

文章编号 1004-924X(2013)09-2395-10

不同局部邻域划分加速鲁棒特征描述符的性能分析

翟 优*, 曾 恋, 熊 伟

(装备学院 重点实验室, 北京 101416)

摘要:研究了加速鲁棒特征(SURF)描述符的局部邻域划分方法,以降低该描述符的维数,提升基于 SURF 的图像匹配算法的匹配速度和鲁棒性。参考尺度不变特征变换(SIFT)描述符和 SURF 描述符已有的各种邻域划分方式,将 SURF 描述符的局部邻域分为栅格状(原 SURF 划分方式)、三角形和扇形进行分析。首先,分析了图像的尺度和旋转变化对这 3 种邻域划分方式描述符匹配性能的影响;然后,提出了构建三角形划分和扇形划分 SURF 描述符的方法;最后,进行了匹配实验,对 8 种不同划分方式的 SURF 描述符进行了比较。结果表明:扇形划分 SURF 描述符的性能要优于三角形划分和栅格划分 SURF 描述符,其中 6 扇区、8 扇区、12 扇区及三角形划分的 SURF 描述符的性能均比 SURF 描述符有一定程度的提升,描述符的维数与原 SURF 描述符(64 维)相比分别低了 40 维、32 维、16 维和 32 维。

关键词:图像处理;图像匹配;加速鲁棒特征描述符;尺度不变特征变换描述符

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20132109.2395

Performance analysis of SURF descriptor with different local region partitions

ZHAI You*, ZENG Luan, XIONG Wei

(Key Laboratory, Academy of Equipment, Beijing 101416, China)

* Corresponding author, E-mail: youyou1952@sina.com

Abstract: Several local region partition methods for Speeded Up Robust Features (SURF) descriptors were researched to reduce their dimensions and increase the matching speeds and robustnesses of SURF based matching algorithms. With reference to existing local region partition methods of Scale Invariant Feature Transform (SIFT) and SURF descriptors, the local regions were divided into grids (original SURF), triangles, and sectors. First, the influences of scale change and rotation of the image on the matching performance of SURF descriptors were analyzed. Then, a method to construct the SURF descriptors with local region partitions in triangles and sectors were proposed, and matching experiments were performed. The SURF descriptors with different local region partitions were compared. The experiment results show that the performance of the sector partition based SURF descriptor is better than those of triangle partition and grid partition (original SURF) based SURF descriptors. The performance of SURF descriptors with 6-sector partition, 8-sector partition, 12-sector partition and triangle partition is better than that of original one, and the dimensions of these new descriptors are 40, 32, 16 and 32 lower than that of original SURF (64 dimensions).

Key words: image processing; image matching; Speeded Up Robust Feature(SURF) descriptor; Scale Invariant Feature Transform (SIFT) descriptor

收稿日期:2013-03-05;修订日期:2013-04-24.

基金项目:总装备部试验技术研究项目(No. 2009SY4110005)

1 引 言

尺度不变特征变换(SIFT)匹配算法和加速鲁棒特征(SURF)匹配算法是两种经典的不变特征匹配算法,因具有非常好的适应性,这两种方法在图像匹配、目标识别等方面获得了广泛的应用^[1-4]。不变特征匹配方法分为两部分:特征检测算子和特征描述符,其中特征检测算子用于检测特征点,特征描述符用于描述不变特征,进行图像匹配。SIFT算法的检测算子是DOG检测算子,描述符是SIFT描述符,SURF算法的特征检测算子是FastHessian检测算子,描述符是SURF描述符。

SIFT算法所提取的特征不仅对图像缩放、平移和旋转变换具有不变性,而且对光照变化以及仿射和投影变换也具有部分不变性^[5-6]。SIFT描述符采用正方形特征邻域,正方形邻域中心为特征点,邻域被划分成 4×4 个栅格。在每个栅格内统计8方向梯度方向直方图,形成 $4 \times 4 \times 8 = 128$ 维的描述符。该算法的缺点是特征提取和描述符构建复杂度大,描述符的维数高,导致SIFT算法的实时性能较差。针对存在的上述问题,许多人从降低描述符维数和计算复杂度两个方面对SIFT描述符进行了改进。文献[7]在 41×41 的正方形邻域内构建描述符,并通过主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)降低描述符的维数,该方法与SIFT相比,描述符维数较低,但是性能较差。文献[8]和文献[9]采用略有不同的log-polar邻域构建描述符,分别形成了128维和72维的描述符,实验结果表明这种邻域划分方式虽然提升了描述符的性能,但是邻域划分方式较为复杂。文献[10]和文献[11]简化了Log-polar划分方式,并提出了扇形区域分割的SIFT描述符,分别采用8扇区和6扇区构建SIFT描述符,分别形成64维和48维描述符,实验结果表明这种邻域划分方式可以有效降低描述符的维数,同时描述符的性能得到了有效的保持。文献[12]认为关键点中心区域的像素最为稳定,采用了变化的栅格划分方式,构建了新的描述符,取消了高斯加权操作,加快了描述符构建速度,但维数并没有降低,此外描述符的划分方式复杂。

