

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **5**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年5月 第17卷 第5期(总第193期)

目次

综述

- 中国图像工程:2011 章毓晋(603)
- 植物叶片表面质感建模与真实感绘制研究进展 田原,赵春江,陆声链,郭新宇(613)

图像处理和编码

- 高位有效位概率算术解码的图像密写改进算法 马丽红,吕先明,高小满(621)
- 滑动平均和改进权重函数的快速非局部平均图像去噪算法 熊波,尹周平(628)
- 提升小波的同态滤波在图像烟雾弱化中的应用 范有臣,李迎春,韩意,张来线(635)

图像分析和识别

- 基于彩色模型的重构标记分水岭分割算法 张桂梅,周明明,马珂(641)
- 均衡化特征匹配的非刚体细胞形态跟踪 陈莹,艾春璐(648)
- 图像斑状特征位置与尺寸的自动检测 王志衡,刘红敏(656)
- 改进极化白化滤波的边缘检测 邓少平,张继贤,李平湘,黄国满(665)
- 联合特征在行人检测中的应用 杨阳,杨静宇(671)
- Gabor 相位特征的人脸光照不变量提取 范春年,张福炎(676)

图像理解和计算机视觉

- 保持几何特征的自适应弹性二次曲线模型 蒋建国,郝世杰,郭艳蓉,詹曙,李鸿(682)
- 局部颜色映射的彩色夜视算法 钱小燕,张天慈,王帮峰,黄圣国(689)
- 结合分支定界法和线性规划的摄像机位姿估计 马文娟(694)

金字塔评分改进主方向模板匹配的实时目标检索 洪朝群,朱建科,李娜,卜佳俊,陈纯(700)

计算机图形学

类曲率在曲线相似性判定中的应用 于昊,赵乃良,陈小雕(707)

虚拟现实与增强现实

人机系统中视域评估的可视化 李倩,吉晓民,林文周(715)

遥感图像处理

小波方向子带偏微分方程遥感图像去噪 王相海,李放,王爽(721)

遥感图像理想均衡化及图像质量定量评价 孟天佑,汪云甲(729)

地理信息技术

点要素扇形缓冲区的设计与应用 侯景伟,孔云峰,张迪,吕可文(740)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996年创刊)

第17卷 第5期

2012年5月16日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
 中国图象图形学学会
 北京应用物理与计算数学研究所
主 编 李小文
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会
 北京9718信箱 邮编 100101
 电子信箱:jig@irsa.ac.cn
 电话:010-68407995 010-82614429
 网 址:www.cjig.cn
印刷装订 北京北林印刷厂
广告经营许可证 京朝工商广字第0346号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
 (中国国际书店)
 (北京399信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
 CAS China Society of Image and Graphics
 Institute of Applied Physics and Computational
 Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
 of Journal of Image and Graphics
 (P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
 E-mail:jig@irsa.ac.cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
 and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
 (P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 5 May 2012

Contents

Review

- Image engineering in China: 2011 Zhang Yujin (603)
- Advances in appearance modeling and photorealistic rendering of plant leaves
..... Tian Yuan, Zhao Chunjiang, Lu Shenglian, Guo Xinyu (613)

Image Processing and Coding

- Most significant bits probability arithmetic decoding for improved image steganography
..... Ma Lihong, Lv Xianming, Gao Xiaoman (621)
- Fast non-local means for image de-noising on moving average and modified weight function Xiong Bo, Yin Zhouping (628)
- Weakening of smoke for homomorphic filtering Fan Youchen, Li Yingchun, Han Yi, Zhang Laixian (635)

Image Analysis and Recognition

- Image segmentation algorithm for reconstruction labeling watershed in color space Zhang Guimei, Zhou Mingming, Ma Ke (641)
- Non-rigid cell contour tracking method for balanced feature matching Chen Ying, Ai Chunlu (648)
- Automatically detecting position and size of blob features in images Wang Zhiheng, Liu Hongmin (656)
- Improved polarimetric whitening filter for edge detection Deng Shaoping, Zhang Jixian, Li Pingxiang, Huang Guoman (665)
- Pedestrian detection based on compound feature Yang Yang, Yang Jingyu (671)
- Illumination invariant extraction on Gabor phase Fan Chunnian, Zhang Fuyan (676)

Image Understanding and Computer Vision

- Adaptive geometrical-feature-preserving elastic quadratic wire model
..... Jiang Jianguo, Hao Shijie, Guo Yanrong, Zhan Shu, Li Hong (682)
- Color night vision algorithm based on local color mapping ... Qian Xiaoyan, Zhang Tianci, Wang Bangfeng, Huang Shengguo (689)
- Camera pose estimation using branch and bound method with linear programming Ma Wenjuan (694)
- Real-time object retrieval with dominant orientation template matching improved by pyramid scoring
..... Hong Chaoqun, Zhu Jianke, Li Na, Bu Jiajun, Chen Chun (700)

