

一种改进的 Otsu 图像阈值分割算法

陈 峥¹, 时永鹏², 吉书鹏¹

(1. 中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009; 2. 洛阳师范学院物理与电子科学系, 河南 洛阳 471022)

摘 要: Otsu 法是图像阈值化分割法中的经典算法之一, 在图像处理中有广泛的应用。本文针对红外吊舱图像的特点, 在对 Otsu 法进行分析的基础上, 提出了一种改进的 Otsu 图像阈值分割算法。首先, 采用整幅图像的平均灰度值作为初始阈值对图像进行分割; 然后, 推导出了 Otsu 法四个参数的递推公式; 最后, 在缩小的灰度级范围内用递推的 Otsu 法来计算最终的分割阈值 T 。实验仿真结果表明, 改进的 Otsu 算法在图像分割效果方面和时间效率方面明显优于 Otsu 法。

关键词: 图像分割; Otsu 法; 红外图像; 阈值化分割

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2012.05.023

Improved image threshold segmentation algorithm based on OTSU method

CHEN Zheng¹, SHI Yong-peng², JI Shu-peng¹

(1. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China;

2. Department of Physics and Electric Science, Luoyang Normal College, Luoyang 471022, China)

Abstract: As one of the classical methods for image threshold segmentation, OTSU algorithm has been widely applied in image processing. An improved method based on Otsu algorithm for IR images is presented. Firstly, the average level is used as the initial threshold to segment images. Secondly, the recurrence formulas of four parameters are deduced. Finally, the threshold value T is calculated using the four formulas within the reduced gray level range. Experiment results show that the improved method can get better segmentation effect and reduce the calculation time significantly.

Key words: image segmentation; OTSU method; IR image; threshold segmentation

1 引 言

图像分割是按照一定的规则将一幅图像分成若干个部分或子集的过程, 是从图像处理到图像分析的关键步骤^[1]。阈值化分割是一种常用的图像分割方法, 它不仅极大地压缩数据量, 而且也大大简化了分析和处理的步骤。阈值分割的方法有多种, 如迭代法、最大熵法和 Otsu 法等^[2]。Otsu 法是基于整幅图像的统计特性, 来实现图像阈值的自动选取, 分割效果良好, 在实际中得到了广泛的应用。

在红外吊舱所处理的图像中, 大多数的场景目标是以陆天为背景的大型建筑物、山脉、河流等, 天空在整幅图像中所占的比例在 $1/2 \sim 1/3$ 之间。由于红外图像在大气传输中存在能量衰减, 红外图像普

遍具有整体偏暗、对比度差、信噪比低等特点, 但是, 地面上的目标场景通常还是高于自然背景, 反映在灰度直方图上就表现出目标亮度值大于背景亮度值。而且, 红外吊舱图像的灰度直方图大致为双峰形式, 适合采用 Otsu 法对其进行分割^[3]。但由于传统 Otsu 法计算量较大, 在实时图像处理系统中不能满足实时性要求, 所以不能直接采用, 需要对其进行改进。

2 Otsu 法

Otsu 法^[3-4]以图像的灰度直方图为依据, 利用

作者简介: 陈 峥 (1983 -), 女, 助理工程师, 研究方向为红外图像处理技术研究。E-mail: chenzheng_email@163.com

收稿日期: 2011-07-12; 修订日期: 2011-10-09

目标和背景类间方差最大作为阈值选取准则^[4-5]。它的基本思想如下:

假设原始图像的灰度级为 L , 灰度为 i 的像素数为 n_i , 图像总像素数为 N , 则可以得到各灰度级出现的概率为: $p_i = n_i/N$; 在图像分割中, 按照图像灰度级用阈值 t 将灰度划分为两类 $C_0 = (0, 1, \dots, t)$ 和 $C_1(t+1, t+2, \dots, L-1)$, C_0 和 C_1 出现的比例分别为: $p_b(t) = \sum_{i=0}^t p_i$ 和 $p_f(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i$ 。因此, C_0 均值和 C_1 均值分别为:

$$\mu_b(t) = \frac{\sum_{i=0}^t ip_i}{p_b(t)} \quad (1)$$

$$\mu_f(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} ip_i}{p_f(t)} \quad (2)$$

