

## Photogrammetric Deformation(攝影測量變形成因探討)

### (一)透視投影變形

1. 高差移位:因為地物高於或是低於攝影的基準面,造成在透視投影後像點會發生移位的現象,當地物高於基準面時高差移位會由影像的像底點往輻射方向指向外,而當地物低於基準面時高差移位會沿著輻射方向指向像底點(如果是垂直攝影則像底點要改成像主點)。高差移位量可由下列公式來表達:

$$d = \frac{rh}{H}$$

其中  $r$  為物體頂部在影像上距離像主點的距離、 $H$  為航高、 $h$  為地物高於或低於基準面的高度。

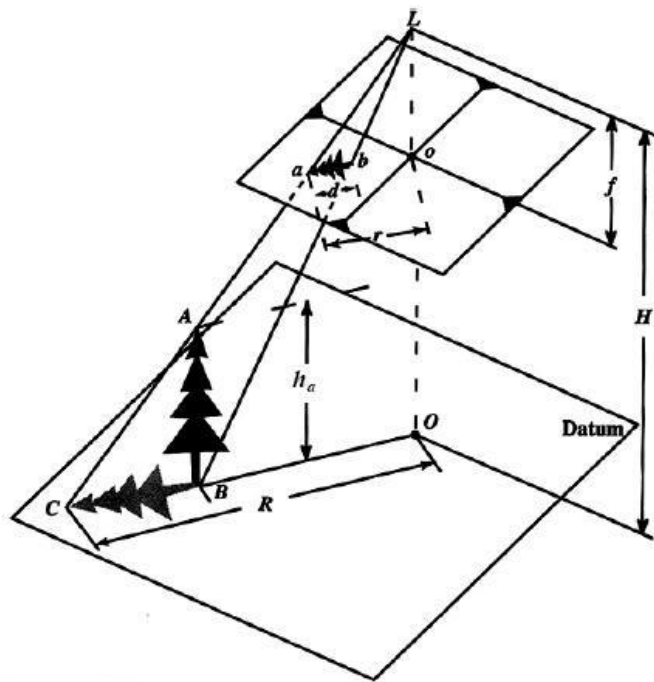
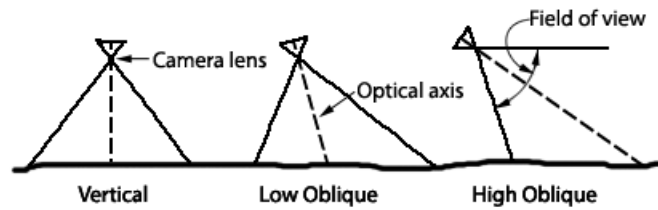


圖 1. 高差移位示意圖

2. 傾斜移位:在執行航拍時,由於種種原因像是氣流不穩定等,都會使得我們不可能做到真正的垂直攝影,或多或少都會有偏離垂直的情況,以下圖所示為高傾斜與低傾斜攝影時對於規則網格所產生的變形狀況。傾斜移位可以透過相機姿態的解算來加以改正。



Camera orientation for various types of aerial photographs



How a grid of section lines appears on various types of photos.

圖 2. 高、低傾斜攝影對規則網格之影響

## (二)背離共線特性之變形

1. 透鏡畸變:所謂的透鏡畸變就是因為透鏡在製造或是設計時的不完美造成穿過透鏡的光線會發生扭曲，與共線條件設定的直線相背離，進而導致像點偏離理想的位置。透鏡畸變分為兩大類，分別是輻射畸變差與切向畸變差，而佔最大宗的是輻射畸變差，又輻射畸變差可在分為對稱輻射畸變差與非對稱輻射畸變差，或可分為像點相對於光軸往外移者的正輻射畸變差與內移的負輻射畸變差。面對輻射畸變差我們可以透過內插法或是特定的多項式來加以改正：

$$d_r = k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7 + \dots$$

其中 $d_r$ 為輻射畸變得改正量、 $r$ 為畸變向量與坐標原點之距離而 $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ 等為輻射畸變係數。

