

基于无人机 POS 信息的拼接方法^①

王亚洲, 赵德群, 张楠西, 石 珺, 邓钱华

(北京工业大学 信息学部, 北京 100124)

摘 要: 针对无人机航拍图像的特点, 提出了一种基于无人机 POS (Position and Orientation System) 信息的拼接方法. 首先根据 POS 参数计算出影像的四角点地理坐标, 同时提取到相邻影像重叠区域的 SURF 特征, 根据特征点的位置关系修正后面影像的地理坐标, 然后按照影像地理坐标进行拼接, 最后利用渐入渐出自适应权重策略对图像进行融合, 得到了一副视觉效果良好的全景图像.

关键词: SURF 算法; 图像拼接; POS 信息; 渐入渐出自适应权重

引用格式: 王亚洲, 赵德群, 张楠西, 石珺, 邓钱华. 基于无人机 POS 信息的拼接方法. 计算机系统应用, 2018, 27(3): 112-117. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6225.html>

Stitching Method Based on UAV POS Information

WANG Ya-Zhou, ZHAO De-Qun, ZHANG Nan-Xi, SHI Jun, DENG Qian-Hua

(Department of Information, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: According to the characteristics of the UAV aerial image, this study proposes a method for splicing information based on the Position and Orientation System (POS). First of all, the four corners of the image are calculated according to the POS parameter. Meanwhile, the SURF features of adjacent image overlap regions are extracted. The geographic coordinates of the back image are corrected according to the position relation of feature points. Then, they are stitched according to the geographic coordinates, and the image is fused by using the progressive fading out adaptive weighting strategy. Finally, a panoramic image with good visual effect is obtained.

Key words: SURF algorithm; image stitching; POS information; gradually fade out

UAV (Unmanned Aerial Vehicle, 无人机) 具有运行简单、反应迅速、飞行灵活、成本低等特点, 已被广泛应用于抗灾救灾、军事侦察、海上检测、环境保护和土地动态监测等区域^[1]. 而由于无人机航拍序列图片拍摄的视角有限, 受到无人机飞行的高度及相机的参数的限制. 为了对拍摄的区域进行全局的把握与分析, 得到更多的目标区域信息, 图像的快速拼接显得十分迫切与需要.

目前无人机的航拍影像拼接方法主要有两种: 一种是基于图像特征的拼接方法, 另一种是基于 POS 信息的拼接方法.

基于特征的图像拼接主要包括两个主要的步骤, 分别为图像配准和图像融合. 其中图像配准为核心步骤. 在基于特征检测的图像配准算法中, 1988 年 CHris Harris 提出了 Harris 角点检测算子, 该算法对角点响应函数 R 进行阈值处理并且提取 R 的局部最大值来进行角点的提取, 缺点是该算法不具有尺度不变性并且特征检测时间不是很令人满意. SIFT 特征匹配算法 (Scale Invariant Feature Transform)^[2] 是一种经典的算法, 它通过在空间尺度中寻找极值点, 并提取出其位置、尺度、旋转不变量, 并且提出来的特征比较稳定, 但是缺点为提取出的特征点数量较多, 计算量大, 耗时

^① 基金项目: 国家重大科研仪器设备研制专项 (1L001790201501)

收稿时间: 2017-05-29; 修改时间: 2017-06-16; 采用时间: 2017-06-19; csa 在线出版时间: 2018-02-09

长. Bay^[3]于 2006 年提出了 SURF 算法,意为加速鲁棒性特征,是对 SIFT 算法进行的一种改进, SURF 算法利用 Hessian 矩阵确定候选点然后进行非极大抑制,降低了计算复杂度,一般来说,标准的 SURF 算子比 SIFT 算子快好几倍,并且在多副图片下具有更好的鲁棒性.

基于 POS 的信息拼接方法主要是利用航拍影像的地理坐标关系来进行配准,文献[4-7]就是利用特征点检测算法和 POS 信息结合的方法来进行拼接,解决了水域拼接问题,但是拼接速度上并没有得到有效提高,大部分都不能达到实时拼接.文献[8-12]都是基于视频拼接,提高了拼接的速度,但是融合效果并不是十分理想,文献[13]对视频进行感兴趣区域提取,裁剪了非重叠区域,提高了检测的速度,但是视频并非无人机航拍视频,并且重叠区域的计算方法并未给出,文献[14]利用 FAST 快速的提取到了图像的灰度特征,速度上基本满足实时的要求,但是也并未给出最后的融合效果,文献[15]在特征定位时采用 SURF,在特征描述上采用局部差分二进制算法,提高了特征的提取速度和匹配速度,在特征的稳定性和去分析上也有所提高.

