

利用匹配直线解求变换参数的方法

柴登峰¹ 舒 宁² 张剑清³

(1 浙江大学空间信息技术研究所, 杭州市玉石路 20 号, 310027)

(2 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(3 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 特征匹配是影像匹配的一种有效方法, 它已逐渐发展成为具有旋转缩放不变性的方法。在匹配之后, 往往需要解求变换参数。提出了一种新的方法, 即利用匹配直线的对应关系解求变换参数。该方法应用到动态 DEM 匹配试验中, 取得了较好的试验结果。

关键词: DEM; 变换参数; 匹配直线

中图法分类号: TP751; P237.9; P231.5

在图像处理、计算机视觉、人工智能和神经生物学等领域中, 许多专家和学者从事影像匹配的研究工作并取得了丰硕成果, 匹配方法已经从影像相关发展到特征匹配, 匹配条件也逐渐放宽, 匹配方法具有旋转缩放不变性。但这要求根据匹配对应关系解求出旋转、缩放以及平移参数。目前, 一般方法是根据匹配点的对应关系解求上述参数的, 它要求预先建立点和点的对应关系。本文提出了一种新方法, 即利用匹配直线的对应关系解求上述参数, 它要求预先建立线和线的对应关系。这样, 对前期匹配就放松了要求, 得到的结果具有更高的可靠性。

1 匹配方法原理

1.1 基本思想

从本质上说, 影像匹配就是识别出不同影像中同一目标的过程。由于成像几何条件不同, 同一目标在不同影像中所表现出来的位置、大小和方向不同, 即它们的坐标不相同。

由几何学原理可知, 坐标系之间的转换关系由下列参数确定: 两坐标系原点的相对平移量 (x_0, y_0) 、坐标轴的相对旋转角 α 及两坐标系的比例因子 r , 其变换参数为 (α, r, x_0, y_0) 。现有的方法一般是根据若干已知点(至少 3 个以上)在不同坐标系下的坐标来确定上述参数, 进而确定坐

标系之间的转换关系。当然, 这些已知点(测量学中称为控制点, 在影像匹配中又称匹配点)要满足一定几何条件, 即它们不能在同一条线上。

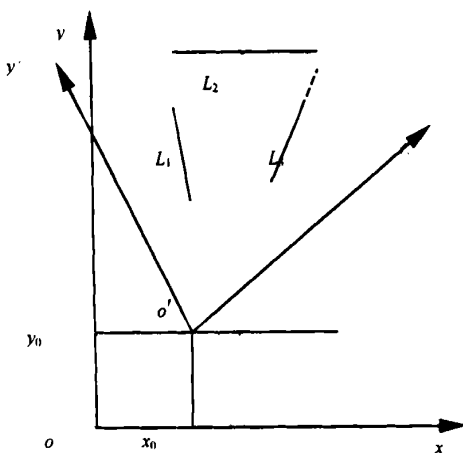


图 1 匹配直线与坐标系之间的转换关系

Fig. 1 Transforming Relationship between Straight Line Matching and Coordination

利用匹配直线解求变换参数则根据若干匹配直线(至少 3 条以上)在不同坐标系下的直线方程来确定上述参数, 进而确定坐标系之间的转换关系。由于直线的信息量比点的信息量丰富, 利用匹配直线解求变换参数将提高解求参数的可靠性。特别是在只能确定直线和直线对应, 而不能确定点与点对应的情况下, 该方法显出了它的优越性。如图 1 所示, 虚线表示其中一个坐标系下含有另一个坐标系下所没有的部分。由图 1 可以

看出,这不是线段与线段的对应,而是直线与直线的对应。确定线段需线段的两个端点,而确定直线只需直线上任意两点。

1.2 方法原理及实现

这里以格网形式 DEM 为对象介绍所提出方法各环节的原理。

1.2.1 特征提取

考虑到山脊线和山谷线为地形的显著特征,首先对 DEM 中每行(列)采用三次样条插值方法插值出每行(列)上的极值点,然后沿列(行)方向跟踪形成沿列(行)方向分布的山脊线和山谷线特征,综合行、列方向的山脊线和山谷线特征形成整体线特征,最后用折线段去逼近和表示上面得到的线特征。

