



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105894521 A

(43)申请公布日 2016.08.24

(21)申请号 201610260230.0

(22)申请日 2016.04.25

(71)申请人 中国电子科技集团公司第二十八研究所

地址 210007 江苏省南京市苜蓿园东街1号

(72)发明人 韩东 李煜祺 凌云 杨俊峰
杜思良 徐俊瑜 李辉

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所
(普通合伙) 32204

代理人 张弛

(51) Int. Cl.

G06T 7/00(2006.01)

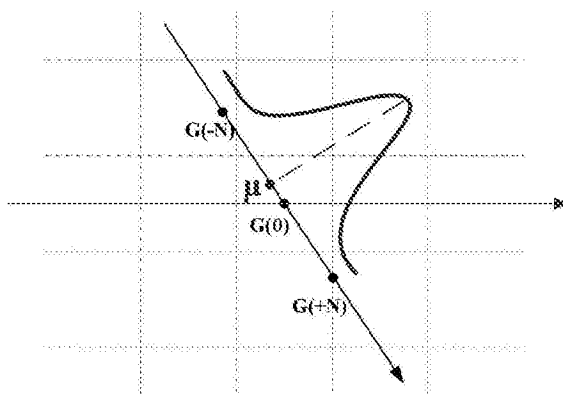
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54)发明名称

基于高斯拟合的亚像素边缘检测方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于高斯拟合的亚像素边缘检测方法,该方法首先利用Canny边缘检测算法得到像素级边缘位置信息,再通过高斯拟合的方法将边缘位置准确度提升为亚像素级。合成图像和真实图像的实验验证了本发明提出的方法的准确度和稳定性,与其他同类算法的比较说明了该方法的优越性。该方法在质量检测、遥感图像处理和三维重建等很多计算机视觉应用场景中有着广阔的应用前景。



1. 一种基于高斯拟合的亚像素边缘检测方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

(1) 建立坐标系,利用Canny边缘检测算法对图像进行边缘的粗定位,获取每个像素点的梯度和像素级边缘点信息;

(2) 假设所述坐标系原点与所述像素级边缘点重合,沿着像素级边缘点的梯度方向取 $2N+1$ 个梯度采样点 $G(-N)\cdots G(0)\cdots G(+N)$,使用所述梯度采样点拟合一维高斯函数,其中 N 是正整数,所述高斯拟合的公式为:

$$\mathcal{N}_{\sigma,\mu,k}(x) = k \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

其中 μ 是亚像素边缘坐标, σ 是高斯函数的标准差, k 表示高斯函数的幅度;得到的高斯函数中心点的位置就是更新的亚像素边缘点坐标。

2. 根据权利要求1所述的基于高斯拟合的亚像素边缘检测方法,其特征在于,所述步骤(1)包括:

(11) 先使用高斯滤波对图像进行平滑并计算滤波图像在每个像素点的梯度;

(12) 利用迟滞阈值和非极大值抑制机制获得较纯净的像素级边缘点信息。

3. 根据权利要求1或2所述的基于高斯拟合的亚像素边缘检测方法,其特征在于,通过插值得到 $2N+1$ 个梯度采样点 $G(-N)\cdots G(0)\cdots G(+N)$ 。

4. 根据权利要求1或2所述的基于高斯拟合的亚像素边缘检测方法,其特征在于,所述亚像素边缘坐标 μ 、高斯函数的标准差 σ 、高斯函数的幅度 k 通过非线性最小二乘法求解,所述非线性最小二乘法中的目标函数为梯度采样点 $G(i)$ 和高斯函数预测点 $\mathcal{N}(i)$ 之间的均方误差:

$$S = \frac{1}{2N+1} \sum_{i=-N}^N (G(i) - \mathcal{N}(i))^2$$

5. 根据权利要求4所述的基于高斯拟合的亚像素边缘检测方法,其特征在于,所述非线性最小二乘法采用的是Levenberg-Marquardt法,所述Levenberg-Marquardt法拟合参数初始值设定为 $k = \max\{G(i)\}$, $\sigma = 2N+1$, $u = 0$ 。

