

大比例尺(1:500)测图解决方案

目前全国已有超过 300 家测绘单位拥有甲乙级航摄资质，使用无人机数量超过千架。此计算不含无航摄资质的测绘公司、无人机服务公司、及个人，据统计应用在测绘行业无人机总数超过 2000 架。

测绘无人机已常态化应用在土地确权，基础测绘，土地资源调查监测，土地利用动态监测，数字城市建设，应急救援测绘等等领域。

无人机已完全能承担在 1:500,1:1000,1:2000 的测图工作，生产出 DOM,DEM,DLG 成果数据。以下为某测区(1:500)测图解决方案

1 任务分析

1.1 测区分析

测区位于广州某地，地形以平原为主，平均海拔约 0m，最高约 3m，最低约 -7m。

1.2 精度要求

根据规范中的要求，在确保成图精度的前提下，本着有利于缩短成图周期、降低成本、提高测绘综合效益的原则在表 1 的范围内选择。

表 1 地面分辨率

测图比例尺	地面分辨率值(cm)
1:500	≤5
1:1000	8~10
1:2000	15~20

此次摄影获取的影像用于制作成图比例尺为 1: 500 的数字产品（DEM、DOM、DLG），因此要求航空影像的地面分辨率（GSD）小于等于 5cm，本次实验中采用 GSD = 4cm。

1.3 设备选型

飞马智能航测系统 F200 作业采用三模双频 GPS 导航定位，获取高精度 DOM 影像，地面分辨率达到 2~30cm，可以满足国土规划、土地执法检查、地籍管理、城市/基础设施规划、交通规划、林业监测、水土保持、水工建筑监测、应急救援等各行业应用。本次实验数据由飞马智能航测系统 F200 获取。

2 方案设计

2.1 飞行方案

测区面积约 3.8km^2 ，地形以平原为主，平均海拔约 0m ，最高约 3m ，最低约 -7m 。根据实验需求，本次飞行方案采用 Sony RX1R II 微单数码相机，设计地面分辨率 4cm ，相对航高 311m ，航向重叠 80% ，旁向重叠 60% ，共设计 1 架次飞行作业。

测区平均飞行高度约为 307m ，根据测区内最高点和最低点高程，计算可得实际获取影像的 GSD 为 $3.9\text{cm}\sim 4.0\text{cm}$ ，满足 $1:500$ 航摄规范的要求。

