

基于直线特征匹配的序列图像自动配准

张鹏强¹ 余旭初¹ 韩 丽² 刘景正¹

(1 信息工程大学测绘学院,郑州市陇海中路 66 号,450052)
(2 信息工程大学电子技术学院,郑州市商城东路 12 号,450004)

摘 要:提出了一种运用相应直线段特征作为控制基础的序列图像自动配准方法。根据相应直线段“共线”原理建立了图像配准模型,该模型的优点是不必精确定位相应直线段的端点,突破了相应特征必须严格“同名”的限制。同时,根据图像配准对控制直线段的要求,分别设计了序列图像中直线段特征的自动提取和自动匹配算法,从而实现了概略对准条件下的序列图像的全自动配准。
关键词:序列图像;自动配准;直线提取;直线匹配
中图法分类号:P237.3

基本的图像配准方法分为基于区域和基于特征两种方法^[1]。针对线特征在摄影测量处理中的应用,一些文献利用高级几何特征地物,如利用直线和曲线代替点作为控制要素进行摄影测量自动绝对定向,这不仅为自动绝对定向提供了一个方向,而且增加了观测值的冗余度和平差时的几何约束条件,改进了绝对定向的精度和可靠性^[2]。在此基础上,张祖勋院士提出了广义点摄影测量,将大量的线特征引入摄影测量过程中,以控制线代替控制点进行摄影测量处理^[3,4]。张宏伟等详细阐述了利用直线和圆作为控制基础进行摄影测量处理的具体方法^[5]。以上方法中,直线段特征的定位仅由直线方程给出,而无需精确定位端点坐标,突破了以往相应线特征和面特征必须严格“同名”的限制。为了充分利用直线段特征的这一特性,本文将直线段特征引入序列图像自动配准中,运用待配准图像与参考图像上相应直线段共线这一基本条件来建立图像变形模型,并通过直线段特征的自动提取和自动匹配来实现序列图像配准过程的全自动化。

直线段是序列图像中常见的特征,线特征提取也是目前图像处理中较为成熟的技术。可以运用稳健的直线段特征提取算法,分别在参考图像和待配准图像中提取相应的直线段特征,用于序列图像的几何配准。与基于点特征的配准相比,

其优点是只需在参考图像和待配准图像中提取相应的直线段,而不必精确定位直线段的端点。同时,直线提取算法可以实现自动化,且能达到较高的精度。

1 变换模型

本文采用间接法图像配准,即运用配准后图像上的像点坐标(与参考图像坐标相同),可求出相对应的待配准图像上的坐标:

$$x^s = f(x^r, y^r); y^s = g(x^r, y^r) \quad (1)$$

式中, (x^r, y^r) 为参考图像中的像点坐标; (x^s, y^s) 为待配准图像中的像点坐标。式(1)即为图像配准的坐标变换函数表达式。对配准图像上的每一个像点 (x^r, y^r) , 都可计算出其在待配准图像上的对应坐标 (x^s, y^s) , 像素值重采样后即得到配准图像。序列图像配准的实质就是确定该坐标变换函数的形式和参数。

如图 1 所示,参考图像上的直线段 L_i^r 与待配准图像上的直线段 L_i^s 是一对相应特征, L_i^d 是 L_i^s 经过配准后在配准图像上的直线段,显然, L_i^d 应该与 L_i^r 共线,再根据共线条件可知,直线段 L_i^d 与 L_i^s 在一条直线上。

图 1 中, p_{i1}^d, p_{i2}^d 表示 L_i^d 的两个端点, p_{i1}^s, p_{i2}^s 表示 L_i^s 的两个端点。取 \mathbf{a}_i 为 p_{i1}^s 到 p_{i2}^s 的矢量, \mathbf{b}_i 为

