

文章编号: 1002-0446(2005)03-0236-05

全景图拼接中的一种快速图像点对应策略*

全红艳^{1, 2}, 张田文¹, 蔺想红^{1, 3}

(1. 哈尔滨工业大学计算机学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 东北农业大学工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150036;
3. 西北师范大学数学和信息科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 根据两幅图像间点对应的要求, 利用像素所在区域强度的变化, 提出了一种基于模板的区域权值标记边缘检测方法 (TBAWSED). 在此基础上提出了一种一种基于区域和基于特征相结合的快速点对应策略. 在实际拍摄图像及合成图像的实验中均验证了该策略的有效性, 在全景图像拼接研究的实践中, 利用该策略求取图像的对应点, 节省了大约 50% 的时间, 证明了该策略中算法的高效率.

关键词: 全景图拼接; 点对应; 强度; 边缘检测

中图分类号: TP24 文献标识码: B

A Fast Strategy of Point Correspondence in Panorama Stitching

QUAN Hong-yan^{1, 2}, ZHANG Tian-wen¹, LIN Xiang-hong^{1, 3}

(1. School of Computer Science & Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. School of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150036, China;

3. College of Mathematics and Information Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: To meet the requirements of the point correspondence of two images, a Template Based Area Weight Signing Edge Detection Method (TBAWSED) using the region density feature is put forward, and a fast point correspondence strategy based on ABM (Area Based Method) and FBM (Feature Based Method) is presented. Its effectiveness is verified in test of real and synthetic images. The strategy is used in panorama images stitching, and about fifty percent of time is saved using this method, which proves its efficiency.

Keywords: panorama stitching; point correspondence; density; edge detection

1 引言 (Introduction)

图像间的点对应问题一直是视觉研究中的一个主要问题. 全景图像的拼接主要包括 3 个步骤: 图像整合、图像变形和图像合成, 图像整合时就要多次利用图像的点对应技术. 所以在全景图像拼接中, 需要有一种快速的点对应策略.

点对应的方法主要有基于面积的方法 (Area Based Method, 简称 ABM) 和基于特征的方法 (Feature Based Method, 简称 FBM). Zhang Z 提出了 ABM 的点对应方法^[1], 其主要利用图像间的子窗口进行强度相关测试来确定对应点. 该方法进行点对应的特点是准确, 但在全景图像拼接研究中, 用此方法多次求取图像间的对应点效率较低; 同时, 研究人员也

利用图像的特征信息进行图像点匹配研究^[2], 先分别提取两幅图像的特征, 通过其特征的匹配实现图像之间点对应^[3-5]. 在这些研究中, 比较简单的特征是边缘特征^[6,7]. 而在点对应研究中, 利用现有的边缘提取方法, 不能达到快速对应的目的. 本文研究了各种边缘检测方法对图像点对应速度的影响, 在此基础上, 提出一种基于模板的区域权值标记边缘检测方法 (TBAWSED), 对边缘上的特征点结合 ABM 方法进行图像的对应点匹配, 大大减少了图像拼接中的对应点求取时间.

2 基于模板的区域权值标记边缘检测 (TBAWSED) 方法 (A template based area weight signing edge detection method)

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60075010) .

收稿日期: 2004 - 08 - 10

在全景图像拼接研究中,多次利用 ABM 点对应方法求取图像间的对应点效率较低,但可以通过减少特征点数量的方法来提高点对应的速度.图像特征点是图像中强度变化较大的点,其主要分布在边缘和区域内部,为了提高点对应速度,我们可以先提取图像的边缘,再对边缘上的特征点进行面积相关计算,这样既可以保留 ABM 方法的优点,又可以提高其对应的速度.图像边缘提取算法有下列特点^[8]:

- (1) 提取的每段边缘像素尽可能连续,即不出现“断像素”的现象,使之有较多的特征点;
- (2) 提取的边缘中尽可能平滑噪声,以便获得较准确的对应;
- (3) 边缘提取算法具有较快的速度.

