

一种结合灰度和边缘信息的局部特征描述算法

余道丽^{1,2}, 赵海峰^{1,2}, 李其超^{1,2}, 罗斌^{1,2}

- (1. 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039;
2. 安徽省工业图像处理与分析重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘要: 针对单一特征引导图像匹配的准确度有限, 提出了一种同时使用灰度和边缘信息的特征描述子。该描述子将图像的几何特征与灰度信息结合起来, 首先计算每个特征点的灰度对比直方图, 然后引入边缘属性以增强边缘的匹配。实验结果表明, 该算法由于同时采用灰度信息与边缘信息引导图像匹配, 其匹配效果好于单独使用灰度或边缘的图像匹配算法, 在一定程度上降低了误匹配率, 同时满足旋转和光照不变性, 对图像灰度变化和噪声不敏感, 具有良好的匹配性能。

关键词: 局部特征; 灰度; 边缘; 灰度对比直方图; 形状上下文直方图

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)06-0036-03

Local feature description algorithm based on gray and edge information

Yu Daoli^{1,2}, Zhao Haifeng^{1,2}, Li Qichao^{1,2}, Luo Bin^{1,2}

- (1. Key Lab of Intelligent Computing and Signal Processing of Ministry of Education, Hefei 230039, China)
2. Key Lab of Industrial Image Processing & Analysis of Anhui Province, Hefei 230039, China)

Abstract: Due to the limitation of image match introduced by one kind of feature, a feature descriptor using gray and edge information is proposed. The descriptor combines geometrical characteristics with gray information. Firstly, it calculates the contrast context histogram of each feature point. Then, the edge information is introduced to enhance the edge matching. The experiment results indicate that the results of the proposed algorithm are better than those of other methods that only use the gray information or edge information, and the algorithm can reduce the rate of mismatch in a certain extent. At the same time, the proposed algorithm satisfies the invariance of rotation and illumination and is insensitive to gray change and noise with a good match performance.

Key words: local feature; gray; edge; contrast context histogram; shape context histogram

图像的局部特征具有在多种图像变换下的不变性、无需预先对图像分割和独特性等特点, 被广泛应用于物体识别、图像匹配及图像检索等领域。在基于局部特征的匹配方法中, 特征描述子的构建是非常重要的环节, 一个完备而紧凑的描述子不仅可以较真实地表达特征点所包含的独特信息, 而且能降低特征匹配的计算复杂度。

近年来, 许多特征描述算法被提出。LOWE D G^[1]提出了著名的 SIFT 描述子, 它对图像的各种变换具有较好的鲁棒性, 是目前应用最广泛的特征描述算法。KE Y 等^[2]在 SIFT 算法的基础上利用主成分分析(PCA)将 SIFT 描述子的维数由 128 降到了 20, 大幅度提高了匹配速度, 但其描述子的独特性不及 SIFT 算子。OJALA T^[3]等人提出的 LBP(Local Binary Pattern)算子能够有效地描述纹理特征, 它通过计算中心点及周围邻域采样点的灰度差的正负构成一个二进制描述串。与 LBP 思想类似,

Huang Chunrong^[4]等提出了对比上下文直方图 CCH(Contrast Context Histogram)描述子, 利用邻域区域的像素强度之间的线性关系进行特征描述, 在对数-极坐标中计算周围每个分块中像素点与中心点之间的灰度差。LBP 和 CCH 算法采用特征点邻域的灰度差异直方图建立特征描述子, 降低了算法的复杂度, 使得匹配速度有所提高, 但是对存在旋转、尺度和视角等变换的图像, 鲁棒性有较大的降低。BELONGIE S^[5]提出了形状上下文(Shape Context)描述子用于刻画目标的形状, 该描述子对于局部区域形变具有不变性, 但是在一定程度上对噪声比较敏感。不管是 SIFT 描述子, 还是 LBP、CCH 或 Shape Context 描述子, 从实现方式上来说, 都是基于分布的描述子, 利用直方图表征灰度、形状或边缘等特征。基于邻域的灰度分布信息的方法能够很好地描述像素之间的空间位置关系, 但是当图像灰度变化或几何畸变

