

## 融合 Fisher 准则和势函数的多阈值图像分割

张新明, 李振云\*, 郑颖

(河南师范大学 计算机与信息技术学院, 河南 新乡 453007)

(\* 通信作者电子邮箱 linyu.nan@163.com)

**摘要:**针对传统多阈值图像分割算法复杂度高、分割效果欠佳等问题,提出了一种基于 Fisher 准则和势函数相结合的多阈值图像分割方法。首先对 Fisher 准则函数进行简化,再对简化后的 Fisher 准则采用递推算法降低计算复杂度,然后由直方图势函数方法确定图像的分割类数,最后将改进的 Fisher 准则用于多阈值图像分割,并对最终分割结果进行后续处理。实验结果表明,融合 Fisher 准则和势函数的多阈值分割方法不仅分割效果好,而且分割时间短,能够运用到实时应用的场合。

**关键词:**图像分割;多阈值分割;Fisher 准则;直方图势函数;递推算法

**中图分类号:** TP391.41 **文献标志码:** A

### Multi-threshold image segmentation based on combining Fisher criterion and potential function

ZHANG Xin-ming, LI Zhen-yun\*, ZHENG Ying

(College of Computer and Information Technology, Henan Normal University, Xinxiang Henan 453007, China)

**Abstract:** The traditional multi-threshold image segmentation method has high complexity and the results are poor. In order to solve the problems, a new multi-thresholding method based on combining Fisher criterion and potential function was proposed. First, the Fisher criterion function was simplified and a recursive algorithm was used to reduce the computational complexity. Then the number of segmentation class was obtained by utilizing the histogram potential function method. Finally, the simplified Fisher criterion function was used for multi-thresholding and the segmentation results were further processed. The experimental results show that compared with the traditional multi-thresholding methods, the proposed method has better segmentation performance and that its running time is less. It can be used in the real-time applications.

**Key words:** image segmentation; multi-threshold segmentation; Fisher criterion; histogram potential function; recursive algorithm

## 0 引言

图像分割是计算机视觉的一个重要问题,分割结果的好坏直接影响后续的特征提取和目标识别。图像分割方法很多,阈值法因其简单、计算量小、性能比较稳定而成为图像分割中应用最广泛的技术<sup>[1]</sup>。阈值分割的主要思想是求准则函数的最值,然后由达到最值的灰度值将图像分为目标和背景两部分。阈值分割算法<sup>[1-5]</sup>种类繁多,不同算法适用于不同类型的图像,目前还没有一种通用的分割方法,2003年,陈果<sup>[5]</sup>将 Fisher 准则运用到图像分割中,该方法具有性能稳定、计算速度快、受目标大小影响小等优点,随后许多学者对其进行了研究<sup>[6-7]</sup>并取得了更好的效果。图像分割的主要目的是将图像分割成目标部分和背景部分,但大多数图像不仅仅只有一个目标,这就出现了多目标图像分割<sup>[8-13]</sup>。当前针对单阈值图像分割研究较多,多阈值分割研究相对较少。其中原因有:将单阈值法拓展到多阈值分割后,需要求取多个阈值来满足各部分之和达到准则函数最大或最小,算法的时间复杂度和空间复杂度相对单阈值方法来说显著增大,且求取的阈值数越多,分割时间就越长,实时性越差,因此制约了多阈值分割方法的应用,分割效果在某些场合也不尽如人意。

本文针对传统的多阈值分割方法存在的不足,提出了一种 Fisher 准则和势函数相结合的多阈值图像分割方法。首先

对原 Fisher 准则函数进行简化,减少算法的存储空间,同时结合递推算法<sup>[4]</sup>进行计算,减少计算时间,然后由直方图势函数<sup>[14-15]</sup>确定图像的分割类数,最后采用简化的 Fisher 准则对图像进行多阈值分割。

## 1 Fisher 准则分割法及其改进

### 1.1 Fisher 准则分割法

设  $I = f(i, j)$  是一幅数字图像,大小为  $m \times n$ ,灰度范围为  $0 \sim L$ ,  $L$  一般取 255,  $p(i)$  为图像的直方图概率,假设灰度值  $t$  将图像分为目标区  $(0, t)$  和背景区  $(t+1, L)$  两部分。目标区和背景区的先验概率分别为  $\omega_1(t)$  和  $\omega_2(t)$ , 目标区的均值和方差用  $\mu_1(t)$  和  $\delta_1^2(t)$  来表示,背景区的均值和方差用  $\mu_2(t)$  和  $\delta_2^2(t)$  来表示。则 Fisher 评价函数为:

$$J(t) = \frac{|\omega_1(t)\mu_1(t) - \omega_2(t)\mu_2(t)|^2}{\omega_1(t)\delta_1^2(t) + \omega_2(t)\delta_2^2(t)} \quad (1)$$

