



光学学报

Acta Optica Sinica

ISSN 0253-2239, CN 31-1252/O4

《光学学报》网络首发论文

题目：基于数字高程模型的航空相机图像清晰度检测方法
作者：戴栋晨，郑丽娜，张宇，王海江，康琦，张洋
收稿日期：2022-07-21
网络首发日期：2022-10-12
引用格式：戴栋晨，郑丽娜，张宇，王海江，康琦，张洋. 基于数字高程模型的航空相机图像清晰度检测方法[J/OL]. 光学学报.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1252.O4.20221011.0944.022.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

基于数字高程模型的航空相机图像清晰度检测方法

戴栋晨^{1,2}, 郑丽娜^{1*}, 张宇^{1,2}, 王海江^{1,2}, 康琦¹, 张洋¹

¹中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

²中国科学院大学, 北京 100049

摘要 航空相机的图像清晰度检测结果, 直接关系到航空遥感的成像质量。地球上占地面积超过一半的海洋、草原、沙漠等弱特征区域, 获取的航空遥感图像中高频信息较少, 使用常规图像检测方法进行清晰度检测时失准率较高。为解决弱特征区域航空相机成像清晰度检测的问题, 根据前后两次图像间具有重叠区域的特点, 提出了一种基于数字高程模型 (DEM) 的航空相机图像清晰度检测方法。该方法在引入高精度 DEM 数据后, 以重投影误差最小化原则修正航空成像模型, 应用 SIFT 算法进行特征匹配, 并利用特征点偏移位置计算主距变化量, 最终将主距变化量作为清晰度检测的标准以实现弱特征区域航空图像的清晰度检测。实验表明, 所提算法对不同清晰度弱特征区域航空图像均能进行清晰度检测, 其检测均方根误差为 $16.275\ \mu\text{m}$, 小于光学系统的半焦深 ($19.2\ \mu\text{m}$), 能够满足航空相机实际工程精度要求。

关键词 航空相机; 清晰度检测; 数字高程模型; 航空成像模型; 特征匹配

中图分类号 V241.01 **文献标志码** A

OCIS codes 030.4280; 100.1160; 110.3000

1 引言

航空相机作为一种获取地面信息的主要手段, 具有成本低、机动灵活、时效性强等优点, 广泛应用于军事侦察、地形测绘、道路建设、灾难预警等领域中^[1-4]。航空相机工作环境复杂, 在获取航空遥感图像的过程中, 由于受到地面高程差及温度、气压等外部环境的影响, 导致光学系统离焦, 使其获取的航空遥感图像清晰度不足^[5,6]。为获取足够清晰的遥感图像, 对于航空相机清晰度检测进行相关研究, 是获取高质量的航空遥感图像的关键^[7-10]。

航空相机清晰度检测方法发展至目前, 主要技术方法有 1) 程序控制法: 该方法通过提前设置好的程序进行清晰度检测, 其运行速度快, 但对环境适应性低, 受外界影响较大^[11]; 2) 光电自准直法: 该方法清晰度检测精度高, 对地面景物要求低, 但其相关结构复杂, 实时性较差^[12]; 3) 基于图像处理的清晰度检测方法: 该方法通过航空遥感图像中的高频信息的频谱分析完成清晰度检测, 利用计算机运行速度快的优势, 实时完成航空遥感图像的清晰度检测, 因此其成为目前国内外清晰度检测的主要方法^[13-16]。由于地球地表有 70.78% 的海洋, 2.92% 的沙漠, 7.01% 的草原, 9.26% 的森林, 这些区域地面景物稀少, 航空相机获取的航空遥感图像高频信息稀少, 直接使用基于图像处理的清晰度检测方法, 容易出现失准现象。为解决上述问题, 本文利用数字高程模型 (DEM) 进行航空相机图像的清晰度检测, 能够在弱特征区域获得较好的检测效果。该方法引入高精度 DEM 模型, 根据获取的弱特征区域航空通信作者: *ailsazheng@163.com

遥感图像前后两次图像具有重叠区域的特点,利用重投影误差最小化修正航空成像模型,依据弱特征重叠区域特征点的偏移量进行清晰度检测,弥补了基于图像处理的清晰度检测方法无法在弱特征区域进行清晰度检测的缺陷,扩展了基于图像处理的清晰度检测方法的适用性。

2 基本原理

2.1 基于重投影误差最小化修正航空成像模型

航空相机成像模型的建立需满足地面物点、摄影中心、像点位于同一直线,因此,使用摄影测量学的共线条件方程进行建立^[17,18],其形式为:

$$\begin{cases} x - x_0 = -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \\ y - y_0 = -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \end{cases}, \quad (1)$$

式中: (x, y) 为像点坐标, (x_0, y_0) 为像主点坐标, f 为航空相机主距, x_0, y_0, f 为内方位

元素, (X, Y, Z) 为像点对应物点坐标, (X_s, Y_s, Z_s) 为摄影中心坐标, $R = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}$