较大时就不足以表示图像特征;基于形状或边缘的方法关心邻域的结构信息,但是对噪声比较敏感。Shen Dinggang^[6]利用局部空间灰度直方图和边缘信息来共同完成图像配准,通过统计特征点邻域内每个像素的出现频率获得灰度直方图,然后利用Candy算子检测边缘,利用边缘强度表示边缘属性。

本文提出一种同时使用灰度和边缘信息的特征描述子CSCH(Contrast-Shape Context Histogram)。首先使用对数-极坐标方式划分局部邻域;然后使用CCH方法统计邻域像素强度之间的关系;再使用Canny边缘检测算法和轮廓提取算法获得边界信息,并利用Shape Context算法刻画邻域的边缘信息;最后对灰度信息和边缘信息进行整合,定义信息更为准确、丰富的描述子,增强描述能力。实验表明,结合灰度和边缘信息的描述子,其准确率比单独使用CCH描述子或Shape Context描述子更高,在一定程度上降低了误匹配的概率,同时满足了旋转和光照不变性,对图像灰度变化和噪声不敏感,具有良好的匹配性能。

1 基于直方图的描述子的构建

1.1 CCH描述子

CCH利用邻域区域的像素强度之间的线性关系进行特征描述。首先以特征点 p_c 为中心,采用极坐标划分方式将特征点邻域划分成若干个不相交的区域: R_0, R_1, \dots, R_s ,然后用直方图方法统计每个区域中的灰度值相异情况。为了增强描述符的独特性,对于每个子区域分别统计正向和负向强度对比值 H_{R_i+} 和 H_{R_i-} :

$$H_{R_i+}(p_c) = \frac{\sum \{c(p) | p \in R_i \text{ and } c(p) \geq 0\}}{\#R_{i+}} \quad (1)$$

$$H_{R_i-}(p_c) = \frac{\sum \{c(p) | p \in R_i \text{ and } c(p) < 0\}}{\#R_{i-}} \quad (2)$$

其中, $c(p)=I(p)-I(p_c)$, $\#R_{i+}$ 和 $\#R_{i-}$ 分别代表子区域 R_i 中像素强度大于和小于中心点的点数和。

最后,生成特征向量 $CCH(p_c)$,即:

$$CCH(p_c) = \{H_{R_0+}, H_{R_0-}, H_{R_1+}, H_{R_1-}, \dots, H_{R_s+}, H_{R_s-}\} \quad (3)$$

1.2 Shape Context描述子

形状上下文描述子的基本思想如下:首先,对于给定的一个形状,通过边缘检测子获取轮廓边缘,对轮廓边缘采样得到一组离散的边界点点集 $P=\{p_i | i=1, 2, \dots, n\}$,如图1(a)所示;其次,将特征点邻域划分成若干个不相交的区域,形成图1(b)所示的靶状模板;最后,计算模板内各子区域的点的分布数,称为点的统计分布直方图,这些点的统计分布直方图 H_p 称为点 p 的形状上下文,如图1(c)所示,其计算公式为:

$$H_p(R_i) = \#\Omega_i \{p_i; p_i \in bin(R_i)\} \quad (4)$$

$$\Omega_i = \{p_i \in P; p \neq p_i\}$$

其中, $\#$ 表示计数, $bin(k)$ 表示第 k 个扇区。

1.3 描述子的设计

对于每一个被检测到的特征点,建立一个由两部分

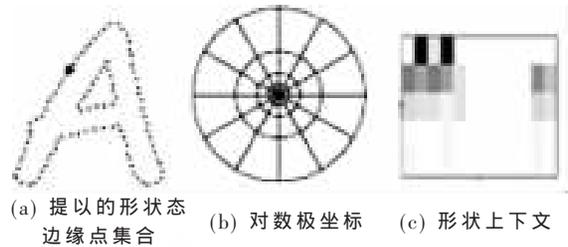


图1 形状上下文描述子

组成的特征向量:一部分是代表空间灰度分布特性的灰度直方图描述子,另一部分是用来描述邻域边缘特征的Shape Context描述子。因此,每个特征点的特征描述子定义如下:

$$H = \begin{bmatrix} \omega & C \\ (1-\omega) & S \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中, C 是描述灰度分布信息的向量, S 是描述区域轮廓信息的向量, ω 是相对权重因子。