由式(1)可以看出,分子部分的  $\omega_1(t)\mu_1(t) = \sum_{i=0}^t ip(i)$ , 是图像目标区灰度的期望值,  $\omega_2(t)\mu_2(t)$  是背景区的灰度期望值,反映了目标区和背景区的平均灰度值,目标区和背景区的平均灰度值相差越大,两者的分离度越好,目标和背景区的区分越明显;而分母部分是图像的类内方差,类内方差越小,图像的分割效果越好。由以上分析可知:分子越大,分母越小,即

收稿日期:2012-04-18;修回日期:2012-05-29。 基金项目:河南省重点科技攻关项目(102102210554)。

作者简介:张新明(1963-),男,湖北孝感人,副教授,主要研究方向:数字图像处理、智能优化算法、模式识别; 李振云(1988-),女,河南林州人,硕士研究生,主要研究方向:数字图像处理; 郑颖(1987-),女,河南新野人,硕士研究生,主要研究方向:语义 Web、图像处理。

$J(t)$  取最大值时,图像两部分间的分离性最好,同时类内方差最小,此时的阈值  $t$  即为图像的分割阈值。

式(1)中各变量的具体表示如下:

$$\left\{ \begin{aligned} \omega_1(t) &= \sum_{i=0}^t p(i), \\ \omega_2(t) &= \sum_{i=t+1}^L p(i) \\ \mu_1(t) &= \sum_{i=0}^t ip(i)/\omega_1(t) \\ \mu_2(t) &= \sum_{i=t+1}^L ip(i)/\omega_2(t) \\ \delta_1^2(t) &= \sum_{i=0}^t (i - \mu_1(t))^2 p(i)/\omega_1(t) \\ \delta_2^2(t) &= \sum_{i=t+1}^L (i - \mu_2(t))^2 p(i)/\omega_2(t) \end{aligned} \right. \quad (2)$$

因此, Fisher 准则的阈值选择标准为:

$$t^* = \arg \max_{0 < t < L} \{J(t)\} \quad (3)$$

这种方法具有性能稳定、计算速度快、受目标大小影响小等优点。但采用式(1)进行图像分割时,所需的存储空间多、计算复杂度高。

## 1.2 Fisher 准则分割法的改进

为了满足实时应用,图像分割的速度越快越好。由式(1)可以看出 Fisher 准则仍可以简化,进一步减少运算时间。将式(2)代入式(1),得:

$$J(t) = \frac{\left| \sum_{i=0}^t ip(i) - \sum_{i=t+1}^L ip(i) \right|^2}{\sum_{i=0}^t (i - \mu_1(t))^2 p(i) + \sum_{i=t+1}^L (i - \mu_2(t))^2 p(i)} \quad (4)$$

$$\text{设 } \mu_{u1} = \sum_{i=0}^t ip(i), \mu_{u2} = \sum_{i=t+1}^L ip(i), \text{det}_1 = \sum_{i=0}^t i^2 p(i),$$

$$\text{det}_2 = \sum_{i=t+1}^L i^2 p(i), \mu_{uL} = \sum_{i=0}^L ip(i), \text{det}_L = \sum_{i=0}^L i^2 p(i), \text{则式(4)}$$

可以写成:  $J(t) = \frac{(\mu_{u1} - \mu_{u2})^2}{\text{det}_L - \mu_{u1}^2/\omega_1 - \mu_{u2}^2/\omega_2}$ 。又由  $\mu_{u2} = \mu_{uL} - \mu_{u1}, \omega_2 = 1 - \omega_1$  得:

$$J(t) = \frac{(2\mu_{u1} - \mu_{uL})^2}{\text{det}_L - \mu_{u1}^2/\omega_1 - (\mu_{uL} - \mu_{u1})^2/(1 - \omega_1)} \quad (5)$$