Bay于2006年提出并于2008年完善了

SURF算法。借鉴了SIFT算法简化近似的思想,该方法将DoH(Determinant of Hessian)中的高斯二阶微分模板进行了简化,并采用积分图像的概念,使得模板对图像的滤波只需要进行几个简单的加减法,采用Haar小波而不是梯度分布构建了64维描述符^[13-14]。文献[15]和文献[16]的描述符对SURF算法进行了简化,提升了运算速度,但是描述符不具备旋转不变性。文献[17]的实验结果表明,SURF与SIFT相比具有相似的性能,但是计算复杂度大大降低。SURF描述符同样采用栅格划分的方式,在每个栅格内统计 x 、 y 方向的Haar小波响应及Haar小波响应绝对值,形成 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 维的描述符。SURF描述符相比于SIFT描述符有两方面的改进:一是采用积分图像计算Haar小波响应,极大提高了描述符的构建速度;二是采用的描述符维数为SIFT的一半,匹配速度更快。

综上可知SIFT类描述符的特征邻域主要分为两种:正方形邻域和圆形邻域。根据正方形邻域和圆形邻域划分方式的不同又可分为:栅格状划分、扇形划分、log-polar划分等。此外正方形邻域的划分方式还有可能是三角形划分,这种划分方式与扇形划分相似。SURF描述符的改进较少,特征邻域以正方形栅格划分为主,这是由两方面原因造成的:一是由于SURF描述符提出较晚,二是由于SURF描述符的性能较好和运算速度较快。那么是否有可能进一步降低SURF描述符维数以提升其运算速度呢?从SIFT和SURF描述符的关系来看,这是可能的,因为SURF描述符与SIFT描述符的构建思路相同:二者均需要特征点的位置、尺度和主方向信息作为输入参数,首先将与尺度参数相关的特征邻域划分为 4×4 的栅格,将栅格与主方向对准,然后在每一个栅格上分别计算描述信息(SURF采用Haar小波响应,SIFT采用8方向的灰度梯度)构建描述符,最后对描述向量进行归一化,分别生成64维SURF描述符和128维的SIFT描述符。因为SIFT和SURF描述符具有很强的相似性,因此推测可以将对SIFT关于特征邻域的改进运用于SURF描述符。

本文首先对栅格划分方式、三角形划分方式以及扇形划分方式进行比较分析,然后采用各种邻域划分方式分别构建相应的SURF描述符,最

后通过实验验证了本文思路的可行性。提出了基于扇形区域划分和基于三角形区域划分的 SURF 描述符。

2 邻域划分方式分析

2.1 栅格划分方式分析

不同视点拍摄的图像存在着平移、旋转、尺度、光照以及部分视点变化,其中旋转、尺度和视点变化给图像匹配带来了较大困难,图像视点变化主要与特征邻域的大小有关,一般较大的特征邻域视点变化的性能较好。因为本文探讨的是特征邻域的划分方式,故不考虑视点变化。本节主要分析了当图像发生尺度和旋转变化的时候,采用不同邻域划分方式时描述符的性能是如何变化的。

如图 1 所示为几种常见的正方形邻域栅格划分方式,包括 2×2 、 3×3 以及 4×4 栅格划分。下面以 4×4 栅格划分方式为例进行分析, 3×3 栅格划分方式与之类似。

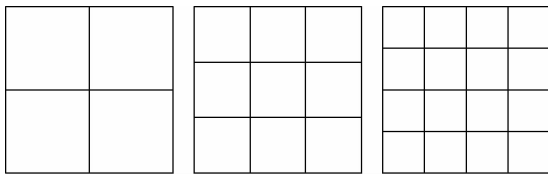


图 1 常见的栅格划分

Fig. 1 Different grid partition methods

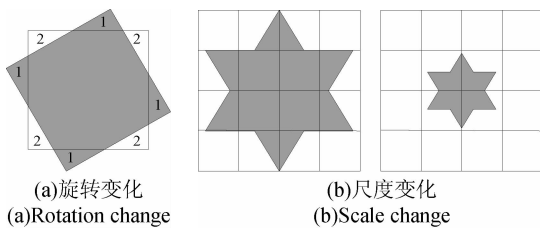


图 2 旋转和尺度变化时栅格划分的改变

Fig. 2 Square region grid partition with rotation and scale changes

如图 2(a) 所示为图像存在旋转变化的情形,由图 2(a) 可知旋转前后正方形邻域的覆盖图像区域是不同的,子区域 1 和子区域 2 为误差像素。因为旋转变化的时候产生误差像素,误差像素使得匹配特征点邻域的灰度信息发生改变,以此为邻域构建的匹配描述符之间的相似性降低,从

