

## 魚眼鏡頭變形模型推估之研究

甯方璽<sup>1</sup> 李宜珊<sup>2\*</sup> 張晏碩<sup>1</sup>

<sup>1</sup>國立政治大學地政學系

<sup>2</sup>國防大學理工學院環境資訊及工程學系

### 摘 要

魚眼鏡頭具有短焦距、寬視角特性，使其在各領域上的應用愈趨廣泛，但伴隨產生極大的桶狀變形失真，使其在醫學影像上的判識、物件偵測與全景影像的產製上皆造成一定程度上的困難。本研究針對魚眼鏡頭的桶狀變形校正進行探討，以 CanonEOS 5D 相機機身搭配 Sigma 15mm f/2.8 魚眼鏡頭進行校正板的取像，並使用自行設計程式進行魚眼鏡頭影像處理方式，使影像上的校正板控制點位資訊能穩定擷取，再探討以空間內插法中之樣條函數法與克利金法兩大類型所建立魚眼鏡頭變形模型之精度，並使用雙線性內插法進行影像還原。成果分析顯示線性模式克利金法在校正魚眼鏡頭上，比起其他內插法推估的模型精度高。經線性克利金法模型校正後影像平均偏移值為 35.368(pixels)，最高可校正誤差量達 85.98%。

**關鍵詞：**魚眼鏡頭、樣條函數法、克利金法

## The Study of Fisheye Lens Distortion Model Estimation

Fang-Shii Ning<sup>1</sup>, Yi-Shan Li<sup>2\*</sup>, and Yen-Shuo Chang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Land Economics, National Chengchi University

<sup>2</sup> Department of Environmental Information and Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

### ABSTRACT

Fisheye lens have many characteristics, including short focal length and wide angle of vision. However, fisheye images also have great barrel distortion. That makes image recognition, measurement, and producing panoramic image in free software difficultly. This study focuses on the deformation of fisheye lens, using Canon EOS 5D camera and Sigma 15mm f / 2.8 fisheye len, taking the calibration pattern. A program was designed in order to establish more robust image process. The spline method and the kriging method (9 methods totally) are used to interpolate the deformation model of fisheye len, and bilinear interpolation is used to repair the image. The results show that the linear mode kriging method calibrates the deformation of the fisheye len better than other interpolation methods. The corrected image's average offset value is 35.368 (pixels), and the image can be corrected 85.98% maximum error value.

**Keywords :** Fisheye lens, Spline method, Kriging method

## 一、前言

在現代科技中，魚眼鏡頭影像因其寬視角的優勢，廣泛地被應用在各類影像展示，譬如在虛擬實境利用影像拼接成全景影像替代複雜的 3D 場景建模[1]；另在其他諸如監測[2]和醫學(內視鏡)[3]等領域，魚眼鏡頭影像也有其不可替代的作用。魚眼鏡頭影像寬視角的優勢也伴隨著影像周圍嚴重變形的缺點，如圖 1。



圖 1 魚眼鏡頭影像變形

在影像的變形校正處理方式中，多為使用校正板求取變形模型來進行影像變形改正[4]，而以往常使用方形等距點位進行校正，本研究考慮魚眼鏡頭的變形為同心圓放射狀變化，因此使用自行設計的點校正板，進行變形影像取景的拍攝，此校正板以十字為中心，以 12 圈同心圓間距的點資訊來獲取各距離下的變形量，並藉由黑白之間強烈的對比，來降低擷取圓點資訊的複雜度，如圖 2。