用式(1)求最佳阈值时,需要 6 个  $256 \times 1$  的数组来存储目标和背景区的先验概率、均值和方差,计算先验概率时若采用递推方法,计算复杂度可以由  $O(L^2)$  降为  $O(L)$ 。但是均值和方差都含有先验概率作分母,计算时必须从 0 开始,时间复杂度为  $O(L^2)$ ,所以原算法的时间复杂度为  $O(L^2)$ 。简化后的式(5)只需要 2 个  $256 \times 1$  的数组(存先验概率  $\omega_1$  和  $\mu_{u1}$ ) 和一个变量(存储  $\text{det}_L$ )。  $\mu_{uL}$  用  $\mu_{u1}$  的最后一个量表示,可以节省约 4L 的存储空间。另外计算  $\omega_1$  和  $\mu_{u1}$  时,均可采用递推的方法,时间复杂度可减少到  $O(L)$ 。由以上分析,改进后的公式不仅节省了存储空间,同时也加快了运算速度。

## 2 基于 Fisher 准则的多阈值分割

进行多阈值分割时,求取一个阈值需要对整个直方图进行一次遍历,分类数越多遍历次数越多,分割时间就越长。采用改进后的 Fisher 准则进行多阈值分割,可以加快分割速度。

多阈值分割首先存在一个确定分割类数的问题。对于多阈值分割的分类数的确定,通常有两种方法:一种是直接进行阈值分割,直到满足一定条件停止,求阈值和确定分割类数同时进行<sup>[8]</sup>。另一种是先根据直方图的形状结合一定算法求

出分类数,然后求取多个阈值<sup>[9]</sup>。前一种方法每求取一个阈值,需要判断一次是否达到结束条件,而判断条件需根据图像的特性确定,如文献[8]采用互信息熵判断分割是否结束,计算量大。第二种可根据直方图的峰谷特性求出分割类数,例如采用直方图势函数方法对直方图进行拟合求取分割类数,此算法简单,计算速度快,因此本文先采用直方图势函数方法<sup>[14]</sup>确定分割类数,再由 Fisher 准则求取多个阈值。

### 2.1 势函数方法确定分类数

直方图势函数方法<sup>[14-15]</sup>简述如下:

设  $p(i)$  为一幅数字图像的概率分布,定义直方图势函数:

$$P_H(k) = \frac{1}{P_{\max}} \sum_{i=0}^L \frac{p(i)}{1 + \alpha(i-k)^2} \quad (6)$$

其中  $P_{\max} = \max \left\{ \sum_{i=0}^L \frac{p(i)}{1 + \alpha(i-k)^2} \right\}$ ,  $\alpha$  为参数。  $P_H(k)$  和  $p(i)$  的峰谷特性非常接近。确定一幅图像的分割类数,就是确定直方图的峰数。一般情况下,在势函数峰周围的直方图势比较大,寻找到第一个直方图势的峰后,为了消除该峰对寻找第二个峰的影响,需要对第一个峰进行衰减,则有直方图剩余势函数:

$$P_c(i) = P_{c-1}(i) - p_c^* \frac{1}{1 + f_\alpha(i - x_c)^4} \quad (7)$$

其中,  $p_c^* = \max \{P_{c-1}(i)\}$ ,  $x_c = \{i \mid P_{c-1}(i) = p_c^*\}$ ,  $f_\alpha = \left| \left| \frac{D_H}{2} \right|^2 \times \frac{\beta}{C-1} \right|^{-1}$ ,  $D_H$  表示图像的灰度深度(最大灰度与最小灰度之差),  $\beta$  是参数。计算分类数  $C$  的步骤如下:

1) 由式(6) 求出直方图势函数。

2) 令  $C = 2$ , 求直方图的剩余势函数,若其最大值小于限定值(设为  $rph$ ), 则转 3); 否则  $C = C + 1$ , 再求剩余势函数, 判断其最大值与限定值的关系。

3) 此时的  $C$  值即为图像的分类数。

势函数方法是一种非迭代方法,具有速度快、鲁棒性强等优点<sup>[14]</sup>。文献[14-15]直接采用直方图势函数求取相邻峰之间的谷点确定阈值。但这种方法存在缺陷:若直方图是单峰情况,无法用直方图势函数方法求出阈值,同时直方图势函数中含有三个参数,对分类影响大。本文结合势函数和 Fisher 准则的优点,摒弃不足,提出了新的多阈值分割方法。

