

文章编号: 1005-5630(2011)01-0019-05

一种改进的六边形结构的 Canny 边缘检测算法*

李海华, 齐红敏, 万亮亮

(华中科技大学 文华学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 在图像处理过程中, 为了获取更精确的边缘轮廓, 将直线插补运算与六边形图像结构相结合, 提出了一种简单高效的边缘检测方法。先用高斯滤波器对图像进行滤波, 再使用 Sobel 算子进行边缘检测, 最后按给定阈值对边缘进行精确提取, 经过这三个步骤完成图像的边缘检测。通过实验验证了六边形图像结构的 Canny 边缘检测算法比常见的 Canny 边缘检测方法更精确、更能抑制噪声; 而且直线插补运算在图像边缘检测中具有较快的计算速度, 比非线性插补计算效率高。

关键词: 边缘检测; 六边形结构; 图像内插; 高斯滤波器

中图分类号: TN 911.73 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1005-5630.2011.01.005

An improved algorithm of Canny edge detection of a hexagonal structure

LI Haihua, QI Hongmin, WAN Liangliang

(Wenhua College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To get the more accurate edge maps of an image in the course of image processing, a simple edge detection method with high efficiency has been presented with combining the linear interpolation algorithms with the hexagonal image structure. The edge detection approach goes through three steps: noise filtering using a Gaussian filter, edge detection using Sobel operator and edge refining using thresholds. Through the experiment, we have shown that hexagonal structure leads to more accurate and less noise edge maps compared with the Canny edge detector. And using of linear interpolation results in more efficient edge detection than non-linear interpolation algorithms.

Key words: edge detection; hexagonal structure; image interpolation; Gaussian filtering

引 言

边缘检测是一种数字最优化问题, Canny 算子在边缘检测算法中得到了广泛的应用^[1,2]。近几年, 图像的边缘检测算法得到了迅速的发展, 出现了很多改进的边缘检测算法, 如用六边形结构来描述图像的 Canny 边缘算法。

六边形图像结构有很多优点, 如对称性好、角分辨力高、像素点连通, 且在图像处理过程中需要的计算量小。如果在一个形状规则的正方形窗中模拟排列出六边形的栅格, 原正方形以及六边形区域内的每个像素都认为是亚像素的集合, 那么组成六边形与正方形像素的所有亚像素的亮度都可以采用插值的方法

* 收稿日期: 2010-09-09

作者简介: 李海华(1980-), 男, 湖北荆门人, 讲师, 硕士, 主要从事光电检测及自动控制方面的研究。

法来计算。

现对 Canny 边缘检测算法进行了改进,图像滤波和梯度计算均采用六边形结构来完成,边缘的判定通过直线插补运算后的正方形结构来完成。图像经过边缘增强,且六边形的方向确定之后,可以根据某一阈值进行直线插补计算来确定正方形结构的相应的边缘^[3]。

1 六边形和正方形结构之间的转换

由于没有硬件可以将图像进行采集或显示成六边形像素结构,文中采用软件途径来构造六边形结构^[4]。假设用正方形像素来描述原始图像时,其行和列的数量都是 8 的倍数,即图像有 $8M$ 行 $8N$ 列^[5]。构造六边形的像素时,先把每个正方形的像素分割成 7×7 个小的像素,即亚像素。

文中采用一种新的方法来定位六边形像素区域,每个六边形像素由 56 个亚像素组成。图 1 中给出了 7 个六边形亚像素区域的排列方法。把行为 0 列为 0(第 1 行第 1 列)的正方形像素的中心亚像素定位为第一个六边形像素的中心亚像素。第一个六边形像素位置确定后,可以依次将其余六边形像素的位置确定下来。

从图 1 可知,所有六边形像素和相应的正方形像素的中心都在同一列。如果利用正方形结构中定义行和列的方法来定义六边形亚像素区,可以发现行和列正好与正方形结构中的行和列相吻合。这样,正方形结构中的每一列正好是六边形结构中的列,因为在两种结构中,相邻两列之间的距离都是 7 个亚像素的宽度。而且,很容易发现第 1 行(即为 0 的行)和依次每隔一行的像素都分别位于 1、3、5 等奇数列,偶数列没有像素。类似的,第 2 行及每间隔一行的像素都分别位于 2、4、6 等偶数列,而奇数列没有像素。

