

一、P4 Multispectral 照片中的重点 EXIF, XMP 信息说明

【 EXIF 】 MakerNotes				
Key	Value example	Type	Unit	Meaning
Make	DJI			
Pitch	+1.50	float	degree	Flight roll angle
Yaw	+0.00	float	degree	Flight yaw angle
Roll	+1.70	float	degree	Flight pitch angle
Camera Pitch	-89.90	float	degree	Gimbal roll angle
Camera Yaw	+0.00	float	degree	Gimbal yaw angle
Camera Roll	+0.00	float	degree	Gimbal pitch angle

【 XMP 】 drone-dji				
Key	Value example	Type	Unit	Meaning
Absolute Altitude	+50.00	float	meter	Absolute altitude of the camera based on the ellipsoid model used
Relative Altitude	+0.00	float	meter	Relative altitude of the camera based on Home point
Gps Latitude	113.00	float	-	Latitude of camera position
Gps Longitude	22.00	float	-	Longitude of camera position
Gimbal Roll Degree	+0.00	float	degree	Gimbal roll angle
Gimbal Yaw Degree	+0.00	float	degree	Gimbal yaw angle
Gimbal Pitch Degree	+0.00	float	degree	Gimbal pitch angle
Flight Roll Degree	+0.00	float	degree	Flight roll angle
Flight Yaw Degree	+0.00	float	degree	Flight yaw angle
Flight Pitch Degree	+0.00	float	degree	Flight pitch angle
Flight X Speed	+0.00	float	m/s	Ground speed northern vector
Flight Y Speed	+0.00	float	m/s	Ground speed eastern vector
Flight Z Speed	+0.00	float	m/s	Ground speed vertical

Calibrated Focal Length	1913.3333	float	pixel	$5.74[\text{mm}] / 3.0[\mu\text{m}/\text{pixel}] = 1913.3333..$
Calibrated Optical Center X	800	float	pixel	X-axis coordinate of the designed position of optical center
Calibrated Optical Center Y	650	float	pixel	Y-axis coordinate of the designed position of optical center
Rtk Flag	16	string	-	RTK status
Relative Optical Center X	0.00	float	pixel	Disparity on X direction relative to NIR band
Relative Optical Center Y	0.00	float	pixel	Disparity on Y direction relative to NIR band
Dewarp Data	2020-02-04; 1949.4499512, 1939.7700195, 28, -17, -0.4082, 0.3418, 0.00068, 0.00068, -0.3540	string	-	Distortion calibration parameter (calibrate_date;fx,fy,cx,cy,k1,k2,p1,p2,k3);
Vignetting Data	0.000218235, 1.20722E-06, -2.8676E-09, 5.1742E-12, -4.16853E-15, 1.36962E-18	string	-	Coefficients for Vignetting calibration (k[0], k[1], k[2], k[3], k[4], k[5])
Band Name	NIR	string	-	Name for each band
Band Freq	840(+/-26)nm	string	-	The frequency for each band
Irradiance	2000.000	float	-	Calibrated sunlight sensor value
Sensor Gain	1	float	-	Image Sensor gain for each band
Exposure Time	1000	string	micro-second	Exposure time for each band
Sensor Gain Adjustment	1.002	float	-	Parameter for individual difference correction (float),
Sensor index	5	integer		Blue:1, Green:2, Red:3, RE:4, NIR:5
CaptureUUID		UUID V1		Unique label for one capture;
DroneID		string		Unique label for one drone, similar with S/N

二、如何使用 P4 Multispectral 的图像和感光器数值来计算 NDVI?

一般来说，归一化植被指数 NDVI 的计算公式为

$$NDVI = \frac{NIR_{ref} - Red_{ref}}{NIR_{ref} + Red_{ref}} \quad (Eq. 1)$$

若使用 X_{ref} 来代表在 X 波段上的反射率，那么 NIR_{ref} , Red_{ref} 分别代表了 NIR 波段和 Red 波段的反射率。

假设我们定义 $X_{reflected}$ 和 $X_{incident}$ 分别为在 X 波段上的入射光量和反射光量，就可以得到下面的式子。

$$NIR_{ref} = \frac{NIR_{reflected}}{NIR_{incident}}, \quad Red_{ref} = \frac{Red_{reflected}}{Red_{incident}}.$$

阳光（入射光）照在地物（target）上被反射，此时，多光谱相机获取地物对光的反射信号生成图像，同时多光谱光强传感器获取入射光的信号值，因此我们可以得到：

$$NIR_{ref} = \frac{NIR_{reflected}}{NIR_{incident}} = \frac{NIR_{camera}}{NIR_{LS}} \times \rho_{NIR} \quad (Eq. 2),$$

$$Red_{ref} = \frac{Red_{reflected}}{Red_{incident}} = \frac{Red_{camera}}{Red_{LS}} \times \rho_{Red} \quad (Eq. 3).$$

