

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.03.016

多梯度融合的 RGBD 图像边缘检测*

王江明 余 焱 金 强 李冰飞

(合肥工业大学 计算机与信息学院 合肥 230009)

摘要:基于单一的属性变化进行边缘检测往往会损失部分边缘信息,影响了检测结果的完整性,对此提出一种基于多梯度融合的边缘检测算法。该算法针对 RGB 图像,首先转换到 YCbCr 颜色空间下,分别提取亮度分量 Y 颜色分量 Cb 、 Cr 针对提取的亮度分量 Y 颜色分量 Cb 、 Cr ,结合深度图像 D ,分别使用多方向的圆形边缘检测算子进行梯度计算,对所获得的 4 种梯度图像进行融合获得边缘检测结果。实验结果表明,算法获得的边缘检测结果更加清晰完整,有效的提高了边缘检测的效果。

关键词:边缘检测;梯度算子;YCbCr 图像;深度图像;多梯度融合

中图分类号: TP391.41; TN957.52 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

RGBD images edge detection based on multi-gradient fusion

Wang Jiangming Yu Ye Jin Qiang Li Bingfei

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Some edges cannot be detected when the single property gradient edge detection is used, it affects the integrity of the detection results. To solve the problem, a new edge detection algorithm based on multi-gradient fusion is proposed. The algorithm first converts the RGB image into the YCbCr color space, and then extracts the luminance component Y and the color component Cb , Cr respectively. For the extracted luminance component Y , the color components Cb and Cr , combined with the depth image D , using the multi-directional circular edge detection operator calculates the gradient respectively. The four gradient images are fused to obtain the edge detection results. The experimental results show that the algorithm gains clearer and more complete results, and improves the effect of edge detection effectively.

Keywords: edge detection; gradient operator; YCbCr image; depth image; fusion of multiple gradient

1 引 言

图像的边缘检测一直是图像处理领域的一个热点问题。图像中的边缘信息能够提供丰富的场景信息,为目标检测与跟踪^[1-5]、图像分割^[6-8]、图像检索^[9]等研究提供了重要信息。边缘检测算子针对像素点的属性在边缘处会发生显著变化的特点,利用像素点的邻域信息构造梯度算子,并以其简单有效的特点在边缘检测算法中占据主要位置。

经典的边缘检测算子如 Sobel、Laplacian、Canny

等^[10-11],使用微分运算计算像素点的梯度,操作简单,一直以来具有广泛的应用。此外,形态学梯度算子^[12]使用形态学中的膨胀腐蚀以及开闭运算计算像素点的梯度,在边缘检测的连续性和完整性等方面都具有优势,能够检测出更多的边缘细节。早期的边缘检测算子通常针对灰度图像进行处理,而彩色图像能够提供比灰度图像更多的信息,因此针对彩色图像构造合适的边缘检测算子也是研究的热点之一。文献[13]使用 Sobel 算子分别对 RGB 彩色图像的 3 个颜色分量 R 、 G 、 B 进行边缘检测,并对 3 个颜色通道检测的结果进行融合获得最后的边缘检测结果。文献[14]将 RGB 图像转换到 LAB 颜色空间

下,分别对 L 分量、 a 分量和 b 分量进行边缘检测,获得亮度边缘和色度边缘,并对获得的边缘进行叠加及连接获得边缘检测结果。文献[15]将模糊形态学算法从灰度图像的标量空间推广到彩色图像的矢量空间,对彩色图像进行模糊增强,并使用形态学梯度算子进行边缘检测。文献[16]通过将彩色图像灰度化,利用多尺度 Gabor 滤波器提取图像的灰度变化信息,再通过非极大值抑制以及高低阈值来获取边缘像素点及其候选边缘,得到最终的图像边缘信息。

然而,当物体之间的颜色信息较为相似时,边缘处像素的颜色变化较弱,边缘检测算子无法很好的检测出边缘的存在。而 RGBD 图像的出现,为研究者们打开了新的视野。RGBD 图像除了能够提供图像的彩色信息,也提供了图像的深度信息,为图像处理等领域的诸多难题提供了新的思路。文献[17]针对 RGBD 图像,在分水岭的分割结果上,提取了一系列的颜色、纹理、深度、几何特征训练分类器获得最后的分割结果,提高了图像分割的准确率。同样的,将深度信息引入边缘检测中,由于深度信息能够反映物体在三维空间中的位置信息,因此可以根据物体之间深度的变化判断是否存在边缘。文献[18]分别对 RGB 图像及深度图像使用 Canny 算子进行边缘检测,并对获得的深度边缘和彩色边缘分别进行优化,对优化后的 2 种边缘检测结果进行融合获得最终的边缘检测结果。目前,基于 RGBD 图像的边缘检测研究仍是一个较为新颖的问题。