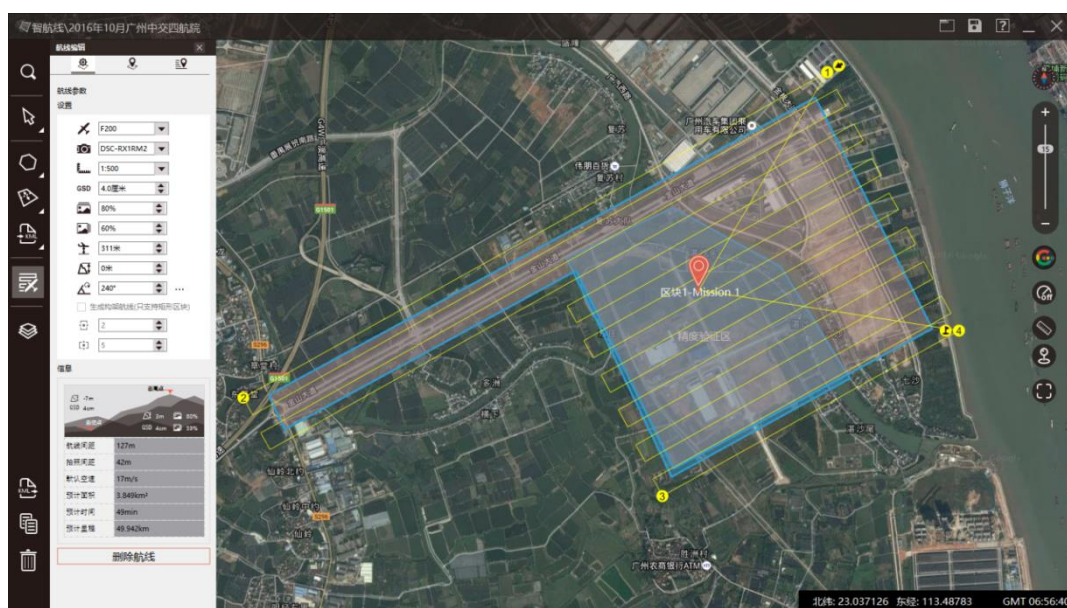


图 1 测区航线规划图

2.2 控制点布设方案

F200 采用 PPK 后差分技术，输出厘米级高精度定位数据，极大减少了控制点布设数量。如下图，测区共布设 6 个控制点，其中黄色图标显示的即为控制点。

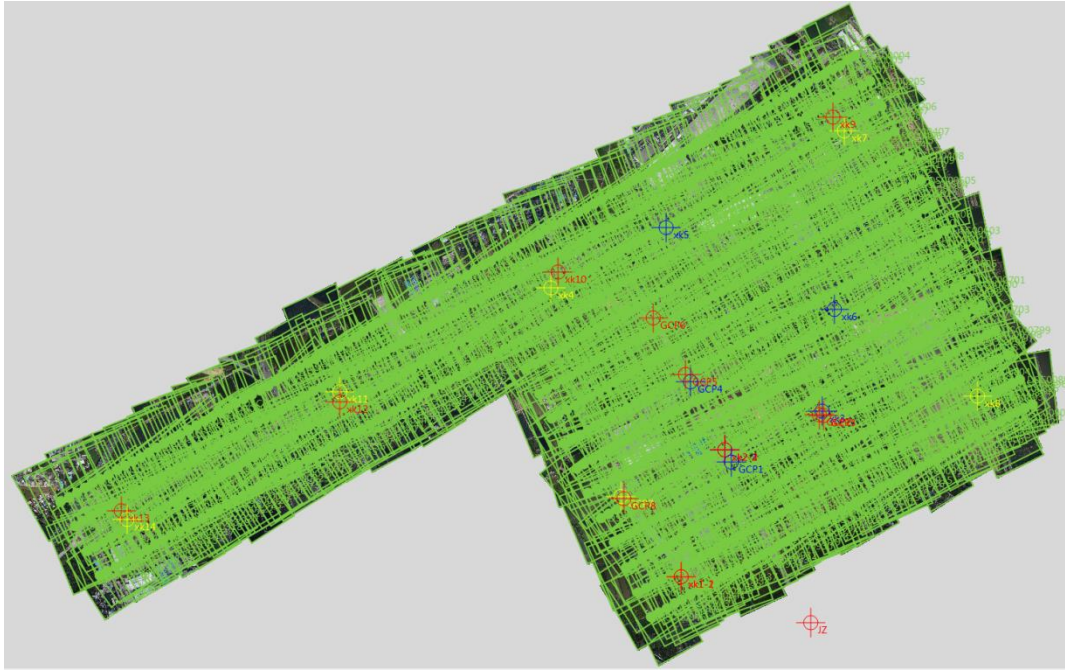


图 2 控制点分布图

2.3 控制点测量要求

控制点采用 RTK 方式量测得到，选取在地面具有明显标识处。

2.4 基站架设

本次实验采用后处理差分的方式进行 GPS 数据处理。选取测区附近的已知点架设基站。为保证数据获取精度，机上 GPS 采用 20Hz 采样频率，地面基站采用 1Hz 采样频率，两者同时观测进行数据采集，且保证基站早于流动站 30min 开机、晚于流动站 30min 关机。

3 飞行实施

3.1 飞行参数

采用飞马智能航测系统 F200 进行航摄。具体参数如下：

表 2 F200 航摄参数

航摄时间	2016.10
航摄相机	SONY RX1R II
像元大小	4.5 μ m
镜头焦距	35 mm
相对航高	311m
地面分辨率	0.04m
快门速度	1/1600 秒

