

人工智能技术与应用

基于 HSV 颜色空间的运动目标识别

付长斐¹, 叶 宾^{1,2}, 李会军^{1,2}

(1. 中国矿业大学 信息与控制工程学院, 江苏 徐州 221116; 2. 徐州市人工智能与大数据重点实验室, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 感兴趣区域 (region of interest, ROI) 图像的提取在运动目标的检测与跟踪等领域有着广泛的应用; HSV (hue saturation value) 是根据颜色的直观特性创建的一种颜色空间, 用于对颜色进行定量描述。文章将 HSV 颜色空间用于图像中颜色信息的计算, 识别颜色特征。针对 RoboMaster 全国大学生机器人大赛中云台实时识别和捕捉敌方移动机器人装甲这一基本任务, 提出一种基于色彩特征的目标识别算法。首先对图像进行阈值分割, 计算二值图像轮廓的形状描述参数, 寻找图像中所有的高亮条形物体; 再用 HSV 颜色空间根据 ROI 颜色判断 ROI 中物体是否为目标灯柱。在此之前, 需要统计符合要求的目标灯柱像素的 HSV 参数及 RGB 参数的大致范围, 再结合 HSV 中典型颜色对应参数范围表, 确定算法所采用的参数范围。最终识别目标的判定准则是, 在初步筛选所得感兴趣区域中, HSV 及 RGB 参数处于经分析所得参数范围内的像素点占整个区域的比例大于某一设定阈值。经测试, 该方法对于像素为 640×480 的一组图片, 平均处理速度可达到 102.33 帧/s, 平均识别率约为 97.4%。在 RoboMaster 大赛中, 使用该目标识别算法的机器人能实时跟踪移动机器人, 验证了该方法的有效性。

关键词: 运动目标跟踪; 感兴趣区域; 图像分类; 特征检测; HSV 颜色空间

中图分类号: TP399

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2020)02-0070-05

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2020.01.600

Moving Target Recognition Based on HSV Color Space

FU Changfei¹, YE Bin^{1,2}, LI Huijun^{1,2}

(1. School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;

2. Xuzhou Key Laboratory of Artificial Intelligence and Big Data, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: Extracting of ROI (region of interest) has been widely used in the fields of detecting and tracking moving objects. HSV (hue saturation value) is a color space created according to the visual properties of colors, which can be used to describe colors quantitatively. Based on HSV, we calculate the color information and recognize the color features in images. For the basic task of recognizing and capturing the armors mounted on the opponent robots in real-time in the RoboMaster National University Robot Competition, a detecting algorithm based on the color features was proposed. Firstly, we apply threshold segmentation to the source image, and calculate the shape parameters of the contours to find out all bright light bar in this image. Then HSV color space is used to judge the color of preliminary ROI to confirm whether it is our target or not. Before this procedure, we need analyze the pixels of the right colorful light bar to confirm a pixel range of HSV and RGB parameters. This range is also determined according to a sheet about corresponding pixel parameters of typical colors in HSV and RGB color space. The criterion to judge the right object is the percentage of the pixels whose HSV and RGB parameters are in the range we confirmed before. Experimental results show that the average processing speed can reach 102.33 frame per second and the recognition accuracy is about 97.4% by the proposed method. This algorithm has been successfully applied in the RoboMaster Robot Competition and the results show that robot can effectively track a moving robot in real-time.

Keywords: moving targets tracking; region of interest; image classification; feature extracting; HSV color space

0 引言

运动目标跟踪一直是机器视觉领域的研究热点之

一, 其在军事侦察、精确制导、火力打击以及安防监控等领域有着广泛的应用前景^[1]。感兴趣区域 (region of interest, ROI) 检测将人类的视觉注意机制引入到图像分析过程中, 对于提高现有图像分析系统的工作效率有着积极的作用。雷琳等在目标跟踪算法中利用 ROI 图像匹配来克服目标状态匹配误差的影响^[2]。选取适当的 ROI

收稿日期: 2019-11-25

作者简介: 付长斐 (1997—), 男, 主要研究方向为机器视觉; 叶宾 (1980—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为量子计算、移动机器人等。

基金项目: 徐州市应用基础研究计划项目 (KC18069)

