

结合颜色属性的分层结构直方图

岳晨晨¹, 侯志强¹, 余旺盛², 马素刚¹

1. 西安邮电大学计算机学院, 陕西 西安 710121; 2. 空军工程大学信息与导航学院, 陕西 西安 710077

摘要: **目的** 为克服单一颜色特征易受光照变化影响, 以及图像的空间结构特征对目标形变较为敏感等问题, 提出一种结合颜色属性的分层结构直方图。**方法** 首先, 鉴于使用像素灰度值对图像进行分层易受光照变化影响, 本文基于颜色属性对图像进行分层, 即将输入的彩色图像从 RGB 空间映射到颜色属性空间, 得到 11 种概率分层图; 之后, 将图像中的每一个像素只投影到其概率值最大的分层中, 使得各分层之间像素的交集为空, 并集为整幅图像; 对处理后的每一个分层, 通过定义的结构图元来统计其像素分布情况, 得到每一分层的空间分布信息; 最后, 将每一分层的像素空间分布信息串联作为输入图像的分层结构直方图, 以此来表征图像。**结果** 为证明本文特征的有效性, 将该特征用于图像匹配和视觉跟踪, 与参考特征相比, 利用本文特征进行图像匹配时, 峰值旁瓣比均值提升 1.347 9; 将本文特征用于视觉跟踪时, 采用粒子滤波作为跟踪框架, 成功率相对上升 4%, 精度相对上升 4.6%。**结论** 该特征将图像的颜色特征和空间结构信息结合, 有效的解决了单一特征分辨性较差问题, 与参考特征相比该特征具有更强的分辨性和鲁棒性, 因此本文特征可以更好地应用于图像处理应用中。

关键字: 图像匹配; 视觉跟踪; 颜色属性; 空间结构信息; 分层结构直方图

Hierarchical structure histogram combined with color name

Yue Chen Chen¹, Hou Zhi Qiang¹, Yu Wang Sheng², Ma Su Gang¹

1.College of Computer Science and Technology, Xian university of post and telecommunication, Xi'an 710121 China; 2.Information and navigation Institute of Air Force Engineering University, Xi'an 710077,China

Abstract: Objective The extraction of image feature plays a very import role in the field of visual tracking and is an essential component for image matching and other image processing applications. At the same time, different image description methods can affect the performance of the algorithm directly. In recent years, domestic and foreign researchers have proposed numerous image features, which can be divided into two classes as follows: 1) deep features, based on deep learning, has obtained successful effect, but it needs a large number of data to train the model and has a great demand on the experimental platform, which has some restrictions on its applications to a great extent. 2) traditional manual features, which can be performed on any existing platform with simple and intuitive. Besides, it has fulfilled remarkable results in image processing too, including SIFT(Scale-invariant feature transform), HOG(Histogram of Oriented Gradient) and CN (Color Name), etc. So it is very essential and necessary to further study manual features. Nevertheless, it is difficult to improve the performance of the algorithm only depending on a single feature. In this paper, a hierarchical structure histogram combined with color name is proposed in order to overcome the problem that a single color feature is so susceptible to illumination changes that lead to poor robustness, and that the spatial structure of the image is sensitive to the deformation of the target which will pull down the distinguishability of feature. **Method** Aimed at the disadvantages that pixel gray value is susceptible to the layered image with the illumination change, an improved method that according to color name to layer image is proposed in this work. Firstly, it project original RGB color space to a more robust color space-color name(CN) space, and object are represented by a probabilistic 11 dimensional map, which means the input image is stratified to 11 layers based on color name. Then, each pixel in the image is projected into

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61703423, 61473309)

第一作者简介: 岳晨晨 (1996 年—), 女, 西安邮电大学计算机学院学术硕士研究生, 主要方向为计算机视觉与图像处理。E-mail:felicitychen1023@163.com

Supported by : National Natural Science Foundation of China(61703423, 61473309)