### 2.2 Fisher 准则的多阈值分割

求多个阈值时,可以对直方图进行多重遍历,求取满足准则函数的阈值数组;也可以每次求取一个阈值,直至将图像分成  $C$  部分<sup>[8]</sup>。第一种方法在类别数较多的情况下,时间复杂度很高,为此通常引进智能优化算法来进行搜索(如文献[6])以便减少运算时间,但智能优化算法本身存在计算复杂度,且通常含有参数,参数的选取对结果影响较大,参数选取不当会影响分割效果。第二种方法不需要额外采用算法来求取阈值,且求取部分图像的阈值时,只需要遍历部分图像的灰度范围,能够减少分割时间。本文采用第二种方法实现多阈值分割。改进后的 Fisher 准则运用到多阈值分割的算法流程如图 1 所示。

以上算法简述如下:首先用势函数分类法确定分类数  $C$ , 然后用 Fisher 准则方法对图像进行一次全局分割, 求出第一个阈值,  $n$  用来表示分割的类数, 同时将求得的阈值存入阈值数组, 两部分的方差存入方差数组。然后判断分割类数  $n$  和势函数确定的分类数  $C$  的关系, 若小于分类数  $C$ , 对方差较大的部分图像进行局部图像分割, 如此重复, 每一次都将方差较大的部分进行二次分割, 分割类数  $n$  加 1, 然后判断分割类数  $n$  和分类数  $C$  的关系, 直到分割的类数等于势函数确定的分类数  $C$ , 则停止分割。所求出的阈值数组即为多阈值。

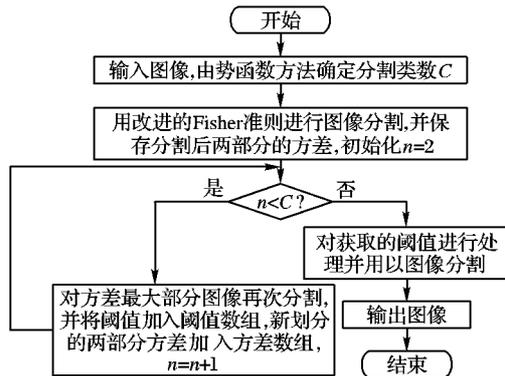


图 1 融合 Fisher 准则和势函数的多阈值图像分割流程

### 3 仿真实验及结果分析

为了验证本文方法的有效性,用其分割图像,并同文献 [6,14] 两种方法进行对比。实验均是在 Windows XP 操作系统, Pentium D 主频为 2.80 GHz, 内存为 512 MB DDR RAM 的机器上进行,采用 Matlab 7.1 实现。其中:表 1 是对原 Fisher 准则方法和改进后 Fisher 准则方法获取阈值和运行时间的比较;图 2 和表 2 是对直方图势函数中参数取值的比较;图 3 是本文方法和另外两种方法进行多阈值分割效果的比较;表 3 列出了采用本文方法进行多阈值分割时获取的阈值和运行时间等参数。表中的运行时间是运行 100 次的平均时间。

表 1 采用原 Fisher 准则方法和改进后的 Fisher 准则方法获取的阈值和运行时间比较

| 图像             | 大小        | 获取阈值 |      | 运行时间/s  |         |
|----------------|-----------|------|------|---------|---------|
|                |           | 原算法  | 改进算法 | 原算法     | 改进算法    |
| Bottles. jpg   | 341 × 498 | 46   | 46   | 0.00377 | 0.00018 |
| Lena. jpg      | 300 × 300 | 55   | 55   | 0.00444 | 0.00018 |
| Cameraman. tif | 256 × 256 | 80   | 80   | 0.00408 | 0.00018 |
| Bubbles. tif   | 682 × 714 | 185  | 185  | 0.00376 | 0.00028 |

