

# 基于标记的 Watershed 图像分割新算法

高 丽<sup>1,2</sup>, 杨树元<sup>1</sup>, 夏 杰<sup>1,2</sup>, 王诗俊<sup>1,2</sup>, 梁军利<sup>1,2</sup>; 李海强<sup>3</sup>

(1. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 2. 中国科学院声学研究所数字系统集成部, 北京 100080; 3. Sonyericsson 中国研发中心, 北京 100102)

**摘 要:** 为了防止 Watershed 算法过分割问题, 文中提出一种新改进的基于标记的 Watershed 自动图像分割方法. 文中设计出一种有效的标记自动提取方法, 用来从梯度图像的低频成分中提取与图像中的物体相关的极小值, 用这些极小值构成二值标记图像. 根据二值标记图像, 形态学的极小值标定技术被用来将这些提取的标记强制作为原始梯度图像的极小值, 而屏蔽原有梯度图像的所有极小值. 最后, watershed 算法在修改过的梯度图像上进行图像分割. 利用本文提出的图像分割算法可以获得较为理想的图像分割结果. 通过对不同类型的图像进行试验, 证明本文提出的图像分割算法能够获得符合人类视觉特点, 具有实际意义而且均一的分割区域, 以及较为准确、连续、一个像素大小的物体边界. 与其它的 Watershed 改进方法相比, 本文提出的方法要求的计算复杂度较低, 具有简单的参数, 同时能够更为有效地降低 Watershed 算法的过分割问题.

**关键词:** 图像分割; 彩色图像的梯度图; 巴特沃思低通滤波; 数学形态学; 标记提取; watershed  
**中图分类号:** TN919.81 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2006)11-2018-06

## A New Marker-Based Watershed Algorithm

GAO Li<sup>1,2</sup>, YANG Shuryuan<sup>1</sup>, XIA Jie<sup>1,2</sup>, WANG Shi-jun<sup>1,2</sup>, LIANG Jun-li<sup>1,2</sup>, LI Hai-qiang<sup>3</sup>

(1. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;  
2. Department of Digital System Integration Technique, Institute of Acoustics, CAS, Beijing 100080, China;  
3. Sonyericsson R & D Center, Beijing 100102, China)

**Abstract:** This paper proposes a novel automatic image segmentation method which is an improvement to the marker based watershed transform. A new marker extracted approach is designed to extract the regional minima from the low frequency components of the gradients. The extracted minima constitute the binary marker image. Then the markers are imposed on the original gradients as its minima, and suppress its all intrinsic minima. Finally, the watershed algorithm is applied to the modified gradients to partition the image. Across a variety of image types, it is proven that this new method can obtain meaningful and homogeneous regions with accurate, consecutive and one pixel wide boundary. Compared with other methods, this system requires fewer computations and simpler parameters and can more efficiently reduce the over segmentation of the watershed algorithm.

**Key words:** image segmentation; color image gradients; Butterworth filter; mathematic morphology; marker extraction; watershed

## 1 引言

图像分割是更高层次图像与视频分析的基础. watershed 是一种著名的图像分割算法, 它也是基于时空结合的视频分割技术中普遍采用的一种空间域分割方法<sup>[1-4]</sup>. 但是, 由于对图像中的噪声非常敏感, 所以 watershed 算法本身存在严重的过分割问题<sup>[1-4]</sup>. 因此, 有效地降低过分割问题是目前人们对 watershed 算法研究的焦点之一. 目前主要有两类方法, 用来解决 watershed 的过分割问题. 第一种方法属于后处理, 针对 watershed 算法分割后的结果, 根据某种准则, 进行区域合

并<sup>[6-8]</sup>. 然而, 这种方法计算量比较大, 因而比较耗时. 第二类减少过分割的方法属于前处理, 该方法是基于标记提取的 watershed 分割算法<sup>[9,10]</sup>. 每一个标记对应着图像中的一个物体(objects). 因此, 基于标记的 watershed 分割算法在解决过分割问题时, 重点是标记的有效选取上.

