

RTK无人机在模拟林业调查中的误差评估分析

马莉燕 张 继 郑育桃 李 田
江西省林业科学院 江西 南昌 330013

摘 要：RTK无人机广泛用于林业调查之中，为客观评价其测量数据的一致性和精准性，围绕无人机进行了固定点定位、距离测量、区域面积核实等内容的测试实验。通过对比测量数据，发现RTK无人机基于精准的定位功能，使林业调查中涉及的点、线、面计算工作的测量误差基本可以忽略。无人机产生误差主要来自于成像质量，影响成像质量的重要因素是飞行高度，飞行高度上升造成成像清晰度下降，使区域边界变模糊。综合分析不同飞行高度时的测量数据，认为60~120m是最佳飞行区间，图像的质量和准确性都能得到保证。

关键词：RTK；无人机；林业调查；误差

传统林业工作的基础在于林业调查规划设计，林调质量的高低直接影响林业资源的合理利用与可持续性发展^[1]，林业调查不仅面对调查范围广、地形复杂、可达性和安全性等困难，还要满足调查精度、成本效益、时效性等要求，科技的高速发展为智慧林业提供了强大的推动力。

本实验主要从一致性和准确性的角度考量无人机在林业调查工作中的测量数据，通过不同飞行高度、不同RTK设备，对比分析点、线、面的定位和测量数据，来评估数据误差。

1 材料与方法

1.1 试验材料

使用大疆精灵4 RTK无人机进行航测；使用Pix4D mapper软件进行航拍照片后期处理；使用Arcgis (V10.5) 软件对地理信息数据进行分析，完成本试验中测试点的地理信息查询、距离和面积的计算等数据处理；使用千寻星矩SR1对测量点的坐标定位。

1.2 试验方法

本试验地点选择南昌市某学校足球场，数据采集时间分别是2024年7月26日和7月28日。尽量选择太阳刚升起不久的时候，可避免阳光过于强烈而产生明显的地面阴影，导致合成的图像出现强烈的反光。

1.2.1 无人机测量长度与误差

主要考察无人机定位的准确性。具体做法是在有一定坡度的道路上放置80m的样线，从0m开始每隔10m为一

测量点，分别测量该点的经纬度和海拔，然后通过经纬度计算两点之间的间隔长度，对比测量长度与实际长度之间的误差。

1.2.2 无人机测量面积与误差

主要研究无人机合成图像中软件测量的地面物体面积和实测面积之间的误差。具体做法是取一块标准足球场为样地，先用皮尺测算面积后（或用千寻接收机沿着边线设置测量点，通过经纬度计算球场面积，作为参考值），再用大疆无人机在不同飞行高度进行航拍，合成不同高度的正射图，用Arcgis软件测量出球场的面积，并与实测面积进行误差评估。

1.2.3 飞行高度与比例尺

正射图跟普通地图一样都有比例尺，比例尺是图纸上物体的尺寸与实际物体大小的比值。事先对足球场的边线长度进行测量，然后用Photoshop软件分别打开不同高程的正射图，在100%的显示比例下，用直尺测量球场边线的图像长度，两个值的正比即为比例尺。

2 结果与分析

2.1 无人机的点坐标和高程误差

分别用千寻接收站和无人机放置于各测试点上，记录各点测得的经纬度和海拔数据，再分别计算相邻两点之间距离和海拔值的高度差，结果见表1。经过初步估算，当经纬度用度分秒格式时，经度方向每0.000001秒相差约2.7mm，纬度方向每0.000001秒相差约3.2mm。

表1 不同RTK设备测得的间距和高差

设备	测量位置	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	小计	误差 (cm)
接收站	间距 (m)	10.01	9.97	9.96	10.00	10.00	9.91	9.99	10.00	79.84	2.5
	高差 (m)	0.46	0.50	0.58	0.80	0.83	0.78	0.82	0.67	5.44	1
无人机	间距 (m)	10.00	9.99	9.98	9.95	9.97	9.99	9.95	9.93	79.76	5.5
	高差 (m)	0.48	0.50	0.56	0.80	0.82	0.83	0.82	0.62	5.43	0

