探头设于被检测样品的正上方, 超声波探头的上部连接于 Z 轴电机, Z 轴电机与 Y 轴电机相连, Y 轴电机与 X 轴电机相连, X 轴电机、Y 轴电机、Z 轴电机与电机控制器相连, 超声波探头与超声波发射接

收器相连,计算机分别与超声波发射接收器、电机控制器、显示器相连,被检测样品的超声波回波信号经计算机中信号处理之后可转化为相应的灰度图,若要得到整个被检测样品的二维图像,则需要通过 X 轴电机和 Y 轴电机的二维机械运动使超声波探头完成对被检测样品的扫描,方法的步骤如下:

[0025] 1) 扫描超声波显微镜开机后,放置好被检测样品,超声波探头发射超声波;

[0026] 2) 在扫描超声波显微镜的计算机中设置扫描面积  $S = (N \cdot a) \times (N \cdot a)$  的大小,其中  $N$  为所成图像的分辨率,  $a$  为单个像素的大小;

[0027] 3) 使 Y 轴电机沿正方向运动, X 轴电机沿负方向运动,令  $L_{scan} = (N-1) \cdot a / \sqrt{2}$  为 X 轴电机和 Y 轴电机运动位移的大小, X 轴电机和 Y 轴电机同时开始运动,其合速度使超声波探头在 XY 平面内完成对被检测样品的一次行扫描;

[0028] 4) 行扫描结束后,然后改变 Y 轴电机运动方向为负方向, X 轴电机运动方向不变,并令  $L_{step} = a / \sqrt{2}$  为 X 轴电机和 Y 轴电机运动位移的大小, X 轴电机和 Y 轴电机同时开始运动,其合速度使超声波探头做微量步进;

[0029] 5) 微量步进结束后,再改变 X 轴电机运动方向为正方向, Y 轴电机运动方向仍未负方向,令  $L_{scan} = (N-1) \cdot a / \sqrt{2}$  为 X 轴电机和 Y 轴电机运动位移的大小, X 轴电机和 Y 轴电机同时开始运动,其合速度使超声波探头在 XY 平面内完成对被检测样品的再一次行扫描;

[0030] 6) 再一次行扫描结束后,然后再改变 X 轴电机运动方向为负方向, Y 轴电机运动方向不变,并令  $L_{step} = a / \sqrt{2}$  为 X 被检测样品和 Y 轴电机运动位移的大小, X 被检测样品和 Y 轴电机同时开始运动,其合速度使超声波探头做微量步进;

[0031] 7) 微量步进结束后,重复步骤 3) 到步骤 6), 对被检测样品进行来回扫描,直至整幅图像扫描完毕。

[0032] 对于扫描面积  $S = (N \cdot a) \times (N \cdot a)$  的区域,下面对传统栅格扫描方法和本发明提出的快速扫描方法的扫描效率做出比较。

[0033] 1) 传统栅格扫描方法:

[0034] 传统栅格扫描方法的扫描轨迹如图 3 所示, X 轴电机负责行扫描, Y 轴电机负责步进。扫描的总时间的理论计算表达式为:

$$[0035] \quad T_1 = N \cdot t_{scan\_1} + (N-1) \cdot t_{step\_1} \quad (1)$$

[0036] ,其中  $t_{scan\_1}$  和  $t_{step\_1}$  分别为一次行扫描和步进一次所用的时间。假设 X 和 Y 轴电机控制器中采用“T”型速度图进行插补,  $a_m$  和  $v_m$  分别为 X 和 Y 轴电机运动系统所允许的加速度和最大速度。一般进行大面积成像时都有  $(N-1) \cdot a \gg v_m^2 / a_m$ , 即行扫描中存在匀速运动阶段,但当分辨率很高时不一定能保证  $a \geq v_m^2 / a_m$ , 即保证步进过程中存在匀速阶段。所以:

$$[0037] \quad t_{scan\_1} = \frac{v_m}{a_m} + \frac{(N-1)a}{v_m} \quad (2)$$

$$[0038] \quad t_{step\_1} = \begin{cases} \frac{a}{v_m} + \frac{v_m}{a_m}, & a \geq \frac{v_m^2}{a_m} \\ 2\sqrt{\frac{a}{a_m}}, & a < \frac{v_m^2}{a_m} \end{cases}, \quad (3)$$