为横滚角 φ 、俯仰角 θ 、偏航角 ψ 方向余弦的旋转矩阵形式, $X_s, Y_s, Z_s, \varphi, \theta, \psi$ 为外方位元素, 如图1所示。

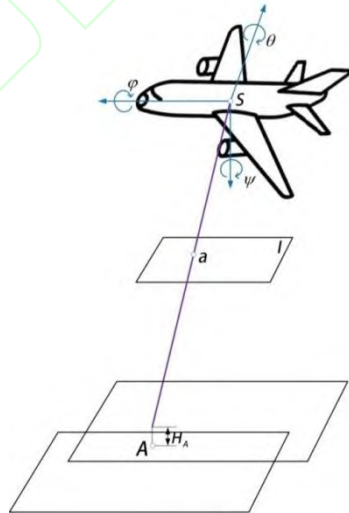


图1 航空成像模型示意图

Fig.1 Schematic diagram of aerial imaging model

航空相机由于外界温度变化、气压等原因会造成像片发生光学畸变,航空定向定位系统

获取的外方位元素、地面坐标等偏差，使得地面物点、摄影中心、像点难以满足式（1），因此，需要对航空成像模型进行修正。工程上常用的方法为，在航空成像区域内，采取一定数量、分布均匀的地面控制点，以重投影误差函数为目标函数，修正航空成像模型。本文使用高精度DEM图像取代传统控制点作为修正航空成像模型的初始条件，免去了复杂的人工工作，亦能保证修正后的航空成像模型的精确度。

相机两次成像重叠区域中的特征像点对应地面相同的景物，使用DEM提供给航空成像模型中地物目标的高程数据，前次航空遥感图像中的一个特征像点对应一个地理信息坐标，其与前次图像中的像素点坐标误差作为单个像素的重投影误差，对重叠区域内的每个像素的重投影误差求和作为重投影误差函数，如图2所示。通过最小化重投影误差，可以求取各影响因素的相对误差系数，从而修正航空成像模型。重投影误差函数如下：

$$\min_{\gamma} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \|p_{ij} - J(\gamma, T, P_{ij})\|, \quad (2)$$

式中： γ 为待求取的各影响因素的相对误差系数， p_{ij} 为前次幅面中在第*i*行第*j*列的特征点的像素坐标， J 为航空成像模型，具体形式如式（1）所示， $J(T, P_{ij})$ 可求取地面景物 P_{ij} 在后次幅面中对应特征点的位置， T 为各影响因素， P_{ij} 为特征点 p_{ij} 在对应地面景物的地理坐标。

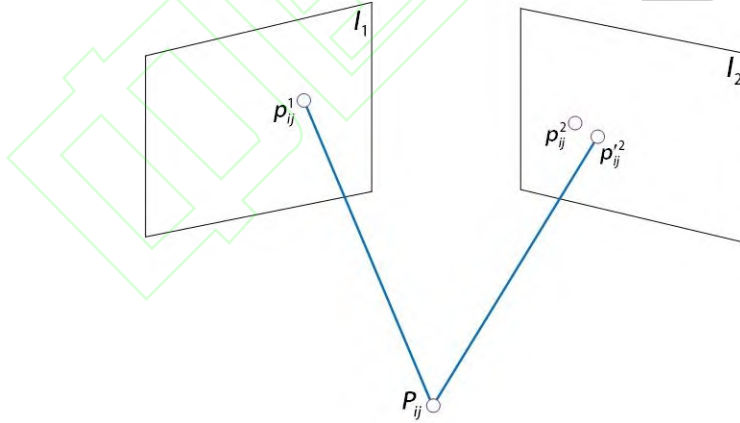


图 2 重投影误差示意图

Fig.2 Schematic diagram of reprojection error

将求取的各影响因素相对误差系数及各影响因素，引入航空成像模型，修正后的航空成像模型如下式：

$$\begin{cases} x - x_0 + dx = -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \\ y - y_0 + dy = -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \end{cases}, \quad (3)$$

式中, (x, y) 为像点坐标, (x_0, y_0) 为像主点坐标, f 为航空相机主距, x_0, y_0, f 为内方位

元素, (X, Y, Z) 为像点对应物点坐标, (X_s, Y_s, Z_s) 为摄影中心坐标, $R = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}$