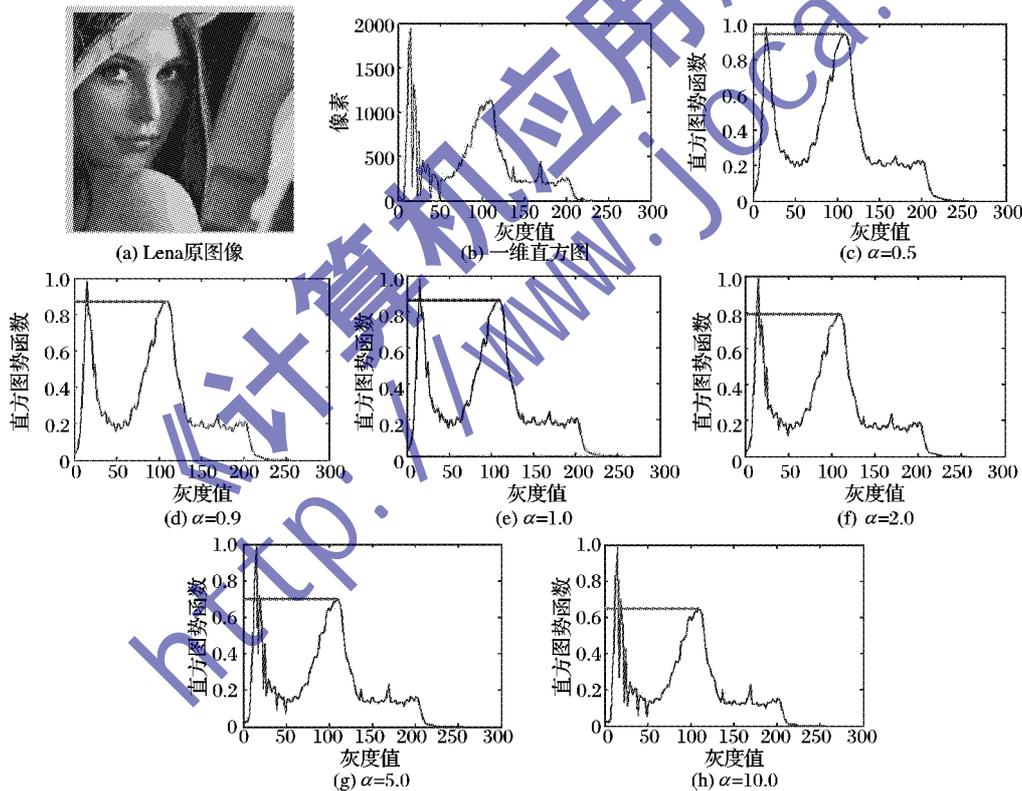


图 2 不同  $\alpha$  值的直方图势函数

#### 3.1 运行时间的比较

1) 单阈值分割时间的比较。表 1 列出了分别采用两种方法对 4 幅典型图像进行单阈值分割的阈值和所消耗的时间以及图像的大小等参数。由表 1 可知,在改进的算法和原算法分割效果一样(原算法和改进算法所求阈值相同,见表 1 第 3 列和第 4 列)的情况下,采用改进后的 Fisher 准则进行图像分割时,所用的运行时间要比原算法少一个数量级。这是因为运用式(5)求取准则函数时,两个数组均采用递推算法,且  $mu_1$  数组相对于式(1)中用到的均值数组  $\mu_1$  省去了除法运算,只剩下简单的加法运算。

2) 多阈值分割时间的比较。由 2.2 节讨论可知,改进

Fisher 算法进行单阈值分割时只需要 2 个一维数组和一个变量存储空间,用于多阈值分割时,还需要一个变量数组来存储求出阈值后的两部分的方差,为求下一个阈值做准备,即多阈值比单阈值的 Fisher 准则使用的存储空间多。假设图像的分类数为  $C$ ,一共需要  $C - 1$  个阈值,每求一个阈值,需要两个存储空间来存储方差,此数组最大存储空间为  $2 \times (C - 1)$  个,可见改进后的 Fisher 准则进行多阈值分割所需存储空间还是远远小于原算法的存储空间。对简化后所需的两个数组采用递推算法,能进一步减少运行时间。由表 3 倒数第 1 列可以看出,本文算法分割时间在毫秒级,采用改进后的 Fisher 准则进行多阈值分割所用的时间能够满足实时应用的要求。

总之,本文提出的快速算法是有效的,不仅运行速度快,

而且占用的存储空间少。

### 3.2 对直方图势函数参数的讨论

由式(6)和式(7)可以看出,使用直方图势函数划分类数的时候需要用到三个参数( $\alpha, \beta, rph$ ),对参数的选取会影响到最终分类数的确定,下面对用到的参数进行讨论。

