

В современном мире потребительские дроны могут служить не только на войне, но и для спелеологических целей.

10 лет экспедиций в Лаос дали нам много прекрасных открытий, десятки километров первопроходов, десятки километров топосъемок и прочих радостей спелеологии.

Понятно, что этого всего не произошло бы, если бы мы не умели искать и находить пещеры.

Перед выбором районов спелеопоисков мы ознакомились с отчетами других спелеологов, чтоб не искать там, где уже нашли они.

Пользовались классическими методами “вслед за каплей воды”, “спросить у местного”, инновационными локализованными методами “на звук дискотеки”, слышимой из пещеры мы находили новые “выходы”, на звуки обезьян по утрам, которые ночуют на входах больших пещер, рассматривали космоснимки, ориентируясь на цвета отвала породы, на локально растущие деревья, закупали детальные карты и улавливали тонкие пещерные материи медитируя на изолинии, или просто лезли в гору, зачастую весьма непростую для хождения в пляжных шлёпанцах, в надежде найти дыру. Даже делая первопроход с топосъемкой мы брали с собой GPS навигатор - чтобы в случае нахождения нового “выхода” засечь (усреднить) его GPS координаты.



После 10 лет наши возможности в разведке стали немного проседать, количество новых пещер найденных старыми проверенными методами трагически уменьшалось, поэтому на помощь нам пришла разведка с дрона, в совокупности с фотограмметрической обработкой.

*Целью и результатом удачного поиска пещеры для нас являются GPS координаты входа в пещеру.* Так как именно наличие GPS координат позволяет эффективно проводить дальнейшие исследования: планировать маршрут по которому будет достигнут вход в пещеру, сравнение положения входа с другими известными нам объектами, привязка топосъемки и т.п.

Повторить наши разведочные успехи в “своём” спелеорайоне может каждый, у кого в наличии есть дрон, умеющий снимать фотографии и записывающий GPS координаты снятых изображений в метаданные этих изображений либо в отдельный файл телеметрии. Мы используем DJI Mavic 2 Pro.



Процесс можно разделить на 2 основные части: 1) полет со сбором данных, 2) камеральная обработка.

## **Полет**

*Целью полета является сбор данных - фотографий интересующих нас пещерных объектов.* Можно снимать и видео, но у фотографий преимущество, так как фотографии имеют больше мегапикселей, чем видео.

Для организации полета нужно учитывать следующие факторы: дрон все время полета должен иметь прямую, не перекрытую скалами видимость антенн пульта управления, предполагаемые пещеры должны быть не дальше 1.5 км от точки стояния оператора, не выше 500 метров.

Во время полета визуально осматриваем скалу на предмет наличия “пещерных признаков”, если нам кажется, что нашли похожий на пещеру объект - подлетаем ближе и делаем от 3 до 20 фотографий интересующего объекта, обязательно из разных пространственных положений дрона.

Также необходимо чтоб “соседние” фотографии имели значительное перекрытие по площади кадра в пределах 60-75%.

После накопления данных о интересующих объектах, можно возвращаться к “точке приземления” и начинать обрабатывать данные.