基于高斯拟合的亚像素边缘检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及图像处理技术领域,尤其涉及基于高斯拟合的亚像素边缘检测算法。

背景技术

[0002] 随着机器视觉的发展,配有CCD摄像机的视觉系统被广泛的应用在遥感、测量、质量监控和三维重建等领域。这些领域中的绝大多应用都需要分析图像中的边缘来获得场景的信息,因此准确地提取图像中的边缘信息对视觉系统功能的实现起着至关重要的作用。传统的边缘检测算法如Canny和Sobel算法只能提供像素级的准确率,这意味着整数像素点之间的边缘信息被遗失了。鉴于这种情况,亚像素的边缘检测算法应运而生。目前,亚像素边缘检测算法主要可以分为三类,即插值法、曲线拟合法和基于矩的边缘检测法。

[0003] 插值法通过对像素值和梯度进行插值得到亚像素的精确度。通常该类算法采用多项式拟合法来实现插值的计算,但是多项式阶数的选择是一个棘手的问题:用高阶数的多项式拟合会大大降低计算速度,而用低阶的多项式往往达不到精度的要求。另外,这类算法对图像噪声比较敏感,容易得到较差的效果。

[0004] 曲线拟合方法通过使用已知的边缘模型,将图像梯度数据进行拟合从而获得亚像素精度。例如,使用二维高斯函数作为边缘模型,而后通过求解一个多维最优化来获得边缘信息;也可以先将边缘分为阶梯、直升和屋顶三类,而后使用局部能量函数来确定模型参数,从而获得亚像素边缘位置信息。这些算法大都能在图像噪声存在的情况下取得较好的效果,但是计算量成为限制其应用的一大瓶颈。

[0005] 基于矩的亚像素边缘检测算法也比较多的被采用。例如,灰度矩可以用来进行阶梯边缘模型的拟合,空间矩可以用来计算边缘位置的封闭解。这些算法处理无噪声的合成图像可以获得较好的效果,然而如果图像中含有噪声,算法可能会产生较大的误差。

发明内容

[0006] 本发明的目的:为了准确、快速的得到亚像素精度图像边缘,本发明提供一种基于高斯拟合的亚像素边缘检测算法,从而实现了对图像边缘的精确提取。

[0007] 实现本发明的目的的技术方案为:本发明提供了一种基于高斯拟合的亚像素边缘检测算法,包括以下步骤:

[0008] (1)建立坐标系,利用Canny边缘检测算法对图像进行边缘的粗定位,获取每个像素点的梯度和像素级边缘点信息;

[0009] (2)假设所述坐标系原点与所述像素级边缘点重合,沿着像素级边缘点的梯度方向取 $2N+1$ 个梯度采样点 $G(-N)\cdots G(0)\cdots G(+N)$,使用所述梯度采样点拟合一维高斯函数,其中 N 是正整数,所述高斯拟合的公式为:

$$[0010] \quad \mathcal{N}_{\sigma,\mu,k}(x) = k \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

[0011] 其中 μ 是亚像素边缘坐标, σ 是高斯函数的标准差, k 表示高斯函数的幅度;得到的

高斯函数中心点的位置就是更新的亚像素边缘点坐标。

[0012] 有益效果:与现有技术相比,本发明可以准确、快速的得到亚像素精度图像边缘;与基于插值的和基于矩的亚像素边缘检测法相比具有更好的抗噪性能;对有噪声的图像也可以得到较好的边缘检测准确度;与其他基于拟合的方法相比具有较小的计算复杂度和较快的处理速度。

附图说明

- [0013] 图1是本发明采用的模糊边缘模型;
- [0014] 图2是基于高斯拟合的亚像素边缘提取计算图;
- [0015] 图3是无噪声合成图像;
- [0016] 图4是无噪声合成图像局部放大视图;
- [0017] 图5是加入高斯噪声的合成图像;
- [0018] 图6是亚像素边缘检测距离误差图;
- [0019] 图7是真实图像亚像素边缘检测结果图;
- [0020] 图8是亚像素边缘检测结果左上角局部放大图;
- [0021] 图9是亚像素边缘检测结果右上角局部放大图;
- [0022] 图10是亚像素边缘检测结果左下角局部放大图;
- [0023] 图11是基于轮廓的三维重建结果图。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图和具体实施方式,对本发明作更进一步说明。