1.2.2 特征描述

对于上面得到的折线段(称之为特征矢量链),给定起点的坐标以及自起点到终点所经的每一有向线段(矢量段)的长度和方向(方向定义为 x 轴沿逆时针方向旋转到该矢量的角度)。若调换起点和终点,可得到该矢量链的另一描述,但是,它们仅仅是同一矢量链的不同描述,可以相互转换。

1.2.3 特征匹配

在特征提取及描述后,接着就要进行特征匹配,即建立两个 DEM 特征之间的对应关系。由于所提取的特征是矢量链,而一个 DEM 中含有多条特征矢量链,因此,特征匹配就是以矢量链之间的匹配为基础。判断两条特征矢量链是否匹配和多条矢量链间的结构关系是否匹配是构成特征匹配的两个重要环节。

矢量段具有方向和长度两个属性,矢量段之间的匹配就应满足长度相等、方向一致的条件,分别设定长度比例和方向差的阈值,若两矢量段的长度比例和方向差分别在设定的阈值范围内,则认为两矢量段是同一矢量段,它们是匹配的。当然,如前所述,匹配要具有旋转缩放不变性,这就应允许存在长度和方向差异,为此引入了比例因子和旋转角,要求待匹配的两矢量链中每一对应矢量段之间的方向差相等,每一内部(除去第一条和最后一条)对应矢量段之间的长度比例相等。

实际上,DEM 中有多条特征矢量链,多条特征矢量链之间结构关系的约束就要引入到特征匹配中。由于地形特征结构很难描述,而且矢量具有方向属性,因此,就要利用矢量链的交角来描述矢量链间的结构关系。矢量链有两个端点,自端点引该端点到相邻点线段的反向延长线交另一矢

量链于一点,端点到交点的距离定义为该端点到所交矢量链的距离,如图 2 所示, d 即为端点 p_5 到另一矢量链的距离。若上述反向延长线并不与另一矢量链相交,则定义该距离为无穷大,此时就没有交角。

对矢量链间结构关系约束必须判断对应的交角是否相等,两对匹配特征矢量链的长度比例因子和方向差是否相等。

如图 2 所示,若 $p_1p_2p_3p_4$ 和 $q_1q_2q_3q_4$ 以及 $p_5p_6p_7$ 和 $q_5q_6q_7$ 匹配,还要判断图中所示 $p_1p_2p_3p_4$ 和 $p_5p_6p_7$ 在 p_5 处的交角, $p_1p_2p_3p_4$ 和 $q_1q_2q_3q_4$ 匹配判断时计算所得的比例因子、旋转角与 $q_1q_2q_3q_4$ 和 $q_5q_6q_7$ 在 q_5 处的交角, $p_5p_6p_7$ 和 $q_5q_6q_7$ 匹配判断时计算所得长度比例因子与方向差是否对应相等。若相等,两条矢量链之间的结构关系匹配;若不相等,则两条矢量链之间的结构关系不匹配。

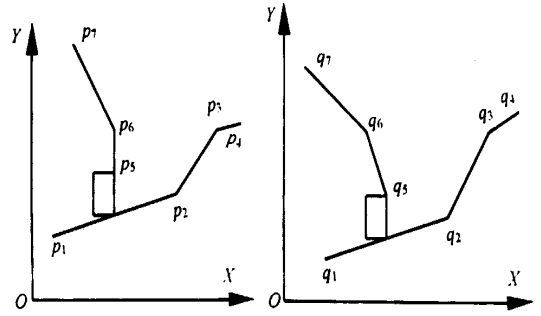


图 2 矢量链之间的结构关系匹配

Fig. 2 Vector Chain Matching

至此,就可以建立待匹配两 DEM (动态 DEM 和已知 DEM)之间特征的对应关系,即矢量链之间的对应关系,当然也就建立了直线与直线之间的对应关系,这为下一步变换参数的求解奠定了基础。

1.2.4 变换参数的求解

确定两个坐标系的转换关系就是要确定 4 个转换参数,即坐标系的相对转角、比例因子和坐标原点偏移量(α, r, x_0, y_0)。

若 $o'-x'y'$ 是坐标系 $o-xy$ 原点平移到 (x_0, y_0) 点后,绕逆时针方向旋转 α 角,并且将坐标系的单位刻度缩小 r 倍后的坐标系,则有:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, x', y', x, y 分别为同一点在变换后和变换前的坐标系,即 $o'-x'y'$ 和 $o-xy$ 中的坐标,另外几个参数即为变换参数。若先不顾及旋转变换,则上式简化为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