可以保证在足够的特征识别信息前提下，尽量减少数据量，降低外界噪声的影响，有效地提高识别系统的准确性和有效性^[3]。这种技术被广泛应用于各种图像处理相关的算法中，李琦等在手背静脉识别中提出一种消除了平移和旋转影响的 ROI 提取算法^[4]，陈高攀等在前车车辆检测算法中包含了 ROI 提取的部分^[5]，Park 等设计的压力评测算法中以脸部图像为 ROI 来评估压力值^[6]，古新展等将 ROI 提取应用于 CT 图像处理中用来分析器官和组织^[7]。

1 ROI 检测法

本文提出一种基于 HSV (hue saturation value) 颜色空间、把灰度图像阈值分割和 HSV 颜色判别相结合的 ROI 提取方法。使用 C++ 开发的程序已被成功应用于 2018 年 RoboMaster 全国大学生机器人大赛中，实现了对装甲灯柱的实时准确提取以及对移动机器人的实时跟踪。应用结果表明，该 ROI 提取方法具有速度快、准确性高、抗干扰能力强等优点。

ROI 检测也是许多机器人比赛中进行动态视觉目标检测与识别的基本环节。快速而准确地识别出敌我双方目标，对于实施精准打击、快速救援等具有重要意义。在 RoboMaster 全国大学生机器人大赛中，常见的检测目标是安装在移动机器人四周的 4 个装甲，以红色或蓝色灯柱区分，如图 1 所示。

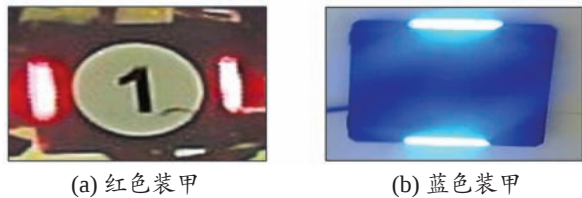


图 1 RoboMaster 机器人大赛装甲示意图

针对图 1 所示红、蓝装甲的彩色灯柱，装甲图案识别之前需要获得灯柱的位置信息来提取装甲 ROI。常用的 ROI 提取工具有边缘检测算法^[8]、阈值分割算法^[5,9-11]、几何描述及形状描述^[12]，这几种方法分别根据边缘信息、亮度信息以及图像区域的形状、面积、长宽比等信息来提取 ROI。边缘检测算法在很多领域得到应用，是一种成熟的图像分割算法，同时还衍生出了应用于不同领域的算法，如基于自适应 Canny 算子边缘检测的电流互感器裂缝检测算法^[8]。然而，一幅像素为 640×480 的图像在 I7-7700HQ 平台下应用 Canny 算子仅仅处理边缘检测部分，且速度较慢，通常都在 50 帧/s 以下；同时边缘信息还需要结合几何形状描述算法才能达到检测目的，有时这些条件并不具备。此外，灰度阈

值分割对于环境光的变化比较敏感，主要依赖于之后的几何描述算法来滤除伪 ROI，因此难以实现较好的提取效果，且过于依赖灰度阈值分割，容易因环境光的变化导致系统失效。

上面所述的方法都没有将目标物体的颜色信息加以合理的利用。考虑到人眼对颜色信息十分敏感，比如人眼可以轻易地识别出机器人比赛中的灯柱，同理，可以让计算机去模仿人眼对颜色的辨别，将颜色特征用于 ROI 的提取算法中。

本文所述的机器人装甲检测程序在多种复杂比赛环境中，不需要调参即可获得稳定效果。在比赛过程中，利用工业相机每秒钟采集 150 张 640×480 的图像并送入到 I7-7700HQ 嵌入式处理器中，结合灯柱匹配以及 SVM 分类算法，每秒能够输出约 100 帧的检测结果。当操作员发出跟踪指令时，云台能立即摆动并对准相机前方的敌方机器人装甲。在整个比赛过程中，算法表现稳定出色。

