第 38 卷 第 4 期
Vol.38 No.4

计 算 机 工 程
Computer Engineering

2012 年 2 月
February 2012

·人工智能及识别技术· 文章编号：1000—3428(2012)04—0155—03 文献标识码：A 中图分类号：TP751.1

基于 SIFT 二次匹配方法的同名像点识别

孙农亮，李焕焕，杨 宁，滕升华，曹茂永

(山东科技大学信息与电气工程学院，山东 青岛 266510)

摘 要：将尺度不变特征变换(SIFT)二次匹配方法用于 IRS-P5 立体像对的同名像点识别。引入全局几何约束与唯一性约束，剔除误匹配，获取用于初始定位的匹配样本，完成初始匹配。根据初始定位点，获取小区域子图像，在小区域内调整 SIFT 匹配阈值，在唯一性约束基础上，引入偏移坐标差值约束，完成二次匹配。通过实验验证，相比于将 SIFT 算法直接应用于遥感影像同名像点识别，SIFT 特征二次匹配算法在严格阈值下，匹配对数可增长 23.07 倍，可获取更密集可靠的同名像点。

关键词：遥感影像；尺度不变特征变换匹配；二次匹配；同名像点识别；双向匹配；偏移坐标差值约束

Identification of Correspongding Points Based on SIFT Twice Matching Method

SUN Nong-liang, LI Huan-huan, YANG Ning, TENG Sheng-hua, CAO Mao-yong

(College of Information and Electrical Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

【Abstract】The SIFT twice matching algorithm is proposed to get much more and reliable feature points in IRS-P5 remote sensing image matching. In order to get initial positioning points, uniqueness constraint and global geometric constraints are introduced to reduce matching error. micro-region images are got according to initial positioning points, and a new constraint-offset coordinate constraint is proposed together with the uniqueness constraint to complete the SIFT twice matching. Experimental results show that the matching number using the SIFT twice matching algorithm is 23.07 times of using SIFT directly with strict threshold value.

【Key words】remote sensing image; Scale Invariant Feature Transform(SIFT) matching; twice matching; identification of correspongding points; bidirectional matching; constraint-offset coordinate constraint

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.04.050

1 概述

当前，利用高分辨率遥感卫星进行地形信息提取、变化监测和制图是国内外的研究热点之一。而要自动化、可靠性地从高分辨率遥感影像中获取高精度的三维地形信息，其中的一个核心问题就是影像匹配。该匹配过程由计算机代替(或模拟)人眼进行立体观察，从而自动确定同名像点[1]。在各类成像传感器中，线阵 CCD 推扫式传感器能够实现对地立体观测，在目标定位和立体测图方面具有突出优势。立体摄影测量原理是利用线阵 CCD 推扫式影像实现目标定位的技术基础，必须采用立体观测以实现定位功能。通常，该类传感器有 2 种立体观测方式：(1)异轨侧视立体；(2)同轨立体。这 2 种立体构像方式对立体像对的影响主要表现在 2 个方面[2]：成像时间不同而引起的辐射差异及倾角不同引起的几何变形。其中，对同轨前后视立体影像的影响仅表现为后者，尤其在高分辨卫星遥感影像上，这 2 种成像方式造成的几何变形更为突出，这些因素都增加了摄影测量处理中影像匹配的难度。

尺度不变特征变换(Scale Invariant Feature Transform, SIFT)特征是图像局部特征，对旋转、尺度缩放、亮度变化均保持不变，对视角变化、仿射变换、噪声有一定的稳定性，这些优点可以在很大程度上解决遥感匹配的很多共性问题。理论上，影像不同区域可能存在大量相似性纹理结构(出现相同特征描述符)，利用 SIFT 匹配算法可以生成包含有巨量特征描述符的矩阵。然而由于匹配搜索范围过大，易出现误匹配。本文针对遥感影像的特点，研究如何获取更多特征同名像点，作为巨量同名像点的部分来源，以实现目标立体定位，为后续地形信息提取提供基础。本文提出 SIFT 二次匹配方法，分层次引入唯一性约束、全局几何约束，并针对误匹配特点，提出小区域子图像偏移坐标差值约束。

2 SIFT 特征匹配原理

SIFT 算法利用特征点提取特征描述符。该特征是图像的局部特征，对旋转、尺度缩放、亮度变化保持不变性，并对视角变化、仿射变换、噪声保持一定程度的稳定性[3]。本文仅对 SIFT 算法作简要介绍，SIFT 算法步骤主要有：