图 1 中,六边形像素由 56 个亚像素组成,将它们的中心亚像素定义在第 4 行中间列,这个亚像素也叫做参考亚像素,用 $P_i(i=0,1,2,\dots,6)$ 来表示。可见,六边形像素 P_1 (位于像素中心上方)单独位于一行,像素 P_2 和 P_6 位于另一行,接下来 P_0 单独位于一行, P_3 和 P_5 位于一行, P_4 单独位于一行。同时,还发现像素 P_5 和 P_6 位于同一列,像素 P_1 、 P_0 、 P_4 位于另一列, P_2 和 P_3 位于最后一列。可以计算出在一幅尺寸为 $8M \times 8N$ 的图像中,六边形结构共有 $(14M-1)$ 行和 $8N$ 列。

1.1 正方形转换成六边形结构

若用 X 来表示一个给定的六边形像素的参考亚像素,则在该列中存在两个正方形像素与 X 相邻,把这两个正方形像素的中心亚像素分别记为 A 和 B ,亚像素点 X 位于 A 和 B 之间。

将 A 、 B 和 X 在亚像素空间中的坐标分别用 $A(A_x, A_y)$ 、 $B(B_x, B_y)$ 和 $X(X_x, X_y)$ 来表示。令:

$$\alpha = \frac{|A_y - X_y|}{|A_y - B_y|} \quad (1)$$

则,由式(1)可计算出:

$$X = (1 - \alpha)A + \alpha B \quad (2)$$

如果用 $f(X)$ 来表示图像中某一像素(正方形像素或者六边形像素)的亮度值,分别以 $(1 - \alpha)$ 和 α 作为加权系数,那么经过直线插补运算后亚像素 X 的亮度值为:

$$f(X) = (1 - \alpha) \cdot f(A) + \alpha \cdot f(B) \quad (3)$$

1.2 六边形转换成正方形结构

将六边形转换成正方形结构时,可以采用类似的直线插补计算方法。若用 A 来表示某个正方形像素(除了第一行和最后一行)的中心亚像素,则在该列中存在两个六边形像素与 A 相邻,把这两个六边形像素的中心亚像素分别记为 X 和 Y ,亚像素点 A 位于 X 和 Y 之间。

类似的,将 A 、 X 和 Y 在亚像素空间中的坐标分别用 $A(A_x, A_y)$ 、 $X(X_x, X_y)$ 和 $Y(Y_x, Y_y)$ 来表

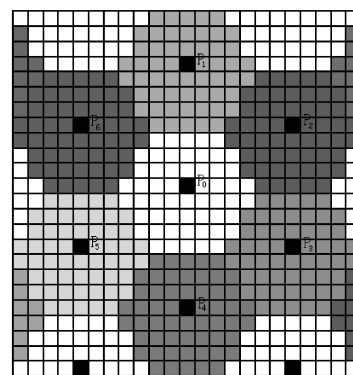


图 1 参考亚像素位置图

Fig. 1 Location map of reference sub-pixels

示。令:

$$\beta = \frac{|A_y - X_y|}{|X_y - Y_y|} \quad (4)$$

则,由式(4)可计算出:

$$A = (1 - \beta)X + \beta Y \quad (5)$$

类似的,以 $(1-\beta)$ 和 β 作为加权系数,经过直线插补计算,可得 A 点的亮度值为

$$f(A) = (1 - \beta) \cdot f(X) + \beta \cdot f(Y) \quad (6)$$

2 边缘检测

Canny 边缘检测算子利用高斯滤波器来抑制图像中的噪声。一幅图像的边缘方向事先是不知道的,因此,传统的 Canny 算法使用不同的算子分别从水平方向、竖直方向和两个对角线方向对噪声进行滤波,来进行边缘检测。使用边缘检测算子获得亮度的梯度值,亮度梯度值较大的像素点比亮度梯度值小的像素点更可能是图像的边缘。

通常情况下,在进行边缘检测时不可能指定一个阈值来限定亮度梯度值的大小。如 Canny 算法用两个阈值来进行限定,其中一个阈值较大,另一个阈值较小。Canny 算法先用较大的阈值找出图像中最可能是边缘的像素点,然后沿着估计的方向,用小的阈值在图像中找出其它的可能是边缘的像素点。

对图像的边缘检测分三个步骤来完成。先用高斯滤波器滤除噪声,再使用 Sobel 算子进行边缘检测,最后按给定阈值对边缘进行精确提取。

2.1 噪声滤波

在对图像的边缘轮廓进行提取之前,通常先要对图像进行滤波^[6],以便消除或抑制噪声。最常见的滤波方法是对原始图像进行高斯滤波。高斯滤波器用像素邻域的加权均值来代替该点的像素值,而每一邻域像素点权值是随该点与中心点的距离而单调变化的。

径向基函数就是空间中任一点 a_i 到某一中心 a_0 之间欧氏距离的单调函数,记为 k ,当 a_i 远离 a_0 时函数取值很小。最常用的径向基函数是高斯核函数,其表达式为:

$$k = \sum_{i=0}^{n-1} e^{-\frac{(a_i - a_0)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