2 HSV 颜色空间

HSV 是由 Alvy Ray Smith 在 1978 年根据颜色的直观特性创建的一种颜色空间。这种颜色空间在各种图像分析任务中多有应用，例如可以用来做肤色区域分割^[13]。HSV 颜色空间通过色度 H (hue)、饱和度 S (saturation) 和明度 V (value) 3 个分量对色彩进行描述^[14]。如图 2，色度 H 用角度度量，绕 V 轴旋转 360° 构成一个圆；饱和度 S 是一个比例值，取值从 0 到 1，当 S 为 0 时表现为无色^[10]；明度 V 表示像素的明亮程度，范围从 0 到 1。在 OPENCV 算法实现时， H 被量化为 0~180， V 和 S 均被量化为 0~255。这种颜色表示方式和孟塞尔表色模型非常接近，与人眼视觉对颜色信息的感受方式相同。鉴于人眼能够轻易地分辨出彩色灯柱，故选用这种颜色模型是有一定优越性的。HSV 颜色空间的 3 个分量具有相对独立性，而 H 和 S 分量受光照

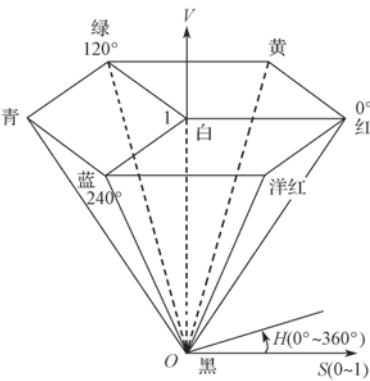


图 2 HSV 颜色空间模型

Fig. 2 HSV color space model

及阴影遮挡的影响很小，这也是选取 HSV 颜色空间对目标进行识别的原因之一^[15]。

将计算机常用的 RGB 模型转换为 HSV 模型有一定的计算量，因此对整幅图像进行转换不能满足系统设计的实时性要求；但是用来处理阈值分割和形状描述之后得到的伪 ROI，效果很好。在由 RGB 颜色空间向 HSV 颜色空间的转换中， r, g, b 分别是 RGB 颜色模型中一种颜色的色品坐标，色品坐标值是 0 到 1 之间的实数。式（1）和式（2）给出了从 RGB 模型的 $r/g/b$ 3 个值到 HSV 颜色空间中 $H/S/V$ 3 个值的转换方法^[16]，取

$$\left. \begin{aligned} C_{\max} &= \max(r, g, b) \\ C_{\min} &= \min(r, g, b) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

则

$$H = \left\{ \begin{aligned} &0^\circ, C_{\max} = C_{\min} \\ &60^\circ \times \frac{g-b}{C_{\max}-C_{\min}} + 0^\circ, C_{\max} = r, g \geq b \\ &60^\circ \times \frac{g-b}{C_{\max}-C_{\min}} + 360^\circ, C_{\max} = r, g < b \\ &60^\circ \times \frac{b-r}{C_{\max}-C_{\min}} + 120^\circ, C_{\max} = g \\ &60^\circ \times \frac{r-g}{C_{\max}-C_{\min}} + 240^\circ, C_{\max} = b \end{aligned} \right\} \quad (2)$$
$$S = \left\{ \begin{aligned} &0, C_{\max} = 0 \\ &1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}, \text{其他} \end{aligned} \right.$$
$$V = C_{\max}$$

式中： $H \in [0^\circ, 360^\circ]$ ； $S \in [0, 1]$ ； $V \in [0, 1]$ 。
色品坐标 r, g, b 可由式（3）计算得到^[17]：

$$\left. \begin{aligned} r &= R / (R + G + B) \\ g &= G / (R + G + B) \\ b &= B / (R + G + B) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中： R, G, B 分别表示一个像素在红色、绿色和蓝色 3 个通道的数值，取值范围一般为 0~255。

RGB 这 3 个通道的数值及对应的颜色在图 3 中有直观体现^[18]。式（2）中的 HSV 参数在 OPENCV 计算机视觉库中被归一化后，根据选用数据结构的精度进行量化。