基于单一的属性变化进行边缘检测往往会损失部分边缘信息,而 RGBD 图像提供了场景中物体的更多信息,如何合理的利用这种丰富的属性信息以提高边缘检测的

完整性、改善边缘检测的结果是研究的一个重要内容。对此,本文针对 RGBD 图像,提出一种基于多梯度融合的边缘检测算法,考虑到不同属性的变化对边缘检测结果的不同影响,有效的提高了边缘检测的效果。首先将 RGB 彩色图像转换到 YCbCr 颜色空间下,抽取亮度分量 Y 和颜色分量 Cb 、 Cr ,降低通道之间的相关性。针对亮度分量 Y 、颜色分量 Cb 、 Cr 以及深度图像 D ,分别使用多方向的圆形边缘检测算子进行梯度计算。对获得的 4 种梯度图像,针对不同的方向分别进行融合,并在融合后取不同方向中梯度值的最大值作为像素点最终的梯度,以此获得最后的边缘检测结果。

2 算法描述

本文基于 Kinect 设备获取的 RGBD 图像,提出了一种新的边缘检测算法。算法的主要思想为将 RGB 彩色图像转换到 YCbCr 颜色空间下,针对亮度分量 Y 、颜色分量 Cb 、颜色分量 Cr 以及深度图像 D ,分别计算梯度图像,并对获得的多种梯度进行融合。其中梯度图像的计算使用 8 方向的圆形边缘检测算子,在每个方向上,针对像素点的圆形邻域,沿该方向上的直径将圆形邻域分为两半,分别针对两个半圆邻域内的像素信息统计直方图,计算 2 个直方图之间的相似性,以此作为像素点在该方向上的梯度。分别计算 4 个通道下的 8 方向梯度图像,在每个方向上进行融合获得最终的 8 方向梯度图,取 8 方向梯度中的最大值作为边缘检测结果。具体算法流程如图 1 所示。

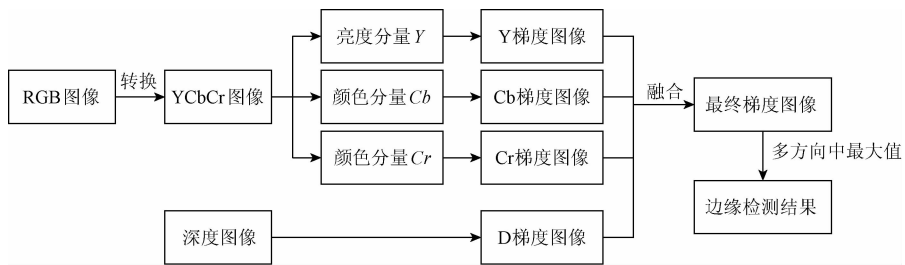


图 1 算法流程

Fig. 1 Flow chart of algorithm

本文算法涉及颜色空间转换、彩色梯度计算、深度梯度计算以及梯度融合 4 个部分,将在下面的小节中进行详细的描述。

2.1 颜色空间转换

首先将获取的 RGB 图像转换到 YCbCr 颜色空间下,如式(1)所示。

$$Y = 0.257 \cdot R + 0.504 \cdot G + 0.098 \cdot B + 16$$

$$Cb = -0.148 \cdot R - 0.291 \cdot G + 0.439 \cdot B + 128$$

$$Cr = 0.439 \cdot R - 0.368 \cdot G - 0.071 \cdot B + 128 \quad (1)$$

RGB 颜色空间是应用最为广泛的颜色空间,但 RGB 颜色空间中的 3 个颜色分量 R 、 G 、 B 之间具有较大的相关性,如当光照发生变化时,3 个颜色分量均会发生较大的变化,不适合逐分量的计算梯度。而 YCbCr 颜色空间由亮度分量 Y 、蓝色色度分量 Cb 、红色色度分量 Cr 组成,将亮度分量与颜色分量进行分离,降低了各分量间的相关性,同时更符合人眼的认知习惯。由于本文算法将基