基于以上快速点对应的要求,我们利用基于一阶导数的 Prewitt 梯度算子、Sobel 梯度算子、基于二阶导数的 Laplacian 梯度算子和 Gauss 平滑的 Laplacian 梯度算子(简称为 LOG 算子)的边缘检测方法进行了求取图像对应点的研究^[9],见表 1.另外,文献[8]中提出的一种基于像素扩展的边缘提取方法,其运算复杂度太高,不能满足点对应的要求,所以需要一种能够快速有效提取连续图像边缘的方法.

表 1 各种边缘检测方法的比较

Table 1 Comparison of some edge detection methods

提取方法	区别
Prewitt	运算次数较多,提取的边缘包含特征点数较少
Sobel	提取边缘较粗,速度较慢
Laplacian	提取边缘的线条较细,对噪声敏感,存在断像素
LOG	可抑制噪声,速度较慢
Canny	提取边缘较细,含较少特征点
新方法	提取的边缘较细,可抑制噪声,运算次数较少

2.1 TBAWSED 方法

现有的边缘检测方法中,Laplacian 算子的检测方法具有较快的边缘提取速度,但存在像素间断的现象,这将影响提取对应点的数目;另外,Laplacian 算子提取边缘的抗噪能力差,对噪声没有抑制作用;LOG 方法的速度又较慢.为了产生光滑连续的边缘,我们提出了 TBAWSED 方法.

$$\text{Laplacian 边缘检测算子基于二阶导数.对于}$$

$$\nabla^2 f(x, y) = f_{xx} + f_{yy} \quad (1)$$

$$D_x f(x, y) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h, y) - f(x, y)}{h} \quad (2)$$

$$\nabla_i f(i, j) = f(i+1, j) - f(i, j) \quad (3)$$

$$\Delta_i f(i, j) = f(i, j) - f(i, j-1) - f(i, j+1) \quad (4)$$

$$\nabla^2 f(x, y) = \nabla_i \Delta_i f(i, j) + \nabla_j \Delta_j f(x, y)$$

$$= 4f(i, j) - f(i-1, j) - f(i+1, j) - f(i, j-1) - f(i, j+1)$$

$$= 5[f(i, j) - \frac{1}{5}(f(i-1, j) + f(i+1, j) + f(i, j-1) + f(i, j+1) - f(i, j))]$$

利用 Laplacian 的 8 连通边缘检测算子进行边缘提取时,对于强度较大的像素,在阈值 T 作用下,其被检测为边缘,则有:

$$8I_0 - \sum_{i=1}^8 I_i > T \quad (6)$$

其中 I_0 为被检测的像素的强度, I_i 为被检测像素的第 i 个相邻像素的强度,被检测像素的 8 个邻像素如图 2 所示.由 (6) 式得:

$$I_0 - \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 I_i > \frac{1}{8} T \quad (7)$$

由式 (5) 和 (7) 可以看出,基于二阶的导数的边缘检测算子利用 I_0 与相邻的 (8 连通或 4 连通) 像素的平均强度比较.强度较小的像素,由于其强度小于相邻的像素的平均强度,不能被检测为边缘.为了产生连续像素的边缘,强度较小的边缘像素也应被检测出来.我们提出的 TBAWSED 方法是被检测像素与其它 8 个相邻区域(模板如图 1 所示)的平均强度进行比较,由于该点在其相邻近的平滑区内强度变化明显,所以即使强度较小,也可能被检测出.

图 1 像素的 8 个邻域模板

Fig. 1 Eight templates of pixel neighbor area

TBAWSED 算法的步骤如下:

- (1) 设图像的分辨率为 $M \times N$, 图像中的每个像素的权值 ω_{mn} ($m=1, \dots, M, n=1, \dots, N$) 置为零;
- (2) 对于每个像素,用以下的方法确定其新的权值:

$$\omega_{mn} = \begin{cases} \omega_{mn} + 1 & \text{当 } I \geq \bar{I}_i \quad (i=1, \dots, 8) \\ \omega_{mn} & \text{当 } I < \bar{I}_i \quad (i=1, \dots, 8) \end{cases}$$

其中 I 为被测试像素的强度, \bar{I}_i 为其邻接的第 i 个区域的平均强度;

- (3) 对所有像素进行测试,当其权值大于阈值 T''

时,确定为边缘点;否则,为非边缘点;

(4)去噪,当被检测像素的权值非零,而其8个相邻像素的权值全部为0时,则置该像素权值为0.