X_{camera} 是从 X 波段的多光谱图像中获得的图像信号值， X_{LS} 是从 X 波段的多光谱光强传感器获得的感光信号值，而 ρ_x 是调节图像信号与多光谱光强传感器信号之间相互转化的参数。要保证这两个信号值能够相互转化，首先需要让入射光（多光谱光强传感器信号值）与反射光（图像信号值）的量级（单位）保持统一，同时需要保证多光谱光强传感器和相机的感光性能（感度）一致，即获得在相同的光照条件下时，它们获得的数值也应该是一致的。我们确认了 P4 Multispectral 的相机和多光谱光强传感器都具有良好的线性度，因此它们之间的关系可以只用一个参数来线性结合。

这里我们引入一个感度校准的概念。不同波段的相机和多光谱光强传感器会有感度差异，因此在相同光源的条件下不同波段的相机和不同波段的多光谱光强传感器会得到不同的信号值，需要对相机和感光器各自做感度校准，使得所有相机和所有多光谱光强传感器有相同感度。我们以 NIR 波段为标准，所有其他波段的相机都参照 NIR 波段的相机的感度做校准，同时所有其他波段的多光谱光强传感器也都参照 NIR 波段的多光谱光强传感器的感度做校准，获得的校准参数分别为 $pCam_x$ 和 pLS_x ，可以定义 $\rho_x = \rho_{NIR} \times \frac{pCam_x}{pLS_x}$ 。因此，Eq.2 和 Eq.3 分别可以转化为：

$$NIR_{ref} = \frac{NIR_{reflected}}{NIR_{incident}} = \frac{NIR_{camera}}{NIR_{LS}} \times \rho_{NIR} \times \frac{pCam_{NIR}}{pLS_{NIR}} = \frac{NIR_{camera} \times pCam_{NIR}}{NIR_{LS} \times pLS_{NIR}} \times \rho_{NIR} \quad (Eq. 4),$$

$$Red_{ref} = \frac{Red_{reflected}}{Red_{incident}} = \frac{Red_{camera}}{Red_{LS}} \times \rho_{NIR} \times \frac{pCam_{Red}}{pLS_{Red}} = \frac{Red_{camera} \times pCam_{Red}}{Red_{LS} \times pLS_{Red}} \times \rho_{NIR} \quad (\text{Eq. 5}).$$

所以，使用 P4 Multispectral 获取的照片来计算 NDVI 指数的时候，

$$NDVI = \frac{NIR_{ref} - Red_{ref}}{NIR_{ref} + Red_{ref}} = \left(\frac{NIR_{camera} \times pCam_{NIR}}{NIR_{LS} \times pLS_{NIR}} - \frac{Red_{camera} \times pCam_{Red}}{Red_{LS} \times pLS_{Red}} \right) / \left(\frac{NIR_{camera} \times pCam_{NIR}}{NIR_{LS} \times pLS_{NIR}} + \frac{Red_{camera} \times pCam_{Red}}{Red_{LS} \times pLS_{Red}} \right) \quad (\text{Eq. 6})$$

接下来我们将具体介绍如何通过从 P4 Multispectral 获取的 NIR 波段、Red 波段的多光谱图像按照上面的公式来计算 NDVI。

首先因为 P4 Multispectral 的每个相机的位置差异和曝光时间差异，获取的 NIR 波段和 Red 波段图像上存在着位置偏移，因此我们需要先将两张照片做配准处理来对齐照片。我们推荐的配准处理如下：

- 步骤一：配准因不同波段相机间的物理位置差引起的相位差
读取图像 meta 信息中 XMP [drone-dji] 里的 [Relative Optical Center X] 和 [Relative Optical Center Y] 的数值，这两个数值分别代表了每个波段的相机相对于 NIR 波段相机的位置偏移量（单位是像素），因此这两个数值在 NIR 波段中都为 0。使用这两个数值可以消除其余波段与 NIR 波段的物理偏移，可以作为第一步的配准处理。如果使用 P4 Multispectral 的时候选择了悬停拍摄，不同波段图像间的对齐处理只要使用这一步的配准就满足了。
- 步骤二：第二步配准处理我们需要对齐因为边飞边拍时相机间的曝光时间差异而产生的位置偏移。在做配准之前我们建议先对图像做平滑去噪声，可以使用直方图平滑、高斯滤波等常用的平滑滤波器。然后对做完平滑的两幅图像进行配准，在这里我们推荐 2 种配准方法供您选择
 - 方法 1. 先将两个波段的图像用 sobel 滤波器来做边缘提取，然后对提取完边缘的两幅图像用 Enhanced Correlation Coefficient (ECC) Maximization 算法做对齐。关于 ECC 的使用方法可以参考 OpenCV 中的 findTransformECC 函数
https://docs.opencv.org/3.0-beta/modules/video/doc/motion_analysis_and_object_tracking.html
 - 方法 2. 用 Scaled Invariance. Feature Transform 等传统的特征点提取算法提取两波段图像中的特征点，并对找到的特征点做配对处理获得两幅图像中相同的特征点对。使用若干特征点对获得两幅图像的变换矩阵后便可使用该矩阵来做图像对齐。

