

DOI:10.11992/tis. 201704019

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20170508.0922.008.html>

基于图像森林变换的灰度目标周长估算

方盛, 梁久祯, 贾靓, 侯振杰, 许艳

(常州大学 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 数字图像中目标对象的周长是一个十分重要的目标形态特征, 二维图像中的目标周长估算在图像特征提取、目标识别等方面具有十分重要的作用。目前已有的估算方法对二维灰度图像目标边界模糊和图像含噪声估算精确度不高, 针对这一现状, 结合图像森林变换 (IFT), 提出基于 IFT 的改进的目标周长估算方法。利用 IFT 方法优化图像目标厚度边界信息来估算灰度图像的边界周长, 从而提高周长估计的精确性和鲁棒性。为了获得图像目标的标准周长, 实验采用人工合成的图像。对具有不同边界厚度的目标、含噪的图像的目标进行周长估算实验。提出的改进算法在图像目标边界模糊和含噪声情况下所得的结果均具有较高的精确度。提出的改进的灰度周长估算方法, 在模糊图像与含噪图像的处理中具有更好的适应性和稳定性。

关键词: 特征提取; 周长估计; IFT; 模糊边界; 含噪图像; 灰度边界; 边界厚度

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2017)03-0341-07

中文引用格式: 方盛, 梁久祯, 贾靓, 等. 基于图像森林变换的灰度目标周长估算[J]. 智能系统学报, 2017, 12(3): 341-347.

英文引用格式: FANG Sheng, LIANG Jiuzhen, JIA Liang, et al. Perimeter estimation of target object boundary based on IFT[J].

CAAI transactions on intelligent systems, 2017, 12(3): 341-347.

Perimeter estimation of target object boundary based on IFT

FANG Sheng, LIANG Jiuzhen, JIA Liang, HOU Zhenjie, Xu Yan

(College of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: The perimeter of a target boundary in a 2D image is an essential object feature in image analysis. It plays an important role in image feature extraction and target recognition. However, this feature is usually inaccurately estimated owing to blurred target boundaries and noise. Many reported methods do not play well in these situations. Accordingly, this study proposes an improved method for perimeter estimation based on the image foresting transform (IFT). The proposed method utilized IFT to estimate the target perimeters for different boundary thicknesses and noise. The improved algorithm proposed in this paper has higher precision for the image targets having blurred boundary and noise. The experimental results demonstrate that our improved method provides better adaptability and stability while calculating the perimeter of targets having blurred boundary and noise.

Keywords: feature extraction; perimeter estimation; the image foresting transform; blur image; noise image; gray boundary; boundary thickness

在图像分析领域中, 二维图像目标物体的边界周长是一个十分重要的目标形态特征, 并且在现实生活中具有广泛的应用。一方面, 目标边界的模糊性和复杂性给计算带来了很大的困难; 另一方面, 噪声等外在因素也会干扰计算。因而, 不少学者都

围绕这个问题展开了研究, 探讨如何精确地计算目标物体的边界长度。目前, 大部分文献提出的方法都是基于二值图像, 即图像中只存在表示目标和背景的两类值。这类方法较常见的有数字化直线段片断法 (digital straight segment, DSS)^[1]、最小多边形法 (minimum length polygon, MLP)^[2] 和基于 B 样条曲线的曲线拟合方法^[3-6]。这些方法估算目标周长时, 虽然最终能获得较精确的估算结果, 但是需

收稿日期: 2017-04-18. 网络出版日期: 2017-05-08.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61170121).

通信作者: 梁久祯. E-mail: jzliang@cczu.edu.cn.

要先提取目标的边界信息,这个过程需要将一般图像转换成二值图像,在转换过程中非二值图像的目标边界信息不可避免会产生丢失,最终导致估算结果的不精确。相比二值图像,数字化灰度图像包含的信息更加丰富^[7-8],因而直接用灰度图像进行能使周长估算的结果更符合实际。

Sladoje 和 Lindblad 提出了一种基于灰度图像的高精度曲线长度估算方法,简称 HPGL 方法^[9-11]。HPGL 方法本身对分辨率较低和目标存在模糊的图像的计算结果并不理想,其主要原因是对于边界厚度超过 1 个像素宽度的目标边界可能造成边界重复计算的问题。对于这两种情况,文献[9]提出了一种基于图像形态学的像素覆盖双阈值预处理方法,这种方法虽然避免了重复计算问题,但是没有合理利用边界像素信息,估算结果误差较大。文献[12-13]分别提出基于边界跟踪的 BTHPGL 方法和基于图像粒的系列方法,两类方法改进了 HPGL 方法在边界模糊情况下的不足,在简单的像素覆盖预处理的基础上,实现对目标周长较精确的估算。BTHPGL 方法与基于图像粒的方法在像素覆盖数字化处理后,图像并不能在所有情况下都排除噪声的干扰,噪声可能导致方法精确度下降甚至失效。并且这些方法并没有考虑目标边界像素之间的关系,可能导致最终估算结果精确度不高。

