

文章编号:1001-9081(2009)11-3027-03

基于边缘检测与改进最大类间方差法的火箭序列图像分割算法

孙艳忠¹, 柴 毅², 尹宏鹏²

(1. 攀枝花学院 电气信息工程学院, 四川 攀枝花 617000; 2. 重庆大学 自动化学院, 重庆 400044)

(yinhongpeng@gmail.com)

摘 要:针对某基地提出的基于机器视觉的火箭跟踪伺服系统对火箭目标分割提取的要求,提出了带有衰减因子的 Prewitt 边缘检测算子与改进的最大类间方差法相结合的图像分割方法。根据火箭的形态特征提出了一种带方向非线性滤波去噪法,对分割后所得到的图像做了进一步去噪处理,除去了与火箭形态无关的边缘。仿真实验表明,采用该方法对火箭目标正确分割率为 96.5%,并能够实时有效地对火箭序列图像进行有效分割。

关键词:Prewitt 算子;非线性滤波;二值图像;阈值分割

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**A

Rocket image sequence segmentation algorithm combined with edge detection and improved Otsu algorithm

SUN Yan-zhong¹, CHAI Yi², YING Hong-peng²

(1. College of Information and Electrical Engineering, Panzhihua University, Panzhihua Sichuan 617000, China;

2. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: To satisfy machine vision based rocket tracking servo system's requirements for rocket target segmentation, a segmentation method combined with Prewitt edge detection operator with decaying factor and improved Otsu algorithm was proposed. Based on the rocket's morphological characteristics, a nonlinear filter de-noising method was presented to denoise and remove the non-rocket edge. Simulation results show that the proposed method has 96.5% successful segmentation rate for rocket target, and can effectively segment rocket image sequence in real-time.

Key words: Prewitt operator; nonlinear filtering; binary image; threshold segmentation

0 引言

图像分割是由图像处理到图像分析的一个关键步骤^[1],在图像工程中占非常重要的位置,也是进一步图像理解的基础。一方面它是目标表达的基础,对特征测量有重要的影响;另一方面,因为图像分割及其基于分割的目标表达、特征提取和参数测量等将原始图像转化为更紧凑的形式,使得更高层的图像分析和理解成为可能。目前,借助各种理论已经提出了很多分割算法^[2],但大多是针对具体问题的,还没有通用的分割算法,也不存在一个判断分割是否成功的客观标准。

图像中的边缘含有丰富的信息,人的视觉对这种变化较快的部分比较敏感,当人们观察各种场景时,首先注意到的就是不同物体的相交处,并很快得到每个物体的边缘。目前有不少的算法利用边缘检测进行图像的分割^[3-5],这类方法试图通过检测出包含不同区域的边缘来解决图像分割问题。根据判决分析和最小二乘法原理推导出的最大类间方差法^[6]是一种被广泛应用到图像分割领域^[7-8]的阈值分割算法。近年来也有众多的学者提出边缘检测与阈值分割相结合的图像分割算法^[9-10]。

本文针对某基地提出的基于机器视觉的火箭跟踪伺服系统对火箭目标分割提取的要求,提出了带有衰减因子的 Prewitt 边缘检测算子与改进的最大类间方差法相结合的图像分割方法。根据火箭的形态特征提出了一种带方向非线性滤波去噪法,对分割后所得到的图像做了进一步的去噪处理,除

去了与火箭形态无关的边缘。

1 带有衰减因子的 Prewitt 边缘检测算子

Prewitt 算子是一种利用局部差分算法寻找边缘的算子^[11],它的两个卷积计算核如图 1 所示。图像中的每个点都用这个核作卷积,第一个核通常对垂直边缘响应最大,第二个核对水平边缘响应最大。取两个卷积的最大值作为该点输出值,运算结果是一幅边缘幅度图像。

1	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

(a)

1	0	-1
1	0	-1
1	0	-1

(b)

