



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103673872 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 26

(21) 申请号 201210333220. 7

(22) 申请日 2012. 09. 10

(71) 申请人 中国科学院空间科学与应用研究中心

地址 100190 北京市海淀区中关村南二条 1 号

(72) 发明人 于强 童方圆

(74) 专利代理机构 北京法思腾知识产权代理有限公司 11318

代理人 杨小蓉 杨青

(51) Int. Cl.

G01B 11/00 (2006. 01)

G06T 5/00 (2006. 01)

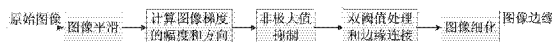
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

液滴体积的测量方法和测量系统

(57) 摘要

本发明涉及一种液滴体积的测量方法和测量系统,其中,该方法包括:图像平滑步骤,其用于减少噪声;计算梯度幅度和方向步骤;非极大值抑制步骤,其用于对幅值图像中的屋脊带进行细化,只保留幅值局部变化最大的像素点;双阈值处理和边缘连接步骤,其用于去除虚假边缘并将真正边缘连接起来;图像细化步骤,其用于得到图像边缘为单像素级别的图像,从而得到液滴外围轮廓;最后根据所述液滴外围轮廓,得到液滴的体积。采用本发明提供的方法,提高了液滴体积的测量精度。



1. 一种液滴体积的测量方法,其特征在于,该方法包括:

图像平滑步骤,其用于减少噪声,以得到平滑图像 $f_1(x, y)$;

计算梯度幅度和方向步骤;

非极大值抑制步骤,用于对幅值图像中的屋脊带进行细化,只保留幅值图像中幅值局部变化最大的像素点;

双阈值处理和边缘连接步骤,用于去除虚假边缘并将真正边缘连接起来,得到液滴边缘图像;

图像细化步骤,用于得到图像边缘为单像素级别的图像,从而得到液滴外围轮廓;

根据所述液滴外围轮廓,得到以像素为单位的液滴高度 H 、每一行的像素个数,以及横截面直径,通过以下公式得到液滴的体积:

$$V = \sum_{i=1}^N A_i = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^N D_i^2 \Delta H$$

其中, A_i 表示横截面积; ΔH 是指两个连续液滴横截面之间的高度值。

2. 根据权利要求1所述的液滴体积的测量方法,其特征在于,所述图像平滑步骤是指将原始图像与高斯函数进行卷积处理。

3. 根据权利要求1所述的液滴体积的测量方法,其特征在于,在所述计算梯度幅度和方向步骤中,设二维高斯函数的 x 方向和 y 方向的一阶导数如公式(1)所示:

$$\begin{cases} \frac{\partial g}{\partial x} = kx \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2}) \exp(-\frac{y^2}{2\sigma^2}) \\ \frac{\partial g}{\partial y} = ky \exp(-\frac{y^2}{2\sigma^2}) \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2}) \end{cases} \quad (1)$$

将所述公式(1)分别与所述平滑图像 $f_1(x, y)$ 进行卷积,得到 x 方向上的梯度值和 y 方向上的梯度值:

$$\begin{cases} E_x(x, y) = \frac{\partial g}{\partial x} * f_1(x, y) \\ E_y(x, y) = \frac{\partial g}{\partial y} * f_1(x, y) \end{cases}$$

则可以得到图像梯度的幅度和方向分别为:

$$\begin{cases} M(x, y) = \sqrt{E_x^2(x, y) + E_y^2(x, y)} \\ \theta(x, y) = \arctan \left[\frac{E_y(x, y)}{E_x(x, y)} \right] \end{cases}$$

其中, (x, y) 表示某个像素点; $M(x, y)$ 定义为图像梯度的幅度; $\theta(x, y)$ 定义为图像梯度的方向; $E_x(x, y)$ 表示 x 方向上的梯度值; $E_y(x, y)$ 表示 y 方向上的梯度值; k 为常数。