现有一直线, 并且已知其在变换前后的坐标系中的方程为:

$$y = kx + b \quad (3)$$

$$y' = k'x' + b' \quad (4)$$

由式 2 和式 4 可得:

$$0 = y - kx - b = \frac{y'}{r} + y_0 - k \frac{x'}{r} - kx_0 - b = y_0 - kx_0 + (y' - kx') \frac{1}{r} - b \quad (5)$$

式中, r, x_0, y_0 为未知数, 其余均为已知, 因此, 式(5)是关于未知数 r, x_0, y_0 的一个方程。若有 3 个及以上非线性相关的方程, 则可解求出以上未知数。从上式可以看出, 方程中用到的是确定直线方程的斜率和截距参数而非点的坐标。

具体到影像匹配的问题, 式(3)和式(4)分别为两影像中相匹配的直线在各自参照坐标系下的直线方程, 由于两影像本身存在着误差且特征提取和描述又会带来误差, 由上述方程组成的方程组将是矛盾方程组, 就需求得最小二乘意义下的最优解。

在解求参数前已经获得匹配直线在两个坐标系(即 $o'x'y'$ 和 $o-xy$)下的直线方程, 可以根据匹配直线的方向确定两坐标系的相对转角 α , 然后再将坐标系 $o'x'y'$ 顺时针旋转 α 成为坐标系 $o''x''y''$ 。这样 $o''x''y''$ 和 $o-xy$ 两个坐标系就几乎消去了旋转变换的影响, 也就可以利用上述方法解求另外 3 个参数。

将变换后坐标系旋转回去的变换方程为:

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (6)$$

由上述变换方程可以求得坐标系 $o'x'y'$ 中任意点在新坐标系 $o''x''y''$ 下的坐标。在 $o'x'y'$ 中直线上任取两点, 利用式(6)可求得它们在 $o''x''y''$ 下的坐标, 然后可以求得其所在直线的斜率和截距 k'', b'' 。至此, 利用前述方法可求得 r, x_0, y_0 。于是, α, r, x_0, y_0 都获得解求。

如前所述, 匹配直线来源于前期匹配阶段的结果, 但由于特征提取及匹配误差存在的不可避免性, 在匹配直线的选取上增加了粗差检测环节, 即以对应直线方向差为指标剔除含粗差的匹配直线对。

2 方法的应用

上述方法应用到动态 DEM 匹配研究试验

中, 得到了验证。此时, 匹配的对象是动态 DEM 和已知 DEM (或称为库存 DEM), 但其本质和影像匹配相同。已知 DEM 是从实际影像利用数字摄影测量手段获取的, 而动态 DEM 则利用已知 DEM 采用 Matlab 中的双线性内插方法获得。已知 DEM 有 748 行 999 列, 行列间距都为 25m。两个动态 DEM 中一个是 500 行 320 列, 行列间距为 12.5m, 并且内插动态 DEM 时, 其坐标系相对已知 DEM 的坐标系偏移了 20 (水平) 和 500 (垂直) 个格网单位且逆时针旋转了 -30° ; 另一个是 92 行 128 列, 行列间距为 25m 的 DEM, 并且内插动态 DEM 时, 其坐标系相对已知 DEM 的坐标系偏移了 20 (水平) 和 630 (垂直) 个格网单位且逆时针旋转了 11.31° 。由此可知, 最后正确匹配结果应为:

$$\begin{cases} \alpha = -30^\circ \\ r = 2.0 \\ x_0 = 20 \\ y_0 = 500 \end{cases} \quad \text{和} \quad \begin{cases} \alpha = 11.31^\circ \\ r = 1.0 \\ x_0 = 20 \\ y_0 = 630 \end{cases}$$

由于动态 DEM 仅是已知 DEM 中的一小块, 动态 DEM 中的特征线可能是已知 DEM 中特征线的一部分, 因此, 存在着前面提到的情况, 即仅能确定直线的对应关系而不能确定点的对应关系。采用文献[3]中介绍的特征匹配方案建立了匹配直线的对应关系, 其结果如表 1 所示, 其中每一行为确定匹配直线在两坐标系下的空间位置所需的参量, 即上一点及其斜率。