于各分量单独进行边缘的提取,因此更适合于在 YCbCr 颜色空间下进行。

2.2 亮度梯度及颜色梯度计算

由于不同物体之间的亮度及颜色信息存在较大的差异,边缘处像素的属性会发生剧烈的变化,针对该特点,使用梯度来计算像素点属性的变化程度,并以此衡量该像素处于边缘的可能性。

本文针对 YCbCr 图像中的亮度分量 Y 、颜色分量 Cb 、 Cr 的单通道图像,均将其作为伪灰度图像进行处理。以 YCbCr 图像中亮度分量 Y 的图像为例,描述本文使用的多方向梯度算子。

如图 2 所示,针对图像中的某像素点 A ,以半径 r 取其圆形邻域。沿方向为 θ 的直径,将所选区域分为 P 、 Q 两个半圆邻域。像素均值是常用的区域属性特征,但在真实场景中,物体的某个像素属性的分布可能并非单一不变的,如在颜色分量中,物体表面可能由于设计了花纹而具有多种颜色,这样的情况下,像素均值不能很好的代表该区域的属性分布,因此本文采用直方图对邻域内的像素信息进行统计,以此表征该邻域内的像素属性。



图 2 亮度分量 Y 上的梯度计算

Fig. 2 Gradient calculation on luminance component Y

同时,引入像素点的空间信息的使用,根据像素点与中心像素点的距离为其赋不同的权重。如式(2)所示,在对半圆邻域内信息进行统计前,首先为每个像素点赋高斯权重,距离中心像素点越近则权重越大。

$$\alpha_i = \frac{ed_i^2/2\sigma^2}{\sum_{j=1}^k e^{-d_j^2/2\sigma^2}} \quad (2)$$

式中: d_i 为半圆邻域中第 i 个像素点与中心像素点之间的距离, k 为半圆邻域中的像素总数。

如式(3)所示,当为直方图中每个颜色区间计算其所占比例时,使用该区间中像素的权重之和代替像素数目所占的比例,能够较为有效地将像素的颜色信息与空间信息结合在一起。

$$H(i) = \sum_{value_i \in interval_i} \alpha_x \quad (3)$$

式中: $H(i)$ 表示直方图中第 i 个颜色区间所占比例,

$value_i$ 为第 x 个像素的颜色属性值, $interval_i$ 代表第 i 个颜色区间。对 P 、 Q 中的像素信息分别建立直方图 H_p 、 H_q ,计算直方图 H_p 、 H_q 之间的相似度,作为像素点 A 在方向 θ 上的梯度值。本文采用 χ^2 距离度量直方图之间的相似度,如式(4)所示。

$$\chi^2(H_p, H_q) = \frac{1}{2} \sum_i \frac{(H_p(i) - H_q(i))^2}{H_p(i) + H_q(i)} \quad (4)$$

式中: $H_p(i)$ 、 $H_q(i)$ 表示直方图 H_p 、 H_q 中第 i 个颜色区间所占的比例,以该 χ^2 距离作为该像素点在方向 θ 上的梯度值。

如图 3 所示,物体之间的边缘具有方向性,像素在垂直于边缘的方向上属性变化最为剧烈。因此,本文对区间进行 8 等分,分别取 $0, \pi/8, \pi/4, 3\pi/8, \dots, 7\pi/8$ 共 8 个方向,并计算各方向上该像素点的梯度值。由于不同方向中最大的梯度值最能代表该点的变化程度,因此将在 1.4 节对多梯度进行融合后,取多方向中梯度值的最大值作为最终的边缘检测结果。