图 1 Prewitt 算子模板

Prewitt 算子定义为:

$$S_p = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} \quad (1)$$

$$d_x = [f(x-1, y-1) + f(x, y-1) + f(x+1, y-1)] - [f(x-1, y+1) + f(x, y+1) + f(x+1, y+1)] \quad (2)$$

$$d_y = [f(x+1, y-1) + f(x+1, y) + f(x+1, y+1)] - [f(x-1, y-1) + f(x-1, y) + f(x-1, y+1)] \quad (3)$$

Prewitt 算子通常对灰度渐变和噪声较多的图像处理效果较好,但经典的 Prewitt 算子通常会在图像边缘附近的区域内产生较宽的响应^[12],故检测出来的图像边缘较宽,而且使得

收稿日期:2009-05-27;修回日期:2009-07-20。

作者简介:孙艳忠(1963-),男,黑龙江肇源人,讲师,硕士,主要研究方向:图像处理、模式识别;柴毅(1962-),男,安徽芜湖人,教授,博士生导师,主要研究方向:智能信息处理、模式识别;尹宏鹏(1981-),男,江西莲花人,博士,主要研究方向:智能图像处理、模式识别。

目标边缘灰度值与噪声灰度值相接近,不利于图像进一步的分割处理。这里参考文献[12]引入一个衰减因子 δ ,使得 $S_p = \delta \sqrt{d_x^2 + d_y^2}$,该方法可以在不增加计算量的情况下有效地细化图像边缘,并且拉伸目标边缘与噪声灰度值。针对火箭序列图像经反复实验确定,当 $\delta = 1/6$ 时能取得较好的边缘检测效果。

2 基于改进最大类间方差法的阈值分割策略

在图像分割的诸多方法中,阈值分割是一种广泛使用的图像分割技术,它利用了图像中要提取的目标物与其背景在灰度特性上的差异,把图像视为具有不同灰度级的两类区域(目标和背景)的组合,选取一个合适的阈值,以确定图像中每一个像素点应该属于目标区域还是背景区域,从而产生相应的二值图像。阈值分割不仅可以大量压缩数据,减少存储容量,而且能大大简化在之后的分析和处理步骤。对带有衰减因子的 Prewitt 边缘检测算子处理后的图像,可以利用目标边缘灰度与背景灰度的不连续性进行阈值分割,从而实现火箭目标的分割。

2.1 最大类间方差法原理

最大类间方差法将图像的像素阈值 t 分成目标 $C0$ 与背景 $C1$,然后分别计算 $C0$ 和 $C1$ 的类内和类间方差,选取的阈值 t 就是使得类间方差达到最大的灰度的值。这种方法的依据是图像中属于同一目标内的像素之间的方差应该较小,而不同区域之间的方差应该达到最大。其数学推导如下:

设图像的灰度范围为 $\{0, 1, \dots, l-1\}$,灰度为 i 的像素数为 n_i ,图像的总像素为 $N = \sum_{i=0}^{l-1} n_i$,则灰度为 i 的像素出现的概率为:

$$p_i = n_i/N; p_i \geq 0, \sum_{i=0}^{l-1} p_i = 1 \quad (4)$$

选择阈值 t 将其划分为目标和背景两类: $C0 = \{0, 1, \dots, t\}$; $C1 = \{t+1, t+2, \dots, l-1\}$ 。 $C0$ 和 $C1$ 类的出现概率分别为:

$$P_0(t) = \sum_{i=0}^t p_i, \quad P_1(t) = \sum_{i=t+1}^{l-1} p_i \quad (5)$$

其均值分别为:

$$\mu_0(t) = \sum_{i=0}^t \frac{ip_i}{P_0(t)}, \quad \mu_1(t) = \sum_{i=t+1}^{l-1} \frac{ip_i}{P_1(t)} \quad (6)$$

图像的总灰度均值为:

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{l-1} ip_i \quad (7)$$

由式(5)~(7),可求出这两类的类间方差为:

$$O_B^2(t) = P_0(t)[\mu_0(t) - \mu_T]^2 + P_1(t)[\mu_1(t) - \mu_T]^2 \quad (8)$$

定义类内方差为:

$$O_w^2(t) = P_0(t) \sum_{i=0}^t [(i - \mu_0)^2 \cdot P_i/P_0(t)] + P_1(t) \sum_{i=t+1}^{l-1} [(i - \mu_1)^2 \cdot P_i/P_1(t)] \quad (9)$$

