

中图法分类号: TP79 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)07-1248-07

论文索引信息: 吴宏明, 周建军, 陈超, 王日胜. 基于平台参数的航空光学图像镶嵌算法研究 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(7): 1248-1254

基于平台参数的航空光学图像镶嵌算法研究

吴宏明, 周建军, 陈超, 王日胜

(中国人民解放军91635部队, 北京 102249)

摘要: 航空图像的镶嵌在图像情报分析中有着重要的军事意义, 通过分析机载航空光学成像的特点及平台参数, 结合光学成像的透视投影模型, 推导出倾斜投影下从像素坐标到世界坐标的统一坐标变换关系, 并在世界坐标下计算图像的大致镶嵌区域, 实现图像粗镶嵌; 再提取粗镶嵌区域中的 SIFT 特征, 计算镶嵌图像之间的变换模型参数, 实现图像精确镶嵌。实验结果表明, 算法在运算速度和镶嵌精度上取得了较好的效果。

关键词: 航空光学图像; 图像镶嵌; 倾斜投影; 平台参数; 坐标变换

Algorithm of aerial optical image mosaicing based on platform parameters

Wu Hongming, Zhou Jianjun, Chen Chao, Wang Risheng

(91635 PLA Troops, Beijing 102249 China)

Abstract: Mosaicing of aerial images is important to image intelligence analysis in military. In this paper, characteristic of aerial optical imaging and parameters of aerial platform are analyzed. Based on the principle of perspective projection model, the coordinate transform relationship between pixel coordinate and world coordinate is mainly deduced under oblique projection, and rough mosaicing regions of the two images are calculated under world coordinate, in this step, not much attention is paid to the accuracy. Then, SIFT algorithm is employed to extract invariable feature from the rough mosaicing regions, and calculate the transform model parameters of the two images accurately, in order to realize mosaicing refinedly. Experiments results of field images show that the algorithm is time efficient and fine-results in mosaicing.

Keywords: aerial optical image; image mosaicing; oblique projection; platform parameters; coordinate transform

0 引言

在航空侦察中, 一个批次所获取的各幅图像往往是对一个大的侦察区域的连续拍摄, 由于受拍摄视场角的限制, 每幅图像反映的是整个侦察区域中的一个小场景。为了获得被侦察区域的全局信息, 往往需要将各幅图像按照一定顺序拼接成同一全景图像, 以形成对整个侦察区域宏观态势的了解, 也便

于后续的处理、分析和理解。目前, 航空图像拼接技术已被广泛应用于机载对地观测、军事侦察、虚拟现实等不同领域中。

近年来, 国内外许多学者开展了对航空图像镶嵌算法的研究^[1-4], 并取得了丰富成果。根据平台信息的有无, 航空图像拼接方法大致可分为两大类: 基于平台参数的航空图像镶嵌和无平台参数的航空图像镶嵌。前者利用飞行平台的同步空间坐标以及姿态参数确定待镶嵌图像之间的空间变换关

收稿日期: 2010-01-26; 修回日期: 2010-06-10

第一作者简介: 吴宏明(1983—), 男, 助理工程师。2008年于国防科技大学电子科学与工程学院获硕士学位, 主要研究方向为遥感信息处理。E-mail: whm0915@yahoo.com.cn。

系^[5-7],该方法的优势是充分利用了图像的先验信息,从而减少了全局搜索的计算量,其缺点是容易受平台参数不精确因素的影响,而且提供的参数反映的是平台的信息,需要将这些参数转化为反应相机的外方位元素,其中存在诸多的不确定性,使得该类方法的镶嵌精度受到限制;后者则是在缺少飞行平台同步空间坐标和姿态参数的情况下,通过同名点特征的匹配估计图像间的空间变换关系,并将其优化统一到反应全局图像的坐标系中^[8-10],该类方法镶嵌的精度较高,但其中涉及的不变特征点的提取与匹配的计算量随镶嵌图像的增大而迅速增加,对航空图像的镶嵌无法满足实时性的要求。通过分析这两类方法的优缺点,提出一种针对带平台参数的航空图像的镶嵌方法,即利用平台参数特点建立图像坐标到世界坐标的统一变换模型,在世界坐标上实现图像的粗镶嵌,即确定镶嵌的大致区域,然后采用 SIFT^[11]算法提取粗镶嵌区域中的不变特征,通过特征匹配实现图像的精确镶嵌,从而大大提高航空图像镶嵌的速度。