为了进一步提高算法的适应性和准确性,本文提出了一种基于图像森林变换^[14]的周长估算方法,将数字图像看作包含节点和弧的图结构,充分利用像素之间的灰度关系,优化像素覆盖数字化后的图像的边界信息,结合经典的周长估算方法,得出最终的估算结果。本文设计的实验,验证了算法的有效性。

1 相关工作

1.1 像素覆盖数字化

像素覆盖数字化^[9]是由文献提出的高效的图像分割方法。其核心思想是待分割目标中的像素所占百分比和目标所覆盖面积通常成正比。

定义 1 假定一个连续目标 $S \subset \mathbf{R}^2$, 投影到 2 维数字化网格平面上, 每个网格对应一个像素 $p_{i,j}$, 目标 S 的像素覆盖数字化定义为

$$D(S) \approx \left\{ \left((i, j), \frac{A(p_{i,j} \cap S)}{A(p_{i,j})} \right) \mid (i, j) \in Z^2 \right\} \quad (1)$$

式中: $A(X)$ 表示集合 X 的面积; Z^2 表示 2 维数字化

网格平面。

上述定义描述的是分配给网格像素的真实覆盖值,而实际在计算机中处理的图像会受灰度级限制,一般图像处理系统中灰度共 256 级,因此引出下列定义。

定义 2 假定一个连续目标 $S \subset \mathbf{R}^2$, 投影到 2 维数字化网格平面上, 并给定一个 n 级的量化标准。量化级为 n 的目标 S 的像素覆盖数字化定义为

$$D(S) \approx \left\{ \left((i, j), \frac{1}{n} \left\lfloor n \frac{A(p_{i,j} \cap S)}{A(p_{i,j})} + \frac{1}{2} \right\rfloor \right) \mid (i, j) \in Z^2 \right\} \quad (2)$$

式中 $\lfloor x \rfloor$ 表示小于等于 x 的最大整数。

定义 2 将分配给网格的像素值限制在一个 n 级的量化数字化集合中。特别地, 当 $n=1$ 时表示二值图像, $n=255$ 时表示 8 位的灰度图像。由于目标与每个像素网格相交面积无法计算, 式(1)、式(2)只能用于理论描述。因此本文使用文献[10]中的双阈值分割算法来获得目标图像的像素覆盖数字化。

1.2 DSS、MLP、HPGL 和粒度化周长估算方法

DSS (digital straight segment) 方法^[1]是一种将数字曲线划分为数字直线片段的几何方法。该方法用数字化直线片段取代数字化边界曲线, 按一定规则使这些片段尽量长。DSS 方法主要应用于具有封闭边界的目标区域的周长计算。对于一个目标区域, 把像素看作网格正方形结构, 当其边和顶点作为边界时, 只要目标区域连通, 那么所求的目标区域的边界就是闭合的。根据方向偏转判别公式确定 DSS 点, 然后累加相邻 DSS 点的距离, 得到最终周长。

MLP (minimum length polygon) 方法^[2]与 DSS 方法相似, 也是一种几何方法, 其核心思想是找到最小多边形使其包含数字化目标区域, 初始化条件与 DSS 方法基本一致, 不同的是在确定每个特征点的同时需要确定该点与该点相邻的两点连线的相对位置, 根据这个位置确定一个凸性。最后, 根据 MLP 点的位置和凹凸属性累计局部线段长度, 得到目标周长。