本文提出的方法将特征提取算法与影像的地理坐标相结合,在拼接效率及视觉效果上比传统的特征提取拼接算法均有较大的提高,且拼接后的影像有地理信息,具有一定的实用价值.

1 设计方案概述

本文提出了一种基于 POS 系统拼接图像的方法,首先对图像进行几何校正,然后计算出影像四角点的地理坐标,以第一张影像地理坐标为基础,通过提取相邻影像重叠区域的 SURF 特征去得到相同匹配目标点的位置关系,从而修正后面影像的地理坐标,最后采用自适应渐入渐出的融合算法,得到了一副视觉效果良好的全景图像,完成图像的良好拼接.设计方案流程图如图 1 所示.

2 航拍图像的预处理

无人机在执行航拍任务中,由于受到飞行器的姿态、高度、速度以及地球自转等因素的影响,造成图像相对于地面目标实际位置发生挤压、扭曲、拉伸和偏移等,因此需要对航拍的图像进行几何校正,以得到基于同一基准投影面的遥感图像.

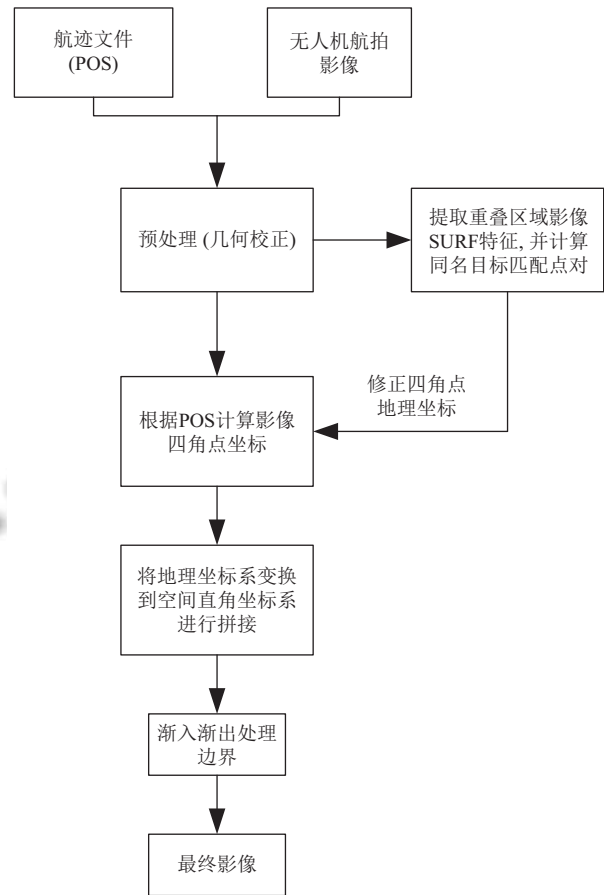


图 1 本文设计方案

2.1 几何矫正

几何矫正处理过程主要包括坐标系统变换,构建共线方程,图像重采样等过程.

在几何矫正的过程中,需要依次建立的坐标系为:地球坐标系,地理坐标系,机体坐标系,光电平台坐标系,相机坐标系.传统校正的具体步骤如下:设光电平台坐标系到数码相机坐标系的变换矩阵为 R_1 ,由机体坐标系到光电平台坐标系的变换矩阵为 R_2 ,由地理坐标系到机体坐标系的变换矩阵为 R_3 ,由大地坐标系到空间直角坐标系的变换矩阵为 R_4 ,则有:

$$\begin{cases} R_1 = R(\beta_P)R(\alpha_P) \\ R_2 = R(\chi)R(\omega) \\ R_3 = R_x(\beta)R_z(\theta)R_y(90 - \lambda)R_x(90) \\ R_4 = R_x^T(- (90 - B))R_z^T(90 + L) \end{cases} \quad (1)$$

其中 $R_x(\lambda), R_y(\lambda), R_z(\lambda)$ 分别为绕 x 轴、 y 轴、 z 轴的旋转的旋转矩阵,其中 α_P 为像元扫描角, β_P 为像元偏角, χ 为方位角, ω 为平台滚动角, β 为飞机横滚角, θ 为航向角, B 为经度, L 为纬度, H 为高度.