为横滚角 φ 、俯仰角 θ 、偏航角 ψ 方向余弦的旋转矩阵形式, $X_s, Y_s, Z_s, \varphi, \theta, \psi$ 为外方位

元素, (dx, dy) 为各影响因素对求取的特征点坐标的影响偏差函数。

2.2 基于 DEM 的清晰度检测

如图 3 所示, 在航空相机成像过程中, 物距, 主距, 焦距满足高斯成像原理, 具体如下所示:

$$\frac{1}{H} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \quad (4)$$

式中, H 为物距, 即地面景物至航空相机的距离; f 为主距; F 为焦距。

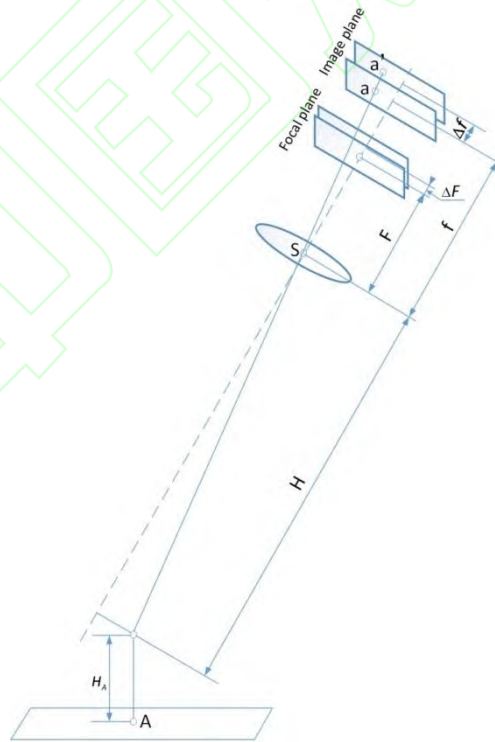


图 3 高斯成像定理与焦平面变化量示意图

Fig. 3 Schematic diagram of Gauss imaging theorem and focal plane variation

在引入 DEM 图像后, 可以通过地面点的位置获取地面景物的高程数据, 载机绝对高度可通过航空定向定位系统获取。

获取航空相机拍摄区域的 DEM 图像, 根据拍摄前后两次图像之间具有重叠区域的特点, 将重叠区域内的景物的地理信息作为公共已知量, 使用修正后的航空成像模型实现特征匹配算法, 并根据特征匹配点与实际匹配点的误差量, 进行计算航空相机内方位元素变化量。获取的内方位元素变化量满足式 (5):

$$\begin{cases} x - x_0 + dx + \Delta x = -(f + \Delta f) \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \\ y - y_0 + dy + \Delta y = -(f + \Delta f) \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \end{cases}, \quad (5)$$

式中, $(\Delta x, \Delta y)$ 为匹配特征点坐标偏移量, Δf 为航空相机主距变化量, 其余含义与式 (1) 相同。

在获取航空相机拍摄区域的 DEM 图像后, 由于相机离焦所造成的图像清晰度不足的情形, 可以通过高斯成像公式反映在航空相机主距 f 变化上。因此, 通过获取准确的航空相机主距变化量 Δf , 即可完成航空图像清晰度检测。

航空相机获取清晰图像中的内方位元素变化量 $(\Delta x, \Delta y, \Delta f) = (0, 0, 0)$, 此时获取的航空图像是最为清晰的。根据匹配特征点的 $(\Delta x, \Delta y)$, 获得的主距 Δf 反映了后次幅面中焦距距离 ΔF 的大小, 如图 4 所示。因而, 根据主距变化量 Δf 作为清晰度检测结果, 通过航空相机的焦面驱动装置, 快速将航空相机焦平面调整至合适位置, 以求获取清晰度足够的航空遥感图像。

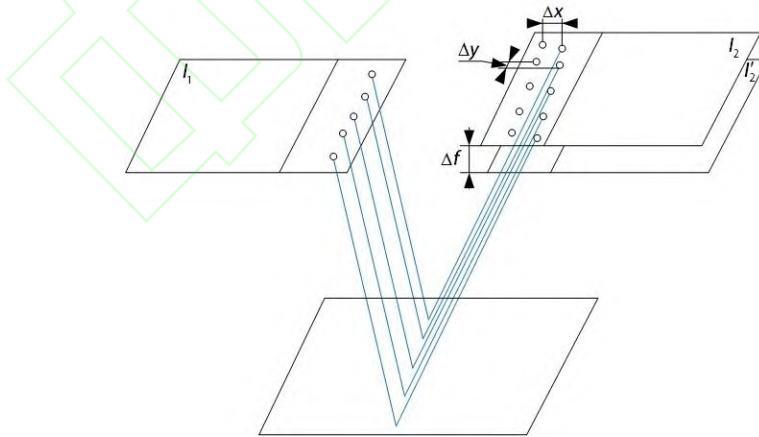


图 4 基于数字高程模型的清晰度检测方法示意图

Fig.4 Schematic diagram of definition detection method based on Digital Elevation Model

