

# 基于改进的 Sobel 算子最大熵图像分割研究

章 慧<sup>1</sup> 龚声蓉<sup>2</sup>

(淮阴工学院计算机工程学院 淮安 223003)<sup>1</sup> (苏州大学计算机科学与技术学院 苏州 215006)<sup>2</sup>

**摘要** 研究图像分割精度问题。针对传统的 Sobel 算子图像分割容易造成图像分割不清晰、对比度不明显、分割精度低等问题缺陷,提出一种改进的 Sobel 算子的二维最大熵数字图像分割方法。算法首先根据数字图像特征对图像进行初分割,然后应用 Sobel 算子检测出数字图像真正的边缘,将通过 Sobel 算法边缘检测获得的阈值应用到二维最大熵分割方法中。对数字图像目标和目标边缘分别使用不同的阈值进行分割,解决由于局部图像叠加而产生的分割不准确的问题。仿真实验表明,提出的算法对图像分割鲁棒性好,分割准确率高,是一种有效适用的算法。

**关键词** Sobel 算子,最大熵算法,图像分割,边缘检测

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

## Image Segmentation Based on Sobel Operator and Maximum Entropy Algorithm

ZHANG Hui<sup>1</sup> GONG Sheng-rong<sup>2</sup>

(School of Computer Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huaian 223003, China)<sup>1</sup>

(School of Computer Science & Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Image segmentation accuracy problem was researched. In traditional Sobel operator, image segmentation easily causes the image segmentation not clear, and contrast is not apparent, segmentation accuracy is low, so, the article put forward an improved Sobel operator 2-d maximum entropy digital image segmentation method. Algorithm firstly makes image segmentation according to digital image characteristics, then Sobel operator is used to detect real digital image edge, and Sobel edge detection algorithm obtains the threshold value which is used to the 2-d maximum entropy image segmentation method. Based on digital image goals and objectives fringe parting, this paper used different threshold segmentation to solve the segmentation inaccurate problem produced by local image stack. Simulation experiments show that the proposed algorithm for image segmentation has good robustness, segmentation rate, which is an effective applicable algorithm.

**Keywords** Sobel operator, Maximum entropy algorithm, Image segmentation, Edge detection

## 1 引言

图像分割是由图像处理到图像分析的一个关键步骤,在图像工程中占非常重要的位置,也是进一步进行图像理解的基础。图像分割的方法和种类有很多,有些分割运算可直接应用于任何图像,而另一些只能适用于特殊类别的图像。有些算法需要先对图像进行粗分割,因为它们需要从图像中提取出来的信息。例如可以采用对图像的灰度级设置门限的方法进行分割。值得提出的是,没有唯一的标准的分割方法。许多不同种类的图像或景物都可作为待分割的图像数据,不同类型的图像,已经有相对应的分割方法对其分割,同时,某些分割方法也只是适合于某些特殊类型的图像分割。分割结果的好坏需要根据具体的场合及要求衡量。图像分割是从图像处理到图像分析的关键步骤,可以说图像分割结果的好坏直接影响对图像的理解。

目前已提出了多种不同的图像分割方法,总体上来说这

些算法主要建立在图像本身的相似性上,其中主要有阈值法、区域增长法<sup>[1]</sup>、边缘检测法<sup>[2]</sup>、模糊方法和聚类法<sup>[3]</sup>等,这些方法在许多应用领域都获得了成功,但是没有一种方法适用于所有的图像。Vincent<sup>[4]</sup>等提出的分水岭算法是一种基于区域的图像分割算法,分水岭算法因实现方便,虽然已经在医疗图像、模式识别等领域得到了广泛的应用,但是容易导致图像的过分割。这些传统方法都会造成系统计算复杂度。尽管如今已有多种图像分割算法,但是没有任何一种分割方法能够适用于所有的图像。