the layer with the highest probability, so that the pixels intersect with each other to be empty, and are integrated into the whole image. That is to say, each pixel can only be projected into one layer. Furthermore, for the every hierarchical image, it calculates the distribution of pixels on every dimension by counting the number of pixels in each square of structure image element, then gets the spatial distribution information of pixels. Finally, the pixel spatial information of each slice is connected in series as the hierarchical histogram to represent the image. **Result** In order to prove the validity and strong distinguishability of the proposed feature, two experiments have been carried out in this paper. The first one is image matching, whose strategy is that there are an extant model, then the position of the matched image is determined by exhaustively traversing the original image. The data set of image matching comes from PASCAL VOC2007(Visual Object Classes), which contain various classes of object(e.g., person, bird, car, dog and so on). When calling this data set, only the target pointed by the first Ground Truth of each image is used. The other one is visual tracking, whose tracking frame adopts particle filter and the number of particles is 200. This experiment is evaluated on 100 sequences of Object Tracking Benchmark(OTB100), which mainly contains 11 challenges(e.g., out-of-plane rotation, scale variation, illumination variation and so on) that may be encountered in object tracking. All the experiments in this paper are run on the windows platform and the development environment is MATLAB. We compare this feature against other 4 traditional manual features and the experimental results show that image matching based on this features can locate the target more accurately, distinguish similar targets well and the peak value of the target is the most obvious, in the meantime the mean value of peak-to-side lobe ratio increases by 1.347 9. Moreover, object tracking based on it can reduce the center location error of tracking significantly and improve accuracy and success rate momentarily, meanwhile the success rate rises by 4% and the accuracy goes up by 4.6%. **Conclusion** Hierarchical structure histogram based on pixel gray value is easily affected by illumination and target rotation changes. So, in this paper, we adopt a new method to layer image to gain robust feature. The proposed feature combines color name features with spatial information of pixels in image to improve the capability of feature to adapt to various scenes, such as illumination changes, deformation, and low resolution, which effectively enhances the poor discrimination of single feature and makes it more robust in image matching and object tracking, especially for the objects with the same color distribution but different spatial distribution of pixels. In addition, this feature remains the representation of traditional histogram features, which making computation and similarity measurement simpler. Compared with other 4 traditional manual features, this feature exhibits better image matching performance and visual tracking result in most cases. Therefore, this feature can be better applied to image processing applications. However, this feature in the research process remains deficiencies, which does not consider the problem of target scale change in the visual tracking process. In the follow-up work, we will further optimize the feature to obtain enhanced generalization capabilities in visual tracking and remain applicable to other image processing applications simultaneously.

Key words: image matching; visual tracking; color name; spatial information; hierarchical structure histogram

0 引言

在图像处理领域, 图像特征是表达图像信息的有效方式, 不同特征会直接影响图像处理算法的性能^[1]。传统颜色特征是一种全局特征, 通过统计目标整体颜色分布之后, 将其归一化成直方图的形式来表征目标, 该特征用于目标跟踪^[2]中, 具有快速、对目标形变鲁棒等优点, 但其易随着光照、阴影等环境的变化降低其分辨性。边缘特征^[3]是图像的重要特征, 通常可以区分目标与背景, 常用的提取图像边缘特征的方式有 Prewitt 算子、Sobel 算子和

Canny 算子等。纹理特征^[4]体现了物体表面具有渐变性的表面结构排列属性, 较边缘特征而言, 该特征分辨性强且不易随着图像灰度值变化而变化, 但其不能完全表达出目标的本质特性, Ojala 等人^[5]提出的局部二值模式(LBP)是一种经常使用的图像纹理特征。上述特征均只利用图像的颜色信息或空间结构信息, 仅利用这种特征很难提高图像处理算法的性能^[6]。

为了将图像的颜色信息和空间结构信息进行结合, 余旺盛等人^[7]提出图像的分层结构直方图, 该特征将图像按其灰度值的大小进行分层, 之后通过结构图元来统计每一分层的像素分布情况, 最后

将每一层的统计结果串联为整幅图像的特征表示。该方法有效的增强了图像特征的分辨性，使其在图像匹配和目标跟踪中具有更强的鲁棒性，但该特征仅根据图像灰度值进行分层，将其用于图像处理时易受到光照变化的影响。颜色属性^[8] (CN) 是通过学习大量手工标记带有自然颜色信息的图像，确定出 11 种最稳定的基本颜色来表示我们所看到的各种颜色，可以有效的改善由于光照、阴影和视角变换等因素造成的观测颜色失真现象^[9]，比原始观测的 RGB 颜色具有更好的鲁棒性。

针对基于图像灰度值的分层结构直方图存在的问题，本文提出一种基于颜色属性的分层结构直方图。首先将图像从 RGB 空间映射到 CN 空间，得到 11 种基本颜色分层^[10]，再通过文献[7]中定义的结构图元来统计每一分层的像素空间分布情况，最后将每一层的统计结果串联为整幅图像的特征表示。实验结果表明，本文特征较参考特征而言，用于图像匹配时，所得目标峰值最明显；用于视觉跟踪时，可以显著提高跟踪的准确率和成功率。

1 分层结构直方图

图像的分层结构直方图是指将图像按照不同规则划分为不同的图层，之后再统计各个分层中的像素空间分布情况。例如，文献[7]中提出的图像的分层结构直方图是根据像素的灰度值对图像进行分层，以 32 为像素值的跨度，将灰度图像分为 8 层；对于彩色图像，首先将其从 RGB 空间转化到 HSI 空间，之后将 *H* 通道分为 8 层，将 *S* 和 *I* 通道分别分为 4 层。其第 *k* 个分层 g_k 表示如公式 1 所示。