定义总体方差为:

$$O_T^2 = O_B^2 + O_w^2 \quad (10)$$

由于 $O_w^2(t)$ 是基于二阶统计特性,而 $O_B^2(t)$ 是基于 t 值的

一阶统计特性, O_T^2 与 t 无关。

引入简单的判决准则:

$$\eta(t) = \sigma_B^2/\sigma_T^2 \quad (11)$$

该准则将使两类得到的最佳分离动态 t^* 值作为最佳阈值,因而将 $\eta(t)$ 定为最大判定准则。

$$\max_{0 \leq t \leq l-1} \eta(t) = \max \eta(t^*) \quad (12)$$

2.2 改进的最大类间方差法

对经过边缘检测算子处理过的图像进一步研究发现,图像经过差分计算后主要背景灰度为黑色,即灰度值集中分布在 0 附近,除检测出的边缘图像区域具有较高的灰度值分布外,其余图像区域的灰度值都分布在 0 附近。而火箭边缘灰度与图像背景边缘的灰度分布较为集中,并且对于火箭目标其灰度分布是相对平滑的,火箭边缘一般在图像中表现出来的是一种强边缘。因而火箭边缘的灰度信息对整幅图像的贡献很小,如果利用整幅图像的灰度直方图得到的最佳阈值将向灰度为 0 的方向偏移,造成“欠分割”,即不能将火箭边缘和背景边缘分开,不利于图像的后续处理。为此,本文提出了一种改进的最大类间方差。

为消除大分布的低灰度值像素对图像阈值分割效果的影响,在本算法中可将小于一定阈值的图像像素不进行灰度统计,也不计入总的图像像素值。其阈值可由火箭图像灰度分布的统计得出,对于一般情况该阈值可取值为 40。另外由于采用了带衰减因子的 Prewitt 边缘算子,图像的最高灰度值分布一般不超过 200。对于去除了低灰度值和高灰度值的火箭图像可以看作只有火箭边缘与背景边缘组成的灰度图像,其灰度直方图可视为组合火箭边缘与背景边缘像素灰度混合分布的概率密度函数,且通常假定混合分布的两个分量 $P(i/0)$ 和 $P(i/1)$ 都是正态分布,其均值、标准差和先验概率分别为 $\mu_0, \mu_1, \sigma_0, \sigma_1, P_0$ 和 P_1 。其中 μ_0, μ_1 由式(5)给出, σ_0, σ_1 分别为:

$$\begin{cases} \sigma_0(t) = \left(\frac{\sum_{i=0}^t [i - \mu_0(t)]^2 p_i}{\sum_{i=0}^t p_i} \right)^{1/2} \\ \sigma_1(t) = \left(\frac{\sum_{i=t+1}^{l-1} [i - \mu_1(t)]^2 p_i}{\sum_{i=t+1}^{l-1} p_i} \right)^{1/2} \end{cases} \quad (13)$$

不失一般性,可认为火箭边缘和背景边缘的灰度分布分得足够开时,应满足:

$$\mu_1 - \mu_0 > \partial(\sigma_0 + \sigma_1) \quad (14)$$

其中,参数 ∂ 需根据火箭边缘和背景边缘的灰度分布特性确定,一般取值为 2~3。

若由某一阈值分割出来的两部分,其灰度分布的均值和标准差满足这一条件,则认为该阈值可将火箭边缘与背景边缘完全分开。相对于经典的改进最大类间方差法,本文所提出的改进最大类间方差法不但保证了分割的准确性,而且由于不需要计算占图像很大比重的低灰度像素和高灰度像素的统计特性,减少了计算量。