而使得正方形邻域描述符的匹配性能下降。虽然可以将描述符的特征邻域归一化到主方向上,理论上旋转前后特征邻域所覆盖区域相同,但是由于透视畸变会产生非平面旋转误差导致特征邻域覆盖区域的变化,此外还由于数字图像存在量化误差导致主方向定位不精确,即使特征邻域到归一化主方向上,二者也不会严格一致,从而产生误差像素。

图 2(b) 为图像发生尺度变化时邻域变化的情形,可知如果存在超过 2 倍的尺度变化,外围栅格就不能够覆盖目标,使得待匹配描述符之间的外围栅格像素不一致,从而导致描述符匹配性能下降。

可见,当图像发生旋转和尺度变化后,基于正方形邻域栅格划分方式的描述符的旋转不变性和尺度不变性均会有一定程度的下降。

2.2 三角形划分方式分析

正方形邻域还可以划分为如图 3 所示的 8 个三角形。这种划分方式存在正方形邻域固有缺点:当图像旋转时描述符的性能下降。但是由于这种划分方式的每个子区域是相同的,均与特征邻域中心点连通,当图像发生尺度变化时,采用三角形划分方式,不论尺度如何变化,每个三角形子区域总会覆盖目标。这种特性使得图像发生尺度变化时,可以在一定程度上保持描述符的性能,延缓因尺度变化导致描述符性能的下降。

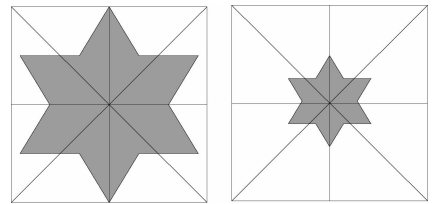


图 3 尺度变化时三角形划分的改变

Fig. 3 Square region triangle partition with scale changes

可见,当图像发生旋转和尺度变化后,基于正方形邻域三角形划分方式的描述符可以保持尺度不变性,但是描述符的旋转不变性会有一定程度的下降。

2.3 扇形划分方式分析

圆形邻域扇形划分一般包括 4 扇区,6 扇区以及 8 扇区划分等,下面以 8 扇区划分为例进行简要介绍,关于扇形划分方式特性的详细分析参

见文献[10]。当图像存在旋转变化时,圆形邻域覆盖区域是相同的,不会产生误差像素,从而可以在一定程度上保持描述符的性能。此外一旦给圆形邻域指定一个起点,以该点与圆心的连线为起始,将圆形邻域均匀划分为扇形,然后构建描述符,将各扇区的描述符分量按照起点处为第一扇区逆时针进行排列,在进行匹配时即可实现旋转不变性,这是因为旋转后的图像与旋转之前进行了对准。采用圆形邻域时,这一操作可以通过将圆形邻域归一化到特征点的主方向上来实现,即将特征邻域内像素点与图像水平方向的夹角减去该特征点主方向与该水平方向的夹角来实现,这减少了因旋转位置栅格带来的计算量,如图所示 4(a)所示,详细分析参见文献[10]。当图像发生尺度变化时,与正方形邻域三角形划分方式的效果是一致的,可以保持描述符的尺度不变性。如图 4(b)所示。

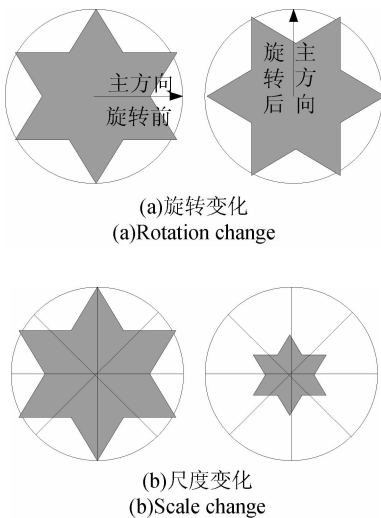


图 4 旋转和尺度变化时扇形划分的改变

Fig. 4 Circle region sector partitions with rotation and scale changes

可见,当图像发生旋转和尺度变化后,基于圆形邻域扇形划分方式的描述符可以同时保持尺度不变性和旋转不变性,并且减少了旋转操作带来的计算量,在一定程度上可以提高描述符的性能。

综上,栅格划分 SURF 描述符在匹配图像之间存在尺度和旋转变化时,其性能得不到保持;三角形划分 SURF 描述符在匹配图像仅存在尺度变化时,其性能能够得到较好的保持,旋

转变化时其性能将会下降;而扇形划分 SURF 描述符的性能在这两种变化下均能够得到较好的保持。因此可以推断,扇形划分 SURF 描述符的性能要优于三角形划分 SURF 描述符,而三角形划分 SURF 描述符的性能要优于栅格划分 SURF 描述符。

