

# 快速的红外图像分割算法

申建华, 刘上乾, 麻彦轩

(西安电子科技大学 技术物理学院, 陕西 西安 710071)

**摘要:**最大类间方差法是一种常用而有效的图像分割算法,但由于计算量较大,不适宜于红外成像跟踪系统中高帧频的实时图像处理。在分析类间方差曲线特征的基础上,提出了一种二分逼近型快速最大类间方差算法。该算法通过对最大类间方差函数求导并利用二分逼近的方法逐次逼近最佳阈值点。理论分析和仿真结果证明,该算法的计算量较一般的最大类间方差算法有较大幅度的降低,具有实时性好,易于工程实现等优点。

**关键词:**红外图像分割;最大类间方差法;二分逼近;单调性

**中图分类号:**TN215 **文献标识码:**A

## FAST INFRARED IMAGE SEGMENTATION ALGORITHM

SHEN Jian-Hua, LIU Shang-Qian, MA Yan-Xuan

(School of Technical Physics, Xidian University, Xian 710071, China)

**Abstract:** The Otsu's method is an effective algorithm for image segmentation. But it is unfit for the real-time image processing in the high frame rate infrared imaging tracking system for it is time-consuming. A fast half-approximation algorithm of Otsu's method was presented based on the curve of the between-class variance. The optimal threshold was obtained from the first derivative of the between-class variance function with the half-approximation method. The theoretical analysis and simulation results show that the algorithm reduces the computation cost greatly. It has a good performance on real-time processing and is easy to be realized in engineering.

**Key words:** infrared image segmentation; Otsu; method; half-approximation; monotony

### 引言

红外成像目标自动识别跟踪系统中的技术难点之一是对高帧频图像的实时处理,而目标图像的自适应分割又是其中一个耗时较多的关键环节<sup>[1-4]</sup>。Otsu<sup>[5]</sup>方法(即最大类间方差法)因自适应性强而成为广泛使用的阈值自动选取方法之一<sup>[6]</sup>,但缺点是运算量较大,难以在高帧频( $f_f > 100\text{Hz}$ )的条件下实时实现。通过对大量目标灰度图像类间方差函数曲线的研究,发现了一种共同特性—变化的单调性。基于这种特性,提出了一种用二分逼近的方法求解最大类间方差的快速算法(简称为 Half-Approximation 算法),可大幅度地降低运算量。

### 1 算法原理及实现

#### 1.1 最大类间方差法原理

设图像灰度级范围为  $H = \{0, 1, \dots, L\}$ , 灰度为

$i$  的像素数为  $n_i$ , 则图像的总像素数为:  $N = \sum_{i=0}^L n_i$ ; 灰度为  $i$  的像素出现的概率为  $p_i = n_i/N$ 。选择门限阈值  $t$ , 将  $H$  划分为两类:  $C_0: \{0, 1, \dots, t\}$ ;  $C_1: \{t+1, t+2, \dots, L\}$ 。  $C_0$  和  $C_1$  类的出现概率分别为:

$$p_0(t) = \sum_{i=0}^t p_i, \quad (1)$$

$$p_1(t) = \sum_{i=t+1}^L p_i = 1 - p_0(t), \quad (2)$$

其灰度均值分别为:

$$\mu_0(t) = \sum_{i=0}^t ip_i / p_0(t), \quad (3)$$

$$\mu_1(t) = \sum_{i=t+1}^L ip_i / p_1(t), \quad (4)$$

图像的总灰度均值为:

$$\mu_T(t) = \sum_{i=0}^L ip_i, \quad (5)$$

按照模式识别理论,这两类的类间方差为:

$$\sigma_B^2(t) = p_0(t)p_1(t) [\mu_1(t) - \mu_0(t)]^2, \quad (6)$$

最佳阈值为:

$$t^* = \arg \max_{0 < t < L-1} \sigma_B^2(t) \quad , \quad (7)$$

1.2 类间方差曲线的特性

综观多幅目标灰度图像的  $\sigma_B^2(t)$  曲线,发现这些曲线均存在唯一的极大值点,并且在该点两侧单调,如图 1 所示. 基于这一特征,可以通过求  $\sigma_B^2(t)$  的极值点来求解  $t^*$ .