因此从相机坐标系到大地坐标系之间的转换可以用如下关系表示:

$$\begin{bmatrix} X_e \\ Y_e \\ Z_e \end{bmatrix} = R_1^T R_2^T R_3^T R_4^T \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

常规几何矫正由式(2)逐像素点进行计算和采样.考虑到本课题主要对单一航带进行拼接,且无人机平台横滚角和俯仰角比较小时(近似垂直向下拍摄时)可以认为图像分辨率是一致的,因此为了减少运算量,提高速度,几何矫正只对水平方向上的飞机航向角和平台方位角进行校正.矫正模型如下所示:

$$\begin{bmatrix} X_e \\ Y_e \\ Z_e \end{bmatrix} = R^T(\chi+\theta) \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 χ 为方位角, θ 为航向角, $R^T(\chi+\theta)$ 为变换矩阵,完成模型转换后再通过双线性差值重采样方法计算出像元在新的坐标系下的灰度值,从而生成新的图像矩阵,完成几何矫正.

2.2 重叠区域计算

无人机的航行速度,航行高度,当前曝光点的飞机经纬度信息,都可以通过无人机携带的POS系统(图2)获取到.这些信息记录了飞机飞行时在每个曝光时刻飞行时的姿态,可根据此来计算相邻影像的重叠区域,具体步骤如下.

序号	经度	纬度	高程	翻滚角	俯仰角	航向角
001	118.5144090094	38.9152577410	148.3547363281	-12.5990385490	-4.5018596442	-92.0328590468
002	118.5139519362	38.9152615648	149.0504913330	-3.4929330114	-2.9218292088	-87.9853016050
003	118.5135820217	38.9152676636	149.4660339355	-4.5478222921	-2.5069009797	-87.6790359226
004	118.5132118626	38.9152707531	148.6839904785	-3.7303970622	-2.9268861101	-88.8846599338
005	118.5128451536	38.9152725269	148.7004852295	-6.0608536727	-3.5319655250	-89.4445442004
006	118.5124751914	38.9152731595	149.0356750488	-6.2907611987	-2.5425402664	-90.0499994892
007	118.5121066379	38.9152738337	149.0451965332	-5.8828684159	-3.5898556471	-90.6426572220
008	118.5117356366	38.9152749475	149.1429443359	-5.4596109166	-2.6491048778	-90.8841773227
009	118.5113653183	38.9152755387	148.9636536645	-6.0404482881	-1.5664483909	-90.5368930503
010	118.510996431	38.9152773242	148.9246673584	-6.1131267454	-1.2641662029	-90.5020692198
011	118.5106294663	38.9152792309	149.1567840576	-5.6398419006	-1.6007857795	-90.4754997539
012	118.5102573835	38.9152790303	148.9963982558	-5.7218656415	0.2245129337	-89.7853431192
013	118.5098854311	38.9152805611	149.2989348365	-6.4831982358	-2.2165793067	-87.8431721986
014	118.5095202154	38.9152818307	149.0942382813	-6.6326506992	-2.1503843149	-86.5334561049
015	118.5091502929	38.9152858660	148.7807006836	-6.0052041279	-2.2677158658	-88.0164950787
016	118.5087804285	38.9152847273	149.1480102539	-7.9587643401	-0.4978508344	-88.5597751557
017	118.5084115130	38.9152870363	148.7700958252	-5.6734227966	-1.3496406842	-88.7569012453
018	118.5080412253	38.9152880588	149.3896179199	-5.9021589140	-1.5774549205	-86.1828898151
019	118.5076723274	38.9152909631	149.4945831299	-5.8088717777	-2.3629728856	-85.9830111592
020	118.5073027137	38.9152908725	148.9775390625	-6.2485702395	-1.8903861205	-86.6439344143

图2 POS信息

1) 假设无人机航线为偏离正北 θ ,其航速为 V ,将速度分解为正北方向上和正东方向上两个方向上的分量.分别表示为 V_1 和 V_2 ,如图3所示.