[0039] 将方程 (2) 与 (3) 代入 (1) 中得:

$$[0040] \quad T_1 = \begin{cases} \frac{(N^2-1)a}{v_m} + \frac{(2N-1)v_m}{a_m}, & a \geq \frac{v_m^2}{a_m} \\ \frac{N(N-1)a}{v_m} + \frac{Nv_m}{a_m} + 2(N-1)\sqrt{\frac{a}{a_m}}, & a < \frac{v_m^2}{a_m} \end{cases} \quad (4)$$

[0041] 当  $N \gg 1$  时, 有:

$$[0042] \quad T_1 = \frac{(N^2-1)a}{v_m} \quad (5)$$

[0043] 2) 本发明提出的快速扫描方法:

[0044] 本发明提出的快速扫描方法的扫描轨迹如图 4 所示, X 轴和 Y 轴电机同时负责行扫描和步进, 扫描的总时间的理论计算表达式为:

$$[0045] \quad T_2 = N \cdot t_{scan\_2} + (N-1) \cdot t_{step\_2} \quad (6)$$

[0046] , 其中  $t_{scan\_2}$  和  $t_{step\_2}$  分别为一次行扫描和步进一次所用的时间。假设 X 和 Y 轴电机控制器中采用“T”型速度图进行插补,  $a_m$  和  $v_m$  分别为 X 和 Y 轴电机运动系统所允许的加速度和最大速度。一般进行大面积成像时都有  $(N-1)a/\sqrt{2} \gg v_m^2/a_m$ , 即 X 和 Y 轴电机进行扫描中存在匀速运动阶段, 但当分辨率很高时不一定能保证  $a/\sqrt{2} \gg v_m^2/a_m$ , 即保证步进过程中存在匀速阶段。所以:

$$[0047] \quad t_{scan\_2} = \frac{v_m}{a_m} + \frac{(N-1)a}{\sqrt{2}v_m} \quad (7)$$

$$[0048] \quad t_{step\_2} = \begin{cases} \frac{a}{\sqrt{2}v_m} + \frac{v_m}{a_m}, & a \geq \frac{v_m^2}{a_m} \\ \sqrt{\frac{2\sqrt{2}a}{a_m}}, & a < \frac{v_m^2}{a_m} \end{cases}, \quad (8)$$

[0049] 将方程 (2) 与 (3) 代入 (1) 中得:

$$[0050] \quad T_2 = \begin{cases} \frac{(N^2-1)a}{\sqrt{2}v_m} + \frac{(2N-1)v_m}{a_m}, & a \geq \frac{v_m^2}{a_m} \\ \frac{N(N-1)a}{\sqrt{2}v_m} + \frac{Nv_m}{a_m} + (N-1)\sqrt{\frac{2\sqrt{2}a}{a_m}}, & a < \frac{v_m^2}{a_m} \end{cases} \quad (9)$$

[0051] 当  $N \gg 1$  时, 有:

$$[0052] \quad T_2 = \frac{(N^2-1)a}{\sqrt{2}v_m} \quad (10)$$

[0053] 此时,  $T_2 \approx \frac{\sqrt{2}}{2} T_1 \approx 0.71 T_1$ 。即本发明提出的快速扫描方法与传统栅格扫描方法相比, 可提高扫描速率 29%, 扫描效率有明显提高。

