

基于灰度和局部熵迭代的红外目标分割算法

李言俊, 丁德锋

(西北工业大学 航天学院, 陕西 西安 710072)

摘要: 图像阈值分割在图像分析和图像识别中具有重要的意义, 给出了一种以改进的最大类间方差法为基础的自适应阈值图像分割方法, 同时利用分割后目标和背景区域的灰度信息和局部熵信息, 设计了一个判断是否得到正确分割的准则, 通过迭代循环, 完成对图像的自动分割。实验结果表明, 本文算法自适应性强, 可以快速、准确、完整地分割出复杂背景图像中不同大小的红外目标。

关键词: 红外图像分割; 最大类间方差法; 自适应阈值; 熵

中图分类号: TN911.73 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2006)10-0677-04

Infrared Image Segmentation Algorithm Based on Iteration of Gray Level and Local Entropy

LI Yan-jun, DING De-feng

(College of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Shaanxi Xi'an 710072, China)

Abstract: Image threshold segmentation is of important significance for image analysis and recognition. A adaptive method of automatic threshold selection based on the improved Otsu thresholding is given. Taking the gray level statistics and local entropy of the resultant target and background region as a criterion for discrimination, the segmentation whether is right or not shall be judged and the purpose of image segmentation shall automatically be carried out by using iteration. The result of experiment shows that the method has a good adaptive, and infrared targets with different dimension can be segmented out of complex background quickly, completely and rapidly.

Key words: infrared image segmentation; Otsu method; adaptive thresholding; entropy

引言

图像分割是大多数图像分析和视觉系统的重要组成部分, 其目的就是把图像中的物体与背景分开, 将人们感兴趣的目标从图像背景中提取出来, 为后续处理提供基础。研究人员提出了许多图像分割算法, 或者将几种理论相融合的方法^[1], 但到目前为止还不存在一种通用的方法, 也不存在一个判断分割是否成功的客观标准, 因此被认为是计算机视觉中的一个瓶颈^[2]。其中, 阈值法因其实现简单、计算量小、性能

较稳定而成为图像分割中最基本和应用最广泛的分割技术。最大类间方差法(Otsu)是自动目标识别过程中常用的阈值选取方法, 具有算法简单、易于实现且计算量小等优点, 因此, 常用于一般的实时图像处理系统中^[3]。

红外图像反映目标及其周围背景的温度分布情况, 噪声大、分辨力低、边缘模糊, 目标的细节难以分清, 利用阈值法分割可以得到较好的效果。根据红外图像的特点, 作者给出一种新的阈值分割法, 即在改进的一维Otsu阈值法基础上^[4], 运用图像灰度信息和局部熵原理设计一个循环分割准则, 以此选择阈值对图像进行分割, 最后给出了结论。

1 对经典 Otsu 算法的改进

1.1 经典的 Otsu 算法^[5]

设图像灰度级范围为 $C_i = \{0, 1, \dots, l-1\}$, 灰度为 i 的像素数目为 n_i , 则图像的总像素数目为:

收稿日期: 2006-07-04

作者简介: 李言俊(1944—), 男, 汉族, 河南省台前县人,

西北工业大学航天学院教授, 博士生导师, 主要从事导弹制导、光电对抗、图像处理、模式识别等研究。

基金项目: 航天技术创新基金(N4CH008);
航空科学基金(04I53067);
航空支撑科技基金(05C53005)

$$N = \sum_{i=0}^{l-1} n_i \quad (1)$$

灰度为 i 的像素在本图像中出现的概率为 $p_i = n_i/N$ 。然后用一整数门限值 t 将图像 H 中的像素划分为两类:

$$C_0 = \{0, 1, \dots, t\}; \quad C_1 = \{t+1, t+2, \dots, l-1\}$$

类 C_0 和类 C_1 出现的概率分别为:

$$p_0(t) = \sum_{i=0}^t p_i \quad (2)$$

$$p_1(t) = \sum_{i=t+1}^{l-1} p_i = 1 - p_0(t) \quad (3)$$

灰度均值分别为:

$$\mu_0(t) = \sum_{i=0}^t i p_i / p_0(t) \quad (4)$$

$$\mu_1(t) = \sum_{i=t+1}^{l-1} i p_i / p_1(t) \quad (5)$$

图像的灰度总体均值为:

$$\mu_T(t) = \sum_{i=0}^{l-1} i p_i \quad (6)$$

类 C_0 和类 C_1 的类间方差为:

$$\sigma_B^2(T) = p_0(t)p_1(t)[\mu_1(t) - \mu_0(t)]^2 \quad (7)$$

最大阈值为:

$$t^* = \operatorname{Arg} \max_{i \in [0, 1, \dots, l-1]} \sigma_B^2(t) \quad (8)$$