4. 根据权利要求1所述的液滴体积的测量方法,其特征在于,所述非极大值抑制步骤

包括:确定像素点 (x, y) 的梯度方向 $\theta(x, y)$ 的范围;将所述梯度方向 $\theta(x, y)$ 的变化范围分为 4 个扇区;将所述像素点 (x, y) 处的所述梯度幅度 $M(x, y)$ 与所述梯度方向 $\theta(x, y)$ 所在扇区的两个相邻像素点的梯度幅度值进行比较,如果所述像素点 (x, y) 处的所述梯度幅度 $M(x, y)$ 小于等于该像素点 (x, y) 梯度方向所在扇区的两个相邻点的梯度幅度值,则所述像素点 (x, y) 标记为非边缘点,将所述 $M(x, y)$ 赋值为 0;否则,所述像素点 (x, y) 标记为候选边缘点,所述 $M(x, y)$ 的值保持不变。

5. 根据权利要求 1 所述的液滴体积的测量方法,其特征在于,在所述双阈值处理和边缘连接步骤中,由幅值图像的累积直方图得到一个高阈值 T_h ,然后得到一个低阈值 $T_l = 0.4T_h$;对经过所述非极大值抑制步骤处理后的图像中的每一像素点 (x, y) 进行检测,如果 (x, y) 梯度幅度值大于高阈值 T_h ,则认为该像素点一定为边缘点;如果像素点 (x, y) 的梯度幅度值小于低阈值 T_l ,则认为该像素点一定不是边缘点;对于梯度幅度值处于两个阈值之间的像素点,则看该像素点的八个邻接像素点里有没有大于高阈值的像素点,如果有,那么该像素点是边缘,否则就不是边缘;最后,将双阈值处理后的真正边缘连接起来。

6. 根据权利要求 1 所述的液滴体积的测量方法,其特征在于,所述图像细化步骤是指基于索引表的细化方法,其根据欲细化像素点的八个邻域的情况查所述索引表,来决定该像素点是否应该删除。

7. 一种液滴体积测量系统,其包括带有镜头的 CCD 相机、计算机;所述计算机执行权利要求 1 所述的方法。

液滴体积的测量方法和测量系统

技术领域

[0001] 本发明涉及测量领域,尤其是涉及一种液滴体积的测量方法和系统。

背景技术

[0002] 目前测量液滴的方法主要有两种。其中一种是拟合法(参见:徐志钮律方成等,考虑液滴体积的接触角拟合算法[J],高压电技术,2010年6期),即用一个圆来等效液滴的轮廓,然后计算出圆的体积。由于液滴本身并不是圆形的,所以这种方法计算出的液滴体积偏差较大。这种方法简单易懂,易于实现,当液体体积很小时适用性较好;但对于液滴体积较大的情况,不太适用,因而不具有通用性。在本领域中,还常根据液滴的轮廓边缘计算出液滴的体积(参见:宋晴,张国雄等,图像处理技术用于计算液滴体积[J],光学技术,2004年30卷3期):首先利用 Sobel 算子对灰度图进行边缘检测,得到灰度变化剧烈的区域,该区域包括液滴的真实轮廓、干扰噪声及由于液滴反光造成的内部虚假轮廓;然后,进行阈值化处理,根据统计直方图合理选择域值,去除干扰噪声;再通过对二值图的连通区域标记算法处理,将图像中各个连通区域通过标记成不同的标号来区分开来,选择区域中面积最大的区域,滤除由于反光造成的内部虚假轮廓以及噪声,提高了系统获取边缘轮廓的鲁棒性;最后,进行外围边缘线提取,并采用类似矩形积分的方式来计算体积。这种方法虽然给出了利用图像处理技术计算液滴体积的一般方法,而且效果良好。但是,由于需要测算多个参变量,因而实际应用中很难保证体积计算结果的精确性。

发明内容

[0003] 本发明要解决的技术问题是提供一种测量精度高的液滴体积测量方法。此外,还提供一种液滴体积测量系统。

[0004] 为解决上述技术问题,本发明提供一种液滴体积的测量方法,该方法包括:

[0005] 图像平滑步骤,其用于减少噪声,以得到平滑图像 $f_1(x, y)$;

[0006] 计算梯度幅度和方向步骤;

[0007] 非极大值抑制步骤,用于对幅值图像中的屋脊带进行细化,只保留幅值图像中幅值局部变化最大的像素点;

[0008] 双阈值处理和边缘连接步骤,用于去除虚假边缘并将真正边缘连接起来,得到液滴边缘图像;

[0009] 图像细化步骤,用于得到图像边缘为单像素级别的图像,从而得到液滴外围轮廓;

[0010] 根据所述液滴外围轮廓,得到以像素为单位的液滴高度 H 、每一行的像素个数,以及横截面直径,通过以下公式得到液滴的体积:

$$[0011] \quad V = \sum_{i=1}^N A_i = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^N D_i^2 \Delta H,$$

[0012] 其中, A_i 表示横截面积; ΔH 是指两个连续液滴横截面之间的高度值。

[0013] 优选地, 根据权利要求 1 所述的液滴体积的测量方法, 其特征在于, 所述图像平滑步骤是指将原始图像与高斯函数进行卷积处理。

[0014] 优选地, 根据权利要求 1 所述的液滴体积的测量方法, 其特征在于, 在所述计算梯度幅度和方向步骤中, 设二维高斯函数的 x 方向和 y 方向的一阶导数如公式 (1) 所示:

$$[0015] \quad \begin{cases} \frac{\partial g}{\partial x} = kx \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2}) \exp(-\frac{y^2}{2\sigma^2}) \\ \frac{\partial g}{\partial y} = ky \exp(-\frac{y^2}{2\sigma^2}) \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2}) \end{cases} \quad (1)$$

[0016] 将所述公式 (1) 分别与所述平滑图像 $f_1(x, y)$ 进行卷积, 得到 x 方向上的梯度值和 y 方向上的梯度值:

$$[0017] \quad \begin{cases} E_x(x, y) = \frac{\partial g}{\partial x} * f_1(x, y) \\ E_y(x, y) = \frac{\partial g}{\partial y} * f_1(x, y) \end{cases}$$

[0018] 则可以得到图像梯度的幅度和方向分别为:

$$[0019] \quad \begin{cases} M(x, y) = \sqrt{E_x^2(x, y) + E_y^2(x, y)} \\ \theta(x, y) = \arctan \left[\frac{E_y(x, y)}{E_x(x, y)} \right] \end{cases}$$

[0020] 其中, (x, y) 表示某个像素点; $M(x, y)$ 定义为图像梯度的幅度; $\theta(x, y)$ 定义为图像梯度的方向; $E_x(x, y)$ 表示 x 方向上的梯度值; $E_y(x, y)$ 表示 y 方向上的梯度值; k 为常数。

[0021] 优选地, 根据权利要求 1 所述的液滴体积的测量方法, 其特征在于, 所述非极大值抑制步骤包括: 确定像素点 (x, y) 的梯度方向 $\theta(x, y)$ 的范围; 将所述梯度方向 $\theta(x, y)$ 的变化范围分为 4 个扇区; 将所述像素点 (x, y) 处的所述梯度幅度 $M(x, y)$ 与所述梯度方向 $\theta(x, y)$ 所在扇区的两个相邻像素点的梯度幅度值进行比较, 如果所述像素点 (x, y) 处的所述梯度幅度 $M(x, y)$ 小于等于该像素点 (x, y) 梯度方向所在扇区的两个相邻点的梯度幅度值, 则所述像素点 (x, y) 标记为非边缘点, 将所述 $M(x, y)$ 赋值为 0; 否则, 所述像素点 (x, y) 标记为候选边缘点, 所述 $M(x, y)$ 的值保持不变。