Computer Graphics

- Quasi-curvature and its application in similarity measurement of curves
..... Yu Hao, Zhao Nailiang, Chen Xiaodiao (707)

Virtual Reality and Augmented Reality

- Visualization of the visual range assessment in man-machine system Li Qian, Ji Xiaomin, Lin Wenzhou (715)

Remote Sensing Image Processing

- Remote sensing image de-noising on partial differential equation in wavelet directional subband
..... Wang Xianghai, Li Fang, Wang Shuang (721)
- Ideal equalization of remote sensing images and quantitative assessment of image quality Meng Tianyou, Wang Yunjia (729)

Geoinformatics

- Design and applications of sector buffers for point feature
..... Hou Jingwei, Kong Yunfeng, Zhang Di, Lv Kewen (740)

中图法分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)05-0641-07

论文引用格式: 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

基于彩色模型的重构标记分水岭分割算法

张桂梅, 周明明, 马珂

南昌航空大学无损检测技术教育部重点实验室, 南昌 330063

摘要: 分水岭算法是一种适用于图像分割的强有力的形态学工具,但传统的分水岭算法存在严重的过分割现象,并且实际图像容易受到反射亮光和阴影的影响。针对该问题提出一种新的彩色空间重构标记分水岭分割算法。该算法首先将 RGB 彩色图像转换到新的彩色空间中,抽取不受反射亮光和阴影影响的分量进行梯度计算;然后利用形态学开闭重构提取感兴趣目标构成二值标记图像,利用标记图像修改梯度图;最后在修改的梯度图上进行分水岭变换。新算法不仅可以抑制由于纹理细节和噪声引起的过分割,还可以有效地抑制由于反射亮光和阴影产生的过分割,同时由于该分割算法是在原始梯度图上而非滤波简化的图像上进行的,因此物体的边缘信息也得以最大程度的保留。理论分析和实验结果表明了该算法的有效性。

关键词: 图像分割;反射亮光;阴影;彩色空间;重构标记;分水岭

Image segmentation algorithm for reconstruction labeling watershed in color space

Zhang Guimei, Zhou Mingming, Ma Ke

Key Laboratory of Nondestructive Testing, Nanchang Hangkong University, Ministry of Education, Nanchang 330063, China

Abstract: The watershed algorithm is a powerful morphological tool for image segmentation, but the traditional watershed algorithm causes serious over-segmentation if the actual image is affected by specularities and shadows. To solve these problems, a new image segmentation, based on reconstruction labeling watershed algorithm in color space, is proposed. First, the RGB color image is converted to a new color space image. The directions that are not influenced by specularities and shadows are extracted to calculate their gradients. Then, object regions are extracted by using the morphological opening and closing to compose a binary marked image, and the gradient image is introduced to substitute the marked image. Finally, the watershed transformation is employed to the modified gradient image. The new algorithm cannot only overcome over-segmentation, which is produced by texture details and noise, but also can suppress over-segmentation caused by specularities and shadows. Moreover, the segmentation algorithm is executed on a primitive gradient image instead of filtering and simplified image, so the object's edge information is retained greatly. Theory analysis and experimental results have shown the segmentation algorithm is effective.

Key words: image segmentation; specularities; shadows; color space; reconstruction labeling; watershed

收稿日期:2011-06-14;修回日期:2011-11-10

基金项目:国家自然科学基金项目(61063030);江西省自然科学基金项目(2010GZS0168);江西省科技支撑计划项目(2009BGA00800);江西省教育厅科技项目(GJJ11512)

第一作者简介:张桂梅(1970—),女,教授,2006年于西北工业大学获计算机视觉专业博士学位,主要研究方向为图形图像处理与模式识别。E-mail: guimei.zh@163.com

0 引言

图像分割是图像分析与模式识别的首要问题,也是图像处理的经典难题之一,并且分割结果决定图像的最终分析质量和模式识别的判别结果。其中,基于分水岭变换的图像分割方法具有独特的区域边缘定位和封闭轮廓提取能力,因而在图像分割中得到广泛应用,如分水岭应用于遥感图像分割^[1-2]。但是直接运用分水岭算法进行分割,会存在比较严重的过分割问题。如何克服过分割一直是研究的热点。克服过分割的方法一般可以分为两种:一种是在使用分水岭算法之前,先对图像进行标记,从而有效的抑制噪声引起的过分割现象;另外一种是在使用分水岭算法之后,通过一定的合并准则将小区域合并到相邻区域中,但该方法计算量大,时耗长。