HPGL^[8]方法利用数字化图像中的灰度级信息进行边界周长估计。与上述两种求数字图像周长方法相比, 该方法能达到更高的计算精度和准确度。HPGL 方法以半平面上直线段的长度计算理论为基础, 根据像素覆盖数字化图像中分配给每个像素的量化灰度值, 进行局部周长估计, 其局部周长计算依据公式:

$$l = \int_a^b \sqrt{1 + |f'(x)|^2} dx \quad (3)$$

式(3)可计算曲线在区间 $[a, b]$ 上的曲线长度。

最后,对每一次局部计算求和并进行量化误差的矫正,得到最终估算结果。HPGL 方法在单像素宽度目标边界的周长计算应用上能取得很高精度的结果。

2 结合 IFT 的目标周长估算

第 1.1 节阐述了像素覆盖数字化的简易方法,并用图片直观展示了处理效果。由图 1 可知,在图像覆盖分割之后多获得的图像仍可能存在模糊现象,虽然该方法对噪声不敏感,但噪声的存在还是会对分割结果产生影响。从 1.2 节对不同周长估算方法的阐述可知,一般方法对模糊图像不适用,而基于图像粒的方法在确定边界厚度时图像中的噪声因素会干扰算法确定的粒度大小,从而导致估算结果误差变大。

针对在对灰度图像像素覆盖分割之后获得的像素覆盖数字化图像可能仍存在模糊和噪声,导致周长估算不精确的现象(见图 1),结合经典的周长估算方法,提出基于图像森林变换(IFT)的周长估算方法(IDSS、IMLP、IGL)。这类方法利用像素覆盖数字化之后的目标边界处覆盖值与节点间的相互关系,对这些覆盖值所代表的像素点进行优化分类,将模糊边界转换成清晰边界,获得理想的像素覆盖数字化图像。最后结合经典方法,估算出图像中目标的周长。

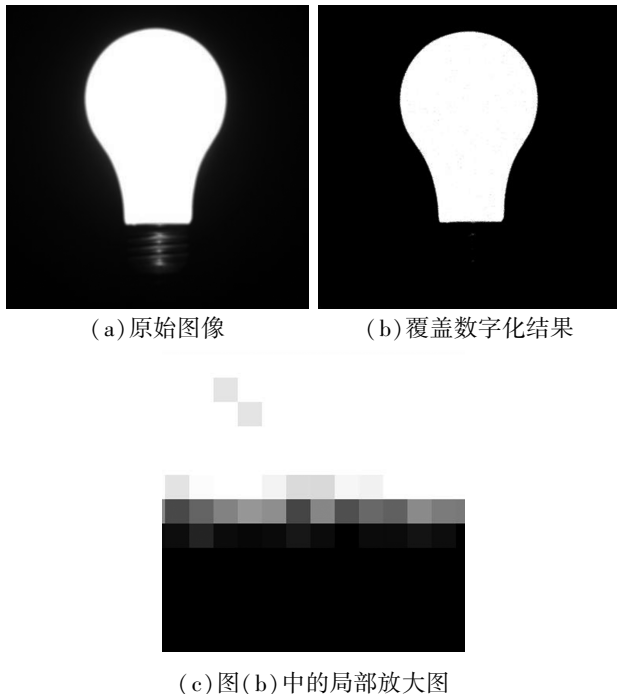


图 1 模糊图像数字化效果图

Fig.1 Images during coverage digitalization

2.1 图像森林变换

图像森林变换(IFT)^[12]是一种基于图论的图像处理方法,该方法将图像处理问题简化为在图形中求最短路径森林的统一有效方法。

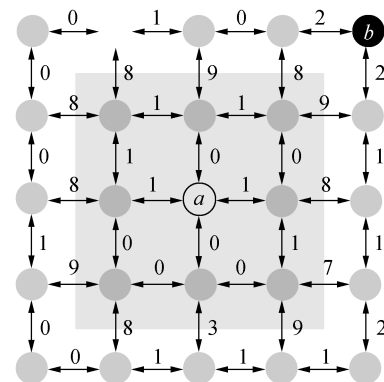
对于一幅给定的二维灰度数字图像 I , 图像中的信息可表示为属性对 (D_1, I) , 其中 $D_1 \in Z^2$ 表示图像域, 即灰度图像在二维空间的位置集合。向量 I 表示为 $I(p) = I_1(p) \in \mathbf{N}$, 其中 p 表示图像中的像素, \mathbf{N} 表示非负数集合, 对于每个 $p \in D_1$, $I(p)$ 表示图像像素 p 所在的位置的灰度数值。

