

# 基于点特征的序列图像匹配方法研究

魏志强<sup>1),2)</sup> 黄磊<sup>1)</sup> 纪筱鹏<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(中国海洋大学信息科学与工程学院,青岛 266100) <sup>2)</sup>(卡内基·梅隆大学计算机学院,美国 15213)

**摘要** 提出了用 3 个向量描述 Harris 角点方向特征的方法,该算法首先用 Harris 角点检测得到特征点,并把 SIFT 算法中使用的特征描述方法引入到特征点描述中;然后利用欧氏距离对点特征进行匹配;提出一种简单高效的排除错误匹配的方法。该算法对数字城市中序列图像匹配具有光照强度、平移、旋转不变性。实验结果表明,该算法匹配准确率较高,具有实用价值。

**关键词** 数字城市 图像匹配 Harris 角点检测 点特征 SIFT

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)03-0525-06

## Research on Sequence Image Matching Based on Point Feature

WEI Zhi-Qiang<sup>1),2)</sup>, HUANG Lei<sup>1)</sup>, JI Xiao-Peng<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100)

<sup>2)</sup>(School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh PA, USA 15213)

**Abstract** Firstly, the Harris corner detector is used to detect corners, a method to describe the direction character of the corners is given and the keypoint descriptor of SIFT (scale invariant feature transform) is introduced in this method. Secondly, Euclidean distance is performed to get exact matching in the corner set. Finally, an easy and effective method to avoid wrong matches is discussed. This method is effective on brightness invariant, movement invariant and rotation invariant in the matching of digital city image sequences. This method is proved to be effective by realistic experiments, and of high practicability.

**Keywords** digital city, image matching, Harris corner detector, point feature, scale invariant feature transform(SIFT)

## 1 引言

基于图像序列的数字城市 3 维重建,因其成本低、效率高而在城市公共设施的管理、建筑设计、建筑物景观模拟等领域都有广泛的应用前景,成为当前的研究热点,图像匹配是其中的一个重要研究内容,而且图像匹配也是数字城市、计算机视觉和模式识别等领域的一个重要的研究课题。

目前,对图像匹配方法的研究主要有基于灰度的匹配方法<sup>[1-3]</sup>和基于特征的特征匹配方法<sup>[4-10]</sup>。基于

灰度的匹配方法是最简单的一种图像匹配方法,此方法用一幅图像中的一个窗口区域的信息,在另一幅图像中搜索匹配。最典型的如灰度互相关算法等。此类算法精度较高,但时间复杂度比较高。Tsai Du-ming 等人和 Lewis 都提出了快速的灰度互相关算法<sup>[1-2]</sup>。李强等人通过将图像分块,定义了一种描述图像局部灰度分布的特征编码<sup>[3]</sup>,将计算时间缩短了两个数量级。对于基于灰度相关的匹配方法,一旦图像比例差异特别大,或图像区域扭曲比较严重,以及进入一些信息贫乏的区域,匹配正确率会很小,甚至匹配失败。基于特征的特征匹配方法

基金项目:教育部“新世纪优秀人才支持计划”资助;山东省中青年科学家基金项目(2005BS01001);山东省科技攻关项目(2004GG2005112)

