

目標：Camera Calibration 相機標定

介紹：拍攝相片時，其數學概念是將 3D 的點投影到 2D 平面上。

將 2D 點記為 $\tilde{m} = [u, v, 1]^T$ ，3D 的點記為 $\tilde{M} = [X, Y, Z, 1]^T$ ，其中 1 是作為 argument vector 而添加的。兩者將建立關係如下：

$$s\tilde{m} = A[R|t]\tilde{M}$$

s 是任意的 scale factor、 $[R|t]$ 稱為外部參數(extrinsic parameters)，是將 world(3D) 的坐標系轉為 camera(2D) 的 rotation 與 translation、 A 則是相機的內部參數(intrinsic parameters)：

A 的矩陣為 $\begin{bmatrix} \alpha & \gamma & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ ， α 與 β 是 u 與 v 方向的 scale， γ 則是 skewness parameters。

對相機而言，上述公式可以改寫成

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_{11} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_{21} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_{31} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

f_x 、 f_y 為相機焦距的分量； c_x 、 c_y 為相機的中心點(光軸中心)；

γ 則因無歪斜情形可視為 0。

然而，現實中的相機鏡頭具有畸變(distortion)的情形，會讓照片具有變形的情况，尤其是廣角相片會更為明顯。

此時需再考慮兩種畸變係數， k_n ：radial distortion、 p_n ：tangential distortion。

越糟的 distortion，就需要用到越多的畸變係數。

OpenCV 則使用到 $k_1 \sim k_6, p_1, p_2$ 的係數。

$$\text{令} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + t$$

$$x' = \frac{x}{z}, \quad y' = \frac{y}{z},$$

$$u = f_x * x' + c_x, \quad v = f_y * y' + c_y$$

結合 camera calibration 與 distortion 的結果則如下：

$$x'' = x' \frac{1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6}{1 + k_4 r^2 + k_5 r^4 + k_6 r^6} + 2p_1 x' y'$$

$$y'' = y' \frac{1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6}{1 + k_4 r^2 + k_5 r^4 + k_6 r^6} + p_1 (r^2 + 2y'^2) + 2p_2 x' y'$$

$$\text{where } r^2 = x'^2 + y'^2$$

$$u = f_x * x'' + c_x, \quad v = f_y * y'' + c_y$$

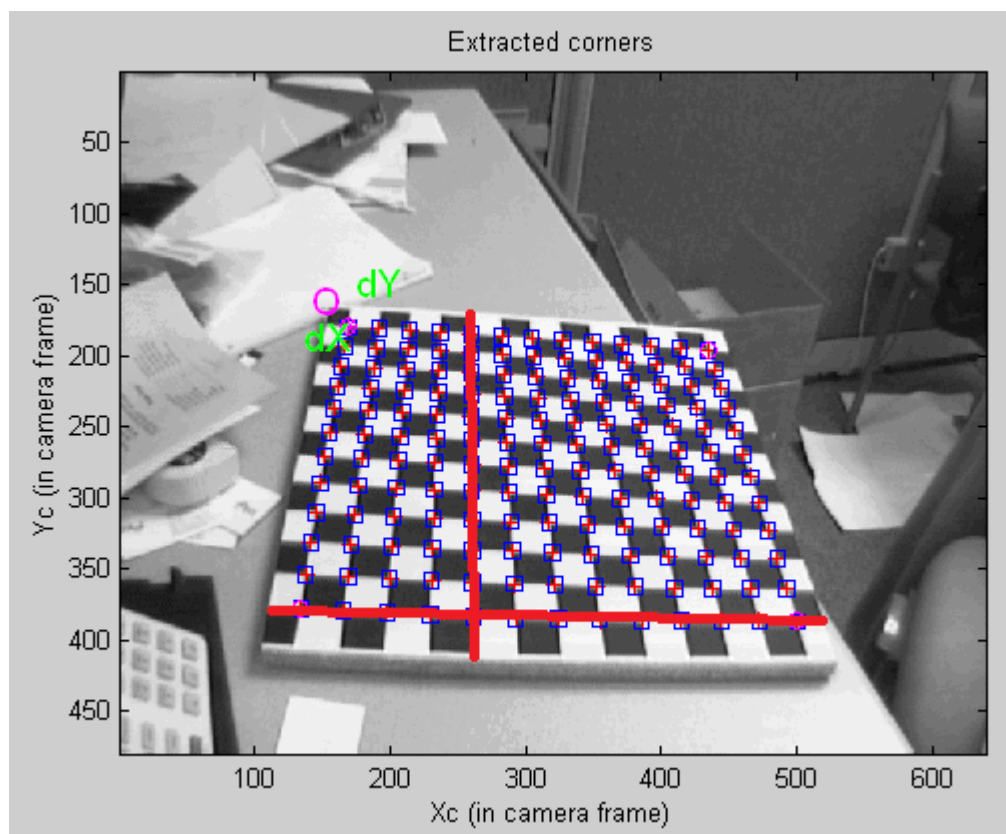
尋找 intrinsic parameters、extrinsic parameters、distortion coefficient：