基于二维最大熵值阈值法<sup>[5]</sup>的图像分割算法有一维最大熵值阈值分割法和二维最大熵值阈值分割法两大类。一维最大熵值阈值分割法只考虑了点灰度信息,无法反映图像的局部空间信息,当图像含有噪声时,其分割效果不尽理想。本文在基于二维最大熵图像分割算法的基础上,提出一种改进的 Sobel 算子的二维最大熵数字图像分割方法。算法首先根据数字图像特征对图像进行初分割,然后应用 Sobel 算子检测

到稿日期:2011-01-25 返修日期:2011-04-07 本文受国家自然科学基金(60973113),淮安市工业科技支撑项目(HAG2010069)资助。

章 慧(1970—),女,硕士,副教授,主要研究方向为计算机网络、模式识别与人工智能;龚声蓉(1966—),男,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为图像与视频处理、信息隐蔽、智能信息处理等,E-mail:baobaomami@sina.com(通信作者)。

出数字图像真正的边缘,将通过 Sobel 算法边缘检测获得的阈值应用到二维最大熵分割方法中。本文对数字图像目标和目标边缘分别使用不同的阈值进行分割。仿真实验表明,本文提出的算法对图像分割鲁棒性好,分割准确率高,是一种有效适用的算法。

## 2 图像分割原理

### 2.1 数字图像特征分析

图像的主要特征包括图像降采样率、颜色和方向。特征提取后,可以得到一个相应的特征图像,这个特征图像包含 3 个通道,每个通道对应着一组特征值。但是不同场景的图像,其特征图像会具有不同的特性。例如具有强烈纹理特性的图像,其方向特征会较其他两个特征有更大的对比度;而对于自然场景图像,其颜色和方向的对比度会比较大;对于建筑图像、人脸图像等,其亮度对比值和方向对比值较大。

### 2.2 数字图像分割原理

设原始图像的大小为  $N \times M$ ,其灰度级和邻域的平均灰度级均为  $L$ ,形成一个二元组  $(i, j)$ :像素点的灰度值和它的邻域平均灰度值。设  $q_{ij}$  为二元组出现像素点的个数,  $p_{ij}$  为二元组  $(i, j)$  发生的概率。

一幅图像经过数据采集、添加噪声、蜕化等过程后,由理想的二值化图像变化为一幅灰度图像,其蜕化过程可表示为<sup>[9]</sup>:

$$I(x, y) = A * B(x, y) + N \quad (1)$$

式中,  $A$  表示蜕化矩阵,  $N$  表示系统噪声。

通过对图像的观察,可以发现一幅图像中,主要信息的个数一般都是比较少的,而大部分背景所占像素比率较大。图像中背景所对应的像素个数占了图像中灰度值的绝大部分,而主要信息则只占有较小的比例。因此可以认为图像的灰度均值主要由其背景区域的灰度值所主导。

## 3 基于改进的 Sobel 算子最大熵图像分割

### 3.1 Sobel 边缘检测算子

本文算法的主要思想是首先根据数字图像特征对图像进行初分割,然后应用 Sobel 算子检测出数字图像真正的边缘,将通过 Sobel 算法边缘检测获得的阈值应用到二维最大熵分割方法中。本文对数字图像目标和目标边缘分别使用不同的阈值进行分割,解决由于局部粘连、叠加而产生的分割不准确的问题。

Sobel 算子<sup>[4]</sup>是一组方向算子,从不同的方向检测边缘。索贝尔算子不是简单求平均再差分,而是加强了中心像素上下左右 4 个方向像素的权重,运算结果是一幅边缘图像。Sobel 算子有两个,一个是检测水平边沿的,另一个是检测垂直边沿的。

$$f_x'(x, y) = f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1) - f(x-1, y-1) - 2f(x, y-1) - f(x+1, y-1) \quad (2)$$

$$f_y'(x, y) = f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1) - f(x+1, y-1) - 2f(x+1, y) - f(x+1, y+1) \quad (3)$$