Vincent^[3]于1991年提出著名的基于浸沉技术的水分岭分割算法,成为许多后来改进的水分岭算法的一个很好的基础。近些年许多文献提出了一些改进办法^[4-12]。文献[4]采用多尺度形态梯度算法增强模糊边缘,虽然过分割有所改善,但仍存在许多虚假轮廓;文献[5]采用 Butterworth 低通滤波抽取图像低频成分进行标记分水岭分割,但是光照引起的过分割比较明显;文献[7]利用边缘信息对梯度图进行强化和修正,但调整填充阈值会导致物体轮廓的丢失。这些算法在一定程度上可以解决过分割问题,如细节和噪声引起的过分割,但是,如果图像中存在反射亮光和阴影,这些算法均不能从根本上解决,而反射亮光和阴影又是现实图像中常有的现象。此外,许多基于分水岭分割的算法处理的是灰度图,而彩色图转换为灰度图像时将会有10%左右的图像信息丢失(如一些亮度相似但颜色不同的可视细节可能会丢失)。

针对这些问题,本文提出一种适合于彩色图像的重构标记分水岭分割算法。该算法首先将RGB彩色图像转换到新的彩色空间中,抽取不受反射亮光和阴影影响的分量进行形态学梯度运算,能够有效克服由于反射亮光和阴影影响造成的过分割问题;其次,该分割方法在梯度运算前没有进行图像的简化滤波处理,从而不会产生传统的图像简化与保护物体边缘信息之间的矛盾,即该算法最大程度地保留了物体的边缘信息;再次,

采用形态学开闭重构进行标记,消除梯度图像中明、暗细节,减少和消除了因细节和噪声干扰造成的分水岭位置偏移和因局部极小值过多造成的分水岭过分割现象;最后,用重构的标记结果修改梯度图,在修改后的梯度图上进行分水岭分割,最终获得理想的分割结果。

1 本文分割算法

本文的算法思想和步骤如下:首先将RGB彩色图像转换到新的颜色空间,抽取不受反射亮光和阴影影响的分量进行梯度计算;其次利用形态学开闭重构提取感兴趣目标构成二值标记图像;再次用提取的标记修改梯度图;最后在修改的梯度图上进行分水岭分割。算法的流程如图1所示。

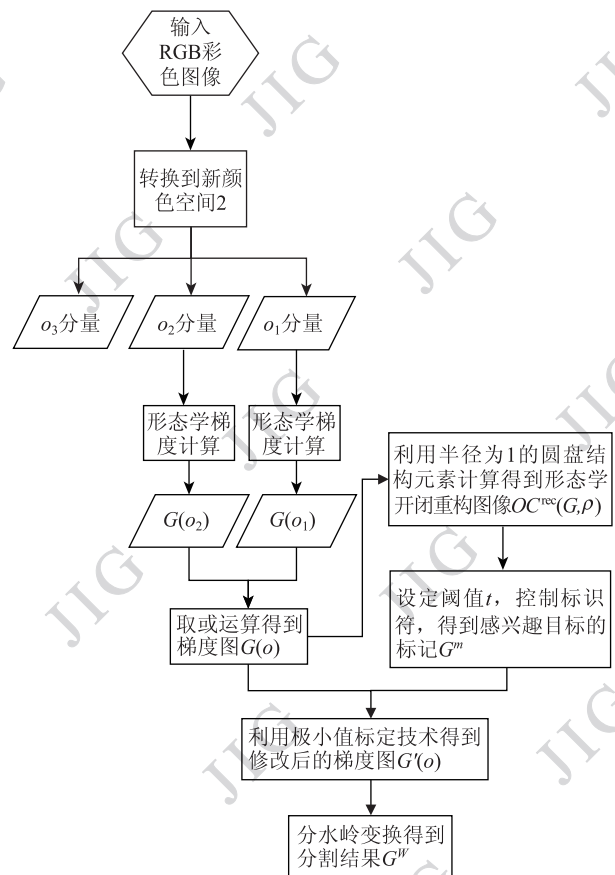


图1 算法流程图

Fig. 1 Diagram of the segmentation

本文算法涉及彩色空间转换、新颜色空间图像的梯度计算、形态学开闭重构进行标记提取和梯度修正及分水岭分割4个主要步骤。

1.1 彩色空间的转换

许多基于分水岭分割的算法处理的图像为灰度图,当要分割一幅彩色图像时,多数情况是把彩色图像转化为灰度图像,然而彩色图像转换为灰度图像时会有 10% 左右图像信息的丢失(如一些亮度相似但颜色不同的可视细节可能会丢失)。常见的彩色模型有 RGB 模型、NTSC 模型、YCbCr 模型等。基于彩色图像的分水岭分割^[5,7],例如文献[5]采用的 RGB 彩色模型,利用 Butterworth 低通滤波后抽取的标记修改梯度图,以修改的梯度图作为分水岭算法的分割图像,但是会出现由于反射亮光和阴影导致的过分割。如图 2 所示,文献[5]中的 parrots 图像中存在大块的反射亮光,图 2 给出文献[5]的实验结果。从实验结果可以看出,采用 RGB 等颜色空间进行分水岭分割,容易造成明显的过分割,如鹦鹉的头顶和背景中由于反射亮光产生过分割。