3 改进 SURF 的描述符构建方法

标准 SURF 描述符采用正方形邻域栅格划分方式,因此构建栅格划分 SURF 描述符的方法参见 SURF 原文献[13-14],在此不再赘述。根据第 2 节的分析可知,构建三角形和扇形划分 SURF 描述符的性能应该优于原 SURF 描述符(栅格划分 SURF),按照该思路,本文构建了三角形划分 SURF 描述符和扇形划分 SURF 描述符,下面详细介绍这两种描述符的构建方法。

3.1 三角形划分 SURF 描述符构建方法

三角形划分 SURF 描述符是本文提出的描述符之一,下面详述该描述符的构建方式。

第一,以特征点为中心取边长为 $20s$ (s 为尺度因子)的正方形邻域(原 SURF 描述符的邻域大小),在该邻域上建立局部坐标系,根据坐标系的 x 轴和 y 轴,特征邻域划分为 $2 \times 2 = 4$ 个子区域,如图 5 所示 Grid1-Grid4。

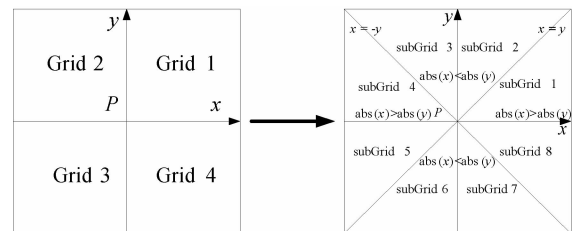


图 5 正方形邻域分为 8 个三角形区域

Fig. 5 Square region with 8 triangle partitions

第二,根据其每一个子区域内像素点 x 坐标与 y 坐标绝对值的大小关系将每一个子区域(Grid 1-Grid 4)进一步划分为相等的两个三角形,如图 5 所示。在子区域 1 中如果 $\text{abs}(x) > \text{abs}(y)$,则其属于子区域 subGrid 1,否则属于 subGrid 2,与此类似可以将 Grid 2 划分为 subGrid 3-subGrid 4,将 Grid 3 划分为 subGrid 5-subGrid 6,将 Grid 4 划分为 subGrid 7-subGrid 8。

第三,将特征邻域局部坐标系与主方向对齐,即将上述划分好的特征邻域旋转至该特征点的主方向,在每个三角形区域内计算相对于主方向及其垂直方向的 Haar 小波响应,分别记做 dx 和 dy ,并用高斯函数进行加权,然后分别统计 Haar 小波响应的累加值及其绝对值的累加值,每个区域形成 4 维向量 $(\sum dx, \sum dy, \sum |dx|, \sum |dy|)$,8 个区域共形成 32 维描述符。

第四,为了更好地处理边缘效应,防止因边缘突变而引起的描述符的不平滑过渡,将给定 subGrid 的 Haar 小波响应值,按权重进行分配至与像素点角度最邻近的 subGrid 内。以 subGrid 1 的 Haar 小波响应为例,如下式(1)所示,其中, $d_{subGrid1}$ 表示为 subGrid 1 内未加权的 Haar 小波响应, $d_{subGrid1_nearest}$ 表示与 subGrid 1 内对应像素点夹角最小扇区的 Haar 小波响应, d_1 表示加权后的 subGrid 1 内的 Haar 小波响应,其中加权系数 0.75 和 0.25 是通过实验得到的经验值。

$$d_1 = d_{subGrid1} \times 0.75 + d_{subGrid1_nearest} \times 0.25. \tag{1}$$

第五,将 32 维描述符进行归一化,以增强描述符对于光照变化的鲁棒性,描述符归一化方法与原 SURF 描述符相同。

3.2 扇形划分 SURF 描述符构建方法

一般圆形邻域可以划分为 4 扇区、6 扇区、8 扇区等不同形式,而构建这些扇形划分 SURF 描述符的方法相似,下面以如何构建 8 扇区 SURF 描述符为例,说明如何构建扇形区域划分的 SURF 描述符,基于圆形区域进行扇形邻域的划分方法详见文献[10]。

第一,取以特征点为中心的半径为 $10s$ 的圆形邻域,之后以特征点的主方向为起点,根据圆形邻域内像素点与主方向的夹角,间隔 45° 为一个扇区进行划分,即可得到 8 扇区划分,如图 6 所示。采用以主方向为起点划分扇形邻域,避免了因旋转像素位置栅格所带来的计算量,将乘法操作转换为简单的加法操作,提升了旋转操作的速度。

第二,计算每个扇形内沿主方向 x 方向及与主方向垂直的 y 方向的 Haar 小波响应 dx 和 dy ,统计 Haar 小波变换的累加值及其绝对值的累加值。每个子区域形成 4 维向量 $(\sum dx, \sum dy,$