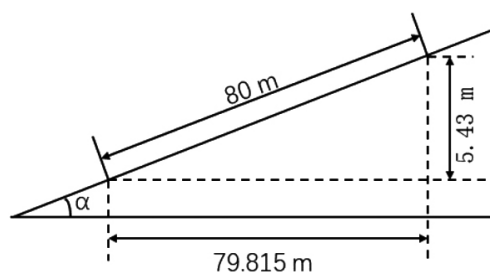


图1 斜坡上的线段及测量

如图1所示,起点和终点实测间距80m,在平坦的地形采用的算法是:通过两个点的定位经纬度,计算后得到间距为79.84m,所以测量的误差就是 $80-79.84=0.16\text{m}=16\text{cm}$ 。但在斜坡上测量要注意,点坐标其实是投影在底边上的坐标。根据勾股定律,斜长80m,高差5.43m,底边投影距离应为79.815m。千寻接收站与无人机的测量误差分别为2.5cm和5.5cm,在位置定位和面积测量中这种微小的位移偏差基本可以忽略,所以,用无人机测量长度是可靠的。

2.2 飞行高度与面积

2.2.1 飞行高度与面积误差

表2 飞行高度与面积误差率及相关技术指标

飞行高度 (m)	测算球场面积 (m^2)	误差率 (%)	拍照数量 (张)	拍摄时长 (秒)	主图外延距离 (m)
60	7095.94	0.0138	115	285	68
100	7094.06	0.0127	74	182	108
120	7095.43	0.006	62	159	119
160	7094.28	0.01	47	161	151
200	7092.52	0.03	40	172	176
250	7086.26	0.12	35	187	205
300	7082	0.18	30	191	221

针对表3数据中面积的问题,用移动站打的点都准确落在四个角和边线上,误差主要由边线的宽度引起。球场边线图像随着高度增大慢慢虚化,最终笔直的线条放大后变成了锯齿状,拉直线时位置稍稍偏移,就会造成面积测算的偏差。从误差值的角度来看,200m飞行高度之内的误差率极小,是比较合适的飞行测量区域。

表3 单次飞行的飞行高度与最大规划面积

飞行高度 (m)	60	80	100	120	160	200	250	300	350	400	500
规划面积 (hm^2)	6	7	8	10	10	12	12	11	10	10	10

结果表明:当飞行高度控制在60~200m时,单次飞行的最大规划面积随飞行高度升高而逐渐变大;飞行高度超过250m后,单次飞行的最大规划面积随飞行高度升高而逐渐变小。无人机规划飞行线路确定航拍区域时,除调查区域外会适当向外扩展一部分,确保完全覆盖调查区域。随着高度的增加,镜头视野更加开扩,所需要的

合成某一飞行高度的数字正射图,需要拍摄一组照片,每张照片左右重叠率70%,前后重叠率80%,建议用遥控器中自带的GS RTK APP,可自主规划飞行线路及航拍作业。因为传感器的像元之比为 $5472:3648=3:2$,为了最高效率使用传感器的像元,照片建议采用3:2的比例。测量作业中要注意禁飞区禁飞和限飞区限高120m的要求。

从物理实验的角度来说,物体越长测量误差越小,测量值更接近实际值。无人机测量也是同样道理,地面目标物越大越清晰,测量误差就越小。实验目标物选择了一块标准足球场,一是场地周边平坦容易辨认,二是有清晰笔直的边线。

先用皮尺测量足球场的4条边线的长度,测得足球场面积 $=67.7 \times 104.8 = 7094.96\text{m}^2$,边线宽度12~13cm。再用千寻接收站在球场边线上每隔一段距离定位一次,然后把所有点坐标导入Arcgis软件中,测试点连线的面积为 7109.266m^2 ,误差率为千分之二。用Arcgis软件测量正射图得出的球场面积见表2。

2.2.2 飞行高度与单次飞行最大规划面积

以精灵4 RTK的电池为例,最大的工作时间约为18分钟,还要包括起飞上升和返航下降的时长,一块电池真正的工作时间15分钟左右,精灵4 RTK单个架次的最大续航里程约22.5千米(官网数据)。表3是单次最大飞行距离时可以完成的规划面积。

