

基于颜色和几何特征的图像特征点匹配算法

董 瑞, 梁 栋, 唐 俊, 王 年, 鲍文霞

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039;

安徽大学 电子科学与技术学院, 安徽 合肥 230039)

摘 要:提出一种基于颜色和几何特征的图像特征点匹配算法。首先提取两幅图像特征点集邻域色调的局部累加直方图, 然后结合图像特征点的几何特征构造亲近矩阵, 再对亲近矩阵进行奇异值分解(SVD), 利用分解的结果构造出一个反应特征点之间匹配程度的关系矩阵, 最后根据关系矩阵实现两幅图像的特征点匹配。实验结果显示, 这种图像特征点匹配算法对真实图像的平面旋转和立体旋转都具有较高的匹配精确度。

关键词:图像特征点; 匹配; HSV; 颜色特征直方图

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2006)12-0016-03

Color and Shape - Based Algorithm for Feature Correspondence

DONG Rui, LIANG Dong, TANG Jun, WANG Nian, BAO Wen-xia

(Ministry of Education Key Lab. of Intelligence Computing & Signal Processing, Anhui University, Hefei 230039, China;

School of Electronic Science and Technology, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: A novel method for performing point - feature correspondence based on the color and shape description is proposed in this paper. First of all, partial accumulation histogram of the hue of the matching features of images is quantified into one matrix. Mix the matrix and geometric characteristic into a correspondence strength matrix. Then, the correspondence strength matrix is decomposed by the singular value decomposition (SVD), a relation matrix that denotes the matching degree among feature points is constructed by the result of the decomposition. Finally, the matching feature points of the two images are obtained according to the relation matrix. Experimental results indicate that the algorithm in the paper has the higher precision both of planar matching and stereo matching for real images.

Key words: point - feature; correspondence; HSV; color characteristic histogram

0 引 言

图像特征点的匹配是计算机视觉研究领域中的一个非常重要的热点问题,也是许多计算机视觉理论和应用的基础,如摄像机标定、三维重建、智能监控和运动分析等。同时,图像特征点匹配又是计算机视觉领域的一个瓶颈问题,许多重要的计算机视觉理论与应用都是在假设匹配问题已解决的前提下展开的。

Scott 和 Longuet - Higgins^[1]提出了一种图像特征点匹配算法,通过高斯加权的方法,利用两幅图像的特征点的几何特征构造一个亲近矩阵,然后利用奇异值分解(SVD),将分解的结果构造出一个反应特征点之间匹配程度的关系矩阵,最后根据关系矩阵实现两幅图像的特征点匹配。Scott 算法简单,但该算法只应用了图像间的亲近原则,而没有应用相似性原则,故在物体存在旋转的情形下,其匹配的精确度不高^[2]。

在彩色图像中,颜色直方图遵循了图像之间的相似性

原则,尤其是 HSV 空间下的颜色直方图更好地体现了这一原则。因此,将 HSV 空间下的颜色直方图^[3]引入了 Scott 图像特征点匹配算法,提出了改进的方法:首先提取两幅图像特征点集邻域色调 H 的局部累加直方图,然后结合图像特征点的几何特征构造亲近矩阵。再对亲近矩阵进行奇异值分解(SVD),利用分解的结果构造出一个反应特征点之间匹配程度的关系矩阵,最后根据关系矩阵实现两幅图像的特征点匹配。实验结果表明,改进后的图像特征点匹配算法对图像的平面旋转和立体旋转都具有较高的匹配精确度。

1 颜色特征直方图

1.1 HSV 颜色空间

颜色直方图可以在 3 种不同的颜色空间(即 RGB, YUV 和 HSV 空间)中统计。HSV(Hue - Saturation - Value)空间与 RGB, YUV 比较,具有两个重要特点:一是人眼可独立感知该空间各颜色分量的变化;二是在这种颜色空间上的颜色三元组之间的欧几里得距离与人眼感觉到的相应的颜色差具有线性关系,是一种符合人类视觉感知特性的颜色模型。因此,基于 HSV 颜色空间的测度能够更