$$g_k = \{(x, y) | 8 \times (k-1) \leq I(x, y) \leq 8 \times k - 1\} \quad (1)$$

其中， $I(x, y)$ 表示 (x, y) 点处的灰度值，

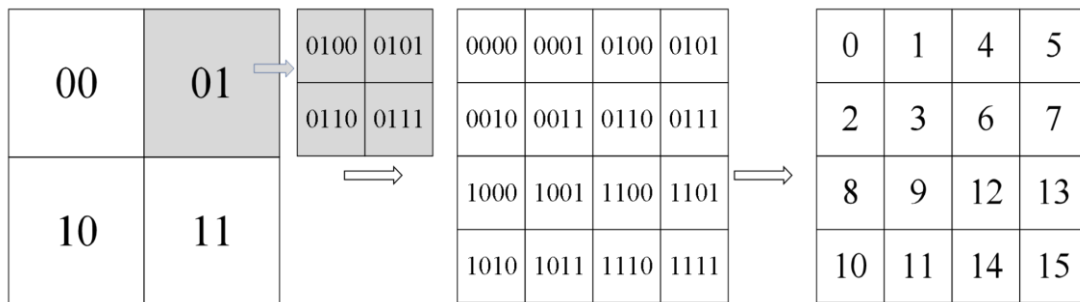


图 1 结构图元设计过程

$k = (1, 2, \dots, 8)$ 表示图像的第几分层。

在得到图像的各个分层之后，用“1”标记属于该分层的像素，用“0”标记不属于该分层的像素。最后利用结构图元来统计各个分层中元素“1”对应的像素分布情况。

为了使设计的结构图元达到统计像素空间分布情况的目的，首先将结构图元划分为上下左右对称的 4 个区域，根据“0”“1”编码规则，上半部分标为“0”，下半部分标为“1”，左半部分标为“0”，右半部分标为“1”，得到编码为“00”，“01”，“10”，“11”四个区域。图 1 中灰色区域为将“01”区域按照同样的编码规则作进一步划分的示意图。以边长为 4 的结构图元为例，将结构图元划分为 4×4 的区域，最终将所得到的 16 个二进制编码数字转化为十进制。如图 1 所示。

以大小为 12×12 的某一分层图像为例，利用结构图元统计其像素空间分布情况时，首先将该分层图像划分为 4×4 大小的区域（如图 2 中红色框所示），再将其与结构图元重合，统计每一个小区域中标记为“1”的元素（如图 2 中的黑色区域）个数，最终得到属于该分层的直方图。如图 2 所示，图中黑色区域为属于这一分层中的像素，图中的实线箭头指向结构图元中的第 6 个小区域所统计出的像素个数，其值为 1。对输入图像的每一个分层图像都执行此操作，最终将每一分层的直方图串联为整幅图像的分层结构直方图。

分层结构直方图是通过将图像根据像素的灰度值进行分层并利用结构图元统计每一层像素的空间分布信息，同时考虑像素的颜色分布和空间分布信息，因此在应用于图像匹配和目标跟踪时比传统颜色特征更加具有分辨性。

Fig.1 Design process for structure image element

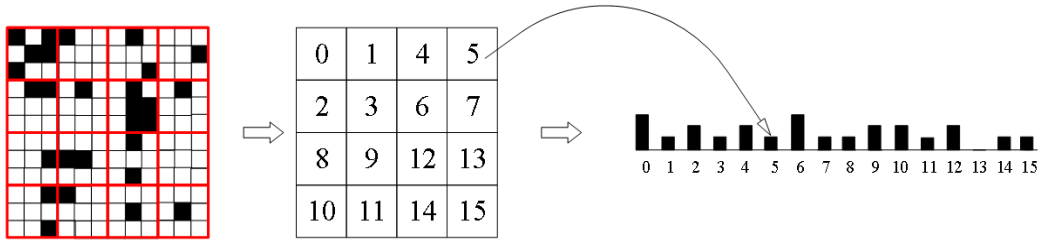


图2 提取分层图像像素空间分布信息

Fig.2 Extracting pixel spatial distribution information of layered image

2 基于CN的分层结构直方图

基于 CN 的分层结构直方图，是指首先将原始彩色图像从 RGB 颜色空间映射到 CN 空间，建立观察到的各种颜色与潜在基本颜色之间的概率关系，即根据颜色属性特征对图像进行分层，之后再分别统计这 11 种分层图中像素对应的空间分布信息，充分利用图像的颜色信息和空间结构信息来表征图像。本文采用文献[7]提到的结构图元来描述像素的空间分布情况。

2.1 基于 CN 的图像分层获取

颜色属性空间是一种基于潜在语义模型的特殊颜色空间，包括黑色、蓝色、棕色、灰色、绿色、橘色、粉色、紫色、红色、白色、黄色 11 种语义颜色标签^[11]。通过将输入图像从 RGB 空间映射到 CN 空间来建立观测到的颜色和本质颜色之间的映射关系，适应光照等变化造成的颜色失真，以此改善原始 RGB 颜色的鲁棒性^[12]，实现图像特征的鲁棒表示。从数学角度而言，颜色属性特征可以定义为：对于输入的原始彩色图像 F ，将其某一位置 x 处的像素值 $F(x)$ 映射到 CN 空间，得到一个 11 维的概率特征向量 I ，如公式 (2) 所示。

$$I = \{p(n_1|F), p(n_2|F), \dots, p(n_{11}|F)\} \quad (2)$$

$$p(n_i|F) = \frac{1}{N} \sum_{x \in F} p(n_i|F(x)) \quad (3)$$

其中， $n_i (i=1,2,\dots,11)$ 表示第 i 个颜色属性标签， x 表示该图像中像素的坐标， N 表示输入图像 F 中的像素总个数， $p(n_i|F(x))$ 表示 x 点处像素属于第 i 个颜色标签的概率值。