收稿日期:2007-05-31;改回日期:2007-10-08

第一作者简介:魏志强(1969 ~ ),男,教授、博士生导师。主要研究领域为移动计算、图像处理与计算机视觉、智能机器人技术。

E-mail: weizhiqiang@ouc.edu.cn

是通过灰度导出数学符号特征来实现匹配,一般要先提取图像中的点、线等特征。如 Huttenlocher 等人 and Kwon Oh-Kyu 等人先提取图像边缘信息特征,然后用 Hausdorff 距离匹配图像,可以匹配出平移、旋转、缩放变化甚至遮挡的物体<sup>[4-5]</sup>,但是,此方法一般用于有基准图像的匹配。Lowe 等人提出用 SIFT 特征描述符进行匹配<sup>[6-7]</sup>,取得了比较好的匹配效果,但其使用的是不具有视觉特征而仅仅具有数学特征的兴趣点。王年等人提出了一种基于图割的匹配方法<sup>[8]</sup>,将基于图割的匹配方法中的标号从 1 维推广到了 2 维,适用性更广,在全局上获得了能量函数最小。边后琴等人提出了一种改进的场景无关约束下的特征匹配算法<sup>[9]</sup>,引入了区域面积检测方法,在同形矩阵估计中,加入了基础矩阵和同形矩阵本质上的约束关系,改善了匹配精度和时间复杂度。周东翔等人提出基于灰度段的立体匹配方法<sup>[10]</sup>,以灰度段作为基元,具有不易受噪声、光度变化影响的

特点。因为不是直接用窗口区域进行灰度匹配,所以,基于特征的匹配方法对于对比度变化、光照变化和旋转变化等相对稳定,但是存在时间复杂度比较高的缺点。

本文采用点特征对序列图像进行匹配。在数字城市中,因为后继的纹理选择和 3 维重建等需要具有视觉特征的信息,比如角点,边缘线等,所以在特征点的选取上本文使用 Harris 角点,并且提出了描述 Harris 角点方向特征的方法。Lowe 在 SIFT 算法中使用的点特征描述方法具有较好的性能,本文将引入到基于 Harris 角点的特征描述中。因为建筑物中有可能会有很多非常相似区域的存在,所以,本文最后提出了一个简单高效的排除错误匹配的方法。整个过程取得了较好的匹配结果,满足了数字城市中序列图像匹配的需要。本文方法流程图如图 1 所示。

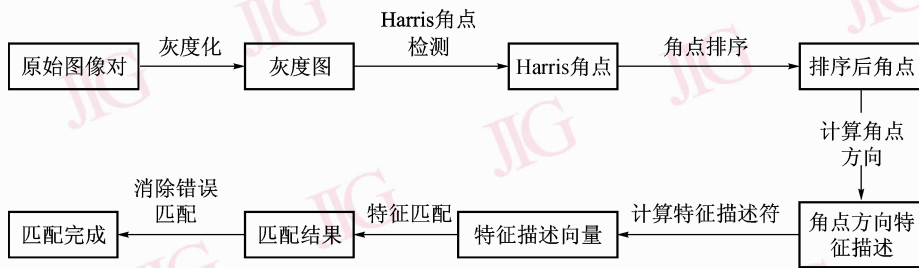


图 1 匹配方法流程图

Fig. 1 Matching method flow chart

## 2 角点检测

提取角点的方法很多<sup>[11-12]</sup>,其中 Harris 角点检测器具有很好的性质<sup>[13]</sup>,Harris 算子是 Harris 和 Stephens 提出的一种角点提取算子,该算子使用一阶差分,计算简单,可以使用滑动窗口,适合矩阵运算,具有稳定、提取的角点特征均匀和可以定量提取特征点的特点。本文采用 Harris 角点<sup>[11]</sup>作为匹配的特征点。

Harris 算子通过下式来确定角点:

$$M = \begin{bmatrix} \left( \frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\partial I}{\partial x} \right) \otimes e^{-(u^2+v^2)/2\sigma^2} & \left( \frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\partial I}{\partial y} \right) \otimes e^{-(u^2+v^2)/2\sigma^2} \\ \left( \frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\partial I}{\partial y} \right) \otimes e^{-(u^2+v^2)/2\sigma^2} & \left( \frac{\partial I}{\partial y} \cdot \frac{\partial I}{\partial y} \right) \otimes e^{-(u^2+v^2)/2\sigma^2} \end{bmatrix}$$