[0054] 下面结合实施例及附图对本发明做进一步的详细叙述。

[0055] 以一元人民币硬币作为扫描对象, 扫描面积 S 为  $20 \times 20 \text{mm}^2$ , 在图像分辨率为  $512 \times 512$  的情况下,  $N = 512$ ,  $a = 39.06 \mu\text{m}$ 。使用传统栅格扫描方法和本发明提出的快速扫描方法对上述区域进行扫描成像。

[0056] 传统栅格扫描方法的执行步骤如下：

[0057] 1) 扫描超声波显微镜开机后,通过控制软件确定电机行进步长  $a = 39.0625 \mu\text{m}$  和扫描区域  $20 \times 20\text{mm}^2$  ( $N = 512$ )；

[0058] 2) 将超声波探头移动到一元硬币的上方,使用自聚焦控制系统控制超声波探头与被测材料相对位置；

[0059] 3) 按照图 3 所示的扫描轨迹开始运动,使 X 轴电机沿正方向运动  $19.96\text{mm}$ ,X 轴电机停止后 Y 轴电机沿负方向步进  $39.06 \mu\text{m}$ ；

[0060] 4) 再使 X 轴电机沿负方向运动  $19.96\text{mm}$ ,X 轴电机停止后 Y 轴电机再沿负方向步进  $39.06 \mu\text{m}$ ；

[0061] 5) 重复 3) 到 4) 中的步骤,直至完成对硬币整个被扫描区域的扫描；

[0062] 6) 在 X 轴电机进行每一次行扫描时,由 X 轴电机的光栅信号触发高速 AD 卡来采集脉冲式超声波回波信号,计算机将对回波信号进行处理和特征提取,并转化为该点处的图像灰度值,得到的图像如图 5(a) 所示,整个扫描时间为  $544\text{s}$ 。

[0063] 本发明提出的快速扫描方法的执行步骤如下：

[0064] 1) 扫描超声波显微镜开机后,放置好一元硬币,将超声波探头移动到一元硬币的上方,超声波探头发射超声波,使用自聚焦控制系统控制超声波探头与硬币相对位置；

[0065] 2) 在扫描超声波显微镜软件中设置扫描面积  $S = (N \cdot a) \times (N \cdot a) = 20 \times 20\text{mm}^2$ ,其中  $N = 512$  为所成图像的分辨率, $a = 39.06 \mu\text{m}$  为单个像素的大小。

[0066] 3) X 轴电机和 Y 轴电机的运动控制框图如图 2 所示,采用前馈环与 PID 位置反馈、速度反馈相结合的控制方式,以提高扫描电机的轨迹跟踪性能,按照图 4 所示的扫描轨迹开始运动,使 Y 轴电机沿正方向运动,X 轴电机沿负方向运动,令  $L_{scan} = (N-1) \cdot a/\sqrt{2} = 14.12 \text{mm}$  为 X 和 Y 轴电机运动位移的大小,X 轴电机和 Y 轴电机同时开始运动,X 轴电机和 Y 轴电机的合运动使超声波探头在 XY 平面内完成对硬币的一次行扫描；

[0067] 4) 然后改变 Y 轴电机运动方向为负方向,X 轴电机运动方向不变,并令  $L_{step} = a/\sqrt{2} = 27.58 \mu\text{m}$  为 X 轴电机和 Y 轴电机运动位移的大小,X 轴电机和 Y 轴电机同时开始运动,X 轴电机和 Y 轴电机的合运动使探头做微量步进；

[0068] 5) 再改变 X 轴电机运动方向为正方向,Y 轴电机运动方向仍未负方向,令  $L_{scan} = 14.12\text{mm}$  为 X 轴电机和 Y 轴电机运动位移的大小,X 轴电机和 Y 轴电机同时开始运动,X 轴电机和 Y 轴电机的合运动使探头在 XY 平面内完成对样品的再一次行扫描；

[0069] 6) 然后再改变 X 轴电机运动方向为负方向,Y 轴电机运动方向不变,并令  $L_{step} = a/\sqrt{2} = 27.58 \mu\text{m}$  为 X 轴电机和 Y 轴电机运动位移的大小,X 轴电机和 Y 轴电机同时开始运动,X 轴电机和 Y 轴电机的合运动使探头做微量步进；

