

实景建模无人机采集指南



实景建模无人机采集指南

了解如何利用无人机采集影像以供 Bentley 实景建模软件 ContextCapture 开展实景重建。了解采集垂直图像（垂直航拍）的限制和倾斜摄影技术，以及如何提高无人机摄影的稳定性。

所需设备准备

无人机

无人机主要分为两类：**固定翼无人机**和**多旋翼无人机**。

固定翼无人机（例如拓普康 Sirius Pro）

这些无人机主要用于中到大比例尺的制图和地形建模项目。固定翼无人机具有较高的自动控制水平，可以迅速覆盖较长的距离。但是，这类无人机通常无法采集倾斜影像，导致复杂场景的实景数据输出质量有所降低。固定翼无人机是地形建模以及生成 2.5 维模型和正射影像的最佳选择。上述功能以及真三维实景建模功能是 ContextCapture 技术的核心所在。

多旋翼无人机（例如拓普康 Falcon 8、DJI 精灵 4 Pro）

高级三维建模项目需要用到这类无人机，因为它们可以采集倾斜照片。多旋翼无人机的自动控制水平不如固定翼无人机，但它们可以采集所需的复杂现场照片。

无人机上安装的相机质量会极大地影响摄影测量性能；高质量的三维建模需要优质的照片。因此，无人机的选择还要考虑它所能承载的有效载荷。

对于专业用途，建议使用 DJI 精灵 4 Pro 及其类似型号的无人机，或者任何能够承载高品质相机的无人机。避免使用不符合此类要求的无人机，例如 DJI 御、晓、精灵 1、精灵 2 或精灵 3。

相机

硬件

摄影测量处理的质量很大程度上取决于无人机上所安装的相机的质量。

DJI 精灵 4 等入门级价格的专业无人机通常会在云台上安置能够采集照片的小型相机。但是，这些无人机的有效载荷十分有限，不支持承载品质更高的相机。

为了获取更好的照片质量，大疆经纬和拓普康 Falcon 8 等无人机可以承载更大的相机，如索尼 Alpha 6000（混合模型）或索尼 A7R（数码单反）。若要获取最佳效果，请考虑使用 Phase One 等中画幅相机。

出色的摄影测量需要出色的镜头。请尽量避免长焦镜头，因为连续照片之间的较窄视轴角会导致摄影测量趋向不稳定。建议使用焦距范围为 15 – 25 毫米的定焦镜头（固定焦距）。

请注意，对于摄影测量，采集静态图像比采集视频更佳。

校准

除了硬件以外，建议您在 ContextCapture 中输入精确的相机检校值。尽管相机检校是空中三角测量的一部分，但建议您先在简单项目中对相机进行预检校。相机经过严格校准之后，其参数可用于其他复杂项目。

对于复杂项目，与不使用任何初始参数的情况相比，这种基于相机的预检校参数而做的进一步空中三角测量更加有效。

以下是不使用（图 1）和使用（图 2）初始检校参数的单个数据集的空中三角测量示例。

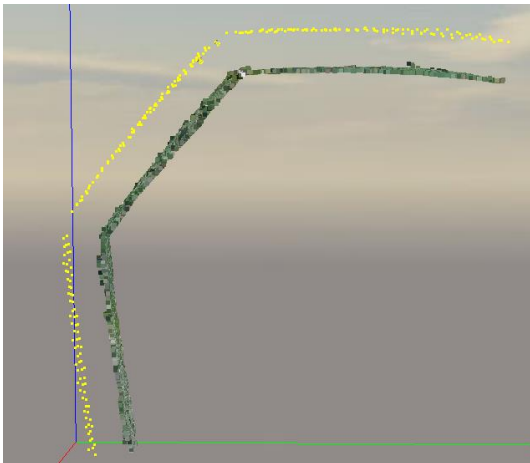


图 1：未经检校相机的空中三角测量三维视图

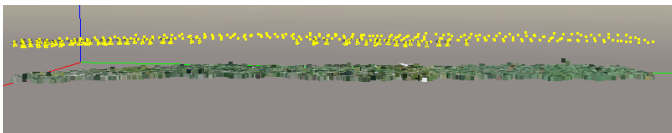


图 2：经检校相机的空中三角测量三维视图

对于仅使用垂直采集的情况，上述球面效果影响更大。**垂直拍摄模式需要预先校准相机。**对于任何类型的采集，均强烈建议使用此方式。这种一次性检校大约需要 10 分钟，且可在未来的复杂项目中再次使用。以下是详细步骤：