光圈大小	5.6
ISO	Auto (100~800)
飞行里程	49km
飞行时间	49 分钟
拍摄像片	947 张

飞行过程监控各飞行参数均正常，巡航时速度基本稳定在 60 km/h，飞行姿态平稳，三姿角度偏差 $< 5^{\circ}$ 。整个任务共完成 947 张原始影像拍摄，通过无人机管家软件智检图进行数据质检，共用时约 23 分钟，确认全部影像合格可用，飞行作业圆满完成。

3.2 飞行姿态

统计飞行姿态角，得到

表 3 飞行姿态统计

姿态角	Roll($^{\circ}$)	Pitch($^{\circ}$)	Yaw($^{\circ}$)
均值*	2.236	3.204	1.017**
中误差	3.093	3.855	3.403

注*：为避免角度方向性带来的偏差，统计均值的时候按照角度的绝对值进行计算。
注**：Yaw 角偏差为相对航线设计方向的差值。

CH/Z 3005-2010 《低空数字航空摄影规范》中指出，像片倾角一般不大于 5° ，最大不超过 12° ，出现超过 8° 的片数不多于总数的 10%；像片旋角一般不大于 15° ，在确保像片航向和旁向重叠度满足要求的前提下，个别最大旋角不超过 30° ，在同一条航线上旋角超过 20° 像片数不应超过 3 片，超过 15° 旋角的像片数不得超过分区像片总数的 10%。可见，飞马智能航测系统 F200 飞行姿态符合规范要求。

4 数据处理流程

数据在无人机管家 2.0 中进行处理，处理流程如下。

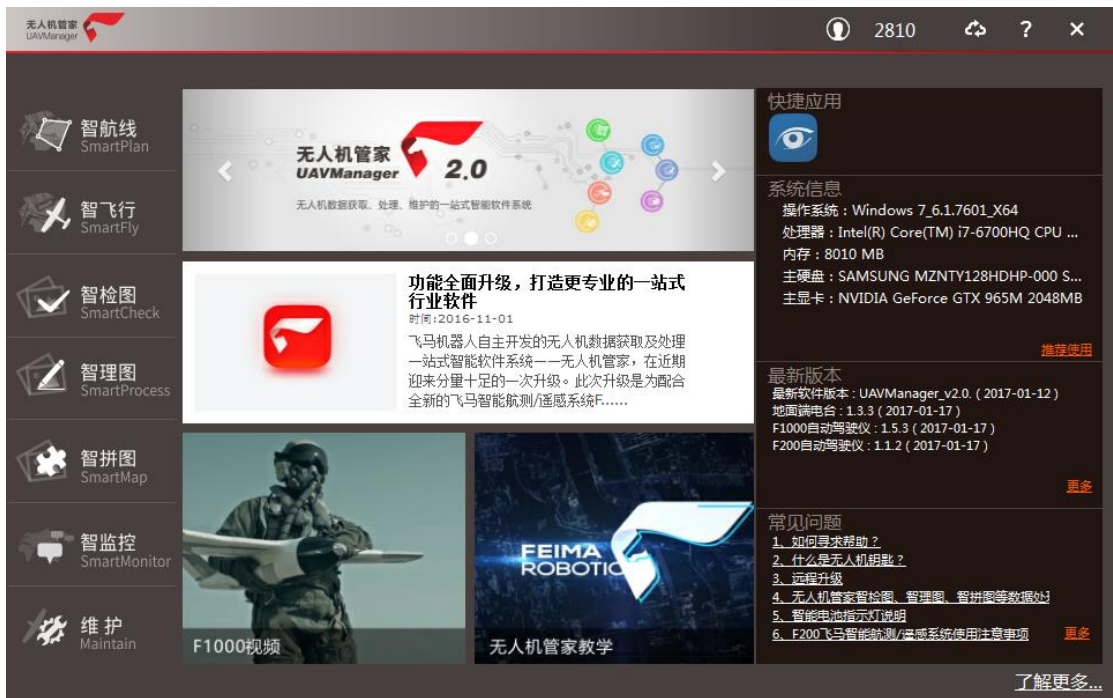
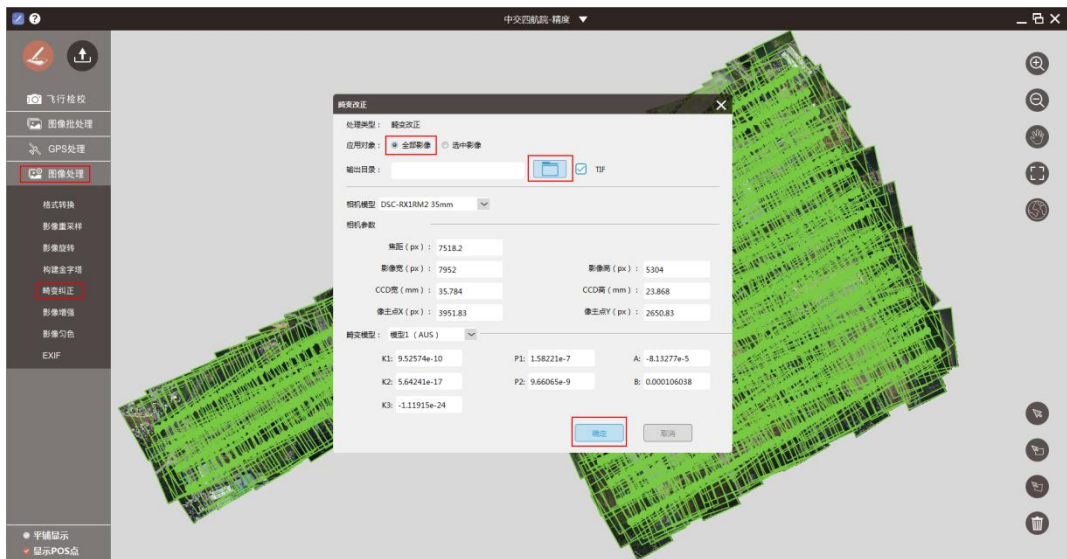