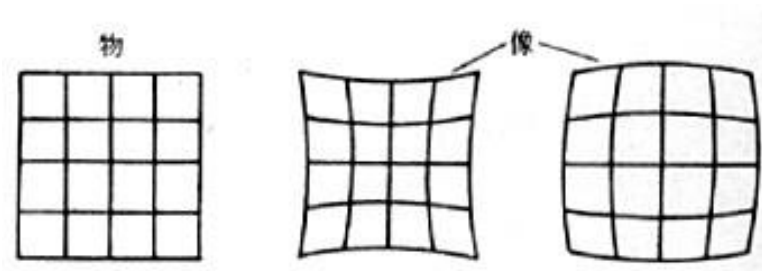


圖 3. 負輻射畸變與正輻射畸變

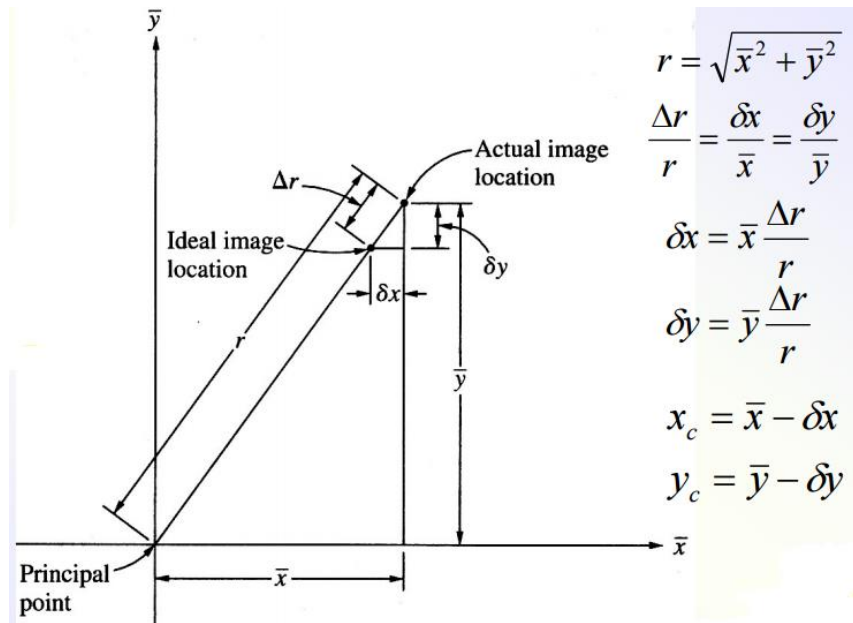


圖 4. 在  $x$ 、 $y$  分量上的輻射畸變差

2. 大氣折光: 當光線通過不同密度的大氣時, 由於折射率不同造成光線行進的路徑不是直線而是曲線, 這就破壞攝影測量的共線特性, 因為共線條件是假設透視中心至像點的向量與透視中心至物點的向量在空間中處於同一直線上, 而大氣折光所破壞的就是透視中心至物點的向量, 使它變成空間中的非直線向量。

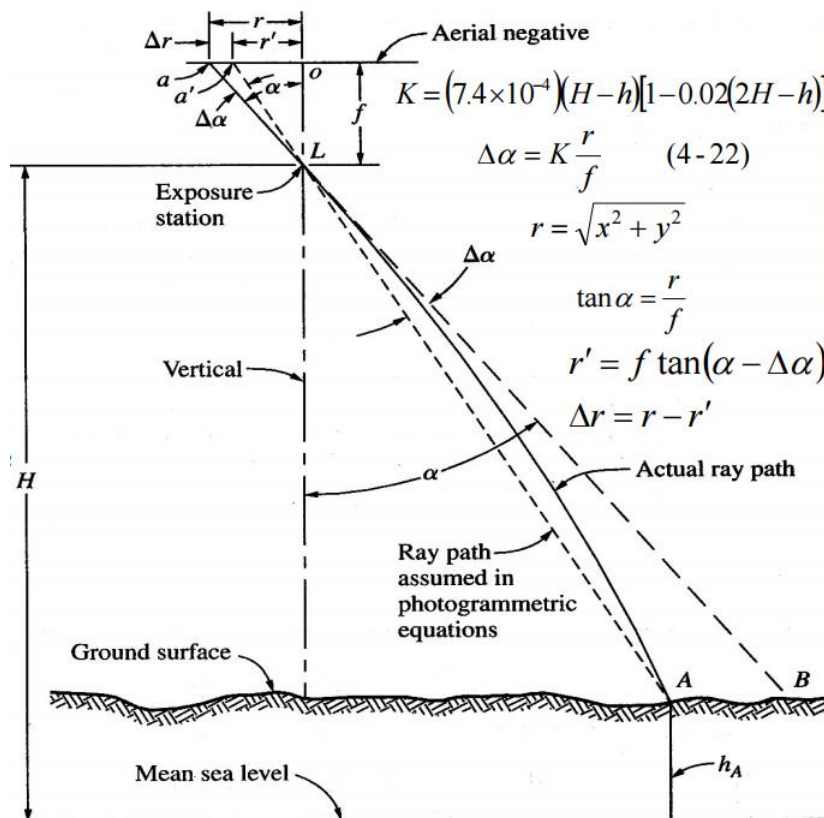


圖 5. 大氣折光破壞共線條件示意圖

圖 5 中  $K$  為與高程有關的折射係數、 $\Delta\alpha$  為大氣折光所造成的成像角度誤差、 $\alpha$  為實際成像的角度而  $\Delta r$  則為成像的理論位置與實際位置間的距離差。

3. 感測元件變形:如果使用的是數位相機,由於其上的電荷耦合元件 CCD 在製造時,雖然都會認為是固定大小,但事實上再精密的相機其 CCD 都不是每一個大小皆相同,其會存在著微小的差異,而這差異將會造成通過像點的光線會有些微的偏差,導致透視中心至像點的向量與透視中心至物點的向量非共線。

