

文章编号:1672-3961(2011)02-0046-05

基于颜色量化矩阵的 SIFT 特征描述方法

汤伯超,蔡念*,程昱

(广东工业大学信息工程学院,广东广州 510006)

摘要:针对现有彩色图像的尺度不变特征转换(scale invariant feature transform, SIFT)算法计算复杂度较大和匹配性能较差的缺点,提出一种基于颜色量化矩阵的 SIFT 特征描述算法。首先由彩色图像的色调、饱和度和亮度生成颜色量化矩阵,然后由量化矩阵生成 128 维的 SIFT 特征描述子,最后应用于彩色目标匹配。实验结果表明,相比于现有彩色图像 SIFT 算法,本文方法具有匹配正确率高、匹配时间短和正确匹配点数多等优点,能够对彩色目标进行有效地匹配。

关键词:颜色量化矩阵;尺度不变特征转换(SIFT);HSV 颜色空间;特征匹配

中图分类号:TP391 **文献标志码:**A

A novel SIFT descriptor based on a color quantization matrix

TANG Bo-chao, CAI Nian*, CHENG Yu

(Faculty of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In order to avoid the disadvantages of huge computational complexity and poor matching performance in existing scale invariant feature transform(SIFT) descriptors for color images, a novel SIFT descriptor for color images based on color quantization matrix was given. The quantization matrix was obtained by triple-color components. And it was applied to generate a 128-dimensional SIFT descriptor to match color objects. The experimental results showed that, compared with existing SIFT descriptors for color images, this proposed method has the advantages of higher correct matching rate, less matching time and more accurate matching points. This method can effectively match the color objects.

Key words: color quantization matrix; scale invariant feature transform (SIFT); hue saturation value (HSV) color space; feature matching

0 引言

尺度不变特征转换是一种基于尺度空间的对图像缩放、旋转甚至仿射变换依然保持不变性的特征匹配算法^[1]。该算法能提取稳定的特征,处理两幅图像之间发生平移、旋转、仿射变换、视角变换等情况下的匹配问题。

经典的 SIFT 算法只使用了图像的灰度信息,忽略了颜色信息,因此对彩色目标匹配能力较差。目前出现了多种针对彩色图像的 SIFT 算法,如 HSV-SIFT, OpponentSIFT, W-SIFT 和 RGB-SIFT 等^[2-5]。

这些彩色图像 SIFT 算法都是通过分别计算三个通道的 128 维特征向量,然后合成一个 3×128 维的特征向量,最终完成彩色目标匹配。它们的特征向量维数远远高于经典 SIFT 算法的 128 维;显然随着维数的增多,图像匹配时间大大增加。虽然这些算法在一定程度上提高了 SIFT 算法对彩色目标的匹配能力,但是当光照变化时这些算法匹配效率普遍不高^[3-7]。颜色量化矩阵(color quantization matrix, CQM)综合了 HSV(hue saturation value)颜色空间中的色调、饱和度和亮度信息,使三通道的彩色图像转换成单通道的颜色量化矩阵,能够有效地减少光照变化对图像的影响^[8-10]。因此,本文提出一种基

收稿日期:2010-12-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61001179);广东省自然科学基金资助项目(07301038,9451009001002667)

作者简介:汤伯超(1985-),男,广东广州人,硕士研究生,主要研究方向是图像处理等。E-mail:tang_bochao@163.com

* 通讯作者:蔡念(1976-),男,安徽马鞍山人,副研究员,博士后,主要研究方向为图像处理等。E-mail:cainian@gdut.edu.cn

于颜色量化矩阵的 SIFT 特征描述方法(即 CQM-SIFT),由 HSV 颜色模型中的色调,饱和度和亮度量化生成颜色量化矩阵,并由该量化矩阵生成 128 维的 SIFT 特征描述子,然后进行特征点的匹配,实现彩色目标匹配。

1 尺度不变特征转换(SIFT)