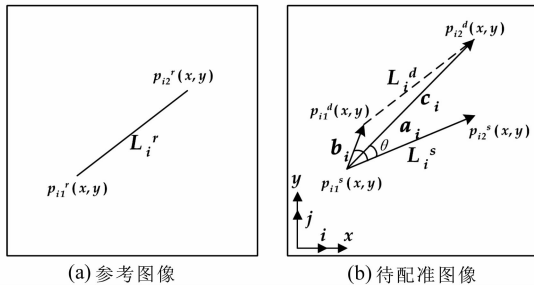


图 1 基于直线特征的图像配准模型
Fig. 1 Model for Image Registration with Line-Based Approach

p_{i1}^s 到 p_{i1}^d 的矢量, c_i 为 p_{i1}^s 到 p_{i2}^d 的矢量, 则有:

$$\begin{aligned} a_i &= (x_{i2}^s - x_{i1}^s) \mathbf{i} + (y_{i2}^s - y_{i1}^s) \mathbf{j} \\ b_i &= (x_{i1}^d - x_{i1}^s) \mathbf{i} + (y_{i1}^d - y_{i1}^s) \mathbf{j} \\ c_i &= (x_{i2}^d - x_{i1}^s) \mathbf{i} + (y_{i2}^d - y_{i1}^s) \mathbf{j} \end{aligned}$$

由于直线 L_i^d 与 L_i^s 共线, 则 L_i^d 上的 p_{i1}^d 、 p_{i2}^d 位于直线 L_i^s 上。从矢量的角度看, 要求矢量 a_i 与 b_i 、 c_i 共线, 即有:

$$\begin{aligned} a_i \times b_i &= 0 \\ a_i \times c_i &= 0 \end{aligned}$$

或
 $(y_{i2}^s - y_{i1}^s)(x_{i1}^d - x_{i1}^s) - (x_{i2}^s - x_{i1}^s)(y_{i1}^d - y_{i1}^s) = 0$
 $(y_{i2}^s - y_{i1}^s)(x_{i2}^d - x_{i1}^s) - (x_{i2}^s - x_{i1}^s)(y_{i2}^d - y_{i1}^s) = 0$
转化为误差方程式为:

$$\begin{aligned} V_{ab} &= (y_{i2}^s - y_{i1}^s)(x_{i1}^d - x_{i1}^s) - (x_{i2}^s - x_{i1}^s)(y_{i1}^d - y_{i1}^s) \\ V_{ac} &= (y_{i2}^s - y_{i1}^s)(x_{i2}^d - x_{i1}^s) - (x_{i2}^s - x_{i1}^s)(y_{i2}^d - y_{i1}^s) \end{aligned} \quad (2)$$

将式(1)代入式(2), 进行整体最小二乘平差, 即可求出坐标变换函数中的参数。以仿射变换

$$\begin{aligned} x^d &= a_0 + a_1 x^r + a_2 y^r \\ y^d &= b_0 + b_1 x^r + b_2 y^r \end{aligned}$$

作为坐标变换函数形式为例, 需要解算 6 个变换参数, 每对相应直线段可列出两个误差方程式, 故至少需要 3 对相应直线段, 并要求直线段能够大体均匀地分布在图像中。另外, 这里还隐含了一个基本要求, 即至少要有两组直线段所在的直线互不平行。

2 直线段特征自动提取

在图像上提取直线特征的传统方法是 Hough 变换, 但 Hough 变换本质上是一种直线拟合方式, 定位性能较差, 不适合用于提取作为图像配准的控制直线。张宏伟采用特征提取-直线跟踪的方法来提取序列图像中的直线段特

征^[5,6], 这是一种宽容度较大的直线提取方案, 它对边缘特征进行分段直线逼近。作为图像配准控制基础的直线段特征, 要求提取图像中显著的直线段。为此, 本文首先提出了显著直线段应该满足以下两个条件: ① 直线段的长度要大于阈值 N ; ② 用于建立直线的边缘链码中的任意一点到直线的垂距小于阈值 Δ 。然后从 Canny 算子检测出的边缘链码中探测出符合以上条件的直线段特征。

但是, 以上两个条件并不适合于直接从链码中“探测”直线, 因为要判断这两个条件成立与否, 就要首先利用链码拟合一条直线, 这实际上是草率地假定了该完整的链码是由一条直线特征形成的。当链码中仅有一部分包含直线特征时(实际上, 大多数情况是这样的), 这种方法不利于正确地分割出包含直线特征的链码部分。如图 2 所示, 实线为边缘链码, 其中 AC 段为直线, CB 段为曲线, 虚线为最小二乘法拟合的直线, 利用该拟合直线无法清晰地分割出链码中包含直线的部分。