在本文中, 我们首先分析了 watershed 在一般的改进方法中存在的一对矛盾体, 即为了减少噪声而进行的图像简化与保护图像中物体的边界不受破坏之间的矛盾. 同时, 文中提出了一种新颖的基于标记提取的 watershed 分割方法, 该方法能够有效减少上面提到的这对矛盾体.

## 2 问题的提出

watershed 图像分割算法<sup>[5]</sup>借助了地形学的概念. 它本质上是一种区域增长算法, 所不同的是, watershed 算法是从图像中被检测到的局部极小值开始进行增长的. 由于图像中暗噪声和暗纹理细节的影响, 在图像中会存在大量的伪局部极小值, 它们在图像中产生相应的伪积水盆地. 因此, 每一个伪局部极小值将和那些真正的局部极小值一起被作为一个独立的区域通过 watershed 算法分割出来, 最终造成严重的过分割问题.

在一般对 watershed 的改进算法<sup>[6-9]</sup>中, watershed 在简化之后的图像上进行分割, 来减少图像中噪声的影响. 由于物体边缘的破坏会导致 watershed 算法的错误分割结果, 图像简化必须考虑保护物体的边缘信息. 因此, 简化之后的图像中仍然存在相当多的暗噪声, 以它作为 watershed 算法的分割参考图像, 仍然存在较为严重的过分割现象, 例如文献[6]的 Fig. 9 所示. 文献[9]提出利用数学形态学中的面积算子进行图像简化, 从而保证图像简化的同时, 不对图像中的物体边缘信息产生破坏. 图 1 中给出文献[9]中图像简化方法的实验结果, 图 1

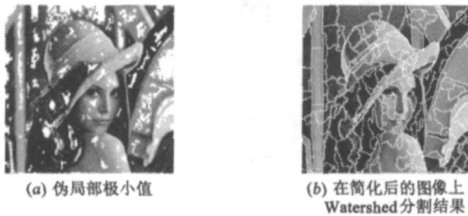


图 1 Lena 图像简化结果

(a) 给出简化后图像中伪局部极小值(各种大小的白色区域)的分布情况, 图 1(b) 给出直接在简化后的图像而没有联合其它方法的基础上, 进行 watershed 分割算法得到的结果. 从实验结果看出, 简化之后的图像中仍然存在相当多的伪局部极小值. 这些极小值造成了 watershed 的过分割问题, 必须联合其它的复杂算法来减少图像的过分割问题. 所以, 图像简化的过程只能在较小的程度上消除部分噪声, 而大量的噪声由于考虑到保护图像的边缘信息而不能得到有效地去除, 这种传统的处理方式, 势必造成图像简化与保护物体的边缘信息之间的矛盾体的出现.

## 3 提出的新算法

新算法中, 为了减少图像简化与保护边缘这对矛盾体, 算法直接应用 watershed 在原始梯度图像而非简化之后的图像进行分割, 这样可以保证没有物体边缘信息的丢失. 与此同时, 新算法设计一种新的标记提取方法, 从梯度的低频成份中提取与物体相关的局部极小值, 它们将构成二值标记图像. 然后, 将提取的标记利用形态学极小值标定技术<sup>[11]</sup>强制作为原始梯度图像的局部极小值, 而屏蔽梯度图像中原有的所有局部极小值. 最后, watershed 在经过修改之后的梯度图像上进行图像分割, 最终获得较好的图像分割结果.

### 3.1 彩色图像的梯度计算

梯度图像能更好地反映图像的变化趋势, 实践证明, watershed 算法与图像的梯度有更大的联系, 而非图像本身<sup>[12]</sup>

所以梯度图像更适合作为 watershed 算法的分割图像. 利用灰度级的数学形态学梯度算子可以取得较好的效果. 计算得到的梯度将在后面的算法中有两个方面的应用: 一方面, 与图像中物体相关的极小值将从梯度图像的低频成份中提取得到; 另一方面, watershed 算法将在被标记图像修改后的梯度图像上进行图像分割. 具体的形态学梯度计算过程如下:

定义 1 假定  $I(x, y)$  代表一幅图像,  $D_I$  表示图像  $I$  的定义域,  $M_n$  表示一个尺寸为  $n$  结构单元, 数学形态学的腐蚀和膨胀定义如下:

膨胀 (dilation):

$$\delta_n(I)(x, y) = \max\{I(x - x_0, y - y_0) \mid (x - x_0, y - y_0) \in D_I; (x_0, y_0) \in M_n\} \quad (1)$$

腐蚀 (erosion):

$$\varepsilon_n(I)(x, y) = \min\{I(x + x_0, y + y_0) \mid (x + x_0, y + y_0) \in D_I; (x_0, y_0) \in M_n\} \quad (2)$$

定义 2 图像  $I(x, y)$  的数学形态学梯度的定义如下: 形态学梯度算子<sup>[12]</sup>:

$$\nabla(I)(x, y) = \delta_1(I)(x, y) - \varepsilon_1(I)(x, y) \quad (3)$$

考虑到亮度分量的梯度信息是不完整的, 新算法中结合彩色信息, 计算彩色分量的梯度图, 本文在进行实验时采用了 RGB 空间. 新算法中, 计算彩色梯度的方法是文献[13]中提出的六种方法中的方法 I, 如果读者对其余的五种方法感兴趣的话, 可以参见参考文献[13].  $I$  代表一幅彩色图像,  $I_i (i = 1, 2, 3)$  分别代表 RGB 色彩空间中的三个彩色分量图像.  $\nabla I_C$  代表彩色信息的形态学梯度图像, 定义为:

$$\nabla I_C = \vee \{ \nabla(I_1), \nabla(I_2), \nabla(I_3) \} \quad (4)$$

式中,  $\vee$  代表提取最大值. 通过计算彩色图像的梯度, 可以将彩色图像转换为 256 级的灰度图像.

### 3.2 标记 (markers) 的提取

#### 3.2.1 新的标记提取方法的原理

引言中提到的基于标记的方法, 是一种比较好的思路, 关键在于寻找一组与图像中各个物体区域相关的标记或者说种子点. 理论上, 可以通过某种特征检测的方法从图像中提取与物体相关的标记. 物体的特征属性一般包括图像的局部极值、平坦的区域、纹理一致的区域等<sup>[11]</sup>. 新算法中从梯度图像的低频成份中提取与物体相关的局部极小值作为标记的思路基于如下一种考虑: 根据图像的照度-反射模型 (illumination reflectance model)<sup>[12]</sup>, 照度分量通常以空间域的慢变化为特征, 反射分量通常引起突变. 这些特性导致图像的低频成份对应

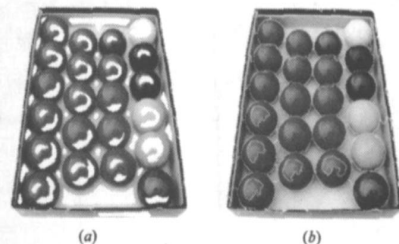


图 2 billballs (a) 利用文中提出的方法提取的标记; (b) 根据标记进行 watershed 图像分割结果

着图像的基本内容,而高频成份对应着图像的边缘、纹理细节和噪声.因此,图像的低频成份中的局部极小值与图像中的各个物体具有很强的相关性.新算法中借助这个模型对实际问题进行分析,将该模型应用于彩色梯度图像,进行合理的标记提取.

由于新算法仅仅采用图像的低频成份来提取局部极小值(markers),新算法可以均匀且有效地消除图像中的暗噪声,包括那些较深的暗噪声.另一方面由于 watershed 算法是在标记修改极小值后的原始梯度图像上进行的,所以可以保证不对 watershed 分割图像的边缘信息产生影响.因此,引言中提到的关于图像简化与保护物体边缘之间的矛盾可以被较好地减轻,实现有效地自动获取与物体相关的极小值标记的目的.实验结果证明了该思路的合理及分割有效性,如图 2 所示,图中的白色相连区域代表提取的标记.