整幅图像的灰度平均值为:

$$\mu = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i \quad (3)$$

所以, 类间方差 $\sigma_B^2(t)$ 为:

$$\begin{aligned} \sigma_B^2(t) &= p_b(t) [\mu_b(t) - \mu]^2 + p_f(t) [\mu_f(t) - \mu]^2 \\ &= p_b(t) [1 - p_b(t)] [\mu_b(t) - \mu_f(t)]^2 \end{aligned} \quad (4)$$

使得 $\sigma_B^2(t)$ 值最大的 t^* 为:

$$t^* = \text{Arg} \max_{0 \leq t \leq L-1} \sigma_B^2 \quad (5)$$

3 改进的 Otsu 法

3.1 推导 Otsu 法的递推公式

从 Otsu 法的原理分析可知, Otsu 法每次循环需要计算四个参数: 背景区比例和均值、目标区的比例和均值。每次 t 递增时, 背景区增加一个灰度级, 目标区减少一个灰度级, 只有 t 值是新增加的灰度级, 所以在计算四个参数时可以利用上一步计算的结果。本文推导出了 Otsu 法的四个参数的递推公式。设 $t \in [0, L-1]$, p_i 是归一化后的第 i 级的直方图像素数:

(1) 利用公式, 得到初值 $p_b(0)$, $\mu_b(0)$ 和 $p_f(0)$, $\mu_f(0)$;

(2) 当 t 递增时, 则有:

$$p_b(t+1) = p_b(t) + p_{t+1} \quad (6)$$

$$p_f(t+1) = p_f(t) + p_{t+1} \quad (7)$$

$$\mu_b(t+1) = \mu_b(t) + \left[\frac{p_{t+1}}{p_b(t+1)} \right] [t+1 - \mu_b(t)] \quad (8)$$

$$\mu_f(t+1) = \mu_f(t) + \left[\frac{p_{t+1}}{p_f(t+1)} \right] [t+1 - \mu_f(t)] \quad (9)$$

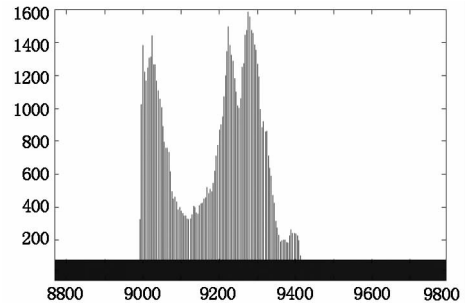
(3) 直到 $t = L-1$, 循环结束后。按照式(5), 得出 $\text{Max} \sigma_B^2$ 的 t^* 值。

3.2 缩小分割阈值的搜索范围

根据采集的原始红外吊舱图像, 灰度直方图大致为双峰形式, 如图 1 所示, 比较适合用 Otsu 法进行分割。但如引言中所述, 传统 Otsu 法计算量较大, 不能满足实时图像处理的实时性要求, 必须对其进行改进。



(a) 原始红外图像



(b) 局部放大直方图

图 1 原始红外图像及其局部放大直方图

首先对图 1 所示的典型红外吊舱图像直方图进行分析, 可知其有如下特点:

(1) 直方图呈双峰形式, 左边的背景峰与右边的目标峰之间有明显的谷点存在。

(2) 天空在整幅图像中所占的比例在 $1/2 \sim 1/3$ 之间, 目标部分比背景部分所占比例较大。

因此, 可以减小 Otsu 法最佳分割阈值的搜索范围。下面证明最佳阈值位于 $[0, \mu]$ 灰度区间上, μ 为整幅图像灰度平均值。由公式(1)~(3)可知:

$$\begin{aligned} |\mu - \mu_b(t)| - |\mu - \mu_f(t)| &= 2\mu - [\mu_b(t) + \mu_f(t)] = \\ &= \frac{2p_b(t)p_f(t) \cdot \sum_{i=0}^{L-1} ip_i - p_f(t) \cdot \sum_{i=0}^t ip_i - p_b(t) \cdot \sum_{i=t+1}^{L-1} ip_i}{p_b(t)p_f(t)} \end{aligned} \quad (10)$$

为便于叙述, 令 $A = \sum_{i=0}^t ip_i$, $B = \sum_{i=t+1}^{L-1} ip_i$, 并将 $p_f(t) = 1 - p_b(t)$ 代入上式, 整理得:

$$\begin{aligned} |\mu - \mu_b(t)| - |\mu - \mu_f(t)| &= \\ &= \frac{[1 - 2p_b(t)] \cdot [p_b(t) \cdot A + p_b(t) \cdot B - A]}{p_b(t)p_f(t)} \end{aligned} \quad (11)$$