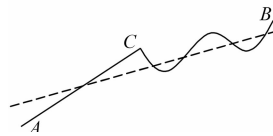


图 2 边缘链码与拟合直线
Fig. 2 Edge Chain Codes and Fitted Line

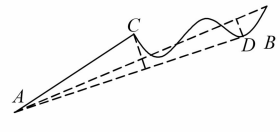


图 3 利用边缘链码首尾连线探测直线特征
Fig. 3 Line Detection with a Link Between Head and Tail of Edge Chain Codes

如图 3 所示, 边缘链码中的直线特征隐含了一条规则, 即若链码中包含一条直线段, 则该链码包含直线部分的首尾连线 AC 能够代表这条直线。利用这一规则将直线特征的以上两个条件作一转化, 用链码首尾连线 AB 代替拟合直线, 判断链码是否满足以上条件。若满足, 则用链码拟合直线作为输出直线; 反之, 搜索链码中距直线 AB 最远的端点 D, 将链码分割为两段 AD 和 DB, 然后再对这两段链码分别重新执行探测-分割处理。直到对所有链码完成足够的分割, 即除了已经输出为直线的链码外, 其余链码所包含的点数均小于阈值 N , 即不再满足上述条件为止。

对每一条链码, 其具体算法如下。

- 1) 若链码所包含的像素数小于 N , 则处理下一条链码;
- 2) 若链码首尾端点之间的直线长度小于 N , 处理下一条链码;
- 3) 计算链码上任一点到链码首尾连线 AB

的垂距,并记录其最大值 M 相应的端点 D ;

4) 若 $M < \Delta$,该链码是直线,用链码中的所有像素点按照最小二乘原理拟合直线;

5) 否则,将链码 AB 分裂为两条链码 AD 和 DB ,转到步骤 1)。

以上算法提取出了边缘链码中所有满足条件的直线段特征。在实际的图像配准中,可能并不需要如此众多的直线段控制,所以还要对提取出的直线段特征进行筛选。一个方便的原则是保留长度最大的直线段,因为直线段越长,其可靠性越高,同时也越有利于直线配准。图 4 显示了利用上述算法在航空图像上提取的直线段特征(局部),其中 $N=20$ 像素, $\Delta=2.0$ 像素。

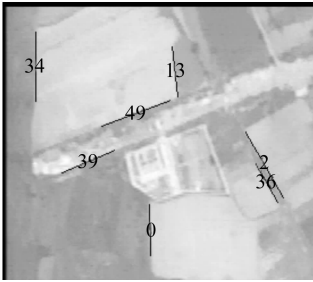


图 4 直线段提取结果
Fig. 4 Result of Line Extraction

3 直线段特征自动匹配

直线段特征自动匹配是实现序列图像配准过程全自动化的关键步骤。本文的算法是建立在待匹配的序列图像几何位置概略对准的基础之上的。在视频场景变化较慢的情况下,较小的采样间隔即可获得概略对准的序列图像,在视频场景变化较快或图像采样间隔较大时,可利用传感器的位置/姿态参数对序列图像进行几何粗纠正,将待配准的序列图像纠正到同一参考坐标框架下,从而实现序列图像的概略对准。在概略对准的基础上,本文提出了相应直线段特征应该满足的以下 3 个基本条件:① 相应直线段中点之间的距离要小于阈值 M ,阈值的大小取决于待配准图像概略对准后残留的最大平移变;② 各对相应直线段之间的夹角值近似相等,该夹角值对应于待配准图像概略对准后残留的最大旋转变性;③ 相应直线段一一对应,且相应直线段符合图像配准模型。利用以上条件,本文设计的直线段特征自动匹配算法描述如下。

1) 对于参考图像中的每一条直线段,计算该线段中点与待配准图像中所有直线段中点的距

离,将待配准图像中距离值小于阈值 M 的所有直线段均作为候选的匹配直线段,并计算其夹角值 θ_{ij} ,其中 $\theta_{ij} \in [0, 90]$,下标 i 代表参考图像中的直线段特征序号, j 代表待配准图像中的候选相应特征;

2) 对于每一对候选匹配特征,统计得到其概率最大的夹角值 θ (实践中 θ 为一个取值区间 $[\theta - \delta, \theta + \delta]$),剔除夹角值 θ_{ij} 落在此区间之外的候选匹配直线;

