

引用格式: Song Wenping, Zhang Bin, Niu Changling, *et al.* An Integrated Matching Correction Algorithm based on Least Squares and Phase Correlation[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2019, 34(6): 1296-1304.
[宋文平, 张斌, 牛常领, 等. 一种融合最小二乘和相位相关的粗匹配纠正算法[J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(6): 1296-1304.]
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2019.6.1296

一种融合最小二乘和相位相关的粗匹配纠正算法

宋文平¹, 张斌^{2,3}, 牛常领^{4,5}, 郭亮亮¹

(1. 同济大学测绘与地理信息学院, 上海 20092;

2. 贵州省第三测绘院, 贵州 贵阳 550004;

3. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001;

4. 青岛市西海岸基础地理信息中心, 山东 青岛 266035;

5. 青岛市勘察测绘研究院, 山东 青岛, 266000)

摘要: 针对影像粗匹配后的同名点对匹配不准的问题, 提出了一种序列窗口下融合最小二乘和相位相关的影像匹配纠正算法。该方法是在已有粗匹配的基础上进行, 首先使用最小二乘对粗匹配结果进行处理, 并选取一系列大小变化的影像窗口分别进行最小二乘匹配, 得出匹配结果并计算每个匹配窗口的相关系数值。然后选用大小序列变化的影像窗口分别进行相位相关匹配, 同时记录匹配结果并计算每个匹配窗口的相关系数值, 以相关系数的大小作为衡量同名匹配正确与否的指标, 选择相关系数最大的窗口下的匹配结果作为最终的结果。以山西山地区域的无人机影像作为实验基础数据, 得出序列窗口下融合最小二乘和相位相关的影像匹配纠正算法能够显著提高粗匹配结果的精度, 达到精匹配的目的。

关键词: 影像匹配; 最小二乘匹配; 相关系数; 相位相关匹配

中图分类号: P407.1; TP75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2019)06-1296-09

1 引言

影像匹配是数字影像处理的关键问题, 其是通过影像内容、特征、结构等信息的对应关系、相似性和一致性的分析, 识别定位同一目标同名实体的过程^[1]。通过影像匹配可以实现不同数据源的多模态信息融合^[2], 并从融合信息中进一步进行变化检测^[3]、图像融合^[4]等任务。目前, 影像匹配作为研究基础已经在摄影测量与遥感领域得到了广泛的应用, 例如影像三维数字产品制作^[5]、三维信息的重建^[6]、影像的几何处理^[7]等。

影像匹配问题的提出是在20世纪70年代, 经过多年发展, 相关匹配方法和策略也被大量提出,

逐渐成为影像处理分析中各个领域的研究热点和重点, 同时也是最基础、应用最广泛的技术之一^[8]。Le Moigne等^[9-11]采用Wavelet特征实现了遥感影像的自动匹配。Dawn等^[12-14]对遥感影像的匹配方法和应用进行了总结和综述。对于卫星摄影测量来说, 最小二乘匹配^[15]、跨接法影像匹配^[15]和几何约束的互相关算法^[16]等已成为多视三维重建和数字表面模型生成等应用的主流匹配方法。其中, 最小二乘影像匹配是以局部范围影像灰度值作为匹配实体, 以搜索窗口中心位置为待定参数, 使模板窗口和搜索窗口的灰度值差的平方和最小, 从而确定共轭实体^[17]。而相位相关影像匹配的理论基础是

收稿日期: 2018-07-11; 修订日期: 2019-10-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41361091), 贵州省水利科技项目(KT201825)。

作者简介: 宋文平(1990—), 男, 山东临沂人, 博士研究生, 主要从事卫星摄影测量研究。E-mail: m15891747328@163.com。

通讯作者: 张斌(1989—), 男, 贵州普安人, 工程师, 主要从事测绘地理信息研究。E-mail: zhangbinbleeding0@163.com。

傅里叶变换的卷积定理和平移特性。相关研究有:Kuglin 等^[18]提出了正像素级相位相关方法;Tzimiropoulos 等^[19]提出了以影像梯度为影像表达的梯度相关;Ojansivu 等^[20]对相位相关匹配性能进行了分析。

由于最小二乘匹配和相位相关匹配等都有其各自的局限性,本文首先选用 SIFT 匹配算法进行粗匹配,然后采用以最小二乘和相位相关匹配在序列影像窗口下对粗匹配的同名点对进行纠正,并计算和比较相关系数测度,以相关系数的大小作为衡量同名匹配正确与否的指标,选择相关系数最大的匹配结果来作为最终的结果,通过实验验证本方法能够对粗匹配的同名点对进行匹配纠正,提高匹配准确度。

2 影像匹配算法

2.1 SIFT 匹配

SIFT 匹配算法(图 1)最早是由 David Lowe 于 1999 年提出,其主要思想是将图像之间的匹配转化为特征向量之间的匹配^[21]。首先通过对原始影像进行尺度变换,获得图像多尺度下的尺度空间表示序列,并对其进行主轮廓提取获取特征向量,然后通过比较每一个像素点与其相邻点寻找高斯差分金字塔的极值点,完成关键点初步检测。由于初步检测的关键点有很多点不稳定或者错误,因此需要