[0070] 7) 重复 3) 到 6) 中的步骤,对硬币被检测区域进行来回扫描,直至整幅图像扫描完毕。得到的图像如图 5(b) 所示,整个扫描时间为  $402\text{s}$ ,与传统栅格扫描方法相比,提高扫描速率  $26.1\%$ 。

[0071] 从图 5 可以看出本发明提出的快速扫描方法并不会对图像的质量有所影响,但因为利用了 X 轴电机和 Y 轴电机同时运动的合速度,本发明所提出的快速扫描方法可实现更

快速的扫描。



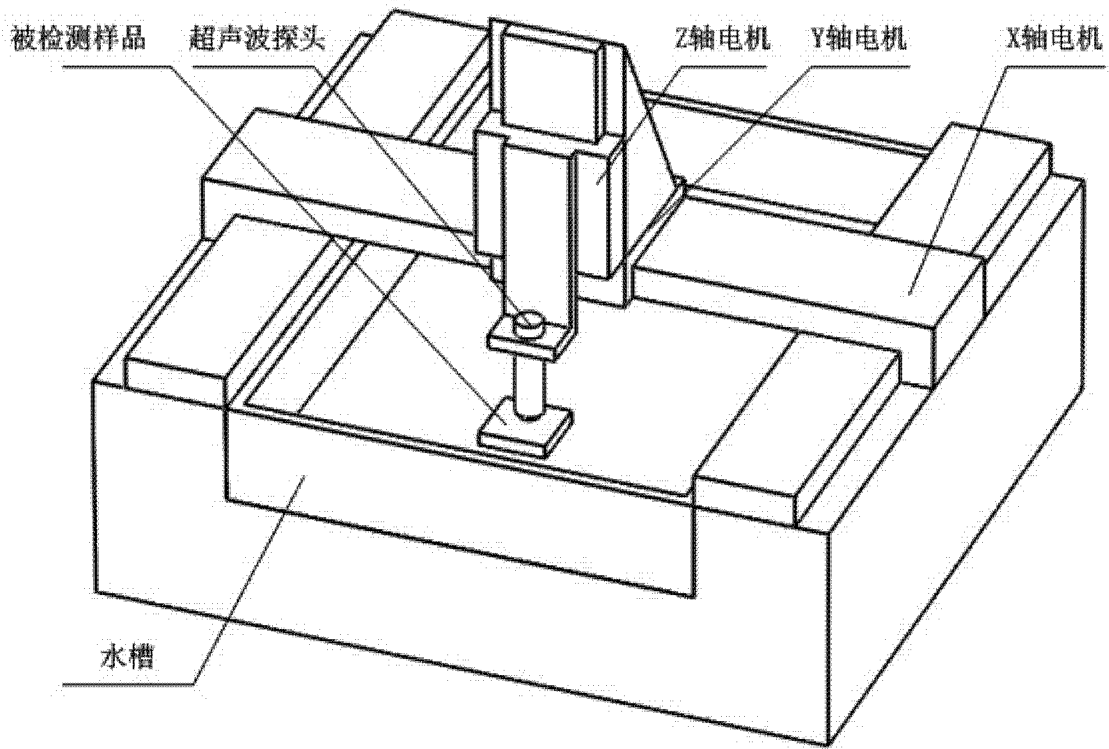


图 1

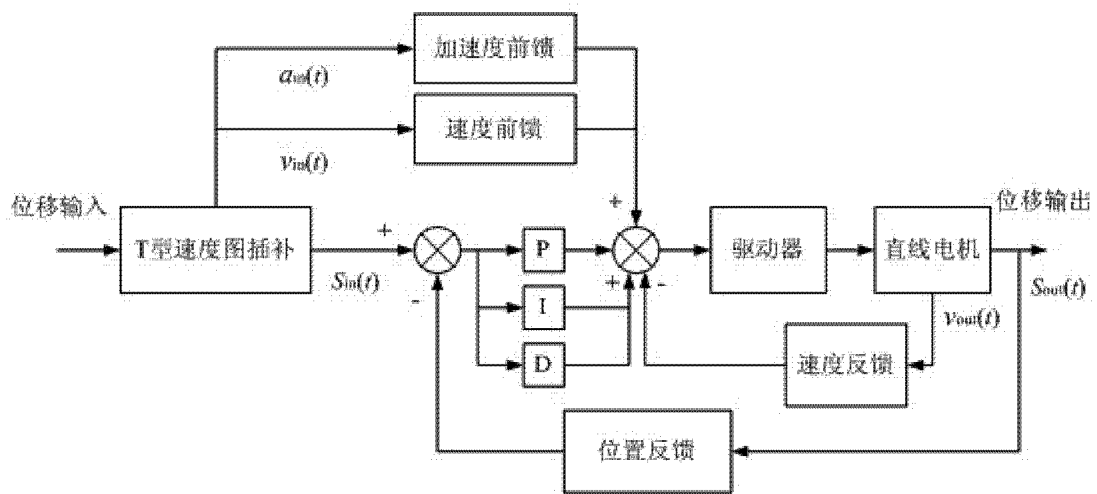


