

一种对光照具有鲁棒性的图像分割方法^{*}

赵瑶池, 蔡自兴

(中南大学 智能系统与智能软件研究所, 湖南 长沙 410083)

摘要: 研究了灰度图像的 OTSU(最大类间方差)自动阈值分割法。OTSU 方法作为一种单一阈值的分割方法, 当图像受光照和反射光等的影响明显时, 将会出现严重的误分割现象。考虑到 OTSU 方法的最大类间方差化的思想, 根据灰度图像的像素点灰度的直方图分布、空间分布, 提出了一个新的分割阈值方法。先根据 OTSU 方法的特点自设计一个函数, 对图像进行变换, 以便后面的处理, 再对其图像以改进的 OTSU 方法进行分割。通过对化学实验中两种液体的拍摄图片及数字图像处理中标准图片进行试验, 理论分析与实验结果表明: 该方法能够对受光照及反射光影响大的图像实现正确的分割, 将目标图像清晰地从背景中分割出来。

关键词: 图像处理; 图像分割; 阈值分割; 最大类间方差

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2005)09-0154-02

Robust Method of Image Segmentation for Image Affected by Illumination and Reflexion

ZHAO Yao-chi, CAI Zi-xing

(Center for Intelligent System & Software, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

Abstract: Studies the method of OTSU automatic thresholding segmentation. As a method of single threshold segmentation, the effect is bad when the image is affected by illumin and reflexion. A new method of automatic threshold selection is proposed according to the gray level statistics about the pixel of the local target and background region. Firstly the pixel in image is transfered by a special function, then the image is devided into two parts by an improved method of OTSU automatic thresholding. Theoretical analysis and practical outcomes show that correct image segmentation can be obtained for an image badly affected by illumination and reflexion.

Key words: Image Processing; Image Segmentation; Thresholding Segmentation; OTSU

1 引言

近几年来计算机图像处理技术和模式识别技术越来越多地被应用于机器识别。本文利用这两种技术的结合来实现化学实验中两种液体的分割, 并将分离界面的轮廓提取出来。在将液体分界面从两种液体中提取出来的过程中, 采用二值化的图像分割方法是其中的关键技术之一, 其结果将直接影响到轮廓提取的精确与否。

图像分割是一种基本的图像分析技术, 按分割算法的不同可分为区域法、边界探测法和匹配法等。近年来, 不少学者将模糊数学、分形学以及小波分析等方法引入到图像处理中, 分别提出了以模糊理论为基础的图像分割方法^[1]、基于分形模型的人造目标检测技术^[2]、应用小波变换的多尺度边缘检测和阈值选取方法等^[3]。然而大多数的图像分割都是基于区域像素级别的分割, 即对图像的直方图分析得到一分割阈值。阈值化是一个广泛使用的工具。

多年来尽管很多专家一直致力于图像阈值总能应用于所

有图像求出最佳阈值, 然后将此阈值对整幅图像进行二值化分割的方法, 但是没有一个评价各种阈值分割方法的统一的评价函数, 图像阈值分割的最佳阈值的求取方法往往根据其具体情况而定。常用的阈值分割方法有以下三种:

(1) 整体阈值法。它指利用整幅图像的信息对图像求出最优阈值, 在二值化分割过程中只使用这一个固定阈值。此方法对于质量较好的图像较为有效, 特别是对具有双峰直方图的图像(一个峰对应图像中的背景, 另一个峰对应于图像的目标)而言。典型的算法有矩量优质法(MOM)、简单统计法(SIS)、最大类间方差法(OTSU)、最大熵法(ENT)、最小误差法(MINE)等。

(2) 局部阈值法。它是把原始图像分为几个小的子图像, 再对每个子图像求出最佳阈值。对每个子图像一般可以采用求取全局阈值的方法来确定各子图像的阈值。此方法对复杂的图像效果较好, 但它的时间开销大, 而且在某些情况下会产生一些失真。