通过以上 2 个步骤对 NIR 波段图像和 Red 波段图像做对齐处理后，就可以计算 NDVI 的值了。

我们以 NIR 波段为例来说明如何获取上面 Eq. 6 中的各个数值。首先是相机相关的图像信号值 NIR_{camera} 和参数 $pCam_{NIR}$ 。我们先用下列式子获得图像的信号值 NIR_{camera} 。

$$NIR_{camera} = (I_{NIR} - I_{BlackLevel}) \times Correction / \left(NIR_{gain} * \frac{NIR_{etime}}{1e6} \right) \quad (\text{Eq. 7})$$

在这里，

- I_{camera} 和 $I_{Blacklevel}$ 分别是归一化到值域 [0,1] 上的像素值和黑电平的值。
由于 P4 Multispectral 的多光谱图像 (.TIF) 是 16 位的，这里的归一化处理是将原有的像素值除以 65535。另外黑电平的归一化前的数值是 4096，我们可以从图像的 meta 信息中 EXIF 的 [Black Level] 项获得此数值。
- *Correction* 包含了对图像进行暗角补偿 (Vignetting correction) 和畸变校准 (Distortion calibration)。我们首先使用下面的辐射状暗角补偿模型对输入的图像 $I_{(x,y)}$ 进行补偿。

$$I_{(x,y)} \times (k[5] \cdot r^6 + k[4] \cdot r^5 + \dots + k[0] \cdot r + 1.0) \quad (\text{Eq. 8})$$

r 是像素点 (x, y) 到补偿中心的像素距离，可以通过下面的式子来计算

$$r = \sqrt{(x - \text{CenterX})^2 + (y - \text{CenterY})^2} \quad (\text{Eq. 9})$$

CenterX 和 CenterY 是暗角补偿的图像中心，可以通过读取图像 meta 信息中 XMP [drone-dji] 里的 [Calibrated Optical Center X] 和 [Calibrated Optical Center Y] 来获取。

矩阵 k 包含了暗角补偿需要用到的 6 个多项式系数，我们可以通过读取图像 meta 信息中 XMP [drone-dji] 里的 [Vignetting Data] 来获取。

关于畸变校准，在相机相关的图像处理中是比较普遍的处理方式。如果在计算 NDVI 等指数时使用了 SFM (structure from motion) 相关技术来生成正视图 (orthomosaic)，由于 SFM 的优化过程中也会包含优化畸变参数这一项，因此这一步可以省略。

畸变校准所需要的参数可以通过读取图像 meta 信息中 XMP [drone-dji] 里的 [Dewarp Data] 来获取。其中，[k1, k2, p1, p2, k3] 是畸变校准用的 5 个多项式系数，fx, fy, cx, cy 是相机的参数，这几个参数加上上面的暗角补偿处理过程中获取的参数 CenterX 和 CenterY 可以获得相机矩阵 [(fx, 0, CenterX+cx), (0, fy, CenterY+cy), (0, 0, 1)]。关于畸变校准的具体方法，可以参考 OpenCV 的 `undistort()` 函数：

https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_calib3d/py_calibration/py_calibration.html

- val_{gain} 是相机曝光时的增益参数（相当于 ISO 值），可以通过读取图像 meta 信息中 XMP [drone-dji] 里的 [SensorGain] 来获取
- val_{etime} 是相机的曝光时间，可以通过读取图像 meta 信息中 XMP [drone-dji] 里的 [ExposureTime] 来获取

按照以上步骤我们就可以获得相机图像的信号值 NIR_{camera} 。

另外，参数 $pCam_{NIR}$ 可以通过读取 NIR 图像 meta 信息中 XMP [drone-dji] 里的 [Sensor Gain Adjustment] 的值来获取。

下一步，我们需要获得光强传感器相关的信号值 NIR_{LS} 和参数 pLS_{NIR} 来计算 $NIR_{LS} \times pLS_{NIR}$ 。在 P4 Multispectral 的各个波段的多光谱图像 meta 信息中 XMP [drone-dji] 里的 [Irradiance] 项就已经保存了这两个值的乘积，因此只需要读取该项的数值并代入到 Eq. 6。

通过以上方法我们可以获取 NIR 波段相关的计算 NDVI 所需要的相机信息和光强传感器信息，按照同样的方法我们可以获取 Red 波段的相关信息。最后使用 Eq.6 公式就可以获得 NDVI 的计算结果。