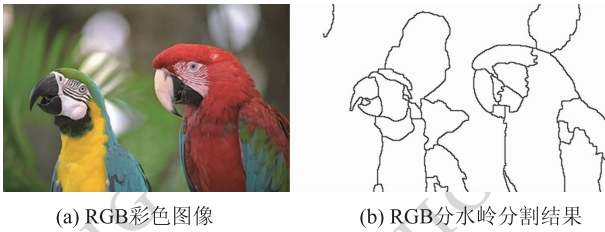


图 2 RGB 彩色图像及分水岭分割结果
Fig. 2 RGB color image and the segmentation of watershed

常见的如 RGB 等彩色模型,其颜色分量与反射亮光或阴影不具有独立相关性。把图像的 RGB 彩色空间转换到新的彩色空间^[13],通过抑制新的彩色空间中与反射亮光或阴影的相关分量来达到抑制亮光或阴影产生的过分割的目的。具体的新颜色空间^[14]相关知识如下:

颜色空间 1

$$\begin{cases} r = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2} \\ \theta = \arctan\left(\frac{G}{B}\right) \\ \varphi = \arcsin\left(\frac{\sqrt{R^2 + G^2}}{\sqrt{R^2 + G^2 + B^2}}\right) \end{cases} \quad (1)$$

式中, r 是与阴影相关的分量。 r_x 为 r 的空间微分

$$r_x = \frac{RR_x + GG_x + BB_x}{\sqrt{R^2 + G^2 + B^2}} = |S_x| \quad (2)$$

式中, S_x 是与阴影变化的相关量。

颜色空间 2

$$\begin{cases} o_1 = \frac{\beta R - \alpha G}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \\ o_2 = \frac{\alpha\gamma R + \beta\gamma G - (\alpha^2 + \beta^2)B}{\sqrt{(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)(\alpha^2 + \beta^2)}} \\ o_3 = \frac{\alpha R + \beta G + \gamma B}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}} \end{cases} \quad (3)$$

式中, o_3 是与反射亮光相关的分量, α, β, γ 为光源的参数。假设一个已知的光源, α, β, γ 代表彩色表面的反射比^[14],通常情况 α, β, γ 的取值都为 1,实验中的取值也都为 1。

由于颜色空间有 3 个分量 o_1, o_2 和 o_3 ,因为 O_x 是与反射亮光变化相关的量,且 o_3 与 O_x 有式(4)所示的关系,式中 o_{3x} 为 o_3 分量的空间微分。由式(4)可知, o_3 是与反射亮光相关的分量,而 o_1, o_2 分量为不受反射亮光影响的分量。

$$o_{3x} = \frac{R_x + G_x + B_x}{\sqrt{3}} = |O_x| \quad (4)$$

颜色空间 3

$$\begin{cases} h = \arctan\left(\frac{o_1}{o_2}\right) \\ s = \sqrt{o_1^2 + o_2^2} \\ i = o_3 \end{cases} \quad (5)$$

式中, s, i 是与阴影和反射亮光相关的分量。

可以通过抑制反射亮光或阴影分量的方法来达到抑制由此产生的过分割问题。例如,对 parrots 图像中的反射亮光产生的过分割问题做如下处理:首先把 RGB 彩色图像转换到颜色空间 2 中,提取颜色空间 2 中的 o_1, o_2 分量;然后分别用形态学梯度算子计算它们的梯度,把求取的梯度最大值作为当前梯度。

1.2 新颜色空间图像的梯度计算

梯度图更能反映图像的变化趋势,所以梯度图更适合作为分水岭算法的分割图像。实验证明在梯度图像上进行分水岭分割,较在原始图上分割得到的结果更加准确^[5]。数学形态学梯度使输入图像的变化更为急剧,与空域中模板求取的梯度相比,对称结构元素得到的形态学梯度对边缘方向的依赖更小。采用圆形的形态学结构元素,它具有各向同性,可以消除梯度对边缘方向的依赖性。形态学梯度定义为