[0025] 本发明的基于高斯拟合的亚像素边缘检测方法,包括以下步骤:

[0026] (1)建立坐标系,利用Canny边缘检测算法进行边缘的粗定位。Canny算法先使用高斯滤波对图像进行平滑并计算滤波图像在每个像素点的梯度。而后利用迟滞阈值和非极大值抑制机制获得较纯净的像素级边缘点信息。

[0027] (2)使用高斯拟合进一步将像素级边缘点信息提升为亚像素级。由于图像生成过程具有模糊效应,并且Canny边缘提取算法对图像也有高斯滤波的操作,因此使用高斯模型进行拟合更适合边缘提取的实际情况。

[0028] 结合图1,本发明采用的边缘模型是模糊边缘模型。边缘是图像中灰度值不连续的位置。为了分析边缘信息,现有技术提出了许多边缘模型,例如阶梯模型、直线模型和T形模型。其中,应用最广泛的是阶梯模型。然而,由于图像的模糊特性(图像生成过程本身会产生模糊效应,另外一种可能是由边缘提取算法中的图像滤波造成的),阶梯模型往往被高斯模型所取代。如图1所示,高斯边缘模型可以看做是一个二维的阶梯和高斯函数的卷积。

[0029] 使用高斯拟合获得亚像素精度边缘点定位信息,需要先计算图像中每个像素的梯度。结合图2,虚线网格代表图像中的整数像素点,并且坐标系原点与Canny边缘检测算法粗定位后获取的像素级边缘点重合。沿着边缘点的梯度方向,通过插值的方法获取 $2N+1$ 个梯度采样点 $G(-N)\cdots G(0)\cdots G(+N)$ 。而后利用所述的 $2N+1$ 个采样点拟合一维高斯函数(其中 N 是正整数),得到的高斯函数中心点的位置就是更新的亚像素边缘点坐标。

[0030] 高斯拟合的公式为:

$$[0031] \quad \mathcal{N}_{\sigma, \mu, k}(x) = k \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

[0032] 其中 μ 是亚像素边缘坐标, σ 是高斯函数的标准差, k 表示高斯函数的幅度。

[0033] 拟合过程使用非线性最小二乘法来求解高斯函数 μ, σ, k 参数值, 其中目标函数为梯度点 $G(i)$ 和高斯函数预测点 $\mathcal{N}(i)$ 之间的均方误差:

$$[0034] \quad S = \frac{1}{2N+1} \sum_{i=-N}^N (G(i) - \mathcal{N}(i))^2 \quad (2)$$

[0035] 本发明提出的方法利用Levenberg-Marquardt法对上述最优化问题求解, 拟合参数初始值设定为 $k = \max\{G(i)\}, \sigma = 2N+1, u = 0$ 。

[0036] 下面使用合成图像和真实图像来检测本发明提出的方法的性能。

[0037] (1)合成图像

[0038] 通过采用本发明的方法生成的合成图像如图3至图5所示。图像分辨率为 400×300 , 图像中的直线边缘是根据高斯边缘模型生成的。具体的说, 假设直线表达式为 $ax+by+c=0$, 那么沿着直线法向量方向的灰度分布被设置成高斯函数与阶梯函数的卷积, 即图像的灰度分布函数为:

$$[0039] \quad I(x, y) = (l_{\max} - l_{\min})E(d) + l_{\min} \quad (3)$$

[0040] 其中, $l_{\max}, l_{\min} \in [0, 1]$ 是归一化的灰度最大和最小值, $E(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_b^2}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{x^2}{2\pi\sigma_b^2}} dx$ 是