如图 3 所示，可以清楚的看到通过将 RGB 图像映射到 CN 空间之后，不同目标在不同的颜色分层中具有不同的清晰度。例如，原图中穿绿色球衣的运动员在绿色分层（图 3(f)）中清晰可见，且该分层中几乎只有穿绿色球衣运动员信息。通过这种映射，可以更加准确的定位到目标。因此，利用颜色属性对图像进行分层，可以有效的将目标从背景中区分出来，更快速对目标进行描述，显著的提高图像特征的分辨性以及鲁棒性。传统颜色直方图在应用于图像处理领域时易受相似背景的影响，而颜色属性特征可以很好的解决这个问题。

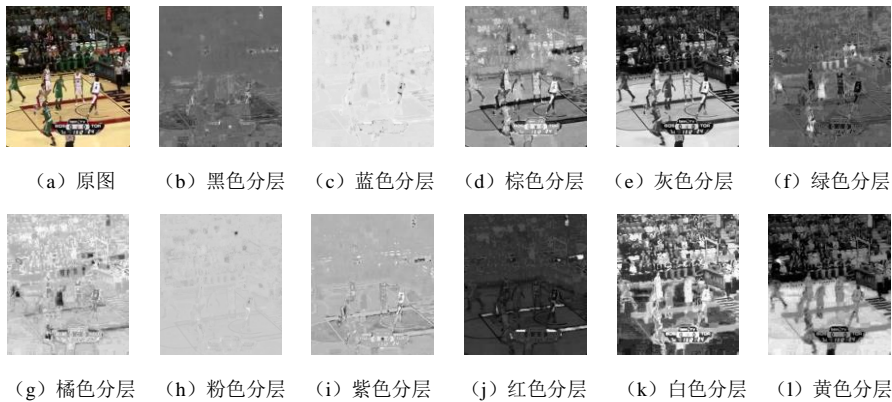


图3 CN 特征概率图

Fig.3 CN feature probabilistic map

(a) Original image;(b)~(l) are probabilistic maps of 11 different colors, and color are in order (b) black; (c) blue; (d) brown; (e) gray; (f) green; (g) orange; (h) pink; (i) purple; (j) red; (k) white; (l) yellow)

2.2 分层结构直方图计算

为更好的表达本文特征的提取思路，以某一像素点为例进行详细说明。如图 4 所示，图中红色方块表示彩色图像的某一像素，通过将彩色图像从 RGB 空间映射到 CN 空间，该像素值映射为 11 维的概率值，表示该像素所属 11 种基本颜色的概率，其概率值如表 1 所示。之后，将该像素只投影到其概率值最大的分层，即 0.48 对应的绿色分层。对彩色图像的每一个像素进行同样处理，使得 11 维概率特征图之间的像素交集为空，并集为整幅图像。之后，将该绿色分层中有像素存在的位置标记为“1”，其余地方标记为“0”，并将该特征层与结构图元重叠，统计该特征分层图像中元素“1”对应的直方图。利用结构图元统计分层图像的像素分布情况的过程同图 2 所示。对每一分层进行同样的操作，最后将每一分层得到的直方图串联为整幅彩色图像的分层结构直方图。

基于颜色属性的分层结构直方图通过将输入图像映射到 CN 空间和利用结构图元进行空间信息统计，有效的将图像的 CN 特征与像素的空间分布

信息进行结合，对于像素颜色分布相同、但空间分布不同的图像具有更强的分辨能力。

3 实验结果与分析

本文提出的基于颜色属性的分层结构直方图（记为 CNF）具有非常广泛的应用范围，为验证其强分辨性和鲁棒性，将其用于图像匹配和视觉跟踪中。本文实验所采用的对比特征为传统颜色直方图（记为 RGB）、HSV 特征、文献[7]中提出的计算灰度图像的分层结构直方图（记为 HSH_{gray}）以及该文中提出的计算彩色图像的分层结构直方图算法（记为 HSH_{color}）。本文对大量图片、视频序列进行了测试，并选取几组具有代表性的图片和视频序列作为

