相对颜色空间下梯度分层重构的分水岭分割

贾新宇¹ 江朝晖^{1,2} 魏雅鹛¹ 刘连忠¹

(安徽农业大学信息与计算机学院 合肥 230036)¹ (农业部农业物联网技术集成与应用重点实验室 合肥 230036)²

摘 要 为了改善传统分水岭算法中的过分割现象,考虑到反射亮光对图像的干扰,提出了一种相对颜色空间下的梯度分层重构的分水岭分割算法。首先将彩色图像由 RGB 空间转换到与反射亮光无关的相对颜色空间;其次结合图像信息熵获得彩色图像的梯度图像;然后根据梯度直方图的分布信息,对梯度图像进行分层重构;随后采用形态学极小值标定技术对合并后的梯度图像进行强制标定;最后对修正后的图像进行分水岭分割。对不同类型的图像进行分割实验,实验结果显示该算法相比其他 3 种典型的分水岭算法在分割区域个数、运行时间及区域间差异性指标(DIR)上的表现都较为突出。该算法更符合人眼对图像的感知,分割效果和性能较好,具有较高的鲁棒性和实用性。 关键词 图像分割,相对颜色空间,梯度分层,形态学重构,分水岭

Watershed Segmentation by Gradient Hierarchical Reconstruction under Opponent Color Space

JIA Xin-yu¹ JIANG Zhao-hui^{1,2} WEI Ya-mei¹ LIU Lian-zhong¹

(School of Information and Computer Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)1

(Key Laboratory of Technology Integration and Application in Agricultural Internet of Things, Ministry of Agriculture, Hefei 230036, China)²

Abstract In order to improve the over-segmentation in the traditional watershed algorithm, a watershed segmentation algorithm of gradient hierarchical reconstruction was proposed under opponent color space, considering the interference of reflected light on the image. Firstly, the color image is converted from RGB space to the opponent color space which has nothing to do with the reflected light. Secondly, the gradient image of the color image is obtained by combining the image information entropy. Thirdly, the gradient image is hierarchically reconstructed according to the distribution information of the gradient histogram. Then morphological minimum calibration technique is used to calibrate the combined gradient image. At last, watershed segmentation is applied to the corrected image. Experiments on different types of images were carried out. The experimental results show that the proposed algorithm is more prominent than the three classic watershed algorithms in the number of divided regions, running time and the DIR. The new algorithm is more in line with human perception of the image, the segmentation and performance are better, and it has higher robustness and practicality.

Keywords Image segmentation, Opponent color space, Gradient layered, Morphological reconstruction, Watershed

1 引言

图像分割是计算机视觉领域的核心研究内容之一,近年 来发展出了一系列经典的分割方法,如阈值分割、主动轮廓、 区域生长、聚类算法、神经网络分割方法等。基于数学形态学 和区域生长思想的分水岭变换算法凭借着分割精度高、封闭 轮廓提取效果好等优点得到了广泛运用。分水岭算法最先由 Beucher 等提出,接着 Vincent 和 Soille 于 1991 年给出了计算 方法^[1],即著名的基于浸沉技术的分水岭分割算法。

单一的分水岭算法并不能有效去除分割图像中保留的噪声和不规则区域,容易形成大量的虚假边缘,造成过分割,因此很多学者针对分水岭算法提出了改进。在使用分水岭分割

之前对图像进行滤波处理,可以增加图像的边缘信息,减少过 分割^[2-4],例如,邱瑞等^[2]提出使用偏微分去噪模型来消除噪 声对图像的干扰;王娅等^[3]提出利用同态滤波来去除噪声,平 滑细节纹理;郭伟等^[4]设计了 12 种不同形状的形态学结构元 对图像进行开闭滤波,以得到图像的主体轮廓与重要细节。 文献[4-6]对梯度图像采用形态学多尺度开闭重建,以此来消 除模糊边缘和部分极小值,提高局部分割的准确性。文献[7-8]提出了各种基于标记的分水岭算法,例如,方红萍等^[7]采用 了自适应 H-minima 技术提取标记点;Xu 等^[8]在采用自适应 H-minima提取标记点后又引入了基于准欧氏距离变换的标 记函数。根据某种属性和特征对分水岭分割后的图像进行区 域合并也是分水岭的一种改进方法^[9-10],例如,蔡强等^[9]通过

