

# 一种对空中目标图像自适应分割方法<sup>\*</sup>

刘文萍 吴立德

(复旦大学计算机系, 上海, 200433)

**摘要** 本文提出一种用于实时跟踪的目标图像自适应分割方法. 该算法的分割性能与目前公认较好的几种方法相比, 在精度和速度方面具有明显优势, 用于全视场搜索阶段也取得较好的效果. 该算法已在硬件系统上连调成功, 表明该算法是可行的和实用的.

**关键词** 红外成像制导, 实时跟踪, 图像分割, 自适应阈值.

## 引言

在红外成像制导中, 图像分割的目的是将目标与背景分离开. 图像跟踪阶段的分割方法应有两个特点: 首先应具有实时性, 由于在跟踪过程中需处理大量数据, 要尽可能快地完成计算以及及时与前后处理系统衔接; 其次应具有较高的精度, 能为目标的识别、跟踪、精确定位提供可靠的依据.

本文以实时性为前提, 结合高精度、高可靠性要求, 针对空中目标的实际情况, 提出了一种基于粗分割-细搜索思想的实时图像分割算法. 该算法完全利用图像自身统计信息, 确定自适应阈值范围, 根据最大类间方差思想选择最佳阈值分割图像, 并经过空间滤波抑制背景噪声, 实现了单帧红外图像的快速、准确分割.

## 1 算法原理

在图像搜索和跟踪阶段, 目标在视场中为较亮点, 即使对地背景, 由于距离远, 热辐射能量经过大气衰减, 背景亮度较弱. 我们根据图像的灰度和梯度信息, 结合实际环境, 提出了这种粗分割-细搜索(Rough segmentation and careful seeking)的图像分割算法(简称 R-C 方法).



图 1 图像分割的主要步骤

Fig. 1 Main steps of image segmentation

图 1 给出该算法的主要步骤: 首先利用图像统计信息, 求出初始阈值  $t$  进行粗分割; 然后计算粗分出的区域亮度均值  $\text{mean}$ ; 第三步是在  $[t \sim \text{mean}]$  灰度范围内利用最大类间方差(OTSU)法<sup>[2]</sup>寻找最佳阈值. 通过前两步处理确定一小的阈值范围, 既减小了运算量, 又保证了在该范围内的目标和背景比例相差不大, 可有效地利用 OTSU 法选取最佳阈值  $k^*$ , 最

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金和 863 项目基金资助

本文 1995 年 7 月 3 日收到, 修改稿 1996 年 1 月 15 日收到

后利用此阈值分割目标图像并通过空间滤波改善分割效果. 以下对各步骤作具体阐述.

### 1.1 阈值范围确定

首先利用简单统计的思想确定阈值范围的下限. 设各像素水平、垂直方向梯度分别为  $e_x$  和  $e_y$ , 定义该点的梯度值为  $e_{xy} = \max(e_x, e_y)$ , 设  $g_{xy}$  为该点灰度值. 则初始阈值为

$$t = \frac{e_{xy} * g_{xy}}{e_{xy}} \quad (1)$$

导出初始阈值  $t$  的条件是目标的亮度高于背景, 并且阈值设为背景与目标的亮度平均值. 在实际搜索和跟踪阶段, 目标所占比例小, 背景的灰度还可能高于某些目标灰度, 利用初始阈值分割图像, 可能将部分亮背景错判为目标, 实验结果证实了这个结论. 由于目标的灰度值必高于由大量较暗背景和少量较亮目标的均值决定的初始阈值  $t$ , 可将初始阈值  $t$  定为阈值的下限, 它能保证目标的完整分割.

阈值上限的确定基于如下考虑: 利用初始阈值分割后的图像, 目标所占比例增大, 分割区域灰度均值(定义为  $\text{mean} = g_{xy}/N$ , 其中  $g_{xy}$  为图像中高于阈值的灰度值,  $N$  为  $g_{xy}$  的个数)增高. 实验结果表明亮度高于  $\text{mean}$  值的点为目标点, 因此可将阈值上限定为  $\text{mean}$ , 至此确定了最佳阈值范围为  $[t, \text{mean}]$ .