2) 连续拍摄相邻两张曝光点的影像分别编号为Pic1和Pic2,间隔为 t ,中心点经纬度为 $LatA$ 、 $LonA$ 、 $LatB$ 、 $LonB$,则有:

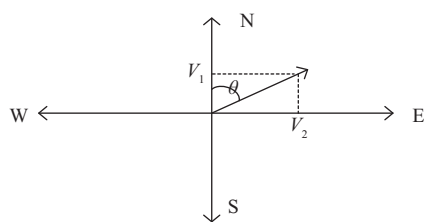


图3 速度分解

$$\begin{cases} C = \sin(LatA) * \sin(LatB) * \cos(LonA - LonB) \\ \quad + \cos(LatA) * \cos(LatB) \\ L = R * \text{Arccos}(C) * \pi / 180 \end{cases} \quad (4)$$

其中 $R=6371.004$ 千米, π 取 3.1415926 .

3) 此时以Pic1作为基准,Pic2与Pic1之间的重叠区域可表示为如图4所示的矩形区域 S ,将其重叠区域扩大定义到规则区域,将重叠区域顶点投影到 x 和 y 方向上则表示为:

$$S = (W - P_1)(H - P_2) \quad (5)$$

通过计算重叠区域减少了拼接的计算量,并且随着特征点的寻找面积越小,可能出现的误匹配概率就越小,提高了检测的效率.

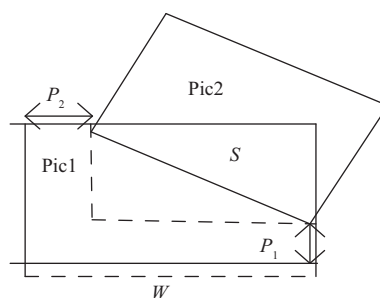


图4 重叠区域计算

3 基于POS参数的拼接方法

3.1 计算影像地理坐标

对于几何纠正过的航拍影像,影像的每点像素坐标都有对应的地理坐标,影像的地理坐标的计算过程可以分为以下几步.

1) 计算地面分辨率,计算公式如下:

$$GSD = \frac{H * P}{f} \quad (6)$$

其中 GSD 表示地面分辨率(m), f 为镜头焦距(mm), P 为成像传感器的像元尺寸(mm), H 为无人机对应的航高(m).

2) 计算影像对角线实际地面距离,根据影像的宽

度 w 和高度 h 得到图像对角线之间的地面距离:

$$L = \sqrt{w^2 + h^2} * GSD \quad (7)$$

3) 计算影像四角点地理坐标, 根据影像中心点经纬度及另一点相对中心点的距离及方向角, 可以求得以影像中点为圆心, 半径为 $L/2$ 的对应四角点地理坐标. 具体计算公式为:

$$Lon_i = \frac{\left(\frac{L \sin(\theta_i)}{2(R_j + (R_c - R_j) * (90 - Lat_a) / 90) * \cos(Lat_a)} + Lon_a \right) * 180}{\pi} \quad (8)$$

$$Lat_i = \frac{\left(\frac{L \cos(\theta_i)}{2(R_j + (R_c - R_j) * (90 - Lat_a) / 90)} + Lat_a \right) * 180}{\pi} \quad (9)$$

其中 $\theta_i \in (0, 2 * \pi)$, Lon_a, Lat_a 为影像中心点的经纬度, R_i 为赤道半径取 6378 137 m, R_j 为极半径取 6356 725 m.

4) 地理坐标转换到空间之间坐标系之间的转换, 转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N + H) \cos(Lon) \cos(Lat) \\ (N + H) \cos(Lon) \sin(Lat) \\ [N(1 - e^2) + H] \sin(Lon) \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中 N 为曲率半径, Lon, Lat, H 分别为经度、纬度和高程, 至此, 得到完整的影像坐标.