基於張正友的論文《A flexible new technique for camera calibration》，Caltech 的 Camera Calibration Toolbox，能夠透過相機拍攝出的相片去反求出這台相機所需的參數。

在論文章節 3.4 中，提出了推薦的標定流程：

1. Print a pattern and attach it to a planar surface
2. Take a few images of the model plane under different orientations by moving either the plane or the camera
3. Detect the feature points in the images
4. Estimate the five intrinsic parameters and all the extrinsic parameters
5. Estimate the coefficients of the radial distortion by solving the linear least-squares
6. Refine all parameters by minimizing

在論文的實作中，使用的 pattern 是規律排列的黑色格子。這有助於以偵測輪廓的角而去找同排傾斜的圖形(如下圖橘線)，稱為 Corner Extraction：



圖片取自 Camera Calibration Toolbox

拍攝至少兩張不同方向的相片就能夠使用標定。

OpenCV 開發 `calibrateCamera` 與一些配合的 function 能夠實作論文中的內容。此次作業將練習相機的標定。

流程：

1. 所需照片已經為同學拍攝好，同學將使用這些照片練習
2. 同學需一次性讀入至少 2 張相片作為 input
3. 提取相片的特徵角點(findChessboardCorners)並獲得特徵點的集合
4. 標定獲得外部參數與畸變係數
 - a. Initialize the 3D points of a single target image (init3DPoints)
 - b. Camera Calibration (calibrateCamera, projectPoints)
5. 畸變校正
 - a. $R = \text{Mat}::\text{eye}(\text{Size}(3, 3), \text{CV_32FC1});$
 $\text{initUndistortRectifyMap}(K, D, R, K, \text{img.size}(), \text{CV_32FC1}, \text{mapx}, \text{mapy});$
 - b. $\text{remap}(\text{img}, \text{outputImg}, \text{mapx}, \text{mapy}, \text{CV_INTER_LINEAR});$
6. 輸出圖片

其中 K 為相機矩陣，D 為 $\text{Mat}[1][5]$ 的畸變係數矩陣，順序為 k1, k2, p1, p2, k3，
R 為 3×3 的單位矩陣。

本次作業每筆測資有三個參數

1. 文字檔，紀錄參考的 10 張相片位置 (如 case1.txt)
2. 需校正的檔案位置
3. 輸出檔案存檔位置

Case1.txt:

```
1_L.jpg
2_L.jpg
3_L.jpg
4_L.jpg
5_L.jpg
6_L.jpg
7_L.jpg
8_L.jpg
9_L.jpg
10_L.jpg
```