1.2 Otsu 算法取值范围的改进

设一幅图像大小为 $m \times n$, 灰度值范围为 $0 \sim (l-1)$ 级, 则初始阈值为:

$$T_0 = \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} f(x, y) / N \quad (9)$$

式中: $f(x, y)$ 为点 (x, y) 的灰度值, $N = m \times n$ 为图像的总像素数。

由于红外目标图像由大量较暗背景和少量较亮目标构成, 基于图像统计特性, 初始分割阈值采用整幅图像的平均灰度值 T_0 。而实际复杂场景中背景的灰度还可能高于某些目标灰度, 利用初始阈值对图像进行分割, 可能将部分亮背景错判为目标, 且由于目标的灰度值必高于初始阈值 T_0 , 因此这样选取 Otsu 阈值的下限, 可以保证目标的完整分割。

利用初始阈值 T_0 将图像分割为背景区域和目标区域 C_1 , 在区域 C_1 中目标所占比例增大, 且经实验证明亮度高于 T_{C_1} 值的点绝大部分属于目标点, 因此可以将 C_1 的灰度均值 T_{C_1} 设为阈值的上限:

$$T_{C_1} = \sum \sum f_{C_1}(x, y) / N_{C_1} \quad (10)$$

式中: $f_{C_1}(x, y)$ 为经过初始阈值 T_0 分割后区域 C_1 各点的灰度值, N_{C_1} 为区域 C_1 的像素总数。

至此确定了最佳阈值范围 $[T_0, T_{C_1}]$, 使用 Otsu 法在此取值范围内对原始图像 $f(x, y)$ 加以处理得初始分割图像 IM。

$$IM = \begin{cases} 0 & f(x, y) < T_0 \\ 255 & f(x, y) > T_{C_1} \\ f(x, y) & \text{other} \end{cases} \quad (11)$$

2 基于 Otsu 算法和局部熵的递归分割算法

单一的分割方法如果不能获得满意的结果, 可以将多种分割方法综合起来, 利用各自的优势, 以得到令人满意的分割结果, 据此作者提出一种基于 Otsu 算法和局部熵综合集成的分割方法。

2.1 熵函数的引入

“熵”是平均信息量的表征, 在数字图像处理和模式识别上有很多应用。局部熵反映了图像灰度的离散程度, 由窗口内多像素点共同作用, 对于单点噪声不敏感, 具有一定的滤波效果。当图像灰度相对均匀时, 局部熵大, 当图像灰度离散性较大时, 局部熵变小, 所以根据图像局部熵可以把灰度相对均匀的目标分割出来。

Pun^[6]给出了图像熵的基本定义。对一幅大小为 $m \times n$ 的灰度数字图像, 令 $f(x, y)$ 为图像中坐标为 (x, y) 处的像素的灰度值, $C_i = \{0, 1, \dots, l-1\}$ 是像素灰度级的集合。则, 图像熵的基本定义为:

$$H_f = - \sum_{i=0}^{C_l} p_i \log(p_i) \quad (12)$$

式中: $p_i = n_i / (m \times n)$ 表示像素灰度值 $f(x, y) = i$, ($i \in C_l$) 在图像中出现的概率, n_i 表示 $f(x, y) = i$ 的像素在图像中的个数。

2.2 算法原理

假设在目标中目标灰度比背景灰度高, 首先在最佳阈值范围 $[T_0, T_{C_1}]$ 内用 Otsu 算法对初步分割图像 IM 进行分割, 得门限 t , 小于 t 的点集标记为背景; 大于 t 的点集为待分割目标区域 S_C 。然后, 计算区域 S_C 灰度分布信息和局部熵信息。最后, 判断是否符合递归的终止条件, 如果符合, 则认为目标和背景已完全分开, 分割任务完成; 如果不符合, 则在范围 $[T_0, T_{C_1}]$

内对区域 S_C 使用 Otsu 算法进行进一步分割，直到满足递归分割的终止条件。

在循环分割过程中，门限 t 不断增大，Otsu 算法取值范围 $[T_0, T_{c1}]$ 逐步变小，图像灰度分布趋集中，局部熵变小。随着待分割区域 S_C 的缩小，图像中的背景被逐渐剔除，目标信息所占的比例增大，最终可获得正确的分割结果。

2.3 算法实现

为更好地阐述递归分割终止条件，作者引入四个变量 Yet_Mean 和 Yet_Entr，及 Wait_Mean 和 Wait_Entr。可得如下方程组

$$\begin{cases} a = w(Wait_Mean - Yet_Mean)^2 \\ b = w(Wait_Entr - Yet_Entr)^2 \end{cases} \quad (13)$$

式中： w 为权值，Wait_Mean 表示待分割区域像素的灰度均值，Wait_Entr 表示待分割区域局部熵。Yet_Mean 表示已分割区域像素的灰度均值，Yet_Entr 表示已分割区域局部熵。 a 为区域 Yet_Mean 和区域 Wait_Mean 的相似性度量， b 为区域 Yet_Entr 和区域 Wait_Entr 的相似性度量。