[0022] 优选地, 根据权利要求 1 所述的液滴体积的测量方法, 其特征在于, 在所述双阈值处理和边缘连接步骤中, 由幅值图像的累积直方图得到一个高阈值 T_h , 然后得到一个低阈值 $T_l = 0.4T_h$; 对经过所述非极大值抑制步骤处理后的图像中的每一像素点 (x, y) 进行检测, 如果 (x, y) 梯度幅度值大于高阈值 T_h , 则认为该像素点一定为边缘点; 如果像素点 (x, y) 的梯度幅度值小于低阈值 T_l , 则认为该像素点一定不是边缘点; 对于梯度幅度值处于两个阈值之间的像素点, 则看该像素点的八个邻接像素点里有没有大于高阈值的像素点,

如果有,那么该像素点是边缘,否则就不是边缘;最后,将双阈值处理后的真正边缘连接起来。

[0023] 优选地,根据权利要求 1 所述的液滴体积的测量方法,其特征在于,所述图像细化步骤是指基于索引表的细化方法,其根据欲细化像素点的八个邻域的情况查所述索引表,来决定该像素点是否应该删除。

[0024] 此外,本发明还提供一种液滴体积测量系统,其包括带有镜头的 CCD 相机、计算机;所述计算机执行上述方法。

[0025] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0026] 本发明结合了图像处理的特点,采用图像平滑步骤、计算梯度幅度和方向步骤、非极大值抑制步骤、双阈值处理和边缘连接步骤和图像细化步骤,能够依靠图像处理手段获得液滴体积的精确数值。

附图说明

[0027] 图 1 为对输入图像进行处理并最终获得图像边缘的示意图;

[0028] 图 2 为梯度方向扇区划分示意图;

[0029] 图 3 为图像细化的示意图;

[0030] 图 4 为由液滴图像得到液体轮廓的步骤的示意图;

[0031] 图 5 为液滴的体积和表面积的积分示意图

[0032] 图 6 为液滴体积测量系统示意图。

具体实施方式

[0033] 下面结合具体附图和实施例对本发明做详细的阐述。

[0034] 本发明实施例的液滴体积测量方法基于 Canny 准则来检测液滴图像边缘,然后根据得到的液滴边缘(也即液滴轮廓)最终得到液滴的体积。其中,Canny 准则是 Canny 提出的一个最佳的边缘检测算子所应满足的三个准则,也即:好的检测结果、对边缘的定位要准确以及单边缘响应准则。Canny 边缘检测算子是 John F. Canny 于 1986 年开发出来的一个多级边缘检测算法。

[0035] 图 1 显示了本发明对输入图像进行处理并最终获得图像边缘的示意图。其中包括图像平滑步骤、计算梯度幅度和方向步骤、非极大值抑制步骤、双阈值处理和边缘连接步骤及图像细化步骤。下面针对每个步骤进行详细描述。

[0036] 图像平滑步骤

[0037] 图像平滑处理的目的是对输入的原始图像进行处理以减少噪声,以便计算图像梯度时受噪声干扰最小。平滑函数使用高斯函数,其形式如下:

$$[0038] \quad g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

[0039] 其中, σ 为高斯函数的均方差,在本发明实施例中 σ 取 1。

[0040] 设原始图像为 $f(x, y)$, 则平滑图像用 $f_1(x, y)$ 表示,为原始图像与高斯函数的卷积,即:

$$[0041] \quad f_1(x, y) = f(x, y) * g(x, y)$$

[0042] 由于高斯函数的对称性和可分解性,可以把 $g(x, y)$ 分解为 x 方向和 y 方向的两个一维高斯函数。原始图像与二维高斯函数的卷积可以用以下方法来简化,即原图像先与 x 方向的一维高斯函数进行卷积,然后再与 y 方向的一维高斯函数进行卷积。