高斯函数的积分, $d = \frac{ax+by+c}{\sqrt{a^2+b^2}}$ 是像素点 (x, y) 到直线的距离(有符号)。

[0041] 实验中所有图像的模糊因子 σ_b 都被设定为1.2。为测试本发明提出的方法可以检测不同方向边缘, 图像中的直线角度 θ 被设置为从0到1.5rad。像素灰度值被归一化到 $[0, 1]$ 区间, $l_{\max} = 150/255$ 和 $l_{\min} = 50/255$, 即是边缘对比度 $E_c = 100/255$ 。生成的图像中加入了不同等级的高斯随机噪声来测试本发明提出的方法对噪声的鲁棒性。加入的噪声均值为0, 标准差 σ_a 由噪声比 R_N 来控制:

$$[0042] \quad R_N = \frac{\sigma_a}{E_c} \quad (4)$$

[0043] 在实验中, R_N 取为1%到20%区间; 高斯拟合用的数据点数为11, 即 $N=5$ 。为评估本发明提出的方法的有效性, 实验中用检测到的边缘点与边缘真实位置(直线)之间的距离作为评价标准。从得到的实验数据中看到, 由于该距离是带符号的距离, 其均值 μ_e 非常接近0, 因此将其标准差 σ_e 和边缘直线角度的关系作为评价性能标准, 如图6所示。

[0044] 从图中可以看到, 当 R_N 是1%的时候, σ_e 小于0.02像素, 体现了本发明提出的方法的准确性; 而即使 R_N 是20%的时候, σ_e 也在0.17像素以下, 充分证明了该方法的鲁棒性。另一方面, σ_e 值在 θ 变化的时候基本保持稳定, 说明该方法不依赖于边缘的角度, 可以用于提取不同角度的边缘信息。

[0045] 将本方法的检测结果与现有技术中具有代表性的亚像素边缘提取算法进行了比较。文献《High-accuracy edge detection with blurred edge model》使用了二维高斯函数进行拟合, 是亚像素边缘提取文献记录中实验结果最好的实验之一。为了进行比较实验,

该实验中选取了与该文献一致的边缘参数,即 $\sigma_b=1.2$, $l_{\max}=150/255$ 和 $l_{\min}=50/255$,并选择 $\theta=0.8$ 的数据与该文献中窗口大小为 11×11 的图像集1的结果进行比较,比较结果见表1。从表1中可以看出本发明得到的误差均值和标准差都小于该文献的结果,证明了本发明提出的方法的优越性。

[0046] 表1 亚像素边缘检测比较表

R_N	μ_e		σ_e	
	本文	现有技术	本文	现有技术
1%	-0.000419	-0.0058	0.017555	0.0131
3%	-0.001999	-0.0022	0.022880	0.0369
5%	-0.003288	0.0180	0.030813	0.0684
10%	-0.003275	0.0065	0.053384	0.1150
15%	-0.001573	0.0430	0.084578	0.3220
20%	-0.002185	0.1302	0.118631	0.8391

[0048] (2)真实图像

[0049] 使用真实图像来检测本发明提出的方法的有效性,图像由Olympus SH-21摄像机采集得到。场景中的前景物体为一个绿色玩具兔模型,背景是灰度平面图案,检测到边缘结果如图7到图10所示。其中,连续实线代表了检测到的亚像素边缘。

[0050] 使用本发明提出的方法检测10幅图像中同一个物体的轮廓,并使用检测到的多视角轮廓作为三维重建的输入,经过摄像机自标定、可视凸壳重建等过程得到物体的三维重建模型,如图11所示。三维重建模型的正确性验证了本发明的有效性。