由于目标所占比例大于背景所占比例,即 $p_f(t) > p_b(t)$, 又有 $p_f(t) + p_b(t) = 1$, 所以 $p_b(t) < \frac{1}{2}$, 即 $1 - 2p_b(t) > 0$ 。另外, 由于背景为整幅图像较暗部分, 显然有如下关系:

$$\mu_b(t) < \mu \quad (12)$$

又由式(1)得: $\mu_b(t) = \frac{A}{p_b(t)}$ 。代入式(12)得 $\frac{A}{p_b(t)} < \mu$, 即 $\frac{A}{p_b(t)} < A + B$ 。所以 $p_b(t) \cdot A + p_b(t) \cdot B - A > 0$ 。

综上所述, $|\mu - \mu_b(t)| - |\mu - \mu_f(t)| > 0$, 即 $|\mu - \mu_b(t)| > |\mu - \mu_f(t)|$, 这说明图像均值 μ 更接近于目标峰。由此类红外图像直方图的特点可知, Otsu 法的最佳分割阈值在谷点附近, 即位于区间 $[0, \mu]$ 上。

3.3 改进的 Otsu 算法

根据以上结论, 本文设计了一种改进的 Otsu 法, 其算法流程图如图 2 所示。

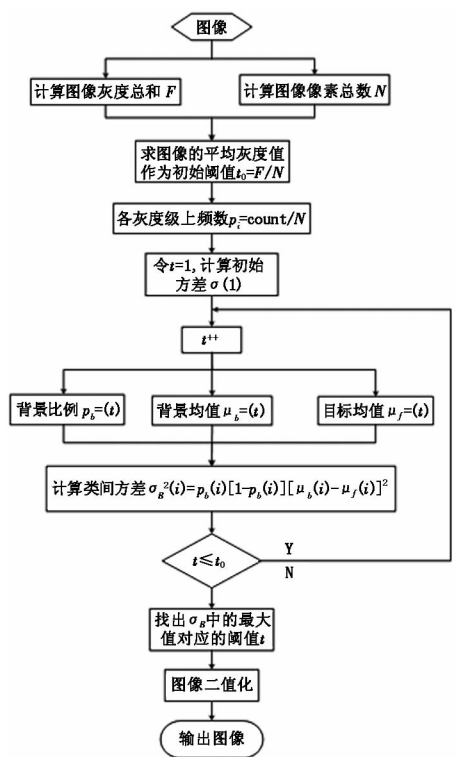


图2 改进后的 Otsu 算法流程图

算法的基本思想是:

Step1: 为较少循环次数, 先采用整幅图像的平均灰度值 μ 作为初始阈值 t_0 进行分割^[5], 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:

$$t_0 = \frac{\sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} f(x, y)}{N} \quad (13)$$

其中, $f(x, y)$ 为点 (x, y) 的灰度值, $N = m \times n$ 是图像的总像素数;

Step2: 这样大于 t_0 的部分可看做是较亮的目标, 而小于阈值 t_0 的部分可看做是较暗的天空背景和少量的亮目标组成。则灰度级范围 $[0, t_0]$ 可作为下一步用循环的 Otsu 法搜索的阈值范围;

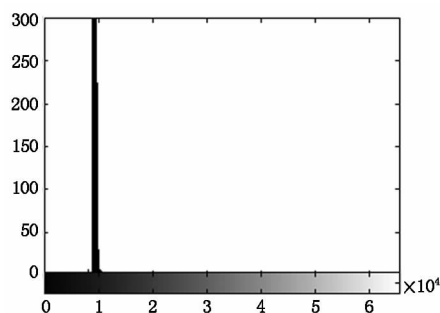
Step3: 在灰度范围 $[0, t_0]$ 内运用推导出的 Otsu 法的递推公式来选取阈值 t 。由于上限去除了大量的亮目标, 在所需判为目标或背景的像素 (其灰度值在 $0 \sim t_0$) 中, 此时, 目标和天空背景所占的比例相当, 可更有效的分割出地面目标。