[0043] 计算图像梯度的幅度和方向的步骤

[0044] 由于二维高斯函数具有对称性和可分解性,所以可以通过计算高斯函数在任一方向上的方向导数与图像的卷积来得到图像梯度的幅度和方向。

[0045] 采用行列滤波器把高斯函数的一阶导数分解为两个一维的行列滤波器,这样能够提高运算速度。二维高斯函数的 x 方向和 y 方向的一阶导数如公式 (1) 所示:

$$[0046] \quad \begin{cases} \frac{\partial g}{\partial x} = kx \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2}) \exp(-\frac{y^2}{2\sigma^2}) \\ \frac{\partial g}{\partial y} = ky \exp(-\frac{y^2}{2\sigma^2}) \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2}) \end{cases} \quad (1)$$

[0047] 将公式 (1) 分别与 $f_1(x, y)$ 进行卷积,得到 x 方向上的梯度值和 y 方向上的梯度值:

$$[0048] \quad \begin{cases} E_x(x, y) = \frac{\partial g}{\partial x} * f_1(x, y) \\ E_y(x, y) = \frac{\partial g}{\partial y} * f_1(x, y) \end{cases}$$

[0049] 则可以得到图像梯度的幅度和方向分别为:

$$[0050] \quad \begin{cases} M(x, y) = \sqrt{E_x^2(x, y) + E_y^2(x, y)} \\ \theta(x, y) = \arctan \left[\frac{E_y(x, y)}{E_x(x, y)} \right] \end{cases}$$

[0051] 其中, $M(x, y)$ 定义为图像梯度的幅度,也就是原始图像 $f(x, y)$ 的梯度的幅度; $\theta(x, y)$ 定义为图像梯度的方向,也就是原始图像 $f(x, y)$ 的梯度的方向,即像素点的方向角; $E_x(x, y)$ 表示 x 方向上的梯度值; $E_y(x, y)$ 表示 y 方向上的梯度值; k 为常数。

[0052] 非极大值抑制步骤

[0053] $M(x, y)$ 值越大表明所对应的图像梯度值越大,但这不足以确定像素点 (x, y) 是否为边缘点,为了更准确地确定边缘点,必须对幅值图像中的屋脊带进行细化,只保留幅值局部变化最大的像素点。其中,幅值图像(即:梯度幅度图像)就是 $M(x, y)$ 图像。屋脊带是指类似屋脊形的图像边缘区域。细化是通过对图像梯度的幅度进行非极大值抑制处理来实现的。非极大值抑制通过抑制梯度方向上所有非屋脊峰值的梯度幅度值来得到细化边缘。非极大值抑制算法如下:

[0054] 对于每个像素点 (x, y) ,首先确定该点方向角 $\theta(x, y)$ 的范围。方向角的变化范围一共分为 4 个扇区,如图 2 所示。

[0055] 这四个扇区编号为 0、1、2、3。将所述像素点 (x, y) 处的梯度幅度 $M(x, y)$ 与其梯度

方向 $\theta(x, y)$ 所在扇区的两个相邻像素点的梯度幅度值进行比较, 如果所述像素点 (x, y) 处的梯度幅度 $M(x, y)$ 小于等于该像素点 (x, y) 梯度方向所在扇区的两个相邻点的梯度幅度值, 则所述像素点 (x, y) 标记为非边缘点, $M(x, y)$ 赋值为 0; 否则, 所述像素点 (x, y) 标记为候选边缘点, $M(x, y)$ 的值保持不变。经过非极大值抑制处理后的结果记为 $N(x, y)$ 。真正的边缘就包含在 $N(x, y)$ 中那些值不为零的像素点中, 同时这些点中也包含了大量虚假边缘。