$$G[f(x, y)] = |f_x'(x, y)| + |f_y'(x, y)| \quad (4)$$

式中,  $f_x'(x, y)$ 、 $f_y'(x, y)$  分别表示  $x$  方向和  $y$  方向的一阶微分,  $G[f(x, y)]$  为 Sobel 算子的梯度,  $f(x, y)$  是具有整数像素坐标的输入图像。求出梯度后,可设定一个常数  $T$ , 当  $G[f(x, y)] > T$  时, 标出该点为边界点, 其像素值设定为 0, 其它的设定为 255, 适当调整常数  $T$  的大小来达到最佳效果。

Sobel 算子的另一种形式是各向同性 Sobel (Isotropic Sobel) 算子, 各向同性 Sobel 算子和普通 Sobel 算子相比, 它的位置加权系数更为准确, 在检测不同方向的边沿时梯度的幅度一致。各向同性 Sobel 边缘检测算子实质上就是一种提取图像中小波变化的模局部极大值点(图像边缘的方向性体现在图像的局部变化以及沿该方向上的全局性)并抑制非极大值的算法。传统的小波变换所提取的特征并不能反映这一性质, 因此选择各向同性 Sobel 算子来首先对图像边缘进行预处理, 就可以建立 Sobel 算子与小波分解之间的联系。

### 3.2 二维最大熵图像分割算法

设图像具有  $L$  级灰度级, 则邻域平均灰度也为  $L$  级。对于图像上的各像素点, 用  $f(x, y)$  来表示灰度值, 而邻域平均灰度值表示为  $g(x, y)$ , 则定义为如下方法:

$$g(x, y) = \frac{1}{k^2} \sum_{m=-k}^k \sum_{n=-k}^k f(x+m, y+n) \quad (5)$$

图像像素点的灰度值和邻域平均灰度值组成二元组, 用  $(i, j)$  来表示图像, 频度记为  $f_{i,j}$ , 所对应的联合概率密度为  $p_{i,j} = f_{i,j} / (N \times M)$  ( $i=0, 1, 2, \dots, L-1, j=0, 1, 2, \dots, L-1$ )。因此构成二维灰度直方图, 如图 1 所示。

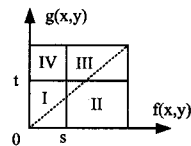


图 1 灰度直方图的分区图

当把任意的二维矢量  $(s, t)$  作为一个阈值时, 可以将图像分割成 4 个区域, 而 II, IV 区域远离对角线, 可以假设这两个区域的概率很小, 可以忽略不计。那么主要考虑的就是 I, III 区域, 利用二维最大熵的方法确定最佳阈值, 将目标和背景较好的区分出来。目标和背景的最优阈值可通过以下式子得到。

其中, 区域 I 和区域 III 发生的总概率分别为:

$$P_I = \sum_{i=0}^{t-1} \sum_{j=0}^{s-1} p_{i,j}, P_{III} = \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} p_{i,j} \quad (6)$$

则与每个分布有关的熵分别为:

$$H_I(s, t) = - \sum_{i=0}^{t-1} \sum_{j=0}^{s-1} \frac{p_{i,j}}{P_I} \lg(p_{i,j}/P_I) \quad (7)$$

$$H_{III}(s, t) = - \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} \frac{p_{i,j}}{P_{III}} \lg(p_{i,j}/P_{III}) \quad (8)$$

记目标和背景的总熵是  $H(s, t)$ , 做判别函数:

$$H(s, t) = H_I(s, t) + H_{III}(s, t) \quad (9)$$

根据最大熵原理, 最佳阈值向量满足:

$$H(s^*, t^*) = \max\{H(s, t)\}$$

### 3.3 Sobel 算子二维最大熵分割算法

应用 Sobel 算子检测出数字图像真正的边缘, 将通过 Sobel 算法边缘检测获得的阈值应用到二维最大熵分割方法中。虽然二维最大熵考虑了灰度值和空间信息, 然而得到的还是整体阈值, 图像分割出来的效果不是很好。所以, 我们可以根