其中每張圖片尺寸均為 640*480

同學亦可在測試時自行改為相對路徑，例如 hw3/input/1_L.jpg

截止時間：

繳交方式：批改系統、Portal

作業系統：Ubuntu 16.04

程式語言：C or C++ (gcc version 9.4.0)、OpenCV 2.4.9

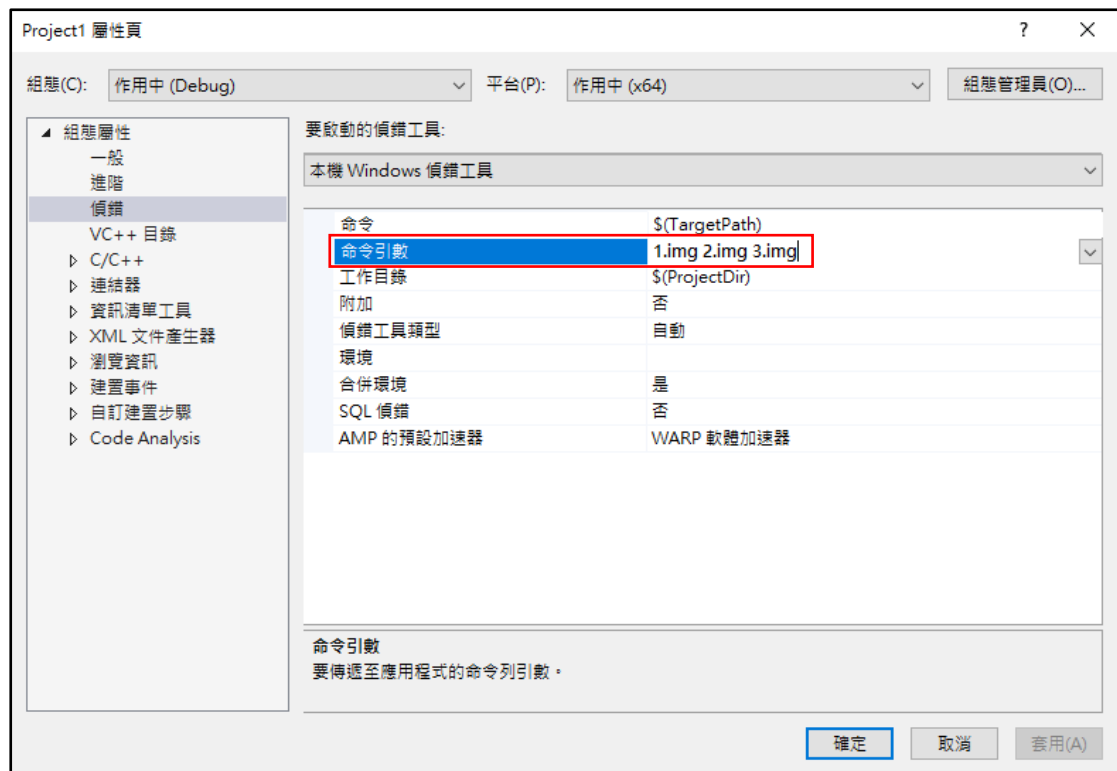
注意事項：

1. 作業提供輸出後的圖片與係數文件供學生參考，同學可以對照是否和自己的輸出相似
2. linux 導入檔案參考：`./hw3.exe case1.txt case1.jpg output1.jpg`
3. 傳值方式範例：

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    ifstream fin1;
    fin1.open(argv[1]);
    Mat img = imread (argv[2]);
    ...
    imwrite(argv[3],img)
}
```

4. 使用批改系統時不要有 `system("pause")`或是 `waitkey()`，請先刪除或是註解再使用
5. 若是批改系統沒出現任何畫面(pass or fail)或是崩潰，請回報助教
6. 若要詢問助教，請寄信至 s1108302@mail.yzu.edu.tw；若是要請助教檢查程式碼，請將自己的程式碼檔名更改為 `sID_i.cpp`，i 為次數
7. 本次作業不需要輸出計算後得到的係數(K、D)
8. 批改系統中，照片不一定只讀入固定幾張
9. 若是 `imshow` 校正後的圖片為黑色的畫面，可改以輸出圖片的方式檢查
10. 請勿全抄參考資料與網路上的程式碼，被判抄襲的機會很大
11. 計算流程僅供參考

附註



此處可以加入命令引數(檔案的相對或絕對位置)，`argv` 就會依序存入命令引數的內容，輸入時以空白隔開各項資料。

參考資料

- [1] [tr98-71.pdf \(microsoft.com\)](#) Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, Nov. 2000, doi: 10.1109/34.888718.
- [2] [Camera Calibration Toolbox for Matlab \(caltech.edu\)](#)
- [3] [Camera calibration: Explaining camera distortions :: Ori Codes](#)
- [4] imshow 是黑色畫面的情況
- [5] [Camera Calibration and 3D Reconstruction](#)