1. 选择一个可以围绕其旋转且可以任意角度拍摄的小型固定物体，以运行高质量的检校。该小型物体必须高度纹理化（例如雕像），非常适合相机校准（图 3）。
2. 拿出实际项目中要使用的相机，并使用与实际情况下相同的图像格式和焦距对其进行设置。我们此时所提及的设置仅针对相机。如果使用的相机安装在无人机下方，则无需强制运行无人机以进行检校。仅需将相机从无人机中取下，运行检校后安装回无人机下方，然后使用相机参数。
3. 绕物体/雕像旋转 360 度并拍摄大约 30 张等距图像（图 4）。



图 3：适合相机检校的场景

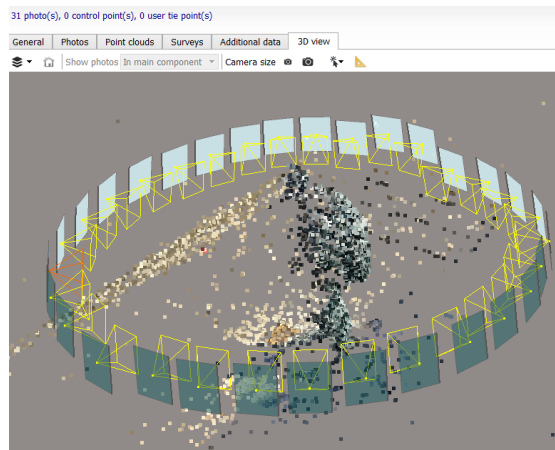


图 4：相机检校阶段的三维视图

4. 启动 ContextCapture，创建新项目，并利用缺省设置对刚才采集的照片提交空三处理。完成后，相机便已完成检校。
5. 您必须通过以下方式保存这些相机参数：转到“照片”选项卡，将您已检校的相机添加到相机数据库（图 5）。

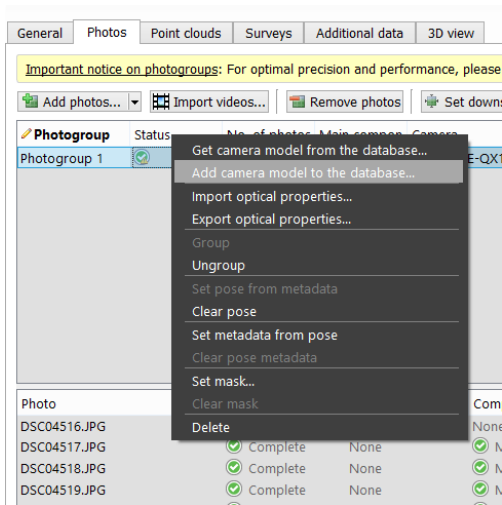


图5：将自定义相机添加到相机数据库

- 完成后，您每次从此相机中添加新照片时，系统将自动应用这些检校值。此外，您也可以在这些检校参数基础上进一步运行空中三角测量。
- 若要使用这些检校参数进一步运行空中三角测量，必须将径向畸变 (Radial Distortion) 设置为 (Keep)，并确保这些精确检校参数参与了计算（图 6）。

