

文章编号: 1001-5078 (2006) 04-0321-03

一种改进的模糊熵红外图像分割方法

唐英干, 刘冬, 关新平
(燕山大学电气工程学院, 河北秦皇岛 066004)

摘要:提出了一种改进的模糊熵图像分割算法, 该算法定义了一种新的模糊隶属度函数, 该模糊隶属度函数只包含一个参数, 即所要寻找的最优分割阈值, 采用简单的穷举法便可得到最优分割阈值。实验结果表明, 此方法的分割效果与传统的模糊熵方法效果相当, 但计算时间大大减少, 使得分割更加快速。

关键词:红外图像; 图像分割; 模糊熵; 模糊隶属度函数

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

An Improved Fuzzy Entropy Method for Infrared Image Segmentation

TANG Ying-gan, LIU Dong, GUAN Xin-ping
(Institute of Electrical Engineering of Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: An improved image segmentation method based on maximum fuzzy entropy is proposed in this paper, and the proposed method defines a new fuzzy membership function. This function contains only one parameter, i.e. the threshold to be found. The simple exhaust searching method is used to obtain the optimal threshold. Experimental results show that the segmentation results are as good as conventional fuzzy entropy method, but computation time decreases remarkably, and segmentation is very fast.

Key words: infrared image; image segmentation; fuzzy entropy; fuzzy membership function

1 引言

图像分割就是从一幅图像中提取感兴趣的目标, 它是图像分析和理解的重要组成部分。而红外图像分割是红外制导以及自动目标识别的关键技术。由于红外目标与周围的背景存在热交换以及大气对热辐射的散射和吸收作用, 使得红外图像中目标和背景的对比度低, 边缘模糊。这种情况下, 经典的阈值分割方法, 如 Otsu 方法^[1], Kapur 方法^[2], 往往得不到理想的分割结果。

由 Zadeh 提出的模糊集合理论^[3]是处理不确定性的有力工具, 已经成功地应用于图像分割^[4-7]。文献 [4] 应用最大隶属度原则来分割彩色图像, 文献 [5] 运用模糊理论来选阈值。文献 [6] 中, Cheng 提出了一种基于模糊划分的最大熵阈值分割方法, 该方法首先使用隶属度函数计算图像灰度对各类的隶属度, 以此构成图像灰度的模糊划分并根据图像灰度的模糊划分定义图像的模糊熵, 然后根据最大模糊熵准则确定隶属度函数的最佳参数值组合, 进而得到最佳的分割阈值。Cheng 的方法中所使用的隶属度函数为升半梯形和降半梯形函数, 它包含了

两个参数。与 Cheng 的方法相似, 文献 [7] 使用包含三个参数的 S 函数和 Z 函数作为隶属度函数。隶属度函数的参数的取值范围为图像灰度级范围, 一般为 0 ~ 255。对文献 [6]、[7] 而言, 最优参数组合的搜索空间分别为 256×256 和 $256 \times 256 \times 256$, 这就使得在解空间中直接使用穷举法搜索, 使模糊熵最大的参数组合将花费大量的计算时间, 甚至成为不可能。文献 [7] 使用遗传算法来搜索最优参数组合, 但仍然要进行多次迭代, 花费大量的计算时间, 并且很难得到理论上的全局最优解, 这使得这种方法难以实时应用。针对此问题, 本文定义了一种新的模糊隶属度函数, 该函数只包含一个参数, 即所要求的分割阈值。这就使得我们可以使用简单的穷举法来得到最佳的阈值, 大大地减少了计算量, 实现了图像地快速分割, 便于实时应用。

基金项目: 国家杰出青年基金 (No. 60525303); 河北省教育厅基金 (No. 2002209) 资助项目。

作者简介: 唐英干 (1975 -), 男, 讲师, 博士研究生, 主要从事图像处理, 模式识别等研究工作。E-mail: ygtang@ysu.edu.cn 或 ygtang2000@yahoo.com.cn