在上述定义的基础上, IFT 将图像 I 映射为图结构 $G=(N, A)$ 。 N 为图的节点集合且 $N \subseteq D_1$, 每个像素点对应一个节点。 A 为图节点之间的连接关系且 $A \subset D_1 \times D_1$, $A(p)$ 表示像素对应节点 p 的连接节点集合。为了利用 IFT 实现不同的图像处理目标, 需要根据图像的局部特性为每对连接点之间的弧分配一个权值 w , 通常选择的是定义一个基于灰度强度(像素值)或灰度梯度的代价函数 f 。在图结构中, 一条路径定义为从起始节点按连接关系连接路径上各个节点, 直至终止节点的有序序列, 而带权路径长度为路径上每两个相邻节点之间路径代价之和。若将路径定义为 $P = \langle p_1, p_2, p_3, \dots, p_i \rangle$, 则路径长度 $|P|$ 可通过式(4)计算:

$$|P| = w_{p_1 p_2} + w_{p_2 p_3} + \dots + w_{p_{i-1} p_i} \quad (4)$$

式中 w_{xy} 表示节点 x 和 y 之间的弧的权值。

IFT 的一般过程: 进行图像森林变换之前, 将像素标签 L 初始化; 在变换过程中, 计算每个非种子节点到种子节点的最短路径, 根据计算结果更新相应节点的 L ; 最后, 在变换结束之后, 根据 L 的值后续处理图像。具体的变换过程根据实际应用需求确定, 变换的输出是最短路径的生成森林与由所有节点 L 值所确定的与输入图像对应的标签字典, 若输入图像是二维灰度图像, 则标签字典是一个由 L 的数值填充的二维矩阵。图 2 为文献[14]作者展示的一般的算法效果。



(a) 基于 4 邻接表示的图像

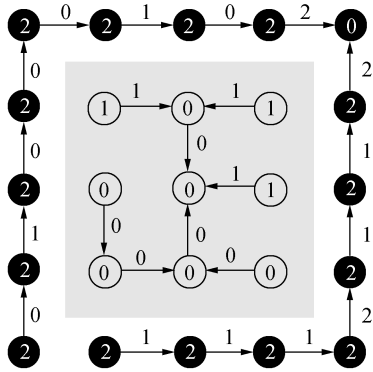
(b) 以 a, b 为种子点的 IFT 结果

图2 图像森林变换的实验图像

Fig.2 IFT experiment images

2.2 基于 IFT 的周长估算方法

由 1.1 节阐述的内容可知,在对灰度图像预处理过程中需要进行像素覆盖数字化。而对于低分辨率与目标模糊的图像,在进行覆盖数字化后,其目标与背景之间可能仍存在一个过渡的像素覆盖值过渡带,为了获得更加精确的周长估算结果,需要将这些覆盖值点重新分类成目标或背景,从而获得清晰的目标边界。根据覆盖像素值,计算边界每个过渡带的点到完全覆盖的点(覆盖值为 1)和完全未覆盖的点(覆盖值为 0)的最短路径长度。若过渡带的覆盖点到完全覆盖点的路径长度小,则将其分类在完全覆盖的点一类,否则分类给完全未覆盖的点一类。若像素覆盖数字化后图像清晰,则图像真实边界应在覆盖值为 0 和 1 的像素之间,否则真实边界应在覆盖值为 0.5 的像素附近。由此可以定义路径代价函数 f 为

$$f = |p_i - p_j| + \varepsilon \quad (5)$$

式中: p_x 表示像素覆盖值,即覆盖数字化之后的新灰度值; ε 表示极小的正数,用于确保路径长度是递增序列。为每个点对应添加一个用于记录在变换过程中记录当前最短路径长度的属性 c 。

为了简化计算,记 A 为求像素的 4 邻接像素,则 $A(p)$ 表示 p 的 4 邻接点的集合。根据以上描述,基于 IFT 的边界优化算法的实现步骤如下:

1) 输入一幅灰度图像 I , 将图像 I 进行简单的像素覆盖数字化。

2) 将所有覆盖值为 0 和 1 的点作为种子点集合 S 的元素。为所有点初始化标签 L , 将表示目标节点的标签初始化为 0, 表示背景节点的标签初始化为 1, 其他覆盖值点的标签初始化为 -1。定义队列数据结构 Q , 将 S 中的点按序加入队列 Q , 并将它们的属性 c 初始化为 0, 将其余点的权值 c 属性初始化为 $+\infty$ 。

3) 从队列 Q 中获取队列头部的节点 p , 对它的

所有邻接节点 $q \in A(p)$ 按公式 (5) 计算它们之间的路径长度 w_{pq} , 若 $w_{pq} + c_p$ 小于 q 的权值 c_q , 则将 $w_{pq} + c_p$ 赋值给 c_q , 将 p 的分类标签 L_p 赋值给 q 的分类标签 L_q , 将节点 q 也加入队列 Q 。