SIFT 算法使用尺度空间理论提取尺度不变的特征点,首先利用不同尺度的高核对原图像进行卷积,建立高斯金字塔,然后由高斯金字塔生成 DOG (difference of gaussian) 金字塔。为了检测关键点,DOG 金字塔中的每一层(最顶层和最底层除外)的每一个采样点要和它相同尺度的 8 个相邻点和上下相邻尺度对应的 9×2 个点(共 26 个点)比较。如果该采样点比其它 26 个邻点都要大或者都要小,则将该点设为关键点,然后进一步通过拟合三维二次函数精确确定关键点的位置和尺度以达到亚像素精度,同时去除低对比度的关键点和不稳定的边缘响应点,以增强匹配稳定性、提高抗噪声能力,最后得到稳定的关键点作为特征点。

为了得到特征向量,首先计算特征点的主方向,并将坐标轴旋转为特征点的主方向,以确保旋转不变性,接着以特征点为中心取 16×16 个像素的窗口,并计算每一个像素的梯度方向和幅值,然后进行高斯加权,最后将窗口划分为 4×4 个小窗口,在每个小窗口上计算 8 个方向的梯度方向直方图,并绘制每个梯度方向的累加值,即可形成一个种子点。一个特征点由 4×4 共 16 个种子点组成,每个种子点有 8 个方向向量信息,这样一个特征点就可以形成 128 维的 SIFT 特征向量。

SIFT 特征向量匹配以特征点特征向量之间的欧式距离作为两幅图像中特征点的相似性度量标准。取一幅图像中的某个特征点,并找出其与另一幅图像中欧式距离最近的前两个特征点,在这两个特征点中,若最近的距离同次近的距离比值小于某个阈值,则接受这一对匹配点。

2 HSV 颜色空间的颜色量化矩阵

HSV 颜色模型比其它颜色模型更符合人的视觉感知方式,包括人所能感知的颜色的 3 个要素:色调(h),饱和度(s)和亮度(v)。RGB 到 HSV 的转换公式如下:

$$v = \max(R, G, B); \quad (1)$$

$$s = \frac{(V - \min(R, G, B)) \times 255}{V}; \quad (2)$$

$$h = \begin{cases} \frac{(G - B) * 60}{S}, & v = R, \\ 180 + \frac{(B - R) * 60}{S}, & v = G, \\ 240 + \frac{(R - G) * 60}{S}, & v = B. \end{cases} \quad (3)$$

其中, $R \in [0, 255]$, $G \in [0, 255]$, $B \in [0, 255]$, 则 $h \in [0, 360]$, $s \in [0, 1]$, $v \in [0, 255]$ 。

由于人类视觉对颜色认知在一定范围内具有模糊性,在选择时又带有一定的随机性,因此,所感知的颜色往往带有个人的主观因素,而这个带有主观随机性的颜色值在所有颜色分布中仅占一个值,而在与此颜色相近的颜色分布上并没有值,这种相近颜色又可能正是用户由于视觉认识的模糊性和选择过程中的随机性而错过的真正需要的颜色。因此,将颜色适当扩展到一定范围,使得近似于所选择色的颜色也能参与匹配,同时,为了将人类视觉认知的颜色和理论上的颜色值更好地相关,本文以 HSV 颜色模型为基础分别对色调、饱和度和亮度进行量化^[10],量化方法如下:

$$H = \begin{cases} 0, & h \in (315, 20], \\ 1, & h \in (20, 40], \\ 2, & h \in (40, 75], \\ 3, & h \in (75, 155], \\ 4, & h \in (155, 190], \\ 5, & h \in (190, 270], \\ 6, & h \in (270, 295], \\ 7, & h \in (295, 315]; \end{cases} \quad (4)$$

$$S = \begin{cases} 0, & s \in [0, 0.2], \\ 1, & s \in (0.2, 0.4], \\ 2, & s \in (0.4, 0.7], \\ 3, & s \in (0.7, 1]; \end{cases} \quad (5)$$

$$V = \begin{cases} 0, & v \in [0, 100], \\ 1, & v \in (100, 150], \\ 2, & v \in (150, 200], \\ 3, & v \in (200, 255]. \end{cases} \quad (6)$$