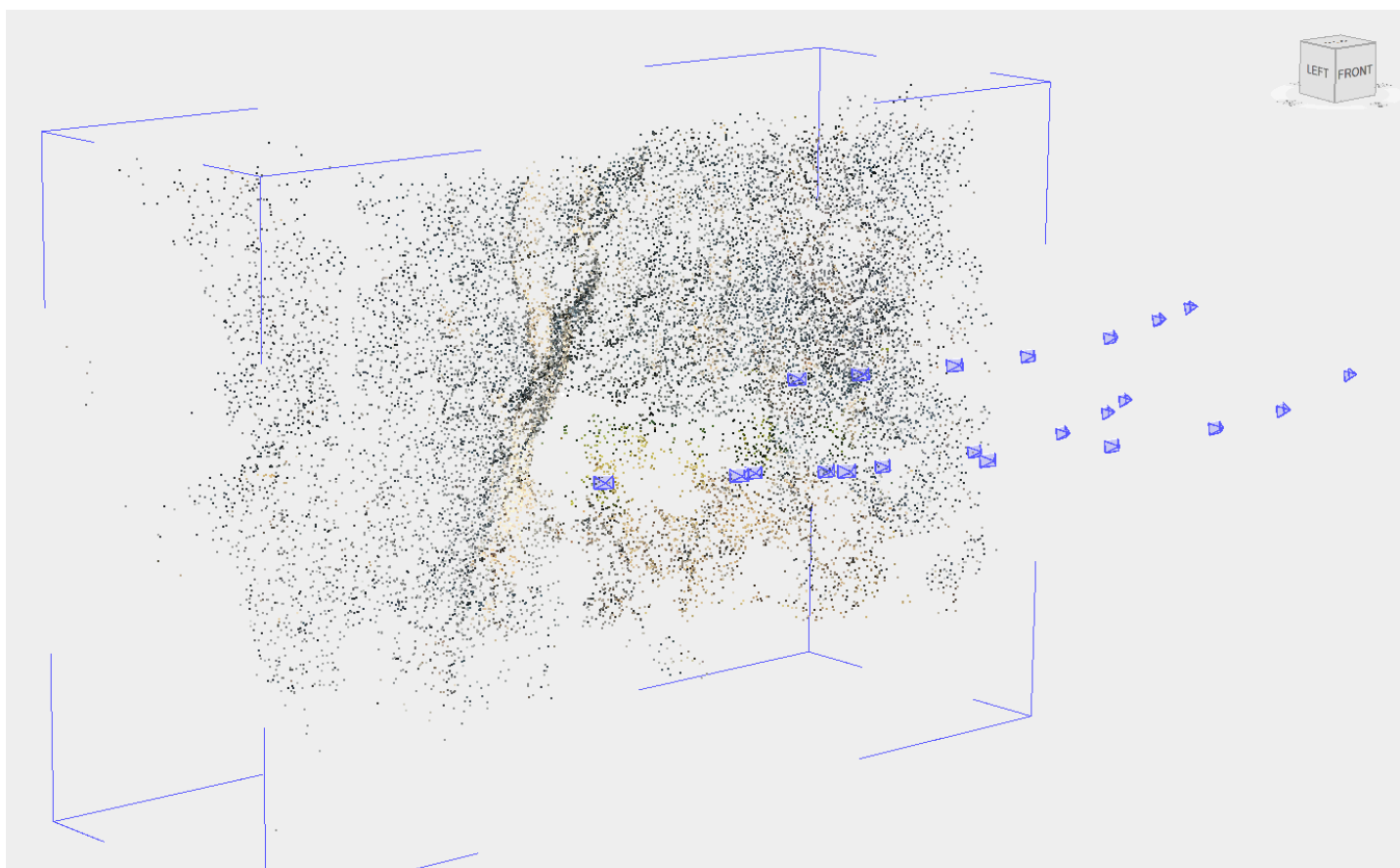
Если совершается несколько разведывательных полетов, полезно иметь столько SD карточек, сколько планируется совершить полетов. Обычно количество карточек может быть равным количеству аккумуляторов дрона. Это необходимо для аварийной ситуации - потере дрона, тогда если вы в промежутке между полетами меняете карты памяти - то часть данных у вас все равно останется.

## Камеральная обработка

*Целью камеральной фотограмметрической обработки является вычисление GPS координаты объекта находящегося на входе в пещеру, для дальнейшей отправки группы первопроходчиков к новонайденной пещере.*

Скачиваем данные с SD карточек, и добавляем в фотограмметрическую программу. Мы используем PixPro (<https://www.pix-pro.com/>) , так как я являюсь одним из ее основных разработчиков :)

Для достижения цели - вычисления координаты в программе достаточно совершить лишь начальный этап обработки: "построение разреженного облака точек". Для чего годится любой более-менее современный ноутбук, заряда аккумулятора которого хватит на десяток таких "обработок", поэтому можно все организовывать прямо в палатке.



на снимке экрана синими пирамидками показано положение камеры дрона в пространстве относительно стены - разреженного облака точек.

Затем нужно создать новый объект "точка", используя его "проекции" на фотографиях. Я обычно использую какой-то видимый на всех фотографиях камень, сталактит, трещину, ветку и т.п.