4 实验结果及分析

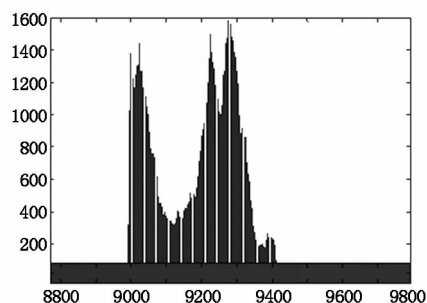
以下仿真实验用实际采集的 14 位红外原始图像进行比较, 图像分辨率是 320×256 , 灰度级为 16384。图 3 和图 4 分别是两组原始红外图像及其直方图下面分别用迭代法^[6]、Otsu 算法和本文改进后的 Otsu 算法对这两组原始红外图像进行耗时对比和图像分割效果的对比。



(a) 原始红外图像



(b) 原始红外图像直方图



(c) 原始红外图像局部直方图

图3 第一组原始红外图像及其直方图

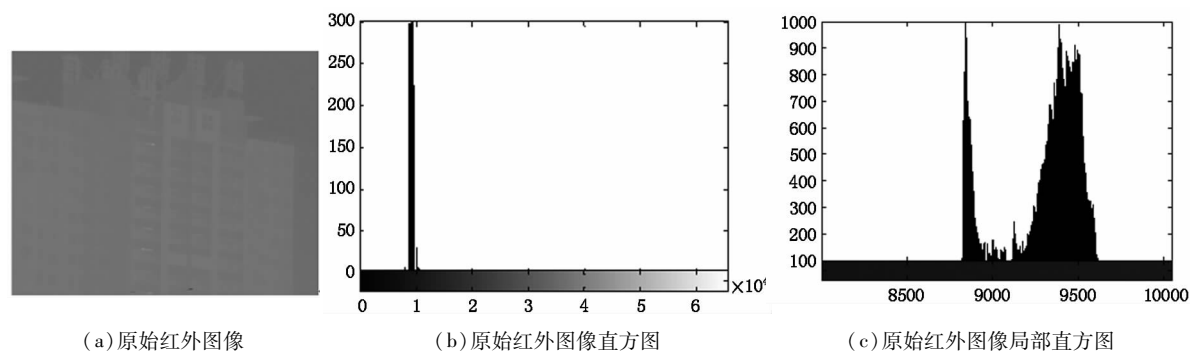


图 4 第二组原始红外图像及其直方图

实验仿真分析：

(1)表 1 为迭代法、Otsu 法和改进后的 Otsu 算法的耗时对比。

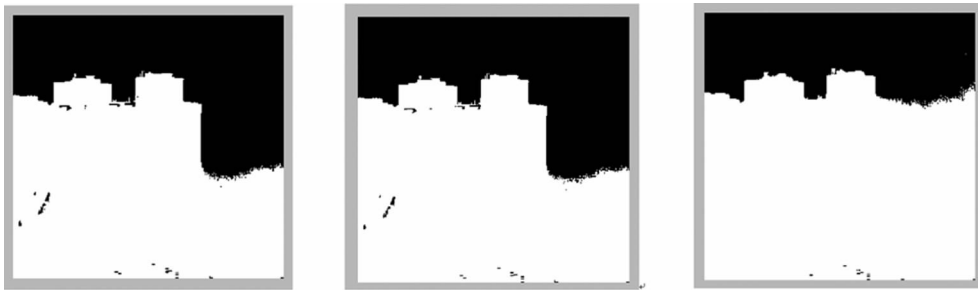
表 1 迭代算法、Otsu 算法和改进的 Otsu 算法耗时对比

原始红外图像	迭代法/s	Otsu 算法/s	改进的 Otsu 算法/s
第一组图像	0.2400	9.1601	0.0377
第二组图像	0.2280	9.0600	0.0362

