

彩色描述子 SIFT 的研究新进展

韩 顺¹, 陶跃华¹, 朱英南²

(1. 云南师范大学 信息学院, 云南 昆明 650092;

2. 密苏里大学 计算机科学系, 美国 哥伦比亚 65201)

摘 要: SIFT 算法是提取图像局部特征的算法, 应用于物体识别、图像匹配等领域, 对于旋转、尺度缩放、亮度变化保持不变, 对于视角变化、噪声等也保持一定程度的稳定不变性。为了提高光照不变性, 获得更高的识别率, 在 SIFT 特征描述子中加入颜色信息。对 SIFT 特征进行深入的研究, 分析了 SIFT 算法, 归纳总结了 SIFT 彩色描述子的研究现状, 给出了彩色描述子 SIFT 的性能评价及其发展趋势。

关键词: SIFT 算法; 局部特征; 彩色描述子; 性能评价

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1674-7720(2010)22-0006-03

Research progress of the color SIFT descriptors

HAN Shun¹, TAO Yue Hua¹, ZHU Ying Nan²

(1. College of Information, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China;

2. Department of Computer Science, University of Missouri(Columbia), Columbia 65201, USA)

Abstract: The SIFT algorithm is used to extract the local image features, and is applied to the areas of object recognition and image matching. The features are invariant to image scale rotation and brightness, change in viewpoint, addition of noise, also maintain stability invariance to a certain degree. To increase illumination and discriminative power, the SIFT features of adding color information have been well developed. In this paper we in-depth research SIFT feature, analyze the SIFT algorithm, summarizes the color descriptor SIFT research situation and give color SIFT descriptors performance evaluation and development.

Key words: SIFT algorithm; local image features; color sift

随着多媒体技术、计算机技术迅速发展, Internet 上呈现大量的图像信息。图像中包含了许多的物体特性, 其中颜色是非常重要的特征之一, 颜色包含了图像中更多有价值的识别信息。SIFT 算法提取图像局部特征, 成功应用于物体识别、图像检索等领域。该算法由 DAVID G.L. 于 1999 年提出^[1], 并于 2004 年进行了发展和完善^[2], MIKOLAJCZYK^[3]对多种描述子进行实验分析, 结果证实了 SIFT 描述子具有最强的鲁棒性。然而这些描述子仅利用图像的灰度信息, 忽略了图像的彩色信息。为了提高光照不变性, 获得更高的识别率, 研究者提出了基于颜色不变特性的 SIFT 彩色描述子。目前彩色描述子主要分为基于颜色直方图、基于颜色矩、基于 SIFT 三类。本文对彩色 SIFT 描述子进行了深入的研究, 阐述了彩色 SIFT 描述子, 给出了每种彩色描述子的性能评价。

1 SIFT 算法分析

SIFT 描述子对图像的局部特征进行描述, 当图像进
《微型机与应用》2010 年 第 29 卷 第 22 期

行旋转、平移、尺度缩放、仿射变换等, SIFT 特征具有很好的稳定性。SIFT 算法主要分为四个步骤: 检测尺度空间极值点、精确定位极值点、为每个关键点指定方向参数、关键点描述子的生成。

1.1 检测尺度空间极值点

计算 SIFT 描述子的第一步是搜索所有尺度和图像位置, 它通过使用高斯差函数识别对尺度和方向不变的潜在兴趣点来实现。关键点就是多尺度高斯差的极大值/极小值。

对输入的图像进行尺度变换, 利用高斯核与二维图像做卷积运算:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y)$$

其中: $L(x, y, \sigma)$ 为图像在尺度空间下不同尺度的表示, $G(x, y, \sigma)$ 为二维高斯核, $I(x, y)$ 是输入的图像, $*$ 是卷积操作。

高斯核定义如下:

欢迎网上投稿 www.pcachina.com

$$G(x,y,\sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$$

在实际计算中通常用高斯差分算子检测极值点。高斯差分算子(DOG)定义如下:

$$D(x,y,\sigma) = (G(x,y,k\sigma) - G(x,y,\sigma)) * I(x,y)$$

极值点检测时,每一个采样点要与它同尺度的8个采样点和上下相邻尺度18个点(共26个点)进行比较。Lowe在计算时,取关键点尺度 $k = \sqrt{2}$,取多倍因子常数 $\sigma = 1.6$ 。

1.2 精确定位极值点

为了增强特征点的抗噪能力,增强匹配的准确性,需要去除低对比度、对比度的关键点和不稳定的边缘响应点。通过计算DOG算子 $D(x,y,\sigma)$ 的二阶泰勒展开式:

$$D(x) = D + \frac{\partial D^T}{\partial x} x + \frac{1}{2} x^T \frac{\partial^2 D}{\partial x^2} x$$

即可得到极值点精确位置:

$$x = - \left(\frac{\partial^2 D}{\partial x^2} \right)^{-1} \left(\frac{\partial D}{\partial x} \right)$$