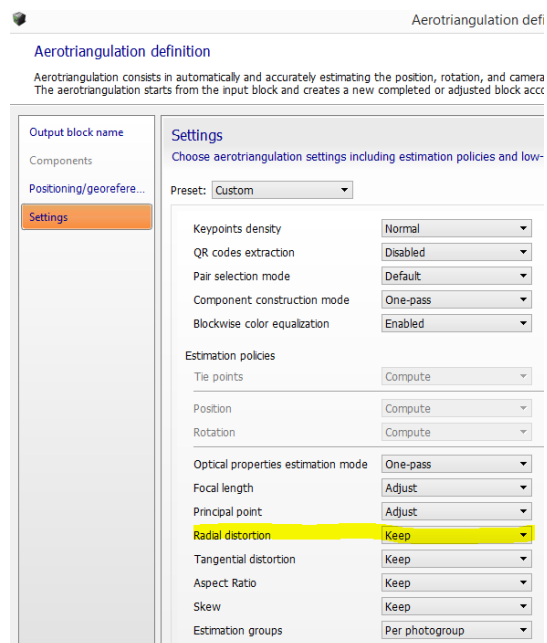


图6：强制使用精确的相机参数

电池

使用无人机可能需要采集数千张照片。因此，准确估计项目所需的电池数量十分重要，若因电量不足而缺失照片将会影响最终的三维模型的质量。

地面控制点

如果精确的地理参考对您的项目而言十分重要，则需要加测地面控制点 (GCP)。建议各地面控制点之间的间隔大约为 20,000 像素，具体取决于图像分辨率。

示例：无人机采集——（2 厘米/像素 > 0.02）× 20,000 = 400 米，建议相邻 GCP 之间的间距为大约 400 米。

布设的地面控制点需要是从天空可见的目标（图 7 和 图 8），可使用地面测量设备（如全站仪）进行测量。除了地理参考之外，地面控制点还有助于确保空中三角测量的稳定性。



图 7：棋盘地面控制点



图 8：Aero propeller 地面控制点

GPS 和 IMU 传感器

我们还建议在无人机上嵌入全球定位系统 (GPS) 和惯性测量装置 (IMU) 传感器。初始 GPS 信息有助于地理配准和尺度信息配置。通过结合使用 IMU，您将获得完整的元数据，有助于完成以下操作：

1. 空中三角测量：有了初始值，计算可以更简便、更快捷。
2. 地面控制点配准：便于软件自动推荐可供量测的影像和点位建议。

但是，并非所有传感器都是相同的。根据效率的不同，它们将以不同的计算方式为您提供帮助。对于 GPS 传感器，有两组选项：基本和实时动态差分 (RTK) 或动态后处理差分技术 (PPK)。对于 IMU 传感器，可以选择基本传感器或高端传感器。以下是综合使用 GPS+IMU 传感器的影响，具体取决于传感器的类型。

配置	地理配准的准确性	优势	注释
无 GPS + 无 IMU + GCP	无地理参考 – 任意 尺度 + 约 1 厘米	无	如果地理精度十分重要，则必须使用地面控制点。
基本 GPS + 无 IMU + GCP	约 1-2 米 + 约 1 厘米	- 粗略地理参考 - 在空中三角测量阶段略有帮助	建议用于具有以下特点的小型采集场景：了解现场位置十分重要，但尺度和地理位置的准确性无关紧要。

基本 GPS + 基本 IMU + GCP	约 1-2 米 + 约 1 厘米	- 粗略地理参考 - 在空中三角测量阶段略有帮助 - 为地面控制点的配准提供重要帮助	建议用于具有以下特点的小型采集场景：了解现场位置十分重要，但尺度和地理位置的准确性无关紧要。 GPS+IMU 传感器的结合使用有助于地面控制点的配准，但这并不会提高计算速度。
RTK/PPK GPS + 基本 IMU + GCP	约 5 厘米 + 约 1 厘米	- 高精度地理配准 - 支持“根据位置调整” (Adjust on positions) 模式 - 为地面控制点的配准提供重要帮助	建议用于任何期望获得绝对精度的采集场景，特别是在很难设置 GCP 的场景中更是如此。 GPS+IMU 传感器的结合使用有助于地面控制点的配准，但这并不会提高计算速度。
RTK/PPK GPS + 高端 IMU + GCP	约 5 厘米 + 约 1 厘米	- 高精度地理配准 - 支持“根据位置调整” (Adjust on positions) 模式 - 支持根据初始姿态调整 - 为地面控制点的配准提供重要帮助	建议用于任何期望获得绝对精度的采集场景，特别是在很难设置 GCP 的场景中更是如此。 GPS+IMU 传感器的结合使用有助于地面控制点的配准，且计算速度将会提高。