2.2 算法的性能分析

(1)检测强度较低的像素,产生连续边缘

利用区域加权边缘检测方法,强度较低的像素也能被检测,避免了边缘像素间断的现象.

经过理论分析可得到以下的结论:利用 Laplacian 边缘检测算子进行检测时,强度为 I_0 的像素在阈值 T_1 作用下,若未被检测出,那么利用 TBAWSED 方法是能够被检测出来的.

假设利用 Laplacian 边缘检测算子进行检测的阈值为 T_1 , 8 连通区域强度的平均值为 \bar{I} , 被检测像素的强度为 I_0 , 则由式 (7) 得:

$$I_0 - \bar{I} > T_1 \quad (\text{假设 } T_1 = \frac{1}{8} T) \quad (8)$$

若强度较低的像素,运用 Laplacian 算子不能被检测出时有:

$$I_0 - \bar{I} < T_1 \quad (9)$$

假设被检测像素的第 i 个邻域的平均强度为 \bar{I}'_i , 利用区域加权边缘检测方法,在相同阈值 T_1 作用下,为了方便讨论,假设 I_0 在其 8 个邻域内都具有较强的强度,则有:

$$\begin{cases} I_0 - \bar{I}'_1 > T_1 \\ I_0 - \bar{I}'_2 > T_1 \\ \dots \\ I_0 - \bar{I}'_8 > T_1 \end{cases} \quad (10)$$

由 (10) 式: $I_0 - \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \bar{I}'_i > T_1$, 假设 $\bar{I}' = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \bar{I}'_i$, 则:

$$I_0 - \bar{I}' > T_1 \quad (11)$$

由 (8) 和 (11) 式可知,若强度较低的像素,运用 Laplacian 算子不能被检测出时,由于考虑了相邻的较平坦区域,其平均值 \bar{I}' 小于 8 连通区域的强度 \bar{I} , 所以 $I_0 - \bar{I}'$ 比 $I_0 - \bar{I}$ 要大,从 (11) 式可知,在阈值 T_1 作用下是可能被检测出来的.

(2) 快速良好的去噪性能

为了研究本算法的去噪性能,若利用像素周围 5×5 的区域进行去噪得到了更好的去噪效果,但是,由于考虑了 5×5 区域,使得计算次数有所增加,利用该方法进行快速点对应时,其速度比 TBAWSED 方法中的去噪策略要慢,这两种方法对应点数目相同.所以, TBAWSED 方法具有快速良好的去噪性能.

(3) 较快的边缘检测速度

TBAWSED 方法具有较低的运行次数.我们将其运算次数与各种边缘检测方法的运算次数进行比较,可知各种边缘检测方法的运算时间存在着差异,虽然它们的时间复杂度都为 $O(N^2)$,但由于运算次数的差异,它们运算时间是不同的, TBAWSED 方法具有较少的运算次数,所以边缘检测的速度较快.

3 快速点对应方法 (Fast point correspondence method)

3.1 图像快速点对应方法

在全景图像拼接研究中,用 ABM 方法多次求取图像间的对应点效率较低,但可以通过减少特征点数目的方法来提高点对应的速度.在 TBAWSED 方法基础上,我们提出了图像的快速点对应方法.其算法如下:

(1) 利用 Harris 方法对两幅图像进行角点提取^[10],得到的特征点集分别为 C_1 和 C_2 ;

(2) 利用 TBAWSED 方法,提取两幅图像的边缘,得到的边缘点集为 E_1 和 E_2 ;

(3) 对于满足条件 $p_1 \in (C_1 \cap E_1)$ 的这 p_1 点和搜索窗口内的满足 $p_2 \in (C_2 \cap E_2)$ 的 p_2 点利用面积相关的方法进行测试,建立初步的点对应关系;

(4) 利用松弛算法进行对应点的松弛,进一步确定对应关系;

(5) 利用极线约束的方法,进一步剔除不符合约束的对应点.

在步骤 (3) 中进行时,相关窗口的大小选为 7×7 ,搜索窗口的大小为图像的宽及高的 $1/4$ 即可.