1 图像的镶嵌及其特点

图像镶嵌是通过将两幅或多幅在相同或不同成像情况下拍摄的具有重叠区域的图像拼合为一幅整体图像来拓展视场。图像配准是图像镶嵌需要解决的关键环节,基于图像灰度相关性的配准方法具有易于理解、易于实现的优点,但其运算量通常较大,特别是对存在旋转、平移变换关系以及灰度差异的图像,甚至无法得到正确的处理结果;基于特征的配准方法,通过提取图像的特征信息来实现图像的配准,特征点是图像重要的局部特征,通常具有旋转不变性和对光照不敏感等特点,同时,兴趣点数目相对较少,可以有效降低后续配准处理的数据量和运算复杂度,因此基于特征的配准方法得到广泛应用。

在众多的基于特征的配准算法中,SIFT 算法^[11]具备较为稳定的特征匹配能力,但该算法中特征的提取与匹配是非常耗时的计算过程,在 Intel Pentium4 2.33 GHz 处理器、2 GB 内存以及 Matlab7.0 处理平台上编写文献[12]中的算法,对航空图像实施镶嵌实验,运算速度如表 1 所示。

表 1 SIFT 算法运算时间与图像大小的关系

Tab.1 The relationship between SIFT algorithm computation speed and size of image

	图像大小/像素			
	5 000 × 4 988	1 000 × 998	500 × 500	250 × 250
处理时间 /s	20 000 (估计值)	5 472.547	508.64	52.609

表 1 数据表明,当图像大小增加 1 倍时,运算耗时增加约 10 倍,运算量呈指数上升趋势,对于巨幅航空图像,直接采用该方法实现镶嵌很难达到实时性要求。

随着航空侦察技术的发展,在现有的多数航空侦察平台上都装有 POS 和 INS 系统,分别用于记录平台的位置和参数信息,这对后续的图像处理和应用提供了极大便利,在此基础上出现了基于平台参数的航空图像镶嵌算法。在实际中发现,航空侦察中相邻两幅图像之间的重叠率为 10% ~ 55%,通过利用平台的参数信息,确定其重叠部分的大致区域,再利用上述的 SIFT 算法提取该区域的特征并实现精确镶嵌,即通过缩小特征点的提取与匹配搜索的范围,来大大提高运算速度。基于这一思路,重点介绍基于平台参数的像素坐标到世界坐标的映射关系,并分别介绍了粗镶嵌与精确镶嵌的算法过程。实验结果表明,本文方法在运算速度和镶嵌精度上都取得了较好效果。

2 基于平台参数的航空图像粗镶嵌

一些机载航空相机在拍摄时记录了平台的参数信息,如某型航空相机在胶片上以码制的形式记录了胶片序号、飞机经纬度、飞行高度、航向、拍摄角度、拍摄方向等重要参数,这对图像的处理与应用提供了便利。本节通过分析倾斜透视投影的几何结构关系,将待镶嵌图像的像素坐标变换到统一的世界坐标中,实现航空图像的粗镶嵌。

2.1 透视投影模型

透视投影^[13]又称为中心投影,可以得到具有透视效果的图像,它包括点中心投影、线中心投影以及面中心投影,在理论计算中一般均采用点中心投影。在大多数文献中,点中心投影的坐标变换关系如图 1 所示。