### 3.2.2 梯度图像的低通滤波

新算法将低通滤波器应用到梯度图像  $\nabla I_C$ ,从而计算得到图像的低频成份.实验结果表明,从梯度图像的低频成份中提取与物体相关的极小值比从原始图像的低频成份中提取更加准确.这是因为梯度图像能够增强图像中的噪声,同时削弱那些灰度较为平坦的区域,从而加大图像的基本内容与噪声之间的差异.那些孤立的噪声被进一步地凸现出来,从而使得滤波器能够更容易滤除图像中的噪声.前面通过计算彩色图像的梯度,已经将彩色图像转换为 256 级的灰度图像,所以,可以很方便的对其进行低通滤波处理.

### 3.2.3 彩色梯度图像的二阶 Butterworth 低通滤波

通过实验发现,新算法中使用二阶的 Butterworth 低通滤波(BLPF2),分割结果相对较好,它是有效的低通滤波与可接受的振铃特性之间的折衷.高斯低通滤波器(Gaussian)在相同截止频率下,平滑程度不如 Butterworth 低通滤波器,Gaussian 常常在需要保护物体边缘不会受到破坏的时候才会被采用.

在进行频率域的二阶 Butterworth 获得低频成份之前,需要首先将梯度图像  $\nabla I_C$  经过 FFT<sup>[12]</sup> 变换到频率域中,

$$F(\nabla I_C)(u, v) = I[\nabla I_C(x, y)(-1)^{x+y}] \quad (5)$$

然后,将二阶 BLPF 应用到频域内的梯度图像  $F(\nabla I_C)(u, v)$  中,用以获得其低频成份,即

$$G_{\text{BLPF}}(\nabla I_C)(u, v) = H_{\text{BLPF}}(u, v) \times F(\nabla I_C)(u, v) \\ = \frac{1}{1 + (\sqrt{2} - 1) \left\{ [ (u - M/2)^2 + (v - N/2)^2 ]^{V2/D_0} \right\}^{2N}} \times F(\nabla I_C)(u, v) \quad (6)$$

式中,  $G_{\text{BLPF}}(\nabla I_C)(u, v)$  代表经过 BLPF-2 处理之后获得的低频成份,它需要通过 IFFT 算法从频率域变换到空间域.最后,梯度图像在空间域内的低频成份被获得,用  $\nabla I_C^{\text{BLPF}}(x, y)$  来表示,即

$$\nabla I_C^{\text{BLPF}}(x, y) = (-1)^{x+y} I^{-1}[R[G_{\text{BLPF}}(\nabla I_C)(u, v)]] \quad (7)$$

式中,  $R(\cdot)$  代表对  $G_{\text{BLPF}}(\nabla I_C)(u, v)$  进行取实部计算.

### 3.2.4 标记的提取

新算法中,我们提出借助数学形态学中的 H minima<sup>[11]</sup> 从 3.2.3 节中获得的低频成份  $\nabla I_C^{\text{BLPF}}(x, y)$  中来提取与图像中的各个物体相关的局部极小值.它们将构成二值标记图像,用

$\nabla I_C^{\text{mark}}$  代表. H minima 通过与给定的阈值  $h_t$  进行比较,消除那些积水盆深度低于阈值  $h_t$  的局部极小值,提取出满足条件的极小值,即  $\nabla I_C^{\text{mark}} = \text{HMIN}(\nabla I_C^{\text{BLPF}} | h_t)$  (8)

其中,  $\text{HMIN}(\cdot)$  代表形态学 H minima 变换.

在图像的照度-反射模型中,图像的低频成份与高频成份是一个相对的概念,它们之间并不存在严格的界限<sup>[12]</sup>.但比较确定的是,应该首先在较大程度上滤除掉高频成份,基本得到低频成份,大部分的暗噪声被滤除.成功的标记提取将由截止频率  $D_0$  与 H minima 阈值  $h_t$  共同决定.参数  $D_0$  的选取一般小于 30,大多集中在 10~20 之间,而阈值  $h_t$  的范围一般为 2~4 之间.依靠共同调节参数  $D_0$  和阈值  $h_t$ ,从而获得合理、满意的图像分割结果.