3.2 快速点对应方法与 Zhang 方法的比较

为了简化问题,假设两幅图像的分辨率均为 $N \times N$,利用 Zhang 的方法进行面积相关运算时,对于每个特征点,搜索窗口内的所有特征点数目为 $numc_2$,左侧图像中的特点数为 $numc_1$.进行相关运算的最大数目为 $numc_1 \times numc_2$.图像快速点对应方法中,搜索窗口内的所有边缘上特征点数目为 num_2 ,左侧图像中的边缘上特征点数为 num_1 ,进行相关运算的最大数目为 $num_1 \times num_2$.而由于 $num_2 < numc_1$,且 $num_2 < numc_2$,由此可知图像快速点对应方法具有更低的对应运算次数.

4 实验验证 (Experimentation)

我们在 Pentium III 600,内存 128M 的微机,分别进行了边缘提取和点对应的实验,分别利用实际

拍摄图像和合成图像进行实验。

4.1 TBAWSED方法的实验验证

为了验证 TBAWSED方法的性能,我们分别用 TBAWSED方法和各种已有的边缘检测方法,对图 2 中的两幅 Church 图像进行边缘提取^[1],先对图 2 的两幅图像进行灰度化处理,图 3 是分别利用这些算子对图 2 中的左图像进行边缘提取的结果,从图中可以看出,用 TBAWSED方法进行提取的边缘具有连续的细像素和少噪声的特点.同时,为了比较各种方法的性能,我们对图 2 中的左图像提取的边缘中含有特征点数目以及提取的时间分别进行测试.表 2 是实验的结果.

表 2 各种边缘检测方法的实验数据比较

Table 2 Comparison of experimental results among some edge detection methods

边缘检测方法	图像 1	
	含特征点数	边缘提取时间
Prewitt	1197	3
Sobel	2273	3
Laplacian	2290	2
LOG	2734	11
Canny	1562	1
新方法	图 2 Church 图像	1

(上左为 Sobel方法;上中为 Prewitt方法;上右为 Laplacian方法;

下左为 LOG方法;下中为 Canny方法;下右为新方法)

图 3 应用各种方法进行边缘提取的结果

Fig. 3 Results of applying several methods to extract edges

从表 2 中可以看出, TBAWSED方法的速度最快,并且提取的图像边缘中含有较多的特征点信息,所以更适合于点对应的要求.

4.2 快速点对应策略的实验验证

4.2.1 对同一组图像进行点对应研究

我们在两幅图像点对应的研究中,应用各种边缘提取策略进行边缘提取,应用本文中提出的快速点对应策略,对 Church 图像对进行点对应的实验,我们进行处理时,取特征点的 1/15 进行对应,并在全景图 House (如图 4 所示)的拼接中,对各种方法的时间性能进行比较,表 3 列出了实验的结果.

图 4 House 全景图的拼接

Fig. 4 House panorama stitching

表 3 Church 图像点对应的实验结果 (时间:秒)

Table 3 Correspondence result of Church images (t/s)

检测方法	两幅对应时间	求得对应点数	House 全景图 拼接时间
Sobel	25	188	238
Prewitt	24	157	227
Laplacian	18	74	215
LOG	32	73	306
Canny	16	62	88
新方法	15	73	193
Zhang方法	22	109	452

从表中可以明显地看出,快速点对应方法具有很快的速度,在另外的 grass 全景图研究中,用 Zhang 方法求取对应点需要 53s,而用本文提出的方法仅用 28s,可见节省了约 50%的点对应的时间.

4.2.2 对多组图像进行点对应研究

为了研究不同图像应用快速点对应方法的效果,用快速点对应方法及各种现有边缘检测方法对 10 组图像进行点对应研究,对特征点的 1/6 进行处理.表 4 列出了各组图像使用现有边缘检测方法的最短对应时间和应用快速点对应方法的对应时间,以及 Zhang 方法的对应时间比较,用现有边缘检测方法进行点对应时,由于出现了求得对应点数目过少的现象,表中列出的是求得对应点数目大于等于 4 的结果,除了点对应时间(单位为秒),括号内是求得

的对应点数目;图5画出的是点对应时间的曲线,为方便起见,对于求得对应点数目少于4的方法,其时间假设为图中的极大值130.从表4及图5都可以看出,快速点对应方法在对不同图像应用时,都具有较快的点对应时间,并较Zhang的方法快得多,且其提取的对应点数较多,可以满足全景图像合成的需要.