(1)建立尺度空间，检测尺度空间中极值点。

(2)确定关键点位置。

(3)确定关键点方向参数。

(4)生成特征描述符。

(5)利用描述符间相似性度量得到匹配点。

2 幅影像各自的关键点描述符生成后，采用描述符间的欧氏距离作为 2 幅影像中关键点的相似性度量。取前视影像中某个关键点(某 128 维描述符)，在后视影像中计算得到欧氏距离最近的 2 组 128 维描述符，即选定 2 个关键点。在这 2 个关键点中，若最近欧式距离与次近邻之比小于某阈值，则接受该匹配点对。

作者简介：孙农亮(1962－)，男，教授、博士，主研方向：图像处理，模式识别；李焕焕、杨 宁，硕士研究生；滕升华，讲师、博士；曹茂永，教授、博士

收稿日期：2011-08-12 **E-mail：**nl-jackson@vip.163.com

3 小区域子图像约束条件的引入

采用的基本匹配策略简便，但是容易产生误匹配，如图 1(前视图到后视图产生的单向匹配结果)所示。实验采用 IRS-P5 立体像对(图片大小为 1 000 像素×1 000 像素)。首先计算初始定位点，然后以初始定位点为中心，在一定半径范围内选取子图像对所引入的约束条件进行验证。

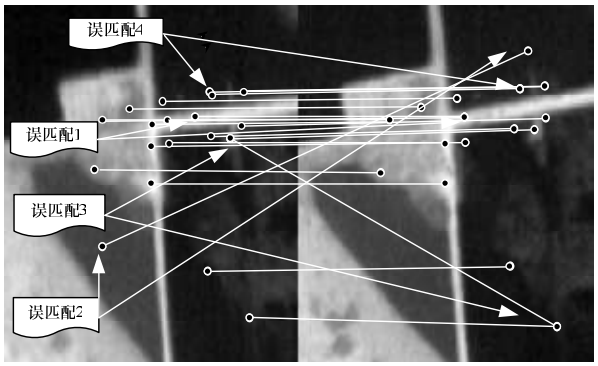


图 1 存在 4 对错误匹配点对的单向匹配结果

3.1 唯一性约束

根据匹配唯一性约束，采用双向匹配算法[4]剔除误匹配。双向匹配算法具体步骤如下：

(1)根据 SIFT 算法得到前视图与后视图各自特征点的特征向量描述符的集合，设定为集合{*F*}与集合{*A*}。每一个特征点描述符均由 128 维数据组成。

(2)计算由集合{*F*}到集合{*A*}的匹配点集，得到新的匹配集合分别为{*F*'}, {*A*'}。此过程称为单向匹配。此时最近距离与次近邻之比为第 1 阈值。

(3)计算{*A*'}到{*F*'}的匹配点集，阈值可适当降低，得到更加稳定的匹配结果。在实际计算过程中，{*A*'}集合中的某关键点在{*F*'}集合中找到某一同名点时，对该同名点的描述符进行标记，标记后的描述符不再参与相似性度量计算。此时最近距离与次近邻之比为第 2 阈值。

3.2 偏移坐标差值约束

双向匹配后(如图 2 所示)，可知匹配点对仍存在明显误匹配。为进一步剔除误匹配，本文提出偏移坐标差值约束方法。在经过初始定位后选取的 2 幅小区域图像内，各以左上角顶点为参考零点，分别计算特征匹配点对相对于各自参考点的小区域偏移坐标。以左右视图中的各自初始定位点为中心划定小区域图像，重新设定坐标系后，这样在小区域子图像内，假定左视图与右视图中偏移坐标差是基本保持不变的，即在某个偏移坐标差阈值范围内，认为该匹配点对是正确的。对本影像对进行偏移坐标差统计，选取 *X* 偏移坐标差值为 10，*Y* 偏移坐标差值阈值为 8。*X*/*Y* 偏移坐标差值=|前视图特征点偏移 *X*/*Y* 坐标–后视图对应匹配点偏移 *X*/*Y* 坐标|。

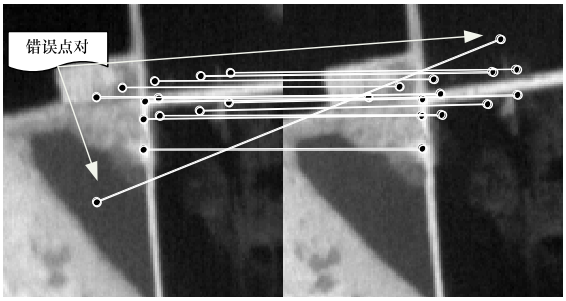


图 2 仍存在一对明显错误匹配点的双向匹配结果

3.3 实验结果分析

对实验分析得出结果如下：

(1)取最近距离与次近邻之比为 0.3，得到用于初始定位的匹配点对。

(2)取其中一对同名像点，在 2 幅影像中的坐标分别为(125, 334)、(107, 386)。前视图以点(125, 334)为中心，后视图以点(107, 386)为中心，取单向匹配阈值为 0.9，分别在半径为 65 的小区域子图像范围内计算得到匹配点集，如图 1 所示。获取单向匹配时小区域偏移坐标数据，存在多对一的情况，如表 1 第 9 行、第 11 行、第 13 行、第 15 行、第 16 行、第 17 行所示。