3 带方向的非线性滤波去除强背景边缘策略

火箭图像中由于存在大量复杂背景,而且很多背景中存

在着强边缘,所以单纯地通过阈值分割并不能将火箭边缘与背景边缘完全区分开。在经前期处理的图像中,火箭表现出来的形态为长条状,而图像中表现的强背景边缘基本上表现为横条状。因此利用该边缘特征提出了种带方向的非线性滤波去除强背景边缘策略。其基本原理为,根据火箭图像的中火箭边缘的方向信息构建一个带方向信息非线性长条形滤波模板,通过计算落在该模板中的边缘亮点个数和总的边缘亮点个数,根据模糊数学的原理来确定一个动态的阈值 K ,当模板中的亮点个数小于阈值 K 时可以认为该亮点不属于火箭目标边缘,将该点滤除。对处理后的图像,由于存在着部分边缘断裂的现象,采用以下原则对边缘像素进行填充。按行列扫描,若点 $C(x, y) = 0$ 不是前面求得的边缘像素,但满足下列条件之一:① $C(x-1, y) = 1, C(x+1, y) = 1$;② $C(x, y-1) = 1, C(x, y+1) = 1$;③ $C(x-1, y-1) = 1, C(x+1, y+1) = 1$;④ $C(x-1, y+1) = 1, C(x+1, y-1) = 1$;则 $C(x, y) = 1$,这样边缘像素得到了填充,从而可以获得较为完整的火箭边缘。

4 仿真实验

为验证算法的有效性和可行性,以某基地提供的公开火箭发射录像为实例,使用 Matlab 7.0 为仿真工具,在 Sempron 1.81 GHz, 512 MB 内存的 PC 平台上进行了仿真实验。

图 2(a)是录像中第 131 帧图像进行灰度化后的图像,该图像宽度为 352 个像素,高度为 288 个像素;图(b)是采用经典的 Prewitt 算子检测出来的图像;图(c)是使用带衰减因子 Prewitt 边缘检测算子处理后的图像,在本实验中衰减因子 $\delta = 0.166$ 。从图 2(b)、(c)的对比中可以看出,采用带衰减因子的 Prewitt 算子检测出来的边缘更清晰,并在很大程度上降低了背景边缘的灰度,有利于后续的图像阈值分割。图 2(d)为经带衰减因子的 Prewitt 算子处理过的火箭图像直

方图,直方图的灰度大部分分布在 0 值附近,而超过 200 的灰度分布几乎没有,验证了前面对进行了带衰减因子 Prewitt 算子边缘检测后的图像灰度分布分析。

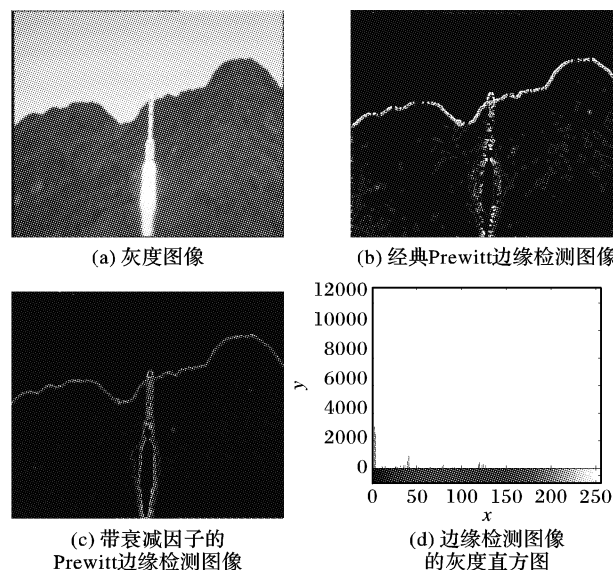


图 2 第 131 帧图像

图 3(a)为基于经典的最大类间方差法分割的图像;图(b)为基于改进后的最大类间方差法分割的图像,其像素灰度值分布取值为 40 ~ 200,参数 σ 取为 2。对比图 3(a)、(b)可以看出,改进后的最大类间方差法可以很好地获取火箭边缘,但对于强背景边缘基于阈值的分割方法并不能很好地将背景边缘与火箭边缘分开。图 3(c)是使用带方向的非线性滤波去除强背景边缘策略后的图像,在这里采用的是一个宽 3 个像素、高 16 个像素的长方形的模板,其方向为竖直方向。从图(c)中可以看出,本文方法能够分割出清晰、低噪的火箭边缘图像。