## Parameters

Name : Point 1  
 Projections : 19 / 22  
 Projection Error : ±0.5 pixels

## Position (WGS 84 / UTM zone 48N)

Easting : 446385.299 m  
 Northing : 1979364.083 m  
 Altitude : 646.383 m

Set Position ...

☒ Approve ☒ Unset Prev Photo Next Photo Show Objects Point 1 ▾

Search

|   | Name         | Modified  | X        | Y        | Distance | Error |
|---|--------------|-----------|----------|----------|----------|-------|
| + | DJI_0981.JPG | estimated | 2410.013 | 1458.019 | 8.437    |       |
| + | DJI_0982.JPG | manual    | 2513.312 | 1431.584 | 8.53     | 0.485 |
| + | DJI_0983.JPG | manual    | 2538.949 | 1423.406 | 8.593    | 0.202 |
| + | DJI_0984.JPG | manual    | 2305.472 | 1416.914 | 8.652    | 1.032 |
| + | DJI_0985.JPG | manual    | 2245.933 | 1387.411 | 8.824    | 1.493 |
| + | DJI_0986.JPG | manual    | 2376.833 | 1421.341 | 8.968    | 1.456 |
| + | DJI_0987.JPG | manual    | 1952.227 | 1465.751 | 9.053    | 0.006 |
| + | DJI_0975.JPG | manual    | 2604.252 | 1896.264 | 10.394   | 0.013 |
| + | DJI_0980.JPG | manual    | 2488.844 | 1864.606 | 10.441   | 0.031 |
| + | DJI_0976.JPG | manual    | 2477.277 | 1880.875 | 10.453   | 0.007 |
| + | DJI_0974.JPG | manual    | 2743.039 | 1897.195 | 10.454   | 0.005 |
| + | DJI_0977.JPG | manual    | 2571.494 | 1872.243 | 10.579   | 0.008 |
| + | DJI_0979.JPG | manual    | 2542.254 | 1865.355 | 10.583   | 0.01  |
| + | DJI_0978.JPG | manual    | 2187.884 | 1880.828 | 10.613   | 0.005 |
| + | DJI_0968.JPG | manual    | 2838.327 | 1721.222 | 12.598   | 0.003 |
| + | DJI_0969.JPG | manual    | 2810.565 | 1720.336 | 12.657   | 0.001 |
| + | DJI_0973.JPG | manual    | 2724.757 | 1725.279 | 12.684   | 0.003 |
| + | DJI_0967.JPG | estimated | 3022.621 | 1729.139 | 12.686   |       |
| + | DJI_0970.JPG | manual    | 2773.008 | 1720.402 | 12.689   | 0.001 |
| + | DJI_0972.JPG | manual    | 3169.245 | 1714.863 | 12.792   | 0.001 |
| + | DJI_0971.JPG | manual    | 2809.518 | 1721.217 | 12.818   | 0     |

List View Map View



28%

## Parameters

Name : Point 1  
 Projections : 19 / 22  
 Projection Error : ±0.5 pixels

## Position (WGS 84 / UTM zone 48N)

Easting : 446385.299 m  
 Northing : 1979364.083 m  
 Altitude : 646.383 m

Set Position ...