对初步检测的关键点进行复筛,得到稳定关键点的精确点位,这也保证了关键点在尺度空间的不变性。但是当影像进行视角改变或者旋转时,稳定关键点不具有不变性。因此通过求解每个关键点的梯度方向进行方向赋值实现视角和旋转的不变性。然后对稳定关键点及其周围有贡献的临域点以数学公式的方式进行定义,从而确立左右影像的匹配实体的对应关系。

2.2 最小二乘匹配法

最小二乘匹配算法是灰度匹配算法中的典型算法,其是以协方差最小求解影像中几何畸变参数和辐射畸变参数,并以协方差最小作为迭代的条件最终使影像的误差平方和最小^[23]。根据影像中的辐射畸变和几何畸变,将最小二乘匹配分为仅考虑辐射畸变的最小二乘匹配、仅考虑几何畸变的最小二乘匹配以及单点最小二乘匹配^[24]。单点最小二乘匹配充分地考虑了影像的几何畸变和辐射畸变,其首先使用一定大小的匹配窗口,一般在一次多项式下进行几何变形的纠正,将左右影像的灰度阵列进行统一。然后对左影像相对右影像的线性灰度变形进行纠正。对于经过几何畸变纠正和辐射畸变纠正的立体像对,可以列出误差方程式并进行线性化,从而建立法方程求解出系统参数的改正数,并设定一定的阈值,作为求解的循环条件,直到计算出阈值之内的最佳匹配点位^[24,29](图 2)。

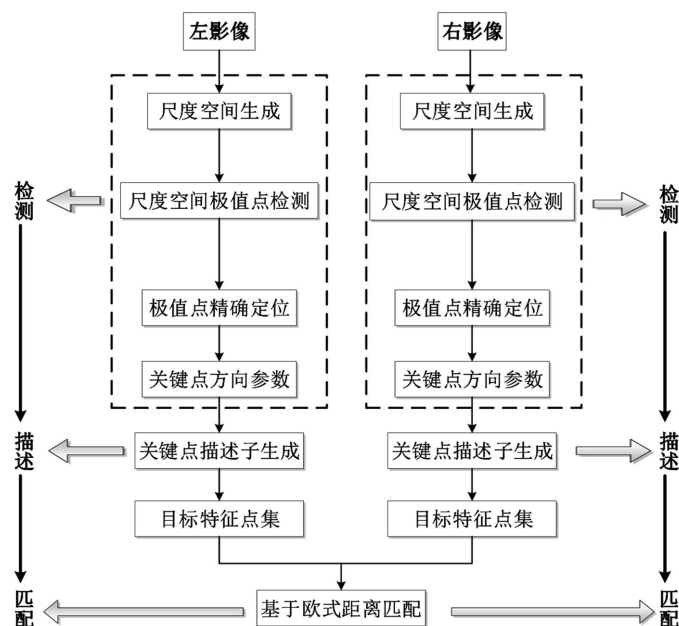


图 1 SIFT 匹配算法流程^[22]

Fig.1 SIFT matching algorithm

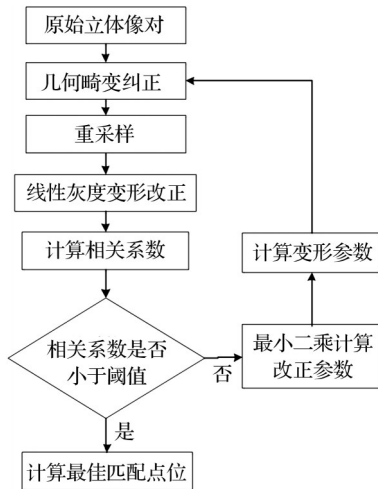
图 2 最小二乘影像匹配算法流程^[24]

Fig.2 The flow chart of least squares image matching

2.3 最小二乘匹配法

相位相关算法原理在于空间域的函数位移与频域的函数相对位移存在一定的对应关系,即在一定的阈值下,通过两幅影像在频域的相关性求解两幅影像间在空间域的相对位移^[5,25-26]。当两幅影像是相关影像时,通过傅立叶逆变换后才会出现峰值现象,并且将峰值所在的行列号作为原始立体像对的位移偏移大小。当两幅影像为不相关影像时,在傅立叶逆变换后不会出现峰值现象^[27]。主要步骤如图 3 所示。

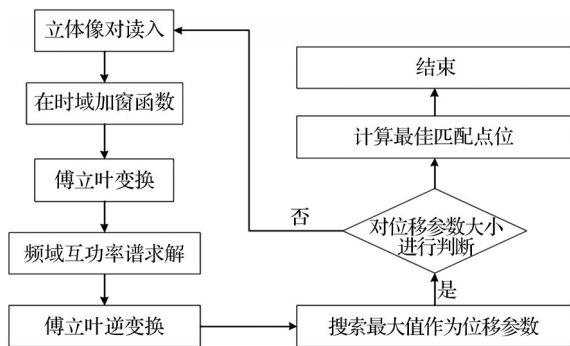


图 3 相位相关匹配算法流程

Fig.3 The flow chart of phase correlation image matching

2.4 本文算法策略

本文算法融合利用了最小二乘和相位相关匹配算法。一般来说,粗匹配结果是经过相关系数匹配等一系列方法得出,本文利用 SIFT 匹配^[27]获得起始的粗匹配结果,作为后续匹配纠正的基础。粗匹配后会获得立体像对的若干对同名点,以其中每一对同名点作为基准,在原始立体像对的左右影像中分别开一个大小相同的匹配窗口。此匹配窗口