3) 此时,对于参考图像中的直线段特征,在待配准图像中,既可能存在一个直线特征与之对应,也可能存多个特征与之对应,还可能不存在特征与之对应。为了剔除直线特征之间错误的对应关系,可利用已经一一对应的直线特征来建立图像之间的简单配准模型,并剔除不符合此模型的对应直线特征。

该算法建立的是一个不完全的直线段特征对应关系,即没有完全建立所有提取出的直线段特征中存在的对应关系,但是该算法所建立的相应直线段是可靠的,这符合图像配准的要求。

4 实 验

图 5 为航空序列图像直线段提取、匹配和图像配准结果(局部)。其中参考图像和待配准图像是从机载航空视频中以较小的间隔采样得到的,其上显示了采用本文算法提取出的直线段特征(在每幅图像中共提取出 50 条直线段,图中显示为序列图像左上角)。可以看出,待配准图像与参考图像在位置上是概略对准的。前者相对后者在 y 方向上存在较大偏移,在 x 方向上偏移较小。配准图像为采用基于直线特征匹配的图像配准算法对待配准图像进行配准的结果,几何变换模型采用了二次多项式模型。经过配准,得到了与参考图像在几何位置对应的配准图像,改正了待配准图像的偏移。其中采用本文 4 算法进行直线段

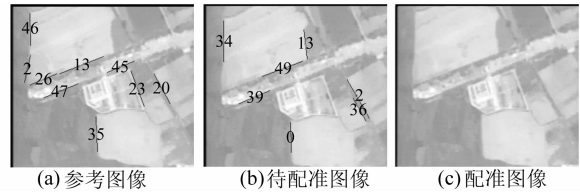


图 5 航空序列图像直线段提取、匹配和图像配准结果
Fig. 5 Results of Line Extraction, Matching and Image Registration of Aerial Image Sequence

匹配的结果如表 1 所示,表中仅列出了图 6 中可见的 5 对匹配直线段。实际上,整幅序列图像中的匹配直线段共有 31 对。

从图 5 中检查可知,表 1 的直线段匹配结果是正确的。

表 1 直线段匹配结果
Tab.1 Result of Line Matching

	直线段序号				
参考图像	46	13	47	20	35
待配准图像	34	49	39	2	0

参 考 文 献

[1] Barbara Z, Jan F. Image Registration Methods: a Survey [J]. Image and Vision Computing, 2003, 21: 977-1 000

[2] Burns J B, Hanson A R, Riseman E M. Extracting Straight lines [J]. IEEE Transactions on Pattern

Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8 (4): 425-445

[3] Zhang Zuxun, Zhang Jianqing. Generalized Point Photogrammetry and Its Application[C]. The 20th ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, 2004

[4] 张祖勋, 张宏伟, 张剑清. 基于直线特征的遥感影像自动绝对定向[J]. 中国图像图形学报, 2005, 10 (2): 213-217

[5] 张宏伟. 矢量与遥感影像的自动配准[D]. 武汉:武汉大学, 2004

[6] Canny J. A Computational Approach to Edge Detection [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698

第一作者简介:张鹏强,博士生,讲师,主要从事多时相遥感图像处理与分析方面的研究。
E-mail:zpq1978@163.com

Automatic Registration of Images Sequence
Based on Line Matching Approach

ZHANG Pengqiang¹ YU Xuchu¹ HAN Li² LIU Jingzheng¹

(1 Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, 66 Middle Longhai Road, Zhengzhou 450052, China)

(2 Institute of Electronic Technology, Information Engineering University, 12 East Shangcheng Road, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: Traditionally, image registration approaches are classified to two categories: area-based methods and feature-based methods, where the latter use corresponding features as control elements. An automatic images sequence registration method is proposed which using corresponding line segment features as control elements. According to the collinearity principle of corresponding line segment features, the image registration model is established. With this registration model, people need only to specify corresponding line segments, but does not need to locate their end points. This method break out the limitation about the corresponding features must be the same. Meanwhile, to realize the automatic registration of image sequence, the algorithms for automatic line extraction and automatic line matching is designed, which satisfy the demands of image registration, under the supposition that the images have overlaid roughly.

Key words: remote sensing images; automatic registration; line extraction; line matching

About the first author: ZHANG Pengqiang, Ph.D candidate, lecturer, majors in the processing and analysis of multitemporal RS images.
E-mail: zpq1978@163.com