图 3 无人机管家 2.0 界面

数据准备→飞行质检→差分 GPS 数据解算→高精度成图处理→数据导出测图



5 精度验证

空三后计算得到控制点精度如下

	X(m)	Y(m)	Z(m)
中误差	0.062	0.060	0.114

6 立体测图成果展示

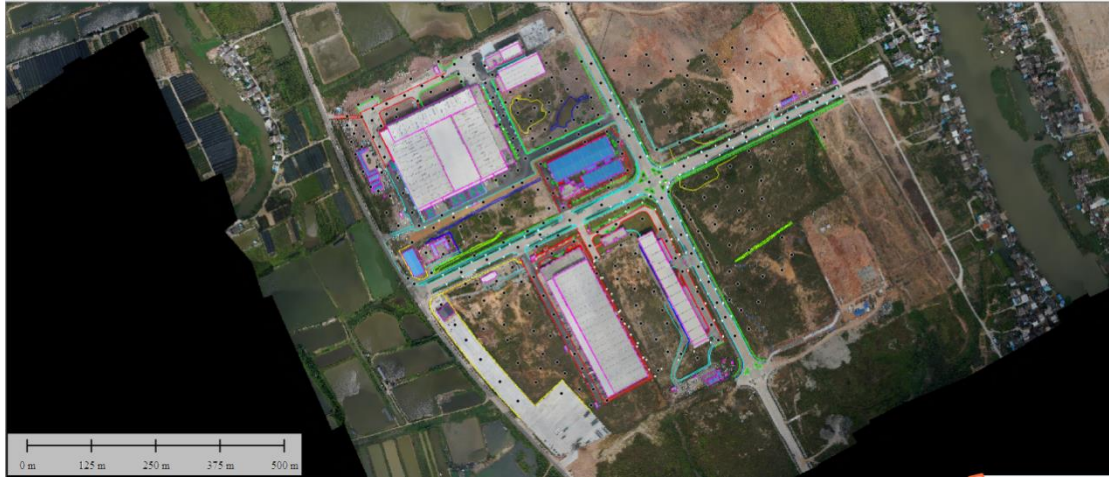


图 4 测区 DOM 叠加 DLG 显示图

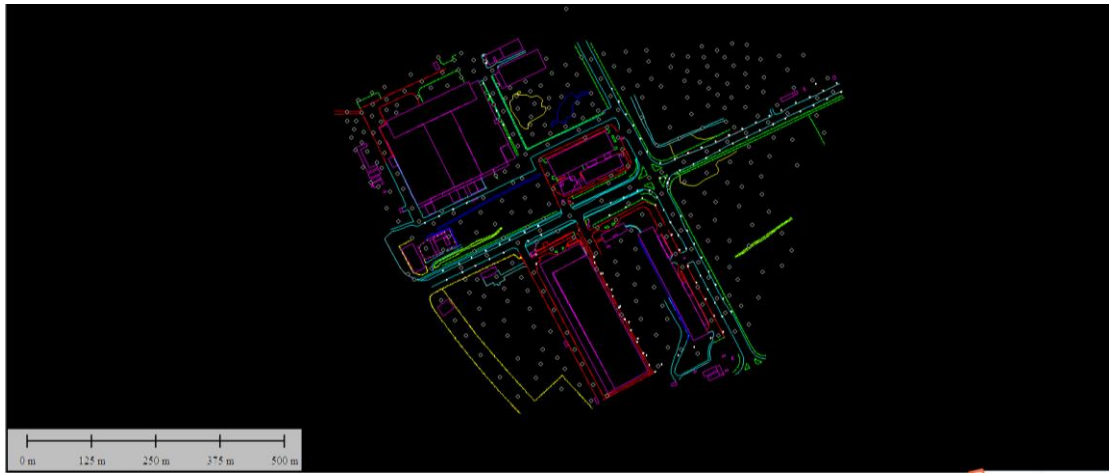


图 5 测区 DLG

7 附属成果展示

7.1 无人机管家快拼 DOM



图 6 测区 DOM

7.2 自动匹配点云及 DTM 数据

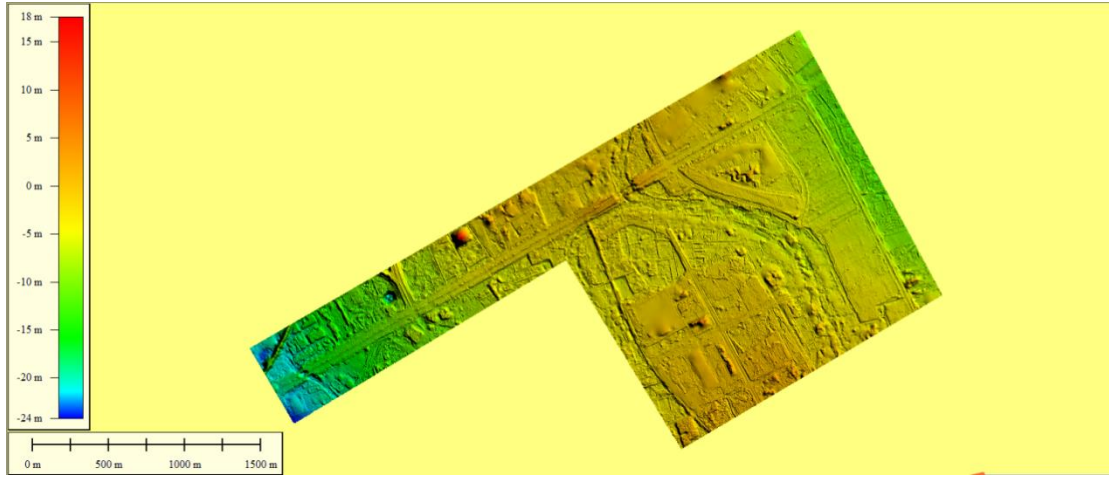


图 7 自动匹配点云及 DTM 数据

7.3 原始影像局部放大图





图 8 原始影像及局部放大图

7.4 DOM 成果套合 DLG 数据

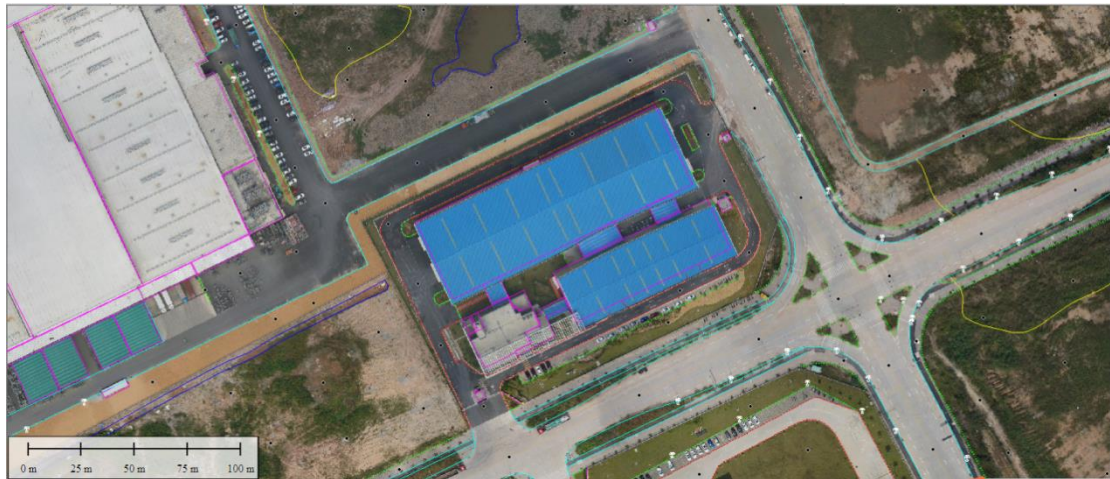


图 9 DOM 成果套合 DLG 数据

7.5 相机检校报告

检校日期：2016-9-28

报告编号：NO.:9668913-9668913



飞马机器人科技有限公司

数码相机检校报告

相机机身编号：9668913

相机镜头编号：9668913

序号	检校内容	检校值
1	像幅宽 X 高 (单位:像素)	7952 x 5304
2	像素大小 (单位:微米)	4.500
3	主点 x0 (单位:像素)	3933.107
4	主点 y0 (单位:像素)	2664.325
5	焦距 f (单位:像素)	7518.845
6	径向畸变系数 k1	5.751525e-011
7	径向畸变系数 k2	1.604427e-016
8	径向畸变系数 k3	-4.634001e-024
9	偏心畸变系数 p1	9.447609e-008
10	偏心畸变系数 p2	-2.784706e-008
11	CCD 非正方形比例系数α	-2.584657e-004
12	CCD 非正交性畸变系数β	-4.397147e-004

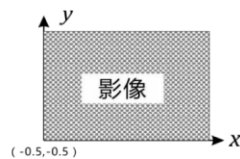
畸变模型：

$$\begin{cases} \Delta x = (x - x_0)(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots) + p_1 [r^2 + 2(x - x_0)^2] + 2 p_2 (x - x_0)(y - y_0) + \alpha (x - x_0) + \beta (y - y_0) \\ \Delta y = (y - y_0)(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots) + p_2 [r^2 + 2(y - y_0)^2] + 2 p_1 (x - x_0)(y - y_0) \end{cases}$$

引入畸变模型的共线条件方程为：

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

主点坐标系：



其中：

x, y 为像方坐标系下的像点坐标，

坐标系如图所示； $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$

图 10 相机检校报告