在最小二乘和相位相关匹配中具有不同的作用,其中对于最小二乘算法来说,窗口是为了计算相关系数,而在相位相关匹配中,其目的在于计算同名像点的归一化互相关功率谱从而确定位移量。对于不同性质的原始影像来说,其在影像分辨率、影像成像方式、影像地面特征等方面存在很大的不同,采用不同的影像时应该选择不同大小的搜索窗口,并且匹配窗口的大小与立体像对的性质没有直接的规律,因此我们考虑对于粗匹配的每一个同名点对使用大小逐渐变化的序列窗口。以最小二乘和相位相关匹配在大小不同的序列影像搜索窗口下对 sift 算法初匹配后的同名点结果进行匹配纠正,并计算和比较相关系数测度,以相关系数测度的大小作为衡量同名匹配正确与否的指标,选择相关系数最大的匹配结果作为最终的结果。其主要策略如图 4 所示。

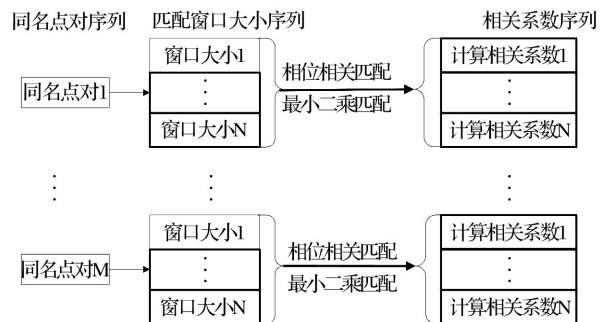


图 4 本文序列窗口下的匹配纠正算法流程

Fig.4 The flow chart of the proposed method

3 实验数据

本文实验数据来源于山西某区域,区域面积约 8.9 km²。此区域地处黄土高原,地形多样,丘陵、山地等共存,地面裸露区域较多,植被覆盖相对较简单。整个区域呈现西北、东南高,中间低,丘陵垣地为主。区域的海拔高度在 400~800 m 不等,其中北部区域海拔约 680~750 m,相对高度 250 m,中部和南部区域海拔约 500~600 m,相对高度 145 m。本区域气候呈现温带大陆性气候,昼夜温差较大,四季分明,年日照平均时数约 2 450 h,年平均风速约 2.0 m/s,年平均气温约 8~15 ℃。因此针对无人机的特点和当地气候、降雨、日照、风速、季节等合理选择影像拍摄日期。

对于影像性质来说,本文选用的是基于固定翼的无人机影像,此影像由尼康 D800-9002902 于 2017 年 10 月 23 日下午 4 点左右于飞行高度 735 m

拍摄,无人机平台选用的武汉智能鸟 KC-2000,坐标系采用的是 CGCS2000 坐标系,投影方式为高斯-克吕格投影。此次飞行相机的主要参数如下:相机焦距为 36.054 99 mm,像元大小 $4.88\ \mu\text{m}$,像幅为 $7\ 360\times 4\ 912$ 像素,相机的主点 x_0 为 $-0.096\ \text{mm}$,主点 y_0 为 $0.109\ \text{mm}$,检校时以影像中心为坐标原点, x 轴向右, y 轴向上。为了降低运算的复杂性,在原始的彩色立体像对上裁剪出一个 $1\ 000\times 1\ 000$ 的区域,并且由于无人机影像为彩色三波段影像,将裁剪出来的彩色立体像对转换成灰度立体像对,如图 5 所示,此裁剪区域地表相对平坦,地区简单。为了解决由于实验范围相对较小、实验区域地表平坦,地物简单所造成实验结果的偶然性,在区域北部高差大的区域裁剪出一个 $2\ 000\times 2\ 000$ 的验证区域对上述区域的实验结果进行验证。本 $2\ 000\times 2\ 000$ 区域相比 $1\ 000\times 1\ 000$ 区域特点如下:地物更加复杂、裸露地块比例更低。区域高差大,属于北部山地区域,范围增加 4 倍。整个实验中,以 $1\ 000\times 1\ 000$ 区域进行主导实验数据,以 $2\ 000\times 2\ 000$ 的区域作为验证实验区域。

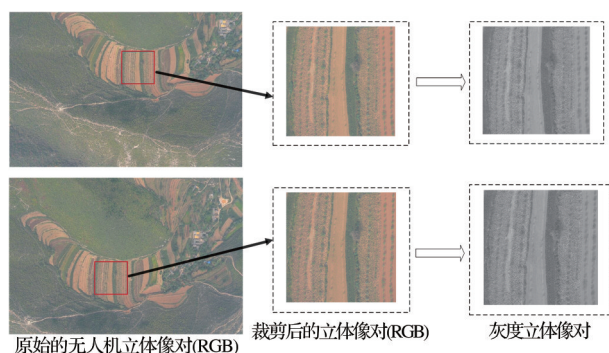


图5 实验数据

Fig.5 Experimental data

实验中首先使用 SIFT 算法^[25-26]来获取裁剪出 $1\ 000\times 1\ 000$ 影像的粗匹配结果,共获得 254 对同名点对(图 6)。为了使后续结果更加明显,我们将 254 对同名点对中相关系数小于 0.8 的点对剔除,其中相关系数介于 0.8~0.9 的有 153 对,大于 0.9 的有 58 对,共计 211 对同名点对作为后续进行误匹配纠正的基础数据。其同名点对频数如图 7 所示,可以发现相关系数介于 0.8~0.9 的同名点对要远远多于 0.9~1.0 的同名点对。