从表 1 可以看出,对于单帧图像而言,改进后的

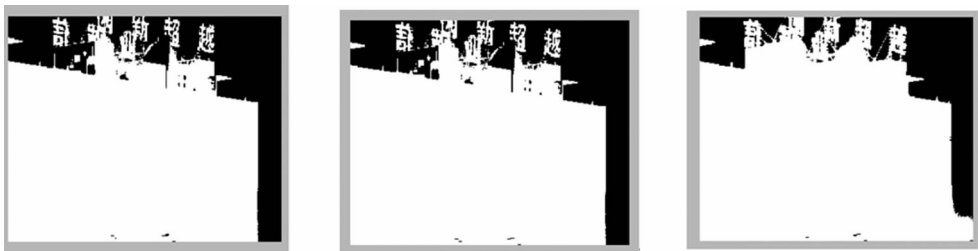
Otsu 算法耗时最短,迭代法次之,Otsu 算法时间最长。这是因为 Otsu 算法每次都要对每位灰度级进行计算,主要的循环程序要执行 16384^2 次之多;迭代法是迭代收敛的过程,循环次数少于 Otsu 算法;而循环 Otsu 算法程序的循环范围 $[0, t_0]$,遍历的灰度级少于 16384 个,而且利用上一步计算结果,每次只是加入一个灰度级进行计算,一共执行次 t_0 即可,这样大大缩短了时间。

(2)图像分割效果对比如图 5 和图 6 所示。



(a) 迭代法的图像分割效果 (b) Otsu 算法的图像分割效果 (c) 改进的 Otsu 算法的图像分割效果

图 5 第一组红外图像各算法的图像分割效果对比



(a) 迭代法的图像分割效果 (b) Otsu 算法的图像分割效果 (c) 改进的 Otsu 算法的图像分割效果

图 6 第二组红外图像各算法的图像分割效果对比

图 5 和图 6 是两组用迭代法、Otsu 算法和改进后的 Otsu 算法的图像分割效果对比。表 2 是迭代法、Otsu 算法和改进后的 Otsu 算法图像的分割阈值对比。假设二值化后黑色代表的是背景区天空部分,白色代表的是目标区部分。因此,从这两组图像的放大大局部直方图来看(如图 3(c)和图 4(c)所

示),第一组的峰间谷底在灰度级的 9100 左右,三种算法基本都划分出了天空背景区和地面建筑物,但是迭代法和 Otsu 算法分割出来的目标区内还有少许残留,改进后的 Otsu 算法的地面目标部分基本都被分割出来,但它的天空和地面部分间的过渡部分被当做目标区;在第二组图像中,峰间谷底基本在

9000 左右,从图像分割效果来看,改进的 Otsu 算法把建筑物上层的阴影部分也分割出来,但迭代法和 Otsu 算法把这部分错当成了背景部分。

表 2 迭代法、Otsu 算法和改进的 Otsu 算法图像分割阈值 T 对比

红外图像	迭代法	Otsu 算法	改进的 Otsu 算法
第一组图像	9164	9162	9086
第二组图像	9174	9173	9040

5 结 论

本文针对实际系统中红外吊舱图像的特点,在对 Otsu 法进行分析的基础上,提出了一种改进的 Otsu 法。从实验仿真的结果看,改进后的 Otsu 算法在图像分割效果方面和耗时方面明显优于 Otsu 法,这为后续的图像信息处理提供了依据。而且,算法主要是进行逻辑判断和整数运算,故运算速度快,易于实时实现。

参考文献:

[1] Rafael C Gonzalez, et al. Digital image processing [M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007. (in Chinese)

冈萨雷斯,等. 数字图像处理 [M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2007.

[2] Guo Zhen, Chen Yuanzhi. Research of thresholding methods for image segmentation [J]. Journal of Communication University of China: Science and Technology, 2008, 15 (2): 77 - 82. (in Chinese)

郭臻,陈远知. 图像阈值分割算法研究 [J]. 中国传媒大学学报:自然科学版,2008,15(2):77 - 82.

[3] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histogram [J]. IEEE Trans, 1979, SMC - 9: 62 - 66.

[4] Zuhua Mao, Robin N. Stickland, image sequence processing for target estimation in forward-looking infrared imagery [J]. Optical Engineering, 1988, 27: 541 - 549.

[5] Wang Hongbo, He Hongjun, Zhuang Zhihong, et al. Image sequence segmentation algorithm of IR imaging GIF fuze [J]. Laser & Infrared, 2008, 38 (4): 379 - 382. (in Chinese)

王宏波,何红军,庄志洪,等. 红外成像 GIF 引信图像序列分割算法 [J]. 激光与红外, 2008, 38 (4): 379 - 382.

[6] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods, Steven L Eddins 著. 数字图像处理 (MATLAB 版) [M]. 北京:电子工业出版社,2008.