腐蚀

$$\xi_n(I(x)) = \min\{I(x+y), y \in B_n\} \quad (6)$$

膨胀

$$\delta_n(I(x)) = \max\{I(x-y), y \in B_n\} \quad (7)$$

式中, $I(x)$ 为输入图像信号, B_n 是尺寸为 n 的平面结构元素。

形态学梯度

$$G(I) = \delta(I, B_n) - \xi(I, B_n) \quad (8)$$

新算法中, 对变换到新颜色空间 2 图像的两个分量 o_1 和 o_2 (不受反射亮光影响的分量) 分别进行形态学梯度运算, 然后将得到的两个运算结果进行“或”运算, 这样可以最大程度得到各个颜色分量的梯度信息。

$o_i (i=1, 2)$ 代表颜色空间 2 中的两个彩色分量图像。 $G(o)$ 代表彩色信息的形态学梯度图像

$$G(o) = G(o_1) \vee G(o_2) \quad (9)$$

式中, \vee 代表取最大值 (取或运算), 即分别计算两个分量对应图像的形态学梯度, 选择最大的分量梯度作为彩色图像的梯度。 $G(o_i)$ (式中 $i=1, 2$) 代表各彩色分量图像的形态学梯度图像。

1.3 开闭重构标记提取

1.3.1 形态学开闭重构

新算法将形态学开闭重构应用到标记提取中。形态学开闭重构可以减少和消除噪声、明暗细节引起过多的局部极值, 抑制局部极值过多引起的过分割, 而感兴趣目标的显著轮廓却在重构过程中得到恢复, 同时保持了主要目标的形状信息。

形态学开闭重构是建立在测地学膨胀和腐蚀的基础上的。对于处理图像 $G(o)$, 即上述彩色形态学梯度图, 参考图像 $\rho(o)$, 半径为 1 的圆盘结构元素 B , 测地学膨胀定义为

$$\begin{cases} \delta_B^1(G, \rho) = \min(G \oplus B, \rho) \\ \delta_B^i(G, \rho) = \min(\delta_B^{(i-1)}(G, \rho) \oplus B, \rho), \quad i=1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (10)$$

测地学腐蚀定义为

$$\begin{cases} \ell_B^1(G, \rho) = \max(G \ominus B, \rho) \\ \ell_B^i(G, \rho) = \max(\delta_B^{(i-1)}(G, \rho) \ominus B, \rho), \quad i=1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (11)$$

式中, \oplus 和 \ominus 表示灰度形态学膨胀和腐蚀运算。

测地学膨胀和腐蚀运算均为迭代运算, 当 $\delta_B^n(G, \rho) = \delta_B^{(n-1)}(G, \rho)$ 和 $\ell_B^n(G, \rho) = \ell_B^{(n-1)}(G, \rho)$ 时, 迭代过程终止。迭代的结果为膨胀重构 $\delta^{\text{rec}}(G,$

$\rho)$ 和腐蚀重构 $\ell^{\text{rec}}(G, \rho)$, 即

$$\delta^{\text{rec}}(G, \rho) = \delta_B^n(G, \rho) \quad (12)$$

$$\ell^{\text{rec}}(G, \rho) = \ell_B^n(G, \rho) \quad (13)$$

类似地, 形态学开重构 $O^{\text{rec}}(G, \rho)$ 和闭重构 $C^{\text{rec}}(G, \rho)$ 定义如下:

$$O^{\text{rec}}(G, \rho) = O_B^n(G \circ B, \rho) \quad (14)$$

$$C^{\text{rec}}(G, \rho) = C_B^n(G \cdot B, \rho) \quad (15)$$

式中, \circ 和 \cdot 表示灰度形态学开运算和闭运算。

单一的形态学开重构或闭重构, 只能消除图像中目标信号上方或者下方的细节和噪声, 并且会造成目标信息位置的偏移。如果将开重构和闭运算结合, 就可达到同时消除图像中明、暗细节的目的^[15], 使区域极大值和极小值都得到修正, 减少和消除了因细节和噪声干扰造成局部极值过多产生的分水岭过分割, 同时保证了区域轮廓的定位精度。

形态学开、闭重构运算定义为先进行开重构运算再进行闭重构运算, 即

$$OC^{\text{rec}}(G, \rho) = C_B^n((O_B^n(G \circ B, \rho)) \cdot B, \rho) \quad (16)$$

1.3.2 标记提取

经过上述半径为 1 的圆盘结构元素 B 开闭重构的梯度图像 $OC^{\text{rec}}(G, \rho)$, 虽然消除了大部分区域极值, 但还会存在一些与感兴趣目标无关的极小值点, 它们会导致感兴趣目标被分割为许多无意义的细小区域。为此, 本文提出用阈值法对经过形态学梯度重构的图像 $OC^{\text{rec}}(G, \rho)$ 进行标记提取, 获取属于感兴趣目标的极小值点。具体过程如下:

首先检测梯度图像 $OC^{\text{rec}}(G, \rho)$ 中所有局部极小值点, 然后判断每个极小值点是否大于指定阈值 t , 提取大于指定阈值的极小值点。由此, 将得到一幅二值标记图像 G^m , 即

$$G^m = \begin{cases} 1 & OC_{\min}^{\text{rec}} > t \\ 0 & OC_{\min}^{\text{rec}} \leq t \end{cases} \quad (17)$$

1.4 梯度修正及分水岭分割

原始彩色信息的形态学梯度图像 $G(o)$ 最大限度的保留了图像的边缘信息, 但存在过多的区域极小值, 将 1.3 节中提取到的标记图像 G^m 作为梯度图 $G(o)$ 的局部极小值, 而屏蔽 $G(o)$ 中所有的局部极小值, 这样能避免传统的图像简化与保护物体边缘信息之间的矛盾, 既保证了图像的边缘信息不受破坏, 又抑制了过多不相关的局部极小值。该算法在修正后的梯度图 $G'(o)$ 上进行分水岭分割, 获得

比较理想的实验结果 G^W 。具体过程如下:

$$G'(o) = M(G(o), G^m) \quad (18)$$

$$G^W = W(G'(o)) \quad (19)$$

式中, $M()$ 表示形态学极小值标定运算, $W()$ 代表分水岭变换。

2 实验结果与分析

为了验证本文算法的有效性,做了如下实验,并对实验结果进行了分析。

实验1 为了方便比较,选择文献[14]中的图片(如图3)进行实验,得到4个颜色模型的梯度图,如图4所示。图4中标记了由反射亮光和阴影产生的梯度阶跃变化,其中红色代表由于反射亮光引起的梯度变化,绿色代表由于阴影引起的梯度变化。

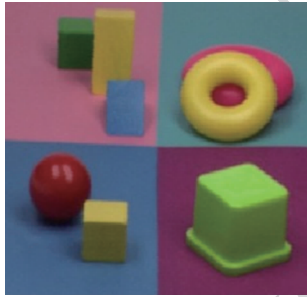
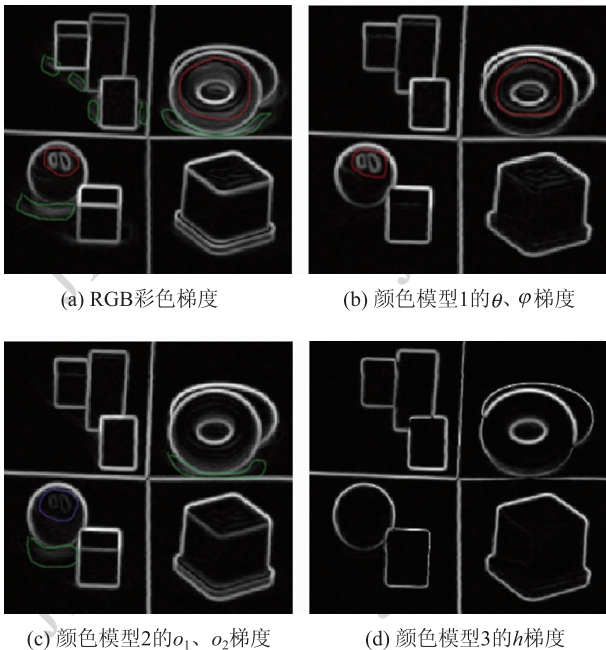