为了建立统一的从世界坐标到像素坐标的坐标

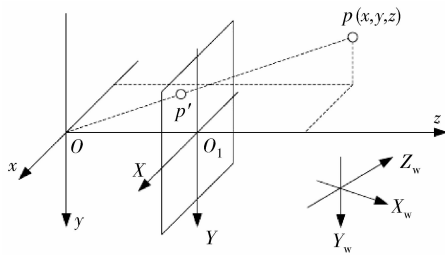


图 1 原始的透视投影几何变换图

Fig. 1 Original geometrical transform of perspective projection

变换关系,对透视投影的几何变换关系做了改进,考虑坐标的方向性,如图 2 所示,本文称之为带方向的透视投影变换。

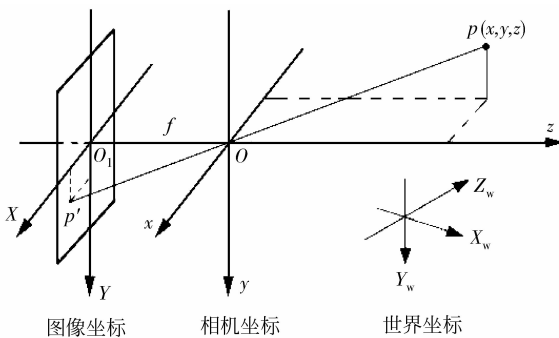


图 2 带方向的透视投影几何变换图

Fig. 2 Geometrical transform of perspective projection thinking orientation

其中图像坐标不同于像素坐标,由于像素坐标为 2 维数组的索引值,没有物理单位,因此引入图像坐标系。图像坐标系的原点为相机光轴与图像平面的交点,通常为图像的中心处,如图 1 中的点 O_1 ,沿着光轴方向,图像坐标系的 X, Y 轴方向分别为水平向右和垂直向下,如图 3 所示。图像坐标与像素坐标的关系为

$$\begin{cases} X = dx(u - u_0) \\ Y = dy(v - v_0) \end{cases} \quad (1)$$

其中 u_0, v_0 为像素坐标系下的中心坐标, dx, dy 分别表示图像在水平和垂直方向上的物理分辨率。

图像坐标描述了 2 维平面上像素点之间的关系,在成像时,3 维空间中的点与相机之间的相对位置关系可以用相机坐标系描述。相机坐标系的原点位于相机光心 O 上, x, y 轴分别与图像坐标系的 X, Y 轴平行,且方向一致, z 轴为 O 与图像坐标系原点 O_1 的连线,这样,空间中的点可以用相机坐标 $p(x, y, z)$ 来表示。

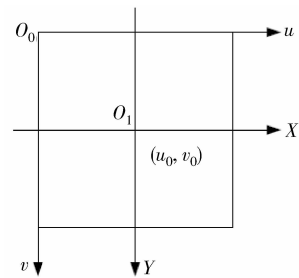


图 3 像素坐标系与图像坐标系的关系

Fig. 3 Relationship of pixel coordinate and image coordinate

在此基础上建立透视投影成像模型^[13],用来描述空间中的任意点与图像坐标之间的关系,如图 2 所示,在相机坐标系中,空间中的任意点 $p(x, y, z)$ 投影到图像平面上得到点 $p'(X, Y)$, p, p' 之间的几何关系为

$$\begin{cases} X = -\frac{xf}{z} \\ Y = -\frac{yf}{z} \end{cases} \quad (2)$$

式中 f 是相机的焦距。式 (2) 是透视投影模型的通用表达式,一般的航空相机都满足该模型。

2.2 倾斜投影的几何模型

当相机主光轴与相机到地面的垂线的夹角小于 3° 时,成为(近)垂直投影,否则称为倾斜投影^[13],倾斜投影在军事航空侦察中具有非常重要的作用。当相机到地面的距离远远大于地表的起伏高度,且拍摄图像覆盖的地表范围不受地球曲率的影响时,可将拍摄区域视为一个平面,在本文中称其为物面。下面在透视投影模型的基础上推导倾斜投影中物面与图像坐标的变换关系。

首先在相机坐标系下建立物面坐标系 $X'O'Y'$,如图 4 所示,物面到相机光心 O 的距离即为飞机到物面的相对高度,记为 H ,拍摄角度为 α , X' 与 x 平行, Y' 与 y 共面相交成 α 。

用物面坐标 $p''(X', Y')$ 表示位于物面上的空间点 $p(x, y, z)$,易知:

$$x = X', \quad y = Y' \cos \alpha$$

根据图 4 右下角的小图可得:

$$z = \frac{H}{\cos \alpha} - Y' \sin \alpha$$

将上述 3 式代入透视投影模型表达式 (2) 中,

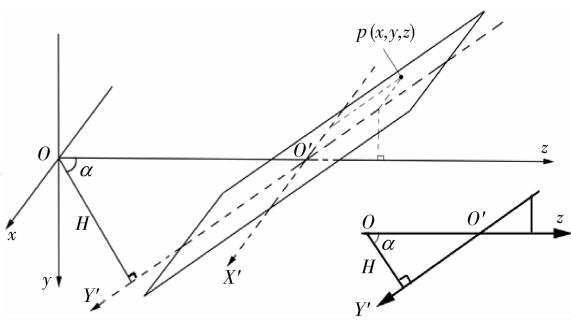


图 4 倾斜投影的几何变换关系

Fig. 4 Geometrical transform relationship of oblique projection

得到倾斜投影下物面坐标 $p''(X', Y')$ 与图像坐标 $p'(X, Y)$ 之间的坐标变换关系:

$$\begin{cases} X = -\frac{xf}{z} = \frac{-X'f \cos |\alpha|}{H - Y' \sin |\alpha| \cos |\alpha|} \\ Y = -\frac{yf}{z} = \frac{-Y'f \cos^2 |\alpha|}{H - Y' \sin |\alpha| \cos |\alpha|} \end{cases}$$