4) 重复步骤 3) 直到队列 Q 为空队列。根据标签变量 L 的值重新分配图像灰度值, 得到一幅目标边缘清晰的二值图像。

在本文的 IFT 方法处理过程中, 以 256 个灰度级的图像为例, 获得标签集合 L 。按 L 中的标签值生成新的图像 I' , I' 中的像素值按式 (6) 计算:

$$p' = \begin{cases} 255, & L_p = 1 \\ 0, & L_p = 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中: p' 表示节点 p 对应的像素的位置; L_p 表示 p 节点位置的标签值; 255 和 0 表示最大灰度和最小灰度。

新的图像为目标边界清晰的二值图像。该方法能消除图像目标边界上的噪声对图像目标周长产生的影响, 并且确定了目标边界的近似位置。本节算法的流程如图 3 所示。

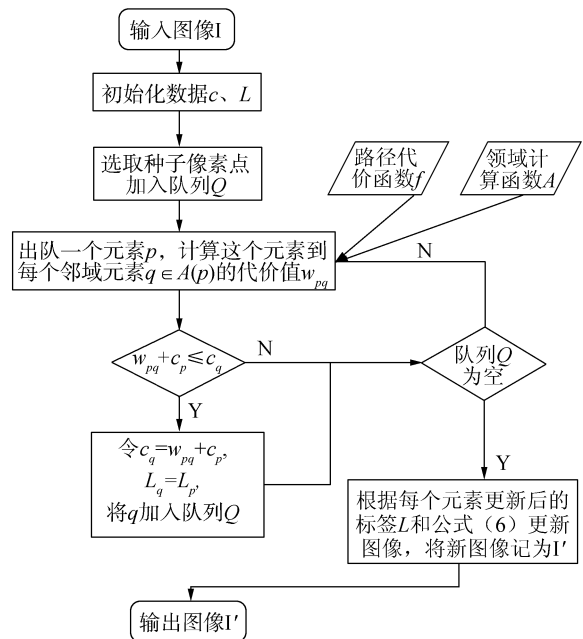


图3 IFT 算法流程图

Fig.3 The flow chart of the IFT

接下来就结合经典的方法 (DSS、MLP、HPGL), 以 IFT 方法的处理结果作为后续算法输入, 对最后的图像进行目标周长的估算。特别地, 以变换后的图片作为输入图像, 结合 HPGL 估算周长需引入的误差修正参数 y_n , 根据公式 (7) [8] 确定:

$$y_n = \frac{2}{1 + \sqrt{(\sqrt{n^2 + 1} - n)^2 + 1}} \quad (7)$$

其中 n 为数字量化的级数, 本文中 $n = 1$ 。

3 结合 IFT 的目标周长估算

为了验证本文所提出的方法的准确性,对模糊图像和含噪声图像目标周长估算的适应性,本节将该方法用于计算不同合成图像的周长,并将所计算的结果与标准周长、BTHPGL 方法^[10]和对应的基于自适应图像粒的 ADSS、AML^P、AGL^[11]方法实验所得的结果进行比较。

实验平台为 Intel(R) Core(TM) i5-3470M CPU @ 3.20 GHz RAM 8GB 的 PC 机,64 位 Win7 系统和 MATLAB 2012b。实验中的图像是通过选择适当的函数合成的简单目标图像,通过积分计算目标的标准周长。实验中还进行以下操作:对图像目标边界进行人工加厚模糊化,选取不同的模糊核对图像模糊,然后进行像素覆盖数字化,用于验证算法对模糊边界的适应性。对图像加入噪声,用于验证算法对含噪声图像的适应性。实验都是以单位像素宽为单位。

3.1 模糊图像周长实验

实验选取圆、弦月形、阴阳图形的一半、正方形旋转 45°与正方形旋转 22.5°的 5 种形状合成的正方形图像,其中圆的直径为图像边长的 4/5,正方形边长为图像边长的 3/5。对每个图形处理并分 6 类,名称后缀为 1 的表示理想状态的图像,后缀为 2 的表示以散焦半径为 2 的散焦模糊的图像,后缀为 3 的表示图像中目标物体按与水平方向成 15°角以匀速直线运动方式产生 5 个像素宽模糊的图像;后缀为 4~6 的分别表示以图 4、5 所示的模糊核对原图像进行模糊的图像。由于 DSS、MLP 和 HPGL 方法对模糊图像不适用,所以这里选取 BTHPGL、ADSS、AML^P 和 AGL 方法作为对比方法,本文所提出的改进方法为 IDSS、IMLP 和 IGL。测试图像和模糊核数据采用文献[15-16]中的数据集,表 1~5 是部分实验结果,选择图像规格为 512×512 个像素,统计的是与标准周长相对误差的绝对值。