3 实验结果与分析

为获取高质量的图像, 航空相机通常采用传统的基于图像处理的清晰度检测方法, 而由

于地面景物的丰富程度不同,在景物稀少的区域传统图像处理的清晰度检测方法会出现失准现象,因此本文提出了基于数字高程模型的清晰度检测方法。为了验证本文算法对航空图像清晰度检测的效果,以国家高分专项 XX 型宽幅测量相机获取的航空遥感图像进行清晰度检测实验。在获取航空遥感图像的过程中,航空定向定位系统固定在航空相机上,航空相机固定在稳定平台上,稳定平台固定在载机上。实验中,将航空相机获取的弱特征区域的航空遥感图像传输到图像处理计算机中,引入预先在计算机处理好的精度达到毫米级的 DEM 图像,使用 SIFT 算法提取弱特征图像处于重叠区域的特征,并以特征点偏移量计算主距变化量,最后依据主距变化量调整相应机械结构,获得清晰度足够的航空遥感图像。

在本次清晰度检测实验中,所使用的航空相机焦距为 375mm, F 数为 4, CCD 像元尺寸为 $7.4\text{ }\mu\text{m}$, 幅面大小为 $4864 * 3232$, 光学系统的半焦深为 Δ 。半焦深的计算方法为:

$$\Delta = 2F^2\lambda, \quad (6)$$

式中, λ 为入射光波长,可见光为 $0.6\text{ }\mu\text{m}$, 相机光学系统半焦深为 $19.2\text{ }\mu\text{m}$ 。清晰度检测误差 ΔF 保持在光学系统半焦深之内,即可保证航空相机成像清晰。本次实验中,选取多组重叠区域特征点稀少的清晰度不足的后次幅面与足够清晰的前次幅面,以验证本文算法在不同清晰度图像间的清晰度检测效果,如图 5-图 6 所示。

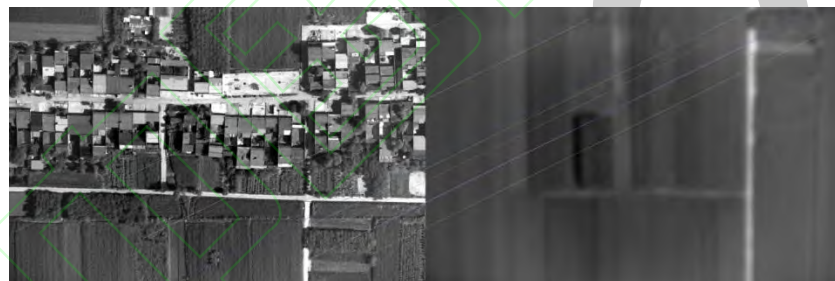


图 5 本文算法对弱特征区域清晰度检测 (清晰度低)

Fig. 5 Definition detection of weak feature areas by this algorithm (low definition)



图 6 本文算法完成清晰度检测并调整机械结构后获取的航空图像

Fig. 6 Aerial image obtained after the algorithm completes definition detection and adjusts the mechanical structure

由图 5-图 6 可知, 本文算法对航空图像的清晰度检测精度, 能够获得清晰度检测参数,

不受处理的航空遥感图像高频信息较少的影响,并通过调整航空相机焦面驱动机构即可使航空相机获取清晰的航空遥感图像,其中,图 6 为清晰度检测后调整驱动结构后获取的航空图像。

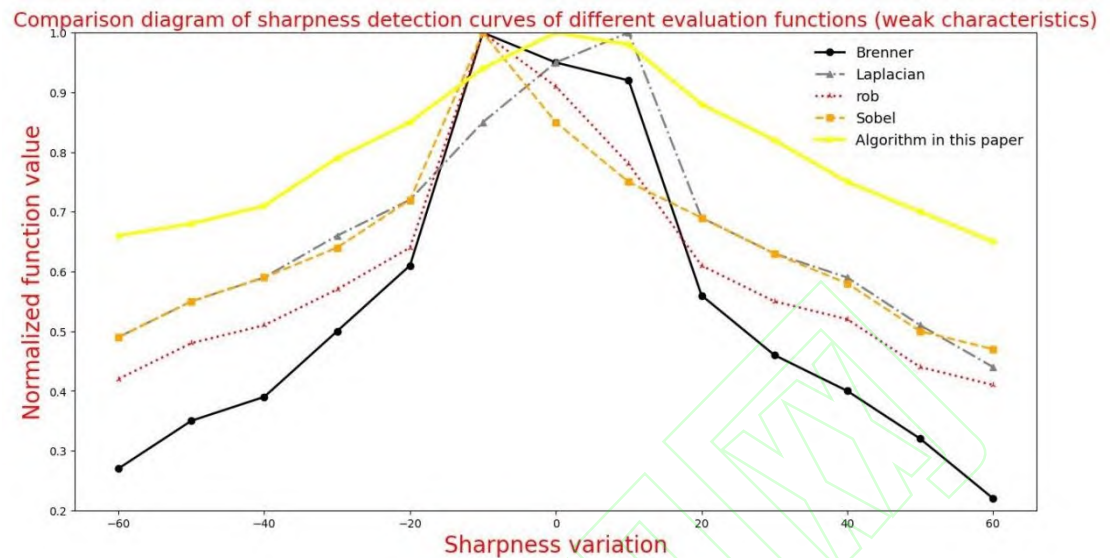


图 7 经典清晰度检测算法与本文算法在弱特征区域的清晰度检测归一化函数曲线
Fig. 7 Definition detection normalization function curve of classical definition detection algorithm and this algorithm in weak characteristic region