本文受国家重点研发计划(2018YFD0600100),农业部农业物联网技术集成与应用重点实验室开放基金(2016KL01)资助。

贾新宇(1995-),男,硕士生,主要研究方向为计算机应用技术、图像处理;江朝晖(1968-),男,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为农业 信息学;魏雅鹛(1974-),女,讲师,主要研究方向为图像处理;刘连忠(1968-),男,讲师,主要研究方向为机器视觉、农业图像处理,E-mail;jiangzh@ahau.edu.cn(通信作者)。

区域间近邻传播聚类对相似区域进行合并;Sun 等^[10]将灰度 值接近的极小区域合并成一个区域。

上述算法虽然可以在一定程度上减少噪声、细节等带来 的影响,但是并不能有效地解决反射亮光和阴影带来的过分 割问题。Weijer等^[11]提出了光度拟不变量,将基于导数的运 算和光度不变性理论联系起来。张桂梅等^[12]抽取不受反射 亮光和阴影影响的分量进行梯度计算,然后对修改后的梯度 图像进行分水岭变换。汪澜等^[6]在新颜色空间下计算不受反 射亮光干扰的分量梯度,在对梯度图像进行多尺度形态学开 闭重建和极小值标定后,应用分水岭算法对修正后的梯度图 像进行分割。单独引入新分量虽然能够消除反射亮光和阴影 的影响,但是会导致弱边界的部分梯度信息丢失,仍然会造成 少量的过分割。

针对上述问题,本文提出了一种在与反射亮光无关的相 对颜色空间下对梯度分层重构的分水岭分割算法。该算法首 先从彩色图像中计算与反射亮光和阴影无关的新分量,然后 对此分量的梯度图像进行分层处理,并对每一层图像进行多 尺度形态学开闭重构。在保留弱边界的同时,可以较好地去 除噪声等干扰造成的伪极小值,有效地避免了过分割现象。

2 本文算法

本文算法主要涉及3个主要步骤:颜色空间的转换、梯度 图像的计算和分层修正、标记的提取及分水岭分割。颜色空 间的转换是为了避免反射亮光和阴影等因素对图像分割造成 干扰,其将图像由 RGB 空间转换到与反射亮光无关的新空 间,并抽取其中的光度拟不变量。在图像处理过程中,由于梯 度能够反映图像灰度的变换趋势,因此常常通过对图像进行 梯度运算来实现边缘信息的获取。相比直接对原始图像进行 分割,将分水岭分割算法应用于梯度图像上时,可以得到较好 的分割结果。但是分水岭算法的结果与图像的梯度幅值有很 大的关系,梯度图像中的噪声越少,分割效果就越理想,因此 梯度图像的构建对后期分水岭的分割有着至关重要的影响。 本文算法将形态学梯度的计算与图像信息熵相结合,经处理 后得到的梯度图像可以较好地保留图像的边缘信息,但是此 时梯度图像中仍然会存在噪声等干扰造成的极小值,需要对 梯度图像进行进一步处理。因此,首先对梯度图像进行分层 修正,然后对合并后的梯度图像采用形态学极小值标定技术, 对梯度图像中的极小值的位置进行强制标定,最后将分水岭 算法运用到标定修正后的梯度图像中。本文算法的流程图如 图1所示。



3 颜色空间的转换

在计算机技术中,使用得最广泛的颜色空间是 RGB 颜色 空间,其他常用的颜色空间还有 YCbCr 模型、HSV 模型和 HSI 模型等。但是这些颜色空间下的图像都不能有效地排除 噪声、亮光、阴影等因素的干扰,一些亮度相似但颜色不同的 可视细节存在丢失的可能,这将导致严重的过分割现象,分割 效果较差。

通过颜色空间的转换,把 RGB 颜色空间转换到一个与反 射亮光或者阴影无关的新颜色空间,就可以减少反射亮光造 成的过分割现象,得到有意义的分割区域。具体的新颜色空 间的相关知识如下:

$$O_1 = \frac{\beta R - \alpha G}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \tag{1}$$

$$O_2 = \frac{\alpha \gamma R + \beta \gamma G - (\alpha^2 + \beta^2) B}{\sqrt{(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)(\alpha^2 + \beta^2)}}$$
(2)

$$O_3 = \frac{\alpha R + \beta G + \gamma B}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}}$$
(3)