$\sum |dx|, \sum |dy|)$,8 个子区域形成 32 维描述符。

第三,将每个扇区的 Haar 小波响应值与其邻近扇区的 Haar 小波响应值进行加权,防止因边缘突变而引起的描述符的不平滑过渡,按照下式(2)进行计算,其中 $angle$ 表示邻域内某像素点与其所在扇区中线的夹角, d 表示扇区内未加权的 Haar 小波响应, $d_{nearest}$ 表示最邻近扇区的 Haar 小波响应, n 表示扇区的数目。

$$d_{weightet} = \left(1 - \frac{angle}{2 \times (\pi/n)}\right) \times d + \frac{angle}{2 \times (\pi/n)} \times d_{nearest}. \tag{2}$$

第四,将 32 维描述符进行归一化,以增强描述符对于光照变化的鲁棒性,描述符归一化方法与原 SURF 描述符相同。

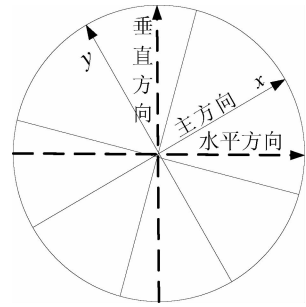


图 6 根据主方向划分扇形
Fig. 6 Circle region sector partion

4 实 验

为了对不同邻域划分方式 SURF 描述符的匹配性能进行比较,设计实验。实验中测试图片均为标准测试图像,如图 7 所示。图 7(a)所示实验图片存在 2~2.5 倍的缩放和 $30^\circ \sim 45^\circ$ 的旋转;图 7(b)存在一定模糊;图 7(c)存在明显的光照变化;图 7(d)存在 $40^\circ \sim 60^\circ$ 的视角变化。

基于开源的 SURF 算法源码(OpenSURF),按照上述方法分别构建了不同邻域划分方式的 SURF 算法,所有描述符的输入均为原 OpenSURF 程序所提取特征点的位置、主方向和尺度,即所有描述符的输入是相同的。文中对 3 种不同类别邻域的 8 种不同划分方式的 SURF 描述符进行比较,各种描述符的详细描述如表 1 所示,其中描述符维数最低的为 16 维,最高为 64 维(原

SURF 描述符)。

实验中所采用的评价描述符性能的标准是 1-Precision-Recall 曲线,这也是进行描述符研究时通常采用的评价标准^[7,8]。其中, Precision 和 Recall 的定义如式(3)和式(4)所示。Precision 表示正确率,即准确性。Recall 表示查全率,即完整性。1-precision 表示错误率,因此在错误率一定时 Recall 值越大,表明描述符的性能越好。本文采用该方法衡量描述符的匹配性能。实验中采用最邻近匹配策略,为了得到 1-Precision-Recall 曲线需要不断调整最邻近匹配策略的阈值。



(a) 旋转和尺度变化
(a) Rotation and scale changes



(b) 模糊变化
(b) Image blur



(c) 光照变化
(c) Illumination changes



(d) 视角变化
(d) Perspective changes

图 7 测试图片

Fig. 7 Testing images

表 1 不同邻域划分方式的 SURF 描述符

Tab. 1 SURF descriptors with different local region partition methods

| 邻域划分方式 | 描述符说明 |
|----------|--|
| | 2×2-grid-SURF-16; 2×2 栅格 SURF 描述符, 维数 16 |
| 正方形栅格划分 | 3×3-grid-SURF-36; 3×3 栅格 SURF 描述符, 维数 36 |
| | 4×4-grid-SURF-64; 4×4 栅格 SURF 描述符, 维数 64 |
| 正方形三角形划分 | triangle-SURF-32; 8 三角形 SURF 描述符, 维数 32 |
| | 4-sector-SURF-16; 4 扇区 SURF 描述符, 维数 16 |
| | 6-sector-SURF-24; 6 扇区 SURF 描述符, 维数 24 |
| 圆形扇形划分 | 8-sector-SURF-32; 8 扇区 SURF 描述符, 维数 32 |
| | 12-sector-SURF-48; 12 扇区 SURF 描述符, 维数 48 |

$$Precision =$$

$$\frac{\text{number of correct - positives}}{\text{total number of matches (correct or false)}}, \quad (3)$$

$$Recall = \frac{\text{number of correct - positives}}{\text{total number of correspondences}}. \quad (4)$$

图 8 所示为测试图像存在尺度和旋转变化时的匹配结果。由该图可知, 6 扇区、8 扇区、12 扇区及三角形划分 SURF 描述符的性能接近, 好于其它几种 SURF 描述符。当错误率低于 0.4 时, 8 扇区及 12 扇区描述符性能较好, 略好于三角形划分描述符, 好于 4×4 栅格划分描述符。随着错误率的增大, 6 扇区描述符性能提升明显, 三角形划分描述符性能也有一定提升。最后, 随着错误率的进一步增加, 6 扇区描述符的性能最好, 其次是 8 扇区、12 扇区及三角形划分的 SURF 描述符, 而 4 扇区、2×2 栅格及 3×3 栅格描述符的性能一直较低。