$$\text{tr}(M) = \alpha + \beta = A + B$$

$$\det(M) = \alpha\beta = AB - C^2$$

$$R = \det(M) - k\text{tr}(M)^2 \quad (1)$$

式中, $I$ 为图像, $e$ 为自然对数底, $e^{-(u^2+v^2)/2\sigma^2}$ 为高斯滤波器, $\alpha, \beta$ 为矩阵  $M$  的特征值, $\text{tr}(M)$ 为矩阵  $M$  的迹, $A, B$ 为矩阵  $M$  的主对角元素, $C$ 为矩阵  $M$  的次对角元素,  $A = \left( \frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\partial I}{\partial x} \right) \otimes e^{-(u^2+v^2)/2\sigma^2}$ ,  $B = \left( \frac{\partial I}{\partial y} \cdot \frac{\partial I}{\partial y} \right) \otimes e^{-(u^2+v^2)/2\sigma^2}$ ,  $C = \left( \frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\partial I}{\partial y} \right) \otimes e^{-(u^2+v^2)/2\sigma^2}$ ,  $\det(M)$ 为矩阵  $M$  的行列式, $R$ 为计算角点的响应函数, $k = 0.04$ 。

当  $R$  大于某一阈值并且取得邻域最大值时,当前点就是一个角点。因为 Harris 算子求的是梯度,所以对图像亮度改变具有无关性。旋转后只是方向发生了改变,所以具有旋转不变性。

用上述方法对每幅图像提取 Harris 角点,因为

Harris 角点的特征越强得到的结果越精确,为了提高精度,对 Harris 角点进行排序,取特征最明显的前 1/4 角点,对这些角点进行匹配。

### 3 计算角点特征

数字城市 3 维重建中以视频作为输入数据,视频帧得到图像序列信息,由数字城市视频拍摄的方式,两帧图像中建筑物的放大和缩小的范围比较小,可以假设它们在同一尺度上对其进行操作。

#### 3.1 Harris 角点的方向特征描述方法

Harris 角点是提取图像中在纵横方向上信息变化都比较大的点,如图 2 所示,对于角点  $P$ ,根据式(2)计算角点的梯度大小,根据式(3)计算角点的梯度方向。其中  $L(x+1,y)$  为像素点  $(x+1,y)$  处的灰度值。此时求得的梯度用图中的向量 1 表示。因为角点特征受周围像素纹理信息的影响,如角点一般表现为边缘的顶点或交点(如图 2 所示),所以仅仅用角点像素自身的梯度向量不能很好地反映角点特征,根据 Harris 角点的特性,本文充分考虑了角点周围邻域的像素特征,定义了 3 个向量表示 Harris 角点的方向特征。

$$m(x,y) = \left\{ (L(x+1,y) - L(x-1,y))^2 + (L(x,y+1) - L(x,y-1))^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

$$\theta(x,y) = \tan^{-1} \left( \frac{L(x,y+1) - L(x,y-1)}{L(x+1,y) - L(x-1,y)} \right) \quad (3)$$

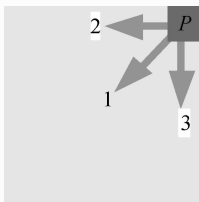


图 2 Harris 角点的方向描述

Fig. 2 Harris corner directions descriptor

计算反映角点特征的 3 个向量的方法如下:

(1)在直方图中将  $0^\circ$  到  $360^\circ$  分成 36 个柱,如图 3 所示。用式(2),式(3)计算 Harris 角点周围  $3 \times 3$  邻域内的像素梯度信息,这样得到了 9 个点的梯度方向和梯度大小信息。

(2)将这 9 个点的梯度信息按方向投影到刚才建立的直方图中,梯度方向在同一个柱内的梯度信

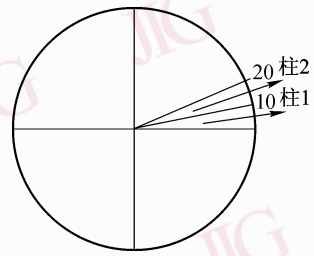


图 3 将  $0^\circ \sim 360^\circ$  分成 36 个柱

Fig. 3 Transform  $0 \sim 360$  degrees to 36 bars

息按梯度大小累加。

(3)找出直方图中梯度累加值最大的前 3 个方向作为角点的方向特征,这 3 个方向所对应的梯度大小,作为角点对应于此方向的梯度值特征,从而得到了反映角点特征的 3 个向量。