传统应用 H minima 方法是在简化之后的图像上进行的.正如第 2 节中提到的那样,简化之后的图像仍然存在相当多伪局部极小值.在图像中的局部极小值之中,必然有一些真正

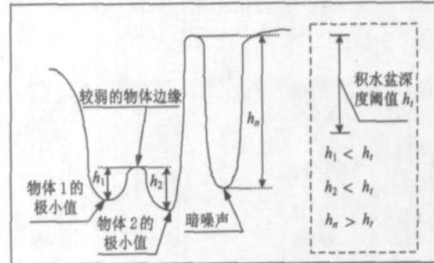


图 3 H-minima 技术应用于简化后的图像时存在的问题

的区域极小值的深度要比某些由暗噪声引起的伪区域极小值的深度浅.如果要消除那些较深的伪区域极小值,就必须采用较大的阈值  $h_t$ ,这必定导致那些深度低于这些暗噪声的真正的物体区域与周围相邻的区域相合并,破坏物体的边界.新算法在 3.2.3 节得到的低频成份中,暗噪声包括那些深度较深的暗噪声已经被均匀且有效的滤除,当 H minima 应用到图像



图 4 (a)简化之后的图像上直接进行 Watershed 分割的结果 (b)采用阈值  $h_t=3$  的 H-minima 技术后的分割情况 (c) 阈值  $h_t=4$  的分割情况;(d)H-minima 技术应用到文中提出的新算法的分割结果

$\nabla I_C^{BLF}(x, y)$  中时, 与图像中物体相关的局部极小值可以较为准确地被提取。

如图 3 所示, 用原理图来说明传统方法中, H minima 技术应用到简化后的图像时存在的问题。图 4(a) 给出了简化之后的图像上直接进行 watershed 分割的结果, 存在较严重的过分割, 图 4(b) 给出了采用 H minima 技术抑制伪局部极小值, 阈值  $h_t$  为 3 时部分减少过分割区域, 图 4(c) 中增大阈值  $h_t$  为 4 时, 仍然存在部分深度较深的伪局部极小值, 例如: lena 的肩膀、帽子、脸部、以及背景等多处仍存在不合理的过分割。而此时已经有物体的边缘开始受到破坏, 例如: 帽子的边缘已经受到破坏。

### 3.3 基于标记的 watershed 分割

数学形态学极小值标定技术<sup>[11]</sup> 被用来修改原始梯度图像  $\nabla I_C$ , 利用 3.2.4 节中提取得到的标记强制作为梯度图像

的局部极小值, 屏蔽掉原有图像中的所有局部极小值。修改后的梯度图像中, 只有对应二值标记图像  $\nabla I_C^{mark}$  中不为零的地方强制有局部极小值。修改后的梯度图像用  $\nabla I_C^{WS}$  代表, 即

$$\nabla I_C^{WS} = \text{IMMIN}(\nabla I_C | \nabla I_C^{mark}) \quad (9)$$

其中,  $\text{IMMIN}(\cdot)$  代表形态学极小值标定操作, watershed 分割算子在图像  $\nabla I_C^{WS}$  上执行, 最终计算得到理想的区域分割结果, 记作  $I^{WS}$ , 用  $\text{WTS}(\cdot)$  代表 watershed 算法的分割操作算子, 即

$$I^{WS} = \text{WTS}(\nabla I_C^{WS}) \quad (10)$$

## 4 实验结果

我们针对图像分割领域中公开的图像与视频序列进行大量实验来验证新算法的有效性。为了定量分析图像分割算法性能, 借助检全率  $P$  和准确率  $R$  度量检测算法的检测精度<sup>[7]</sup>, 为了便于分析, 将二者合并为一个参量  $F$  进行度量<sup>[7]</sup>, 由式(11)~(13)给出。利用 Berkeley 图像数据库<sup>[14]</sup> 和式(11)