当 $|D(\hat{x})| < 0.03$ 时,抛弃 \hat{x} (低对比度关键点)。

边缘不稳定的点通过 2×2 的 Hessian 矩阵来判断。

1.3 为每个关键点指定方向参数

为了使特征描述子具有更好的稳定性,通过计算邻域像素梯度方向为关键点分配主方向,梯度模值 $m(x,y)$ 和梯度方向 $\theta(x,y)$ 定义如下:

$$m(x,y) = \sqrt{[L(x+1,y) - L(x-1,y)]^2 + [L(x,y+1) - L(x,y-1)]^2}$$

$$\theta(x,y) = \arctan \left(\frac{L(x,y+1) - L(x,y-1)}{L(x+1,y) - L(x-1,y)} \right)$$

实际计算中,是在特征点的领域内采样,创建梯度方向直方图。直方图每10度分为一柱,共36个柱。然后将领域内的每个采样点按梯度方向 θ 归入适当的柱,以梯度模 m 作为权重。选择直方图的主峰值作为梯度的主方向,能量值达到主峰值80%以上的局部峰值作为辅助方向。

1.4 关键点描述子的生成

以特征点为中心取 8×8 的采样窗口,在 4×4 的小块区域上计算其梯度方向直方图。绘制好每个方向梯度累加值,形成了一个种子点。每个特征点由4个种子点构成。在实际计算过程中,通常使用 4×4 共16个种子点来描述特征点。这样总共产生了 $4 \times 4 \times 8$ 共128维的特征描述子向量。

2 基于彩色的 SIFT 研究进展

SIFT 描述子对图像的高斯梯度进行编码,该描述子在空间模式下描述了灰度图像16个种子点及每个种子点8个梯度方向。由于SIFT算法只是利用图像的灰度信息,不能很好地区分形状相似但颜色不同的物体。光照的变化很大程度上影响着彩色物体识别的效果。在物体描述与匹配中,颜色可以提供更加有用的信息,物体的颜色信息被忽略,致使一些物体会被错误地分类。在图像处理中彩色图像能够表达更多的信息,彩色信息可以获得更高的辨别率。针对这一问题,研究人员对基于

彩色的 SIFT 特征点提取算法进行了深入的研究。

2.1 SIFT 彩色描述子

彩色描述子主要分为基于直方图、基于颜色矩和基于 SIFT 三类。这三类描述子的选取依据其具体的环境。彩色直方图描述子丢失了颜色的空间分布,彩色矩包含了图像局部的光度信息与颜色空间信息分布。SIFT 描述子包含了颜色局部空间信息分布。为了提高光照不变性,获得更高的识别率,基于 SIFT 的彩色描述子得到发展,例如: HSV-SIFT、HueSIFT、opponent SIFT、WSIFT、rgSIFT 和 transformed Color SIFT。

彩色 SIFT 描述子基于颜色不变特性。在尺度空间中,对彩色图像特征点进行检测,确定特征点的位置,在颜色空间模型下计算特征点相关种子点的颜色梯度,对每个特征点用 128×3 维的特征描述子进行描述。该描述子融合了特征点的颜色信息与几何信息。

HSV-SIFT HSV 颜色空间中, H 表示颜色的色调, S 表示颜色的纯度,即表示一种颜色中加入了多少白光, V 表示颜色值的大小。该颜色空间的模型对应于圆柱坐标系中的一个圆锥形子集。BOSCH^[5] 计算 HSV 颜色空间三个通道为每个特征点生成彩色描述子。每个通道经过计算生成128维向量,这样总共生成 128×3 维的向量。

HueSIFT 在 HSV 颜色空间中,色调捕捉了颜色的主要波长,描述了图像的彩色信息。VAN de Weijer^[4] 采用级联色调直方图的方法应用于 SIFT 描述子,计算三个通道为每一关键点生成 128×3 维 HueSIFT 描述子向量。

OpponentSIFT 对立色理论认为人类视网膜上存在三种光化学物质-视素,每种视素都能发生同化和异化两种变化,在同化过程中,视素产生合成,异化过程产生分解。同化异化的发生完全是由于不同光谱组成的色光刺激的结果。而同化异化的结果使人产生相应的对立颜色感觉。即红-绿、黄-蓝、黑-白等六种不同色觉。基于对立色理论,对立色空间模型如下:

$$\begin{pmatrix} O_1 \\ O_2 \\ O_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{R-G}{\sqrt{2}} \\ \frac{R+G-2B}{\sqrt{6}} \\ \frac{R+G+B}{\sqrt{3}} \end{pmatrix}$$

该彩色模型具有 O_1 、 O_2 、 O_3 三个通道分量。 O_3 通道包含了大部分强度信息, O_1 与 O_2 通道包含了彩色信息。生成特征点描述子时,对模型中每一分量计算 SIFT 特征描述子,这样生成了 128×3 维的描述子向量,该描述子称为 OpponentSIFT。