为验证本文算法的通用性,分别对强特征区域与弱特征区域使用 Robert 等经典的清晰度检测算法和本文算法,并重复进行 15 次实验,其清晰度检测曲线如图 7 所示。由图 7 易知,本文算法在地面景物稀少的区域获取的航空遥感图像进行清晰度检测,其清晰度检测归一化函数曲线满足单峰性、无偏性,且具有一定的灵敏度。相应求取其清晰度检测参数的均方根误差,如表 1 所示。

表 1 不同清晰度检测方法对强特征区域与弱特征区域的检测精度比较

Algorithm name	Comparison of detection accuracy of different definition detection methods for strong feature areas and weak feature areas	
	Definition detection accuracy of strong characteristic area	Definition detection accuracy of weak characteristic area
Brenner	20.8	×
Laplacian	28.4	×
Robert	25.8	×
Sobel	19.7	×
Algorithm in this paper	15.8	16.3

由表 1 可知,本文算法与经典的基于图像处理的算法在地面景物丰富的区域均能实现清晰度检测。在地面景物丰富的区域使用不同清晰度检测算法进行 15 次重复实验,其中本文算法清晰度检测参数的均方根误差达到 15.8 μm , 相较 Laplacian、Sobel 等经典的清晰度检

测算法检测精度更高。但由于本文算法需要引入 DEM 数据，其清晰度检测精度受到引入数据模型精度的影响。且本文算法需要修正航空成像模型，模型较为复杂，不如经典的清晰度检测算法实时性高。但经典的基于图像处理的清晰度检测算法受到地面景物的限制，在地面景物稀少的区域，容易产生失准现象，而本文算法由于依靠的是航空成像模型进行的清晰度检测，对拍摄地区景物丰富要求低，在地面景物稀少的区域也能保证清晰度检测精度。在地面景物稀少的区域经过多次重复实验，其中本文算法清晰度检测参数的均方根误差可以达到 $16.3\text{ }\mu\text{m}$ ，完全满足航空相机获取图像的清晰度检测需求。各个清晰度检测算法在地面景物稀少区域的归一化函数曲线如图 7 所示。

在本次实验中，为验证弱特征区域选取特征点位置对本文算法清晰度检测精度的影响，选取分布在弱特征区域内前后两次幅面重叠区域中不同区域的特征点进行计算后次幅面相对前次幅面的内方位元素变化量，进行重复 20 次提取与计算，其均方根误差如表 2 所示。

表 2 弱特征区域特征点位置对清晰度检测精度的影响

Table 2 Influence of feature point position in weak feature area on definition detection accuracy	
Pixel coordinates of feature points in the previous image (the upper left corner is the origin)	Root mean square error of image definition parameter calculation (μm)
(4231, 2875)	16.275
(3491, 2943)	16.778
(3486, 3082)	14.314
(2058, 3152)	14.210
(1789, 2645)	14.573
(1560, 2693)	14.928
(74, 2610)	17.806
(4229, 2596)	18.324
(3499, 2551)	13.877
(3482, 2703)	15.002
Root mean square of total error	16.275

由于弱特征区域的景物分布不均匀，引入高精度 DEM 后，重投影误差最小化修正航空成像模型，其剔除了外方位元素测量误差，光学畸变等系统误差，但由于残差的影响，仍然会造成清晰度检测结果的误差。由表 2 可知，选取图像不同区域的景物提取特征，会对清晰度检测结果产生影响，选取接近重叠区域中心位置的特征点计算清晰度检测参数，其误差较小。而选取重叠区域边缘位置的特征点进行计算清晰度检测参数，精度相对选取中心区域特征点计算清晰度检测参数降低了约 38%，为本文算法选取重叠区域特征点位置提供了一定的指导意义。本文算法在弱特征区域计算清晰度检测参数均方根误差达到 $16.275\text{ }\mu\text{m}$ ，小于光学系统的半焦深 $19.2\text{ }\mu\text{m}$ ，满足航空相机实际工程精度需求，证明本文算法具备一定的