据图像的边缘信息,在对图像大部分背景进行整体阈值分割后,对图像密度大或粘连的部分采取局部阈值进行分割,使整体阈值和局部阈值结合起来。实验证明,这样的分割手段对一般的数字图像的分割很有效。

无论图像上的明亮度是明还是暗,或者目标灰度值是否存在差异,有些目标总是处在灰度不连续的位置上,而目标的边缘是可以由边缘检测算子得到的。因此我们考虑使用 Sobel 算子检测出目标边缘,同时对噪声进行非极大抑制,再结合二维最大熵来进行图像分割。下面给出算法步骤。

首先,用二维最大熵方法计算出图像的整体分割阈值( $t, s$ )。

然后,用 Canny 边缘检测算子得到图像边缘图像。对图像的边缘部分上的每一点,进行极大噪声抑制,对边缘图像取两次阈值  $T_1$  和  $T_2$ 。我们把小于  $T_1$  的像素灰度设为 0,得到图像 A,然后把阈值小于  $T_2$  的像素灰度设为 0,得到图像 B。图像 B 的阈值较高,去除了大部分噪声,但也损失了有用的边缘信息,而图像 A 的阈值较低,保留了较多的信息。在图像 B 的基础上,用图像 A 来补充图像 B 的边缘。我们计算边缘处的阈值  $T_2$  的范围为 13~15,在本文中取阈值 15 能得到较好的效果。

最后在  $s$  不变的情况下,利用求得的阈值  $T_2$  对图像进行分割得到结果。在此使用全局阈值和局部阈值相结合的方法来分割图像。

#### 4 实验结果及分析

本文所有的实验都是在 PC P4 T2310 1.86G,2GRAM, Intel 182865G 显卡的计算机上进行的,实验环境为 MATLAB7.0。为了说明本文算法的有效性,根据上面所提出的方法对图像进行了仿真实验,与传统的阈值算法、小波算法、单一算子分割算法以及单一最大熵权值图像分割算法相比。如图 2 所示,图(a)显示的是大小为  $256 \times 256$  的图像,作为本文的测试图像;图(b)显示的是采用了传统的阈值图像分割算法,从图像中可以看出,图像分割边缘不明显,特别是有重叠现象;图(c)显示了采用小波变换图像分割算法的结果,同样,该方法分割的效果边缘不清晰,分割的精度不高;图(d)显示的是采用了 Sobel 算子的图像分割结果,图像黑白区域比较明显,但是丢失了很多有用的信息;同样图(e)采用的是最大熵分割算法;图(f)采用的是传统的 Canny 算子图像分割算法,它们在分割过程中都丢失了图像的重要信息;图(g)显示的是本文分割算法。可以看出,本文提出的改进算法可有效地分割图像,边缘分割效果明显,特别是保留了图像中有用的信息。

为了更进一步地说明本文算法的有效性和优越性,采用了给出的 6 种图像分割算法的所用时间和峰值信噪比 (PSNR) 来评价图像的质量<sup>[11]</sup>。值越大,说明图像的质量越高;用归一化互相关系数 (NC) 来评价本文算法分割图像。公式如下:

$$PSNR = 10 \lg \frac{M \times N \times 255^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [W(i,j) - W'(i,j)]^2} \quad (10)$$

式中,  $M \times N$  为图像大小,  $W(i,j)$ 、 $W'(i,j)$  为分割后的图像位置  $(i,j)$  处的灰度值,当  $PSNR \geq 38\text{dB}$  时,人眼即分辨不出两幅图像的差别。