W-SIFT 在对立色空间模型中 O_1 与 O_2 通道分量仍然会包含一些强度信息,为使强度的变化不影响 SIFT 特征,GEUSEBROKE^[6] 提出了用于消除强度信息的方法。消除强度信息直观表示为在对立色空间模型中定义 $\frac{O_1}{O_3}$

与 $\frac{O_2}{O_3}$, 对 O_1, O_2 分量做除法, 这样去除了

强度信息变化的干扰, 然后对每一分量计算生成特征描述子, 该描述子称为 W-SIFT。

rgSIFT rgb 空间模型是一种归一化的 RGB 模型, 定义如下:

$$\begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{R}{R+G+B} \\ \frac{G}{R+G+B} \\ \frac{B}{R+G+B} \end{pmatrix}$$

r 与 g 分量描述了图像的颜色信息。由于归一化的 r 与 g 分量具有尺度不变特征, 因此不受其光照强度的变化、阴影与底纹的影响。计算 rgSIFT 特征描述子时结合了归一化 RGB 彩色模型中 r 分量与 g 分量。

Transformed color SIFT 在 RGB 空间模型中, 光照的变化对 RGB 直方图稳定性产生影响。光强度的变化引起颜色不规则分布, 致使直方图产生偏移。为了消除偏移, 在 RGB 模型中对于每个通道颜色的分布减掉其颜色分布的均值 μ , 除以该通道下分布的标准差 σ 。定义后的空间模型如下:

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{R-\mu_R}{\sigma_R} \\ \frac{G-\mu_G}{\sigma_G} \\ \frac{B-\mu_B}{\sigma_B} \end{pmatrix}$$

在该模型下计算每个通道分量的 SIFT 描述子, 对特征点进行描述, 该描述子称为 Transformed color SIFT。

2.2 彩色 SIFT 描述子的性能评价

BURGHOUTS G J^[7]在试验中对比彩色 SIFT 描述子与灰度 SIFT 描述子, 当光照颜色变化与光散射时彩色 SIFT 描述子具有更好的性能。然而彩色空间的选择与光照的变化对彩色 SIFT 描述子的性能还是有一定的影响。为了得到各种彩色描述子的性能, Koea^[8]在光强度变化、光强度偏移、光强度的变化与偏移、光色的变化、光色的变化与偏移等多种光照变化情况下对描述子进行实验与分析, 可以得到每种彩色描述子的性能如表 1 所示。

SIFT 算法是多尺度空间理论提出后产生的, 对图像的局部特征进行提取, SIFT 描述子对于旋转、尺度缩放、仿射变换、视角的变换具有很好的稳定性。对大多数图像尺度变换、旋转、仿射变换等具有很强的不变性。基于颜色不变特性的彩色描述子不仅保留了 SIFT 原有特性, 可以获得更高的辨别率, 而且对于光照的变化也保持了很好的不变性。

为了提高 SIFT 的一些能力和加快匹配速度, 对标准的 SIFT 描述子改进的技能是: (1) 在标准的 SIFT 上利用不同的直方图、不同区域的形状、HSV 组件、使用

表 1 各类彩色描述子性能比较

彩色描述子	尺度不变	平移不变	光色改变	光色变与偏移
HSV SIFT	+	+	+/-	-
HueSIFT	+	+	-	-
OpponentSIFT	+	+	-	-
W-SIFT	+	+	-	-
RgSIFT	+	+	-	-
Transformed color SIFT	+	+	+	+

(注: +表示描述子具有不变性, -表示描述子不具有不变性, +/-描述子部分特征是不变的)

RGB 直方图等等; (2) 利用降维方法 (如主成分分析 (PCA)), 以减少 SIFT 的特征维数。

参考文献

- [1] DAVID G L. Object recognition from local scale-invariant features[C]. International Conference on Computer Vision, 1999:1150-1157.
- [2] DAVID G L. Distinctive image features from scale-invariant key-points[J]. International Journal of Computer Vision, 2004,60(2):91-110.
- [3] MIKOLAJCZYK K, SCHMID C. A performance evaluation of local descriptors[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005,27(10):1615-1630.
- [4] WEIJER J, GEVERS T, BAGDANOV A. Boosting color saliency in image feature detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006,28(1):150-156.
- [5] BOSCH A, ZISSERMAN A, MUOZ X. Scene classification using a hybrid generative /discriminative approach[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008,30(04):712-727.
- [6] GEUSEBROEK J M, BOOMGAARD R, SMEULDERS A W M, et al. Color invariance[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001,23(12):1338-1350.
- [7] BURGHOUTS G J, GEUSEBROEK J M. Performance evaluation of local color invariants[J]. Computer Vision and Image Understanding. 2009,133:48-62.
- [8] SANDE K E A, GEVERS T, SNOEK C G M. Evaluation of color descriptors for object and scene recognition[C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Anchorage, Alaska, USA, June 2008.

(收稿日期:2010-08-17)

作者简介:

韩顺,男,1982年生,硕士研究生,主要研究方向:物体识别。

陶跃华,女,1960年生,硕士,教授,主要研究方向:信息检索、人工智能。