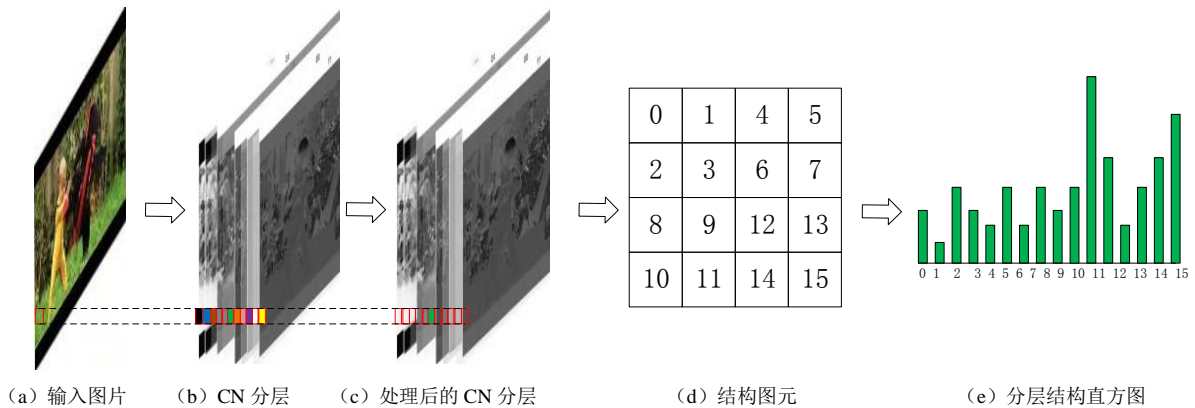


图 4 特征提取过程

Fig.4 Feature extraction process((a)input image; (b)layer image based on CN; (c)processed after layer image; (d)structure image element; (e)hierarchical histogram)

表 1 某一像素所属 11 种语义标签的概率值

Table 1 The probability value of 11 semantic labels of a pixel

颜色	黑色	蓝色	棕色	灰色	绿色	橘色	粉色	紫色	红色	白色	黄色
概率值	0.01	0.04	0.01	0.04	0.48	0.16	0.07	0.1	0.05	0.03	0.01

实验结果进行展示。

3.1 图像匹配

实验思路为：已知模板图像，通过穷举遍历原

图像的方式确定待匹配图像在原图像中的位置。实验图片均来自 VOC2007 数据集，在进行实验时，均只取每张图片的第一个 Ground Truth 所指向的目

标进行匹配。

1) 定性分析

图 5 所示为本文特征应用于图像匹配时取得的相似性分布图。比较可知，RGB 特征和 HSV 特征在匹配时所得目标区域峰值不清晰，不利于目标匹配。HSH_{gray} 较 RGB 特征有显著改善，但周围相似背景对其影响仍然较大。HSH_{color} 特征的效果有明显改进。与上述特征比较，本文特征是对输入的彩色图像根据颜色属性进行特征分层并统计了每一分层的像素空间信息，有效的将像素的颜色信息和结构信息结合起来，从图 5 中可以看出本文提出的 CNF 特征在图像匹配中所得目标处的峰值最为明显、且使得周围干扰因素最少，取得的效果最佳。

2) 定量分析

为对图像匹配结果进行定量分析，采用 Liu 等人^[13]提出的峰值旁瓣比（PSR）度量指标来评估本文特征在应用于图像匹配时的性能。其计算公式如下：

$$PSR = \frac{\max(\mathbf{S}) - \mu(\mathbf{S})}{\sigma(\mathbf{S})} \quad (4)$$

其中， \mathbf{S} 表示目标的响应矩阵， $\max(\mathbf{S})$ 表示矩阵的最大值、 $\mu(\mathbf{S})$ 表示矩阵所有元素的均值、 $\sigma(\mathbf{S})$ 表示矩阵所有元素的均方差。本文通过计算实验图片的 PSR 均值来度量该特征的性能。

通过表 2 可以看出，与 RGB 特征和 HSV 特征相比，HSH_{color} 和 HSH_{gray} 特征的 PSR 均值明显提高，其峰值相对较为明显，本文特征 CNF 较参考特征而言取得的 PSR 均值最大，在目标处峰值最高，且周围干扰因素最少，匹配结果最佳。

表 2 PSR 均值比较

Table2 Comparison of PSR mean value

测试图片来源	RGB	HSV	HSH _{color}	HSH _{gray}	CNF
VOC 数据集	2.633 1	2.572 5	<u>3.374 6</u>	3.270 5	4.722 5