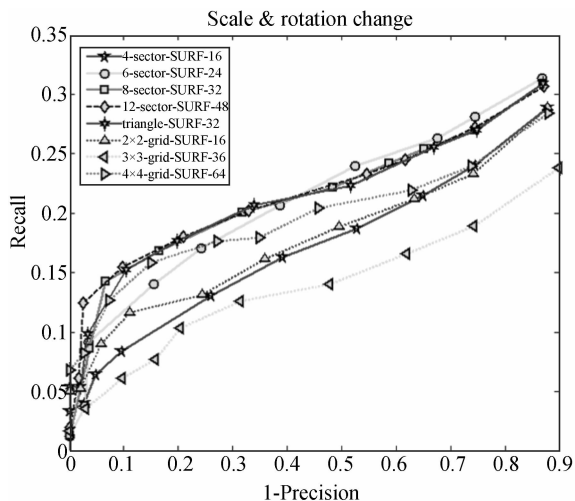


图 8 尺度和旋转变化的实验结果

Fig. 8 Results with rotation and scale changes

将 8 扇区描述符、三角形划分描述符及栅格划分描述符实验结果进行比较可知,扇形区域划分的描述符在描述符维数接近时性能更好,其次是三角形划分的描述符,这与前面第二节的邻域划分方式分析的结论是一致的。

将 4 种不同扇区划分方式的描述符进行比较可知,描述符的性能与描述符的维数相关。一般描述符的维数较高时,描述符的性能较好。但是由于数字图像具有离散特性,不可能无限增大扇区的划分数目,在扇区数目达到 8 时进一步将扇区划分为 12 扇区,描述符的性能并没有提升,反而因描述符维数的增大而增加了匹配时间。错误率较高时,描述符的性能好,这表示描述符的鲁棒性更好。考虑到 6 扇区维数仅为 24,低于 8 扇区的 32 维及 12 扇区的 48 维,因此,认为这 4 种扇区划分方式中 6 扇区的性能最好。由于数字图像的角度被量化为 8 个方向(每 45°),6 扇区划分将圆周划分为 6 份(每 60°),每个扇区内包含的像素数目更多,且分布较均匀。而 12 扇区划分(每 30°)的每个扇区内像素数目较少,并且分布不均。在错误率较低时,像素数目较少,且分布不均的影响并不大,但是,随着错误率的增大,描述符的性能就会受到很大的影响。

将 3 种不同的栅格划分方式的描述符进行比较可知,描述符的性能同样与维数相关。4×4 栅格描述符的维数最高,其性能最好。但是 3×3 栅

格描述符性能比 2×2 栅格描述符低,这与描述符维数越高,描述符性能越好的论断看似相悖,其实不然。因为 3×3 栅格描述符的 20s 的边长是按照 7s+7s+6s 方式划分的,这将导致所划分栅格不均匀,而其余 2 种栅格划分是均匀划分,所以其性能较差。综上可知,当图像存在尺度和旋转变化时,在描述符维数相近的情况下,扇形划分要优于三角形划分和栅格划分。

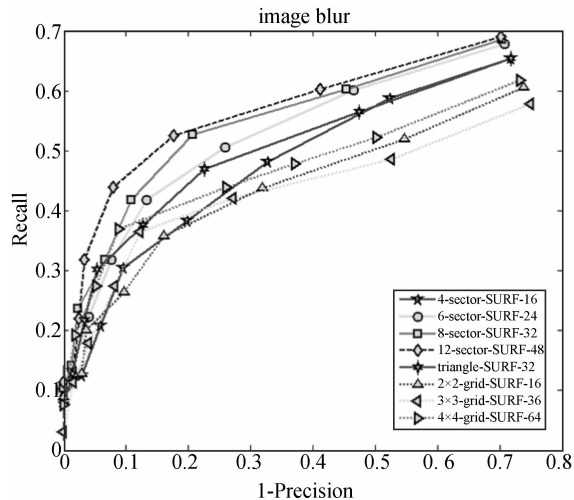


图 9 模糊畸变的实验结果

Fig. 9 Results with image blur

图 9 所示为测试图像存在一定模糊畸变时的匹配结果。由该图可知,12 扇区描述符性能最好,然后是 8 扇区描述符、6 扇区描述符及三角形描述符。由图 9 可知,在错误率较低时,6 扇区描述符性能低于 8 扇区描述符,但是随着错误率的增加,6 扇区描述符的性能有所提升,但仍略低于 8 扇区描述符。同样在错误率较低时,4 扇区描述符性能较三角形划分描述符有一定差距,但是随着错误率的增加,4 扇区描述符的性能逐渐与三角形描述符相当。在错误率低于 0.3 时,2×2 栅格划分描述符性能最低,当错误率高于 0.3 时,3×3 栅格划分描述符的性能最低。