如果给定一个光源,式(1)-式(3)中的 α , β , γ 表示彩色表面的反射比^[13],通常在实验中都设置为1。新颜色空间中有 O_1 , O_2 , O_3 这3个彩色分量,其中 O_3 是与反射亮光相关的分量,它们的关系如下:

$$O_{3x} = |O_{3x}| = \frac{R_x + G_x + B_x}{\sqrt{3}} \tag{4}$$

4 梯度图像的计算和重构

4.1 形态学梯度的计算

总的来说,图像梯度一般可通过函数求导、中值差分、线 性滤波以及形态学方法来获取。本文通过形态学方法来获取 图像梯度,相比通过线性空间滤波模板求取梯度,形态学梯度 使图像灰度级的跃变更为急剧,可以较明显地突出图像的边 缘轮廓。具体的形态学梯度的计算过程如下。

形态学梯度的计算公式为:

 $Grad(I) = \delta(I, B_r) - \xi(I, B_r)$ (5)

其中, $\delta(I,B_r)$, $\xi(I,B_r)$ 是形态学中的膨胀操作和腐蚀操作。 B_r 表示尺寸为r的圆形结构元素,I为输入的图像信号。

膨胀和腐蚀的计算公式分别如式(6)和式(7)所示:

$$\boldsymbol{\xi}_r(I(x)) = \min\{I(x+y), y \in B_r\}$$
(6)

$$\delta_r(I(x)) = \max\{I(x-y), y \in B_r\}$$
(7)

对 O₁ 和 O₂ 两个与反射亮光无关的分量进行形态学梯 度运算后,如果选取两个分量梯度的最大值来合成一个梯度 图,则会显得过于片面,不够准确。图像熵描述了图像信源的 平均信息量,可以较好地保存图像的边缘信息。因此,本文提 出引入图像信息熵^[14]来获取图像的梯度。

图像信息熵的定义如下:

$$H_{j} = -\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} p_{i,j} \ln p_{i,j}$$
(8)

$$p_{i,j} = f(i,j) / \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} f(i,j)$$
(9)

计算两个分量的信息熵,并求出各个分量所占的比例 a 和 b,进而得出彩色图像的梯度图。

$$a = \frac{H_{f(O_1)}}{H_{f(O_1)} + H_{f(O_2)}} \tag{10}$$

$$b = \frac{H_{f(O_2)}}{H_{f(O_1)} + H_{f(O_2)}} \tag{11}$$

(12)

4.2 梯度图像的分层重构

若对式(12)得到的梯度图像直接进行分水岭分割,分割 结果仍然会出现严重的过分割现象,因此需要对获得的梯度 图像进行修正。形态学开闭重构^[15]是在形态学测地膨胀和 腐蚀的基础上发展而来的,可以较好地去除梯度图像中存在 的局部极小值。形态学开重构 *O^{rec}*(*G*,*g*)和形态学闭重构 *E^{rec}*(*G*,*g*)的定义如下:

$$\int O^{nc}(G,g) = O^{i}_{B}(G \circ B,g)$$
(13)

$$\sum E^{rec}(G,g) = E^i_B(G \bullet B,g)$$

其中,•和·表示形态学开运算和闭运算。建立在开运算和闭运算重构基础上的先开后闭的开闭重构运算为:

$$OE^{rec}(G,g) = E_B^i((O_B^i(G \circ B,g)) \bullet B,g)$$
(14)

然而,形态学开闭重构和形态学梯度的运算一样,结构元 素尺寸的选取对开闭重构运算的影响较大。在梯度图像中, 高梯度值对应的区域往往是目标区域的轮廓,而低梯度区域 大多对应着噪声干扰或者非规则细节波动。

为保证图像较为理想的分割效果,对同一个梯度图像的 不同区域不宜采用固定的尺寸结构元素进行形态学开闭重 构。对于高梯度值区域,采取直径较小的具有各向同性的圆 形结构进行小幅度修正;而对于低梯度值区域,采用直径较大 的圆形结构对噪声等干扰进行消除。这样对梯度图像进行分 层重构后,既可以尽可能地保留图像中目标区域的轮廓,也可 以较好地消除噪声等干扰。具体计算过程如下:

1)计算梯度图像中不同梯度值的频数,做出梯度图像直 方图 H(i)。

2)由于直方图包络线很不稳定,小波动比较频繁,需要对 梯度直方图进行平滑拟合。

3)寻找梯度直方图中的波峰值。本文计算拟合后的梯度 直方图的峰值的步骤如下:

步骤1 寻找初始峰值:

 $P_0 = \{i, H(i) \mid H(i) \ge H(i-1) \text{ and } H(i) \ge H(i+1)\}$ 其中, P_0 是初始波峰值的集合。

步骤 2 去除相邻峰值。若峰值集合中有两个峰值相近,则去除较小的一个峰值。

步骤 3 去除较小的峰值。当峰值小于一定的阈值时, 去除该峰值。

4)确定分层数,并对分层的梯度图进行分层重构,层级 m 按照梯度由低到高的升幂分层,对应的结构元素也采用大小 递减的方式。

5)对修正后的各层图像进行合并,得到重构后的梯度图像GH。

需要注意的是,对梯度图像进行分层重构时,梯度图像重 构的效果与结构元素的尺寸有着密切的联系。如果尺寸过 大,则会出现太厚的图像边缘,否则不能有效消除噪声等干扰 带来的伪极小值。这里采用多尺度对分层的梯度图像进行重 构^[16],定义如下:

$$Grad_n = \sum_{i=r}^{max} \rho_i r Grad_i$$
 (15)

其中,r为结构元素的半径,r_{max}代表结构元素的最大半径, r_{min}代表结构元素的最小半径,ρ_i代表权值,rGrad_i代表不同 分量、尺寸和层级的形态学梯度。

5 基于标记的分水岭分割

5.1 标记提取

对梯度图像进行分层形态学开闭重构后,尽管消除了梯 度图像中的大部分噪声,但是梯度图像中仍然存在无法被消 除的伪极小值点,从而造成过分割。因此,在进行分水岭分割 之前,对感兴趣的目标的极小值点进行标记提取变得至关重 要。本文采用的是数学形态学中的 H-minima 技术^[17-18],其 基本原理是设置给定的阈值 T,消除积水盆地深度低于阈值 T 的局部极小值。

 $\hat{N} = HMIN(GH|T) \tag{16}$

实际处理中,阈值 T 的设定对标记的提取至关重要。若 阈值的取值过大,则会导致图像的部分弱边缘信息丢失;而若 阈值设置得过小,将不能屏蔽强纹理噪声。不仅如此,很难保 证同一个阈值参数 T 适用于所有的图像,这就会导致同一个 阈值参数下不同图像的分割结果千差万别。因此本文采用迭 代法求取阈值,具体思路如下:

1)求解图像的最大灰度值和最小灰度值,分别记为 Y_{max} 和 Y_{min} ,令初始阈值 T_0 为:

 $T_0 = (Y_{\rm max} + Y_{\rm min})/2$

2)根据阈值 T_k 将图像分割为前景和背景,分别求解两 者的平均灰度值 Y_0 和 Y_b ;

3) 求解新阈值 T_{k+1}为:

 $T_{k+1} = (Y_0 + Y_b)/2$

4)若 $T_k = T_{k+1}$,则所得即为阈值;否则转到步骤 2)进行 迭代计算。

5.2 分水岭分割

对梯度图像进行标记提取后,采用极小值标定技术^[10]对 梯度图像进行修正,屏蔽其中所有的局部极小值,并将 3.2 节 中提取到的标记图像作为梯度图像的局部极小值。修正后的 梯度图像用 G_m 表示,计算式为:

$$G_m = imim\,posemin(GH, N) \tag{17}$$

其中, imim posemin 代表形态学极小值标定运算。

经过梯度分层重构和极小值标定后,梯度图像在去除了 大部分的纹理噪声的同时,还很好地保留了图像中的弱边缘 信息。在修正后的梯度图像上应用分水岭分割算法,可以获 得比较理想的实验结果。具体过程如下:

$G_L = W(G_m)$	(18)