注：每张图片匹配对应的最优算法标为黑体，次优算法标为下划

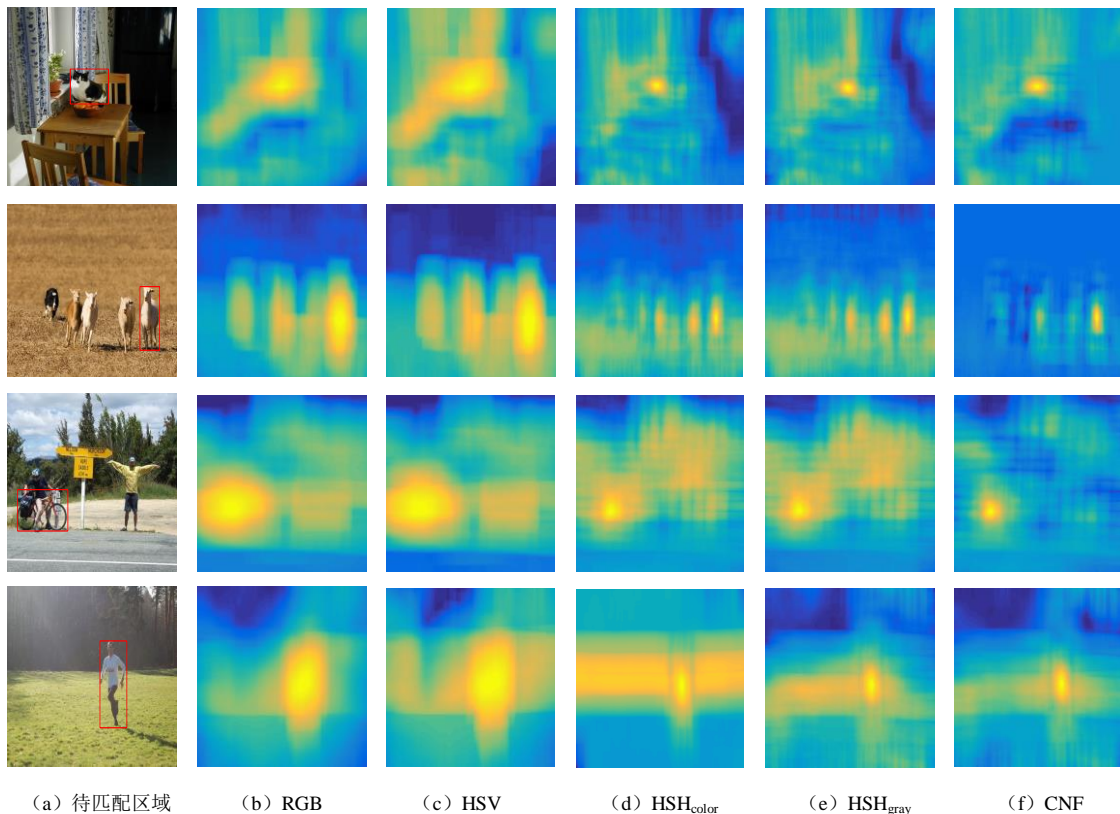


图5 图像匹配实验结果

Fig.5 Experimental results of image matching

((a)Original image; (b-f) are image matching result, in which features are in order (b) RGB; (c) HSV; (d) HSH_{color}; (e) HSH_{gray}; (f) CNF)

3.2 视觉跟踪

为了验证本文算法提出的特征对目标具有很强的表达能力，将本文特征用于视觉跟踪中。实验思路为：采用粒子滤波算法作为跟踪框架，用本文提出的基于CN的分层结构直方图特征对所跟踪的目标进行描述，以此来证明其有效性与鲁棒性，跟踪时粒子数目统一设为200。本文在粒子滤波跟踪框架下进行了大量视觉跟踪实验，并选取了部分视频序列作为结果展示。实验中所采用的视频序列均来自OTB100数据库^[14]。

1) 定性分析

图6所示为4组视频序列进行跟踪后的实验结果。其中，图(a)为“Bolt”视频序列，该视频共350帧，跟踪目标为参加跑步比赛的运动员。该视频难点是存在较多颜色分布与目标相似的区域，对于该类视频，CNF特征具有较强鲁棒性，因为本文特征不仅考虑了颜色信息，还统计了像素的空间结构信息。图(b)为“David3”视频序列，该视频共252帧，跟踪目标为行走中的人。该视频难点在于目标存在多次遮挡、背景复杂，且在跟踪过程中目标姿态发生变化。从该图中不难发现，在第159帧目标姿态发生变化时，RGB、HSH_{color}特征均已

跟丢目标，在第241帧，目标被部分遮挡时，HSH_{gray}、HSH_{color}特征均跟丢目标。在整个视频跟踪序列中CNF较其他参考特征取得最好结果。图

(c)为“Gym”视频序列，该视频共767帧，跟踪目标为体操运动员。该视频难点在于目标形体发生较大变化且目标自身在旋转变化。与其他4种参考特征相比，CNF特征取得效果最为理想。图(d)为“MountainBike”视频序列，该视频共228帧，跟踪目标为山地车。由实验结果图可看出，在第187帧中，HSV、HSH_{color}和HSH_{gray}均已跟丢目标，在后续视频帧中，CNF和RGB取得不错的实验结果。

2) 定量分析

本文利用中心位置误差(CLE)指标来衡量跟踪性能。该指标是通过计算跟踪结果的中心位置与目标真实位置之间的误差来衡量跟踪性能，该值越小，表示跟踪的精度越高，性能越好^[15]。其中表3表示部分视频序列的平均中心位置误差值。

本文特征应用到视觉跟踪中与其他4种参考特征相比，中心位置误差始终较低。实验数据表明，本文提出的基于颜色属性的分层结构直方图，针对颜色和结构复杂的目标具有更加准确的跟踪结果，比单一的颜色特征而言，跟踪性能有明显改善。