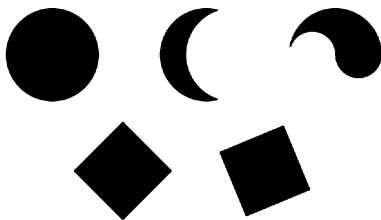


图 4 模糊图像实验数据集
Fig.4 Blur image dataset

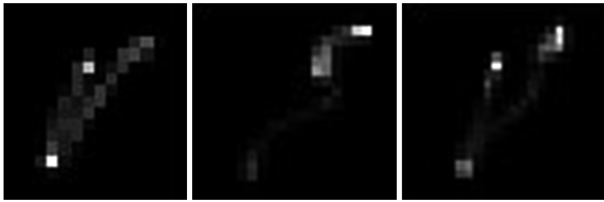


图 5 复杂模糊核
Fig.5 Three complex blur kernels

表 1 圆周长估算
Table 1 Perimeters of circle object %

图像	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
BTHPGL	3.86	3.35	2.86	1.63	2.17	0.41
ADSS	0.02	5.91	6.14	5.19	5.70	4.74
AML ^P	0.76	1.12	1.04	1.58	1.43	2.17
AGL	3.91	2.52	2.08	3.31	2.99	4.09
IDSS	0.05	0.32	0.31	0.75	0.55	1.30
IMLP	0.32	0.01	0.03	0.45	0.28	1.05
IGL	1.39	1.57	1.69	2.16	1.90	2.62

表 2 弦月周长估算
Table 2 Perimeters of moon object %

图像	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
BTHPGL	4.10	4.27	3.48	2.91	3.25	3.80
ADSS	0.31	4.07	3.56	3.92	3.92	4.29
AML ^P	0.86	0.61	0.37	0.73	0.73	0.68
AGL	0.18	1.57	1.76	1.92	2.29	0.99
IDSS	0.24	0.42	0.15	0.15	0.20	1.76
IMLP	0.70	0.92	0.67	0.74	0.64	2.23
IGL	0.58	0.67	0.82	0.85	0.82	0.68

表 3 阴阳图形周长估算
Table 3 Perimeters of yinyang object %

图像	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
BTHPGL	4.10	4.27	3.48	2.91	3.25	3.80
ADSS	1.46	8.94	9.34	7.94	8.20	9.26
AML ^P	2.34	2.20	2.46	1.78	2.55	2.53
AGL	0.27	2.87	2.39	4.22	4.08	3.19
IDSS	0.31	0.60	1.06	0.84	2.26	0.70
IMLP	1.63	1.21	1.45	1.31	2.92	1.64
IGL	1.90	0.54	0.30	0.36	0.80	0.77

表4 旋转45°正方形周长估算

Table 4 Perimeters of rotated square 45° %

图像	S_{1-1}	S_{1-2}	S_{1-3}	S_{1-4}	S_{1-5}	S_{1-6}
BTHPGL	3.93	3.73	3.80	3.59	3.70	3.08
ADSS	0.29	0.43	0.26	0.24	0.08	0.70
AML	0.10	0.15	0.25	0.79	0.59	1.21
AGL	0.03	3.23	3.03	2.37	2.70	1.10
IDSS	0.02	0.03	0.23	0.28	0.27	0.78
IMLP	0.50	0.42	0.25	0.14	0.15	0.38
IGL	3.90	3.72	3.68	3.69	3.55	2.92

表5 旋转22.5°正方形周长估算

Table 5 Perimeters of rotated square 22.5° %

图像	S_{2-1}	S_{2-2}	S_{2-3}	S_{2-4}	S_{2-5}	S_{2-6}
BTHPGL	3.70	3.78	1.81	1.32	1.30	2.86
ADSS	0.05	0.12	0.06	0.30	0.10	1.93
AML	0.22	0.58	0.42	0.76	0.59	1.42
AGL	0.03	4.29	4.80	5.27	5.29	3.53
IDSS	0.05	0.25	0.24	0.34	0.37	1.69
IMLP	0.62	0.36	0.39	0.16	0.25	2.34
IGL	3.41	4.04	3.82	4.11	3.93	1.82