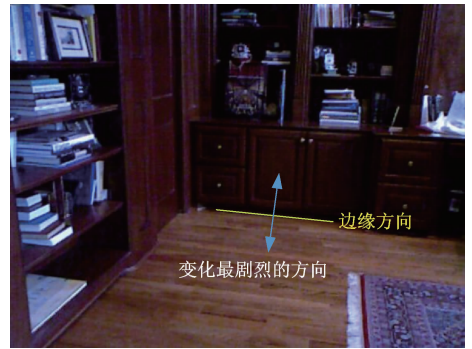


图 3 边缘方向及属性变化

Fig. 3 Edge direction and attribute change

基于上述方法,分别计算获得 YCbCr 图像中的亮度梯度 G_y ,颜色梯度 G_{cb} 、 G_{cr} 。

2.3 深度梯度计算

当物体之间的亮度颜色相似时,边缘处像素的属性变化较小,计算出的梯度值无法明显的体现出不同物体之间的差异,进而影响边缘像素的检测与判断。深度图像包含像素点的深度信息,提供了物体在真实三维空间中的位置信息。在三维空间中,不同物体之间的深度信息可能不同,如图 4 所示,图 4(a) 中椅子与书柜的颜色属性较为相似,特别是图右的椅子和书柜很难分割清楚,但在图 4(b) Depth 图像中,可以明显的观察出椅子与书柜之间的深度差异,使用这种差异可以改善对边缘进行检测的结果。本文利用该特点计算像素点处的深度梯度,帮助提高了边缘检测的效果。

由于深度图像反映了像素点到相机的深度,因此深度的范围随场景的改变发生变化,为了下一步的处理,首

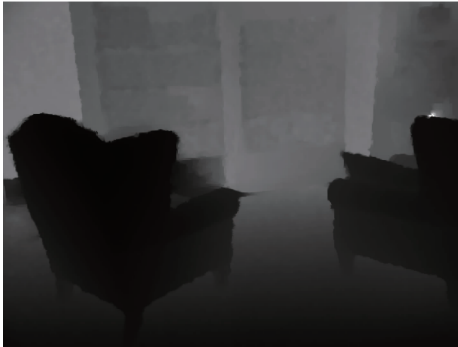
先对其进行归一化处理。如式(5)所示,将深度图归一化到[0,1]区间内。

$$value = depth / maxDepth \quad (5)$$

式中: $depth$ 表示像素点的深度值, $maxDepth$ 表示深度图像中最大的深度信息, $value$ 为归一化后的像素值。



(a) RGB图像
(a) RGBimage



(b) Depth图像
(b) Depthimage

图4 深度差异说明

Fig. 4 Description of depth difference

对深度图像进行归一化后,如图5所示,与彩色梯度计算方法类似,取像素点周围圆形区域,沿方向为 θ 的直径分为两个半圆邻域。与场景中物体的灰度或颜色信息一般较为均匀不同,当物体相对于视角倾斜时,物体的深

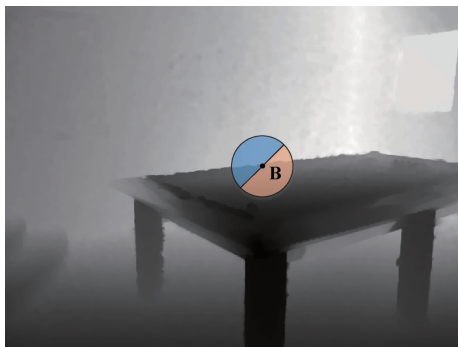


图5 深度梯度计算

Fig. 5 Depth gradient calculation

度信息发生渐变,这种渐变会导致在像素点处错误的检测出深度的变化。使用本文所述的边缘检测算法,将像素的空间位置引入直方图的统计中,根据像素与中心像素点的距离赋高斯权重,能够降低这种深度渐变所带来的影响。

分别为2个半圆邻域内的深度信息建立直方图,采用 χ^2 距离计算直方图的相似性作为像素的深度梯度。同样计算8个方向上的梯度图像,记为 G_D 。

2.4 多梯度融合

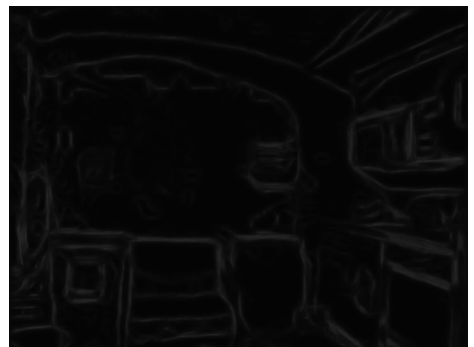
在边缘检测中,使用单一的属性变化往往会损失一部分的边缘信息,如只使用灰度信息,则灰度相似的物体之间的边缘较难检测,因此本文采取对RGBD图像,计算多种属性下的梯度,并进行多梯度融合以提高边缘检测算法的准确性与完整性。如上文所述,本文在YCbCr图像上获得亮度梯度 G_Y ,颜色梯度 G_{cb} 、 G_{cr} ,在深度图像上获得深度梯度 G_D ,这4种梯度分别代表了像素点在不同属性上的变化程度,对这4种梯度进行融合,以获得更好的边缘检测效果。本文采用线性加权的方式对4种梯度进行融合,如式(6)所示。

$$G_{mix}(x, y, \theta) = \sum_i \alpha_i G_i(x, y, \theta) \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