(3)实验取第 1 阈值为 0.9，第 2 阈值为 0.8，得到双向匹配结果，针对一对多情况，第 11 行、第 13 行、第 17 行的匹配对去除。同时由于第 2 阈值的降低，第 1 行、第 12 行、第 16 行、第 20 行匹配点对作为错误匹配点对剔除。由于区域的灰度相似性，仍存在明显错误点对，如图 2 所示，因此引入几何位置关系约束-偏移坐标差值约束，以剔除明显错误点对。双向匹配时小区域偏移坐标数据如表 1 所示。

表 1 不同约束条件下小区域偏移坐标统计

前视图中偏移坐标(*x*,*y*)		后视图中偏移坐标(*x*,*y*)		*x* 偏移坐标差值	*y* 偏移坐标差值	不同约束条件下剔除对数编号			单向匹配匹配点对数据编号
						双向匹配	双向匹配后坐标差值约束	单向匹配后坐标差值约束	
40.640	60.502	36.857	61.540	3.783	1.038	1	1		1
44.184	89.000	102.430	16.872	58.246	72.128		2	2	2
44.250	42.541	40.716	42.261	3.534	0.280				3
56.357	38.357	54.907	37.913	1.450	0.444				4
66.004	65.762	65.622	65.490	0.382	0.272				5
66.019	52.167	65.392	51.028	0.627	1.139				6
66.487	44.239	65.786	43.275	0.701	0.964				7
71.172	35.510	70.925	34.382	0.247	1.128				8
73.089	42.661	74.117	41.190	1.028	1.471				9
73.903	50.872	74.650	50.453	0.747	0.419				10
85.507	41.259	74.117	41.190	11.390	0.069	11	11	11	11
90.990	97.866	94.456	95.975	3.466	1.891	12	12		12
91.694	32.154	98.736	31.130	7.042	1.024	13	13		13
92.619	48.363	96.181	45.641	3.562	2.722				14
92.866	33.187	98.736	31.130	5.870	2.057				15
101.260	49.174	105.170	46.138	3.910	3.036	16	16		16
101.260	49.174	115.270	118.240	14.010	69.066	17	17	17	17
106.230	44.697	110.340	41.591	4.110	3.106				18
107.100	31.735	109.700	29.976	2.600	1.759				19
109.810	114.990	115.270	118.240	5.460	3.250	20	20		20

(4)对双向匹配后点对进行偏移坐标差值约束，得到如图 3 所示的结果。误匹配点明显剔除，该约束条件下小区域偏移坐标数据，如表 1 所示。

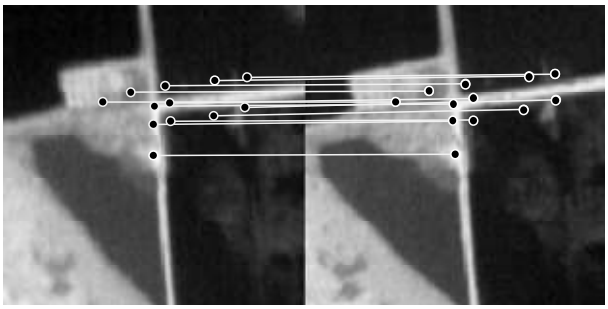


图 3　双向匹配后点对进行偏移坐标差值约束结果

(5)利用第(3)步结果，得到图 4 所示结果。获取该约束条件下小区域偏移坐标数据，如表 1 所示。由图 4 可知，直接对单向匹配结果加入偏移坐标差值后可剔除超出偏移坐标差值范围的误匹配点，与图 2 相比，保留了 2 对正确匹配点，仍存在误匹配。

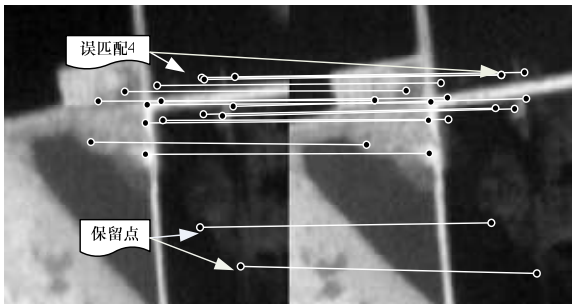


图 4　单向匹配后仅加入偏移坐标约束

观察表 1 中 x 坐标差值与 y 坐标差值。根据本实验设定的坐标差值阈值($deltX$=10, $deltY$=8)，可知单向匹配后仅利用坐标差值约束可去除存在的 3 对错误匹配点，但是一对多情况仍存在(第 13 行、第 15 行)。所以，对于该初始定位后的小区域图，使用双向匹配约束与偏移坐标差值约束可获取比较理想的匹配结果。