递归分割终止条件：

当方程组中 a 和 b 同时分别小于某一给定门限时，递归结束，输出最优阈值 $t^*=t$ ，否则递归继续。目标分割终止条件由确定的判决准则决定，判决准则可以根据需要选用不同形式，以期到满意的结果。该

算法的流程图如图 1 所示。

3 试验结果

以上介绍了该算法的原理及主要计算公式，作者将它与经典 Otsu 法、迭代法（iteration）做了比较，结果如下：

图 1 自适应阈值选取算法流程图

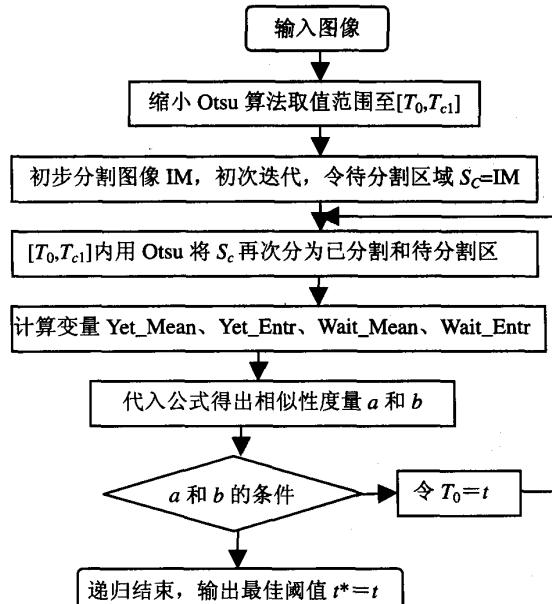


Fig.1 Flow chart of adaptive thresholding algorithm



(a) 原始图像



(b) Otsu 法



(c) Iteration 法



(d) 本文算法

Fig.1 Segmentation results of small object image



(a) 原始图像



(b) Otsu 法



(c) Iteration 法



(d) 本文算法

Fig.2 Segmentation results of large object image

表1 分割算法比较

Table 1 Comparison of segmentation arithmetic

| 目标 | Otsu 算法 | Iteration 算法 | 本文算法 | $[T_0, T_{cl}]$ 范围 | 迭代次数 |
|-----|---------|--------------|------|--------------------|------|
| 小目标 | 93 | 95 | 103 | [83, 117] | 3 |
| 大目标 | 116 | 118 | 178 | [114, 193] | 3 |

图像1是一幅处于复杂自然背景中的红外小目标，目标和背景的灰度值存在交错，对比度和信噪比较低。图1(a)和图1(b)分别为经典Otsu法和Iteration法分割结果，图1(c)为本算法分割结果。可以看出，本文算法的分割结果有效的抑止了背景噪声的干扰。原始图像2是一幅处于相对均匀背景下的直升机的红外图像，但图像下半部分受地面杂波干扰较大。图1(a)中的经典Otsu法和图1(b)中的Iteration法均无法从地面杂波中将目标完整地分割出来。而本文算法虽然损失了部分目标细节，却较完整地分割出了目标轮廓，而损失的部分目标细节对后续的跟踪、识别过程影响不大。

3 结论

Otsu算法和基于熵的算法是两种传统的图像分割方法。本文将这两种方法结合起来，缩小Otsu算法取值范围，减少了计算量，提高了系统的实时性；运用基于灰度和熵的迭代算法，提高了分割精度。结合两种算法的优点对图像进行分割，不断剔除背景区域，最大限度地将目标从背景中分离出来。该方法利

用图像自身信息选取最佳阈值，通过对不同类型目标图像的分割试验可知，分割后目标边缘清晰、背景噪声小，为后续的特征提取、目标识别、跟踪处理提供了良好的基础。

参考文献：

- [1] 韩建栋, 向健勇, 尹超. 一种基于小波的图像模糊熵阈值分割算法[J]. 红外技术. 2004, 26(3): 29~32.
- [2] Bhau B, Lee S, Ming J. Adaptive Image Segmentation Using a Genetic Algorithm[J]. IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics. 1995, 5(12): 1543~1565.
- [3] 韩思奇, 王蕾. 图像分割的阈值法综述[J]. 系统工程与电子技术. 2002, 24(6): 91~94.
- [4] 杜奇, 向健勇, 袁胜春. 一种改进的最大类见方差法[J]. 红外技术. 2003, 25(5): 33~36.
- [5] Otsu N. A Threshold Selection Method from gray-level histogram[J]. IEEE Trans. 1979. SMC-9: 62~66.
- [6] T.Pun. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. Signal Processing. 1980, (2): 223~237.