4 实验与分析

基于此基础数据,主要的实验方案如表 1 所示。

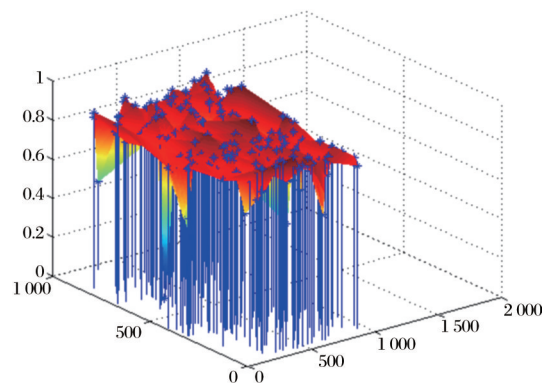
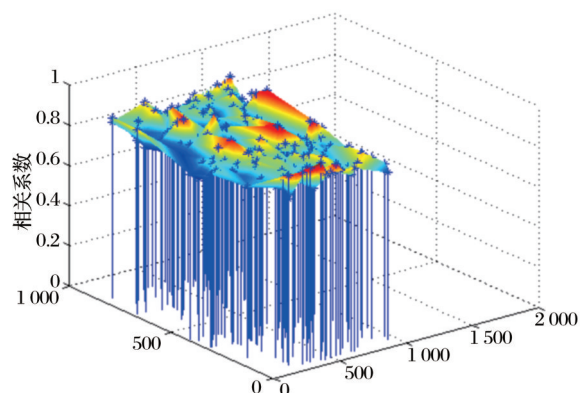
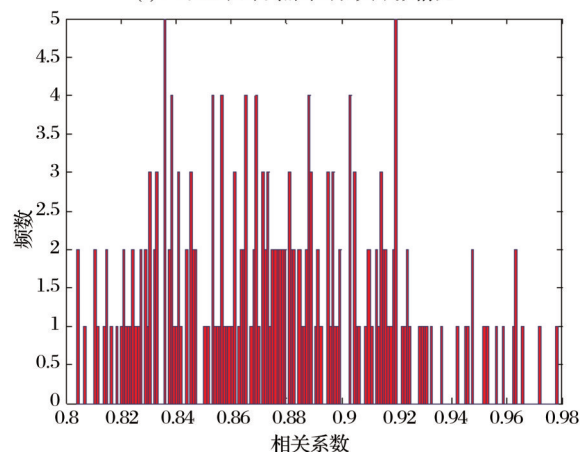


图6 sift粗匹配后的同名点对分布

Fig.6 The distribution of corresponding points after sift matching



(a) 三维显示同名点对的相关系数情况



(b) 频数分布情况

图7 相关系数介于 0.8~1.0 的同名点对频数分布

Fig.7 Frequency distribution of corresponding points whose correlation coefficients are ranging from 0.8 to 1.0

4.1 固定窗口下单独使用最小二乘

在固定窗口下单独使用最小二乘对粗匹配结果进行精化,精化后的同名点对为 211 对,其中相关系数介于 0.8~0.9 的有 124 对,相关系数介于 0.9~1.0 的有 87 对。图 8 为在不使用序列窗口单独使用最小二乘的频数分布和相关系数显示情况。

表 1 主要实验方案

Table 1 Main experimental schemes

方案	误匹配剔除方法	序列窗口
A	单独最小二乘	否
B	单独相位相关	否
C	单独最小二乘	是
D	单独相位相关	是
E	融合最小二乘和相位相关	是

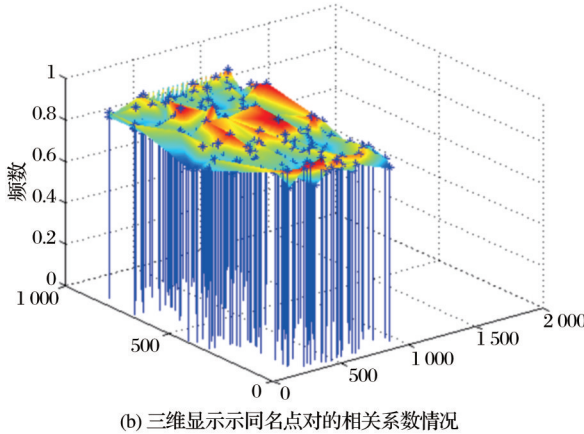
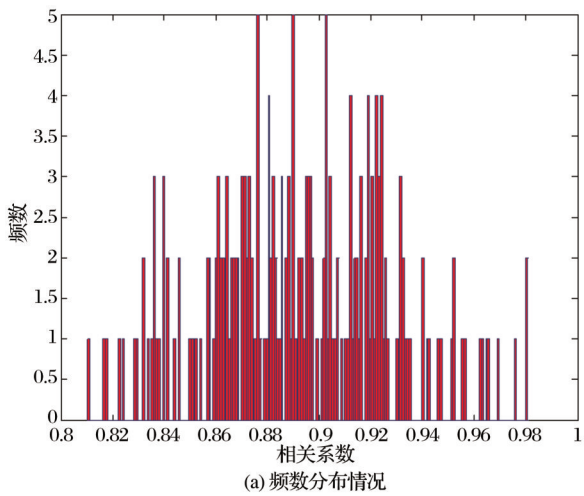