#### 3.2 匹配特征描述方法

上文定义的 3 个向量能充分反映 Harris 角点的方向特征,SIFT 算法<sup>[7]</sup>中用图 4 所示 128 维向量描述特征点的信息,本文将其在 Harris 角点的特征描述中。

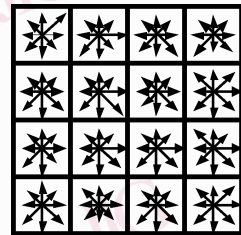


图 4 关键点描述符

Fig. 4 Keypoint descriptor

结合上文 3.1 求出的每个 Harris 角点的方向特征,Harris 角点的特征描述计算方法如下:(1)分别以角点方向特征的每个方向为主方向建立坐标系,取角点周围  $16 \times 16$  范围内的一个矩阵,用式(2)、式(3)计算此矩阵内像素的梯度大小和方向,并将此  $16 \times 16$  矩阵块分成 16 个  $4 \times 4$  小块。(2)将每小块中像素的特征向量投影到将  $360$  度平分为 8 个柱的直方图中,对同一个方向柱中的梯度按梯度值累加,此时得到一个  $16 \times 8 = 128$  维的特征向量,此向量即为所求特征描述向量。对该向量进行归一化处理,使其具有光照不变性。本文采取的角点方向特征描述方法以 3 个方向来表征一个 Harris 角点的方向信息,这样每个角点对应 3 个 128 维的向量作为其特征描述符。

## 4 图像匹配

利用求得特征描述符匹配特征点。采用欧氏距离法(公式 4 所示)对两幅图中的关键点用上步中求得特征描述向量进行匹配。

$$D = \sqrt{(x_1 - x'_1)^2 + (x_2 - x'_2)^2 + \dots + (x_{128} - x'_{128})^2} \quad (4)$$

式中,  $(x_1, x_2, \dots, x_{128}), (x'_1, x'_2, \dots, x'_{128})$  为待匹配的两个特征点的特征向量。

$D$  越小,说明匹配程度越高。

## 5 排除错误匹配

本算法依次通过最相关次相关比例法和距离法,方向法对匹配点对进行处理,排除其中错误的点对。此过程排除了一些在视觉上特别相近的误匹配角点,而且时间复杂度比较低。

### 5.1 最相关和次相关比例法

最相关和次相关比例法<sup>[7]</sup>是在匹配过程中,求出最近欧氏距离和次近欧氏距离的比:

$$K = \frac{D_{\text{nearest}}}{D_{\text{hypo-nearest}}} \quad (5)$$

式中,  $D_{\text{nearest}}$  为最近欧氏距离,  $D_{\text{hypo-nearest}}$  为次近欧氏距离。

如果比例值  $K$  大于某一个值,表明最近欧氏距离的匹配点和次近欧氏距离的匹配点都与待匹配点非常相似,这时可以认为这个最近欧氏距离匹配的点对有可能是错误匹配,排除这一对匹配,本文将  $K$  设为 0.8。

### 5.2 主动方向法和运动距离法

在匹配过程中有些点的邻域信息确实特别的相近,比如一栋楼上的各个窗角,因为拍摄的方式不同,这两个相近点的特征描述符的匹配程度甚至超过了同一点在两幅图中的相似程度。这时,要将这些错误匹配点找出来。

本文采用的主动方向法和距离法排除错误匹配方法如下:

主动方向法如图 5(a) 示,将关键点  $A$  的运动方向分为 1、2、3 和 4 共 4 个方向,建立此 4 个方向的直方图如图 5(b) 示,同样方向按关键点个数累加,倾斜方向移动的则将其投影到两个方向分量上,这两个方向分量分别累加 1。最后比较 1,3 方向直方