式(7)中, a_0 为核函数中心,即参考像素; $a_i (i=0, 1, \dots, n-1)$ 为与 a_0 相邻的 n 个像素; σ 为函数的宽度参数,控制了函数的径向作用范围。

利用高斯核函数作为径向基函数,用 $f(a_i)$ 表示图像中某像素点原始的亮度值,则参考像素 a_0 新的亮度值 $h(a_0)$ 可由下式计算:

$$h(a_0) = k^{-1} \sum_{i=0}^{n-1} f(a_i) e^{-\frac{(a_i - a_0)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

考虑到 99.5% 的能量都集中在墨西哥帽中心区域,为了提高计算速度,式(8)只计算每个参考像素附近很小的区域,即以参考像素为中心、半径为 3σ 的圆形区域。文中取 $\sigma=1, n=49$,以参考像素为中心,利用式(7)和式(8)对六边形结构中的 49 个亚像素进行加权平均值计算,即可获得参考像素新的亮度值。

2.2 边缘检测

现对六边形结构进行边缘检测时,利用 Sobel 算子来计算每个六边形像素(即它的参考亚像素)的边缘强度和梯度^[7]。

2.3 边缘精提取

经过滤波和边缘检测之后,所有六边形像素都获得了亮度值,边缘轮廓上的六边形像素及强度都显示出来了。再利用前面介绍的直线插补运算,只需要简单计算每个正方形像素的亮度值,就可以获得原始正方形结构的边缘轮廓,该轮廓显示出了边缘像素点及其强度。最后,按照常规的 Canny 边缘检测的方法,使用一个较大的阈值和一个较小的阈值来获得最终的边缘轮廓。

3 实验结果

现选用 8 位灰度级、尺寸大小为 256×256 的 Lena 图片作为原始图像,如图 2 所示。文中运用六边形结构方法进行了边缘提取,并与用正方形结构方法、以及图像的非线性插值法提取的边缘轮廓进行了比较。

图 3 所示为采用三种不同方法分别提取出的边缘轮廓效果图。图 3(a)是利用正方形结构算法提取出的边缘轮廓;图 3(b)是利用六边形结构对图像进行非线性插值计算方法获取的边缘轮廓;图 3(c)是利用文中提出的六边形结构直线插补方法得到的边缘效果。三种算法都是在参数 $\sigma=1$ 和 $n=49$ 的情况下进行高斯滤波,并且用相同的阈值对边缘轮廓进行精确定位。其中,较大的阈值取 0.125,小的阈值取 0.05。



图 2 原始的 Lena 图像
Fig. 2 Original Lena image

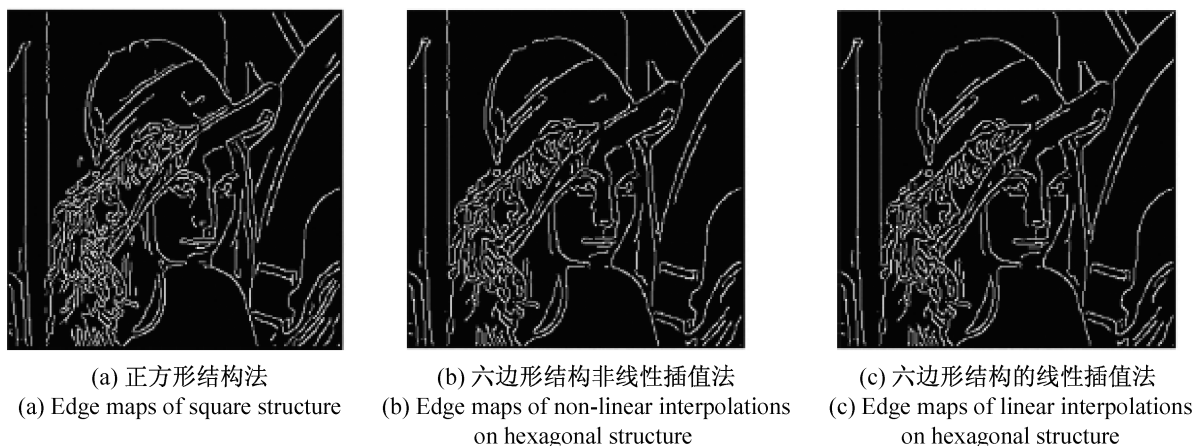


图 3 不同方法提取出的边缘效果图

Fig. 3 Edge detection effect map based on different method

图 3(b)中用六边形结构方法提取出的边缘比图 3(a)中的轮廓更清晰、噪声较少、分割出的模糊不清的边缘也较少,这些特征可以从图像中头发区域的轮廓清楚地进行比较。由于六边形结构的高斯滤波器的窗口比正方形结构的要大,因此,图 3(a)中比较重要的边缘点都包含在图 3(b)中。可见,六边形结构的高斯卷积在保持图像重要信息的同时,能够更好的抑制图像噪声。