式中: $G_{mix}(x, y, \theta)$ 表示线性融合后,像素点 (x, y) 在方向 θ 上的梯度, $G_1 \sim G_4$ 分别表示 G_Y 、 G_{cb} 、 G_{cr} 、 G_D , α_i 为4种梯度对应的权重。如式(7)所示,融合4种梯度之后,取8方向梯度中的最大值作为该点最终的梯度,并以该梯度图像作为最终的边缘检测结果。

$$G_{final}(x, y) = \max_{\theta} G_{mix}(x, y, \theta) \quad (7)$$

以彩色图像为例对多梯度融合的效果进行直观描述。彩色图像提供了比灰度图像更加丰富的信息,如何合理的使用彩色图像获得更好的效果,是研究的重点之一。本文采用多梯度融合的方法,获得的边缘检测效果更清晰完整。本文将亮度分量 Y 与颜色分量 Cb 、 Cr 分开计算,且根据不同属性梯度对边缘检测的影响程度,赋予不同的权重,使得获得的边缘检测结果更好。如图6所示,图6(a)为直接对YCbCr图像进行梯度计算的结果图(对像素点的YCbCr颜色矢量,直接建立三维统计直方



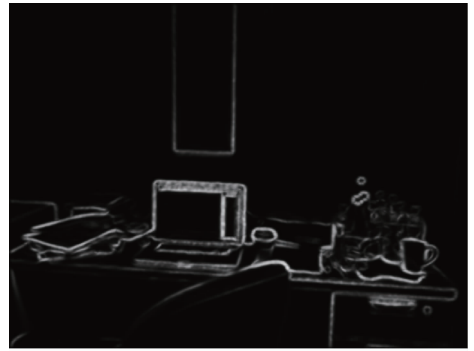
(a) YCbCr图像直接计算梯度结果
(a) Gradient calculation of YCbCr image



(b) 本文算法中YCbCr图像的边缘检测结果
(b) Edge detection results of YCbCr image in this paper

图 6 边缘检测结果对比

Fig. 6 Comparison of edge detection results



(c) 彩色图像边缘检测结果
(c) Edge detection results of color image



(d) 本文最终边缘检测结果
(d) Edge detection results of this paper

图 7 场景 1 的实验结果对比

Fig. 7 Comparison of experimental results on scenario 1

图计算获得),图 6(b)为本文算法中使用的 YCbCr 图像边缘检测的结果,可以明显看出本文对多梯度进行融合获得的结果更好。

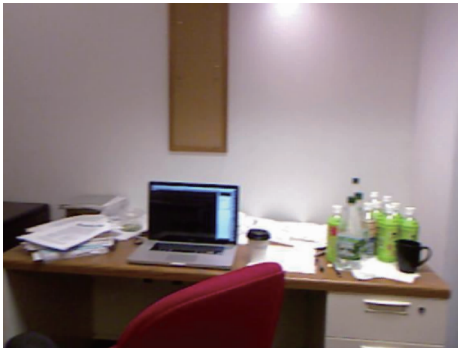
3 实验结果

使用纽约大学 Silberman 等人^[19]在 2012 年提出的 NYU2 数据集进行实验,并与经典的边缘检测算子 Sobel 的边缘检测结果,及本文中只使用彩色图像进行边缘检测的结果进行比较。

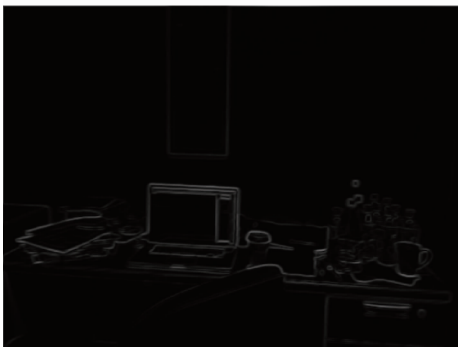
图 7 (a)为某书房场景,对其进行边缘检测,检测结果分别如图 7(b)~(d)所示,可以看出本文的边缘检测算

