

一种基于梯度极值的边缘检测算法

苑玮琦

王建军 张宏勋

(沈阳建筑工程学院 沈阳 110015) (东北大学信息工程学院 沈阳 110006)

摘要 分析了经典微分边缘检测算法存在的问题,提出了一种基于局部区域微分极值的边界检测算法,该算法的特点是在局部区域边界检测窗口内直接提取边界象素,分割的边界为真实边界,边界连续性好,适合于照度不均匀图象的分割.实例给出了令人满意的结果.*

关键词 微分算子, 梯度极值算子, 边缘检测, 图象分割

1 前言

微分算法是一种经典边缘检测算法,也是边界检测中的一种基本算法,许多新的算法都是在微分算法基础上改进和发展的.微分算法主要包括一次微分,二次微分,和模板操作等,模板操作实质上也是一种微分操作.一次微分算子主要有 Roberts 算子, Sobel 算子, Prewitt 算子,模板操作主要有 Kirsch 模板, Robinson 模板, Prewitt 模板, Laplacian 算子为二次微分算子^[1-2].这些算子响应于灰度级变化,或平均灰度级变化.这些算子所检测的边界通常不是人类视觉观测到的真正边界. Canny^[3]认为,一个好的边界检测器应该具有以下 3 个特点: (1) 低概率的错标非边界点和低概率的不标真实边界点(即好的检测); (2) 按边界标的点应该尽可能的靠近真实边界中心(即好的定位); (3) 边界响应是单值的.而微分算法分割的图象与 Canny 给出的标准还有一定的距离.本文首先讨论微分算法的特点和不足之处,然后给出利用局部区域梯度极大值直接确定边界的算法.

2 经典微分算法

微分算子在图象灰度级迅速变化的点处得到较高的值,因此,任何这类算子都可以作为边界检测器,它在某一点的值就代表在该点的边界强度,并且可以对这些值设置门限,明确地从图象中提取边界点集.

在梯度空间考察灰度图象可以看到,由于光线照度不均匀,或光线的照射角度不同,一方面在图象的不同区域,其边界梯度强度并不相同;另一方面,一些区域的非边界部分的梯度强度可能要高于其他区域的边界部分梯度强度.另外,除了边界点具有较大的梯度外,被检测目标物体表面的不光滑部分,信号输入过程中的噪声等点也具有较大的梯度.因此,差分直方图在很多情况下不具有双峰特性.对微分运算值进行阈值判决,将会有两种情况发生,如果域值选取过高,将使具有较低梯度强度的边界象素被当作非边界象素处理,使经过边界检测器输出的图象边界具有缺口;如果域值选取过低,将使具有较高梯度强度的非边界象素被当作边界象素处理,使经过边界检测器输出的图象边界变宽.因此,对于上述情况,无论怎样选取阈值都不会得到即不出现边界缺口,也不出现边界变宽的结果,这是微分算子存在的第一个问题.另一方面,无论是由微分算子的定义,还是由微分算子定义引出的各种微分算子,如 Roberts 算子,

Sobel 算子等,对边界象素的定位都没有定义,因此,微分算子给出的边界不是唯一的.这是微分算子存在的第二个问题.对于 Laplacian 算子,经过二次微分后,所提取的边界象素已经不在原来的边界线上.由于二次微分算子没有方向性,对定位失真也无法进行修正.因此,定位失真是微分算子存在的第三个问题.模板匹配的实质也是一种差分操作,但它具有平滑噪声的优点,并且根据各小区域边缘的方向进行连接,能够得到比一、二次微分较好的结果,其缺点是计算量较大,并且微分算子所存在的 3 个问题在模板操作中都不不同程度地存在.

3 微分极值算法

微分算子不能给出较理想边界的主要原因在于:(1)微分算子是一种多值响应算子;(2)微分算子没有严格的定位准则;(3)需要将局部特征值,即各象素点的微分强度值,进行总体分类判决.如果能在尽可能小的局部区域内直接进行边界象素归属的判决,其结果将不受图象各区域光线照度不均匀的影响.本文针对微分算子所存在的问题,设计一个梯度极值算子窗口,在窗口内直接提取边界特征象素,其特征象素点集将包括,且将包括全部边界象素.