飞行规划

摄影测量的数据采集需要事先设定明确的飞行规划，以使用各种相机角度（即“三维飞行”）采集清晰的图片来处理三维模型。

建议不要在摄影测量项目中使用手动飞行。

飞行规划程序必须能够进行复杂的飞行规划，例如：

- 围绕兴趣点环绕飞行。
- 沿给定轴直线飞行。
- 沿给定轴调整相机角度。

必须提前准备好飞行规划，并考虑飞行速度（不能太快）和飞行高度（不能太高），以免造成图像模糊。

飞行模式 – 最佳实践

垂直（下视）网格式航拍的限制

垂直拍摄网格式通常用于采集单个场地的照片。此方法可轻松快速地采集大面积区域的照片，并限制采集照片的总数。

基于摄影测量的原理，待处理的下视影像需要充分的重叠。建议沿航线方向 70% 重叠，相邻航线间 60% 的重叠。

但是，使用此种模式获得的结果具有局限性。部分原因如下：

垂直元素的分辨率不佳

使用垂直网格式飞行时，所有照片看起来均垂直向下。水平面的分辨率较高，但垂直部分的像素被拉伸。此系统将导致所有这些元素不准确，从而导致建模质量欠佳，甚至在三维模型中出现孔洞。

相似连续视点

由于所有照片均采用相同的角度拍摄场景，因此视角差异非常小。这种相似性使得在利用这些照片提取三维信息的时候产生了很大的不确定性，尤其是在 Z 轴。

遮挡区域多

由于视角差异性的缺乏，造成部分区域完全被树木或是悬垂的结构所遮盖的照片采集

垂直拍摄与垂直 + 倾斜拍摄的对比

考虑到使用垂直采集所出现的问题，坚持使用必要的倾斜采集也十分重要。它们可以同时提高空中三角测量的稳定性和实景模型的质量。

以下是两种采集形式的场景对比（图 9、10 和 11）。以下对比图片展示了垂直 + 倾斜拍摄（左侧）以及仅垂直拍摄（右侧）获得的模型成果。



