

轻小型无人机遥感定位系统误差消除技术研究

张永明

(青海省第一测绘院 测绘工程中心, 西宁 810001)

摘要: 传统无人机定位系统误差消除技术存在误差消除精度低的问题, 需对轻小型无人机遥感定位系统误差消除技术进行深入研究; 根据轻小型无人机航线、地理参考和初始位置坐标系, 构建轻小型无人机遥感定位模型; 利用该模型对目标定位原理展开分析, 通过模型构建和无人机隐秘飞行特征, 对目标位置进行转换, 获取转换后的坐标系位置信息, 通过无人机飞行姿势变化幅度范围, 获取精准误差影像序号, 并进行修正, 由此完成系统误差消除; 实验结果证明, 该技术误差消除精度较高。

关键词: 轻小型无人机; 遥感定位; 系统; 误差消除

Research on Error Elimination Technology of Remote Sensing and Positioning System for Light and Small UAV

Zhang Yongming

(The first surveying and Mapping Institute of Qinghai Province, Surveying and Mapping Engineering Center, Xining 810001, China)

Abstract: Traditional UAV positioning system error elimination technology has the problem of error elimination and low accuracy. We need to further study the technology of remote sensing positioning system error elimination for light and small UAVs. According to the light and small UAV route, and the initial position of geographical reference coordinate system, the construction of the light and small UAV remote sensing positioning model; using the model to analyze the target positioning principle, through the model and the UAV secret flight characteristics, the target position conversion, coordinate position information is obtained after conversion, the UAV flight posture the change range of precision, error correction and image sequence acquisition, thereby completing the system error elimination. The experimental results show that the precision of the error elimination is high.

Keywords: light and small UAV; remote sensing positioning; system; error elimination technology

0 引言

遥感技术作为航天航空的重要技术手段, 支持探测对电磁波的收集与传输, 将环境与物质电磁波特性进行转换, 其数字形式的遥感技术可用卫星和固定飞机为承载平台, 利用传感器完成信息采集^[1]。但该技术又容易受到卫星周期和运行轨迹等因素制约, 导致遥感缺乏机动快速能力, 很难满足正常化侦查和实时监测需求, 为此采用无人机作为无人驾驶的航空器。目前轻小型无人机成为了当下热烈讨论的焦点, 其重量轻、体积小成为了轻小型无人机主要特色, 且结构是由固定翼转向旋翼构成的, 因此在多个领域中得到了广泛应用^[2]。利用轻小型无人机进行遥感探测, 可降低成本, 提高影响分辨率, 作业方式灵巧, 能够有效弥补传统无人机遥感方式存在的不足。

传统消除技术利用共线方程校正法消除误差, 存在误差消除精度低的问题^[3]。刘毅等人提出了一种分块提取图像中心领域特征点的方法, 该方法能够直接对几何进行校正, 但是耗时间较长, 且误差消除精度不确定; 徐秋辉提出了一种基于 POS 参数的无人机影像拼接技术, 该技术主要利用图像特征匹配完成图像拼接, 虽然具有较强匹配性, 但算法复杂程度较高; 陈信华提出了一种最小二乘法实现影像拼接与实时定位技术, 该技术利用平均融合法将遥感图像进行目标转换, 速度加快, 但是容易受到平台、载荷等因素干扰, 存在局限性^[4]。

收稿日期: 2018-01-31; 修回日期: 2018-03-08。

作者简介: 张永明(1979-), 男, 青海化隆人, 工程师, 主要从事地理信息方向的研究。

针对上述存在的问题, 对轻小型无人机遥感定位系统误差消除技术展开研究。突破局限性降低影像处理复杂程度, 进一步提高遥感影像处理技术, 实现定位系统误差精准消除, 通过实验验证, 可得出实验结论, 该技术误差消除精度较高, 可满足人们需求。

1 轻小型无人机遥感定位模型的构建

轻小型无人机以方便灵活的特点被各界人士广泛应用, 能够更加高效完成行业实际工作, 在遥感与航测行业中, 使用轻小型无人机可以发挥其机动快速特点^[5]。轻小型无人机遥感系统是由三部分组成的, 分别是控制系统、轻小型无人机遥感平台和影像处理系统, 其主要发挥的功能有: 利用控制系统可完成轻小型无人机航线规划和飞行路线控制, 航线规划可以设定飞行路线, 规定飞行任务, 而飞行路线控制可以用来实时操控飞行和交互操作; 利用轻小型无人机遥感平台, 可以承载传感器对数据的传输, 主要由四翼无人机、相机、云台和 GPS 定位系统组成, 可以完成对地直接拍照, 飞行位置数据的实时回传; 影像处理系统主要对图像进行处理, 包括图像矫正、融合和拼接, 并在此基础上, 可进行扩展, 比如对影像进行直接查询和浏览等, 系统运行流程如图 1 所示。