一幅彩色图像的颜色一般非常多,因此计算量也非常大,通过将 h, s 和 v 3 个分量按照人的颜色感知进行非等间隔的量化,能极大地减少计算量和弥补人类视觉对颜色认知模糊性的缺陷。通过对颜色模型的分析,将色调量化成 8 个量化级,能使色调符合人的颜色感知^[8];将饱和度和亮度量分别量化成 4 个量化级,为匹配提供足够的颜色纹理信息和弥补人类视觉对颜色认知模糊性的缺陷,同时减少

计算量。本文通过大量实验证明公式(4)、(5)和(6)所示的量化方法取得的匹配效果最好。最后将 H 、 S 和 V 按照公式(7)重新组合成一个量化矩阵 $L^{[8-10]}$:

$$L = HQ_S Q_V + SQ_V + V, \quad (7)$$

其中, Q_S, Q_V 分别为 S 和 V 的量化级, 取值均为 4。因为一个色调量化级对应着 16 种饱和度和亮度的组合, 所以共有 128 种量化方式, L 的取值范围是 $[0, 127]$ 。 L 中的每一个元素并不是 H, S 和 V 简单的加权组合或线性组合, 而是要使饱和度和亮度受到色调的约束, 当光照变化时, 由于色调对光照不敏感, 16 种饱和度和亮度的组合被限制在同一种色调量化级内, 同一种色调量化级元素间的最大距离始终为 16, 使颜色量化矩阵能够有效地减少光照变化对图像的影响^[9]。CQM-SIFT 使用颜色量化矩阵 L 生成特征点的特征描述子, 使得 SIFT 特征描述子具有颜色属性, 可以应用于彩色目标匹配。

3 CQM-SIFT 方法

CQM-SIFT 首先使用经典 SIFT 的方法提取灰度图像的特征点和计算特征点的高斯金字塔、尺度、空间坐标和主方向等信息。然后获取特征点在高斯金字塔的空间坐标信息, 确定该特征点的层次, 并获得在该层次中图像的大小信息, 并对颜色量化矩阵 L 进行大小变换, 生成与该层次图像大小相同的矩阵, 在经过大小变换后的颜色量化矩阵中使用灰度图像特征点的方向信息将坐标轴旋转为特征点的主方向, 以确保旋转不变性, 接着以关键点为中心取 16×16 个像素的窗口, 并计算每一个颜色量化矩阵元素的梯度方向和幅值, 然后进行高斯加权, 将窗口划分为 4×4 的小块, 在每个小块上计算 8 个方向的梯度方向直方图, 并绘制每个梯度方向的累加值, 即可形成一个种子点。一个关键点由 4×4 共 16 个种子点组成, 每个种子点有 8 个方向向量信息, 这样一个关键点就可以形成 128 维的 CQM-SIFT 特征向量。CQM-SIFT 特征向量匹配以关键点特征向量之间的欧式距离作为两幅图像中关键点的相似性度量标准。取一幅图像中的某个关键点, 并找出其与另一幅图像中欧式距离最近的前两个关键点, 在这两个关键点中, 若最近的距离同次近的距离比值小于某个阈值, 则接受这一对匹配点。

这样就赋予了特征描述子具有了颜色的属性, 使 SIFT 算法具有了利用物体颜色信息进行匹配的能力。由于 SIFT 描述子的结构对图像的几何变形、

旋转和尺度变化都具有较强的匹配能力, 因而新的描述子并没有改变 SIFT 算法描述子的结构方式, 而是使用颜色量化矩阵代替灰度图像来生成特征向量。

4 实验结果及分析

实验采用的计算机配置为 Sempron 1.61 GHz, 1 G 内存, 采用 Visual Studio 2008 和 OpenCV 库函数编程实现相关算法。实验采用 Amsterdam 图像库中的 120 幅不同光照、不同旋转角度和不同大小的图像^[11]。为了验证本文方法的有效性, 采用 CQM-SIFT, HSV-SIFT 和 RGB-SIFT 3 种算法进行对比实验, 其中光照变化、旋转变化、大小变化和综合变化(即综合光照变化、旋转变化和大小变化)分别进行 30 次独立实验。在进行光照变化、旋转变化实验时, 图像大小为 384×288 ; 在进行大小变化实验时, 图像大小分别为 384×288 和 192×144 。