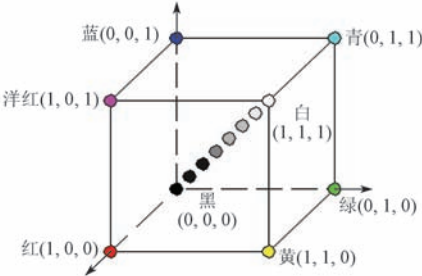


图 3 RGB 颜色模型
Fig. 3 RGB color model

3 ROI 提取算法描述

3.1 算法概述

基于 HSV 颜色空间的图像 ROI 提取算法如图 4 所示。首先，将 RGB 空间的原图（图 5）转化为灰度图像，经过阈值分割可以把图像中较暗的区域滤除。此过程中阈值之所以被设置得较低，是因为在复杂环境中灯柱亮度反映在图像中是在一定范围内变化的。通过矩形度和形状描述，筛选出符合矩形条状的轮廓；用这些轮廓的外接矩形作为掩模，可得图 6 所示的伪 ROI 图像，这时基本上保证伪 ROI 中的图像都为较亮的矩形条状或者具有类似的特征。

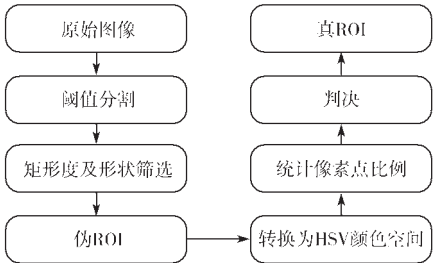


图 4 ROI 提取算法框图
Fig. 4 Flowchart of the ROI extraction algorithm



图 5 带蓝色装甲的移动机器人原图
Fig. 5 Original image of a moving robot with blue armors



图 6 矩形拟合所得伪 ROI 图像
Fig. 6 Pseudo ROI image after rectangle fitting

伪 ROI 已经大大减少了数据量，此时将 ROI 转换至 HSV 空间，提升了整套算法的速度；再结合 HSV 滤波的精度，实现了准确度和速度俱佳的 ROI 提取算法。整个算法流程如下所示。

输入：一张彩色图片
输出：彩色灯柱 ROI
当该帧不为空时：

（1）对灰度图阈值分割，设置阈值为 185，得到二值图

并寻找轮廓；

(2) 在二值图中提取轮廓，找出所有轮廓的最小包围矩形，计算轮廓面积和最小包围矩形面积；

(3) 在面积大于 200 且小于 5 000 的轮廓中，保留轮廓面积与最小包围矩形面积比值(矩形成度)大于 0.5 且旋转矩形长宽比大于 1.67 的轮廓；

(4) 在面积小于 200 的轮廓中，保留面积大于 30(确认不是噪点)、旋转矩形长宽比符合要求的轮廓，与第(3)步不同的是，这里对长宽比要求更高，阈值为 3 以上；

(5) 根据第(3)步和第(4)步所得轮廓，绘制垂直包围矩形并扩大，使其包含大部分光晕，根据垂直矩形获取原图子图，并转换为 HSV 空间；

(6) 统计每个子图中 HSV 及 RGB 参数符合条件的像素数量，若该矩形中符合条件的像素占整个区域的比例达到 30%，则判定为蓝色灯柱目标。

当该帧为空时：继续采集下一帧图像。

返回彩色灯柱 ROI

整个系统中，灯柱检测和左右灯柱匹配为主要耗时部分。在实际应用中，为使单片机稳定地输出电机控制信号，需要视觉识别算法的处理速度达到 50 FPS (frames per second) 以上。采用该方法检测灯柱的帧率可以达到 110 FPS 以上。在 ROI 框定之后，用于模式识别的数据量已经很小，且采用 SVM 分类耗时不长，视觉处理系统能够为单片机提供较高帧率，从而保证电机控制的连续性和稳定性。

3.2 算法详述

3.2.1 伪 ROI 获取

把二值图轮廓分为面积在 [30, 200] 和 [200, 5 000] 两种，对轮廓画出最小包围矩形。对于较大面积轮廓，计算轮廓面积为 S_1 ，最小包围矩形的面积为 S_2 ，那么轮廓矩形成度被定义为 $R=S_1/S_2$ 。如果 $R>0.5$ ，并且长宽比大于 1.67，则认为形状符合要求。对于较小面积(640×480 图像中面积小于 200)的轮廓，要求最小包围矩形长宽比在 [1/3, 3] 范围内。因为当目标距离较远时，形状特性已经不明显，只需要轮廓为条状即可。将获得的轮廓保存在轮廓数据结构中，用 OPENCV 中的工具画出 boundingRect，将矩形框按轮廓比例稍微扩大，使矩形框充分包括光晕，得到图 6 中所示区域。