其中,W代表分水岭变换。

6 实验与结果

本文首先选用图像分割领域较为经典的 Lena 图像进行 仿真实验,此处选用的图像大小为 478×477 像素,得到的效 果如图 2 所示。图 2(b)是在原始图像转换颜色空间后,选用 圆盘结构元的半径 R=5 下得到的最大梯度图(实验中 R 均 设置为 5),图 2(c)是对分层重构后的梯度图像运用迭代法获 取阈值后得到的标记图像。图 2(e)是使用本文算法得到的 较为理想的分割效果。本文将梯度图像分为两层,分别对两 层梯度图像进行分层修正。对于第一层,在进行形态学开闭 重构时,运用了多尺度圆形形态学结构元素进行重构, $r_{max} =$ 13, $r_{min} = 11$ 。对于第二层, $r_{max} = 11$, $r_{min} = 9$ 。此处通过迭代 法获取的阈值为 0.1216。







(e)本文算法得到的分割结果

(d)灰度图像得到的分水线

图 2 Lena 图像的实验结果

实验中,梯度图像的计算对后续分割的结果至关重要。 上文介绍了不同的梯度计算方法,以Lena彩色图像为例, 图 3 表明了不同方法计算梯度的结果。





图 3 不同梯度计算方法的实验结果

如图 3(c)所示,使用线性滤波获得实验所需的梯度图像 时,原始图像中的纹理细节和噪声并未得到有效的消除,这会 严重影响接下来的分水岭分割,存在较多的伪极小值,导致严 重的过分割现象。相比通过滤波计算梯度,使用形态学梯度 可以保留图像中梯度较大的部分(见图 3(a)和图 3(b)),突出

高亮区域的外围,使得物体的边缘轮廓较好地保留下来。而 本文算法在求得形态学梯度后引入了图像信息熵,相比直接 使用形态学方法计算梯度,得到的梯度图像边缘更细,噪声干 扰也相对较小,为下面减少噪声的影响提供了一个好的基础。

在获取梯度图像后,对梯度图像进行分层重构是本文算 法的关键步骤。图4给出了 Lena 彩色图像的梯度直方图和 拟合后的梯度直方图。



图 4 Lena 图像的梯度直方图

由图 4(a)可以看出,Lena 图像的原始梯度直方图的包络 线并稳定,会出现较多的小波动,如果在此基础上获得波峰 值,则会造成较大的误差,导致分割结果较差。图 4(b)是经 过拟合后的梯度直方图,此时已经去除了小波动,直方图整体 上较为平滑。在拟合后的直方图中,低梯度区域大多对应着 噪声干扰或者是非规则细节波动。选取低梯度区域内梯度直 方图中的波峰值作为分层标准可以较好地将目标区域的轮廓 与噪声干扰区域区分出来。

为了验证算法的有效性,本文选取了其他3组不同特点 的图像作为实验测试图像,分别为 Parrot(512×512 像素)、 Grape(337×506 像素)、Flowers(610×674 像素)。对这 3 组 图像进行分割处理,并将分割结果与文献[6]中的基于新颜色 空间的改进标记分水岭分割算法、文献[14]中的在 RGB 空间 中的基于形态学梯度的分水岭分割算法和文献[20]中的对图 像低频成分的基于标记阈值的分水岭分割算法进行比较,分 割效果如图5所示。



从分割效果看,对于存在较多细节的 Lena 图像和具有反 射亮光影响的 Grape 图像,文献「14,20]提出的算法因为利用 RGB 空间模型对获得的梯度图像进行分水岭分割,分割结果 会受到反射亮光的干扰,在Lena的肩膀处产生了过分割现 象,Grape图像中具有白色小块反射亮光的位置也出现了过 分割现象。除此之外,在Lena 图像中Lena 的头发处也出现 了没有意义的分割区域。文献[6]中的算法由于采用了新颜 色空间,有效避免了 Lena 肩膀处反射亮光的影响,但是在 Lena 的帽子边缘及额头部位的信息出现了丢失,与此同时 Lena 的头发部分也丢失了部分信息。对于 Parrot 图像,文献 [6]和文献[14]中的算法的所得结果在 Parrot 的头部都有部 分信息缺失,文献[14]中的算法分割的图像在 Parrot 的尖嘴 部分也存在丢失现象,文献[20]中的算法分割的图像在 Parrot 的脖颈部以及翅膀部均存在严重的过分割现象。对于 Flowers图像,可以很直观地看出,文献[6]和文献[14]中的算 法的分割结果存在明显的过分割现象。相比来说,本文算法 在有效消除反射亮光的干扰的同时,由于采用了分层修正,能 够在分割出整体轮廓的同时还保留大部分的弱边界,分割结 果与其他两种算法相比较为理想。