图 9：倾斜 + 垂直拍摄与仅垂直拍摄的对比

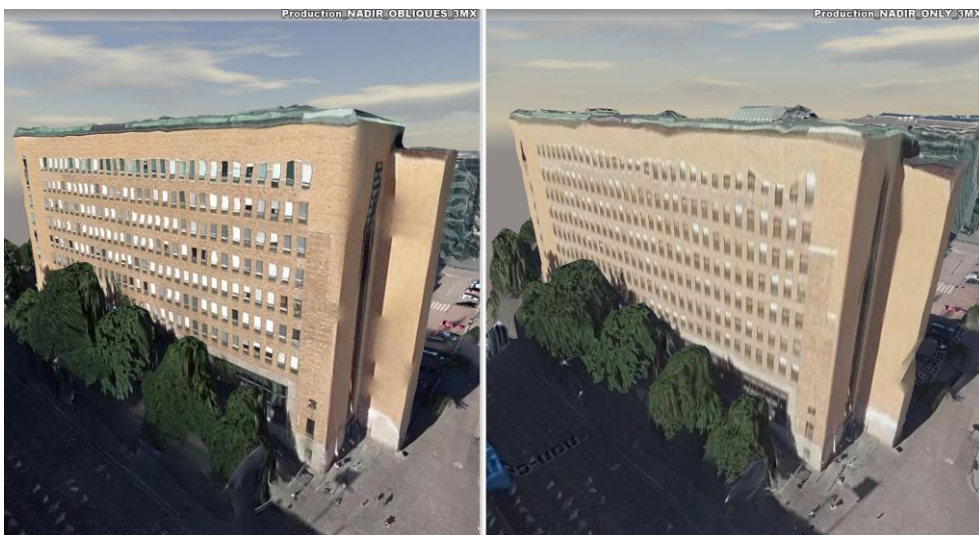


图 10：倾斜 + 垂直拍摄与仅垂直拍摄的对比



图 11：倾斜 + 垂直拍摄与仅垂直拍摄的对比

倾斜网格飞行

考虑到图 9、10 和 11 以及固定翼无人机无法采用复杂的飞行规划，“倾斜网格”法可能是一个很好的折衷方案。

使用该方法后，无人机将以 30 度为最大倾斜角度沿 4 个方向飞行，创建倾斜照片的网格。

设置步骤包括以倾斜角度（前视）放置相机，使无人机跟随沿某一轴平行的航线来回飞行。然后，您再沿垂直轴重复相同的过程。

这一做法会生成四个方向的倾斜照片，创建稳健的采集模式。

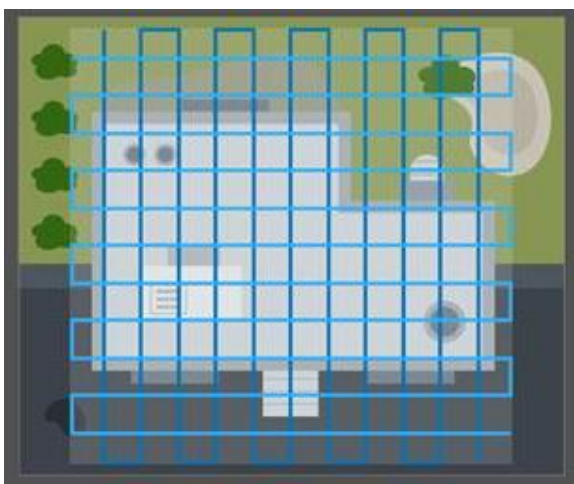


图 12：倾斜网格（顶视图）

注：在相同航线中，您将以相反的方向采集倾斜照片。要确保为摄影测量获得较好的重叠，采集同一方向上倾斜照片的两条相邻航线应当约有 70% 的重叠。

重叠轨道拍摄

重叠轨道拍摄是一种很好的完整采集复杂场地三维信息的技术。它易于执行，且可确保在摄影测量过程中拥有极佳的稳定性。

使用该技术后，相机将以 45 度斜角指向圆形轨道中心，绕测区执行采集。该区域将被重叠的轨道覆盖。建议轨道直径之间重叠 50%（图 13 和图 14）。

建议连续照片最大角度差为 15 度，这意味着整个轨道拍摄至少应采集 24 张照片。如果测区内含有较精细的结构，尤其是含有工厂或变电站等复杂场地时，增加照片数量会有所帮助。