### 1.2 最佳阈值的选取

我们利用真实图像数据做了大量的实验, 比较了近 10 种公认较好的分割算法, 发现当图像中目标大小适中(目标占整幅图的 10% 左右)时, 最大类间方差法(OTSU)分割的效果较好. OTSU 是根据最佳阈值分割出的两类具有最大的分离度(类间方差)和较小的类内方差来选取最佳阈值. 设一幅图像的灰度值为  $[1, 2, \dots, L]$  级, 阈值  $k$  将其分为两类  $C_0 = [1, 2, \dots, k]$  和  $C_1 = [k+1, \dots, L]$ , 判别准则函数定义为类间方差:  $Q^2(k) = p_0 * (m_0 - m)^2 + p_1 * (m_1 - m)^2$ . 其中:  $p_0, p_1, m_0, m_1$  分别为  $C_0$  和  $C_1$  的概率及均值,  $m = p_0 * m_0 + p_1 * m_1$  是全部采样的灰度均值  $Q^2(k^*) = \max Q^2(k), k \in [1, L]$ .

这种方法不能有效地用于实时图像跟踪, 除计算量较大外, 更主要的原因是在实际跟踪阶段场景变化复杂, 目标与背景的大小比例往往很悬殊, 图像的类间方差函数可能呈现双峰或多峰, 这时 OTSU 法确定的阈值将不能分离目标和背景<sup>[3]</sup>, 我们的实验结果(见下文)与这一结论相符. 如果在由图像统计信息确定的灰度范围  $[t \sim \text{mean}]$  内(通常为 5 ~ 17 灰度级)运用最大类间方差思想选取最佳阈值, 不仅能减少运算量, 而且由于下限(初始阈值)除去了大量暗背景, 上限除去了部分亮目标, 在所剩需判为目标或背景的像素(其灰度值在  $t \sim \text{mean}$ )中, 目标和背景所占比例相差不大, 可更有效地分割出目标.

### 1.3 空间滤波修正

实验结果表明, 利用 R-C 法确定的阈值分割图像存在一些背景噪声, 本文利用以下方法减少噪声: 判断过阈值点邻域的 8 个灰度值, 如果有多于 5 的过阈值点即可认为该点为目标点, 否则认为是噪声, 予以排除. 由于主要是进行逻辑判断, 对运算速度影响不大, 但对改善分割效果却起了较好的作用.

## 2 实验结果

前面介绍了 R-C 法的原理及主要计算公式, 作者将它与文献[1]中认为较好的两种方法做了真实红外图像分割实验(图 2~4), 每张图中, 左上图为目标的原始图像, 右上为用本文所述 R-C 法的分割结果, 左下为矩不变法(Moment)分割结果, 右下为简单统计法(SIS)分割结果. 几种方法的结果比较见表 1, 表中  $t^*$  为手调找出的最佳阈值, 错分概率  $P(\text{err}) = P_r(O) * P_r(B/O) + P_r(B) * P_r(O/B)$ , 目标尺寸  $s = \text{目标像素数} / \text{图像像素数} \times 100$ , PC 机为 486DX/33.