由图 1 可知, 轻小型无人机在每次实施操作之前, 都需对即将探测区域进行定位, 确定航线后, 注入航线到遥感飞行平台; 在 GPS 定位系统协助下, 根据计划的航线进行拍摄, 获取影像序列; 如果航拍结束后, 需将获取的影响信息传送到处理系统当中, 完成一系列的矫正、融合、拼接等图像处理, 并由此将图像存储, 进一步对大幅影响进行特征处理^[5]。以上步

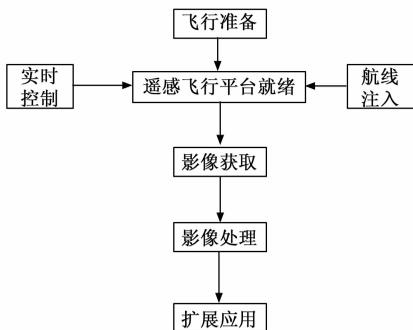


图 1 系统运行流程

骤都需要轻小型无人机遥感定位系统零误差的运作，为此需先建立定位坐标系，然后对目标进行定位，由此可构建轻小型无人机遥感定位模型。

1.1 定位坐标系建立

1.1.1 轻小型无人机航线坐标系

以轻小型无人机初始位置为坐标系的原点，y 轴为天际，z 轴为轻小型无人机运行方向，x 轴与 y 轴和 z 轴共同组成右手定则直角坐标系。

1.1.2 轻小型无人机初始位置坐标系

以轻小型无人机运行轨迹为坐标系原点，x 轴为水平方向右侧运行轨迹，y 轴为水平方向左侧运行轨迹，z 轴为垂直运行轨迹。

1.1.3 地理参考坐标系

将无人机运行时所参考的物质为中心参考原点，x 轴沿着原点指向东，y 轴沿着原点指向北，z 轴沿着垂直原点指向天际。

1.2 轻小型无人机目标定位

轻小型无人机携带电视图像传感器和激光成像传感器，由于在运行过程中受到空气流和螺旋桨影响，导致不能按照规定路线飞行，无人机进行定位时产生了细微俯仰角、偏航角和翻滚角的偏差，同时对于定位过程的连续性受到了限制，对目标位置无法进行准确定位^[6]。

起飞后的轻小型无人机在视角范围内可捕捉到起飞坐标原点，建立坐标系，使统一视角范围内的轻小型无人机飞行过一段距离后可准确捕获到目标，由此完成图像处理 and 识别，进而对目标位置进行定位，经过坐标系转换后，可获得如图 2 的轻小型无人机遥感定位模型。

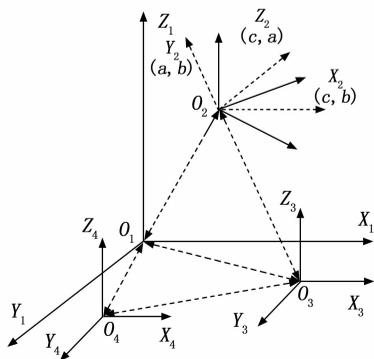


图 2 轻小型无人机遥感定位模型

由图 2 可知，图中的经纬度信息都是通过轻小型无人机遥感影像进行确认的，其中 a, b, c 分别表示轻小型无人机受到

空气流和螺旋桨影响导致定位发生的细微俯仰角、偏航角和翻滚角的偏差。

2 基于定位模型的误差消除

2.1 定位误差分析

根据上述遥感定位模型，对轻小型无人机激光成像与电视图像相结合的目标进行定位，其原理如图 3 所示。

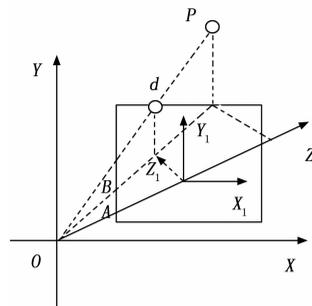


图 3 目标定位原理

图 3 中：P 表示目标实际位置；O 为坐标原点，位于遥感图像中心，通过共轴的电视图像可获得像素坐标位置，利用轻小型无人机可探测到目标在激光成像中的坐标位置。当轻小型无人机存在姿势误差时，对目标位置应进行修正，修正结果为：

$$\begin{cases} A = A' - (c - \Delta c) \\ B = B' + (a + \Delta a) - (b + \Delta b) \end{cases} \quad (1)$$