[0056] 双阈值处理和边缘连接步骤

[0057] 双阈值处理的目的是去除虚假边缘。为了判定虚假边缘和真正边缘, 对 $N(x, y)$ 进行阈值化处理, 即给定一个阈值, 高于阈值的像素点为真正的边缘点, 低于阈值的像素点为虚假边缘。但是由于使用一个固定的阈值, 阈值太高或太低都影响最终的判定结果。为解决这个问题, 本发明的实施例采用 Canny 提出的双阈值法, 即: 由幅值图像的累积直方图得到一个高阈值 T_h , 然后得到一个低阈值 $T_l = 0.4T_h$ 。其中, 累积直方图代表图像组成成分在灰度级的累计概率分布情况, 每一个概率值代表小于等于该灰度值的概率; 累积直方图是现有技术, 也是图像分析中一种很基本的方法。双阈值处理法首先对 $N(x, y)$ 中的每一像素点 (x, y) 进行检测, 如果 (x, y) 梯度幅度值大于高阈值 T_h , 则认为该像素点一定为边缘点; 如果像素点 (x, y) 的梯度幅度值小于低阈值 T_l , 则认为该像素点一定不是边缘点; 对于梯度幅度值处于两个阈值之间的像素点, 则看该像素点的八个邻接像素点里有没有大于高阈值的像素点, 如果有, 那么该像素点是边缘, 否则就不是边缘。最后, 将双阈值处理后的真正边缘连接起来。

[0058] 图像细化步骤

[0059] 经过上述处理步骤, 得到的图像是二值图像(像素值为 1 的是需要细化的部分, 像素值为 0 的是背景区域。), 已经可以得到一个比较好的边缘检测结果, 但是输出边缘并不是单像素级别的, 而是有一定宽度的。图像细化的目的是得到图像边缘为单像素级别的图像。为了得到单像素级别的边缘检测结果, 继续对输出的边缘进行图像细化操作, 可以得到非常好的单像素级别的边缘。一个简单的图像细化操作如图 3 所示。

[0060] 图 4 显示了由液滴图像得到液体轮廓的步骤的示意图。本发明提供的实施方式采用基于索引表的细化算法来处理经过 Canny 算子处理得到的液滴边缘图像(即轮廓拟合)。所谓的细化就是经过一层层的剥离, 在保持图像原来形状的前提下, 采用细化算法从原来的图像中去掉一些点, 直到得到图像的骨架。细化算法满足收敛性要求, 从而能保证细化后细线的连通性, 并保持原图的基本形状, 而且还能减少笔画相交处的畸变; 细化后的结果就是保留了原图像的中心线; 细化的快速性和迭代次数少。

[0061] 基于索引表的细化算法依据一定的判断依据, 做出一张索引表, 然后根据欲细化像素点的八个邻域的情况查索引表, 来决定该像素点是否应该删除。所述的判断依据描述为: (1) 内部点不能删除; (2) 孤立点不能删除; (3) 直线端点不能删除; (4) 如果某点 P 是边界点, 去掉 P 后, 若连通分量不增加, 则 P 可以删除。由于一个像素的 8 个邻域共有 256 中可能情况, 索引表的大小一般为 256, 表中元素值设置为 1, 表示在该种邻域取值情况下, 像素应被删除; 反之, 则应保留。基于索引表的算法不需要在算法执行时进行判断运算, 而只需要查表, 因此比其他算法要快。

[0062] 得到液滴外围轮廓后, 可以求解得到液滴的体积, 如图 5 所示, 通过累加图中的各

个积分单元的体积即可得到液滴的体积和表面积。

[0063] 由轮廓拟合得到的液滴轮廓,很容易得到以像素为单位的液滴高度差 ΔH (也即轮廓的高度,轮廓的最上与最下像素纵坐标值相减即可)和每一行的像素个数(轮廓所在行最右与最左像素横坐标值相减即可),以及横截面直径 D_i , $i = 1, 2, \dots, N$ 。从而可以得出横截面积 A_i :

$$[0064] \quad A_i = \frac{\pi}{4} D_i^2 \Delta H$$

[0065] 根据数值积分的方法,可以叠加横截面积 A_i 得到液滴的体积 :

$$[0066] \quad V = \sum_{i=1}^N A_i = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^N D_i^2 \Delta H,$$

[0067] 其中, ΔH 是指两个连续液滴横截面之间的高度值。在实际计算中,可以直接使用 1 代替,表示每间隔一个像素高度计算一次积分值。

[0068] 图 5 显示的是液滴体积测量系统。带有镜头的 CCD 相机捕获液滴的图像,将该图像的数字信息传递给计算机。计算机利用上述方法对图像进行处理,得出精确的液滴体积。