照片就越来越少,照片之间的间距也相应扩大,拍摄一张照片的平均飞行时间也越来越大。无人机飞得越高,规划区域需向外延伸越多,而且高空飞行受自然因素影响较大,诸多因素都会加速电量的损耗,减少续航时间。通常飞行高度越高,照片越少,外延越多,合成影像失真越多。

2.3 飞行高度与比例尺

比例尺涉及的是拍摄物在图纸上输出的尺寸，图纸上的像素与传感器像元一一对应，参考相机的等比公式来推算，得到比例尺 $n = 1/L = k*f/H$ ，其中：假设镜头与纸张的焦距为 $k*f$ （ k 为调整系数），纸张上物体尺寸

为 l ，现实中物体尺寸为 L ， H 为无人机飞行高度， f 为无人机相机焦距 8.8mm 。根据表5中有关数据，推算出 $k = 100$ ，则 $n = 1 : 1.13 * H$ 。表4中两个比例尺，一个是不同高程实测的值，另一个是公式推算得到的值。

表4 不同飞行高度的比例尺

飞行高度（m）	正射图底线长度（cm）	现场实测长度（m）	实测比例尺	公式推算比例尺
60	100.4	67.7	1 : 68	1 : 68
100	60.9	67.7	1 : 111	1 : 113
120	50.6	67.7	1 : 138	1 : 136
160	37.1	67.7	1 : 182	1 : 181
200	30.6	67.7	1 : 221	1 : 226
250	24.2	67.7	1 : 280	1 : 283
300	20.3	67.7	1 : 333	1 : 339

可以看出，比例尺的模型公式与实测值比较贴合，对飞行高度与比例尺之间的换算有一定的指导意义。GSD与像元大小之比，跟比例尺是两个不同的概念，简单说一个是光信号范畴，一个是电信号范畴。

3 结束语

无人机产生航测误差的客观原因有很多。（1）自然因素：太阳高度角、方位角、观测角度等发生变化时，图像可能会有肉眼可见的明显差异，专业相机可以调节光圈、曝光度等来解决；（2）气象因素，无人机飞行过程中会受到很多因素的制约，比如风速、风向、雨雾等气象因素，使无人机产生漂移、振动等，都会对精度产生影响；（3）其它因素：比如GPS定位受到卫星星历误差、卫星钟差、大气延迟、多径效应等多种因素的影响，导致单点定位精度受限；（4）元器件因素，无人机配置的相机受镜头、感应器等多方面因素的制约，无人机飞行高度变大，物体在像元上投影变模糊，逐渐虚化成马赛克方块，难以区分的界线是造成测量误差的主要原因。

通过对比分析无人机测量的长度与面积数据与千寻接收机的参照数据，发现两组数据基本一致，表明RTK无人机的测量数据具有较高的可靠性和精准度。同时，

无人机具有机动灵活、高效快速、精细准确、作业成本低、生产周期短的优点，能够获取高分辨率的影像，可以提高林业调查监测的效率和准确度，降低外业调查队员的人身意外风险^[2]，可广泛用于林业调查中，如林业资源的调查、监测，林地面积的核查，林业发展规划的设计，林业作业设计以及各种涉林业务的技术咨询与鉴定等。

地形地貌、坡度等自然因素造成的高差也会对测量结果产生影响，测量中必须进行相应的换算以减小自然原因造成的偏差。

通过对比不同高度拍摄的照片，1~120米的高程之内可以清楚地分辨地面的石块，是林业精准测绘的最佳区域；120~300米的高程可以清晰识别林区道路、溪流、建筑等，适合进行大范围的林地勘测；300~500米会有卫星地图的视角、屏保的画质，适合大范围的地形地貌的获取。

参考文献

- [1]丁自强.林业调查规划设计质量提升的具体策略分析[J].现代园艺,2024,47(14):165-169.
- [2]黄新峰,孙红召,冯东阳,等.应用小型无人机对毁坏林地开展调查分析[J].河南林业科技,2024,44(02):25-28.