3.2 模糊图像实验结果分析

图6是实验结果的平均相对误差的折线图,分析图6和上述表格中的实验数据不难发现,对于不同种类的模糊图像目标周长估算使用ADSS、AML、AGL等方法产生的误差很不稳定,这是由于基于图像粒的方法适合边界像素分布均匀的情况且经过粒度处理的图像本身也会增加估算误差。而基于IFT的方法总体上对周长的估算精确度更高;IDSS、IMLP方法相比ADSS和AML方法具有更好的稳定性,并且大部分情况下精确度更高,而IGL也比BTHPGL和AGL方法估算更加稳定,并且在曲线上的估计上精确度也更高。

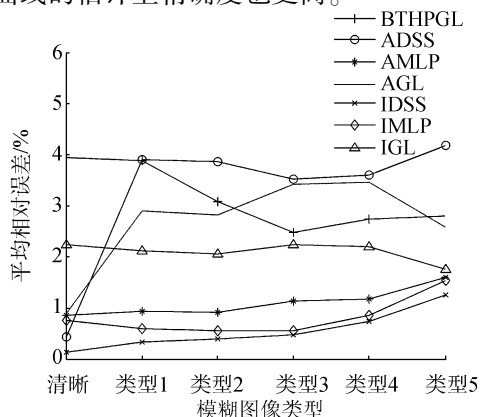


图6 模糊实验折线图

Fig.6 Line chart of blur image

当图像完全符合像素覆盖数字化定义(本文中这类图像名称后缀为1)时,基于IFT的方法会将图像先转换为二值图像,这会增加周长估算的误差,但从表1~5中数据可以看出,误差在可承受的范围之内并且现实图像经过像素覆盖数字化后大部分情况下很难达到理想的效果。因此,可以认为基于IFT改进的周长估算方法优于基于图像粒的方法。

3.3 复杂目标含噪图像周长实验

在平面坐标系中,选取直线 $y = 820 - 2x$ 与 $y = \frac{10}{7}x + 160$,与曲线 $(x-300)^2 + (y-300)^2 = 200^2$,三角函数 $y = 5\cos \frac{\pi x}{50} + \sin^2 \frac{\pi x}{50} + 150$ 与 $y = 10\cos \frac{\pi x}{50} + 10\sin \frac{\pi x}{50} + 450$ 围成的边界图像,用MATLAB软件工具合成图像,然后增加5组均值为0方差(图像归一化后)为0.01~0.05的随机噪声的图像。实验合成的曲线标准周长根据积分计算结果为1269。图7列出了基于散焦模糊的无噪声和含噪声均值为0方差为0.05的两幅图像。



图7 含噪图像实验数据集

Fig.7 Noise image dataset

实验方法与3.1节中的实验方法相同,图片编号Pic1、Pic2、Pic3、Pic4、Pic5和Pic6对应无噪声、方差为0.01、0.02、0.03、0.04和0.05的图像。表6为含噪声的模糊图像应用相应周长估算方法的实验结果。

表6 含噪图像周长估算

Table 6 Perimeters of noise image %

图像	Pic1	Pic2	Pic3	Pic4	Pic5	Pic6
AGL	230.32	468.97	222.20	163.03	122.01	120.29
IDSS	0.03	0.30	0.21	0.01	0.08	0.02
IMLP	0.79	1.11	1.12	1.08	1.12	1.04
IGL	0.72	0.50	0.62	0.73	0.70	0.59

3.4 含噪图像实验结果分析

从表6的实验数据可知,基于图像粒的方法精确度明显下降,分析其原理,这类方法会因噪声的干扰,导致所求得的边界宽度小于实际宽度,从而导致重复计算问题,求得的结果比实际大很多。基于IFT改进的方法对噪声表现出了良好的适应性与稳定性,并且具有较高的精确度。从表7的实验数据可以看出,基于图像粒的方法需要根据其概率模

型计算出估计的边界宽度,从而确定粒度尺寸,计算过程耗时较多。然而基于 IFT 的方法虽然过程较复杂,但主要是需要辅助的数据结构,其运行速度相对很快。而 BTHPGL、ADSS、AMLIP 等方法需要追踪边界,图像中的噪声会干扰边界的获取,导致估算失败,因此未在表中列出。通过这些实验可得出结论,本文算法相比现有的算法具有更好的抗噪性和更快的运行时间。