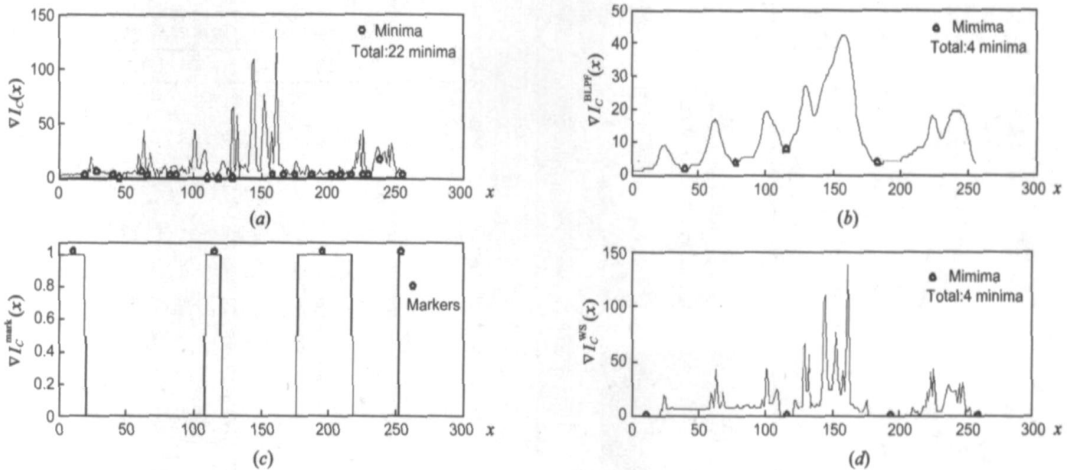


图 5 图像 lena 的一维强度图。(a) 图像  $\nabla I_C$  在 100 列的一维强度图; (b) 图像  $\nabla I_C^{BLF}$  在 100 列的一维强度图; (c) 图像  $\nabla I_C^{mark}$  在 100 列的一维强度图 ( $h_t=4$ ); (d) 图像  $\Delta I_C^{WS}$  在 100 列的一维强度图

~(13) 对算法进行性能评估, 分析计算结果表明算法精度  $F$  平均为 80%。新的图像分割方法中需要对两个参数进行调节, 它们分别是 3.2.3 节中的 BLPF-2 中的参数  $D_0$ , 与 3.2.4 节中的 H minima 的参数  $h_t$ , 如表 1 所示, 给出了这两个参数的几组实验数据。图 5 以实际图像 lena 为例, 选取该图像中第 100 列像素, 绘制实际图像在算法的各个阶段的一维强度剖面图。通过图 5, 可以了解到本文提出的图像分割算法的整个工作过程。

表 1 参数  $D_0$  和  $h_t$  的几组实验数据

图像	$D_0$	$h_t$	图像	$D_0$	$h_t$	图像	$D_0$	$h_t$
lena. bmp	15	4	modl. bmp	15	4	hall. bmp	30	4
parrots. bmp	20	4	Clair. bmp	15	8	nhz. bmp	30	2