图 8 在不使用序列窗口下单独使用最小二乘
Fig.8 Distribution of corresponding points after using
Least Squares in fixed windows

4.2 在不使用序列窗口下单独相位相关

如图 9 在不使用序列窗口下单独使用相位相关的同名点对的分布和相关系数情况,在固定窗口下单独使用相位相关对粗匹配结果进行精化,精化后的同名点对为 211 对,其中相关系数介于 0.8~0.9 的有 144 对,相关系数介于 0.9~1.0 的有 67 对。

4.3 在序列窗口下单独最小二乘

在序列窗口下单独使用最小二乘对粗匹配结果进行精化,精化后同名点对为 211 对,其中相关系数介于 0.8~0.9 的有 71 对,相关系数介于 0.9~1.0

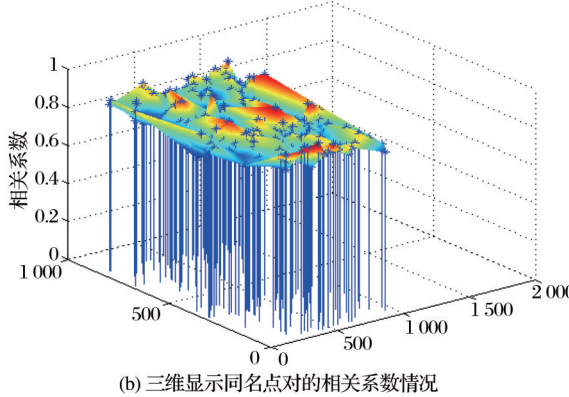
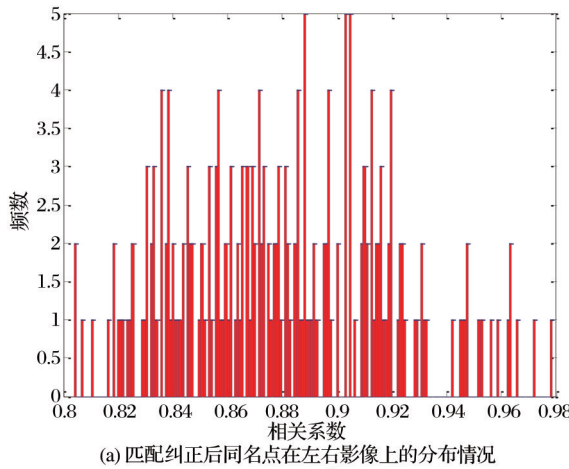


图 9 在不使用序列窗口下单独使用相位相关
Fig.9 Distribution of corresponding points after
using Phase Correlation in fixed windows

的有 140 对。图 10 为在序列窗口下单独使用最小二乘的频数分布和相关系数显示情况。

4.4 在序列窗口下单独相位相关

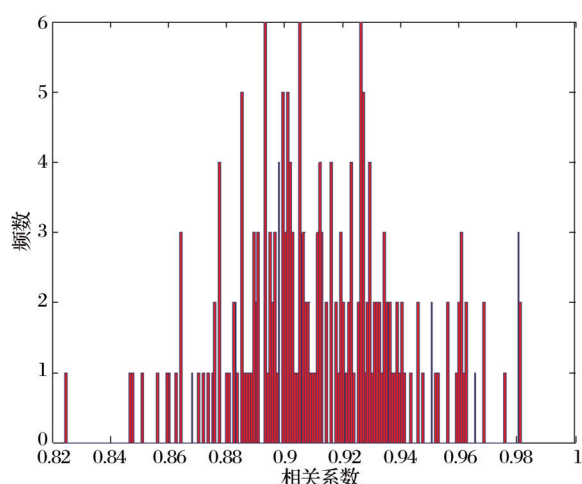
在序列窗口下单独使用相位相关对粗匹配结果进行精化,精化后同名点对为 211 对,其中相关系数介于 0.8~0.9 的有 124 对,相关系数介于 0.9~1.0 的有 87 对。如图 11 在序列窗口下单独使用相位相关的同名点对的分布和相关系数情况。

4.5 本文序列窗口下融合最小二乘和相位相关

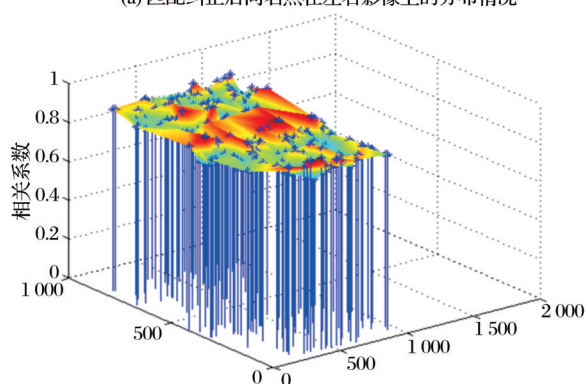
在序列窗口下融合最小二乘和相位相关对粗匹配结果进行精化,精化后的同名点对为 211 对,其中相关系数介于 0.8~0.9 的有 65 对,相关系数介于 0.9~1.0 的有 146 对。如图 12 为本文序列窗口下融合最小二乘和相位相关的同名点在左右影像上的分布情况和相关系数情况。