表7 含噪图像周长估算时间

Table 7 Time of perimeters estimation s

图像	Pic1	Pic2	Pic3	Pic4	Pic5	Pic6
AGL	77.20	90.83	83.10	84.06	93.83	96.49
IDSS	12.55	11.50	11.81	11.72	12.24	12.68
IMLP	13.46	13.23	12.55	13.02	13.73	12.44
IGL	9.43	8.58	8.81	8.77	8.57	8.88

4 结束语

本文基于 IFT 理论,结合经典估算方法,提出具有高精度度和广泛适应性的灰度目标边界周长估算方法。该方法继承了经典方法的高精度度,并且对模糊图像具有适应性,解决了图像在模糊情况下的周长难以估算问题。因此本文方法能达到良好的精确度、适应性和稳定性,在实际图像特征提取中能得到广泛应用。另外,本文所设计的方法考虑的情况并不全面,算法精确度仍有提升空间。而在更复杂的情况下估算出更精确的灰度图像目标周长,这将是今后的研究方向。

参考文献:

- [1] ROSENFELD A. Digital straight line segments[J]. IEEE transactions on computers, 1974, 23(12):1264-1269.
- [2] SLOBODA F, ZAT'KO B, FERIANC P. The minimum perimeter polygon and its application[J]. Mathematical research, 1993, 69: 59-59.
- [3] SUHADOLNIK A, PETRIŠIĆ J, KOSEL F. Numerical calculation of digital curve length by using anchored discrete convolution[J]. Image and vision computing, 2008, 26(7): 990-999.
- [4] SUHADOLNIK A, PETRIŠIĆ J, KOSEL F. An anchored discrete convolution algorithm for measuring length in digital images[J]. Measurement, 2009, 42(7): 1112-1117.
- [5] SUHADOLNIK A, PETRIŠIĆ J, KOSEL F. Digital curve length calculation by using B-spline[J]. Journal of mathematical imaging and vision, 2010, 38(2):132-138.
- [6] SIMONČIČS, PODRŽAJ P. An enhanced algorithm for estimation of a digitized curve length using B-splines[J]. Measurement, 2016, 94: 168-176.
- [7] KIRYATI N, BRUCKSTEIN A. Gray-levels can improve the performance of binary image digitizers[J]. CVGIP: graphical models and image processing, 1991, 53(1):31-39.
- [8] EBERLY D, LANCASTER J, ALYASSIN A. On gray scale

image measurements: II. surface area and volume[J]. VCGIP: graphical models and image processing, 1991, 53(6):550-562.

- [9] SLADOJE N, LINDBLAD J. High-precision boundary length estimation by utilizing gray-level information[J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2009, 31(2): 357-363.
- [10] SLADOJE N, LINDBLAD J. Pixel coverage segmentation for improved feature estimation [J]. Lecture notes in computer science, 2009, 5716: 929-938.
- [11] LINDBLAD J, SLADOJE N. Coverage segmentation based on linear unmixing and minimization of perimeter and boundary thickness[J]. Pattern recognition letters, 2012, 33(6): 728-738.
- [12] 吴秦, 周琪, 梁久祯. 灰度级信息的目标边界精确周长估算[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(10): 1449-1458.
WU Qin, ZHOU Qi, LIANG Jiuzhen. Accurate perimeter estimation of target boundary based on gray-level information[J]. Journal of image and graphics, 2014, 19(10):1449-1458
- [13] 周琪, 吴秦, 梁久祯. 基于自适应图像粒的目标对象边界周长估算[J]. 计算机工程, 2016, 42(4):235-241.
ZHOU Qi, WU Qin, LIANG Jiuzhen. Perimeter estimation of target object boundary based on adaptive image granule [J]. Computer Engineering, 2016, 42(4):235-241.
- [14] FALCÃO A X, STOLFI J, ROBERTO DAL. The image foresting transform: theory, algorithms, and applications [J]. IEEE transactions on pattern analysis & machine intelligence, 2004, 26(1): 19-29.
- [15] Klette R, Yip B. The length of digital curves[J]. Machine graphics and vision, 2000, 9(12): 673-703.
- [16] LEVIN A, WEISS Y, DURAND F, et al. Efficient marginal likelihood optimization in blind deconvolution [C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2011, 42(7): 2657-2664.

作者简介:



方盛,男,1992年生,主要研究方向为计算机视觉。



梁久祯,男,1968年生,教授,主要研究方向为计算机视觉。发表学术论文196篇,出版专著2部。



贾靓,男,1982年生,硕士研究生,主要研究方向为图像分割和机器学习。