(3) 动态阈值法。它的阈值求取方法不仅取决于该像素的灰度值及其领域内像素灰度值, 而且还与像素的坐标位置有关, 典型的算法有 Yanowitz and Bruchstein 算法以及自适应阈值算法。这种方法灵活性大, 但是复杂度高, 计算量和时间开销都比较大。

本文采用了 OTSU 方法分割实验图像, 根据 OTSU 方法的

收稿日期: 2004-09-25; 修返日期: 2004-11-30
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60234030); 湖南省科研专项基金资助项目; 中南大学博士点基金资助项目

类间方差化最大的特点改进了其算法, 理论分析与实验结果表明: 该算法能够对受光照及反射光影响大的图像实现正确的分割, 将目标图像清晰地从背景中分割出来。

2 OTSU 阈值分割方法简介

OTSU 阈值化方法是一种自动的、非参数、无监督的阈值选择法, 它是基于类间方差为最大的测度准则, 最佳的阈值在该测度函数取最大时得到^[4,5]。该方法计算简单, 仅需计算灰度直方图的零阶和一阶累积矩, 并且通过实验比较证明, OTSU 是一种很好的阈值化方法。OTSU 算法不仅适用于单阈值的选择, 而且可用于多阈值确定, 被认为是阈值自动选取的最佳方法^[3]。

二维图像的每一像素的信息可以用灰度值来表示。所有灰度值的统计信息可以用一维直方图 $p_i(i = 1, 2, \dots, T)$ 来表示, p_i 可看成是对背景和对像物的混合概率密度函数的一个估计。对阈值 $t(1 < t < T)$, 记

$$p_0(t) = \sum_{i=1}^t p_i$$
$$p_1(t) = \sum_{i>t}^T p_i = 1 - p_0(t)$$
$$\mu_0(t) = \sum_{i=1}^t p_i \cdot i / p_0(t)$$
$$\mu_1(t) = \sum_{i>t}^T p_i \cdot i / p_1(t)$$
$$\sigma_0^2(t) = \sum_{i=1}^t (i - \mu_0(t))^2 p_i / p_0(t)$$
$$\sigma_1^2(t) = \sum_{i>t}^T (i - \mu_1(t))^2 p_i / p_1(t)$$

并记 $\mu_T = \sum_{i=1}^T p_i$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^T p_i \cdot (i - \mu_T)^2$$

类间差 σ_B^2 , 类内差 σ_W^2 分别定义为

$$\sigma_B^2 = p_0(t) p_1(t) (\mu_0(t) - \mu_1(t))^2 = p_0(t) (\mu_0(t) - \mu_T)^2 + p_1(t) (\mu_1(t) - \mu_T)^2 \tag{1}$$
$$\sigma_W^2 = p_0(t) \sigma_0^2(t) + p_1(t) \sigma_1^2(t) \tag{2}$$

通常, 人们通过最大化 σ_B^2 或最小化 σ_W^2 , 即求

$$g = \arg \max_{t \in m-1} p_0(t) (\mu_0(t) - \mu_T)^2 + p_1(t) (\mu_1(t) - \mu_T)^2 \tag{3}$$

来达到获取阈值的目的。

后来付忠良等提出了推广的阈值求取方法, 用灰度方差来取代灰度均值。

$$g = \arg \max_{t \in m-1} p_0(t) (\sigma_0(t) - \sigma_T)^2 + p_1(t) (\sigma_1(t) - \sigma_T)^2 \tag{4}$$

3 根据 OTSU 图像分割方法改进的算法

然而在实际图像中, 由于噪声或其他干扰等因素的影响, OTSU 阈值分割并不能使图像分割得到满意的结果, 往往会产生严重的分割错误。这是因为图像的灰度直方图分布不一定出现明显的峰和谷, 像素灰度值仅仅反映了像素灰度级的幅值大小, 并没有反映出像素与邻域的空间相关信息^[6]。

经过对图像的具体实验发现, 当目标与背景灰度差不明显时, 会出现无法忍受的大黑块区域, 甚至会丢失整幅图像的信息; 当目标比背景小很多, 目标信息对整幅图像灰度信息的贡献太小的时候, 类间方差准则就会失败。