1.3 类间方差曲线的单调性证明

为了便于证明,将定义在离散域的  $N, p_i, p_0(t), p_1(t), \mu_0(t), \mu_1(t), \sigma_B^2(t)$  推广到连续域.

$$N = \int_0^L n_x dx \quad , \quad (8)$$

$$p(x) = n_x / \int_0^L n_x dx \quad , \quad (9)$$

$$p_0(t) = \int_0^t p(x) dx \quad , \quad (10)$$

$$p_1(t) = \int_t^L p(x) dx \quad , \quad (11)$$

$$\mu_0(t) = \int_0^t xp(x) dx / p_0(t) \quad , \quad (12)$$

$$\mu_1(t) = \int_t^L xp(x) dx / p_1(t) \quad , \quad (13)$$

$$\mu_T = \int_0^L xp(x) dx \quad , \quad (14)$$

$$\sigma_B^2(t) = p_0(t)p_1(t)[\mu_1(t) - \mu_0(t)]^2 \quad , \quad (15)$$

将式(15)两侧对  $t$  求导并化简后得:

$$\sigma_B'^2(t) = [\mu_1(t) - \mu_0(t)]p(t)[\mu_0(t) + \mu_1(t) - 2t] \quad , \quad (16)$$

可以证明  $\mu_1(t) > \mu_0(t)$ , 所以  $\sigma_B'^2(t)$  的正负变化与因式  $\mu_0(t) + \mu_1(t) - 2t$  一致. 令:

$$f(t) = \mu_0(t) + \mu_1(t) \quad , \quad (17)$$

可以证明  $f(t)$  为单调增函数, 且由式(12), (13)和(14)可得到:

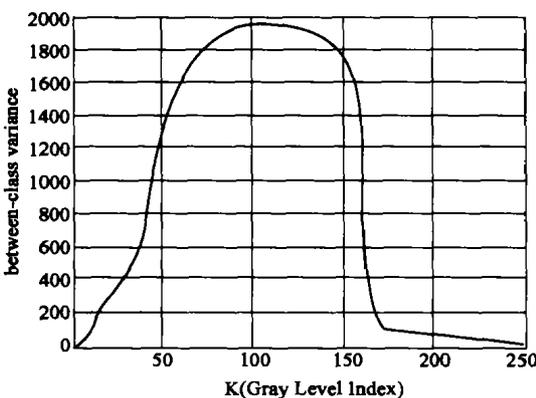


图 1 类间方差曲线

Fig. 1 Curve of the between-class variance

$$0 \leq \mu_0(t) \leq \mu_T; \mu_T \leq \mu_1(t) \leq L \quad , \quad (18)$$

$$\mu_T \leq f(t) \leq \mu_T + L \quad , \quad (19)$$

同时  $2t$  为单调增函数, 并且  $0 \leq 2t \leq 2L$ . 所以  $f(t)$  与  $2t$  在  $[0, L]$  有且仅有一个交点, 并且在该点左侧  $f(t) - 2t \geq 0$ ; 在该点右侧  $f(t) - 2t \leq 0$ ; 命令得证.