SIFT 特征匹配算法对特征点的定位可达到亚像素级。本文数据均保留小数点后 3 位。

4　SIFT 二次匹配方法在遥感影像匹配中的实现

4.1　初始定位点选取

在 SIFT 二次匹配方法中，初始定位点选取过程称为一次匹配，其匹配结果准确率直接影响后续子图像匹配精度。经过子图像实验验证，双向匹配算法可有效去除误匹配。对初始定位点进行选取时，使用严格阈值，并利用简单的抽样一致性算法[5]进行全局几何约束。本文选取 5 组样本点对，分别累计与每组样本点几何关系相似的匹配点对数，选取对数最多的匹配点组作为初始定位点的匹配点集合，为后续二次匹配提供精度保证。

4.2　小区域子图像匹配

理论上，全图不同区域可能存在大量相似性纹理结构(出现相同特征描述符)，利用 SIFT 匹配算法分别在前视图与后视图中检测到特征点集合，由于匹配搜索范围过大，因此易出现误匹配。运用 SIFT 二次匹配方法，特征点集合匹配范围受到约束。实验表明，在后续约束条件下，可以在保证正确率的情况下，得到更为密集的匹配点对。

4.3　实验结果分析

分别取不同 SIFT 阈值，以分别计算初始匹配与二次匹配的匹配点对，初始匹配约束策略采用双向匹配与简单的抽样一致性算法，二次匹配约束策略采用双向匹配与偏移坐标差值约束。

匹配结果统计如表 2 所示。由表 2 数据可知，以全局约束后匹配点对作为正确匹配点对，则当初始匹配值不变，二次匹配阈值降低时，得到的匹配点对相应减少。当二次匹配阈值不变，初始匹配阈值降低时，得到的匹配点对相应减少。2 种趋势变化均因为阈值降低后，约束条件更为严格，则匹配点对的对数相应减少。根据表中初始阈值与二次匹配阈值相同时匹配对数比较，本文提出的二次匹配方法可以获取更为密集并且可靠的匹配点对(实验已验证在小区域子图内匹配点对的可靠性)，如选取严格的匹配阈值时，特征点由 504 个点增加至 6 932 个点，特征点匹配对数约增长(6 932–288)/288≈23.07 倍，适用于遥感影像特征同名点的识别。特征点匹配云图如图 5 所示。

表 2　不同阈值下匹配对数统计

初始匹配阈值		初始匹配特征匹配对数	初始匹配全局约束后特征匹配对数	二次匹配匹配对数	二次匹配全局约束后特征匹配对数	子图像匹配阈值		增长倍数
第 1 阈值	第 2 阈值					第 1 阈值	第 2 阈值	
0.9	0.8	765	458	21 969	16 003			33.94
0.8	0.7	615	362	17 386	12 764	1.0	0.9	34.26
0.7	0.6	504	288	13 819	10 239			34.55
0.9	0.8	765	458	19 508	14 296			30.21
0.8	0.7	615	362	15 425	11 343	0.9	0.8	30.33
0.7	0.6	504	288	12 249	9 071			30.50
0.9	0.8	765	458	16 954	13 172			27.76
0.8	0.7	615	362	13 441	10 437	0.8	0.7	27.83
0.7	0.6	504	288	10 684	8 373			28.07
0.9	0.8	765	458	14 336	11 301			23.67
0.8	0.7	615	362	11 385	8 764	0.7	0.6	23.21
0.7	0.6	504	288	9 054	6 932			23.07

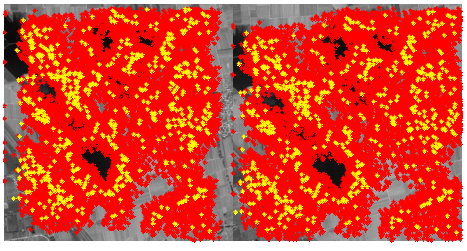


图 5　二次匹配算法生成的匹配点云图

5　结束语

本文提出的 SIFT 二次匹配方法在保证正确率前提下，可有效增加特征点匹配对数，该方法提取的特征匹配点对具有较高的精度和可靠性，生成的同名特征点作为巨量同名像点来源之一，用于后续摄影测量工作，如生成 DEM、进行地形信息提取工作。算法采用 Matlab 语言编程实现，利用 IRS-P5 遥感影像进行实验验证，取得良好效果。后续工作需进行 SIFT 维度降低处理[6]，增加算法实时性。　(下转第 161 页)