式 (1) 中， $\Delta a, \Delta b, \Delta c$ 分别表示偏离航线所产生的随机误差； A' 和 B' 表示传感器通过遥感技术实时反馈目标位置信息参数。

2.2 目标坐标转换

为了更加方便消除误差，需对目标位置进行转换，如果地表参照信息与所获得的目标信息无法在统一视觉范围内被捕获，需通过轻小型无人机构建坐标原点，在此之后需继续飞行一段距离捕获目标位置，此时的目标位置、地表参照物之间关系可通过无人机轨迹坐标转动变量、位移变量得到，至此实现对无人机对目标位置的监测。

通过模型构建和无人机隐秘飞行特征，在某一个特定时刻可捕获目标识别和地图匹配的坐标系，针对原点与目标之间进行标注，并利用共轴特性对激光成像各点之间距离进行计算^[7]。由于无人机进行操作时，指挥官需对无人机图像信息进行确认，以便后续找出目标，针对附近具有有效参照物的目标需及时标记，获取到的地标是相对于参照物的位置信息，以轻小型无人机为中继点，计算获取的目标与地标之间位置关系，并最终转换定位目标与参照物目标位置关系，消除由于干扰因素导致的轻小型无人机自定位不准确问题。

将获得的目标与参照物目标位置进行实时转换，可以获得系统中的目标点，构建地标坐标系和参照物坐标系均是东—北—天方向的地理参考系，为此可将目标位置转换为坐标系的位置信息，并可表述为：

$$\{\text{目标在 X 轴坐标}\} = \{\text{目标在 Y 轴坐标}\} + \{\text{地标在 Z 轴坐标}\}.$$

2.3 误差消除的实现

传统轻小型无人机目标定位主要是以无人机本身为初始点进行目标坐标系转换的^[8]，该误差主要取决于无人机的自定位，根据构建目标定位模型，通过第三方作为坐标转换基础，地表参照物选取和固定建筑为主，为此，针对目标位置定位的

误差来源以图像抖动和时延为主，都可属于随机产生的误差，通过提高同轨影像系统定位精度方法来消除误差影响。针对同一轨迹数据来说，系统误差消除参数会随时间变化而发生改变，考虑到同一轨道内的成像时间一致，可通过校正影像序列，利用插值理论构建系统误差消除参数预测模型。并利用该模型可充分将局部影像精确校正，同时消除系统误差参数，但是根据已知参数向外推或者向内推都会受到同一轨迹数据误差的影响，为此需根据卫星运动情况展开分析，以此为基础开展实验，保证模型精准度。

无人机飞行轨迹基本平稳，姿势变化幅度范围较小，传感器参数在动态拍摄影像过程中总会随着时间的变化而发生改变^[9]，由此可认为参数是具有线性变化形式的，可将同一轨迹数据系统误差消除参数都具有线性变化形式。统一轨道获取遥感影像序列变化时，基本是处于平稳状态下的，可充分利用局部影像处理技术消除系统误差参数，基于待校正的影响序列可构建预测模型，其方法为：

在一个已知函数区间上选取不同取值点函数值，求出一个或者多个 n 次多项式，并借助 Lagrange 线性插值对待校正影像序号和待求解系统误差进行消除，同一轨迹已经获得了准确的系统误差影响序号，通过待校正影像消除预测公式可通过 Lagrange 线性插值得到：

$$R = R_0 \frac{T - T_1}{T_0 - T_1} + R_1 \frac{T - T_0}{T_0 - T_1} \quad (1)$$

式 (1) 中， T_0 、 T_1 分别为同一轨迹获取的精准误差影像序号； R_0 、 R_1 为修改后的影像序号。

利用二次差值，从已知影响序号 T_0 、 T_1 、 T_2 中获取修改后的影响序号 R_0 、 R_1 、 R_2 。设 T 和 R 分别为待校正影像序号和待修正的系统误差，利用抛物线差值方法，可获得待校正影像序列预测公式：

$$R = R_0 \frac{(T - T_1)(T - T_2)}{(T_0 - T_1)(T_0 - T_2)} + R_1 \frac{(T - T_1)(T - T_2)}{(T_1 - T_0)(T_1 - T_2)} + R_2 \frac{(T - T_1)(T - T_2)}{(T_2 - T_0)(T_2 - T_1)} \quad (2)$$