☒ Approve ☒ Unset Prev Photo Next Photo Show Objects Point 1 ▾

Search

|   | Name         | Modified  | X        | Y        | Distance | Error |
|---|--------------|-----------|----------|----------|----------|-------|
| + | DJI_0981.JPG | estimated | 2410.013 | 1458.019 | 8.437    |       |
| + | DJI_0982.JPG | manual    | 2513.312 | 1431.584 | 8.53     | 0.485 |
| + | DJI_0983.JPG | manual    | 2538.949 | 1423.406 | 8.593    | 0.202 |
| + | DJI_0984.JPG | manual    | 2305.472 | 1416.914 | 8.652    | 1.032 |
| + | DJI_0985.JPG | manual    | 2245.933 | 1387.411 | 8.824    | 1.493 |
| + | DJI_0986.JPG | manual    | 2376.833 | 1421.341 | 8.968    | 1.456 |
| + | DJI_0987.JPG | manual    | 1952.227 | 1465.751 | 9.053    | 0.006 |
| + | DJI_0975.JPG | manual    | 2604.252 | 1896.264 | 10.394   | 0.013 |
| + | DJI_0980.JPG | manual    | 2488.844 | 1864.606 | 10.441   | 0.031 |
| + | DJI_0976.JPG | manual    | 2477.277 | 1880.875 | 10.453   | 0.007 |
| + | DJI_0974.JPG | manual    | 2743.039 | 1897.195 | 10.454   | 0.005 |
| + | DJI_0977.JPG | manual    | 2571.494 | 1872.243 | 10.579   | 0.008 |
| + | DJI_0979.JPG | manual    | 2542.254 | 1865.355 | 10.583   | 0.01  |
| + | DJI_0978.JPG | manual    | 2187.884 | 1880.828 | 10.613   | 0.005 |
| + | DJI_0968.JPG | manual    | 2838.327 | 1721.222 | 12.598   | 0.003 |
| + | DJI_0969.JPG | manual    | 2810.565 | 1720.336 | 12.657   | 0.001 |
| + | DJI_0973.JPG | manual    | 2724.757 | 1725.279 | 12.684   | 0.003 |
| + | DJI_0967.JPG | estimated | 3022.621 | 1729.139 | 12.686   |       |
| + | DJI_0970.JPG | manual    | 2773.008 | 1720.402 | 12.689   | 0.001 |
| + | DJI_0972.JPG | manual    | 3169.245 | 1714.863 | 12.792   | 0.001 |
| + | DJI_0971.JPG | manual    | 2809.518 | 1721.217 | 12.818   | 0     |

List View Map View



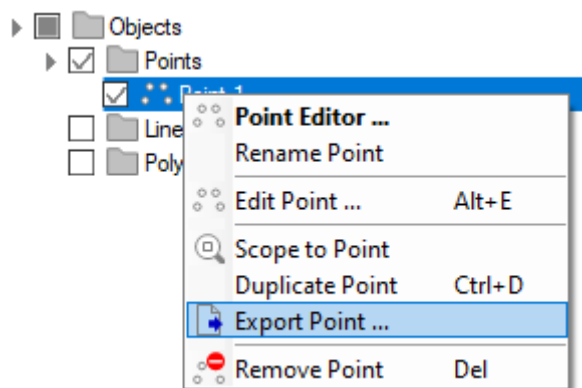
96%

Ok

Cancel

Help

Программа автоматически вычисляет координаты созданного объекта, осталось эти координаты экспортировать в файл, который положить затем в телефон/GPS и организовывать поход к новой пещере.



## Точность получаемых координат

Координаты объектов, получаемых в такой способ имеют такую же абсолютную точность относительно нашей планетки, как и координаты, которые записал дрон в фотографии. Для моего случая - точность в плане - 1 метр, по высоте 2-2.5 метра, что вполне достаточно для спелеологических применений.

Стоит также упомянуть, что высота получаемой точки обычно для потребительских дронов вычисляется относительно WGS84 эллипсоида, поэтому, может не совпадать с высотой объектов на карте. Так как карты обычно имеют свой высотный датум.

Чтоб посчитать разницу между высотой в WGS84 и вашей картой - достаточно сделать фотографию дроном когда он находится на земле, таким образом, локализовав точку взлета на карте можно узнать высоту этой точки по данным карты, так и высоту из метаданных изображения. Зная разницу между высотами по карте и в WGS84 - можно легко переводить высоты из одной системы в другую.

## Другие применения дронов и фотограмметрии в спелеологии

Конечно дронная фотограмметрия имеет много других применений к спелеологии - например, в случае полной камеральной обработки вы можете сгенерировать полноценные 3-х мерные модели поверхности вокруг ваших пещер, как я сделал [tvi](#), можете создавать свои карты, модели поверхности, изолинии.

Но, это элементарное применение одного лишь первого этапа революционно изменило наши спелеологические разведочные возможности в Лаосе, надеюсь это будет полезным и другим. Существуют и другие программы-аналоги, в которых можно делать такую обработку, я тут как кулик, который хвалит своё болото :)

Способ этот весьма дорогой, не только потому, что можно потерять дрон, но и потому что нужно заряжать аккумуляторы, для этого нужно вернуться в населенный пункт к розетке, на ночлег, поэтому если у вас экспедиция без генератора - время разведки растягивается.