确定第一个参数 $\alpha$ 的值。选取适当的 $\alpha$ 值,直方图势函数和直方图函数的特性非常接近。图2列出了 $\alpha$ 取不同值时Lean图像的势函数图。由图2可以看出,随着 $\alpha$ 值的增大(从0.5到10),直方图势函数的最大峰值不变(为1,式(6)中的归一化过程使得最大值恒为1),而第二个峰值随 $\alpha$ 的增大逐渐减小(式(6)中 $\alpha$ 在分母的位置上),为使区别更为明显,图2将次峰值用直线延伸至纵坐标轴处。势函数是求取剩余势函数的数据源,分类数和剩余势函数峰值相关。由此可见,选取适当的 $\alpha$ 值,会影响到分类数的确定。由图2(e)可以看出, $\alpha$ 为1时,第二个峰值相对较大,且取1时可省去乘法运算,所以本文 $\alpha$ 的取值为1。

由式(7)确定第二个参数 $\beta$ 的值。表2列出了 $\beta$ 取不同值时的最大剩余势函数。其中 $max_i$ 表示的是第 $i$ 阶剩余势函数的最大值,表中 $i=1,2,3$ 。由表2可以看出,随着 $\beta$ 取值的增大, $max_i$ 逐渐减少。 $max_i$ 是确定分割类数的直接因素,当判定值 $rph$ 一定时, $\beta$ 越大,分类数越少,所以确定合适的 $\beta$ 值十分重要。 $\beta$ 为4时,由 $f_\alpha$ 的计算公式可知正好与乘号左边的分母约去,可以减少运算;且 $\beta$ 为4时,各阶剩余势函数的 $max_i$ 值比较分散,有明显的区别,随着 $\beta$ 的增大, $max_i$ 的区别减小, $rph$ 不易确定(如表2最后一列的 $max_2$ 和 $max_3$ )。本文结合表2中实验数据,选取 $\beta$ 值为4。

关于第三个参数极限阈值 $rph$ 的取值,见下文的讨论。

表2  $\beta$ 取不同值的最大一阶、二阶、三阶剩余势函数值

| $\beta$ | $max_1$ | $max_2$ | $max_3$ |
|---------|---------|---------|---------|
| 0.1     | 0.8646  | 0.6933  | 0.5870  |
| 0.5     | 0.8645  | 0.5914  | 0.3358  |
| 1.0     | 0.8644  | 0.5292  | 0.2790  |
| 3.0     | 0.8640  | 0.4043  | 0.2401  |
| 4.0     | 0.8638  | 0.3730  | 0.2393  |
| 5.0     | 0.8637  | 0.3569  | 0.2384  |
| 6.0     | 0.8635  | 0.3414  | 0.2375  |
| 10.0    | 0.8627  | 0.2846  | 0.2341  |
| 20.0    | 0.8609  | 0.2309  | 0.1847  |

### 3.3 分割效果的比较

图3是对四幅大小都为 $147 \times 223$ 的图像进行多阈值分割的结果。

文献[6]的方法是将Fisher准则应用于多阈值分割,为了加快分割,采用粒子群优化算法进行寻优,图3(b)是文献[6]方法中采用带有惯性权值的粒子群算法寻优的阈值分割结果,其中粒子群优化算法的参数选取见文献[6]。文献[6]中分类数需要事先确定,对比实验中分类数根据本文势函数方法确定的。文献[14]是采用势函数划分类数并求取阈值,划分类数和本文2.1节相同,阈值是由相邻直方图势划分类数的相交点确定,具体算法见文献[14]。由图3可以看出,本文提出的方法分割效果好。