1.4 Half-Approximation 法原理

$$\text{令 } f(t) = 2t \quad , \quad (20)$$

由上面的结论可知式(20)在区间  $[0, L]$  的唯一解即为  $t^*$ , 由此提出一种逐次二分逼近的算法(简称为 Half-Approximation 法)来夹逼出  $t^*$ , 可大大减少阈值  $t$  的选取次数. 由式(19)及(20)可得:

$$\mu_T/2 < t^* < (\mu_T + L)/2 \quad , \quad (21)$$

从区间  $[\text{int}(\mu_T/2), \text{int}((\mu_T + L)/2)]$  开始, 设区间左右边界为  $L_k, R_k$ , 并计算  $[L_k, R_k]$  区间中点  $\text{Mid}_k$  对应的:

$$f(\text{Mid}_k) = \mu_0(\text{Mid}_k)\mu_1(\text{Mid}_k) \quad , \quad (22)$$

若  $f(\text{Mid}_k) > 2\text{Mid}_k$  令  $L_{k+1} = \text{Mid}_k, R_{k+1} = R_k$ ; 否则令  $R_{k+1} = \text{Mid}_k, L_{k+1} = L_k$ , 并将  $[L_{k+1}, R_{k+1}]$  作为下一次的逼近区间. 以此类推, 直到  $R - L = 2$ , 这时得到:  $t^* = (L + R)/2$  , (23)

算法流程如图 2 所示.

1.5 计算量比较

1.5.1 最大类间方差法计算量

由式(1), (2)可知递推  $p_0(t), p_1(t)$  各需  $L$  次加法; 由式(3), (4)可知在递推  $\mu_0(t)$  和  $\mu_1(t)$  各需  $L$  次加法,  $2L$  次乘法,  $L$  次除法; 由式(6)可知计算全部  $\sigma_B^2(t)$  需  $L$  次加法,  $3L$  次乘法, 确定其最大值需  $L$  次比较运算.

以上所有计算量合计为加法  $5L$  次; 乘法  $7L$  次; 除法  $2L$  次; 比较  $L$  次.

1.5.2 Half-Approximation 算法的计算量

因为每次逼近区间长度都是前一次的一半, 故共需进行  $\log_2(L/2)$  次夹逼过程. 令

$$A(t) = \sum_{i=0}^t ip_i \quad , \quad (24)$$

则有

$$f(t) = \mu_0(t) + \mu_1(t) = A(t)/p_0(t) + (A(L-1) - A(t))/(1 - p_0(t)) \quad , \quad (25)$$

递推  $A(t)$  需加法  $L$  次, 乘法  $L$  次; 递推  $p_0(t)$  需  $L$  次加法; 求  $t^*$  需  $3\log_2(L/2)$  次加法,  $2\log_2(L/2)$  次除法.

以上计算量合计共需加法  $2L + 3\log_2(L/2)$  次; 乘法  $L$  次; 除法  $2\log_2(L/2)$  次; 比较  $\log_2(L/2)$  次.

1.5.3 二者运算量比较

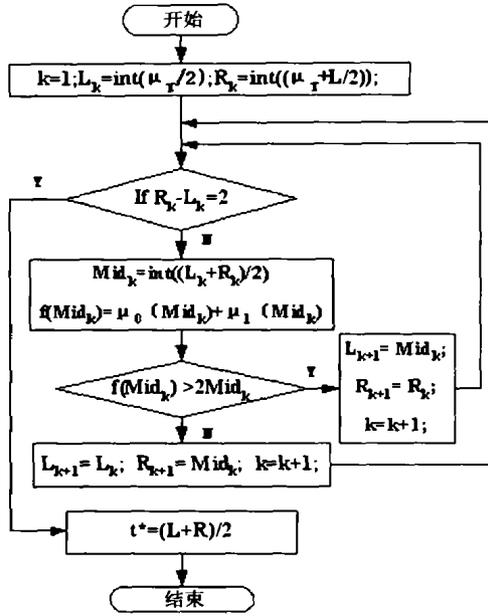


图 2 Half-Approximation 算法流程图

Fig. 2 Half-Approximation algorithm flow chart

当取  $L = 255$  时, Half-Approximation 法与 Otsu 法的运算量比较如表 1 所示.