将 8 扇区描述符、三角形划分描述符及栅格划分描述符比较可知,扇形区域划分的描述符性能更好,其次是三角形划分的描述符,这与前面第二节的邻域划分方式分析结论是一致的。

将 4 种不同扇区划分方式的描述符进行比较

可知,描述符的性能与描述符的维数相关。描述符的维数较高时,描述符的性能较好。将 3 种不同栅格划分方式的描述符进行比较可知,描述符的性能同样与维数相关。 4×4 栅格描述符维数最高,其性能最好。综上可知,在图像存在尺度和旋转变换时,在描述符维数相近的情况下,扇形划分要优于三角形划分和栅格划分。

图 10 为测试图像存在明显光照变化时的匹配结果。由图 10 可知,各个描述符的性能变化曲线与图 9 基本一致。扇形区域划分描述符的性能要好于三角形划分和栅格划分的描述符。

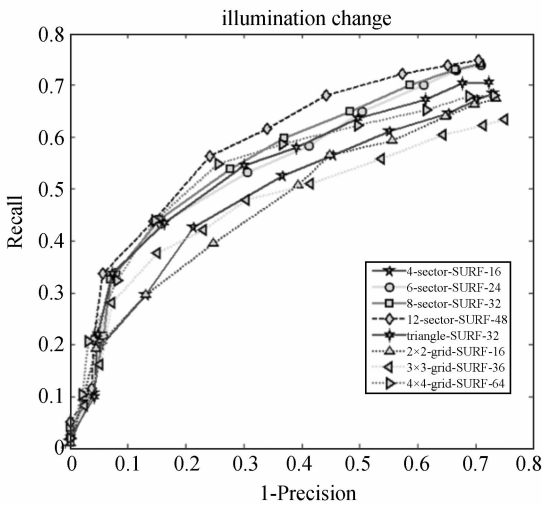


图 10 光照变化的实验结果

Fig. 10 Results with illumination changes

图 11 为测试图像存在较大视角变化时的匹配结果。由图 11 可知扇形区域划分描述符的性能要好于三角形划分和栅格划分的描述符。错误率高于 0.6 时,8 扇区描述符的性能最好,优于 12 扇区描述符的性能,这与数字图像的量化效应有关。各个描述符的性能变化曲线与之前实验结果类似。

以上对标准测试图片的实验结果表明:扇形区域划分可以应用于 SURF 描述符;扇形区域划分 SURF 描述符的性能要好于三角形划分及栅

格划分;在描述符特征邻域一定时,提升描述符的维数可以在一定程度上提升描述符的性能。因标准测试图片具备一定代表性,属于描述符性能评价时通常采用的实验图片集合,因此以上结论对于描述符的研究具有一定的指导意义。

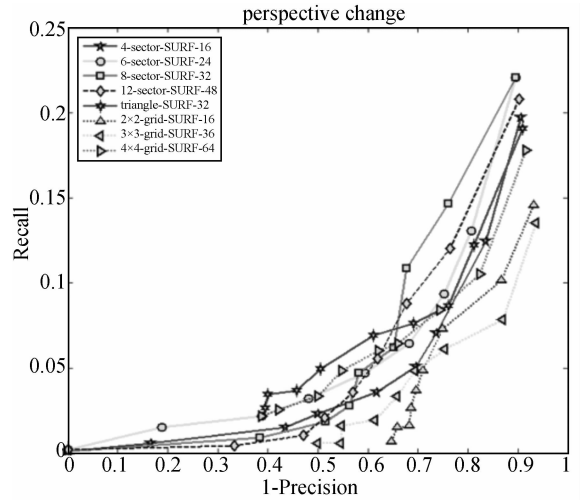


图 11 视角变化的实验结果

Fig. 11 Results with perspective changes

5 结 论

本文对 SURF 描述符不同特征邻域划分方式进行了研究,主要包括栅格划分、三角形划分和扇形划分,分析了各种划分方式下描述符匹配性能的变化,并提出了三角形划分和扇形划分描述符的构建方法。最后,对 3 类共 8 种描述符进行了实验,对比分析了各种描述符的匹配性能。实验结果表明,扇形划分 SURF 描述性能优于三角形划分及栅格划分描述符。所提出的 6 扇区、8 扇区、12 扇区及三角形划分 SURF 描述符均具有较强的鲁棒性,并且 6 扇区 SURF 描述符的维数仅有 24 维,与原 64 维的 SURF 描述符(4×4 栅格划分描述符)相比,描述符的维数降低了 40 维,8 扇区和三角形划分的 SURF 描述符均只有 32 维,12 扇区划分的 SURF 描述符也仅有 48 维。