5 讨 论

上述实验后,几种方案下的同名点对总数为 211 对,实验结果如表 2 所示, ρ 为相关系数。主要分析如下:



(a) 匹配纠正后同名点在左右影像上的分布情况



(b) 三维显示同名点对的相关系数情况

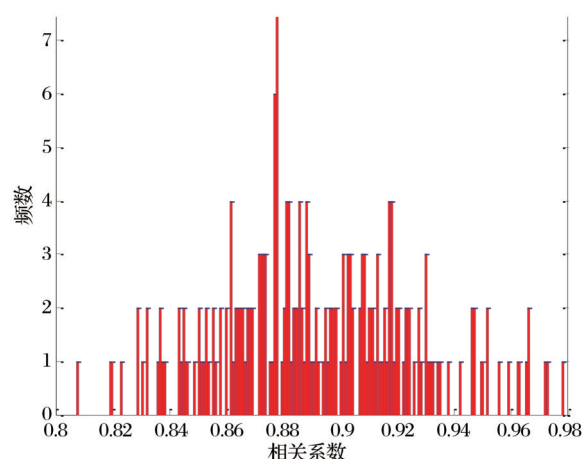
图10 在序列窗口下单独使用最小二乘

Fig.10 Distribution of corresponding points after using Least Squares in window series

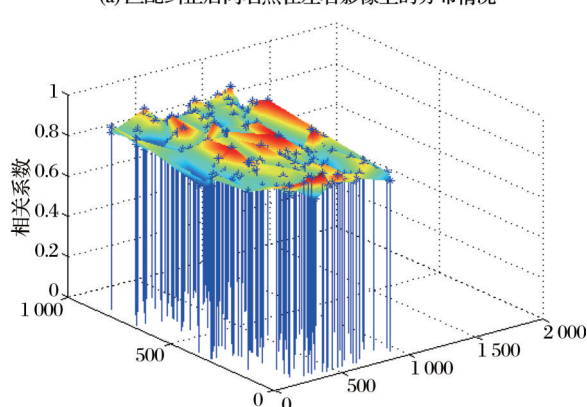
(1)由实验方案,(A)和(B)方案分别是在不使用序列窗口下对基础数据单独进行最小二乘和相位相关,从实验结果看,基于单独最小二乘的匹配纠正后,相关系数介于0.9~1.0的同名点对由58对增加到87对,基于单独相位相关的匹配纠正后,相关系数介于0.9~1.0的同名点对由58对增加到67对。相较于基础数据,在此两种方法对基础数据进行匹配点纠正后,相关系数介于0.9~1.0的同名点对数都有了比较大的提升,其中基于单独最小二乘总体上要优于基于相位相关的匹配纠正。

(2)由实验方案(C)和(A),在序列窗口下进行最小二乘的匹配纠正后,相关系数介于0.9~1.0的同名点对由87对增加到140对,效果要优于在固定窗口下的匹配纠正。同理,将实验方案(D)与(B)比较,在序列窗口下进行单位相位相关的匹配纠正要远远优于在固定窗口下的匹配纠正。

将本文提出的基于序列窗口的融合最小二乘和相位相关与基础数据、实验方案(A)~(D)的结果



(a) 匹配纠正后同名点在左右影像上的分布情况



(b) 三维显示同名点对的相关系数情况

图11 在序列窗口下单独使用相位相关

Fig.11 Distribution of corresponding points after using Phase Correlation in window series

表2 主要实验结果

Table 2 The main experimental results

实验方案	$\rho \in [0.8, 0.9]$	$\rho \in [0.9, 1.0]$
基础数据	153	58
方案A	124	87
方案B	144	67
方案C	71	140
方案D	124	87
方案E	65	146

进行比较,本文提出的方法将基础数据中相关系数介于0.9~1.0的同名点对由58对增加到146对,能够最好地对基础数据进行精化。

为了排除上述实验由于区域范围小、区域地表平坦、地物简单所造成实验结果的偶然性,采用北部区域裁剪的地物更加复杂、裸露地块比例更低、高差更大的2000×2000的山地区域数据执行上述实验步骤,进行实验验证。其基于2000×2000山地区域的实验结果如表3所示。