则 $p'(X, Y)$ 到 $p''(X', Y')$ 的坐标变换为

$$\begin{cases} X' = \frac{-HX}{f \cos |\alpha| - Y \sin |\alpha|} \\ Y' = \frac{-HY}{(f \cos |\alpha| - Y \sin |\alpha|) \cos |\alpha|} \end{cases} \quad (3)$$

表达式中 α 取绝对值,是因为 α 是有向的,其方向的约定将在第 2.3 节介绍,而在该坐标变换中不用考虑其方向。

2.3 物面坐标与世界坐标的转化

首先建立世界坐标系 $X_w O_w Y_w$,如图 5 所示。

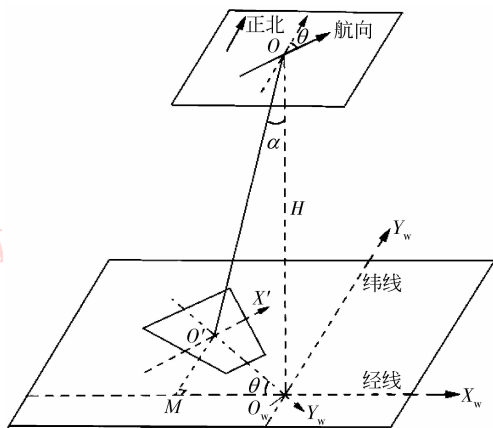


图 5 物面坐标系与世界坐标的转化

Fig. 5 Transform from object-plane coordinate to world coordinate

以光心到物面的垂足 O_w 为图像对应的世界坐标系的原点,该点的经纬度即为飞机拍摄时记录的

经纬度信息,分别以过原点的经线和纬线为 X_w 轴、 Y_w 轴。为了建立任意平台参数条件下的统一表达式,将航向 θ 与拍摄角度 α 的方向及范围作如下约定:

航向 θ 以正北方向为基准,顺时针转动取负,范围 $[-180^\circ, 0)$,逆时针转动为正,范围 $[0, 180^\circ)$;拍摄角度 α 以光心到物面的垂线为基准,左侧视时取负,范围 $(-90^\circ, 0)$,右侧视时取正,范围 $[0, 90^\circ)$ 。

物面坐标经过旋转与平移即可得到世界坐标,首先进行旋转变换,如图 6 所示。

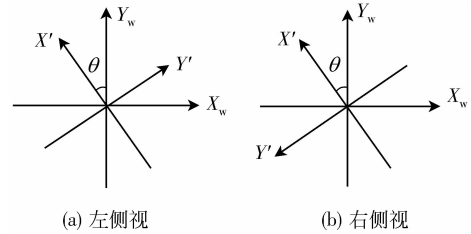


图 6 旋转变换的坐标关系

Fig. 6 Coordinate relationship of rotate transform

分两种情况考虑:

1) 当拍摄方向为左侧视 ($\alpha < 0$) 时,如图 6 (a) 所示,可先将 Y' 换成 $-Y'$,再顺时针旋转 $90^\circ + \theta$ 即可完成旋转变换。

2) 当拍摄方向为右侧视 ($\alpha > 0$) 时,如图 6 (b) 所示,顺时针旋转 $90^\circ + \theta$ 即可。

综上所述两种情况,结合坐标旋转^[13]公式,写成统一的表达式如下:

$$\begin{pmatrix} X_{temp} \\ Y_{temp} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(90^\circ + \theta) & -\sin(90^\circ + \theta) \\ \sin(90^\circ + \theta) & \cos(90^\circ + \theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X' \\ \text{sgn}(\alpha) Y' \end{pmatrix}$$