OTSU 方法能够允许图像存在些许亮度差与对比度的变化, 当整幅图像受光线与反射光等的影响很大, 不同的区域呈现明显不同的亮度、不同的对比度时, OSTU 全局阈值分割很

可能出现错分的情况, 将目标错分为背景, 或将背景错分为目标的情况。在这种情况下可以考虑采用局部 OTSU 分割方法, 将图像划分为若干子块, 对各子块分别应用最大类间方差化求得阈值, 但是在区域交接的地方可能会出现无法忍受的毛刺, 分割出来的图像严重失真^[7]。

OSTU 阈值分割作为一种单一的阈值分割方法, 其效果受原图像整体灰度分布的影响, 在本实验中不但要求将图像中的三个物体分开, 而且还要求得到其精确的轮廓线。可以先对图像进行预处理, 然而在进行预处理的时候不可避免地会存在图像的失真, 如果某些严重失真在轮廓处的时候, 那么势必会影响到最后的轮廓提取结果。在本实验中, 根据 OTSU 的特点对图像应用一个自制的空间及灰度的二元函数, 在不改变图像效果的同时, 扩大类间的灰度差, 缩小类内的灰度差, 使之成为相对 OTSU 阈值分割方法来说质量较好的图像。实验证明最后可以达到很好的分割效果。

图 1 为待分割的图像, 是切割下来的坩埚中两种液体的右半部分图像, 上下分别为两种溶液, 中间有一圆状物体。由图 1 可知, 最右边的灰度级别最高, 而且对比度最大, 从右至左, 灰度对比度逐渐减弱, 到最左边时基本上肉眼辨别不出来。选取下面的函数作为灰度变换的依据:

$$y_{ij} = g(i, j) \cdot f(i, j, g) \tag{5}$$

其中, i, j 分别为像素点的横坐标、纵坐标, g 为该点像素的灰度值。

(1) 将图像按横向分为 N 个子区域,

$$f(i, j, g) = F(n) \tag{6}$$

其中, n 为像素点所对应的子区域号。

(2) 对每个子区域图像上下两部分某代表性区域作统计, 计算它们的平均灰度 h_n, h''_n 以及上下两部分的灰度差 c_{io} 。

$$c_i = h_0 - h''_0$$
$$F(n) = (c_1 / c_i) \cdot 2 = (h_0 - h''_0) / (h_n - h''_n) \cdot 2 \tag{7}$$

其中系数 2 为根据实际情况得出的经验值。第 0 区域为灰度级别最高也最清晰的区域, 所以选取其作为其他各子区域的基准。

为了防止部分区域受噪音干扰或局部干扰, 考虑对 $F(n)$ 进行三阶平滑处理。

$$F(n) = (F(n) + F(n-1) + F(n-2)) / 3 \quad n=2, 3, 4, N-1 \tag{8}$$

由式 (3) 可知, 该函数考虑了像素的灰度情况, 也考虑了像素的空间情况(因为此图像受光照的影响较大)。针对各个子区域的实际情况选取了不同的函数, 把整幅图像的灰度拉伸到了基准区域的灰度范围内, 而选取最清晰的区域作为基准区域可保证整幅图像的对比度, 既提高了亮度, 又提高了清晰度。这种方法保证了图像在不失真的前提下扩大了类间方差, 为后面的最大类间方差化阈值分割准备了条件。

在最大类间方差(OTSU) 方法中是用灰度均值来代替目标与背景, 最优的阈值使两部分尽量地都远离图像中心。在推广的阈值求取方法中, 用灰度方差来取代灰度均值, 方差反映了目标和背景的离散程度, 而其离散值主要由其边缘来决定。如果分割出的两部分中某部分的平均方差与总体平均方差比较接近, 则有可能把整个边界都分割到了该部分去, 即出现了误分。本文考虑到这两种方法的不同角度, 采用两种方法的结合, 即求取

(下转第 158 页)