工程应用价值。

4 结论

为了满足航空相机在军事侦察、地形测绘的应用需求,需要实时获取清晰的航空遥感图像,而获得清晰图像的关键是精确的清晰度检测技术。为解决弱特征区域航空相机成像清晰度检测的问题,根据前后两次图像间具有重叠区域的特点,提出了一种基于数字高程模型(DEM)的航空相机图像清晰度检测方法。在引入 DEM 数据的基础上,以重投影误差最小化为准则优化航空成像模型,根据航空遥感图像前后两次幅面重叠区域的景物地理信息,计算后次幅面相对于前次幅面的主距变化量,从而获取其清晰度检测结果。经多次实验验证,本文方法在特征稀少的区域清晰度测量均方根误差在 $16.275\ \mu\text{m}$, 在航空相机光学系统的半焦深 $19.2\ \mu\text{m}$ 范围内,精度满足航空相机实际工程精度需求,本文算法具备一定的工程应用价值。

参考文献

- [1] Wu H S. Research on image motion compensation of TDICCD panoramic aerial camera [D] Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences (Changchun Institute of optics, precision mechanics and Physics), 2003
吴宏圣. TDICCD 全景航空相机像移补偿研究[D].北京:中国科学院研究生院(长春光学精密机械与物理研究所), 2003.
- [2] Xu Y S, Tian H Y, Hui S W, et al. Development status and Prospect of foreign transmission aerial cameras [J] Opto electromechanical information, 2010, 27 (12): 6
许永森, 田海英, 惠守文,等. 国外传输型航空相机的发展现状与展望[J]. 光机电信息, 2010, 27(12):6.
- [3] Tian Y, Sun A, Luo N, et al. Aerial image mosaicking based on the 6-DoF imaging model[J]. International Journal of Remote Sensing, 2019, 41(1):1-16.
- [4] Huang L F, Dong F, Fu Y T. Time sharing integral image offset restoration based on the attitude information of imaging system [j] Acta optica Sinica, 2022, 42 (24): 1
黄凌锋, 董峰, 傅雨田. 基于成像系统姿态信息的分时积分图像偏移修复[J]. 光学学报, 2022, 42(24): 1
- [5] Li F D. Research on scanning image stabilization and image motion compensation technology of aerial long distance tilt camera [D] Heilongjiang: Harbin Institute of technology, 2015
李福东. 航空远距离倾斜摄影相机扫描稳像及像移补偿技术研究[D]. 黑龙江:哈尔滨工业大学,2015.
- [6] Ye Y Q, Yi D R, Zhang Y Z, et al. Micro auto focusing method based on tilt camera [J] Acta optica Sinica, 2019,39 (12):1218001
叶一青, 易定容, 张勇贞, 等. 基于倾斜摄像头的显微自动对焦方法[J].光学学

- 报,2019,39(12): 1218001.
- [7] Xu Y S, Ding Y L, Tian H Y, et al. Calculation and compensation of image motion of aerial remote sensor under squint [J] Optical precision engineering, 2007,15 (11): 1779-1783
许永森,丁亚林,田海英,等. 斜视状态下航空遥感器像移的计算与补偿[J]. 光学精密工程,2007,15(11):1779-1783.
 - [8] Xu Z L, Wang S Q. Application of image sharpness evaluation function in aerial camera [J] Electro optic and control, 2012, 19 (7): 57-61
许兆林, 王尚强. 图像清晰度评价函数在航空相机中的应用[J]. 电光与控制, 2012, 19(7):57-61.
 - [9] Hui S W. Research on auto focusing technology of long focal length squint real-time aerial camera [D] Jilin: Changchun Institute of optics, precision mechanics and physics, Chinese Academy of Sciences, 2003
惠守文. 长焦距斜视实时航空相机自动调焦技术的研究[D]. 吉林: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2003.
 - [10] Qian L Y, Wu D C, Liu D, et al. Analysis and Design of Hyperspectral Imaging LiDAR Scanning Mirror[J]. Acta Optica Sinica, 2021, 41(9): 0928002
钱立勇, 吴德成, 刘东, 等. 高光谱成像激光雷达扫描镜的分析与设计[J]. 光学学报, 2021, 41(9): 0928002
 - [11] Miao Z, He B. Image motion model for large field of view imaging based on pendulum scanning mirror [J] Computer measurement and control, 2016,24 (2): 242-246
苗壮,何斌. 基于摆扫反射镜的大视场成像像移模型[J]. 计算机测量与控制,2016,24(2):242-246.
 - [12] Zhang H, Qiao C, Kuang H P. Target location of airborne photoelectric imaging system based on laser ranging [J] Optical precision engineering, 2019,27 (1): 8-16
张赫,乔川,匡海鹏. 基于激光测距的机载光电成像系统目标定位[J]. 光学精密工程,2019,27(1):8-16.
 - [13] Wang H J, Zheng L N, Kang Q. An aerial camera image focus detection method based on multiple differential filtering effect [J] Acta optica Sinica, 2022,42 (4): 68-74
王海江,郑丽娜,康琦. 基于多重差分滤波效应的航空相机图像检焦方法[J]. 光学学报,2022,42(4):68-74.
 - [14] Zhai X Y. Research on real-time synchronous positioning and mapping based on single purpose [D] Heilongjiang: Harbin Institute of technology, 2012
翟心愿. 基于单目的实时同步定位与制图的研究[D]. 黑龙江:哈尔滨工业大学,2012.
 - [15] GEORGE VOGIATZIS, CARLOS HERNÁNDEZ. Video-based, real-time multi-view stereo[J]. Image and vision computing,2011,29(7):434-441.
 - [16] Qi X S. Research on slam technology of UAV Based on monocular vision [D] Sichuan: University of Electronic Science and technology, 2020
齐晓世. 基于单目视觉的无人机 SLAM 技术研究[D]. 四川:电子科技大学,2020.
 - [17] Mo D L, Zhang Y S, Wang T, et al. Construction and verification of strict imaging model of aerial linear array swing sweep camera [J] Journal of Surveying and Mapping Science and technology, 2018,35 (3): 270-277
莫德林,张永生,王涛,等. 航空线阵摆扫式相机严格成像模型的构建与验证[J]. 测绘科学技术学报,2018,35(3):270-277.
 - [18] Wang J, Huang W, Zhang J Y, et al. Motion Parameters of Space Validator Relay