经典的分水岭算法的最大缺点就是过分割现象严重,在 对分水岭算法进行改进的过程中,抑制过分割的同时也极容 易造成弱边界的丢失。为了客观评价不同分割方法的性能, 实验采用了无监督评价方法,引入了灰度图像的区域间差异 性指标 DIR,即:

$$DIR = \frac{1}{C_m^2} \frac{\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=j+1}^{m} |f(R_i) - f(R_J)|}{(\max_{I \in I} f_i - \min_{j \in I} f_i)}$$
(19)

其中,m为区域个数,f_i为像素 i 的灰度值,f(R_i)为区域平均 灰度。对于分割后的灰度图像,按照分割区域进行评价,DIR 值越大,相邻区域间的差异性越大,分割性能就越好,也越符 合人眼对图像的感知。

为了定量比较,表1列出了本文算法和文献[6]、文献 [14]和文献[20]中的算法的分割区域个数、运行时间和区域 间差异性指标等数据,同时也列出了梯度分层重构时的实际 分层数。

表1 实验数据记录与结果比较

图像	文献[6]中的算法		文献[14]中的算法		文献[20]中的算法		本文算法						
	区域数	时间/s	DIR	区域数	时间/s	DIR	区域数	时间/s	DIR	分层数	区域数	时间/s	DIR
Lena	26	1.003947	0.0192	30	1.154500	0.0171	42	1.097448	0.0160	2	25	0.843502	0.0199
Parrot	11	0.932394	0.1181	13	1.028271	0.1024	24	1.073738	0.0577	1	12	0.709622	0.1094
Grape	27	1.017556	0.0149	30	1.086962	0.0139	35	1.024866	0.0120	2	24	0.859772	0.0160
Flowers	18	1.066471	0.0406	23	1.163301	0.0311	22	1.083909	0.0401	2	18	0.830220	0.0441

本文选用分割结果的区域个数、运行时间和区域间差异 性指标(DIR)来衡量算法的分割性能^[4,6,20]。实验环境为:PC 机,Intel i5-4590 处理器,主频 3.30 GHz,8.00 GB 内存,编程 软件为 MATLAB R 2016b。从表 1 可以看出,本文算法在分 割区域数上远小于文献[14]和文献[20]的算法,与文献[6]相 比,本文算法也更具优势。虽然文献[6]中的算法减少了过分 割现象,但存在未完全分割的区域。从算法评价指标 DIR 可 知,本文算法分割出的图像较其他 3 种算法区域间差异较大, 分割效果较好,其中针对 Parrot 图像文献[6]中的算法的指 标略高于本文算法,但在脖颈处存在明显的过分割现象。从 算法时效性来看,本文算法在运行时间上均优于其他 3 种算 法。因此,从总体来看,本文算法相比其他 3 种算法具有较高 的性能和效率。

结束语 针对现有的分水岭算法存在的过分割问题,本 文结合相对颜色空间提出了对梯度图像分层重构的分水岭分 割算法。该算法为了减小反射亮光的影响,首先进行了颜色 空间的转换,接着根据梯度直方图将梯度图像进行分层修正 重构,然后采用形态学极小值技术对合并后的分层梯度图像 进行标记,最后进行分水岭分割。实验结果表明,本文提出的 算法在分割区域数上明显优于对比算法,在消耗时间上也具 有一定优势。新算法更符合人眼对图像的感知,具有较高的 鲁棒性和实用性,在计算机视觉、生物医学图像分割等领域有 较广阔的应用前景。今后工作的研究重点将是自适应地设置 重建结构元的参数和进一步提高运行效率。

参考文献

[1] VINCENT L, SOILLE P. Watersheds in digital spaces: an effi-

cient algorithm based on immersion simulations [J]. IEEE Trans. Patt. Anal. & Machine. Intell, 1991,13(6);583-598.