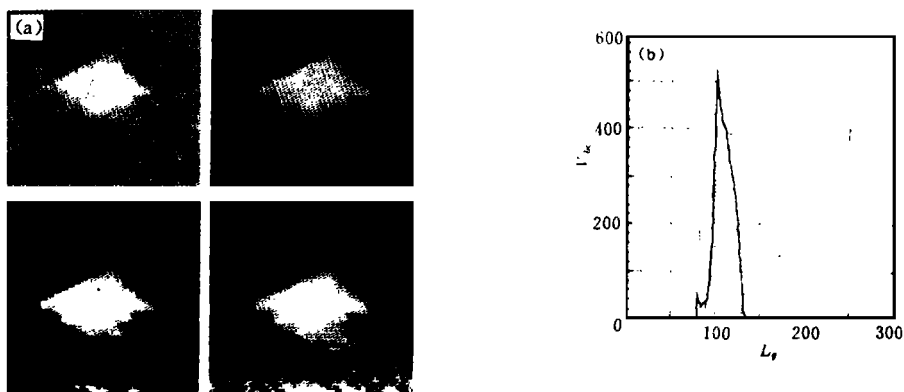


图 2 目标 1 的 (a) 分割结果及其 (b) 类间方差曲线

Fig. 2 Segmentation (a) and the curve of interclass variance (b) of target 1

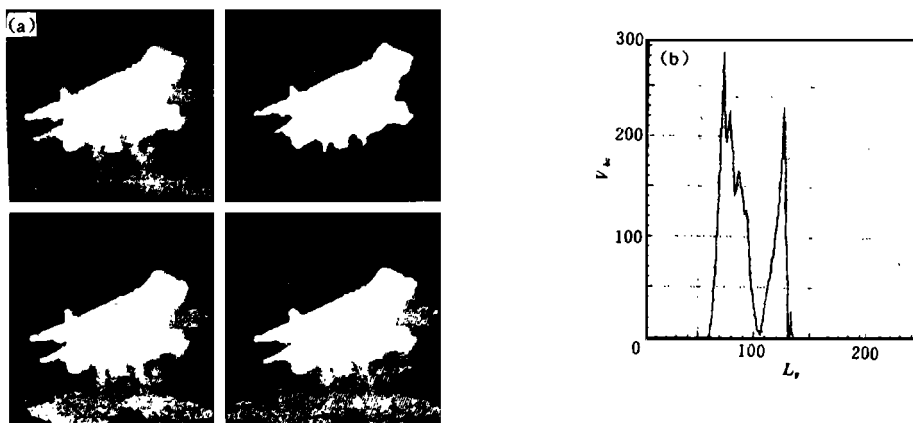


图 3 目标 2 的 (a) 分割结果及 (b) 类间方差曲线

Fig. 3 Segmentation (a) and the curve of interclass variance (b) of target 2

分析图 2~4 得出: (1) R-C 法所求阈值与最佳阈值(手调)最接近, 利用空间滤波可改善分割效果. (2) OTSU 法对目标大小适中的图像(如目标 1)有较好分割效果, 而当目标和背景比例悬殊时(如目标 2、3), 类间方差出现多峰, OTSU 法错分概率最大, 分割效果最差.

(3) 矩不变法和简单统计是两种公认较好方法, 但分割精度都不高, 达不到实际要求.