3.2 利用特征匹配修正地理坐标

由于 POS 精度低以及几何校正中存在一定的误差, 计算出的坐标映射关系有一定的误差, 此时利用特征匹配算法去修正影像的地理坐标, 具体过程如下:

假设图像 1 的地理坐标为 $P1(x1, y1)$, 图像 2 的地理坐标为 $P2(x2, y2)$, 提取影像特征匹配对后则可以得到同一个点在不同两张影像间的像素坐标位置, 由此可以得到两张影像中同一个目标点的经纬度坐标 $(Lon1, Lat1)(Lon2, Lat2)$, 最后以第一张影像地理坐标为基准, 求得第二张影像中目标点与第一张影像之间的偏移量, 公式如下:

$$\begin{cases} x = Lon2 - Lon1 \\ y = Lat2 - Lat1 \end{cases} \quad (11)$$

然后用求得的偏移量去修正图像 2 的地理坐标 $P2$:

$$\begin{cases} x2 = x2 + x \\ y2 = y2 + y \end{cases} \quad (12)$$

然后将地理坐标投影到空间直角坐标系下, 从而完成图像精确的配准.

文章通过计算重叠区域的 SURF 特征, 完成特征

匹配点对的提取. SURF 采用近似 Hessian 矩阵检测特征点, 并使用积分图像进行卷积运算, 大幅减少了运算, 从而提高了特征提取速度. SURF 描述子包含两个主要的部分: 检测特征点和计算特征; 具体实现分为以下几步.

1) 构建 Hessian 矩阵, 构造尺度空间.

假设图像上某点为 $X(x, y)$, 在 σ 尺度下的矩阵 H 定义为:

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (13)$$

当 Hessian 矩阵的判别式取得局部极大值时, 认为定位关键点的位置.

2) 检测特征点

在上述得到的尺度空间中, 将经过 Hessian 矩阵处理的每个像素点与二维图像空间和尺度空间邻域内的 26 个点进行比较, 初步定位出关键点, 再经过滤去除能量比较弱的关键点以及错误定位的关键点, 筛选出最终的稳定的特征点, 检测过程如图 5.

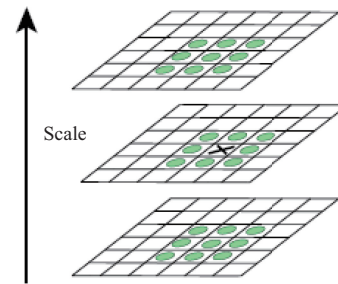


图 5 特征点定位

3) 确定特征点主方向

以特征点为圆心, 以 6σ 为半径, 求 XY 方向上的 Haar 小波响应, 统计 60 度扇形内所有点的水平 Haar 小波特征和垂直 Haar 小波特征总和, 并设置 Haar 小波的尺寸变长为 $4s$, 使得每个扇形都得到了对应值. 然后将 60 度扇形以一定间隔进行旋转, 最后将锁定最大值扇形的方向作为该特征点的主方向. 该过程的示意图如图 6.

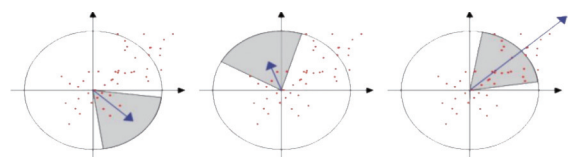


图 6 特征点方向计算

4) 计算特征描述符

在特征点周围取一个正方形框,然后把该框分为16个子区域,每个子区域统计25个像素的水平方向和垂直方向的 Haar 小波特征,这里的水平和垂直方向都是相对主方向而言的,所以每个特征点就是 $16 \times 4 = 64$ 维的向量,这在特征匹配过程中会大大加快匹配速度。

4 图像融合

对于修正坐标后的图像,由于每张影像之间有一定的痕迹,因此需要采用一些策略来解决拼接缝隙之间的颜色过渡差异较大的问题,使拼接图像更加平滑自然,渐入渐出自适应权重融合过程如下所示。