采用平均匹配准确率、平均匹配时间比和平均正确匹配点数量比来衡量 3 种算法的匹配能力。平均匹配准确率是指在 30 次实验中正确匹配点数量与实际匹配点数量比值的平均值:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{T} N_{\text{correct}}}{N_{\text{total}}} / 30 \times 100\%, \quad (8)$$

其中, \bar{P} 是平均准确率, N_{correct} 是正确匹配点数量, N_{total} 是实际匹配点数量。

平均匹配时间比指在 30 次实验中 HSV-SIFT 或 RGB-SIFT 与 CQM-SIFT 匹配时间比值的平均值:

$$\bar{R}_{\text{time}} = \frac{\sum_{T} T_{\text{HSV-SIFT(RGB-SIFT)}}}{T_{\text{CQM-SIFT}}} / 30, \quad (9)$$

其中, \bar{R}_{time} 是平均匹配时间比, $T_{\text{HSV-SIFT(RGB-SIFT)}}$ 是 HSV-SIFT 或 RGB-SIFT 匹配时间, $T_{\text{CQM-SIFT}}$ 是 CQM-SIFT 匹配时间。

平均正确匹配点数量比是指在 30 次实验中 HSV-SIFT 或 RGB-SIFT 与 CQM-SIFT 正确匹配点数量比值的平均值:

$$\bar{R}_{\text{correct-number}} = \frac{\sum_{T} P_{\text{HSV-SIFT(RGB-SIFT)}}}{P_{\text{CQM-SIFT}}} / 30, \quad (10)$$

其中, $\bar{R}_{\text{correct-number}}$ 是平均正确匹配点数量比, $P_{\text{HSV-SIFT(RGB-SIFT)}}$ 是 HSV-SIFT 或 RGB-SIFT 正确匹配点数量, $P_{\text{CQM-SIFT}}$ 是 CQM-SIFT 正确匹配点数量。

由表 1 ~ 表 3 可以看出, CQM-SIFT 在光照变化、旋转变化、大小变化和综合变化情况下的平均匹配时间、平均准确率和平均正确匹配点数量均比 HSV-SIFT 和 RGB-SIFT 有较大的优势。尤其在平均匹配时间上, CQM-SIFT 远优于其他两种方法,

HSV-SIFT 和 RGB-SIFT 的匹配时间均为 CQM-SIFT 的 2 倍以上。这是因为 CQM-SIFT 仅对单通道的颜色量化矩阵计算 128 维特征描述子,相对于 HSV-SIFT 和 RGB-SIFT 要分别计算 3 个通道共 3×128 维特征描述子,大大减少计算时间。

因为色调对光照不敏感,CQM-SIFT 量化矩阵中的每一种色调量化级对应着 16 种饱和度和亮度的组合,即同一种色调量化级下的颜色量化矩阵元素最大距离为 16,对于不同色调元素之间的最大距离则成倍增加,当光照变化时,饱和度和亮度受到影响,由于色调对光照不敏感,使同一色调的颜色矩阵元素之间的距离仍被限制在最大距离为 16 的一个小范围内,所以颜色量化矩阵不会随光照改变而剧烈变化,由颜色量化矩阵生成的 SIFT 特征描述子能够有效减少光照变化对图像的影响,而 HSV-SIFT 和 RGB-SIFT 的颜色各分量并没有 CQM-SIFT 颜色各分量的约束关系,仅仅是颜色各分量的简单组合,当光照变化时,尽管 HSV-SIFT 中色调分量对光照不敏感,但饱和度和亮度分量则会剧烈变化,使匹配性能下降,RGB-SIFT 的颜色各分量同样会受到光照变化影响,使匹配性能下降。所以,相比于其他两种方法,CQM-SIFT 的匹配能力在光照变化环境下的优势非常明显。