图3 RGB 图像

Fig. 3 RGB color image



(a) RGB彩色梯度

(b) 颜色模型1的 θ, φ 梯度

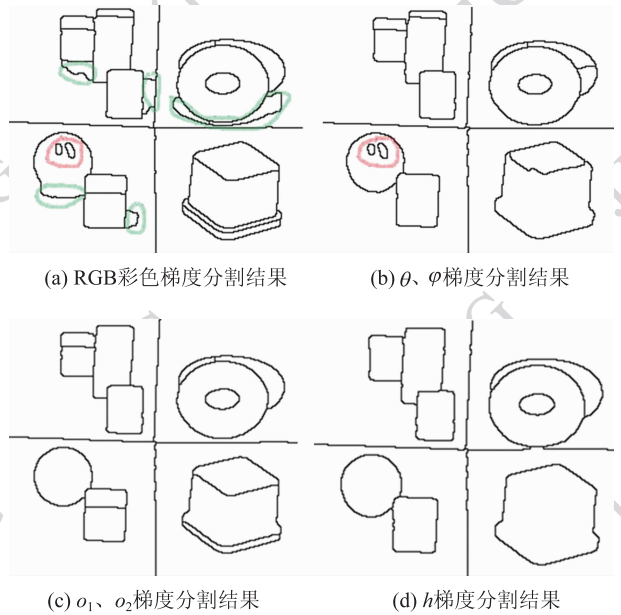
(c) 颜色模型2的 o_1, o_2 梯度

(d) 颜色模型3的 h 梯度

图4 4种颜色模型梯度图

Fig. 4 Four kinds of color model gradient maps

为了便于对比,采用相同的方法及参数进行分水岭分割,只在颜色模型上有所区别。分割的过程如下:分别对图4得到的4幅梯度图像做开闭重构,重构模板都采用圆形半径为1的结构元素,标记中阈值 t 都选择2,图5为分割后的结果。



(a) RGB彩色梯度分割结果

(b) θ, φ 梯度分割结果

(c) o_1, o_2 梯度分割结果

(d) h 梯度分割结果

图5 4种颜色模型在相同参数下的分割结果

Fig. 5 The segmentation of four kinds of color model gradient maps under the same parameter

从实验结果可以看出,图5(a)RGB彩色梯度分割结果采用RGB彩色空间的3个分量,由于受到阴影和反射亮光影响,产生一定的过分割,图中用绿色区域标记了由阴影产生的过分割,红色区域标记了由亮光反射引起的过分割。图5(b)为颜色模型1的 θ, φ 梯度分割结果,去除了阴影影响分量 r ,有效地抑制阴影引起的过分割,而亮光反射引起的过分割没有被抑制。图5(c)为颜色模型2的 o_1, o_2 梯度分割结果,通过去除亮光反射分量 o_3 ,有效地抑制了亮光反射引起的过分割,但是阴影引起的过分割也被抑制掉,因为在图4(c)中亮光反射引起的灰度阶跃得到有效抑制,阴影影响引起的灰度阶跃与图4(a)RGB彩色梯度图相比得到一定的削弱,当选取阈值进行标记时去除了阴影引起的过分割。图5(d)为颜色模型3的 h 梯度分割结果,去除了反射亮光阴影影响分量 s 和 i ,把亮光反射和阴影引起的过分割都抑制掉了,重要的物体轮廓也得到了保留。颜色空间的3个颜色分量分别包含了图像的不同内容信息,

图5(d)选择颜色模型3的 h 分量进行计算,虽然重要的物体轮廓得到保留,但是有一些较重要的细节信息如正方体的边缘丢失了,而选择颜色模型2的 o_1 和 o_2 分量进行计算,在去除了反射亮光影响的同时,物体的轮廓和细节也得到了较好的保留,颜色模型2和颜色模型3相比,采用颜色模型2在去除反射亮光影响的同时,对于保

护图像的内容信息较好,因此在算法描述中,使用了颜色模型2。

实验2 选择图2(a)所示的parrots图像再次进行实验,针对由于反射亮光产生的过分割问题再用本文的新算法进行实验,为了便于对比,用文献[5,7]两种彩色图像分割方法也进行了实验并进行比较,结果如图6所示。

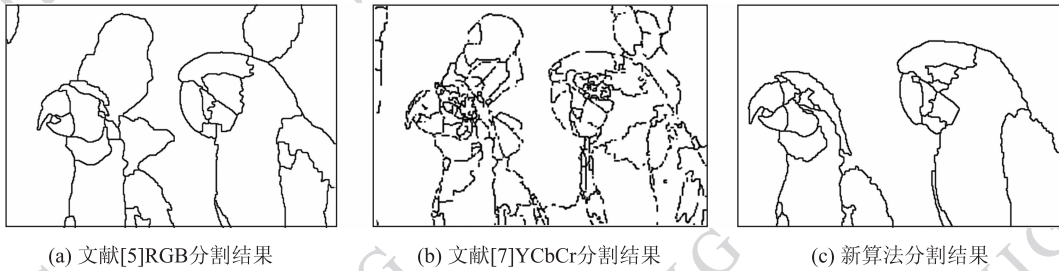


图6 文献[5,7]分割结果与新算法分割结果的对比

Fig. 6 The comparison of the proposed algorithm and the methods of references [5,7]

从图6明显可以看出,新算法较好地抑制了反射亮光和阴影引起的过分割,鹦鹉头顶的亮光和背景中的亮光得到了很好的抑制,并且噪声和细节引起的过分割也得到很好的去除,而目标物体的重要细节信息如眼睛等地方同时被保留。