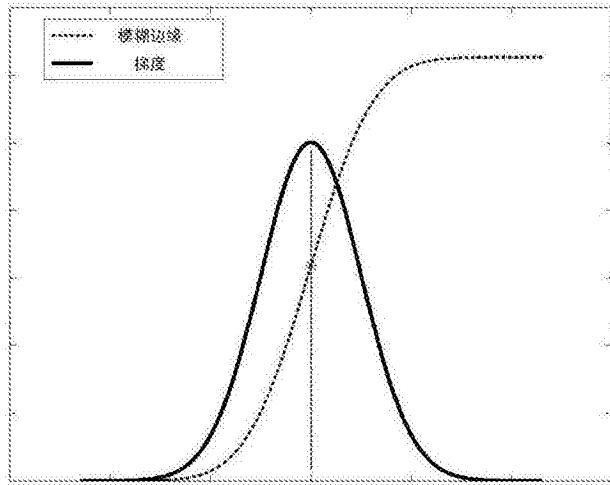


图1

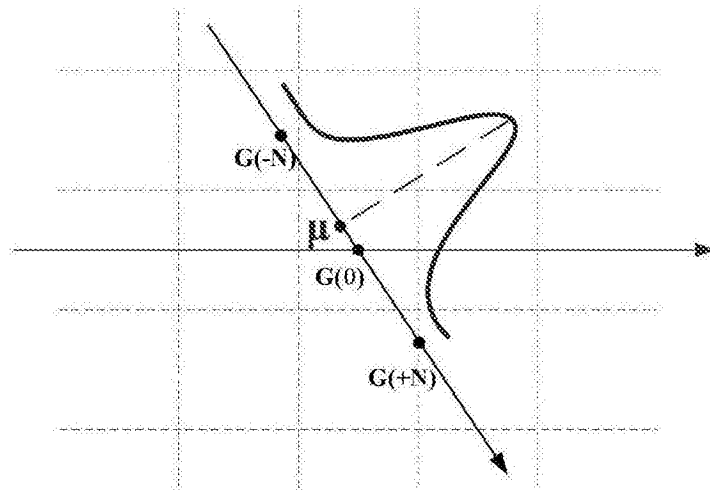


图2



图3

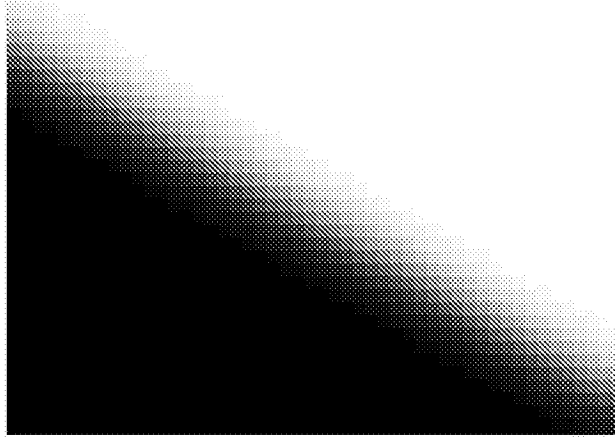


图4

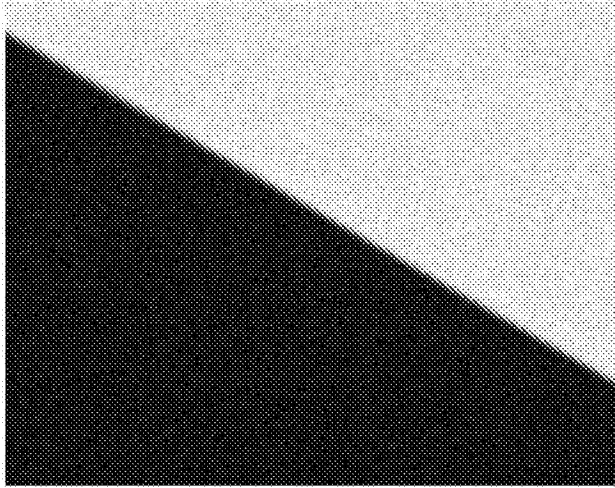