好地逼近人眼的感觉,其中 H (Hue, 色调) 分量又较好地克服了一般光照变化对颜色直方图所带来的影响。这是因为 H 在光照发生变化时能保持相对稳定,这可以从下面 H 与 R, G, B 之间的变换关系表达式中看出:

$$H = \begin{cases} \theta & G \geq B \\ 2\pi - \theta & G < B \end{cases} \quad (1)$$

其中

$$\theta = \arccos\left(\frac{0.5(R - G) + (R - B)}{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}\right) \quad (2)$$

因此,文中就是充分利用了 H 分量在颜色直方图中的重要性。

1.2 局部累加直方图

累加直方图能体现信号在分布轴上各抽样点间的相关性,即分布轴上相对某个抽样点距离越近的点,在某种特性意义上就越相似于该抽样点。但是累加直方图能体现这个性质的前提是:信号本身要有这样的特性,即特征分布轴上距离小的两点要比距离大的两点更相似。把色度沿分布轴分成若干个局部区间,然后在各局部区间内分别应用累加直方图法,将这样的方法称为局部累加直方图法^[4]。

对色调 H 的量化间隔为 1 度,先将色调 H 轴分成 6 个不重叠的局部区间 $[60k, 60(k+1)]$, $k = 0, 1, \dots, 5$, 然后分别计算每个局部区间的累加直方图,得到矩阵 H_1 。由于色调轴上各种颜色的分布实际上是连续过渡的,各颜色区之间并不存在截然的界限,因此,再改变区间的划分为 $[30 + 60k, 30 + 60(k+1) \bmod 360]$, $k = 0, 1, \dots, 5$, 计算这时每个局部区间的累加直方图,得到矩阵 H_2 。最后将这两次计算的累加直方图逐项相加取平均,即:

$$H_{i,j} = (H_{1i,j} + H_{2i,j})/2 \quad (3)$$

作为最终的颜色特征直方图^[5]。

2 图像特征点匹配算法

2.1 Scott 图像特征点匹配算法

Scott 和 Longuet-Higgins 利用两幅图像的特征点的几何特征构造亲近矩阵,从而实现图像特征点匹配,其算法主要步骤如下:

第一步:采用高斯加权的方法为两幅图像中的特征点集构造一个亲近矩阵 G , 其中:

$$G_{ij} = \exp(-d_{ij}^2/2\sigma^2), i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (4)$$

式(4)中 $d_{ij}^2 = \|x_{i,1} - x_{j,2}\|^2$ 是图像间两个特征点之间的欧式距离, $x_{i,1}$ 和 $x_{j,2}$ 分别是图像 I_1 上的第 i 个特征点和图像 I_2 上的第 j 个特征点, σ 是一个适当大小的常数。

第二步:对亲近矩阵 G 进行奇异值分解(SVD),得到 $G = TDU$ 。

第三步:构造一个关系矩阵 $P: P = TEU$, 其中矩阵 E 的对角元素 D_{ii} 全为 1。

这样, P 的行向量表示第一幅图像特征点的特征,而

它的列向量表示第二幅图像特征点的特征,元素 P_{ij} 显示了特征点 $x_{i,1}$ 和 $x_{j,2}$ 之间的匹配程度。如果 P_{ij} 是第 i 行上的最大值,但不是第 j 列上的最大值(或者是第 j 列上的最大值,但不是第 i 行上的最大值),则 $x_{i,1}$ 和 $x_{j,2}$ 不是精确匹配。只有当 P_{ij} 是第 i 行上的最大值也是第 j 列上的最大值时,才认为这两个特征点是一一对应的。

2.2 利用局部累加直方图的图像特征点匹配算法

将颜色特征信息引入到亲近矩阵中,对 Scott 算法进行改进,其算法具体步骤如下:

第一步:将需要匹配的两幅图像 I_1 和 I_2 转换为 HSV 空间下的图像。

第二步:利用公式(3)分别求出 I_1 和 I_2 特征点邻域的颜色特征直方图,用矩阵 H_1 和 H_2 表示, H_1 和 H_2 是 $\text{Num} \times 6$ 维的矩阵,其中 Num 是图像特征点数。

第三步:令

$$H_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^6 (H_{1i,k} - H_{2j,k})^2 \quad (5)$$

得到两幅图像之间的颜色特征矩阵 H 。

第四步:将颜色特征矩阵 H 与 Scott 算法中定义的亲近矩阵 G 构造新的亲近矩阵,即:

$$G_{ij} = \exp(-d_{ij}^2/2\sigma_1^2) \times \exp(-H_{ij}^2/2\sigma_2^2) \quad (6)$$

其中 $i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n$

式(6)中, σ_1 和 σ_2 是一个适当大小的常数。

第五步:对亲近矩阵 G 进行奇异值分解(SVD),得到 $G = TDU$ 。

第六步:构造一个关系矩阵 $P: P = TEU$, 其中矩阵 E 的对角元素 D_{ii} 全为 1。

这样, P 的行向量表示第一幅图像特征点的特征,而它的列向量表示第二幅图像特征点的特征,元素 P_{ij} 显示了特征点 $x_{i,1}$ 和 $x_{j,2}$ 之间的匹配程度。如果 P_{ij} 是第 i 行上的最大值,但不是第 j 列上的最大值(或者是第 j 列上的最大值,但不是第 i 行上的最大值),则 $x_{i,1}$ 和 $x_{j,2}$ 不是精确匹配。只有当 P_{ij} 是第 i 行上的最大值也是第 j 列上的最大值时,才认为这两个特征点是一一对应的。

3 实验及其结果

为了验证改进后算法的正确性和有效性,笔者做了大量的实验。实验结果表明,改进后的算法对于存在物体旋转的图像具有较高的匹配精确度。

图 1 为物体平面旋转匹配结果。

从标准图像库 (Amsterdam Library of Object Images (ALOI): Object. nr.: 196) 取出其中一幅,并将其剪切为的图像,作为原始图像,然后将图像逆时针平面旋转一定角度,得到一组序列图像,将旋转后的图像逐一与原图像进行匹配。

原始图像特征点集的坐标用 LOC1 表示,逆时针平面旋转后图像特征点集的坐标用 LOC2 表示,旋转角度用 θ 表示,则可以得到如下公式:

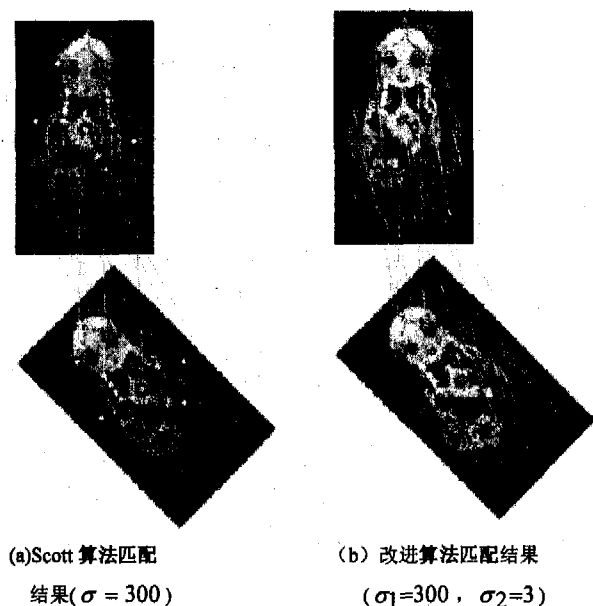


图 1 物体平面旋转匹配

$$LOC2 = LOC1 \times INV(T) \quad (7)$$

其中,

$$T = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & n\sin^2\theta \\ \sin\theta & \cos\theta & -n\cos\theta\sin\theta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中 n 为图像的高度。