综上所述,本文提出的方法是有效的,能够达到多阈值分割的目的。

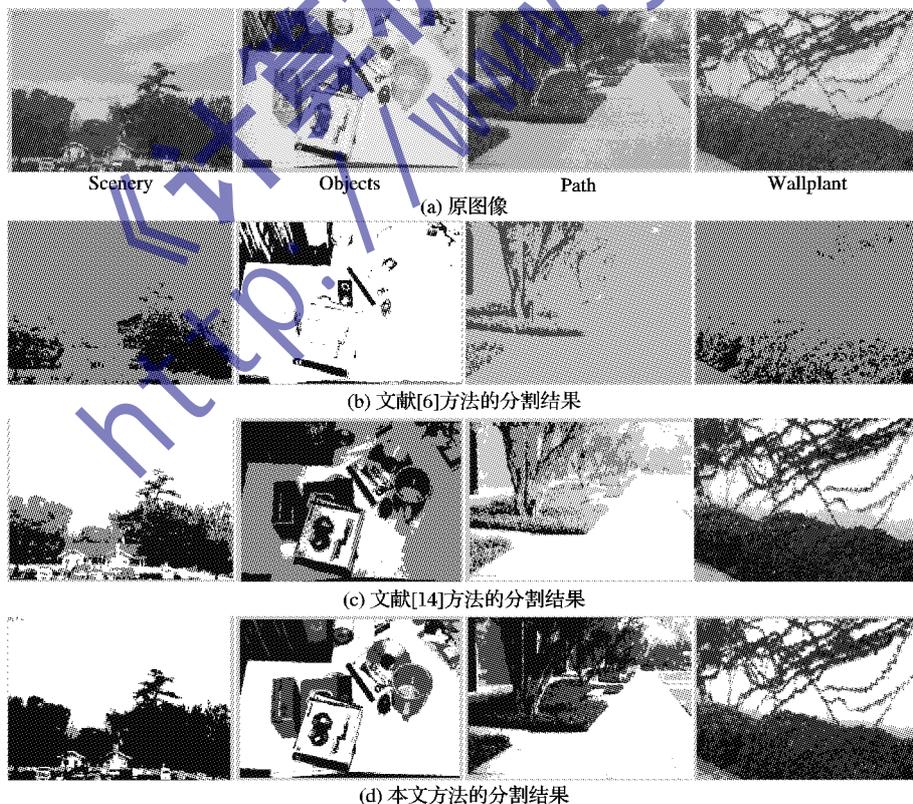


图3 图像的多阈值分割效果对比

由表3可以看出,分类数与所设定的极限值 $rph$ 有很大的关系, $rph$ 取值较小时,产生的分类数较多,分类比较细,表3中Wallplant图像的分类数达到11(第2列)。随着 $rph$ 的增大,分类数逐渐减少。由于光照等原因,图像同一个目标区内像素的灰度值可能存在差别,分类数较多时会出现同一个目标区由多个灰度

值表示的情况,影响图像的分割效果;分类数较少时,又可能出现多个目标没有被分割出来的现象;且由表3倒数第1列,随着分类数的增多,图像分割所需的时间增大。因此,本文选取极限值 $rph$ 为0.2。表3列出了 $rph$ 为0.2时求得的阈值,可以看出,获取的阈值存在几个阈值相近或相同的情况,而光照等因素会使同一区域

内部像素灰度值有差别,因此当求得的阈值相同或相近时,需要舍弃一些阈值。即在求得阈值后判断阈值之间的差值,若小于一

定灰度值差值(本文取 10)则舍弃,见表 3 倒数第 2 列求得的最终分割类数和最终阈值。

表 3 本文方法在不同参数下获得的阈值及运行时间

| 图像             | 分类数 $C(rph)$ |     |     | 阈值 ( $rph = 0.2$ )              | 最终分类数 ( $C$ )、阈值 ( $thre$ ) |                     | 时间/s  |
|----------------|--------------|-----|-----|---------------------------------|-----------------------------|---------------------|-------|
|                | 0.1          | 0.2 | 0.3 |                                 | $C$                         | $thre$              |       |
| Scenery. jpg   | 5            | 4   | 2   | [99,100,137]                    | 3                           | [99,137]            | 0.032 |
| Objects. jpg   | 8            | 4   | 3   | [122,177,199]                   | 4                           | [122,177,199]       | 0.054 |
| Path. jpg      | 8            | 5   | 4   | [75,112,136,146]                | 4                           | [75,112,136]        | 0.062 |
| Wallplant. jpg | 11           | 9   | 5   | [57,98,139,163,174,175,181,183] | 6                           | [57,98,139,163,174] | 0.105 |

## 4 结语

本文首先对 Fisher 准则进行了简化,简化之后再采用递推算法,减少运算时间,并将简化后的 Fisher 准则和直方图势函数融合进行多阈值图像分割。本文的算法能将各个目标从图像中分割出来,且花费时间少,适合于实时应用。

### 参考文献:

- [1] 张新明,李振云,郑延斌. 两种二维交叉熵阈值法等价性证明及快速实现[J]. 计算机应用, 2011, 31(8): 2210-2213.
- [2] ZHANG X M, YAN L. A fast image thresholding method based on chaos optimization and recursive algorithm for two dimensional Tsallis entropy [J]. Journal of Computers, 2010, 5(7): 1054-1061.
- [3] 张新明,孙印杰,郑延斌. 二维直方图准分的 Otsu 图像分割及其快速实现[J]. 电子学报, 2011, 39(8): 1778-1784.
- [4] CHERIET M, SAID J N, SUEN C Y. A recursive thresholding technique for image segmentation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(6): 918-921.
- [5] 陈果. 图像阈值分割的 Fisher 准则函数法[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(6): 564-567.
- [6] 温淑焕,唐英干. 基于 Fisher 准则的多阈值图像分割方法[J]. 激光与红外, 2008, 38(7): 741-744.