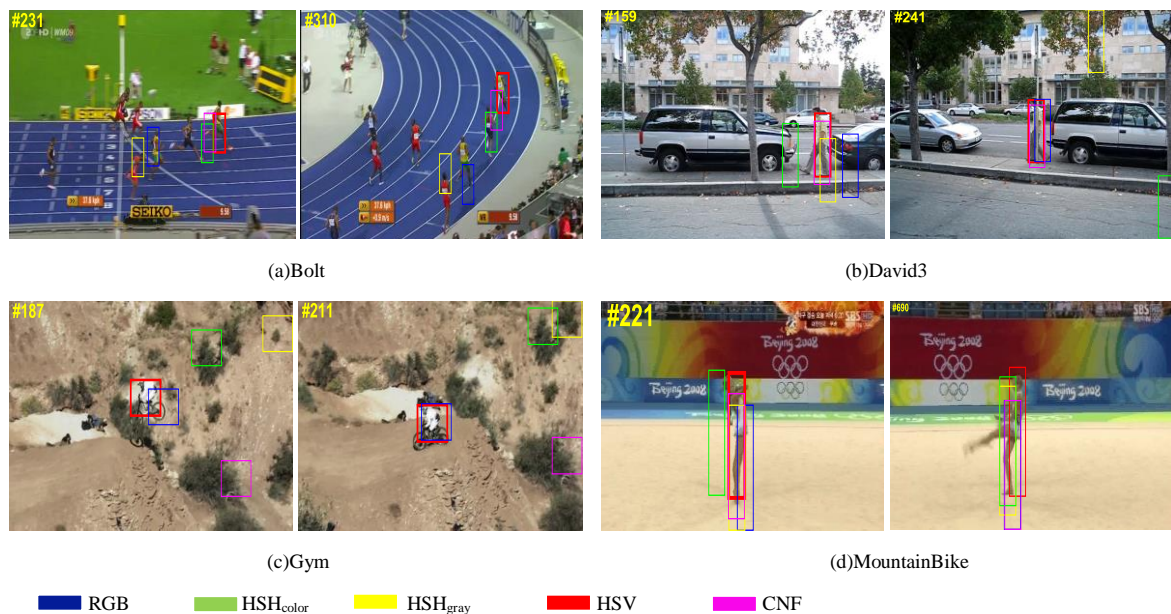


图6 视觉跟踪实验结果

Fig.6 Visual tracking experiment results((a) Bolt; (b) David3; (c) Gym; (4) MountainBike)

表3 中心位置误差比较

Table3 Comparison of center position error

名称	RGB	HSV	HSH _{color}	HSH _{gray}	CNF
Bolt	122.643 9	16.220 1	<u>25.470 8</u>	90.115 6	11.734 3
David3	17.004 4	<u>16.916 3</u>	93.082 0	62.038 2	7.034 5
Gym	18.948 7	15.641 5	<u>11.108 2</u>	17.837 6	8.390 3
MountainBike	91.846 3	208.888 1	<u>68.632 7</u>	124.370 2	9.614 5

注：每个视频序列对应的最优算法标为黑体，次优算法标为下划线。

为进一步对本文特征在视觉跟踪中产生的结果进行评价，选用了 OTB100 视频组对跟踪性能进行整体评判，且采用跟踪成功率和精度 2 个流行的度量指标进行定量分析。

图 7 表示 5 种特征对于 OTB100 视频组的整体成功率曲线和精度曲线。从图 7 可以看出，与 HSH_{gray} 特征相比，本文特征在精度方面提高了

4.6%，在成功率方面提高了 4%。不论是在精度还是在成功率方面，本文特征都呈现出良好的跟踪性能。本文特征在用于视觉跟踪时，是基于粒子滤波框架来验证其鲁棒性和分辨性的，并未考虑与当下流行的其他跟踪算法在成功率和精度方面进行比较。

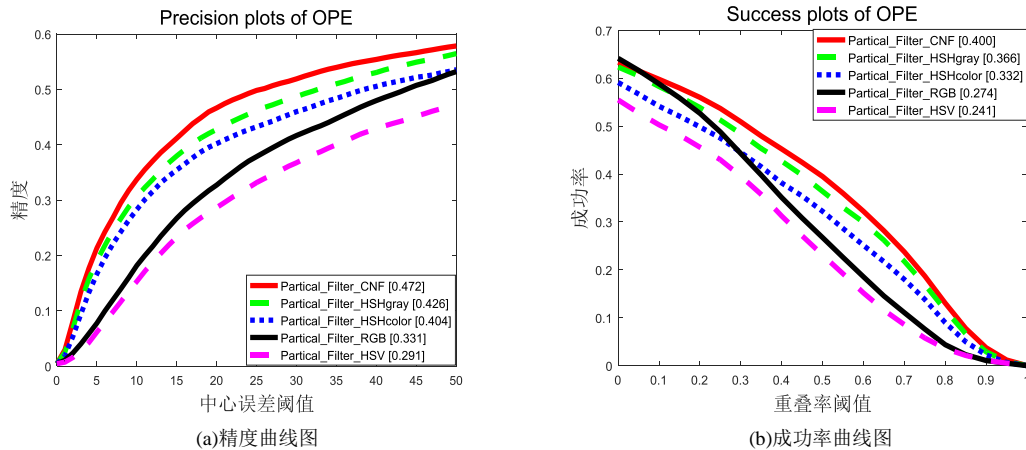


图 7 精度曲线和成功率曲线

Fig.7 Pprecision and success plots((a)Precision plot; (b)Success plot)