建立局部不变描述符的前提是有效地划分特征点周围的局部区域,因此,首先对特征点 p_i 采用Shape Context的划分方式,将以 p_i 为中心的邻域划分成24个区域,如图2所示。此外,为了保证描述符具有旋转不变性,在极坐标划分中将方向 $\theta=0$ 设定为与 p_i 的主方向^[11]一致。

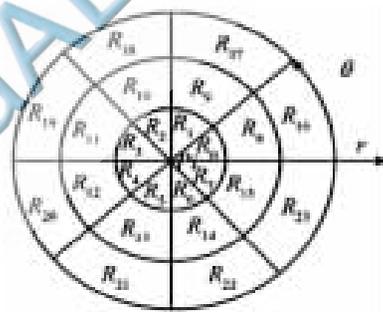


图2 以 p_i 为中心的描述子兴趣区域划分方式

其次,按照CCH思想,统计每个区域中的正向和负向强度对比直方图 H_{R_i+} 和 H_{R_i-} ,生成特征向量 C ,则

$$C(p_i) = \{H_{R_0+}, H_{R_0-}, H_{R_1+}, H_{R_1-}, \dots, H_{R_s+}, H_{R_s-}\} \quad (6)$$

然后,使用Canny边缘检测算法获取特征点邻域的轮廓信息,并用Shape Context算法获得特征点的形状上下文直方图 S :

$$S(p_i) = \{H_{p_i}(R_1), H_{p_i}(R_2), \dots, H_{p_i}(R_s)\} \quad (7)$$

最后,为了消除光照变化的影响,分别把 C 和 S 进行归一化处理,即:

$$\frac{C(p_i)}{\|C(p_i)\|} \rightarrow C(p_i), \quad \frac{S(p_i)}{\|S(p_i)\|} \rightarrow S(p_i) \quad (8)$$

则特征点 p_i 的特征向量 H 为:

$$H(p_i) = \begin{bmatrix} \omega & C(p_i) \\ (1-\omega) & S(p_i) \end{bmatrix} \quad (9)$$

2 特征向量匹配

当两幅图像的特征向量生成以后,采用欧氏距离作为两幅图像中特征点的相似判定度量。由于特征向量包括两部分,这里分别计算各自的欧氏距离,公式如下:

$$d_g = |G_i - G_j| = \sqrt{\sum_k (G_{i,k} - G_{j,k})^2} \quad (10)$$

$$d_s = |S_i - S_j| = \sqrt{\sum_k (S_{i,k} - S_{j,k})^2} \quad (11)$$

最终距离为:

$$d = \omega d_g + (1 - \omega) d_s \quad (12)$$

为了减少因图片中存在大量相似区域而产生的误匹配关系,算法采用最近邻与次近邻之比来进行匹配。对一幅图像中的某个特征点 A , 在另一幅图像中搜索与它距离最近和次近的两个特征点 $B(D_{\text{nearest}})$ 和 $C(D_{\text{hypo-nearest}})$, 并求出最近距离个次近距离之比 K :

$$K = \frac{D_{\text{nearest}}}{D_{\text{hypo-nearest}}} \quad (13)$$

如果 K 小于某个阈值,则认为特征点 A 与距离最近的特征点 B 匹配。根据参考文献[1]的经验值,本文实验中 K 的阈值取 0.8。

3 实验与结果分析

为了验证 CSCH 描述子的性能,将 CSCH 与 CCH、Shape Contxt 描述子进行了对比实验。实验中采用的测试图像来自标准数据集和 CMU 数据库。其中,标准图像数据库中包含了模糊变换、光照变化和 JPEG 压缩变换条件下的场景图像,CMU 数据库中的图像是通过视角变换得到的同一物体的不同图像,部分图像样本如图 3 所示。为了验证描述子的性能,3 种算法都采用 Harris 检测子^[7]分别在每幅图像中提取 500 个角点。本文主要从正确匹配特征点数、误匹配特征点数和匹配正确率等方面比较算法的性能。