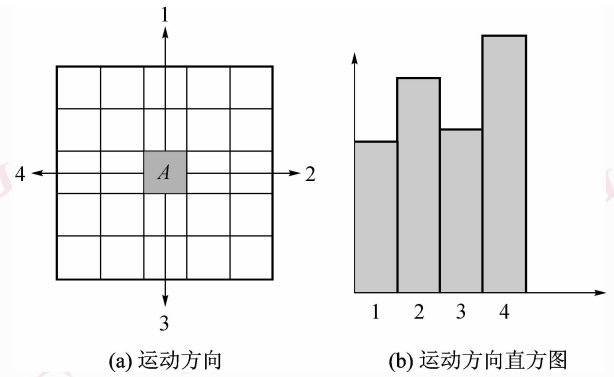


图 5 判断角点运动方向

Fig. 5 Judgment of corner movement direction

图大小,比较 2,4 方向直方图大小,取其中大值,并组合起来作为图像的运动方向。可能的组合为:  $(1,2), (1,4), (3,2), (3,4)$ 。比较每对匹配关键点的运动方向与图像的运动方向,将与图像运动方向不一致的匹配点对排除。

整个图像中如果有 50% 以上的点的匹配是正确的,那么就可以找出这两幅图的运动方向,根据这个方向,可以排除一些和运动方向不一致的匹配点。这样剩下的匹配点在运动方向上都是正确的。

距离法如式(6)所示,本文使用欧氏距离计算图像中匹配点的运动距离。

$$\hat{D} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (6)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{D}_i$$

$$\hat{D}_i < t_1 \bar{D} \text{ 或 } \hat{D}_i > t_2 \bar{D} \quad (7)$$

式中,  $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$  为两幅图中匹配点的坐标。 $\bar{D}$  为关键点运动距离平均值,  $n$  为两幅图像的匹配点数。  $t_1 = 0.5, t_2 = 1.5$ 。对于满足式(7)条件的匹配点,因为其运动距离与平均运动距离差别太大,可以认为是错误匹配点,并排除它。循环调用距离法,并将  $t_1$  逐渐增加,  $t_2$  逐渐减少,最终可将错误匹配降低到一个很小的范围内。

## 6 实验结果

用测试图像 1, 测试图像 2 对本算法进行测试(如图 6、图 7 所示),测试图像 2 对测试图像 1 发生了旋转和平移变换,光照也有差别。算法对两幅图中的角点排序,取了每幅图中特征最明显的 100 个点,通过本文匹配方法,找到了这两幅图中 26 对匹配点而且全部匹配正确(图中除角点  $a$  和角点  $a'$  外



图6 测试图像1  
Fig.6 Test image 1



图7 测试图像2  
Fig.7 Test image 2

图6和图7中的角点 $a$ 和 $a'$ 的邻域信息特别相似,在关键点匹配算法中将其误匹配成一对,但经过本文提出的排除错误匹配方法将其成功排除。通过大量实验表明,本文提出的排除错误匹配方法可以有效地排除错误匹配,对图8所示5组图像进行实验的结果如表2所示。排除的错误匹配点对如图8中所示。其中点 $c,c';d,d';e,e';h,h'$ 与图像的运动方向不一致,被排除;点 $a,a';f,f';g,g';i,i';j,j';k,k'$ 在公式(7)中 $t_2$ 取1.5时被排除;点 $b,b'$ 在第2次循环中公式(7)中 $t_2$ 取1.4时被排除。

用本文方法对图8中的5组图像分别提取特征最明显的100对点进行匹配,CPU:1.7G内存256M匹配时间如表3所示。从表3看出,本文算法若想用于实时信息的处理还需要进一步改善时间复杂度。