法明显提升了检测的效果。与 Sobel 算子相比,本文使用的彩色图像边缘检测算法效果更清晰,如墙上的挂幅与红色椅子的部分边缘都有了较为明显的增强,同时受到的噪声影响也 smaller。与彩色图像边缘检测结果相比,由于加入了深度图像的使用,本文对红色椅子的整体边缘以及桌子的边缘都有较好的检测结果。

图 8 (a)为某厨房场景,对其进行边缘检测,检测结果分别如图 8(b)~(d)所示,可以看出本文算法的边缘检测效果最佳。与 Sobel 算子相比,本文使用的彩色图像边缘检测算法效果更清晰,如图像中间椅子的左边缘与



(a) 原始RGB图像
(a) Original RGB image



(b) Sobel算子边缘检测结果
(b) Edge detection results of Sobel operator



(a) 原始RGB图像
(a) Original RGB image



(b) Sobel算子边缘检测结果
(b) Edge detection results of Sobel operator



(c) 彩色图像边缘检测结果
(c) Edge detection results of color image



(d) 本文最终边缘检测结果
(d) Edge detection results of this paper

图8 场景2的实验结果对比

Fig. 8 Comparison of experimental results on scenario 2

椅子边白色柜子的右下部分边缘都有了一定程度上的增强。与彩色图像边缘检测结果相比,由于使用了深度信息,本文对图像中间椅子及图像左下角椅子的边缘检测效果都有显著的提升,对椅子边白色柜子的边缘检测效果也有了进一步的增强。

从上述实验结果可以看出,本文算法提高了图像的边缘检测效果。本文针对彩色图像使用的边缘检测算法能够获得更加清晰明显的效果。同时,由于加入了深度信息的使用,本文算法针对颜色相似的物体之间的边缘也具有较好的检测结果。

4 结 论

本文针对新型的 RGBD 图像,提出了一种新的边缘检测算法。针对 YCbCr 图像的每个通道及深度图像,使用多方向的圆形边缘检测算子计算梯度图像,并对获得的 4 种梯度图像进行融合,取不同方向中融合梯度的最大值作为像素点最终的梯度,并以此获得最终的边缘检测结果。实验结果证明,本文算法提高了边缘检测的效果,特别是针对颜色信息相似的物体之间的边缘,本文算法获得了较好的效果。

参考文献

- [1] 李菊, 李克清, 苏勇刚. Markov 随机游走和高斯混合模型相结合的运动目标检测算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(5):533-537.
LI J, LI K Q, SU Y G. Moving target detection algorithm combined with Markov random walk and Gauss mixed model [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2014, 28(5):533-537.
- [2] 李高丰, 王磊. 结合 ViBe 和 KGC 图割的运动目标检测研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(7):695-702.
LI G F, WANG L. Moving object detection of combined with ViBe and KGC background subtraction [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2014, 28(7):695-702.
- [3] 刘伟宁. 一种基于后验概率的运动目标检测算法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(6):161-164.
LIU W N. A moving target detection algorithm based on maximum posterior [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(6):161-164.
- [4] 李智勇, 余小萍, 姜真, 等. 基于蛙眼检测模型的双阈值判定目标跟踪方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(2):187-195.
LI ZH Y, YU X P, JIANG ZH, et al. Dual-threshold determination tracking method based on frog visual detection model [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(2):187-195.
- [5] 杨秀萍. 一种基于改进块匹配算法的运动车辆检测[J]. 电子测量技术, 2016, 39(8):75-78.
YANG X P. Moving vehicle object detection based on the improved blocking matching algorithm [J]. Electronic Measurement Technology, 2016, 39(8):75-78.
- [6] 韩嘉隆, 毛征, 王宁, 等. 基于二维 OTSU 的海天分界线提取算法[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(8):67-70.
HAN J L, MAO ZH, WANG N, et al. Algorithm for sea-