表4 十组图像点对应时间的比较

Table 4 Ten groups of correspondence time

图像名称	用现有方法	新方法	Zhang方法
Building	5(4)	3(10)	20(16)
Cube	11(12)	9(10)	63(85)
Grass	14(22)	15(34)	96(101)
House	无	8(20)	20(4)
Kitchen	3(4)	3(19)	21(172)
Lab	7(12)	6(28)	87(320)
Marsh	15(26)	18(71)	119(166)
Object	无	7(12)	35(14)
Pentagen	无	9(14)	32(119)
Scene	10(15)	9(21)	44(61)

图5 十组图像进行点对应实验的曲线

Fig.5 Correspondence curve of ten groups of images

5 结论 (Conclusion)

本文提出一种基于ABM和FBM相结合的图像快速点对应方法,利用了快速的TBAWSED方法对图像进行特征提取,然后利用面积相关的方法进行点对应,最后利用极线约束确定准确的对应关系.由于运用了边缘的特征,大大减少特征点的数目,同时,由于利用了极限进行约束,大大提高了点对应的准确性.为了高质量快速提取图像的边缘特征,文中提出的TBAWSED方法利用了与多区域的强度比较和对像素的权值进行标记的方法,由于多区域中包含了平滑区域,所以强度较弱的像素也可以被检测出来,克服了传统的基于微分算子的边缘检测方法所

带来的检测边缘“断像素”的现象,同时,新方法检测边缘具有速度快、运算次数低,可以提取出含较多特征点的边缘等优点.利用该方法进行特征提取,克服了ABM方法中的对应速度较慢的缺点,同时也克服了FBM方法中的复杂特征提取的缺点,所以,更能满足全景图像拼接研究的需要.

本文所提出的方法中提取角点与提取边缘是分别进行的,如果要进一步提高点对应的速度,也可先提取两幅图像的边缘,仅在图像的边缘像素上进行对应就可以,这样还可以提高点对应的速度.但也应该注意的是,若边缘上的点提取太少,就会使求得的对点过少,甚至不能得到对应点,从而不能满足全景图研究的需要.所以,减少特征点的数目,加快全景图中的图像对应,同时必须注意,在减少特征点的数目的同时,又不能使其数目过少.

参考文献 (References)

- [1] Zhang Z, Deriche R, Faugeras O, *et al.* A robust technique for matching two uncalibrated images through the recovery of the unknown epipolar geometry[J]. *Artificial Intelligence Journal*, 1995, 78, (1-2): 87-119.
- [2] Schenk T, Greenfeld J S. Experiments with edge-based stereo matching[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1989, 55(12): 1771-1777.
- [3] Wang Y. Principles and applications of structural image matching[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1998, 53(3): 154-165.
- [4] Saber E, Tekalp A M. Integration of color, edge, shape and texture features for automatic region-based image annotation and retrieval[J]. *Journal of Electronic Imaging*, 1998, 7(3): 684-700.
- [5] Jung I K, Lacroix S. A robust interest points matching algorithm[A]. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*[C]. Vancouver, Canada: IEEE, 2001. 538-543.
- [6] Shi J, Tomasi C. Good features to track[A]. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*[C]. Seattle, WA, USA: IEEE, 1994. 593-600.
- [7] Schmid C, Zisserman A. Automatic line matching across views[A]. *Proceedings of the 1997 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*[C]. Puerto Rico, USA: IEEE, 1997. 666-671.
- [8] Gamica C, Boochs F, Twardochlib M. A new approach to edge-preserving smoothing for edge extraction and image segmentation[A]. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*[C]. Netherland, Amsterdam: 2000, Vol. XXXIII. 385-390.
- [9] Castleman K R. 朱志刚. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社, 1998.
- [10] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector[A]. *Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference*[C]. Manchester: 1988. 147-151.

作者简介:

全红艳 (1968-), 女, 博士研究生. 研究领域: 虚拟现实, 基于图像绘制, 计算机视觉.

张田文 (1940-), 男, 博士生导师. 研究领域: 图像处理, 模式识别, 计算机视觉及图像压缩等.