表 1 运算量比较表

Table 1 Comparison of computation cost

|                    | 加法   | 乘法   | 除法  | 比较  |
|--------------------|------|------|-----|-----|
| Otsu               | 1275 | 1785 | 510 | 255 |
| Half-Approximation | 531  | 255  | 14  | 7   |
| 运算量减少了             | 58%  | 86%  | 97% | 97% |

## 2 仿真结果

Half-Approximation 算法的 MATLAB 仿真过程如图 3 所示, (b), (c) 中实线为  $f(t)$ , 虚线为  $2t$ .

## 3 结语

理论分析和仿真结果均表明, 利用 Half-Approximation 法可使 Otsu 法的计算量大幅度降低, 尤其是除法次数的显著减少使该算法特别适用于 DSP 硬件系统, 它为高帧频红外目标分割的实时实现提供了一种有效的算法, 具有重要的工程实用价值.

## REFERENCES

[1] TAO Wen-bin, TIAN Jin-wen, LIU Jian. Segmentation of FLIR images by genetic algorithm and fuzzy entropy [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (陶文兵, 田金文, 柳健. 基于遗传算法和模糊熵的前视红外图像分割. *红外与毫米波学报*), 2003, 22(6): 465—468.

[2] WU Han-ping, YI Xin-jian, YANG Kun-tao. Current status and trend of infrared search systems [J]. *Laser & Infrared* (吴晗平, 易新建, 杨坤涛. 红外搜索系统的现状与发展趋势. *激光与红外*), 2003, 33(6): 403—405.

[3] Richard D Hudson. *Infrared System Engineering* [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1969.

[4] Joseph E Misanin. USN shipboard infrared search and their technologies [J]. *SPIE*, 1997, 3061: 436—442.

[5] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histogram [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1979, 9(1): 62—66.

[6] Sahoo P K, Soltani S, Wong A K C, et al. A survey of thresholding techniques [J]. *Computer Vision, Graphics, and Image Process*, 1988, 41(2): 233—260.

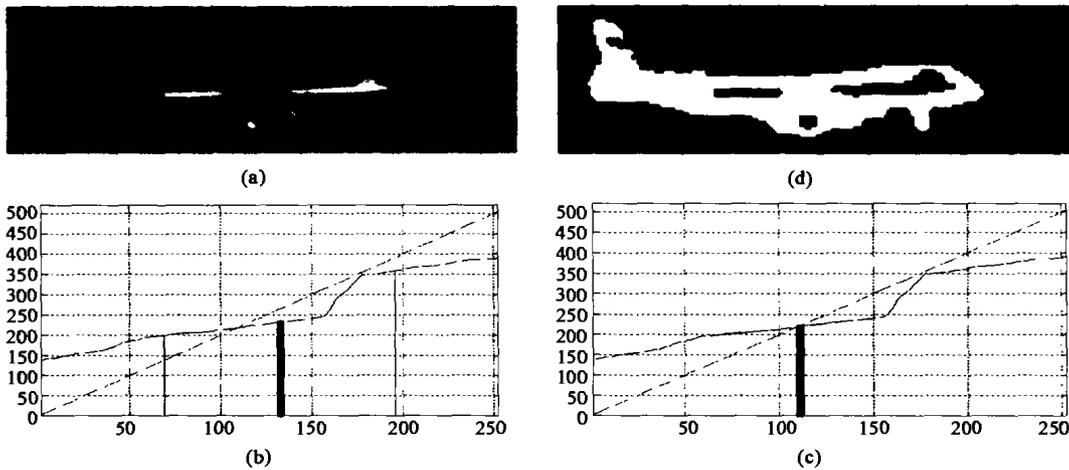


图 3 Half-Approximation 算法的 MATLAB 仿真

Fig. 3 MATLAB simulation of the Half-Approximation algorithm

(a) 原始图像 (b) 二分逼近的中间过程 (c) 二分逼近的结果 (d) Half-Approximation 分割结果  
 (a) Original image (b) process of the Half-Approximation (c) Result of the Half-Approximation  
 (d) Segmentation result of the Half-Approximation