图 3(c)中显示的边缘轮廓与图 3(b)中的非常相近,但是图 3(c)所用的直线插补计算比较简单,计算速度也比非线性插值法要快得多。因此,利用直线插补运算进行边缘检测的方法比前两种方法效率更高,并且没有减少有用的边缘信息。

4 结 论

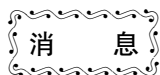
文中将简单的直线插补运算与六边形图像结构的优点相结合,利用简单高效的直线插补运算取代非线性插值计算,提出了一种简单高效的边缘检测方法。图像经过边缘增强,且六边形结构的方向确定之后,可以根据某一阈值进行直线插补计算来决定正方形结构的相应的边缘。并利用 8 位灰度图像进行了边缘提取实验,实验证明用改进的边缘检测方法提取出的边缘轮廓比常见的 Canny 边缘检测方法更精确、更能抑制噪声,并且直线插补运算在边缘检测中具有较高的计算效率。

参考文献:

- [1] CANNY J F. A computational approach to edge detection[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,

1986,8(11):679—698.

- [2] 雒涛,郑喜凤,丁铁夫.改进的自适应阈值 Canny 边缘检测[J].光电工程,2009,36(11):106—111.
- [3] 吴铮生,党向盈,赵勇.基于阈值控制的边缘自适应快速图像插值算法[J].计算机工程,2007,33(22):226—228.
- [4] HE X J, JIA W J, WU Q. An approach of Canny edge detection with virtual hexagonal image structure[A]. Proceedings of 10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision[C]. Hanoi: IEEE, 2008: 879—882.
- [5] 李海华,杨练根,王选择.光栅在驱动控制系统运动位移测量中的应用[J].光学仪器,2007,29(2):22—26.
- [6] 张洁,檀结庆.基于非线性滤波的边缘检测算法[J].计算机应用研究,2009,26(10):3966—3967.
- [7] 袁春兰,熊宗龙,周雪花,等.基于 Sobel 算子的图像边缘检测研究[J].激光与红外,2009,39(1):85—87.



基于新型“LED 印制”工艺 超薄发光二极管软片问世

据美国物理学家组织网 10 月 19 日报道,美国伊利诺斯大学香槟分校和一个国际联合研究小组的研究人员不久前开发出了一种超薄发光二极管(LED)软片,可用于医疗、传感器制造等多个领域。相关研究 10 月 17 日发表在《自然·材料》杂志网站上。

据称,这种新型发光二极管呈网格状,100 μm 见方,厚度只有 2.5 μm ,远远小于目前市场化的任何发光二极管阵列。研究人员称其具有良好的防水性能和生物相容性,因此在医学等领域都有着广泛的应用前景,可用于制作多种材料和设备,如可植入皮下的诊断仪器、发光的外科手术手套、缝合线以及智能送药系统等。

目前现有 LED 的制造技术主要是通过将一个半导体晶片封装在环氧树脂中来实现的。负责该项研究的美国伊利诺斯大学香槟分校材料与工程学教授约翰·罗杰斯说,这个过程中使用的设备“大且笨重”,根本无法制作出可弯曲的网状 LED。

为了攻克这一难关,研究人员开发出了一种新型“LED 印制”工艺:先通过类似于计算机芯片的制作技术,将半导体晶片印制在一块玻璃基板上,而后再将其转移到预先准备好的基片上进行后续制作。这种超薄发光二极管在基片的兼容性上极为灵活,包括铝箔、橡胶在内的多种材料均可适用。

此外,研究人员还用这种新技术制成了一种被称为“图像探测仪”的感光传感器,它能够对光线在物体间的反射作出反应。研究人员称,结合微型传感器和 LED,这种技术将有助于机器人的研发。

罗杰斯说,一个现有的例子就是家用扫地机器人,这种机器人正是凭借安装在其中的感光传感器来躲避墙壁、楼梯、家具以及其他物体的,因此,即使把它放到桌子上面它也不会掉下来。而如果用新技术制作一个以光学为基础的近距离传感器,并将其按弧度包裹在机器人表面,那么其对位置和距离的感应能力将更为强大,精确度也会更高,这是传统硬质 LED 所无法比拟的。

(摘自《科技日报》)