其中 $\text{sgn}(\alpha)$ 表示 α 的符号,用齐次坐标^[13]表示该旋转变换如下:

$$\begin{pmatrix} X_{temp} \\ Y_{temp} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \theta & -\text{sgn}(\alpha) \cos \theta & 0 \\ \cos \theta & -\text{sgn}(\alpha) \sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

再进行平移变换,在世界坐标 X_w 轴和 Y_w 轴上的平移量分别为

$$MO_w = H \tan(\alpha) \cos \theta$$

$$MO'_w = H \tan(\alpha) \sin \theta$$

用齐次坐标^[13]表示平移变换:

$$\begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & H \tan(\alpha) \cos \theta \\ 0 & 1 & H \tan(\alpha) \sin \theta \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{temp} \\ Y_{temp} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

联立式(4)(5)即可得到物面坐标到世界坐标转换

的统一表达式:

$$\begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & H \tan(\alpha) \cos \theta \\ 0 & 1 & H \tan(\alpha) \sin \theta \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \dots \times \begin{pmatrix} -\sin \theta & -\operatorname{sgn}(\alpha) \cos \theta & 0 \\ \cos \theta & -\operatorname{sgn}(\alpha) \sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

至此,从式(1)→式(3)→式(6)完成了从像素坐标到世界坐标的转换,建立了图像中像素点与世界坐标点的一一对应关系。

2.4 图像的粗镶嵌

建立单幅图像像素坐标与世界坐标关系的基础上,考虑拍摄时相邻的两幅图像 *A* 和 *B* 在世界坐标中的关系(图像拍摄的顺序可通过参数信息得到),如图 7 所示。

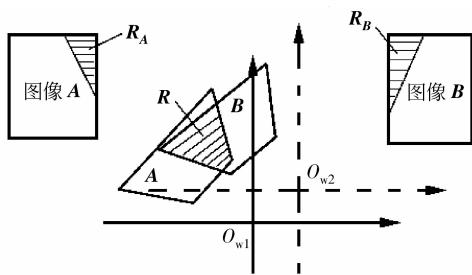


图 7 镶嵌图像在世界坐标系中的关系

Fig.7 The mosaicing images in world coordinate

其中, *A*, *B* 分别表示图像 *A* 与 *B* 映射到世界坐标系中的区域。根据式(3)可证明,在倾斜投影下,图像收容的地面区域为梯形,阴影区域 *R* 表示两图像对应于地面区域的重叠区域。 *O_{w1}*、*O_{w2}* 分别表示两图像对应的世界坐标的原点,用拍摄时平台的经纬度坐标来表征,记 *O_{w1}*、*O_{w2}* 的经纬度分别为 (*X_{Lo1}*, *Y_{La1}*)、(*X_{Lo2}*, *Y_{La2}*),忽略地球曲率的影响,计算点 *O_{w2}* 相对于点 *O_{w1}* 的经度、纬度差所对应的平面直线距离^[14],分别记为 ΔX_{Lo} 、 ΔY_{La} 。将图像 *B* 对应的世界坐标经过平移变换,得到其在世界坐标系 *O_{w1}* 中的坐标,坐标变换公式为

$$\begin{pmatrix} X'_{w2} \\ Y'_{w2} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \Delta X_{Lo} \\ 0 & 1 & \Delta Y_{La} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{w2} \\ Y_{w2} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

这样,将图像 *A* 与 *B* 的像素坐标转化为同一世界坐标系中的坐标,在该坐标系下计算图像在世界坐标中的重叠区域 *R*,根据像素坐标与世界坐标的

一一对应关系,对应求取 *R* 在图像 *A* 和 *B* 中的像素区域 *R_A*、*R_B*,本文称之为粗镶嵌,具体的计算过程从略。对于倾斜投影,相机将地面上的梯形区域收容成方形图像,容易证明,对于倾斜投影,如果两图像对应的相机外方位元素一致,则两图像重叠部分之间满足线性错切关系^[13],从而不难理解粗镶嵌结果中的重叠区域 *R_A*、*R_B* 为三角形或梯形区域。

3 基于 SIFT 方法的图像精确镶嵌

通过上述基于平台参数的粗镶嵌,获取了待镶嵌图像的大致镶嵌区域 *R_A*、*R_B*,如图 7 所示,两者之间的图像内容基本相同,但各自在图像 *A* 和图像 *B* 上所表现的几何形状不同,需要将两者进行仿射或非线性变换,使两者达到内容和几何形状上的一致,本文称之为精确镶嵌。