- sky-line extraction based on two-dimension OTSU [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2016, 35(8):67-70.
- [7] 李庆武, 马国翠, 霍冠英, 等. 基于 NSCT 域边缘检测的侧扫声呐图像分割新方法[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(8):1795-1801.
- LI Q W, MA G C, HUO G Y, et al. New segmentation method of side-scan sonar image based on edge detection in NSCT domain [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(8):1795-1801.
- [8] 李健奇, 阳春华, 曹斌芳, 等. 面向参数测量的改进分水岭浮选泡沫图像分割方法[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(6):1232-1240.
- LI J Q, YANG CH H, CAO B F, et al. Improved watershed segmentation method for flotation froth image based on parameter measurement[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(6):1232-1240.
- [9] 金铭, 汪友生, 边航. 一种多特征融合的图像检索新方法[J]. 电子测量技术, 2016, 39(8):85-89.
- JIN M, WANG Y SH, BIAN H. New image retrieval method based on multi-feature integration[J]. Electronic Measurement Technology, 2016, 39(8):85-89.
- [10] BHARDWAJ S, MITTAL A. A survey on various edge detector techniques[C]. 2nd International Conference on Computer, Communication, Control and Information Technology, 2012, :220-226.
- [11] 金汉均, 梅洪洋. Sobel 算子在提取视频运动目标轮廓中的应用研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(11):29-32.
- JIN H J, MEI H Y. A research of extracting the contour of moving target using Sobel operator [J]. Electronic Measurement Technology, 2014, 37(11):29-32.
- [12] 师文, 朱学芳, 朱光. 基于形态学的 MRI 图像自适应边缘检测算法[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(2):408-414.
- SHI W, ZHU X F, ZHU G. A daptive edge detection algorithm of MRI image based on morphology [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(2):408-414.
- [13] CHEN X, CHEN H. A novel color edge detection algorithm in RGB color space [C]. IEEE International Conference on Signal Processing, 2010:793-796.
- [14] 汤慧梅, 赵跃进. 分数阶微分的 CIE L * a * b * 颜色空间边缘检测 [J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(6):628-636.
- TANG H M, ZHAO Y J. Edge detection in CIE L * a * b * based on fractional differential[J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(6):628-636.
- [15] 陈嫚, 朱晓临, 李雪艳, 等. 改进的模糊形态学彩色图像边缘检测算法[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版, 2014, 37(8):922-927.
- CHEN M, ZHU X L, LI X Y, et al. Improved color image edge detection algorithm based on fuzzy mathematical morphology[J]. Journal of Hefei University of Technology:Natural Science, 2014, 37(8):922-927.
- [16] 周静雷, 张智. 基于多尺度 Gabor 滤波器的彩色图像边缘检测[J]. 电子测量技术, 2016, 39(4):49-52.
- ZHOU J L, ZHANG ZH. Color image edge detection based on multi-scale Gabor filter [J]. Electronic Measurement Technology, 2016, 39(4):49-52.
- [17] 余旺盛, 侯志强, 宋建军. 基于标记分水岭和区域合并的彩色图像分割[J]. 电子学报, 2011, 39(5):1008-1012.
- YU W SH, HOU ZH Q, SONG J J. Color image segmentation based on marked watershed and region merger [J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(5):1008-1012.
- [18] YUE H, CHEN W, WANG J, et al. Combining color and depth data for edge detection [C]. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2013:928-933.
- [19] SILBERMAN N, HOIEM D, KOHLI P, et al. Indoor segmentation and support inference from RGBD images[C]. Proceedings of Computer Vision-ECCV 2012. Berlin Heidelberg: Springer, 2012:847-870.

作者简介



王江明, 1991 年出生, 2015 年于南京林业大学获得学士学位, 现为合肥工业大学硕士研究生, 主要研究方向为机器学习和图像处理。

E-mail: yxing911@163.com

Wang Jiangming was born in 1991, received B. Sc. from Nanjing Forestry University in 2015. And he is a M. Sc. candidate in Hefei University of Technology now. His main research direction is machine learning and image processing.



余焯, 1982 年出生, 2010 年于合肥工业大学获得博士学位, 现为合肥工业大学副教授, 目前主要研究方向为计算机视觉。

E-mail: yuye@hfut.edu.cn

Yu Ye was born in 1982, received Ph. D. from Hefei University of Technology in 2010. She is now an associate professor in Hefei University of Technology. Her present research interests include computer vision.