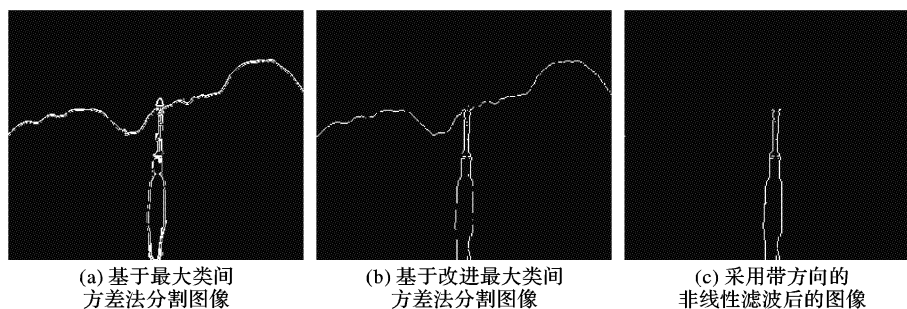


图 3 不同分割方法分割效果对比图

图 4 是使用本文方法对火箭序列图片的分割效果。其中图(a)分别是火箭序列图像的第 1 帧、第 10 帧、第 35 帧、第 65 帧的图像;图(b)分别是对应第 1 帧、第 10 帧、第 35 帧、第 65 帧的分割效果。从中可以看出,采用本文方法能够很好地在复杂背景中分割出清晰、低噪的火箭边缘图像。

表 1 给出了本文所提算法各步所需时间,从表中可以看出整个算法流程共耗时 0.193 250 s,基本能满足系统实时性要求。

本次仿真实验共采用火箭动态序列图片 400 帧,正确分割图像 386 帧,正确分割率为 96.5%。仿真实验证明了采用本文方法能够实时有效地对火箭序列图像进行分割。但是本文所采用的算法是建立在边缘检测的基础上,图像分割效果的好坏很大程度上取决于边缘检测的效果。通过对本次仿真

实验分割失败的 14 帧图像研究发现,这 14 帧图像都是存在着火箭的弱边缘或是云层遮罩现象。故如何针对弱边缘火箭序列图像进行边缘检测,增强算法的容错性将是下一步研究的重点。

表 1 算法耗时 s

算法操作	耗时
经典 Prewitt 边缘检测	0.140 000
带衰减因子的 Prewitt 边缘检测	0.140 000
最大类间方差法	0.047 000
改进最大类间方差法	0.035 250
带方向的非线性滤波	0.018 000



图 5 猫头模型点云简化结果

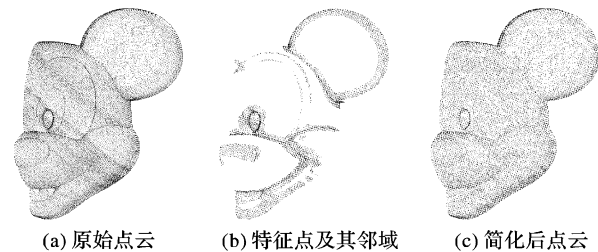


图 6 米老鼠模型点云简化结果

5 结语

本文提出了一种快速点云简化算法,该算法具有表面形状变化适应性强的特点,同时又克服了需要在每一个测量点进行曲面拟合的劣势,由于拟合计算只针对特征区域附近点,避免了曲率简化算法运算时间长的不足,效率显著提高。实验证明了该算法是方便有效的,为后续的反求工作提供了支持。

(上接第 3029 页)