首先从梯度空间来分析连续灰度图象.梯度定义为空间一点在各个方向上微分的最大值.在视觉边界线处灰度应具有跃变,也就是梯度应具有极大值,而且具有极大值的梯度方向应该与边界线的法线方向一致.现在来看离散梯度空间,如果某一象素刚好处于边界线上,则在与边界线垂直的方向上,在一个小的直线邻域内,该象素点的梯度将具有极大值.反之,如果在图象平面某一个直线方向上,一象素在该方向上的梯度绝对值是其邻域象素中的极大值,则该象素可能是边界点象素.因此,如果能将在某一方向上具有直线邻域内象素梯度极大值的所有象素提取出,其集合必将包含,且将包含全部边界点象素.这里应该指出的是,在进行象素梯度比较时,要求各象素梯度必须是同一方向的梯度,其目的在于保证边界响应的唯一性.



图 1 5×5 算子窗口

设计一个 5×5 边界检测算子窗口如图 1 所示,原始灰度图象用 $f(i, j)$ 表示,窗口中心象素 (i, j) 为待检测边界象素, (x, y) 为窗口中心象素 (i, j) 八邻域的一个象素,定义窗口中心象素 (i, j) 点在 m 方向上的梯度强度为

$$g_m(i, j) = f(x, y) - f(i, j) \quad (1)$$

即由窗口中心象素的八邻域象素灰度值减去中心象素灰度值,两象素连线方向为梯度方向.为了求边界法线方向梯度极值点,至少需要 3 个梯度值进行比较,也就是说至少需要 4 个象素点进行比较.本文设计在一条直线上选择 4 个连续象素,求出相邻 3 个象素的梯度值,其中 3 个连续象素中间的一个即为窗口中心象素.按上述设计方法,环绕并通过窗口中心可以作出 8 条直线,即在窗口内有 8 个边界象素检测方向,分别为 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$.设在窗口内,通过窗口中心象素的某一直线方向上,4 个象素依次排列为 $(X_0, Y_0), (i, j), (X_1, Y_1), (X_2, Y_2)$.则在该方向上,3 个象素点的梯度分别定义如下:

$$g_m(X_0, Y_0) = f(i, j) - f(X_0, Y_0) \quad (2)$$

$$g_m(i, j) = f(X_1, Y_1) - f(i, j) \quad (3)$$

$$g_m(X_1, Y_1) = f(X_2, Y_2) - f(X_1, Y_1) \quad (4)$$

式中下标 m 表示窗口边界象素检测方向,共有 8 个检测方向.如果窗口中心象素 (x, y) 是边界象素,当 $g_m(i, j) > 0$ 时,则在某一个方向上下列两式同时成立

$$g_m(i, j) > g_m(X_0, Y_0) \quad (5)$$

$$g_m(i, j) > g_m(X_1, Y_1) \quad (6)$$

将上述两式合并, 微分极值边界检测算子表示为

$$G_m(i, j) = [g_m(i, j) - g_m(X_0, Y_0)] [g_m(i, j) - g_m(X_1, Y_1)] \quad (7)$$

如果 $G_m(i, j) > 0$, 则 $f(i, j)$ 为 m 方向上可能的边界象素. 这里 m 方向即为边界的法线方向. 用上述边界检测窗口扫描图象所有象素, 将符合 $G_m(i, j) > 0$ 的所有象素点置 1, 否则置 0, 从而得到二值化图象. 在满足 $G_m(i, j) > 0$ 的象素集合中, 将包含边界点, 且将包含所有边界点象素.

下面讨论边界象素定位问题. 图象中任何一点的梯度由两个象素灰度值之差决定. 如果这个梯度值满足上述(5)和(6)式, 则那一个象素作为边界点象素, 对图象分割结果, 即边界的定位具有直接的影响, 也就是说两个相邻的边界点分割后可能大于一个单位的直线距离. 为了避免上述情况发生, 对边界点象素给出一个确定原则. 本文在算子窗口内设计 8 个检测方向, 其目的在于保证如果窗口内存在边界象素, 该象素即是窗口中心象素. 当 $G_m(i, j) > 0$ 时, 两相邻象素点中, 取灰度值较小的象素为边界象素, 在(5)和(6)式中要求 $g_m(i, j) > 0$, 刚好可以使边界象素确定在窗口中心.