从表3可以看出:将本文提出的基于序列窗口

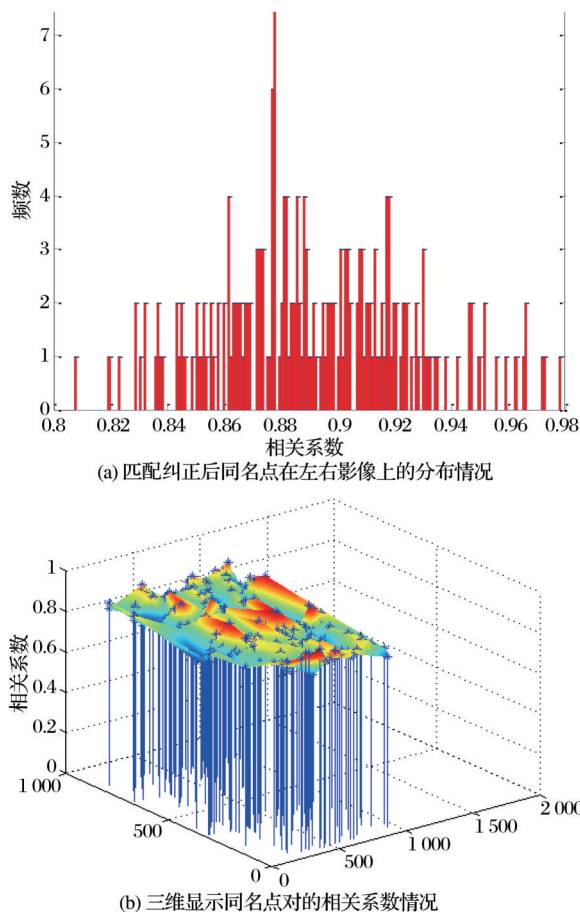


图12 本文序列窗口下融合最小二乘和相位相关
Fig.12 Distribution of corresponding points after
Integrating Phase Correlation and Least
Squares in window series

表3 验证实验主要实验结果

Table 3 The main results of verification experiment

实验方案	$\rho \in [0.8, 0.9]$	$\rho \in [0.9, 1.0]$
基础数据	313	363
方案A	167	509
方案B	264	412
方案C	114	562
方案D	212	464
方案E	69	607

的融合最小二乘和相位相关与基础数据、实验方案(A)~(D)的结果进行比较,本文提出的方法将基础数据中相关系数介于0.9~1.0的同名点对由363对增加到607对,能够最好地对基础数据进行精化。同时也是对1000×1000实验结果的验证,表明:在北部区域裁剪的地物更加复杂、裸露地块比例更低、高差更大山地区域,本方法的改进效果会更加明显。

6 结 语

本文以SIFT匹配后相关系数介于0.8~1.0的211对同名点对作为实验的基础数据,分别执行固定窗口下的单独最小二乘和单独相位相关、序列窗口下的单独最小二乘和单独相位相关以及本文提出的基于序列窗口的融合最小二乘和相位相关,主要结论如下:

(1) 无论是单独最小二乘还是单独相位相关,使用序列窗口能够明显地提升匹配精度。并且,在序列窗口和固定窗口下,单独最小二乘载总体上要优于基于相位相关的匹配纠正。

(2) 本文提出的基于序列窗口的融合最小二乘和相位相关能够有效地对粗匹配的同名点对进行纠正,其效果要优于序列窗口和固定窗口下单独进行最小二乘或相位相关。

本文提出的基于序列窗口的融合最小二乘和相位相关影像匹配算法与传统的最小二乘或相位相关匹配算法相比,能够极大地提高匹配点精度,达到精匹配的目的,并且对于地物地貌复杂、高差较大的山地区域也能取得比较好的效果,能够一定程度上为西部地区的成图作业提供帮助。但是毫无疑问,基于序列窗口匹配虽然能提高匹配点对的精化精度,但同时带来时间消耗的增加,这种劣势在大范围区域成图时必将带来大量时间浪费。因此针对更大规模和范围的无人机影像,如何加入并行化等策略,将是下一步研究的重点和核心。

参考文献(references):

- [1] Brown L. G. A Survey of Image Registration Techniques[J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 325-376.
- [2] Yan Li, Hu Xiu Bin, Chen Changjun, *et al.* Gradient Consistency Operator for Multimodal Image Registration[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2013, 38(8): 969-972.[闫利, 胡修兵, 陈长军, 等. 多模态图像配准的梯度一致性算子[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2013, 38(8): 969-972.]
- [3] Qin R, Tian J, Reinartz P. 3D Change Detection—approaches and Applications[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2016, 122: 41-56.
- [4] Zhang J. Multi-Source Remote Sensing Data Fusion: Status And Trends[J]. International Journal of Image and Data Fusion, 2010, 1(1): 5-24.
- [5] Zhang L, Gruen A. Multi-image Matching for DSM Generation from IKONOS Imagery[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2006, 60(3): 195-211.
- [6] Remondino F, Spera M G, Nocerino E, *et al.* State of The