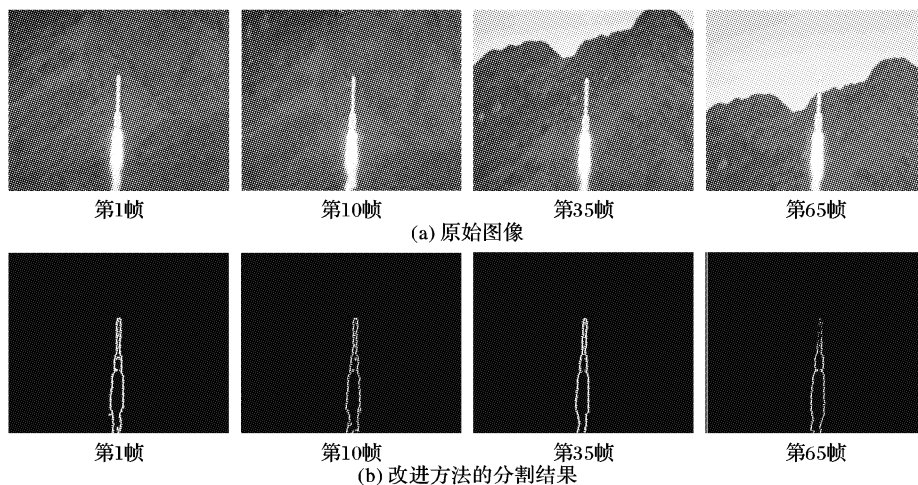


图 4 火箭目标序列分割效果

参考文献:

- [1] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] PAL N, PAL S. A review on image segmentation techniques[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(9): 1277 - 1294.
- [3] CHU C-C, AGGARWAL J K. The integration of region and edge-based segmentation[C]// Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Vision. Washington, DC: IEEE Press, 1990: 117 - 120.
- [4] NALWA V S, BINFORD T O. On detecting edges[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 699 - 714.
- [5] HARALICK R M. Digital step edges from zero crossing of second directional derivatives[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(1): 58 - 68.
- [6] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62 - 66.
- [7] XIE DAI-LIANG, JI HAI-FENG, HUANG ZHI-YAO, *et al.* A new

表 1 程序运行耗时对比

模型	输入 点数	输出 点数	平均误差/mm		耗时/s	
			文献[5]	本文	文献[5]	本文
猫头	36 515	18 257	0.045	0.031	28.65	13.03
米老鼠	20 632	10 316	0.065	0.033	23.79	15.53

参考文献:

- [1] SUN W, BRADLEY C, ZHANG Y F, *et al.* Cloud data modeling employing a unified, non-redundant triangular mesh [J]. Computer Aided Design, 2001, 33(3): 183 - 193.
- [2] CHEN Y H, NG C T, WANG Y Z. Data reduction in integrated reverse engineering and rapid prototyping [J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 1999, 12(2): 97 - 103.
- [3] 张丽艳, 周儒荣, 蔡伟斌, 等. 海量测量数据简化技术研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 11(13): 1019 - 1023.
- [4] 柯映林, 陈曦. 基于 4D Shepard 曲面的点云曲率估算[J]. 浙江大学学报, 2005, 39(6): 761 - 764.
- [5] 孙肖霞, 孙殿柱, 李延瑞, 等. 反求工程中测量数据的精简算法[J]. 机械设计与制造, 2006(8): 37 - 38.
- [6] 朱心雄. 自由曲线曲面造型技术[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [7] 马骊溟, 徐毅, 李泽湘. 基于高斯曲率极值点的散乱点云数据特征点提取[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(9): 2341 - 2344.
- [8] YANG M, LEE E. Segmentation of measured data using a parametric quadric surface approximation [J]. Computer Aided Design, 1999, 31(7): 449 - 457.

- void fraction measurement method for gas-oil two-phase flow based on electrical capacitance tomography system and Otsu algorithms [C]// WCICA 2004: Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation. Washington, DC: IEEE Press, 2004, 4: 3753 - 3756.
- [8] 郭建星, 刘松林, 倪丽, 等. 一种改进的基于最大类间方差的图像分割方法[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(z1): 665 - 666.
- [9] 傅仲良, 李勇. 基于梯度幅度直方图和类内方差的边缘提取方法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2005, 30(12): 1056 - 1058.
- [10] MCCARTHY S, MILLER T C, BANKMAN I N. Segmentation algorithm for objects with very low edge contrast[C]// Proceedings of Intelligent Robots and Computer Vision XXII: Algorithms, Techniques, and Active Vision, SPIE 5608. Bellingham, WA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2004: 162 - 168.
- [11] (美) GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理[M]. 阮秋琦, 阮宇智, 译. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2005: 470 - 489.
- [12] 陆宗骥, 梁诚. 用 Sobel 算子细化边缘[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(6): 516 - 520