收稿日期: 2005-08-25; 修订日期: 2005-10-17

2 模糊熵分割原理

设 I 是一副大小为 $M \times N$ 的灰度图像, $I(x, y)$ 代表像素 (x, y) 的灰度值, 其范围为 $\{0, 1, \dots, L-1\}$ 。令:

$$p_k = \frac{n_k}{M \times N} \tag{1}$$

其中, n_k 是图像 I 中灰度值为 k 的像素的个数, 那么 $H = \{p_0, p_1, \dots, p_{L-1}\}$ 为图像的直方图。设阈值 T 将图像分为目标 E_o 和背景 E_b 两类, 则其概率分布为:

$$p_o = p(E_o), p_b = p(E_b) \tag{2}$$

对于每个灰度值 $k (k = 0, 1, \dots, L-1)$, 其属于背景和目标的概率分别为:

$$p_{kb} = p_k \times p_{b/k}, p_{ko} = p_k \times p_{o/k} \tag{3}$$

其中, $p_{b/k}$ 和 $p_{o/k}$ 分别表示灰度值为 k 的像素属于背景与目标的条件概率。本文中, 令灰度值为 k 的像素属于背景和目标的条件概率等于其对背景与目标的模糊隶属度值, 即:

$$p_{b/k} = \mu_b(k), p_{o/k} = \mu_o(k) \tag{4}$$

其中, $\mu_b(k)$ 、 $\mu_o(k)$ 分别表示灰度值为 k 的像素属于背景和目标的模糊隶属度值, 那么:

$$p_o = p(E_o) = \sum_{k=0}^{L-1} p_{ko} = \sum_{k=0}^{L-1} p_k \times p_{o/k} \tag{5}$$

$$p_b = p(E_b) = \sum_{k=0}^{L-1} p_{kb} = \sum_{k=0}^{L-1} p_k \times p_{b/k}$$

为了得到灰度值为 k 的像素属于背景和目标的模糊隶属度值, 文献 [6] 采用升半梯形、降半梯形函数作为模糊隶属度函数, 文献 [7] 使用 S 函数和 Z 函数作为模糊隶属度函数, 即:

$$\mu_o(k) = S(a, b, c) = \begin{cases} 0 & k < a \\ \frac{(k-a)^2}{(c-a)(b-a)} & a < k \leq b \\ 1 - \frac{(k-c)^2}{(c-a)(c-b)} & b < k \leq c \\ 1 & k > c \end{cases} \tag{6}$$

$$\mu_b(k) = Z(k; a, b, c) = 1 - S(k; a, b, c) \tag{7}$$

因此各类的类内模糊熵为:

$$\begin{aligned} H_o &= - \sum_{k=0}^{L-1} \frac{p_k \times \mu_o(k)}{p_o} \ln \left[\frac{p_k \times \mu_o(k)}{p_o} \right] \\ H_b &= - \sum_{k=0}^{L-1} \frac{p_k \times \mu_b(k)}{p_b} \ln \left[\frac{p_k \times \mu_b(k)}{p_b} \right] \end{aligned} \tag{8}$$

图像总的模糊熵为:

$$H(a, b, c) = H_o + H_b \tag{9}$$

可见, 总的模糊熵是参数 a, b, c 的函数。根据最大熵准则确定参数 a, b, c 的值, 最佳阈值由下式确定:

$$\mu_o(T) = \mu_b(T) = 0.5 \tag{10}$$

在最佳的分割阈值处, 目标和背景的模糊隶属度值相等。由式 (9) 可知, 图像的模糊熵是三个参数 a, b, c 的函数, 寻找最优阈值就相当于寻找这三

个参数的最优组合。如前文所述, 寻找这三个参数的最优组合是很困难的, 为此, 本文定义一个新的模糊隶属度函数。考虑到目标及背景的灰度主要集中在目标类及背景类的均值附近, 即均值的隶属度最高 (为 1), 类内像素的隶属度与该像素到均值的距离成反比, 且类内 (外) 所有像素的隶属度应该大于 (小于) 0.5, 因此定义背景和目标的隶属度函数分别为:

$$\mu_b(k) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{2} \left| \frac{k - m_b(T)}{C} \right|^a & 0 \leq k \leq T \\ \frac{1}{2} \left| \frac{k - m_o(T)}{C} \right|^a & k > T \end{cases} \tag{11}$$