参考文献:

- [1] 翟优,曾峦,熊伟. 基于不变特征描述符实现星点匹配[J]. 光学精密工程, 2012, 20(11): 2531-2539.
ZHAI Y, ZENG L, XIONG W. Star matching based on invariant feature descriptor [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(11): 2531-2539. (in Chinese)
- [2] 李英,丘文涛,赵建,等. 结合区域分割的SIFT图像匹配方法[J]. 液晶与显示, 2012, 27(6): 827-831.
LI Y, QIU W T, ZHAO J, et al.. Image matching algorithm combining SIFT with region segmentation [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(6): 827-831. (in Chinese)
- [3] 李英,李静宇,徐正平. 结合SURF与聚类分析方法实现运动目标的快速跟踪[J]. 液晶与显示, 2011, 26(4): 544-550.
LI Y, LI J Y, XU ZH P. Moving target fast tracking using SURF and cluster analysis method [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(4): 544-550. (in Chinese)
- [4] 黄彬彬,唐璁. 一种新的人脸图像中眼睛定位方法[J]. 液晶与显示, 2009, 24(2): 278-282.
HUANG B B, TANG J. Novel method of eye detection in facial images [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2009, 24(2): 278-282. (in Chinese)
- [5] LOWE D G. Object recognition from local scale-invariant features [C]. *Proc. of the International Conference on Computer Vision*, 1999: 1150 - 1157.
- [6] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004: 91-110.
- [7] KE Y, SUKTHANKAR R. PCA-SIFT: a more distinctive representation for local image descriptors [C]. *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Washington D C*, 2004, 2: 506-513.
- [8] MIKOLAJCZYK K, SCHMID C. A performance evaluation of local descriptors [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27(10): 1615-1630.
- [9] ZENG L, ZHAI Y. An improved SIFT descriptor [C]. *Proc. of SPIE*, 2011, 8321: 1-8.
- [10] 曾峦,顾大龙. 一种基于扇形区域分割的SIFT特征描述符[J]. 自动化学报, 2012, 38(9): 1513-1519.
ZENG L, GU D L. A SIFT feature descriptor based on sector area partitioning [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2012, 38(9): 1513-1519. (in Chinese)
- [11] ZENG L, XIONG W, ZHAI Y. Gun bore flaw image matching based on improved sift descriptor [C]. *Proceedings of the 8th International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation, Chengdu, China, SPIE*, 2012.
- [12] YAN C, HASLER N, THORMÄHLEN T, et al.. Scale invariant feature transform with irregular orientation histogram binning [C]. *6th International Conference on Image Analysis and Recognition (ICIAR 2009)*, 2009: 258-267.
- [13] BAY H, TUYTELAARS T, GOOL L J V. Surf: Speeded uprobust features [C]. In A. Leonardis, H. Bischof, and A. Pinz, editors, *ECCV (1)*, volume 3951 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 404-417. Springer, 2006.
- [14] BAY H, TUYTELAARS T, GOOL L V, et al.. Speeded up robust features [J]. *Computer Vision-ECCV 2006 Lecture wotes in Computer Science*, 2006, 3951: 404-417.
- [15] AGRAWAL M, KONOLIGE K, BLAS M R. CenSurE: Center surround extremas for realtime feature detection and matching [C]. *Computer Vision-ECCV 2008 Lecture Wotes in Computer Science*, 2008, 5305: 102-115.
- [16] EBRAHIMI M, WALTERIO W. SUSurE: speeded up surround extrema feature detector and descriptor for realtime applications [C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2009: 9-14.
- [17] LUO J, GWUN O. A comparison of SIFT, PCA-SIFT, and SURF [J]. *International Journal of Image Processing (IJIP)*, 2009, 3(4): 143-152.

作者简介:



翟 优(1986—),男,河北正定人,博士研究生,2009年于北京航空航天大学获得工学学士学位,2011年于中国人民解放军装备学院获得理学硕士学位,主要从事图像处理及计算机视觉方向的研究。E-mail: youyou1952@sina.com



曾 奕(1963—),男,广东梅县人,教授,博士生导师,1983年于中国人民解放军国防科技大学获得工学学士学位,2007年和2012年于哈尔滨工业大学分别获得工学硕士和博士学位,主要光电测量方向的研究。E-mail: zengluan@sina.com



熊 伟(1971—),男,新疆库尔勒人,研究员,博士生导师,1992年于中国人民解放军国防科技大学获得工学学士学位,1998年和2005年于中国人民解放军装备学院分别获得工学硕士和博士学位,主要从事信息系统设计及系统集成方向的研究。E-mail: 13331094335@189.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)