表2 排除错误匹配实验结果

Tab.2 Experiment result of avoid wrong matches

本文提出的排除错误匹配方法排除错误匹配数	
第1组	1对
第2组	1对
第3组	3对
第4组	1对
第5组	5对

表3 匹配所用时间

Tab.3 The time used in the matching process

单位:ms

匹配过程使用时间(ms)	
第1组	563
第2组	578
第3组	562
第4组	719
第5组	750

的其他匹配点对)。

通过大量实验表明,本文算法对于数字城市中的序列图像匹配正确率在96%以上,对于旋转,平移,光照具有不变性。下面通过图8所示5组图像对本算法与参考文献[1]方法和参考文献[3]方法比较,如表1示。

表1 实验结果

Tab.1 Experiment result

单位:%

	本文算法 匹配正确率	文献[1]方法 匹配正确率	文献[3]方法 匹配正确率
第1组	100	84.6	91.8
第2组	96.3	60	53.3
第3组	100	63	94
第4组	100	58.3	61.6
第5组	100	85.3	90.4

## 7 结论

本文首先给出了一种新的描述Harris角点方向特征的方法;然后充分利用了SIFT算法中特征点特征描述方法对光照强度、平移、旋转的不变性,将其用于基于Harris角点的图像匹配,提高了图像匹配的准确度;最后提出了简单、高效排除错误匹配点的方法,实现了对匹配结果较好的修正。

本方法在窄基线情况下,具有较好的匹配效果,满足了数字城市中序列图像匹配的需要,但对于宽基线,图像中目标物体大小变化较大,以及图像具有仿射变换和几何变形比较严重时如何实现高精度

的匹配,需要进一步的研究。



图 8 5 组实验图像及排除错误匹配结果

Fig. 8 5 pairs of experiment images and the result of avoiding wrong matches

### 参考文献 (References)

1 Tsai Du-ming, Lin Chien-ta. Fast normalized cross correlation for

defect detection [J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24 (15): 2625-2631.

2 Lewis J P. Fast normalized cross-correlation [EB/OL]. <http://www.idiom.com/~zilla/Work/nvisionInterface/nip.pdf>. 1995.

3 Li Qiang, Zhang Bo. A fast matching algorithm based on image gray value[J]. Journal of Software, 2006, 17(2): 216-222. [李强,张钺.一种基于图像灰度的快速匹配算法[J].软件学报,2006,17(2):216-222.]

4 Huttenlocher D P, Klanderman G A, Rucklidge W J. Comparing images using the Hausdorff distance [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(9): 850-863.

5 Kwon Oh-Kyu, Sim Dong-Gyu, Park Rae-Hong. Robust Hausdorff distance matching algorithms using pyramidal structures [J]. Pattern Recognition, 2000, 34(10): 2005-2013.

6 Brown M, Lowe D G. Recognising panoramas [A]. In: Proceedings of the 9th International Conference on Computer Vision [C], Nice, France, 2003: 1218-1225.

7 Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.

8 Wang Nian, Fan Yi-zheng, Bao Wen-xia, et al. An images matching algorithm based on graph cuts [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(2): 232-236. [王年,范益政,鲍文霞等.基于图割的图像匹配算法[J].电子学报,2006,34(2):232-236.]

9 Bian Hou-qin, Su Jian-bo. Feature correspondence algorithm based on scene-independent constraint [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(3): 342-348. [边后琴,苏剑波.场景无关约束下的特征匹配算法[J].中国图象图形学报,2006,11(3):342-348.]

10 Zhou Dong-xiang, Cai Xuan-ping, Sun Mao-yin. A stereo matching algorithm based on gray level segments [J]. Journal of Software, 2001, 12(7): 1101-1106. [周东翔,蔡宣平,孙茂印.基于灰度段的立体匹配算法[J].软件学报,2001,12(7):1101-1106.]

11 Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector [A]. In: Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference [C], Manchester, UK 1988: 147-151.

12 Smith S M, Brady J M. Susan-a new approach to low level image processing [J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23(1): 45-78.

13 Tissainayagam P, Suter D. Assessing the performance of corner detectors for point feature tracking applications [J]. Image and Vision Computing, 2004, 22(8): 663-679.