(a) 原图



(b) 阈值分割结果 (c) 小波变换分割结果 (d) Sobel 算子分割结果



(e) 最大熵分割结果 (f) Canny 算子分割结果 (g) 本文算法分割结果

图 2 图像分割结果对比

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W(i,j) \times W'(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W^2(i,j)} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N W'^2(i,j)}} \quad (11)$$

式中,  $M$  与  $N$  仍为图像大小,  $W(i,j)$ 、 $W'(i,j)$  表示源图像与增强后图像在位置  $(i,j)$  处的灰度值,  $NC$  值越接近于 1 越好。具体如表 2 所列。

表 2 图像质量评价标准

算法	PSNR/dB	时间	NC
阈值分割算法	20.723	0.578	0.8900
小波分割算法	21.861	0.641	0.9100
Sobel 算子分割	25.782	0.391	0.8900
最大熵图像分割	25.782	0.906	0.9100
Canny 算子图像	21.384	2.531	0.9010
本文算法	29.433	1.226	1.0000

从表 1 中可以看出,本文算法具有非常大的优越性。

**结束语** 图像分割技术一直是图像处理领域最为关键的技术之一,本文主要针对传统的图像分割算法分割精度不高且算法复杂度高等缺陷,提出了一种基于 Sobel 算子的最大熵分割算法,并应用到图像的分割中。仿真实验验证了本文算法具有非常优越的性能,值得推广。

#### 参考文献

- [1] Xia Yong, Feng Da-gan, Wang tian-jiao. Image segmentation by clustering of spatial patterns[J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(12): 1548-1555
- [2] 刘正光,肖泉建,车秀阁. 基于二维灰度直方图的最小模糊熵分割方法[J]. 天津理工大学学报, 2005, 21(1): 65-68
- [3] 陈果,左洪福. 图像分割的二维最优熵遗传算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(6): 530-53
- [4] 魏军伟,方敏. 基于最大熵和形态学的边缘检测[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(21): 70-72

(下转第 292 页)

的 614 个时钟周期相比都有了很大的改进。

使用 Verilog 实现本文前面设计的 H. 264 去块滤波器, 在 Mentor Graphics 公司提供的 ModelSim SE PLUS 6. 1f 上进行 RTL 级模拟仿真, 然后在 Xilinx 公司提供的 ISE 9. 1 平台上进行综合, 配置选择 Virtex2P 系列的 XC2VP30, 开发包为 FF896, 速度选择 6 级, 得到其资源对 FPGA 资源的使用数据。与改进前(见图 9 中 DF\_top0)相比, 使用了更少的 FPGA 资源, 节约了约 25% 的 FPGA 硬件资源单元 Slices。综合表明, 过滤处理的频率最大为 72. 396MHz, 能够满足高清视频的要求。

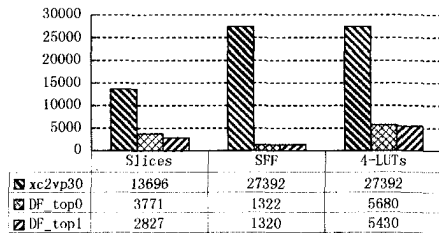


图 9 去块滤波器硬件资源使用

最后将生成网表在 XC2VP30 FPGA VIRTEX-II PRO 开发板上配置布线。将输入输出设置在最坏 PVT 情况下, 可以以 72. 396MHz 的频率配置布线。在处理 CIF 视频文件时速度可达 689frame/s, 平均每帧花费时钟周期 105074, 每一宏块花费的时钟周期为 265, 与理论 252 相差 13 个时钟周期, 但是与文献[6, 7]相比较还是有很大改进, 速度得到提高。处理 1920×1080 的高清视频速度可达 33. 5frame/s, 处理 1080 HD@30 frame/s 图像大概需要 64. 872MHz 即可, 能够满足高清视频的需要。