$$P = \frac{N_{\text{Det} \cap \text{GT}}}{N_{\text{Det}}} \quad (11)$$

$$R = \frac{N_{\text{Det} \cap \text{GT}}}{N_{\text{GT}}} \quad (12)$$

$$F = \frac{PR}{\alpha R + (1 - \alpha)P} \quad (13)$$

式中,  $N_{\text{GT}}$  代表手工分割图像的实际边缘像素数目,  $N_{\text{Det}}$

代表算法全部检测到的边缘像素数目,  $N_{\text{Det} \cap \text{GT}}$  代表算法准确

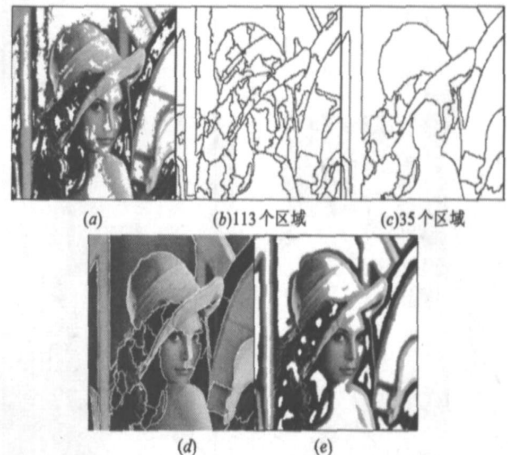


图 6 (a) 图像 lena 利用 Gao 在文献 [9] 中的标记提取方法得到的标记 (各种大小的白色区域代表提取的标记); (b) 利用 Gao 的方法得到的最终分割结果; (c) 文中提出的新算法得到的最终分割结果; (d) 文中新算法的分割结果与原始图像叠加; (e) 利用文中提出的新算法提取得到的标记 (白色区域)

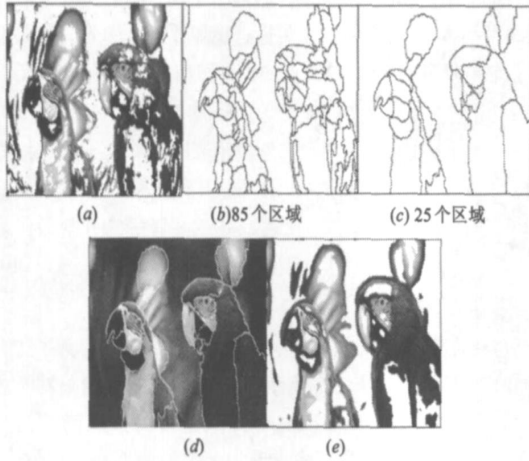


图 7 (a) 图像 parrots 利用 Gao 在文献 [9] 中的标记提取方法得到的标记; (b) 利用 Gao 的方法得到的最终分割结果; (c) 新算法的最终分割结果; (d) 新算法的分割结果与原始图像叠加; (e) 新算法提取得到的标记

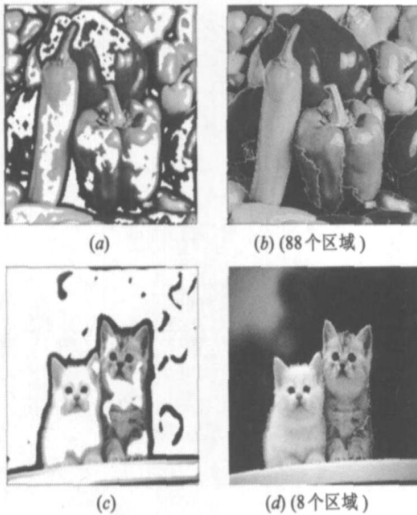


图 8 对 peppers 图像和 cats 图像利用文中提出的新算法提取得到的标记 (白色区域) 和最终的分割结果



图 9 利用文中提出的算法针对几个视频序列得到的最终分割结果

数, 这里,  $\alpha$  取值 0.5.

图 6 和图 7 以 lena 和 parrots 为例, 对我们提出的基于标记的 watershed 算法的分割结果, 与 Gao 在参考文献 [9] 中提出的提取标记的方法的分割结果, 进行比较. 从实验结果可以看出, 我们提出的方法能够得到相对较好的分割结果. 而 Gao 的标记提取的方法仍然产生较为严重的过分割结果. 另外, 该标记提取的方法由于利用了数学形态学中的面积算子, 因此比较耗时, 如表 2 所示, 给出了在奔腾 4 主频 2.0G 微机上, 并且在 Matlab 编程环境下, 两种算法运行时间比较. 我们提出的算法中, 错误的边界数量较大程度得到了减少. 从标记图像看出, 新算法可以较好地计算得到与一幅图像中各个物体相关性较大的极小值标记. 图 8 和图 9 给出了利用我们提出的分割方法对其它的典型序列与图像进行分割的结果.