4 结论

虽然基于深度学习的图像特征在图像处理中^[16]取得了很大的成功，但其需借助大量的数据集进行预先训练，且需要借助于专门的硬件平台，在很大程度上对其应用有一定的限制。传统手工特征的提取可以在任何现有的平台上进行，特征形式简单、直观，且在图像应用中取得不错的效果。例如，Martin Danelljan 等人^[17]在 2016 年提出的 ECO(Efficient Convolution Operators for Tracking)算法，该文中利用传统手工特征 HOG 与 CN 的结合来描述图像，用于视觉跟踪时取得非常成功的效果。因此，研究传统手工特征仍然是非常有意

义^[18]。本文提出一种基于颜色属性的分层结构直方图，将颜色属性和像素的空间分布信息有效结合，发挥颜色属性特征和像素空间信息的优点，实现图像特征的鲁棒表示，达到提高图像处理算法性能的目的。将本文特征应用于图像匹配和视觉跟踪中，实验结果表明，该特征较常用的手工特征而言分辨性和鲁棒性更优，在用于图像匹配时所得的相似性分布图的峰值更加清晰；用于视觉跟踪时明显降低了中心定位误差值。但本文特征并未解决尺度变化问题，在后续工作中，我们将进一步优化该特征，并研究该特征在其他领域的应用。

参考文献

[1] Nikolova I. Performance Analysis of Robust Image Features Detection Algorithms[J]. Information

Technologies & Control, 2014, 11(3):2-15.

[2] Possegger H, Mauthner T, Bischof H. In defense of color-based model-free tracking[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2015:2113-2120.

[3] Qiu Y C, Zhang Y Y, Liu C M. Vehical shadow removal with multi-feature fusion [J]. journal of image and graphics, 2015,20(3):311-319.[邱一川, 张亚英, 刘春梅. 多特征融合的车辆阴影消除[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(3):311-319.]

[4] Hu M, Jiang H, Wang X H, et al. A hierarchical classification method of expressions based on geometric and texture features[J].acta electronica sinica, 2017, 45(1):164-172.[胡敏,江河,王晓华,等. 基于几何和纹理特征的表情层级分类方法[J]. 电子学报, 2017, 45(1):164-172.]

[5] Ojala T, Pietikainen M, Maenpaa T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2000, 24(7):971-987.

[6] Yu W S, Tian X H,Hou Z Q. A new image feature descriptor based on region edge statistical [J].Chinese Journal of Computers, 2014, 37(6):1398-1410.[余旺盛, 田孝华, 侯志强. 基于区域边缘统计的图像特征描述新方法 [J]. 计算机学报, 2014, 37(6):1398-1410.]

[7] Yu W S, Li W H, Hou Z Q. Hierarchical structure histogram and its application[J].acta electronica sinica,2017,45(11):2617-262.[余旺盛, 李卫华, 侯志强. 分层结构直方图及其应用[J]. 电子学报, 2017, 45(11):2617-2624.]

[8] Weijer J V D, Schmid C, Verbeek J, et al. Learning color names for real-world applications[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(7):1512-1523.

[9] Danelljan M, Khan F S, Felsberg M, et al. Adaptive Color Attributes for Real-Time Visual Tracking[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2014:1090-1097.

[10] Bagdanov A D. Color attributes for object detection[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2012:3306-3313.

[12] Bi D Y, Ku T, Zha Y F, et al. Scale-adaptive Object Tracking Based on color names histogram[J]. Journal of electronics & information technology, 2016,38(5):1099-1106. 毕笃彦, 库涛, 查宇飞,等. 基于颜色属性直方图的尺度目标跟踪算法研究[J]. 电子与信息学报, 2016, 38(5):1099-1106.

[13] Liu T, Wang G, Yang Q. Real-time part-based visual tracking via adaptive correlation filters[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2015:4902-4912.

[14] Wu Y, Lim J, Yang M H. Object Tracking Benchmark[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2015, 37(9):1834-1848.

[15] Ning J, Zhang L, Zhang D, et al. Robust mean-shift tracking with corrected background-weighted histogram[J]. Iet Computer Vision, 2012, 6(1):62-69.

[16] Zhao F, Huang Y, Wang L, et al. Deep semantic ranking based hashing for multi-label image retrieval[C]// Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2015:1556-1564.

[17] Danelljan M, Bhat G, Khan F S, et al. ECO: Efficient Convolution Operators for Tracking[C]// Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2016:6931-6939.

[18] Bhat G, Johnander J, Danelljan M, et al. Unveiling the Power of Deep Tracking [J]. arXiv preprint arXiv:1804.06833, 2018.



作者简介:

岳晨晨, 1996年生, 女, 西安邮电大学计算机学院硕士研究生, 主要研究方向为图像处理和目标跟踪。E_mail: felicitychen1023@163.com



侯志强, 通信作者, 1973年生, 男, 西安邮电大学计算机学院教授, 主要研究方向为图像处理、计算机视觉和

信息融合。E_mail: hzq@xupt.edu.cn