图 2

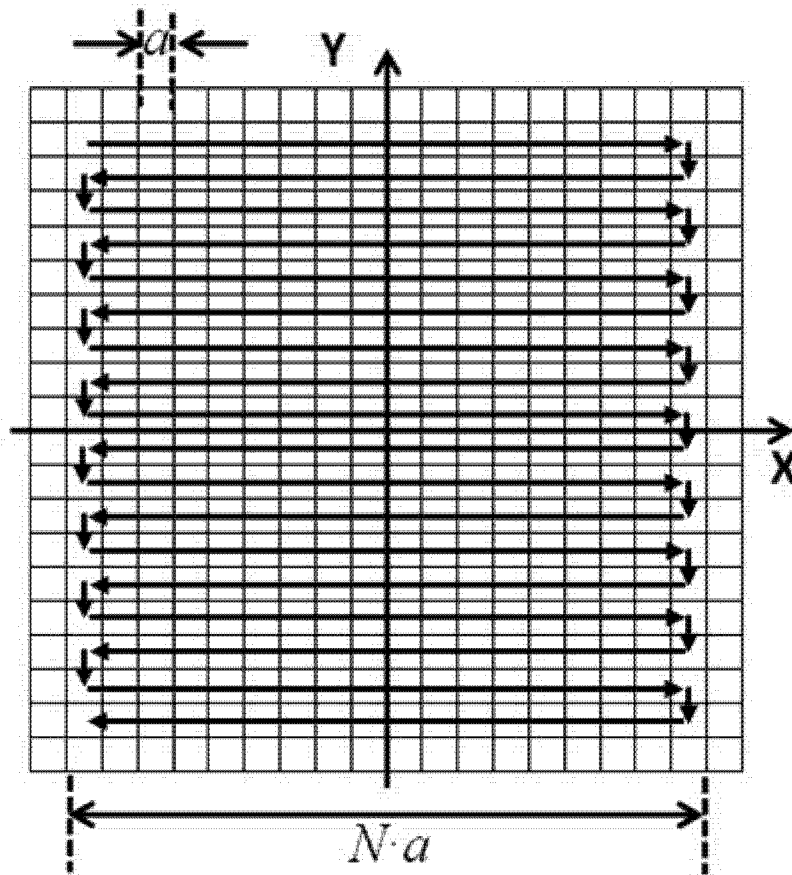


图 3

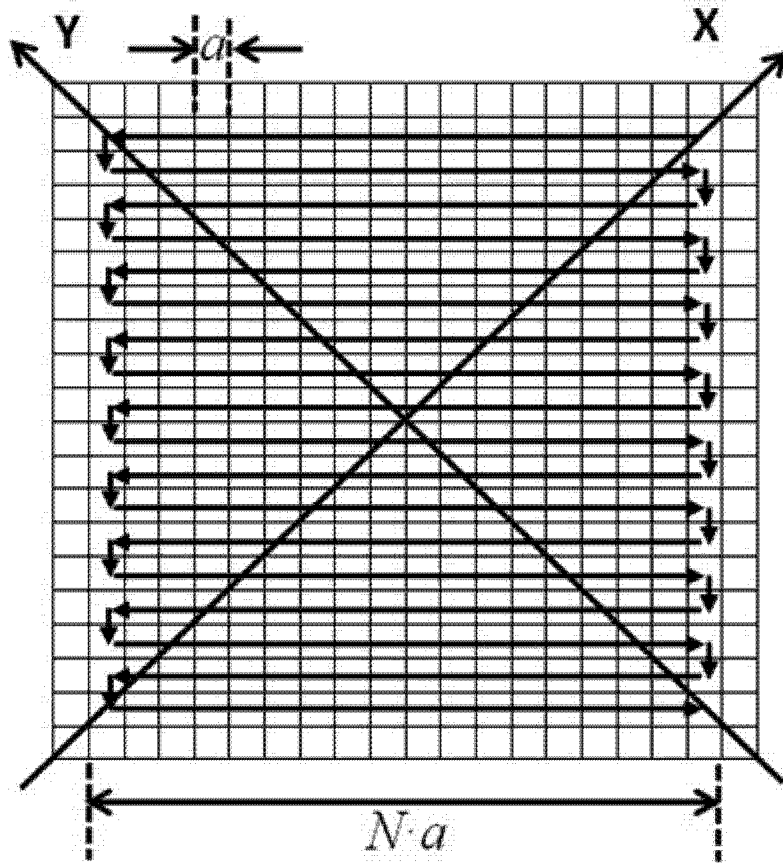
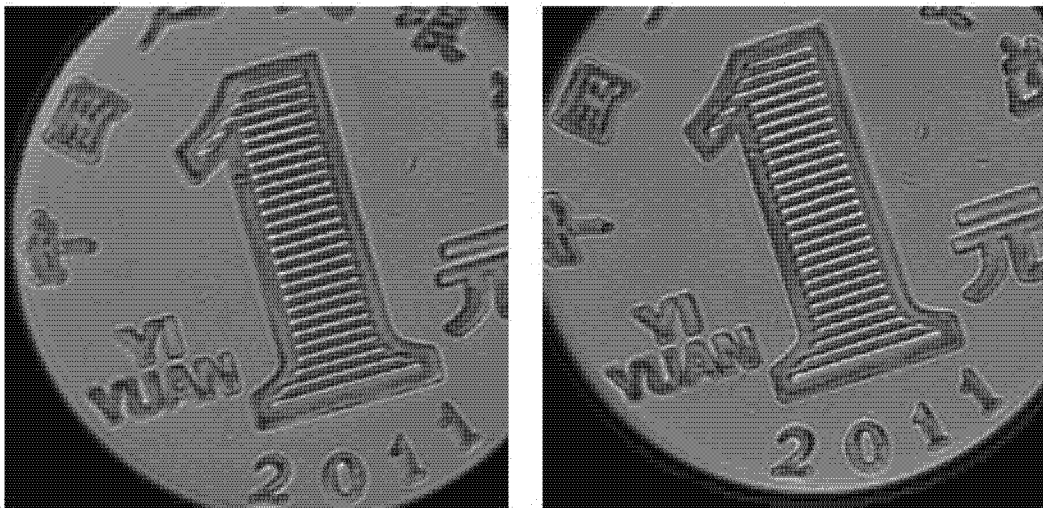


图 4



(a)

(b)

图 5