图5

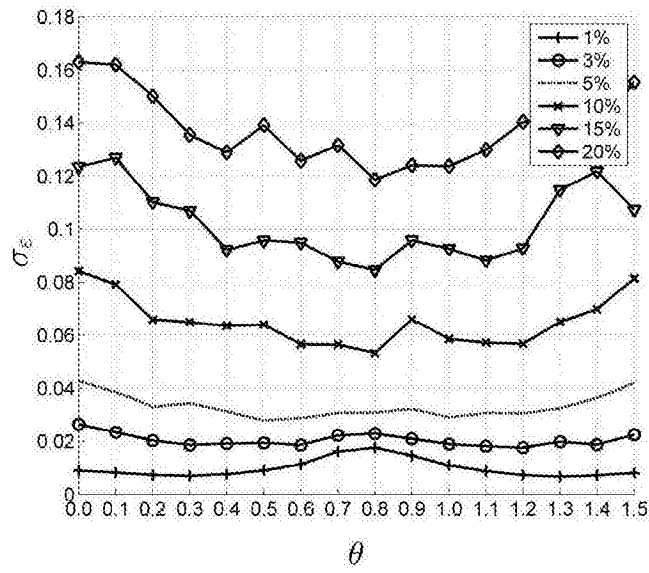


图6

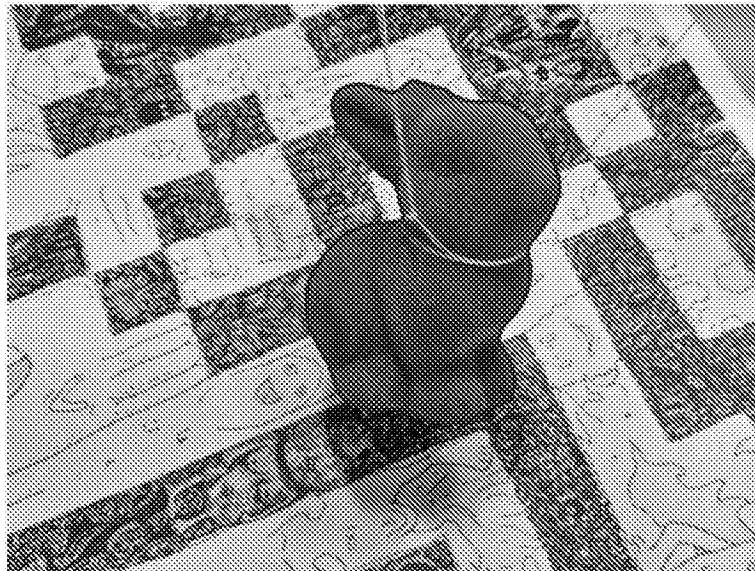


图7

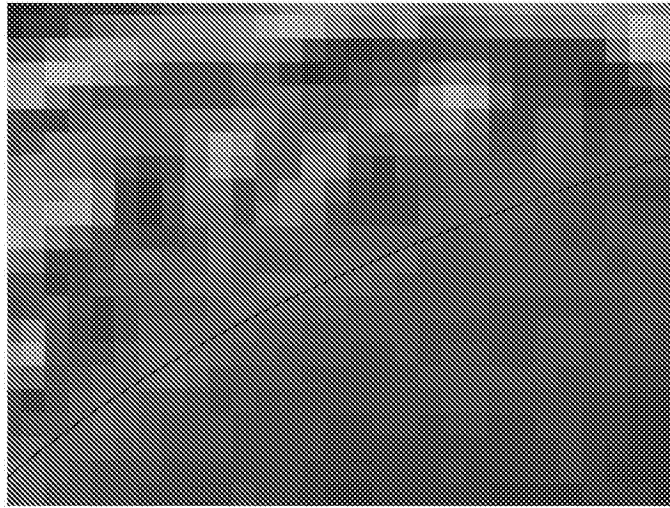


图8