**结束语** 根据 H. 264 视频编码标准, 本文通过改进去块滤波的基本顺序, 提出了一种流水线的过滤结构, 从而减少了

过滤处理过程中的中间数据, 降低了处理过程中需要的寄存器资源, 减少了 FPGA 的硬件资源。对过滤计算进行了优化, 提高了过滤速度。仿真和综合表明, 本文设计的 H. 264 去块滤波器实现了设计目标。但是对于整个 H. 264 编码器的优化而言, 研究工作还需要继续。接下来的工作, 将围绕 H. 264 视频编码标准的帧内预测、帧间预测的运动估计和预测补偿等其他数据量大、计算复杂的模块进行优化和设计。最终使用 Xilinx 公司的 VIRTEX-II 能够同时运行 H. 264 的几个计算量大的模块, 使用可重构技术, 实现 H. 264 解码器。

## 参考文献

- [1] Joint Video Team(JVT) of ITU-T VCEG and ISO/IEC MPEG. Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification[S]. ITU-T Rec. H. 264 and ISO/IEC 14496-10 AVC. May 2003
- [2] Richardson I E G. H. 264 and MPEG-4 Video Compression[M]. Wiley & Sons, ed. England, 2003
- [3] Wiegand T, Sullivan G J, Bjøntegaard G, et al. Overview of the H. 264/AVC Video Coding Standard[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7)
- [4] Keith J. Video Demystified(4th edition)[M]. Eagle R, ed. VA: LLH Technology Publishing, 2004
- [5] 林亭安. 应用于数位电视之视讯双标准解码器设计与实现[D]. 台湾: 国立交通大学电子工程系, 2005
- [6] Huan G Y W, Chen N T W, Hsieh B Y, et al. Architecture design for deblocking filter in H. 264/JVT/AVC [C]//IEEE Int'l Conf on Multimedia and Expo. IEEE, 2003: 693-696
- [7] Shen G B, Gao W, Wu D. An implemented architecture of deblocking filter for H. 264/AVC [C]//IEEE Int'l Conf on Image Processing. IEEE, 2004: 665-668

(上接第 280 页)

- [5] Chanda I D B, Chattopadhyay B. Enhancing effective depth-of-field by image fusion using mathematical morphology [J]. Image and Vision Computing, 2006, 24(12): 1278-1287
- [6] Tao G Q, Li D P, Lu G H. On image fusion based on different fusion rules of wavelet transform[J]. Acta Photonica Sinica, 2004, 33(2): 222-227
- [7] Comaniciu D, Meer P. Mean Shift: A Robust Approach Toward

Feature Space Analysis[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619

- [8] 马剑英, 张晓娜. 基于免疫遗传算法的图像多阈值分割[J]. 微计算机信息, 2007(1-3): 309-311
- [9] 宋翠家, 龙建忠, 罗代升. 基于遗传算法的模糊熵多阈值图像分割[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(4): 572-573
- [9] 万辉. 一种基于最小二乘支持向量机的图像法[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2011, 25(6): 53-57

(上接第 287 页)

方法同样适用。

## 参考文献

- [1] Chikofsky E J, Cross J H. Reverse Engineering and Design Recovery: A Taxonomy[J]. IEEE Software, 1990, 7(1): 13-17
- [2] 张绮文, 王廷广. ARM9 嵌入式应用开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009
- [3] Litimited A R M. ARM Procedure Call Standard for the ARM®

Architecture[EB/OL]. <http://infocenter.arm.com/>, 2008

- [4] Steve Micallef. IDA Plug-in Writing In C/C++[EB/OL]. <http://www.binarypool.com/idapluginwriting/>, 2009
- [5] Eagle C. The IDA Pro Book[M]. San Francisco: No Starch Press Inc., 2008
- [6] 陈龙, 武成岗, 谢海斌, 等. 二进制翻译中解析多目标分支语句的图匹配方法[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(10): 1789-1798
- [7] ARM Litimited. ARM Architecture Reference Maual[EB/OL]. <http://infocenter.arm.com/>, 2005