### (三)三維定位之變形

1. 內方位不準確:如果是非量測型相機,由於其內方位參數並不穩定,造成每一張拍攝影像的內方位參數不同,增加坐標量測的困難度而且精度會大幅降低。如果是量測型相機,由於它的內方位參數較穩定且可以經過像機率定來加以確定,因此影像上坐標量測相對來說精度較高,但是可能在率定時不夠完善,因此會造成率定後的內方位參數與真實的內方位參數並不一致,進而使得光線幾何交會時會發生偏離,物點的三維坐標將不是所要求的物點三維坐標。當不正確的內方位參數帶入共線式中時,會因為像主點的位置偏移、像主距過長或過短,導致相機內的光線方向偏移或成像面發生平移(假設透視中心位置不變的情況下),則兩張相片交會出來的三維位置就會產生變形。
2. 外方位不準確:求解外方位參數的方法有單片後方交會與空中三角測量,而它們都需要加入地面控制點,而當地面控制點有誤差或錯誤存在時,透過共線式所求得的外方位參數就不正確,共線式如下所示:

$$x_a - x_0 = -f \frac{m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)}$$

$$y_a - y_0 = -f \frac{m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)}$$

再使用不正確的外方位參數透過下列共線式定出其他三維物點的地面坐標時就會發生變形的情形。由圖 6 可以清楚看出因為外方位參數不正確空間中光線走向的影響。

$$X_A - X_L = (Z_A - Z_L) \frac{m_{11}(x_a - x_0) + m_{21}(y_a - y_0) + m_{31}(-f)}{m_{13}(x_a - x_0) + m_{23}(y_a - y_0) + m_{33}(-f)}$$

$$Y_A - Y_L = (Z_A - Z_L) \frac{m_{12}(x_a - x_0) + m_{22}(y_a - y_0) + m_{32}(-f)}{m_{13}(x_a - x_0) + m_{23}(y_a - y_0) + m_{33}(-f)}$$

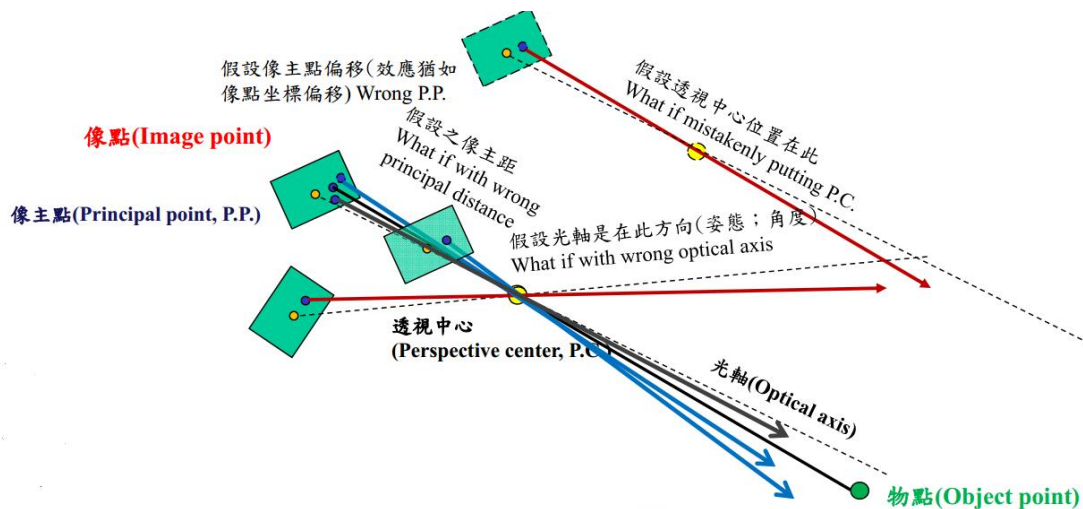


圖 6. 內方位與外方位參數不準確時對空間中光線的影響

#### (四)其他

1. 影像移動補償: 航拍飛機在飛行時, 相機快門從開到關的過程中, 由於打開與關閉時相機的位置發生改變, 因此會造成地物在底片上所形成的影像會產生移動的現象, 更會使得影像模糊。為了避免此偏差現象的發生, 因此需要在飛機上加裝影像移動補償的裝置, 此裝置的做法是當飛機飛行且快門打開時, 把底片往飛行方向做一個微小的位移, 而此位移量剛好等於影像上像點在曝光時間段內的移動量, 其影像的移動速度為

$$v = f(V/H)$$

其中  $f$  為相機的像主距、 $H$  為飛機的航高, 而  $V$  為飛機飛行的速度。

#### 參考資料

<https://courseware.e-education.psu.edu/courses/bootcamp/1o04/cg.html>

趙健哲, 2010, 航空測量學講義

趙健哲, 2015, 數值攝影測量上課講義

蔡展榮, 2003, 攝影測量第四章講義