$INV(T)$ 是变换矩阵 T 的逆矩阵。

这里,以逆时针旋转 $\theta = 45^\circ$ 得到的图像与原图像 18 对特征点进行匹配为例,给出实验结果(见表 1)。

表 1 第一组图像特征点匹配实验结果

	总点数	匹配 点数	正确匹配 点数	错误匹配 点数	没有匹配 点数
Scott 算法	18	17	10	7	1
改进方法	18	18	18	0	0

图 1 中,用白色的“*”表示所有参加匹配的特征点,当两幅图像中的特征点正确匹配时,用黑色“☆”覆盖这些特征点,绿色直线连接两幅图像中相应匹配的特征点(包括错误匹配的特征点)。

图 2 为物体立体旋转匹配结果。

从标准图像库(Amsterdam Library of Object Images (ALOI):Object. nr.: 730)中取出序列图像,图像大小为 768×576 ,选取 35 对特征点进行两两匹配。

这里,以原图像与顺时针旋转图像进行匹配为例,给出实验结果(见表 2)。

4 结 论

对彩色图像进行特征点匹配时,在 Scott 图像特征点

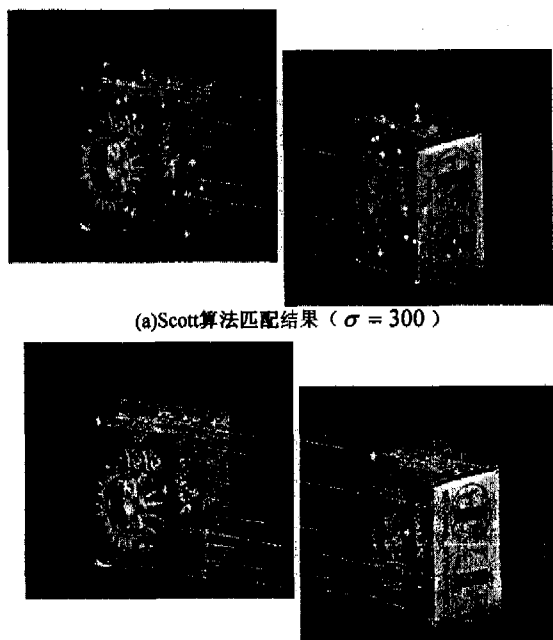


图 2 物体立体旋转匹配

表 2 第二组图像特征点匹配实验结果

	总点数	匹配 点数	正确匹配 点数	错误匹配 点数	没有匹配 点数
Scott 算法	35	30	20	10	5
改进方法	35	33	32	2	1

匹配算法中引入 HSV 颜色空间下的色调 H 的局部累加直方图,并提出以上改进方法。实验结果表明:改进后的图像特征点匹配算法大大提高了原 Scott 图像特征点匹配算法的匹配精确度,不仅对物体平面旋转具有很高的匹配精确度,对物体立体旋转也具有较高的匹配精确度。

参考文献:

- [1] Scott G L, Longuet-Higgins H C. An algorithm for associating the features of two patterns[C] // Proc Royal Society. London: [s. l.], 1991: 21-26.
- [2] Pilu M. A Direct Method for Stereo Correspondence based on Singular Value Decomposition[C] // IEEE, CVPR97. [s. l.]: [s. n.], 1997: 261-266.
- [3] Castleman K R. Digital Image Processing[M]. New York: Prentice-Hall, 1996.
- [4] 刘忠伟, 章毓晋. 利用局部累加直方图进行彩色图像检索[J]. 中国图象图形学报, 1998, 3(7): 533-537.
- [5] 黄朝兵, 余胜生, 周敬利, 等. 基于多邻域统计矩直方图的彩色图像检索[J]. 小型微型计算机系统, 2005, 26(6): 1061-1064.

(上接第 15 页)

- [5] Rish I, Brodie M, Odintsova N, et al. Real-time Problem Determination in Distributed Systems using Active Probing[C] // In Proceedings of 2004 IEEE/IFIP Network Operations and

Management Symposium (NOMS 2004). Seoul, Korea: [s. n.], 2004.