首先确定变换模型,常用的变换模型有仿射模型和双二次模型。根据待镶嵌的图像的平台参数来确定变换模型。主要考虑拍摄高度和拍摄角度,这两个参数的变化会引起图像之间的非线性斜切变换,如果两待镶嵌图像的这两个参数保持相对稳定,且拍摄高度远大于地表起伏,则采用仿射变换模型,否则采用双二次模型。

在确定变换模型后,需要确定模型的参数,采用 SIFT 算法^[11] 分别提取大致重叠区域 *R_A*、*R_B* 内的不变特征,再用优化的特征匹配算法提取同名点,估计模型参数,实现精确镶嵌。算法流程如图 8 所示。

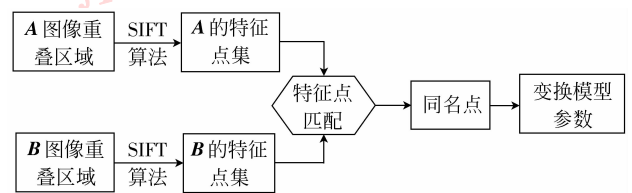


图 8 精镶嵌的算法流程

Fig.8 Algorithm flow of refined mosaicing

4 实验与分析

实验图像为某机载航空相机在大倾斜角度下的成像,焦距 *f* 已知,图像的平台参数如表 2 所示,本文实验所采用的软硬件条件为 Intel Pentium4 2.33 GHz 处理器、2 GB 内存以及 Matlab7.0 处理平台。

表 2 镶嵌图像的平台参数

Tab.2 Imaging parameters of mosaicing images

序号	高度 /m	拍摄角 度/(°)	拍摄 方向	航向 /(°)	经度	纬度
图像 A	72	6 956	80	左侧	-175.781 3	121.042 36.974
图像 B	73	6 952	80	左侧	-176.835 6	121.047 37.002

镶嵌的原始图像如图 9 所示。



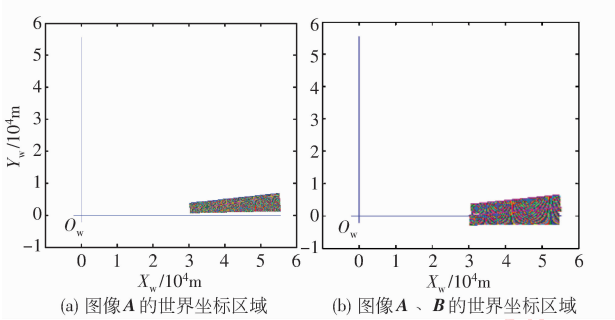
图像 A(2 196×2 107 像素)

图像 B(2 124×2 117 像素)

图 9 待镶嵌图像

Fig.9 The mosaicing images

根据本文“基于 SIFT 方法的图像精确镶嵌”的推导,将图像 A、B 映射到世界坐标系中,如图 10 所示,其中坐标单位为 m。



(a) 图像A的世界坐标区域

(b) 图像A、B的世界坐标区域

图 10 图像在世界坐标中的对应区域

Fig.10 The regions of iamges mapping to world

在世界坐标系中,求取两图像拍摄区域的重叠区域,如图 10(b)所示,根据像素坐标与世界坐标一一对应关系,求取两图像之间的大致重叠区域,如图 11 中的红色部分所示。

在此基础上,提取重叠区域内的 SIFT 特征,实现精确镶嵌,结果如图 12 所示。

下面分别从镶嵌精度和运算速度上,对本文算法的性能进行评估。为了评估镶嵌精度,将本文方法的镶嵌结果与半自动镶嵌结果进行比较,如图 13 所示为半自动镶嵌平台中手动选取控制点的过程。



图 11 粗镶嵌结果图

Fig.11 The rough mosaicing result



图 12 精确镶嵌结果

Fig.12 The refined mosaicing result



图 13 手动选取控制点

Fig.13 Get control dot manually

手动选取 30 对控制点,采用仿射变换模型,通过最小二乘法确定模型参数,实现两图像的镶嵌。对于每一对控制点,用最小二乘误差来表征控制点处的配准误差,求均值得到半自动镶嵌方法的平均误差为 1.1346 像素;在本文方法中,采用 SIFT 方法在粗镶嵌区域中共提取 14 对同名点,求同名点对的最小二乘误差的均值,即本文方法的平均误差为 1.687 像素,该数值表明,本文方法在精度上与半自动镶嵌方法相差较近,基本能满足实际应用要求。