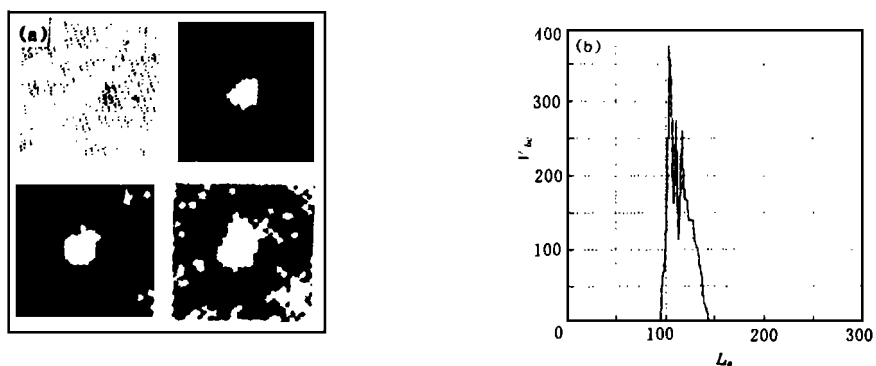


图4 目标3的(a)分割结果及(b)类间方差曲线

Fig. 4 Segmentation (a) and the curve of interclass variance (b) of target 3

表1 分割方法比较

Table 1 Comparison of segmentation processes

目 标		R-C	O-TSU	Moment	SIS	备 注
目标 1	$k^*$	101	101	98	96	$t^* = 103$
(64 × 64)	$P(\text{err})$	0.0114	0.0114	0.0736	0.1500	$s = 8.42\%$
	$t(\text{s})$	0.109	0.164	0.105	0.055	
目标 2	$k^*$	113	71	98	97	$t^* = 113$
(128 × 128)	$P(\text{err})$	0.0000	0.6323	0.1736	0.1967	$s = 21.2\%$
	$t(\text{s})$	0.275	0.385	0.216	0.166	
目标 3	$k^*$	117	104	114	112	$t^* = 118$
(32 × 32)	$P(\text{err})$	0.0067	0.9269	0.1478	0.3729	$s = 2.34\%$
	$t(\text{s})$	0.054	0.110	0.054	0.001	

R-C 法还可用于全视场搜索阶段的目标图像分割. 为了克服固定阈值适应力差的缺点, 先进行分块处理, 经平滑处理产生一阈值面, 得到全视场情况(120 × 120)下目标图像的分割结果, 见图 5.

### 3 结语

本文通过分析图像跟踪及搜索阶段时的典型场景, 利用大量真实红外图像进行仿真实验, 提出一种对空中目标实时准确的自动分割方法(R-C 法). 该方法完全利用图像自身信息选取最佳阈值, 分割后目标边缘清晰、背景噪声小. 在全视场搜索阶段应用 R-C 法进行图像分割, 同样取得了较好的效果. 由于算法主要是进行逻辑判断和简单的整数运算, 故运算速度快, 易于硬件实现. R-C 法已在由两片 TMS320C50 芯片搭成的硬件平台与目标识别、跟踪等算法进行了系统连调, 达到了要求的精度和速度指标(分割时间 20ms, 搜索时间

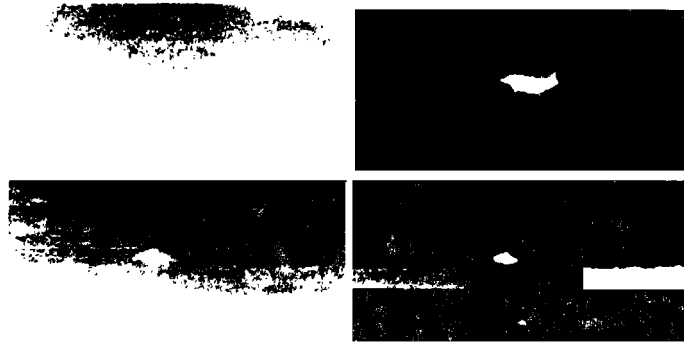


图 5 全视场中的目标分割结果

Fig. 5 Segmentation of a target in the whole scene

40ms), 表明了该算法的可行性和实用性. 该方法还可用于其它领域(如生物医学图像处理等), 具有一定的应用前景.

#### 参考文献

- 1 Sahoo P K. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1988, **41**: 233 ~ 260
- 2 Otsu N. *IEEE Trans. Systems Man Cybernet*, 1979, SMC-**9**: 62 ~ 66
- 3 Kittler J. *IEEE Trans. Systems Man Cybernet*, 1985, SMC-**15**: 652 ~ 655

### AN ADAPTIVE METHOD FOR AIR-TARGET IMAGE SEGMENTATION\*

Liu Wenping Wu Lide

(Department of Computer Science, Fudan University, Shanghai 200433, China)

**Abstract** An adaptive image segmentation method applied to real-time tracking was proposed. Compared with several segmentation approaches considered as better ones currently, the proposed approach possesses some remarkable advantages in the aspects of precision and real-time performance, which have been successfully used in whole scene searching and completely implemented in hardware.

**Key words** infrared imaging guidance, real-time tracking, image segmentation, adaptive threshold.