- [7] 谢明霞,郭建忠,陈科. 基于高维映射 Fisher 判别分析的图像分割[J]. 计算机工程, 2010, 36(2): 194-196.
- [8] 张超,曹焱,陈运聪. OTSU 和互信息熵在多阈值分割中的应用[J]. 长春工业大学学报:自然科学版, 2011, 32(1): 57-60.
- [9] NAKIB A, OULHADJ H, SIARRY P. Non-supervised image segmentation based on multiobjective optimization [J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29(2): 161-172.
- [10] LIAO P S, CHEN T S, CHUNG P C. A fast algorithm for multilevel thresholding [J]. Journal of Information Science and Engineering, 2001, 17(1): 713-727.
- [11] YAN F X, ZHANG H, KUBE C R. A multistage adaptive thresholding method [J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(1): 1183-1191.
- [12] 李哲学,陈树越. 快速多阈值图像分割法[J]. 计算机应用, 2010, 30(5): 1335-1337.
- [13] 刘艳,赵英良. Otsu 多阈值快速求解算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(12): 3363-3365.
- [14] 裴继红,谢继信. 势函数聚类自适应多阈值图像分割[J]. 计算机学报, 1999, 22(7): 758-762.
- [15] 张志佳,黄莎白,史泽林. 一种改进的势函数聚类多阈值图像分割算法[J]. 光电工程, 2005, 32(8): 64-68.

(上接第 2842 页)

更好地表达了图像的空间分布,利用环形颜色和纹理综合特征检索,有效提高了图像检索的准确率。

### 参考文献:

- [1] 刘瑞,王冲. 基于一次反馈的色彩空间图像检索技术研究[J]. 桂林电子科技大学学报, 2011, 31(5): 373-376.
- [2] 罗军,况夯. 基于内容的多特征融合图像检索[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(1): 153-155.
- [3] 孙挺,王浩川,耿国华. 一个多特征结合的图像检索技术[J]. 中州大学学报, 2008, 25(3): 123-125.
- [4] SCHMID C, MOHR R. Local gray value invariants for image retrieval [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(5): 530-534.
- [5] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector [C]// Proceedings of 4th Alvey Vision Conference. Manchester: [s. n.], 1988: 147-151.
- [6] 何姗,郭宝龙,洪俊标. 基于兴趣点颜色特征的图像检索方法[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(3): 40-46.
- [7] 孟繁杰,郭宝龙. 使用兴趣点局部分布特征及多示例学习的图像检索方法[J]. 西安电子科技大学学报:自然科学版, 2011, 38(2): 47-53.
- [8] LOWE D G. Distinctive image features from scale invariant key points [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [9] BAY H, TUVTELLARS T, van GOOL L. SURF: Speeded up robust feature [EB/OL]. [2012-01-01]. <http://www.vision.ee.>

[ethz.ch/~surf/eccv06.pdf](http://ethz.ch/~surf/eccv06.pdf).

- [10] 曾智勇,安志勇,周利华. 显著兴趣点颜色及空间分布熵的图像检索方法[J]. 红外技术, 2007, 29(3): 160-163.
- [11] 孙艳红. 基于感兴趣区域的融合多特征图像检索方法研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2010.
- [12] MA W Y, MANJUNATH B S. Texture features and learning similarity [C]// CVPR'96: Proceedings of the 1996 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1996: 425-430.
- [13] PERONA P, MALIK J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(7): 629-639.
- [14] BAY H, ESS A, TUYTELAARS T. Speeded-up robust features [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.
- [15] 李勇. 基于内容的图像检索技术研究[D]. 长春:吉林大学, 2009.
- [16] 孟繁杰,郭宝龙. 一种基于兴趣点颜色及空间分布的图像检索方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2005, 32(2): 256-259.
- [17] MANJUNATH B S, MA M Y. Texture features for browsing and retrieval of image data [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(8): 837-842.
- [18] WANG J Z, LI J, WIEDERHOLD G. Semantics-sensitive integrated matching for picture libraries [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(9): 947-963.