在不同角度观察物体的同一个点,明亮程度有所不同,即光照的改变也反映在相机拍摄的过程中,所以 CQM-SIFT 在旋转变化下的匹配效果要比其它两种方法好。

3 种方法均对图像大小不敏感,匹配效果相似,因为 3 种方法均是基于 SIFT 算法,它们并没有改变特征点的提取方式,当颜色相同时,匹配效果也相似。

表 1 3 种匹配方法的平均匹配准确率

Table 1 The average accuracy rate of three methods

| | CQM-SIFT | HSV-SIFT | RGB-SIFT |
|--------|----------|----------|----------|
| 光照变化 | 92.444 | 82.420 | 88.162 |
| 旋转角度变化 | 93.898 | 86.568 | 86.545 |
| 大小变化 | 96.850 | 95.312 | 93.091 |
| 综合变化 | 92.660 | 80.361 | 83.226 |

表 2 平均匹配时间比

Table 2 The average ratio of matching time

| | HSV-SIFT/ CQM-SIFT | RGB-SIFT/ CQM-SIFT |
|--------|-----------------------|-----------------------|
| 光照变化 | 2.082 | 2.095 |
| 旋转角度变化 | 2.134 | 2.279 |
| 大小变化 | 2.346 | 2.414 |
| 综合变化 | 2.027 | 2.028 |

表 3 平均正确匹配点数量比

Table 3 The average ratio of correct matching points

| | HSV-SIFT/ CQM-SIFT | RGB-SIFT/ CQM-SIFT |
|--------|-----------------------|-----------------------|
| 光照变化 | 0.519 | 0.793 |
| 旋转角度变化 | 0.749 | 0.894 |
| 大小变化 | 0.792 | 0.808 |
| 综合变化 | 0.625 | 0.638 |

本文进一步给出 3 种算法在光照变化、旋转变换、大小变化和综合变化 4 种情况下正确匹配点数量的实验结果图像。图 1 的匹配方法是 CQM-SIFT,图 2 是 HSV-SIFT,图 3 是 RGB-SIFT,每一种匹配方法均使用相同的苹果图像和彩瓷娃娃图像作为实验对象,左边前两列是光照变化时的匹配情况,第 3、4 列是旋转变换时的匹配情况,第 5、6 列是大小变化时的匹配情况,第 7、8 列是综合变化的匹配情况。图片下面的数字是对应该种匹配情况下的正确匹配点数量。