[0069] 验证

[0070] 采用直径 5mm 的钢球代替液滴进行仿真实验,结果测量误差为 0.13%。

[0071] 最后所应说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制。尽管参照实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,都不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

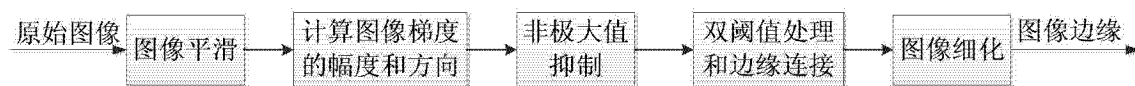


图 1

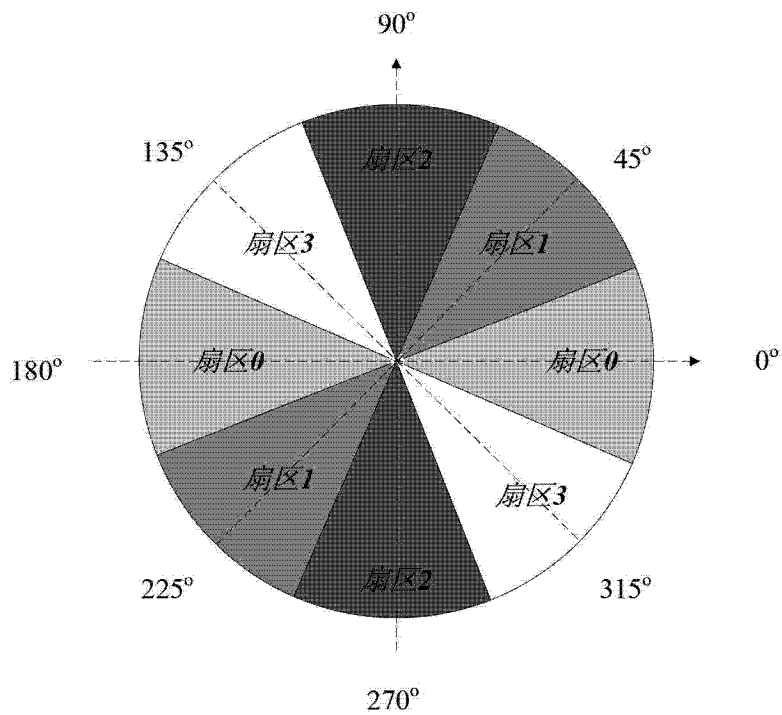


图 2

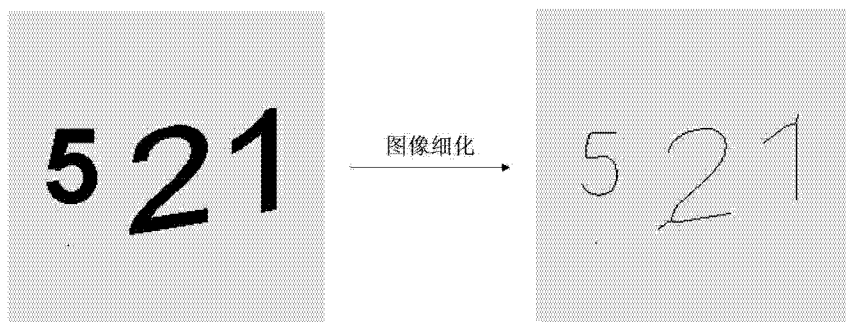


图 3

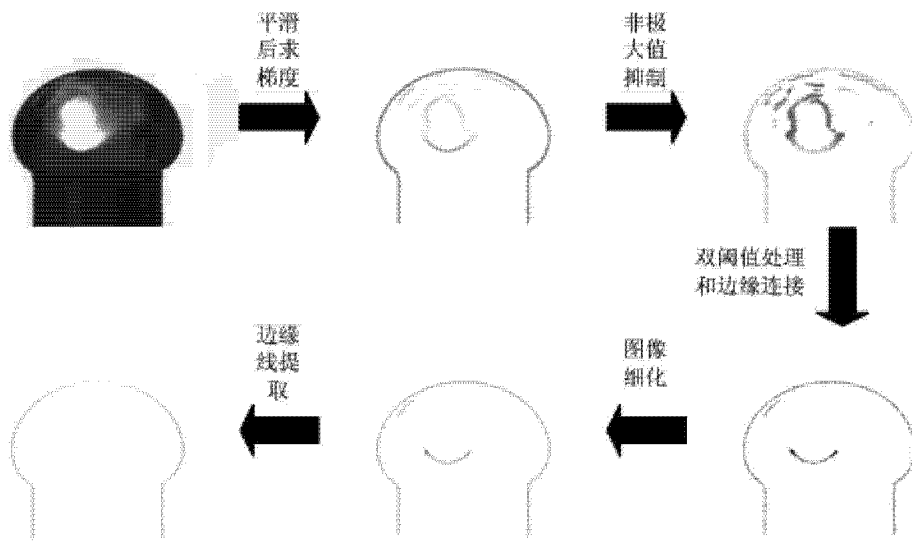


图 4

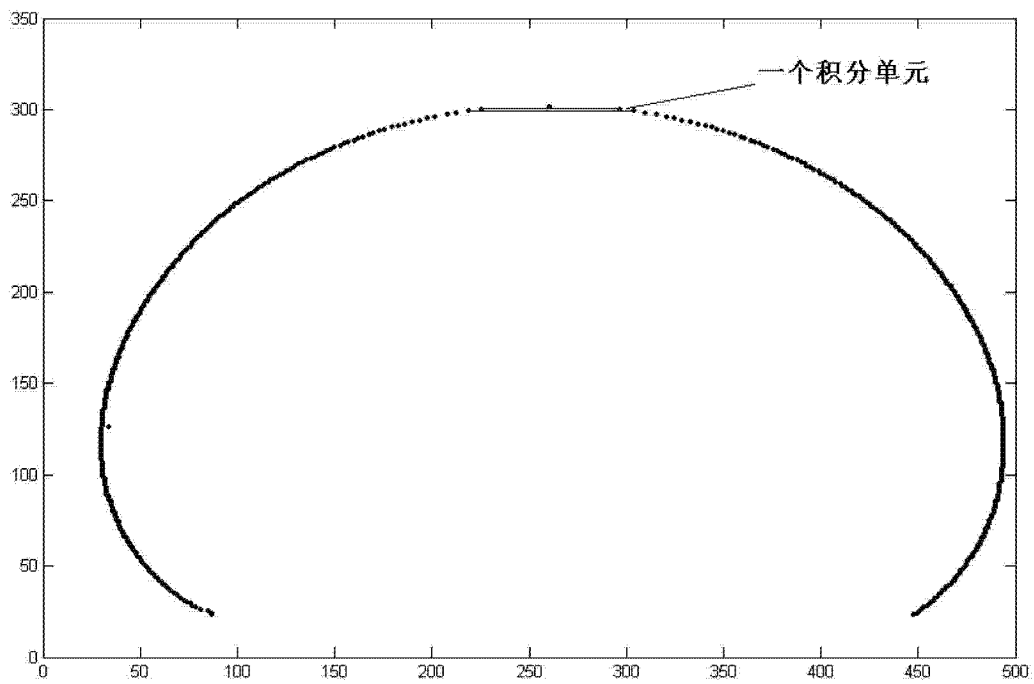


图 5

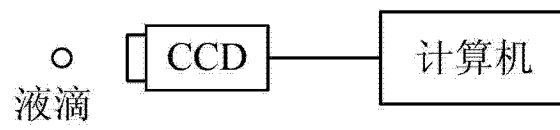


图 6