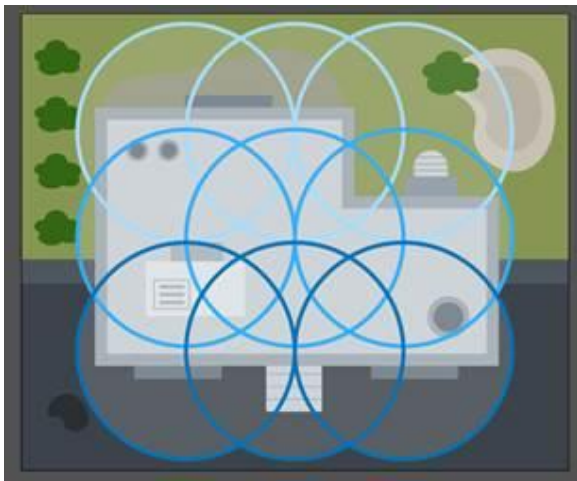


图 13：重叠轨道拍摄（顶视图）

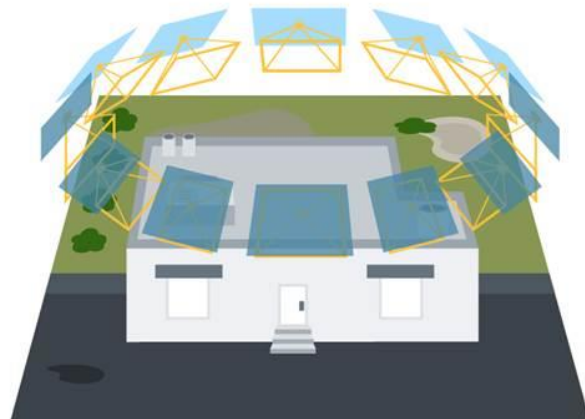


图 14：重叠轨道拍摄（三维视图）

如需采集更多现场细节，则可能还需要在部分区域增加低空轨道拍摄。轨道的直径和高度均可轻松计算得出。但是，最好使用飞行规划应用程序（如 Drone Harmony）自动生成此飞行航线。

处理大型数据集

如需无人机批量采集信息，建议将全局数据集分成较小的部分，以免内存溢出并确保空三稳定性。区块 (Block) 拆分之后，还将合并在一起，以创建无缝的重建效果。**建议每个地块不超过 10,000 张影像。**提取后，以下方法可确保子块之间的边界无缝连接：

1. 选择最适合的飞行模型进行数据采集。
2. 采集地面控制点（每 20,000 像素一个 GCP）。
3. 将超大型区块拆分为具有 10,000 张影像的子区块。**在此阶段，确保相邻区块有共享的 GCP 非常重要。**

4. 在影像中完成控制点的配准，然后对每个子区块运行空三。
5. 合并完成空三的子区块。
6. 对合并后的完整区块运行重建。

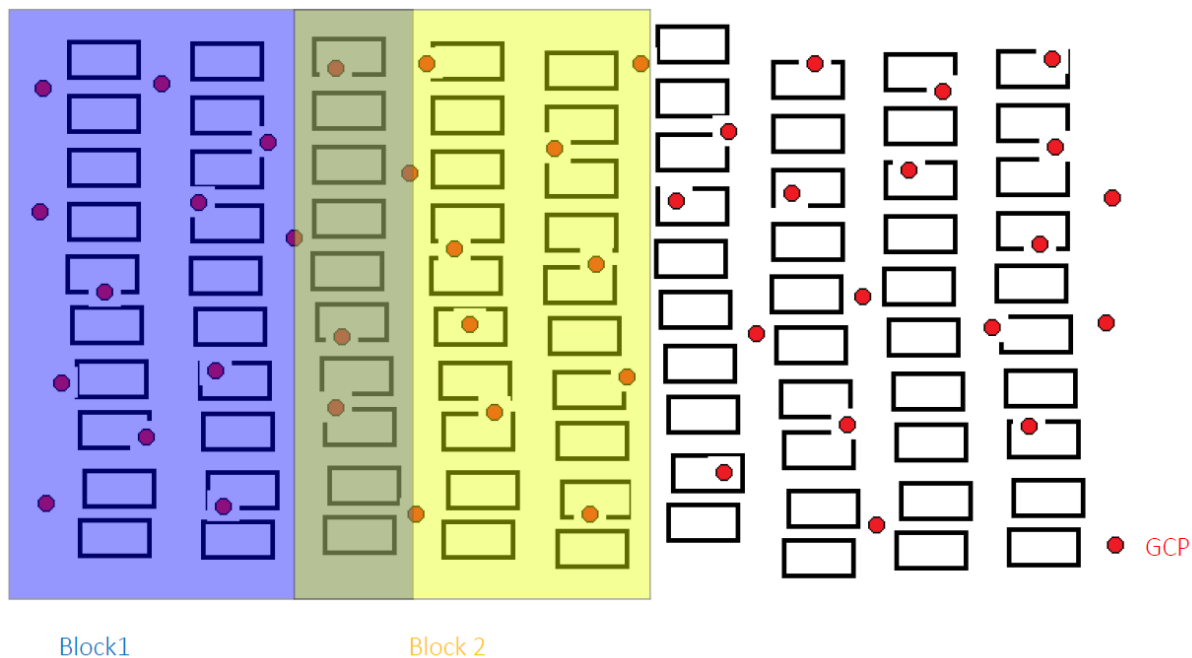


图 15：地面控制点和子区块提取