- [2] 邱瑞,祝日星,许宏科.基于改进分水岭算法的图像分割算法[J].吉林大学学报(理学版),2017,55(3):629-634.
- [3] 王娅,周海林,叶建兵,等.梯度分层重构的彩色图像分水岭分割 [J].中国图象图形学报,2017,22(6):807-814.
- [4] 郭伟,李喜军,文添艺.融合多结构滤波和多尺度重建的分水岭 算法[J].计算机工程与应用,2015,51(14):151-157.
- [5] 刘岳,王小鹏,王金全,等.基于形态学重建和梯度分层修正的分 水岭脑肿瘤分割[J].计算机应用研究,2015,32(8):2487-2491.
- [6] 汪澜,张慧,张海涛.结合新颜色空间与Otsu的分水岭彩色图像 分割算法[J].计算机应用研究,2017,34(12):3873-3879.
- [7] 方红萍,方康玲,刘新海. 自适应 H-minima 的改进分水岭堆叠 细胞分割方法[J]. 计算机应用研究,2016,33(5):1587-1590.
- [8] XU L,LU H,ZHANG M. Automatic segmentation of clustered quantum dots based on improved watershed transformation[J]. Digital Signal Processing, 2014, 34(1):108-115.
- [9] 蔡强,刘亚奇,曹健,等.一种基于自适应标记与区域间近邻传播 聚类的分水岭图像分割算法[J].电子学报,2017,45(8):1911-1918.
- [10] SUN H J. Watershed image segmentation algorithm base on particle swarm and region growing [C] // International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things. IEEE, 2015:51-54.
- [11] WEIJER J, GEVERS T. Edge and corner detection by photometric quasi-invariants[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(4):625-630.
- [12] 张桂梅,周明明,马珂. 基于彩色模型的重构标记分水岭分割算 法[J]. 中国图象图形学报,2012,17(5):641-647.

- [13] WEIJER J, GEVERS T. Boosting color saliency in image feature [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(1):150-156.
- [14] 徐天芝,张贵仓,贾园.基于形态学梯度的分水岭彩色图像分割 [J].计算机工程与应用,2016,52(11):200-203,208.
- [15] NITHYA A,KAYALVIZHI R. Medical Image Segmentation using Modified Morphological Reconstruction[J]. International Journal of Computer Applications, 2014,86(2):20-26.
- [16] 黄展鹏,张琦,赵洁. 基于自适应标记分水岭算法的肝脏 CT 图

(上接第 211 页)

由表1可以看出,当寻找第一类样本噪点的次数小于10 时,可选用普通的冒泡算法,大于10次可使用改良后的冒泡 算法,即分治算法遍历。但一般我们无法预知样本噪点情况, 所以在样本点不多的情况下使用第一种或第二种均可。表2 为自适应分层去噪算法与传统差值算法及传统分段拟合算法 的数据对比,可知此类算法能有效保留数据点且恢复被测物 体数据。

数据点类别	长方体障碍物	圆柱体障碍物	锥体障碍物
分层聚类去噪算法总数据数	103	103	103
传统差值去噪算法总数据数	103	103	103
传统分段拟合算法总数据数	103	103	103
分层聚类去噪后数据点数	103	103	103
传统差值去噪后数据点数	102	99	101
传统分段拟合去噪后数据点数	103	103	103
分层聚类去除噪点数	12	15	6
传统差值去除噪点数	5	7	4
传统分段拟合去除噪点数	14	20	16
分层聚类去噪后方差值	0.83	0.61	0.57
传统差值去除噪后方差值	2.76	0.85	0.72
传统分段拟合去除后方差值	1.21	1.03	0.22

表 2 去噪算法效果对比统计

结束语 激光扫描等传感器获得的大量数据,除了正常 数据点外,还包含了本文所述的个别奇异点以及大量误差点, 这些噪点分布的位置不同且特点也不同,因此采用了自适应 分层聚类去噪算法。由实验结果可知,该算法可准确去除噪 点并还原监测物体位置。与分部拟合算法相比,其细化了阈 值的设定并且在拟合前滤除了奇异点等大噪声点的干扰;与 差值去噪算法相比,其考虑了噪点集中出现等问题且可由后 一层的去噪弥补多去除的正常点和少去除的噪声点。最后做 了算法量化比较,使得该算法在成功还原数据的同时极大降 低了计算量。

后续应进一步对自适应改变阈值的方法加以讨论和优 化,并且需进一步开发人机交互界面,使得在一次输入传感器 规格数值后,通过读取捕获数据完成自动化去噪、传输等后续 操作。

参考文献

- [1] 潘爱华.贯彻落实《中国制造 2025》纲要精神以信息化智能化促进危化品行业安全发展[J].中国石油和化工经济分析,2016,1
 (1):5-7.
- [2] 裘静.探讨港口危险品的仓储安全管理问题思考[J].中国金属 通报,2016(6):61-62.