Videometrics Method[J]. Acta Optica Sinica, 2021, 41(3): 0311001

王洁, 黄伟, 张剑勇, 等. 航天验证器运动参数摄影测量方法[J]. 光学学报, 2021, 41(3): 0311001

作者简介:

戴栋晨(1997—), 男, 硕士在读, 主要从事航空光学成像与测量、图像配准、航空相机检调焦方面的研究。E-mail: y791986653@163.com

郑丽娜(1979—), 女, 博士, 研究员, 硕士生导师, 主要从事航空相机电子设计、相机几何标定、图像处理方面的研究。E-mail: ailsazheng@163.com

张宇(1998—), 男, 硕士在读, 主要从事计算自适应技术的成像系统像差分析与校正方面的研究。E-mail: zhangyuqx@163.com

王海江(1997—), 男, 硕士, 主要从事航空光学成像与测量方面的研究。E-mail: haijiang1997@163.com

康琦(1996—), 女, 硕士, 主要从事航空成像跟踪与测量方面的研究。E-mail: 3021149074@qq.com

张洋(1987—), 女, 学士, 主要从事航空相机相关工作。E-mail: 305254781@qq.com

导师简介:

郑丽娜(1979—), 女, 博士, 研究员, 硕士生导师, 主要从事航空相机电子设计、相机几何标定、图像处理方面的研究。E-mail: ailsazheng@163.com

A method of image sharpness detection for aerial camera based on Digital Elevation Model

Dai Dongchen^{1,2} Zheng Lina^{1*} Zhang Yu^{1,2} Wang Haijiang^{1,2} Kang Qi¹ Zhang Yang¹

¹ *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China;*

² *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

Abstract

Objective The working environment of aerial camera is complex. In the process of acquiring aerial remote sensing images, the optical system is defocused due to the influence of external environment such as ground elevation difference, temperature and air pressure. The obtained aerial remote sensing image is not clear enough. The definition detection method based on image processing completes the definition detection through the spectrum analysis of high-frequency information in aerial remote sensing images. Taking advantage of the fast running speed of computer, the definition detection of aerial remote sensing images is completed in real time. Therefore, it has become the main method of sharpness detection at home and abroad. However, the weak characteristic areas such as oceans, grasslands and deserts, which cover more than half of the earth, have less high-frequency information in aerial remote sensing images. When using conventional image detection methods for sharpness detection, the error rate is high. According to the characteristics of overlapping areas between the two images, a method of aerial camera image sharpness detection based on digital elevation model (DEM) is proposed. This method introduces a high-precision DEM model, and according to the acquired weak feature area, the two images before and after the aerial remote sensing image have the characteristics of overlapping areas. The aerial imaging model is modified by minimizing the re-projection error, and the sharpness is detected according to the offset of feature points in the weak feature overlapping area. It makes up for the defect that the sharpness detection method based on image processing can't detect the sharpness in weak feature areas, and expands the applicability of the sharpness detection method based on image processing.

Methods In this study, aerial imaging model and feature point matching are used to obtain image sharpness parameters. Firstly, digital elevation model (DEM) is used to provide the elevation data of the ground object in the aerial imaging model. Sum the re-projection error of each pixel in the overlapping area as the re-projection error function. By minimizing the re-projection error, the relative error coefficients of various influencing factors can be obtained, so as to modify the aerial imaging model. Then, according to the characteristics of the overlapping area between the two images, the geographical information of the scenery in the overlapping area is regarded as public knowledge. The modified aerial imaging model is used to realize the feature matching algorithm. Then, according to the error between the feature matching points and the scale-invariant feature transformation algorithm (SIFT) matching points, the change of the azimuth elements in the aerial camera is calculated. Finally, the change of the principal distance is used as the sharpness detection result. Through the focal plane driving device of the aerial camera, the focal plane of the aerial camera can be quickly adjusted to the appropriate position in order to obtain the aerial

remote sensing image with sufficient definition.