表 2 相同 PC 平台和 Matlab 编程环境下两种算法的运行时间比较

图像	新算法	Gao 的算法
lena. bmp(256 × 256)	5.8750s	19.9510s
parrots. bmp(256 × 384)	8.7500s	29.7150s

## 5 结论

本文提出了一种新的基于标记的 watershed 自动分割新算法, 目的是为了降低 watershed 过分割问题. 较为准确的标记提取方法可以实现对图像的成功分割. 实验结果表明, 我们提出的新算法具有快速和较高准确性等特点, 使得它可以在图像与视频序列的自动分割中发挥作用.

致谢 本文实验中所采用的视频序列 Nhz 来源于中国科学院自动化研究所提供的数据库: CASIA Gait Databases<sup>[15]</sup>.

## 参考文献:

- [1] Yaakov T, Amir A. Automatic segmentation of moving objects in video sequences: a region labeling approach [J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(7): 597-612.
- [2] Xu Haifeng, Akmal A Y, Mansur R K. Automatic moving object extraction for content based applications [J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(6): 796-812.
- [3] Munchurl K, Jae G C, Daehee K, Hyung L, Myoung H L, Chir eteuk A, Yσ Sung H. A VOP generation tool: automatic segmentation of moving objects in image sequences based on spatial temporal information [J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 9(8): 1216-1226.
- [4] Wang Demin. Unsupervised video segmentation based on watersheds and temporal tracking [J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 1998, 8(5): 539-546.
- [5] Vincent L, Soille P. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583-598.

- [ 6 ] Haris K, Efstratiadis S N, Maglaveras N, Katsaggelos A K. Hybrid image segmentation using watersheds and fast region merging[J]. IEEE Trans on image processing, 1998, 7( 12) : 1684–1699.
- [ 7 ] O' Callaghan R J Bull D R. Combined Morphological Spectral unsupervised image segmentation[ J]. IEEE Trans on Image Processing, 2005, 14( 1) : 49– 62.
- [ 8 ] Paul R H, Canagarajah C N, David R B. Image segmentation using a texture gradient based watershed transform[ J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12( 12) : 1618– 1633.
- [ 9 ] Gao Hai, Siu War Chi, Hou Chaor Huan. Improved techniques for automatic image segmentation[ J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for video technology, 2001, 11( 12) : 1273– 1280.
- [ 10 ] Salembier P, Pardas M. Hierarchical morphological segmentation for image sequence coding[ J]. IEEE Trans on Image Processing, 1994, 3( 5) : 639– 651.
- [ 11 ] Soille P. Morphological image analysis principles and applications[ M]. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1999.
- [ 12 ] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing Second Edition[ M]. Editora: Prentice Hall, 2001.
- [ 13 ] Jr R H, Flores C F, Barrera J, Lotufo A R, Meyer F. Color image gradients for morphological segmentation[ A]. IEEE Proceeding of SIBGRAP 2000[ C]. Gramado( RS), Brazil: IEEE Computer Society Press, 2000. 316– 322.
- [ 14 ] Univ California, Berkeley, CA. The Berkeley segmentation Dataset and Benchmark[ DB/OL]. [http://www. cs. berkeley. edu/ projects/ vision/ grouping/ segbench/](http://www.cs.berkeley.edu/projects/vision/grouping/segbench/), 2003 11– 12.
- [ 15 ] [http://www. sinobiometrics. com](http://www.sinobiometrics.com)[ DB/OL]. 2005– 05.

## 作者简介:



高 丽 女, 博士, 1978 年出生, 现为中国科学院声学研究所博士研究生, 2001 年获北京理工大学学士学位, 2004 年获北京理工大学硕士学位. 主要研究方向为数字图像处理、视频分割与视频序列中运动物体的分割、多媒体芯片等.

E mail: future\_gao@hotmail. com



杨树元 研究员, 1945 年出生, 1968 年毕业于哈尔滨军事工程学院, 现为中国科学院声学研究所研究员, 博士生导师, 研究方向为模式识别、数字图像处理、大规模并行处理及 VLSI 信号处理. E mail: ysy@mail. ioa. ac. cn