$$\mu_o(k) = 1 - \mu_b(k) \tag{12}$$

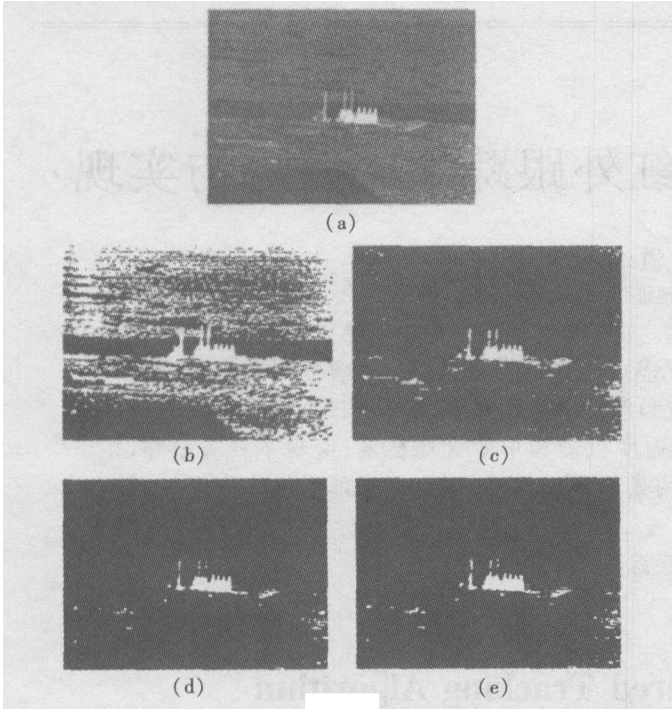
其中, T 是待选的阈值, $a \geq 0$ 是类内元素对均值的紧致度参数, C 是归一化因子。类内的均值 $m_o(t)$ 、 $m_b(t)$ 可以由直方图估计如下:

$$\begin{aligned} m_b(T) &= \sum_{k=0}^T kh_k / \sum_{k=0}^T h_k \\ m_o(T) &= \sum_{k=T+1}^{L-1} kh_k / \sum_{k=T+1}^{L-1} h_k \end{aligned} \tag{13}$$

新的模糊隶属度函数只有一个参数 T , 即分割阈值, 它的取值范围一般为 $\{0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 。图像的总模糊熵 (9) 也只依赖这一个参数, 因此, 搜索使模糊熵 (9) 最大的 T 只需要用简单的穷举法进行 L 次运算即可, 与采用 (6) 和 (7) 式的模糊隶属度函数相比, 计算量大大减少, 使得分割过程简单快速, 便于实时应用。

3 实验以及结果分析

采用本方法对几幅真实的红外图像进行了分割实验, 将分割结果与经典的 Otsu 阈值法和 Kapur 阈值法以及文献 [7] 方法的分割结果进行了比较。文献 [7] 采用遗传算法来搜索最佳参数 (a, b, c) 的组合, 在实验中, 遗传算法的有关参数为: 种群数为 50, 进化代数为 50, 交叉概率为 0.6, 变异概率为 0.03。图 1 是一幅大小为 185×255 电厂图像, 图 2 是坦克图像, 大小为 176×126 , 分割结果如图 1、2 所示。各种算法所得到的阈值如表 1 所示。表 2 列出了本方法和文献 [7] 方法所花费的计算时间。从图 1、2 可以看出, Otsu 方法分割效果很差, 将很多属于背景的像素错误地划分为目标, 使得目标主体与周围环境不容易分离, 而 Kapur 方法大体上能正确地分割出目标, 但是分割结果中存在一些虚假的信息。采用模糊熵的方法分割结果最好, 不仅能正确地分割出目标而且虚假信息少。比较文献 [7] 方法和本文方法的结果可以发现, 两者分割效果相当, 但本法计算时间大大缩短, 这是因为本法所用的模糊隶属度函数只有一个参数, 解的搜索范围很小。