3.2.2 HSV 滤波

根据式(2)，将图 6 中伪 ROI 转换为 HSV 颜色空间图像，如图 7 所示。区域内同时满足以下条件的像素点可判断为蓝色：

- (1) RGB 空间中， $R(x,y)<150$;
- (2) $H(x,y)\in[100, 124]$;
- (3) $S(x,y)\in[150, 255]$;

(4) $V(x,y)\in[100, 255]$ 。



图 7 伪 ROI 转换为 HSV 颜色空间
Fig.7 Pseudo ROI transformed to HSV color space

将矩形框和满足条件的像素点画出，得到如图 8 所示的判别结果。筛选像素所用的 HSV 颜色模型参数可以由表 1 及多次试验获得，表中红色占两列，这表明红色像素的色度值占据两个区间。由图 8 可以看出这种颜色判别方法的效果：4 个属于蓝色灯柱的矩形框中有很多蓝色像素被判别正确，而非蓝色灯光轮廓的包围矩形中几乎没有被判定为蓝色的像素点。



图 8 颜色像素值判别结果
Fig.8 Result of the color pixel value judgement

表 1 HSV 颜色空间颜色参数列表
Tab. 1 List of the parameters in HSV color space

	黑	灰	白	红	红	橙	黄	绿	青	蓝	紫
H_{min}	0	0	0	0	156	11	26	35	78	100	125
H_{max}	180	180	180	10	180	25	34	77	99	124	155
S_{min}	0	0	0	43	43	43	43	43	43	43	43
S_{max}	255	43	30	255	255	255	255	255	255	255	255
V_{min}	0	46	221	46	46	46	46	46	46	46	46
V_{max}	46	220	255	255	255	255	255	255	255	255	255

4 实验结果及分析

为验证本文所提算法的有效性和可行性，选择实验平台 Intel I7-6700HQ 和操作系统 Ubuntu 16.04，采用 C++ 和 OPENCV 实现算法。选取该平台对 640×480 像素的 1 000 张 RoboMaster 机器人大赛图片进行处理，平均运行速度为 102.33 帧/s，灯柱平均识别率为 97.4%(识别到灯柱数占组图中总灯柱数的比例)。图 9 示出其中一幅图片的检测效果，蓝色灯柱都被检测到，并用红色框示出。图中每个框的角度、长宽及中心点位置都被储存在用 C++ 语言定义的旋转矩形类当中。黄色框线框出的是高亮度条状物体，即前面所说的伪

ROI; 在黄色框线区域内部如果有红色框线, 表明此 ROI 为符合算法要求的 ROI。任意输入一幅符合格式要求的图像, 该算法会自动画出黄框和红框, 即能得到符合要求的灯柱位置及形状信息。测试结果表明, 本文所提算法能够为 STM32 单片机实时提供大量目标的角度及坐标信息, 结合云台控制算法, 可实时跟踪打击移动机器人。

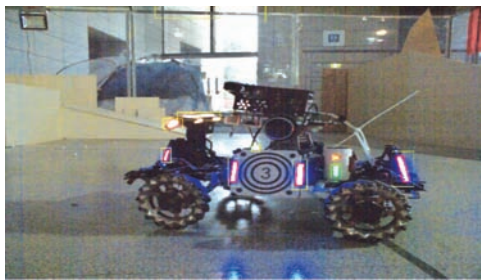


图9 检测效果
Fig.9 Result of the detection

5 结语

本文提出了一种基于视觉目标亮度特征、轮廓形状特征和颜色特征的 ROI 提取算法, 用于识别图像中的彩色灯柱, 以此作为机器人装甲识别的基础; 结合阈值分割和形状描述得到伪 ROI, 减少了数据量; 利用 HSV 颜色空间快速而准确地判定颜色, 解决了灯柱本身表现为亮白色而只有周围的光晕表现为彩色所带来的检测困难。实验和实际应用结果表明, 本文所提算法鲁棒性强、准确性高、速度快, 依此很好地完成了机器人比赛中实时跟踪装甲目标的任务。