图 3 测试图像对

图 3(a)所示的测试图像间存在明显的亮度变化,CCH、Shape Contxt 和 CSCH 的匹配性能如表 1 所示。从表 1 可以看出,在提取相同数目的特征点的情况下,CSCH 算法所找到的正确匹配数目约为 CCH 算法的 1.2 倍,为 Shape Contxt 算法的 1.5 倍,且匹配正确率高于 CCH 和 Shape Contxt 算法。

表 1 光照变换图像匹配性能比较表

算法	正确匹配点数	错误匹配点数	准确率/%
CCH	239	2	99.17
Shape Contxt	198	3	98.51
CSCH	291	2	99.32

图 3(b)是一组改变相机的焦点获得的在模糊变换的测试图像,CCH、Shape Contxt 和 CSCH 的匹配性能如表 2 所示。由于模糊变换影响了像素强度和图像边缘信息,因此,CCH 和 Shape Contxt 算法的匹配性能都较差,而 CSCH 算法的匹配性能优于二者。

表 2 模糊变换图像匹配性能比较表

算法	正确匹配点数	错误匹配点数	准确率/%
CCH	91	3	96.81
Shape Contxt	105	4	96.33
CSCH	162	3	98.18

图 3(c)所示的测试图像间存在 JPEG 压缩变换,CCH、Shape Contxt 和 CSCH 算法的匹配性能如表 3 所示。从表 3 可以看出,CSCH 算法所获得的正确匹配点数和匹配准确率优于 CCH 和 Shape Contxt 算法。

表 3 JPEG 压缩变换匹配性能比较表

算法	正确匹配点数	错误匹配点数	准确率/%
CCH	352	1	99.72
Shape Contxt	341	1	99.71
CSCH	373	1	99.73

图 3(d)所示的测试图像分别是 CMU 图像库中抽取的第 1 帧和第 40 帧的图像,测试图像间存在着视点变换,3 种算法的匹配性能比较结果如表 4 所示。

表 4 视点变换图像匹配性能比较表

算法	正确匹配点数	错误匹配点数	准确率/%
CCH	89	8	91.75
Shape Contxt	94	9	91.26
CSCH	111	8	93.28

本文针对单一特征引导图像匹配的准确度有限的问题,提出了一种结合灰度和边缘信息的特征描述方法 CSCH 来描述特征点邻域。利用直方图方法同时表征图像的灰度和边缘信息,所得描述子既能很好地描述邻域像素之间的空间位置关系,又兼顾了邻域的结构信息,并且通过将特征点邻域旋转至主方向获得了旋转不变性,利用特征向量的归一化获得了对亮度变换的鲁棒性。实验表明,利用本文算法提取的特征描述子满足旋转、光照、压缩、模糊和部分视点变换不变性。

参考文献

- [1] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision,

- 2004,60(2):91-110.
- [2] KE Y, SUKTHANKAR R. PCA-SIFT: a more distinctive representation for local image descriptors[C]. Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Washington D.C., USA, 2004: 506-513.
- [3] OJALA T, PIETIKAINEN M, HARWOOD D. A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions[J]. Pattern Recognition, 1996, 29(1): 51-59.
- [4] Huang Chunrong, Chen Chusong, CHUNG P C. Contrast context histogram—an efficient discriminating local descriptor for object recognition and image matching[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(10): 3071-3077.
- [5] BELONGIE S, MALIK J, PUZICHA J. Shape matching and object recognition using shape contexts[C]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(4): 509-522.
- [6] Shen Dinggong. Image registration by local histogram matching[J]. Pattern Recognition, 2007, 40: 1161-1172
- [7] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector[C]. Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, Manchester, UK, 1988: 147-151.

(收稿日期: 2012-01-31)

作者简介:

余道丽,女,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:图像处理与模式识别。

赵海峰,男,1972年生,博士,副教授,主要研究方向:医学图像处理与模式识别。

李其超,男,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:图像处理与模式识别。