表 1 匹配直线在两坐标系下的空间位置参量

Tab. 1 Results of Feature Matching

	x'	y'	k'	x	y	k
	0.000	301.070	0.719	73.000	626.020	0.126
试验	104.000	375.807	0.257	146.000	635.220	-0.203
	148.000	387.119	-0.198	178.000	628.740	-0.773
—	317.304	234.000	-2.217	213.080	508.000	10.600
	68.292	132.000	1.994	82.000	541.350	0.643
	0.000	87.085	-0.328	0.000	714.120	-0.031
	24.000	79.212	0.087	32.000	713.120	0.300
试验	88.000	84.806	-0.637	88.000	729.900	-0.401
—	0.000	57.260	0.154	0.000	682.370	0.358
	81.000	69.724	-0.212	84.000	712.410	-0.071
	16.000	26.412	0.295	29.000	658.140	0.678
	31.000	21.599	0.086	41.000	652.450	0.280

利用本文介绍的变换参数的解求方法解求了 4 个变换参数, 分别为:

$$\begin{cases} \alpha = -29.32^\circ \\ r = 1.88 \\ x_0 = 5.54 \\ y_0 = 488.87 \end{cases} \quad \text{和} \quad \begin{cases} \alpha = 12.64^\circ \\ r = 0.98 \\ x_0 = 16.76 \\ y_0 = 627.13 \end{cases}$$

由此可以看出,该方法能求得一个近似的变换参数解,能为精确的匹配方法提供足够精度的初始解,利用文献[3]介绍的精确匹配手段可以精确确定动态 DEM 和已知 DEM 的相对关系。

3 结 语

本文介绍的方法能够作为特征匹配之后变换参数的解求方法,因为特征匹配在很多情况下是一种粗略匹配,它仅需得到近似解。同时,在某些情况下(能确定线与线对应关系而难以确定点与点对应关系时),该方法有其优越性。

本文介绍的特征提取方法是以 DEM 为对象的,由于高程值直接反映地形特征,如山脊线和山谷线上的点恰恰就是极值点,利用样条插值方法求得极值点能很好地提取山脊线和山谷线特征。对于影像(如航空影像),线特征却发生在灰度阶跃处,要很好地检测影像特征必须借助影像特征提取方法,在此基础上,本文介绍的匹配及解求方法仍然适用。由于影像特征更为丰富,应使用多种手段建立多种约束进行匹配,以提高可靠性。

然而,本方法解决的只是旋转和缩放不变性匹配(即刚体匹配)问题,即坐标系的变换仅含平移、旋转和缩放变换。在摄影方向垂直地面时,待

解决问题就是刚体匹配问题,本方法能满足要求。对于更为一般的变换(如仿射变换),该方法是有局限性的,尚待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 王之卓. 摄影测量原理. 北京: 测绘出版社, 1979
- 2 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1996
- 3 柴登峰. 动态 DEM 匹配: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉测绘科技大学, 2000
- 4 李介谷. 计算机视觉理论和实践. 上海: 上海交通大学出版社, 1991
- 5 田原, 梁德群, 吴更石. 图像点集的不变性匹配方法. 模式识别与人工智能, 1998, 11(3)
- 6 柯正谊. 数字地面模型. 北京: 中国科学技术出版社, 1993
- 7 Andrew M F, Richard C W, Edwin R H. Symbolic Graph Matching with the EM Algorithm. Pattern Recognition, 1998, 131(11)
- 8 Wang Y N. Principles and Applications of Structural Image Matching. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1998, 53

作者简介: 柴登峰, 硕士。现主要从事影像匹配和计算机图像处理研究。

E-mail: chaidf@263.net

The Method of Using Matching Line to Solve Transform Parameter

CHAI Dengfeng¹ SHU Ning² ZHANG Jianqing³

(1 Institution of Space and Information Technology, Zhejiang University, 20 Yushi Road, Hangzhou, China, 310027)

(2 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

(3 National Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

Abstract: Feature matching is an effective method for image matching. Some transform parameters need to be solved after the matching. This paper puts forward a new idea to solve the parameters. All the details are discussed in this paper. This idea and method is applied to dynamic DEM matching experiment.

Key words: DEM; transform parameter; matching line

About the author: CHAI Dengfeng, master. His major interests include image matching and computer graphics.

E-mail: chaidf@263.net