具体模型以及取值应在实际数据分析中进行选择，当数据稳定性较高时，可采用多重平均值或者局部线性方法进行计算，由此获取预测影像校正序列。

根据获得的预测影像校正序列，对影响位置进行预判定位，该定位主要受内外方位元素影响，将主点误差造成的影响能够通过地面目标点进行平移，其平移长度与影像比例尺是息息相关的，而焦距造成的误差是因为地面目标点产生了变形，与外方相比，内方元素误差影响较小。针对俯仰角和滚动角发生误差的主要原因就是平移，而航偏角发生误差的主要原因就是旋转，姿态角误差是由外方位元素中最大误差造成的^[10]。由此可知，无人机遥感影像直接定位精准度主要是在平移向量上表现出来的，如果平移误差可以消除，那么就能有效提高定位精准度。

首先利用 GPS 预测相位中心位置获取坐标系，得到目标位置和姿态，将 GPS 预测的数据通过目标转换得到转换后的位置和指向。遥感技术会在地面测定 GPS 相位中心在本地坐标系中的偏移量以及旋转关系，但是没有通过影像坐标直接转换为传感器坐标，也没有测定 CCD 线阵像元指向角，如果将偏移量与相机安装矩阵合并，那么在小视角下合并后的偏移量与相机安装矩阵旋转量在对地定位精准度是一致的，因此，可

将偏移量与角旋转量合并到相机安装矩阵中。根据待校正影像序列预测公式，对目标位置进行校正补偿，由此可得到定位姿态检验模型，如下所示：

$$W[X \ Y \ Z]^t = [X \ Y \ Z]^t \quad (3)$$

式 (3) 中， $[X \ Y \ Z]^t$ 为理论观测向量； $[X \ Y \ Z]^t$ 为实际观测向量； W 为标定矩阵。通过坐标轴旋转理论观测向量可得到实际向量，将细微俯仰角 a 、偏航角 b 和翻滚角偏角 c 记为坐标轴旋转角度，由此消除系统误差。

3 实验

为了验证轻小型无人机遥感定位系统误差消除技术的合理性，设计了实验。设置实验初始条件，对实验结果展开分析，并得出结论。

3.1 实验条件设置

目标位置为停在地上的辆面包车，轻小型无人机距离地面约为 12 km，距离面包车约为 11.8 km，当轻小型无人机航向角为 220° 时，捕获到的目标与地面参考物是在同一视角下，在地面参考物上标记海拔高度，无人机 GPS 定位误差设为 50 m，激光成像和电视成像雷达探测误差为 1%，通过无人机上传感器反馈回的目标信息作为参考坐标系。实验所使用的计算机环境机型硬件配置为：1) Intel Xeon E5-2620，双核 12 个线程，主频率为 2 GHz；2) 内存大小为 64 GB；3) NVIDIA Tesla C2050 型号的显卡，专用存储器总容量为 5 GB。

3.2 实验结果与分析

以无人机为中继目标，将传统无人机目标定位误差消除技术与改进误差消除技术的测试结果进行对比，结果如表 1 所示。

表 1 中继目标指示计算结果

技术	坐标轴	最大值	最小值	平均值	误差范围
标准坐标	X 轴	34053	32889	33471	1164
	Y 轴	18113	17432	17772.5	681
	Z 轴	401	-221	90	622
传统技术	X 轴	31059	29885	30472	1174
	Y 轴	15442	14381	14911.5	1061
	Z 轴	905	250	551	654
改进技术	X 轴	34091	33002	33546.5	1089
	Y 轴	17992	16851	17421.5	1141
	Z 轴	398	-198	298	596

由表 1 可知，通过 1 000 次独立实验计算后获得的标准坐标为 (33 471, 17 772.5, 90)，定位误差达到了 1 164 m×681 m×622 m；采用传统技术获得的坐标为 (30 472, 14 911.5, 551)，定位误差达到了 1 174 m×1 061 m×654 m；采用改进技术获得的坐标平均值为 (33 546.5, 17 421.5, 298)，定位误差达到了 1 089 m×1 141 m×596 m。为了使数据更直观反映出两种技术误差消除精准性，绘制了如图 4 所示的对比三维坐标系。

由图 4 可知：传统技术误差消除后所获得的坐标点集合范围为 (30 472, 14 911.5, 551)，而改进技术误差消除后所获得的坐标点集合范围为 (33 546.5, 17 421.5, 298)，而标准坐标点集合为 (33 471, 17 772.5, 90)，从图上可以看出，传统技术坐标点远远偏离正确坐标位置，而改进技术坐标点大部分与正确坐标一致。

(下转第 241 页)