该方法在比赛应用中能成功的原因, 一方面在于其从多个角度准确地描述了目标的特征; 另一方面是其将算法中计算量大的部分(例如从 RGB 颜色空间到 HSV 颜色空间的转换等)放在算法靠后的部分, 这时只需处理图像中少量的感兴趣区域, 从而提高了算法的效率。这种结合亮度、形状和颜色的描述对于非目标图像要求很严苛, 而对于机器人在移动过程中产生的不同目标子图的要求却很宽松。本方法利用 HSV 颜色空间去除亮度与颜色之间相关性的优点, 对于颜色和形状特征结合后与背景有明显差别的特征提取具有很好的参考价值。在后续的研究中, 将进一步

提高算法运行速度, 同时克服背景干扰及噪声对算法产生的影响。

参考文献:

- [1] 高文, 朱明, 贺柏根, 等. 目标跟踪技术综述 [J]. 中国光学, 2014, 7(3): 365-375.
- [2] 雷琳, 李智勇, 粟毅. 基于 ROI 特征匹配融合的图像多目标跟踪算法 [J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(3): 580-585.
- [3] 张鹏, 王润生. 静态图像中的感兴趣区域检测技术 [J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(2): 142-148.
- [4] 李琦, 崔建江, 薛定宇, 等. 一种手背静脉感兴趣区域提取算法 [J]. 系统仿真学报, 2019, 31(10): 2174-2180.
- [5] 陈高攀, 徐美华, 王琪, 等. 一种基于单目视觉的前方车辆检测算法 [J]. 上海大学学报 (自然科学版), 2019, 25(1): 56-65.
- [6] PARK J S, HONG K S. A study on the stress-index estimation using face image[C]//Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2016 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). Jeju Island, 2016: 45-47.
- [7] 古新展, 陈文天, 战跃福. 模糊 C 均值聚类算法在肺部 CT 图像感兴趣区域特征提取中的临床应用研究 [J]. 中国医学装备, 2019, 16(2): 20-22.
- [8] XIAO Y N, LI J Y. Crack detection algorithm based on the fusion of percolation theory and adaptive canny operator[C]//IEEE Computer Society. Proceedings of the 37th Chinese Control Conference (CCC). Wuhan, 2018: 4295-4299.
- [9] 张青, 邹湘军, 林桂潮, 等. 草莓重量和形状图像特征提取与在线分级方法 [J]. 系统仿真学报, 2019, 31(1): 7-15.
- [10] 冯运发, 王新彦, 余银海, 等. 基于 HALCON 软件与 HSV 模型的树木检测算法研究 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47(6): 188-192.
- [11] XIA Y Q, CHENG L H, LI W L, et al. A region of interest extraction approach based on adaptive threshold in intelligent transportation system[C]//IEEE Computer Society. 2009 Asia-Pacific Conference on Information Processing. Shenzhen, 2009: 120-123.
- [12] 郝蓓, 杨大利, 侯凌燕, 等. 一种基于快速图像增强的生产线倒瓶检测方法 [J]. 北京信息科技大学学报 (自然科学版), 2017, 32(5): 39-44.
- [13] 崔昌华, 朱敏琛. 基于肤色 HSV 颜色模型下的人脸实时检测与跟踪 [J]. 福州大学学报 (自然科学版), 2006, 34(6): 826-830.
- [14] 马玲, 张晓辉. HSV 颜色空间的饱和度与明度关系模型 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2014, 26(8): 1272-1278.
- [15] 兰红, 胡涵. 结合 HSV 空间的改进二维 Otsu 免疫组化图像分割 [J]. 计算机应用与软件, 2016, 33(5): 200-203.
- [16] 袁奋杰, 周晓, 丁军, 等. 基于 FPGA 的 RGB 和 HSV 色空间转换算法实现 [J]. 电子器件, 2010, 33(4): 493-497.
- [17] 耿庆田, 于繁华, 赵宏伟, 等. 基于颜色特征的火焰检测新算法 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2014, 44(6): 1787-1792.
- [18] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital Image Processing (Third Edition) [M]. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008.