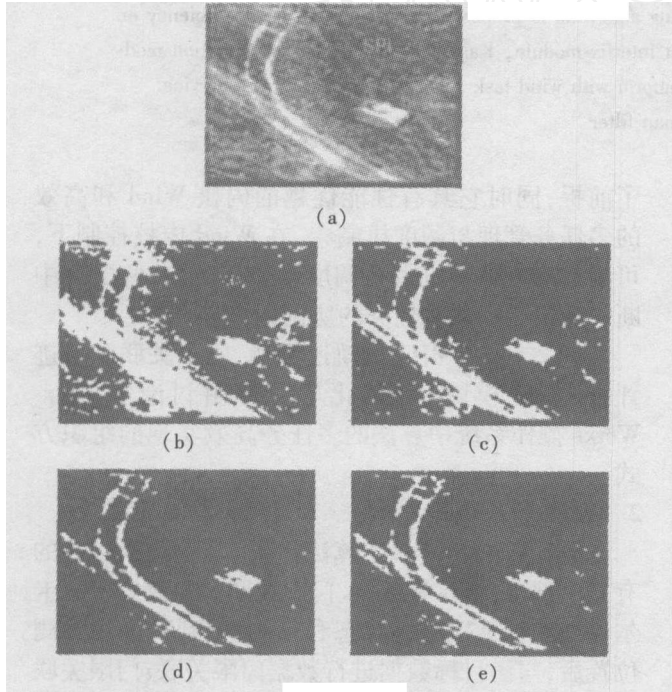


(a)原始图像, (b)Otsu方法分割结果, (c)Kapur方法分割结果, (d)文献[7]方法的分割结果, (e)本文方法分割结果

(a) original image, (b) segmentation result using Otsu method, (c) segmentation result using Kapur method, (d) segmentation result using method of Ref [7], (e) segmentation result using proposed method

图 1 电厂图像分割结果

Fig 1 segmentation results of factory image



(a)原始图像, (b)Otsu方法分割结果, (c)Kapur方法分割结果, (d)文献[7]方法的分割结果, (e)本文方法分割结果

(a) original image, (b) segmentation result using Otsu method, (c) segmentation result using Kapur method, (d) segmentation result using method of Ref [7], (e) segmentation result using proposed method

图 2 坦克图像分割结果

Fig 2 segmentation results of tank image

表 1 几种方法所得到的阈值
Table 1 threshold using different methods

图像	方法			
	Otus	Kapur	文献[7]方法	本文方法
电厂	64	109	141	133($\alpha=2$)
坦克	107	140	180	168($\alpha=4$)

表 2 本文方法与文献[7]方法的计算时间比较
Table 2 compare of computation time using proposed method and method in Ref [7]

图像	计算时间 (s)	
	文献[7]方法	本文方法
电厂	4.06	0.203
坦克	2.24	0.219

4 结 论

红外图像分割是红外制导以及自动目标识别的关键技术。红外图像中,目标和背景的对比较低,边缘模糊;经典的阈值法很难得到理想的分割结果。本文采用模糊熵方法来分割红外图像,而模糊熵方法中模糊隶属度函数参数较多(两个或三个参数),直接搜索最优参数困难的情况,给出了一个简单的隶属度函数,该函数只包含一个参数值,使得我们可以使用简单的穷举法得到最优分割阈值,实现了红外图像快速、准确的分割,便于实时应用。

参考文献:

[1] N Otsu A threshold selection method from gray-level histogram[J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetic, 1979, 9: 62 - 66

[2] J N Kapur, P K Sahoo, A K C Wong A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985, 29: 273 - 285

[3] J C Bezdek Pattern Recognition With Fuzzy Objective Function Algorithms[M]. New York: Plenum Press, 1981.

[4] Yanmei Liang, Hongchen Zhai, Shengjiang Chang, et al Color Image segmentation based on the principle of maximum degree of membership[J]. Acta Phys Sin, 2003, 52: 2655 - 2659

梁艳梅,翟宏琛,常胜江,等. 基于最大隶属度原则的彩色图像分割方法[J]. 物理学报, 2003, 52: 2655 - 2659.

[5] J T Orlando, R Seara Image segmentation by histogram thresholding using fuzzy sets[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2002, 11: 1457 - 1465

[6] H D Cheng, J R Chen, J G Li Threshold selection based on fuzzy c-partition entropy approach[J]. Pattern Recognition, 1998, 31: 857 - 870.

[7] W B Tao, J W Tian, J L Liu Image segmentation by three-level thresholding based on maximum fuzzy entropy and genetic algorithm[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24: 3069 - 3078