用分割区域个数和所耗时间作为衡量标准对分割算法进行评价,在相同PC机下进行实验得到如表1所示的实验数据。从表1可看出,本文的方法在抑制过分割区域上比文献[7]有了明显提高,比文献[5]也稍有提高;在时耗方面,比文献[5,7]都有减少,所以本文提出的分割算法效果较好。

表1 本文算法与文献[5,7]分割结果对比

Table 1 The comparison of three segmentation results

算法	分割区域个数	分割时间/s
文献[5]	25	0.541 117
文献[7]	227	0.926 247
本文	22	0.445 209

3 结论

通过详细分析现有标记分水岭算法的优缺点,提出一种新彩色空间的重构标记分水岭分割算法。由于该算法将RGB彩色图像转换到新的彩色空间,并抽取不受反射亮光和阴影影响的分量进行梯度运

算,因而能有效克服由反射亮光和阴影引起的过分割。此外,由于本文的分水岭算法是在原始梯度图上而非滤波简化的图像上进行的,所以该算法能在抑制噪声、纹理细节和亮光反射、阴影引起过分割的同时,最大程度地保留物体的边缘信息。实验结果表明,本文提出的算法具有较明显的效果,分割区域与目标轮廓相符合,分割区域个数较少,并且在分割时间上有一定的优势。

参考文献 (References)

- [1] Li D R. An edge embedded marker-based watershed algorithm for high spatial resolution remote sensing image segmentation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(10): 2781-2787.
- [2] Zhang G F, Wu Z C. Improved marker-based watershed algorithm for segmentation of high spatial resolution remote sensing imagery [J]. Application Research of Computers, 2010, 2(27): 760-763. [张桂峰,巫兆聪.改进的标记分水岭遥感影像分割方法[J].计算机应用研究,2010,2(27):760-763.]
- [3] Vincent L, Soille P. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 583-598.
- [4] Lu G M. A multiscale algorithm for computing morphological gradient images [J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(3): 214-218. [卢官明.一种计算图像形态梯度的多尺度算法[J].中国图象图形学报,2001,6(3):214-218.]
- [5] Gao L. New unsupervised image segmentation via marker-based

- watershed [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2007, 12(3): 1025-1032. [高丽. 一种基于标记的分水岭图像分割新算法 [J]. *中国图象图形学报*, 2007, 12(3): 1025-1032.]
- [6] Wang Y. Watershed segmentation based on morphological gradient reconstruction and marker extraction [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2008, 13(11): 2176-2180. [王宇. 基于形态学梯度重构和标记提取的分水岭图像分割 [J]. *中国图象图形学报*, 2008, 13(11): 2176-2180.]
- [7] Li X. Controllable watershed segmentation based on morphological multi-scale gradient [J]. *Application Research of Computers*, 2008, 2(25): 475-478. [黎鑫. 一种程度可控的形态学多尺度梯度分水岭算法 [J]. *计算机应用研究*, 2008, 2(25): 475-478.]
- [8] Damián V, Jose C, Victor M, et al. Reconstruction with criterion from labeled markers: New approach based on the morphological watershed [J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2010, 19(4): 1-15.
- [9] Hai G. Improved techniques for automatic image segmentation [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2001, 11(12): 1273-1280.
- [10] Ning J F, Wu C K. Image segmentation based on partial differential equation and watershed algorithm [J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2008, 5(21): 664-669. [宁纪峰, 吴成柯. 基于偏微分方程和分水岭算法的图像分割 [J]. *模式识别与人工智能*, 2008, 5(21): 664-669.]
- [11] Ning J F, Wu C K. Image Segmentation and Object Tracking in Computer Vision [D]. Xi'an: Doctoral Dissertation of Xi Dian University, 2009. [宁纪峰. 图像分割和目标跟踪中的若干问题研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.]
- [12] Luo L, Xie M. Watershed segmentation based on multi-scale morphological filtering [J]. *Journal of Computer-aided and Computer Graphics*, 2004, 16(2): 168-173. [罗玲, 解梅. 基于多尺度形态滤波的分水岭图像分割方法 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2004, 16(2): 168-173.]
- [13] Weijer J, Gevers T. Boosting color saliency in image feature [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, 1(18): 150-156.
- [14] Weijer J, Gevers T. Edge and corner detection by photometric quasi-invariants [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 4(27): 625-630.
- [15] Wang X P, Hao C Y. Watershed segmentation based on morphological scale-space and gradient modification [J]. *Journal of Electronic and Information Technology*, 2006, 3(28): 485-489. [王小鹏, 郝重阳. 基于形态学尺度空间和梯度修正的分水岭分割 [J]. *电子与信息学报*, 2006, 3(28): 485-489.]