- Art in High Density Image Matching[J]. The Photogrammetric Record, 2014, 29(146): 144-166.
- [7] Wurm M, Taubenböck H, Schardt M, *et al.* Object-based Image Information Fusion Using Multisensor Earth Observation Data over Urban Areas[J]. International Journal of Image and Data Fusion, 2011, 2(2): 121-147.
- [8] Zhang Chao. Image Registration Algorithm Based on Local Features and Its Application[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2015.[张超. 基于局部特征的图像配准算法及应用研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.]
- [9] Le Moigne J, Campbell W J, Cromp R F. An Automated Parallel Image Registration Technique based on the Correlation of Wavelet Features[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(8): 1849-1864.
- [10] Moigne J L, Netanyahu N S, Eastman R D. Image Registration for Remote Sensing[M]. London: Cambridge University Press, 2011.
- [11] Dawn S, Saxena V, Sharma B. Remote Sensing Image Registration Techniques: A Survey[C]//International Conference on Image and Signal Processing. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010: 103-112.
- [12] Gruen A. Development and Status of Image Matching in Photogrammetry[J]. The Photogrammetric Record, 2012, 27(137): 36-57.
- [13] Zavorin I, Le Moigne J. Use of Multiresolution Wavelet Feature Pyramids for Automatic Registration of Multisensor Imagery[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(6): 770-782.
- [14] Ackermann F. Digital Image Correlation: Performance and Potential Application in Photogrammetry[J]. The Photogrammetric Record, 1984, 11(64): 429-439.
- [15] Zhang Zuxun, Zhang Jianqing. High Precision Automatic Registration of Remote Sensing Image[J]. Journal of Wuhan University of Surveying and Mapping Technology, 1998, 23(4): 320-323.[张祖勋, 张剑清. 遥感影像的高精度自动配准[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1998, 23(4): 320-323.]
- [16] Gruen, Armin. Adaptive Least Squares Correlation: a Powerful Image Matching Technique[J]. South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography, 1985, 14(3): 175-187.
- [17] Axelsson, Owe. "A Generalized Conjugate Gradient, Least Square Method[J]. Numerische Mathematik, 1987, 51(2): 209-227.
- [18] Kuglin C. The Phase Correlation Image Alignment Method[C]//Proceedings of the International Conference on Cybernetics and Society, 23 - 25 September 1975.
- [19] Tzimiropoulos G, Argyriou V, Zafeiriou S, *et al.* Robust Fft-Based Scale-invariant Image Registration with Image Gradients[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(10): 1899-1906.
- [20] Ojansivu V, Heikkila J. Image Registration Using Blur-Invariant Phase Correlation[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2007, 14(7): 449-452.
- [21] Ng P C, Henikoff S. SIFT: Predicting Amino Acid Changes That Affect Protein Function[J]. Nucleic Acids Research, 2003, 31(13): 3812-3814.
- [22] Zeng Fanyong, Gu Aihui, Chen Haifeng, *et al.* The Realization and Research of Correlation Coefficient and Least Square Image Matching Algorithm[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2015, 13(6): 203-208.[曾凡永, 顾爱辉, 陈海峰, 等. 相关系数和最小二乘影像匹配算法的实现与研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13(6): 203-208.]
- [23] Tong X H, Ye Z, Xu Y, *et al.* A Novel Sub-pixel Phase Correlation Method Using Singular Value Decomposition and Unified Random Sample Consensus[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2015, 53(8): 4143-4156.
- [24] Nagashima S, Aoki T, Higuchi T, *et al.* A Sub-pixel Image Matching Technique Using Phase-only Correlation[C]//International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications, ISPACS'06, 2006.
- [25] Foroosh, Hassan, Josiane B. Zerubia, Marc Berthod. Extension of Phase Correlation to Subpixel Registration[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(3): 188-200.
- [26] Sharif M, Khan S, Saba T, *et al.* Improved Video Stabilization Using Sift-Log Polar Technique for Unmanned Aerial Vehicles [C] //2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS), IEEE, 2019: 1-7.
- [27] Wan X, Wang C, Li S. The Extension of Phase Correlation To Image Perspective Distortions based on Particle Swarm Optimization[J]. Sensors, 2019, 19(14): 3117-3120.
- [28] Zhu, G J, Zhou H B, Tao Y W. Weighted Least Square Method for Epipolar Rectification in Semi-Calibrated Image [C]//Mippr 2017: Pattern Recognition and Computer Vision. Vol. 10609. International Society for Optics and Photonics, 2018.
- [29] Filippov A. Method for The Fpga-based Long Range Multi-View Stereo With Differential Image Rectification: U.S. Patent Application 16/132,343[P]. 2019-3-28.

An Integrated Matching Correction Algorithm based on Least Squares and Phase Correlation

Song Wenping¹, Zhang Bin^{2,3}, Niu Changling^{4,5}, Guo Liangliang¹

(1.College of Surveying and Geo-Informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2.The Third Surveying and Mapping Institute Guizhou Province, Guiyang 550004, China;

3.School of Geography and Environment Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

4.Qingdao West Coast Geomatics Center, Qingdao 266035, China;

5.Qingdao Geotechnical Investigation Surveying Research Insititute, Qingdao 266000, China)

Abstract: In order to solve the problem of in-corrected results for preliminary matching. This study proposed an image matching correction algorithm which combines least squares and phase correlation. The method is based on the existing preliminary matching. First, the preliminary matching results are processed using least squares, and a series of image windows in different size are selected to carry out the least squares matching, such that the matching results are obtained and the correlation coefficients of each matching window are calculated. Then, the phase correlation matching are carried out using image windows with different sizes so as to record the matching results. At the same time, the correlation coefficients are calculated. In order to verify the algorithm, the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) images in the Shanxi mountain area are selected ad the experimental data. After experiments, it is concluded that the image matching correction algorithm combined least square and phase correlation in window series can significantly improve the precision of preliminary matching results so as to achieve the matching refinements.

Key words: Image Matching; Least Square image Matching; Correlation Coefficients; Phase Correlation Matching