Results and Discussions In the experiment, the aerial remote sensing image of the weak feature area obtained by the aerial camera is transmitted to the image processing computer. Introduce the DEM image with the accuracy of millimeter level processed by the computer in advance. SIFT algorithm is used to extract the features of the weak feature image in the overlapping area, and the change of principal distance is calculated by the offset of feature points. Finally, the corresponding mechanical structure is adjusted according to the change of main distance, and the aerial remote sensing image with sufficient definition is obtained. In this experiment, we select the second dimension with insufficient definition and the previous dimension with enough clear feature points in multiple groups of overlapping areas. To verify the sharpness detection effect of the algorithm in this paper between images with different sharpness (Fig. 5-fig. 6). In the area with abundant ground scenery, 15 repeated experiments were carried out using different definition detection algorithms. The root mean square error of the sharpness detection parameters of the algorithm in this paper reaches $15.8\ \mu m$ (Table 1). After 15 repeated experiments in the area with scarce ground scenery, the root mean square error of the sharpness detection parameters of this algorithm can reach $16.3\ \mu m$. The classic sharpness detection algorithm such as Robert and the algorithm in this paper are used for weak feature areas, and 15 experiments are repeated. The sharpness detection curve is shown in the figure (Fig. 7). The algorithm in this paper calculates the root mean square error of sharpness detection parameters in the weak feature area, which reaches $16.275\ \mu m$ (Table 2), meeting the actual engineering accuracy requirements of aerial cameras. It is proved that the algorithm in this paper has certain engineering application value.

Conclusions In order to meet the application requirements of aerial cameras in military reconnaissance and topographic mapping, it is necessary to obtain clear aerial remote sensing images in real time. The key to obtain a clear image is the precise sharpness detection technology. In order to solve the problem of aerial camera imaging sharpness detection in weak feature areas, according to the characteristics of overlapping areas between the two images. A method of image sharpness detection of aerial camera based on digital elevation model (DEM) is proposed. Based on the introduction of DEM data, the aerial imaging model is optimized by minimizing the re projection error. According to the geographical information of the scene in the overlapping area of the front and back two formats of the aerial remote sensing image, the change of the principal distance of the latter format relative to the previous format is calculated, so as to obtain the sharpness detection results. After many experiments, the root mean square error of sharpness measurement in the area with few features is $16.275\ \mu m$, which is within the range of half focal depth of aerial camera optical system $19.2\ \mu m$. The accuracy meets the actual engineering accuracy requirements of aerial cameras, and the algorithm in this paper has certain engineering application value.

Key words Aerial camera; Definition test; Digital Elevation Model; Aerial imaging model; Feature matching

网络首发:

标题: 基于数字高程模型的航空相机图像清晰度检测方法

作者: 戴栋晨, 郑丽娜, 张宇, 王海江, 康琦, 张洋

收稿日期: 2022-07-21

录用日期: 2022-08-09

DOI: 10.3788/AOS221506

引用格式:

戴栋晨, 郑丽娜, 张宇, 王海江, 康琦, 张洋. 基于数字高程模型的航空相机图像清晰度检测方法[J]. 光学学报, 2023, 43(06): 0610001.

网络首发文章内容与正式出版的有细微差别, 请以正式出版文件为准!

您感兴趣的其他相关论文:

基于多重差分滤波效应的航空相机图像检焦方法

王海江 郑丽娜 康琦

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所航空光学成像与测量重点实验室, 吉林 长春 130033

光学学报, 2022, 42(4): 0411001

基于特征匹配的非连续镜面物体三维测量

王月敏 张宗华 高锋 徐永佳 高楠 孟召宗 蒋向前

河北工业大学机械工程学院, 天津 300130

光学学报, 2021, 41(16): 1612004

基于彩色结构光的自由曲面三维重建方法

杨帆 丁晓剑 曹杰

南京财经大学信息工程学院, 江苏 南京 210003

光学学报, 2021, 41(2): 0212001

基于视角显示的特种车辆舱外观系统

蒋晓东 于纪言 黄建森 朱立坤

南京理工大学智能弹药技术国防重点学科实验室, 江苏 南京 210094

光学学报, 2019, 39(2): 0215005

基于硬件SURF算法的自校准双目测距系统

蒋晓东 于纪言 朱立坤 黄建森

南京理工大学智能弹药国防重点学科实验室, 江苏 南京 210094

光学学报, 2018, 38(10): 1036001