假设 I_1 、 I_2 、 I 分别为融合前图像 1、图像 2、和融合后的图像 3,则可以通过公式 (14),完成图像融合:

$$I(x, y) = \begin{cases} I_1(x, y) \\ \varphi I_1(x, y) + (1 + \varphi) I_2(x, y) \\ I_2(x, y) \end{cases} \quad (14)$$

$$\varphi = w_i / W; \varphi \in (0, 1)$$

式中, W 是两幅不同画面重复的总宽度; w 是重合区域左边缘与当前像素点之间的横向距离。

5 实验与分析

本文选取我国某处海岸线的两条航带影像作为数据来源,测试平台为 CPU Intel(R)Core(TM)i7-4970 CPU@3.60 GHz,内存 16 GB,软件开发环境为 VS2010+OpenCV2.4.1,图片分辨率为 1820*1080,航拍高度为 150 m 左右。

5.1 重叠区域特征检测

图 7(a) 为用传统 SURF 算法检测到的特征点,并进行匹配连线,图 7(b) 为根据飞行参数计算得到的重叠区域,图 7(c) 为通过影像重叠区域计算出特征点之后,再根据 RANSAC 算法进一步消除错误特征点,从而得到最终的匹配连线对。

可以看出, surf 算子在图 7(a) 中非重叠区域之外的特征也进行了检测,所以存在很多的误匹配对。图 7(c) 只在重叠区域进行特征检测,减少了误匹配率。从而提高了拼接的效率。本文通过测试 561 张图片并对得到的数据进行了平均,实验中全局区域和重叠区域检测到的特征点个数及检测时间对比如表 1 所示。

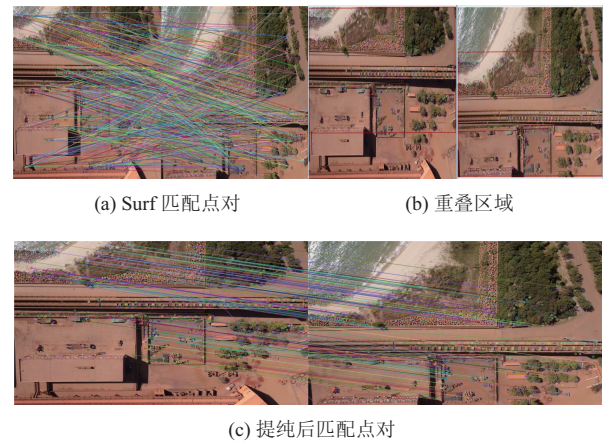


图 7 图像匹配点对的提取

表 1 不同区域特征点提取对比

实验区域	SURF平均 匹配点数	RANSAC提纯后 匹配点数	SURF平均 时间(s)	匹配点 正确率(%)
全局区域	433	103	0.50612	63.73
重叠区域	342	84	0.34604	86.67

5.2 地理坐标拼接效果

按照本文提出的计算方法计算地理坐标并进行投影后及修正后的对比结果如图 8 所示:其中图 8(a) 为未修正前的地理坐标投影结果,可以看出修正前的拼接效果存在明显的误差,图 8(b) 在图 8(a) 的基础上,按照本文提出的方法,进行坐标的调整后,图像拼接精度得到了明显的提高,图 8(c) 为按照本文方法,进行多张图片的修正地理坐标拼接效果。

5.3 图像融合结果

根据每张影像的地理坐标可以方便提取出图像的边界,从而得到图像之间的拼接缝隙的精确位置,这样重叠区域的目标在融合过程中都是以地理坐标位置进行投影,消除了传统图像处理算法配准时候误差的积累,从而避免目标重影的产生,最后采用渐入渐出自适应权重融合算法对边界进行融合,对比拼接效果如图 9 所示:其中图 9(a) 明显可以看出拼接后的边界,图 9(b) 为采用融合策略后生成的图像,可以看出消除了图像边界之间的差异。

6 总结

本文针对无人机航拍影像的特点,提出了一张基于无人机 POS 信息的拼接方法,首先根据 POS 信息计算影像的四角点的地理坐标,然后提取影像的重叠区域的 SURF 特征,利用相邻影像的相同特征点的位置