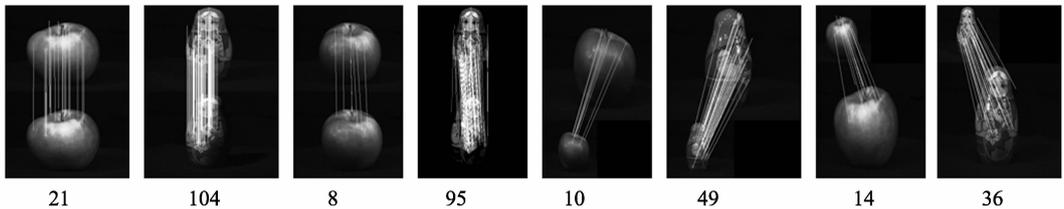


图 1 CQM-SIFT 在 4 种情况下正确匹配点数量

Fig. 1 The number of correct matching points of CQM-SIFT in the four situations

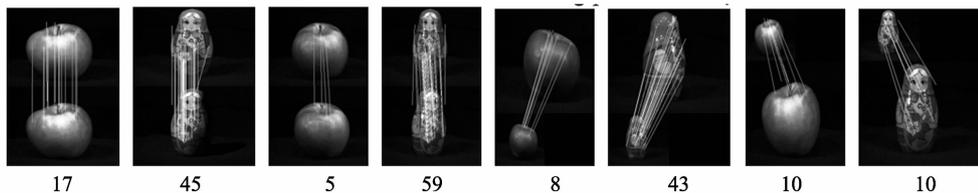


图 2 HSV-SIFT 在 4 种情况下正确匹配点数量

Fig. 2 The number of correct matching points of HSV-SIFT in the four situations

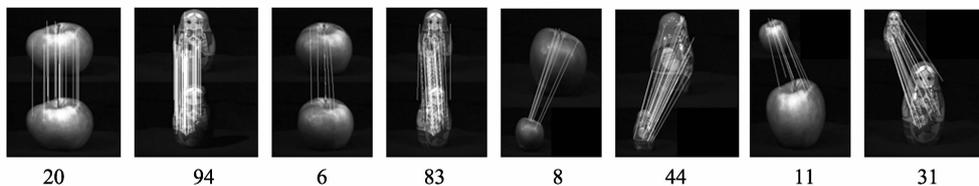


图3 RGB-SIFT在4种情况下正确匹配点数量

Fig.3 The number of correct matching points of RGB-SIFT in the four situations

5 结论

彩色图像 SIFT 算法能够解决光照变化、旋转变换、尺度变化、仿射变化等环境下的彩色目标匹配。本文提出一种基于颜色量化矩阵的 SIFT 特征点提取与匹配方法,由颜色量化矩阵生成 128 维的 SIFT 特征描述子进行彩色目标匹配。实验结果表明,本文方法比现有的彩色图像 SIFT 算法具有更短的匹配时间和更好的匹配能力,具有较广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] LOWE D G. Distinctive image features from scale invariant key points [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [2] BOSCH A, ZISSERMAN A, MUNOZ X. Scene classification via pLSA [C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision, Graz, [S. l.]: [s. n.], 2006: 517-530.
- [3] KEAN E A, Van de SANDE, THEO GEVERS, et al. Evaluation of color descriptors for object and scene recognition [C]//Computer Vision and Pattern Recognition, [S. l.]: [s. n.], 2008: 1-8.
- [4] GEVERS K, SMEULDERS A W M. Color-based object recognition [J]. Pattern Recognition, 1999, 32: 453-464.
- [5] 高健,黄心汉,彭刚,等. 基于彩色的 SIFT 特征点提取与匹配[J]. 计算机工程与应用,2007, 43(34): 10-12.
GAO Jian, HUANG Xinhan, PENG Gang, et al. Color-

based SIFT feature point detection and matching [J]. Computer Engineering and Application, 2007, 43(34): 10-12.

- [6] TAO Yuehua, Marjorie Skubic, Tony Han, et al. Performance evaluation of SIFT-based descriptors for object recognition [C/OL]//Proceedings of International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists, Hong Kong 2010, [2010-05-20]. http://www.iaeng.org/publication/IMECS2010/IMECS2010_pp1453-1456.pdf
- [7] 李海涛,吴培良,孔令富. 目标主色集结合 SIFT 的彩色目标快速识别[J]. 计算机科学, 2009, 36(12): 257-258, 266.
LI Haitao, WU Peiliang, KONG Lingfu. Combining ODCS and SIFT for fast color object identification [J]. Computer Science, 2009, 36(12): 257-258, 266.
- [8] WANG Yongmao, XU Zhenjiang. Image retrieval using the color approximation histogram based on rough set theory [C]//Information Engineering and Computer Science, Wuhan: [s. n.], 2009: 1-4.
- [9] KONG Fanhui. Image retrieval using both color and texture features [C]//Machine Learning and Cybernetics, Baoding: [s. n.], 2009: 2228-2232.
- [10] CAO Lihua, LIU Wei, LI Guohui. Research and implementation of an image retrieval algorithm based on multiple dominant colors [J]. Journal of Computer Research & Development, 1999, 36(1): 96-100.
- [11] GEUSEBROEK J M, BURGHOUTS G J, SMEULDERS A W M. The amsterdam library of object images [J]. Comput. Vision, January, 2005, 61(1): 103-112.

(编辑:孙培芹)