实际上, 仅要求 $g_m(i, j) > 0$ 是不够的. 由于识别对象表面不是光滑的, 因此在图象不光滑处表现为灰度的不连续, 从而在这些点也可以使 $g_m(i, j) > 0$ 成立. 实际上, 边界点的梯度值一般大于目标物表面不光滑处的梯度值, 因此, 选择一个参数 k , 当 $g_m(i, j) > k$ 时, 为边界象素, 否则为非边界象素. 参数 k 在这里实际上起滤波的作用, k 值越大, 在分割结果中, 识别对象表面不光滑信息越少, 但是如果 k 值太高, 将使边界信息丢失, k 值一般由实验确定.

4 实验结果

利用以上提出的微分极值边缘检测算法与经典的微分算法进行了分割比较, 结果如图 2 所示. 其中图 2(b) 为微分极值算法分割的结果; 图 2(c) 为 Roberts 算法分割结果; 图 2(d) 为 Sobel 算法分割结果. 由实验结果可以看出, 微分极值算法分割的图象细节清楚, 边界真实, 边界连续性好, 不受光线照度的影响, 符合 Canny 给出的边界检测标准. 由图 2(c) 和图 2(d) 可以看出, 由 Roberts 算法和 Sobel 算法分割的图象中, 由于光线照度不均匀使一些边界丢失了, 同时边界线加宽, 使一些细节不能被分割出, 边界定位失真.



(a) 原图

(b) 微分极值法($k=4$)(c) Roberts 算子($k=17$)(d) Sobel 算子($k=80$)

图 2 算法结果比较

5 结论

本文在讨论了经典微分算法进行边缘检测所存在的问题基础上,提出了一种基于梯度极值的边界检测算法,与经典微分法比较,梯度极值算法具有以下特点:(1)在梯度极值算子窗口内直接提取边界像素,因此,不会出现分类错误;(2)梯度极值算法提取边界与视觉边界相对应,即边界定位准确;(3)在被分割的图象中,非边界像素少,能反映图象细节;(4)在被分割的图象中,丢失的边界像素少,边界连续性好;(5)梯度极值算法具有滤除较小灰度变化的作用.

参 考 文 献

- 1 Rosenfeld A, Kak A C. Digital Picture Processing. Academic Press, 1976
- 2 Davis L S. A Survey of Edge Detection Techniques. Comput Graphics Image Processing, 1975, 4: 248 ~ 270
- 3 John Canny. A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Trans, 1986, RAMI-8: 679 ~ 698
- 4 Pal N R, Pal Sankar K. A Review of Image Segmentation Techniques. PR, 1993, 26: 1277 ~ 1294
- 5 Kundu M K, Pal S K. Thresholding for Edge Detection Using Human Psychovisual Phenomena. Pattern Recognition Letter, 1986, 4: 433 ~ 441

A DIFFERENTIAL EXTREMUM BASED EDGE DETECTION ALGORITHM

YUAN Weiqi WANG Jianjun ZHANG Hongxun

(Northeastern University, shenyang 110006)

Abstract The paper analyzes the existent question about the differential algorithm for image segmentation first, and then proposes a differential extremum based edge detection algorithm. The feature of the algorithm lies in that the edge pixel is directly extracted at a local window for the edge detection, the extracted edge is a true edge, and the edge possesses good continuity. The algorithm is suited for segmentation of the image having inhomogeneous illumination. The segmentation experiment gives a satisfactory result.

Key words differential operator, gradient extremum operator, edge detection, image segmentation

作者简介

苑玮琦,男,36岁,博士生.研究领域为图象处理,模式识别,信号检测技术.

王建军,男,36岁,博士生.研究领域为图象处理,模式识别.

张宏勋,男,64岁,博士生导师.研究领域为质量检测,过程控制.