像自动分割[J].北京生物医学工程,2017,36(4):378-382.

- [17] 汪梅,李琳,汪斌,等.分水岭算法应用于主动轮廓模型能量分割 算法的研究[J].计算机科学,2017,44(5):314-319.
- [18] 缪慧司,梁光明,刘任任,等.结合距离变换与边缘梯度的分水岭 血细胞分割[J].中国图象图形学报,2016,21(2):192-198.
- [19] 余烨,李冰飞,张小魏,等. 面向 RGBD 图像的标记分水岭分割 [J]. 中国图象图形学报,2016,21(2):145-154.
- [20] 张海涛,李雅男.阈值标记的分水岭彩色图像分割[J].中国图象 图形学报,2015,20(12):1602-1611.
- [3] 师立晨,王如君,多英全.我国危险化学品重大危险源安全监管 存在问题及建议[J].中国安全生产科学技术,2014,30(12): 161-166.
- [4] 天津港"8・12"特別重大火灾爆炸事故调查报告公布[J]. 消防 界(电子版),2016(2):35-40.
- [5] 中国安科院参与的国家 863 重点课题"危化品生产储存使用安 全监测系统开发及应用示范"试点项目开始现场施工工作.中国 安全生产科学技术[J].中国安全生产科学技术,2008,15(8): 94.
- [6] 刘学君,江帆,戴波,等.基于激光测距仪的危化品仓库堆垛安全 距离的网格化监测方案[C]//中国自动化大会.2015:21-50.
- [7] 刘学君,江帆,戴波,等.基于 ARM 的危化品仓库堆垛安全距离
 监测装置的研究与开发[J].制造业自动化,2016,38(4):11-14,
 25.
- [8] 刘学君,江帆,戴波,等. 危化品仓库堆垛安全距离的精确扫描定 位监控算法的研究[J]. 计算机测量与控制,2016,24(11):73-76.
- [9] 戴波,吕昕,刘学君,等.基于改进的超宽带危化品仓储堆垛定位 技术[J].上海交通大学学报,2016,50(6):963-967.
- [10] 戴波,吕昕,刘学君,等. 基于 UWB 四参考点矢量补偿的危化品 仓储堆垛货物定位方法[J]. 化工学报,2016,67(3):871-877.
- [11] 戴波,李志超,刘学君,等.基于泰森多边形的 UWB 危化品堆垛 仓储货物定位技术[J]. 化工学报,2016,67(3):878-884.
- [12] 韦航,卢必松,陆斌.物证检验照相中噪点的产生原因及解决方 案[J].职业圈,2007,15(1):144-145.
- [14] 张宏伟,赖百炼. 三维激光扫描技术特点及其应用前景[J]. 测绘 通报,2012,10(10):320-322,337.
- [15] 周军,朱博楠,杨圣强,等.基于动态差值法的直流系统绝缘监测 技术[J].电工技术学报,2015,30(1):235-241.
- [16] 邓文君, 叶景杨, 张铁. 面向机器人磨抛的激光点云获取及去噪 算法[J]. 光学学报, 2016, 17(30): 180-188.
- [17] 李明磊,李广云,宗文鹏.激光扫描点云准确快速去噪方法[J]. 测绘通报,2015,25(12):27-29.
- [18] 陈晓曦,王延杰,刘恋.小波阈值去噪法的深入研究[J]. 激光与 红外,2012,20(1):105-110.
- [19] 徐鹏,惠振阳. 基于 MATLAB 实现点云噪声剔除算法研究[C]// 贵州省岩石力学与工程学会学术年会. 2014.
- [20] 蔺素珍,韩泽.基于深度堆叠卷积神经网络的图像融合[J].计算 机学报,2017,15(11):2506-2518.
- [21] 田垅,刘宗田.最小二乘法分段直线拟合[J].计算机科学,2012, 15(6):482-484.