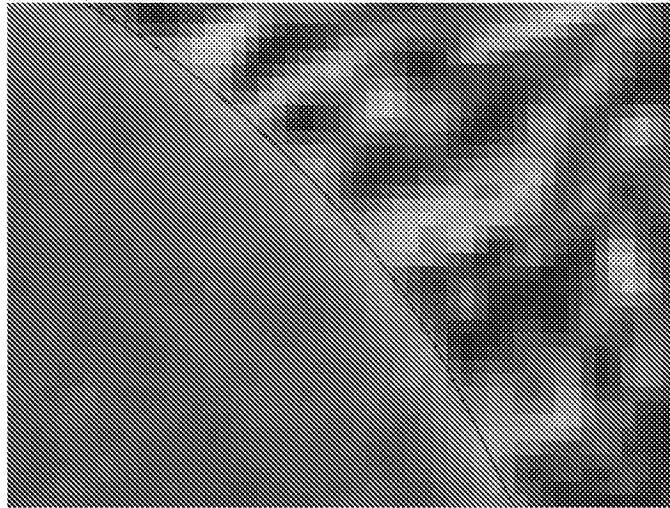


图9

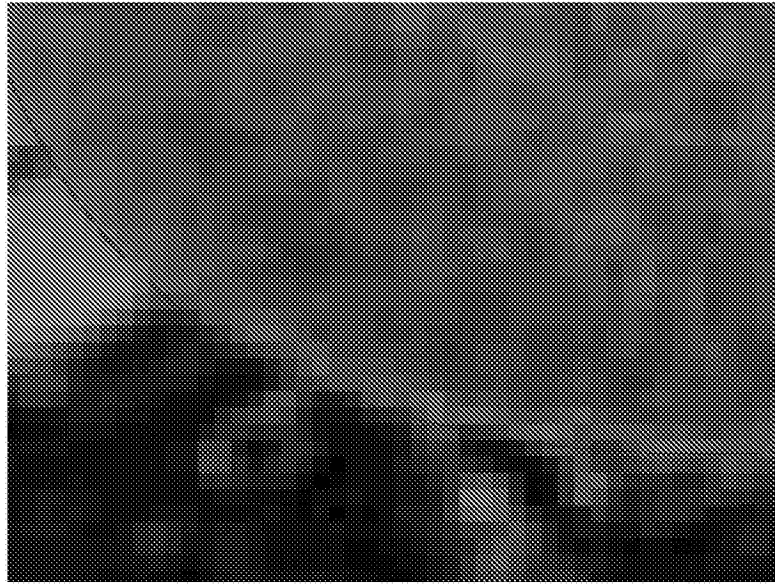


图10

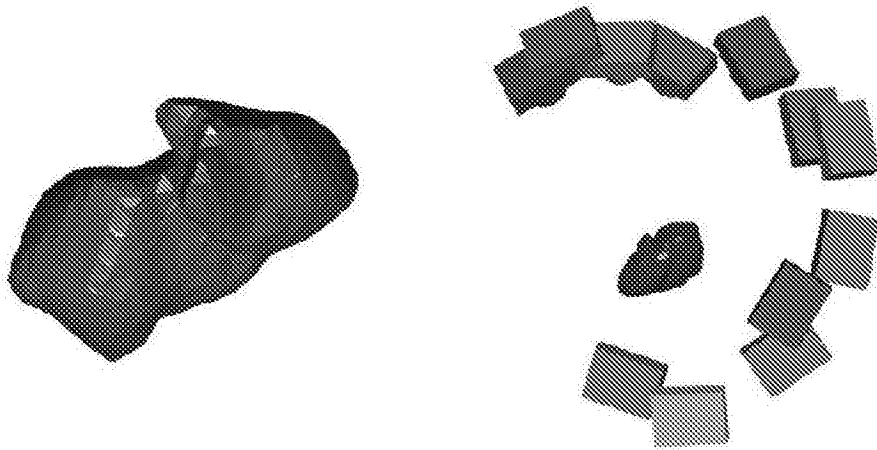
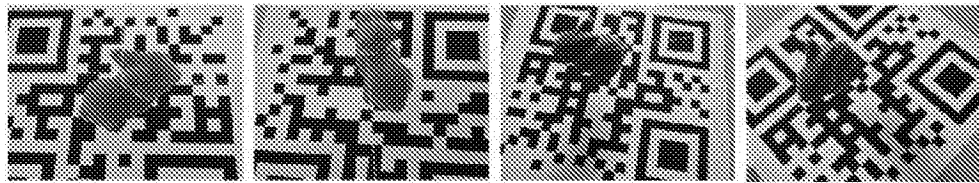


图11