在运算速度上,将本文方法的运算速度与不利用

平台参数直接用 SIFT 提取特征实现镶嵌的方法进行比较,由于本文通过粗镶嵌缩小了特征点提取与匹配搜索的范围,大大提高了运算速度,如表 3 所示。

表 3 运算速度比较
Tab. 3 Compare of computation speed

	待镶嵌图像大小/像素			/s
	2 196 × 2 107	2 054 × 1 988	1 923 × 1 857	
	2 124 × 2 117	2 087 × 2 005	1 879 × 1 775	
不利用平台 参数方法处 理时间	11 345. 192	10 437. 551	11 492. 64	
本文方法处 理时间	513. 521	457. 41	552. 369	

从表 3 的数值可以明显看出,本文方法在运算耗时方面有较大改善,基本能满足实际应用的需求,速度提高的具体比值与待镶嵌图像的重叠率有关。

5 结 论

针对航空图像镶嵌耗时长的问题,提出一种基于平台参数的航空图像镶嵌方法,首先根据航空图像平台参数的特点,推导倾斜投影的坐标变换模型,建立统一的像素坐标到世界坐标的变换关系,实现从粗镶嵌到精镶嵌的算法过程,并对算法的镶嵌精度和速度做了分析比较,实验结果表明,本文方法在精度和速度上均取得了较好的效果。

参考文献 (References)

- [1] Kang Z Z, Zhang Z X, Zhang J Q. A strip method of image mosaic for the vehicle-based imagery [J]. Environmental Informatics Archives, 2005, 3:306-314.
- [2] Feng S L, Lu H Q, Ma S D. Mosaic representations of video sequences based on slice image analysis [J]. Pattern Recognition Letters, 2002, 23 (5):513-521.
- [3] Liu J, Chen Z Y, Guo R F. A mosaic method for aerial image sequence by R/C model [J]. CSSE International Conference on Computer Science and Software Engineering, 2008, 6:58-61.

- [4] Kerstin J, Michael S. Roland Pesch spatial analysis of marine categorical information using indicator kriging applied to georeferenced video mosaics of the deep-sea Håkon Mosby Mud Volcano [J]. Ecological Informatics, 2006, 1 (4):391-406.
- [5] Light D. An airborne direct digital imaging system [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2001, 67 (11): 1299-1305.
- [6] Zhu Z G, Hanson A R, Riseman E M. Generalized parallel-perspective stereo mosaics from airborne video [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26 (2): 226-237.
- [7] You H J, Shao Y, Li S K. Fast rectifying airborne infrared scanning image based on GPS and INS [J]. Future Generation Computer Systems, 2004, 20 (7): 1209-1214.
- [8] Lin Y P, Medioni G. Map-enhanced UAV image sequence registration and synchronization of multiple image sequences [J]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2007, 3: 3272-3278.
- [9] Szeliski R. Image alignment and stitching: a tutorial [J]. Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision, 2006, 2 (1): 1-104.
- [10] Kang S B, Stollnitz E, Uyttendaele M. Image composite editor [CP/OL]. (2009-07-24) [2010-02-15]. <http://research.microsoft.com/en-us/projects/ice/>; Microsoft Research.
- [11] Brown M, Lowe D. Invariant features from interest point groups [C] // Proceedings of the 13th British Machine Vision Conference. Cardiff, UK: University of Cardiff, 2002: 253-262.
- [12] Deng Y, Su Y. Local Affine Invariant Feature for Automatic Optics Remote Sensing Image Registration [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2007. [邓熠, 粟毅. 仿射不变特征在光学遥感影像自动配准中的应用 [D]. 长沙: 国防科技大学, 2007.]
- [13] Donald H, M Pauline Baker. Computer Graphics [M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006: 141-166.
- [14] Xiao Tiqiong, Chen Yiqun, Chang Chun. A simplified calculating formula and accuracy analysis of the conversion from geographic coordinates to rectangular coordinates [C] // Proceedings of China Academic of Agriculture Engineering, 2005. Beijing: China Electric Press, 2005. [肖体琼, 陈怡群, 常春. GPS 经纬度坐标转平面坐标的简化计算方法及精度分析 [C] // 2005 年农业工程学术年会论文集. 北京: 中国电力出版社, 2005.]