关系去修正地理坐标,从而完成配准,最后采用自适应渐入渐出融合算法对图像进行平滑过渡,得到了一副视觉效果良好的全景图像。

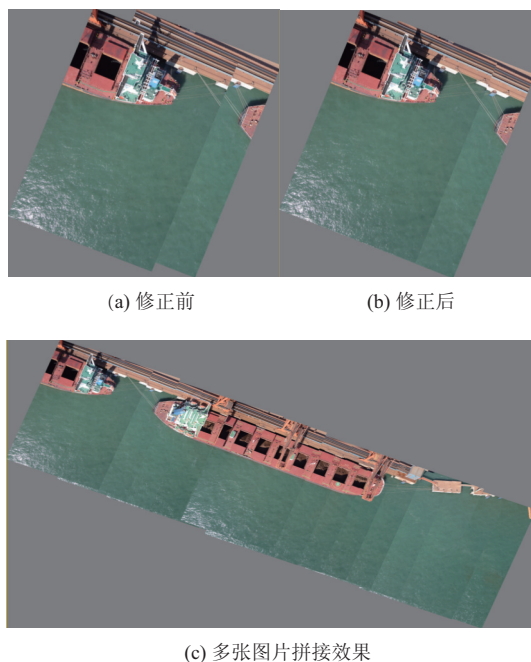


图8 地理坐标拼接效果

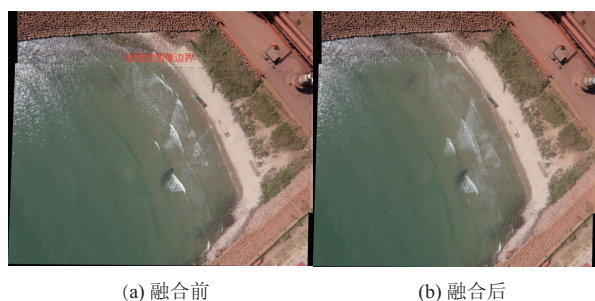


图9 最终融合效果图

参考文献

- 1 潘梅, 李磊民. 基于改进 Harris-SURF 的无人机图像快速拼接. 微型机与应用, 2014, 33(15): 43-46, 79. [doi: 10.3969/j.issn.1674-7720.2014.15.015]
- 2 Lowe DG. Distinctive image features from scale-Invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110. [doi: 10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94]
- 3 Bay R, Ess A, Tuytelaars T, *et al.* Speeded-up robust features (SURF). Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359. [doi: 10.1016/j.cviu.2007.09.014]
- 4 王雅萍, 陈宜金, 谢东海, 等. 面向无人机水域影像的自动拼接方法. 长江科学院院报, 2014, 31(5): 92-96.
- 5 赵政, 凌霄, 孙长奎, 等. 基于 POS 的无人机倾斜影像匹配方法. 国土资源遥感, 2016, 28(1): 87-92. [doi: 10.6046/gtzyyg.2016.01.13]
- 6 韩文超, 周利剑, 贾韶辉, 等. 基于 POS 系统的无人机遥感图像融合方法的研究与实现. 遥感信息, 2013, 28(3): 80-84, 90.
- 7 邓涛, 侯东平, 乐琴兰, 等. 结合 SIFT 和 Harris 算法的小型无人机影像拼接方法. 信息工程大学学报, 2015, 16(3): 321-326, 377.
- 8 吴保, 余涛, 谢东海. 面向应急响应的无人机图像快速自动拼接. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(3): 410-416.
- 9 牡丹, 潘志斌, 于君娜, 等. 带地理信息的无人机遥感图像拼接系统的实现. 无线电工程, 2014, 44(6): 39-42.
- 10 鲁恒, 李永树, 何敬, 等. 一种基于特征点的无人机影像自动拼接方法. 地理与地理信息科学, 2010, 26(5): 16-19, 28.
- 11 刘宝. 航拍视频中的实时拼接技术研究[硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2015.
- 12 刘善磊, 王光辉, 石善球, 等. 一种无人机视频帧自动拼接方法. 测绘科学, 2013, 38(5): 69-71.
- 13 首照宇, 欧阳宁, 张华俊, 等. 基于 SURF 和动态 ROI 的实时视频拼接. 计算机工程与设计, 2013, 34(3): 998-1003.
- 14 张懿, 刘艺. 基于 FAST 特征的快速图像拼接系统研究. 计算机工程与应用, 2016, 52(10): 167-170. [doi: 10.3778/j.issn.1002-8331.1406-0297]
- 15 余淮, 杨文. 一种无人机航拍影像快速特征提取与匹配算法. 电子与信息学报, 2016, 38(3): 509-516.