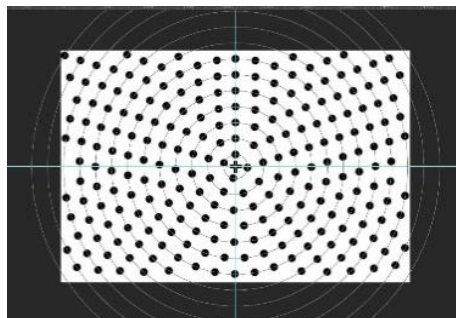


圖 2 校正板

在校正板的魚眼影像處理前置處理上，本研究使用動態門檻值法二值化法(Dynamic Thresholding)改善一般二值化法分離影像點資訊時產生影像缺漏的情形，如圖 3，此現象的成因為魚眼鏡頭進行拍攝影像時，外圍影像會比中影像中心亮度較低，使得分離影像資訊時外圍影像的點資訊進行擷取時會有缺漏。

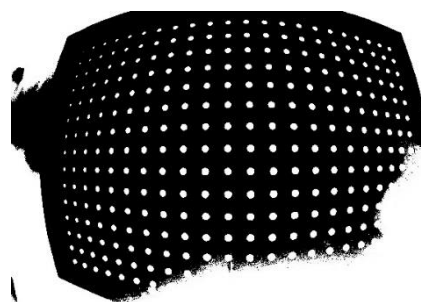


圖 3 影像缺漏

為了改善影像分離點資訊的缺漏後，於研究使用中值濾波法(Median Filter)濾除二值化影像的椒鹽雜訊並透過自行撰寫的擷取程式萃取校正板所需之點資訊，結果顯示校正板上每個點資訊皆能穩定擷取，提供魚眼變形模型前置影像處理一個穩健的方法，如圖 4。

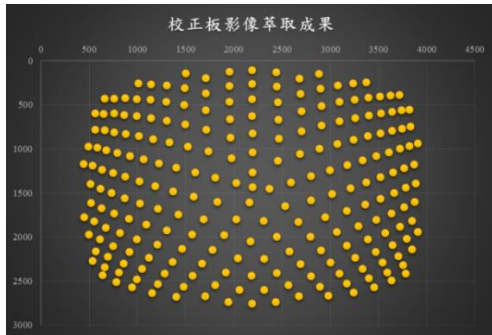


圖 4 影像處理後各點中心坐標擷取成果

在模型進行函數推估前，進行校正板 238 點位誤差向量的誤差向量繪製，表現不同位置的誤差量大小外，也提供其誤差方向與變形趨勢，由圖 5 可見影像外圍內縮變形、影像中心為外擴變形。

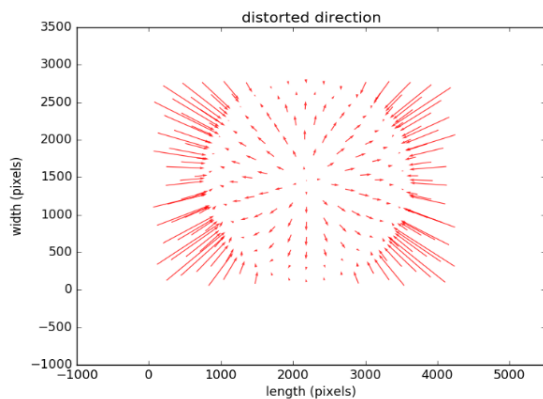


圖 5 校正板點位變形向量

在魚眼鏡頭變形模型的推估部分，本研究使用樣條函數法 (Spline) 與克利金法 (Kriging) 來進行推估及建立魚眼鏡頭 (Sigma 15mm f/2.8) 變形模型，並利用其校正後魚眼鏡頭影像的改正誤差百分比分析此鏡頭的最適校正方法。最後針對使用在室內短距離拍攝影像產製的變形模型，於不同場景(如室外)與不同拍攝距離的適用性與分析此模型的校正精度。

## 二、 理論基礎

本研究使用空間內插法 (Spatial

Interpolation) 來推估魚眼變形模型，在空間內插的方法可分為三類：反距離權重法 (Inverse Distance Weighting, IDW)、樣條函數法 (Spline method) 與克利金法 (Kriging method)。因為反距離權重法適用於密集的點位內插[5]，考量本研究所設計之校正板點位數量僅 238 點，因此僅選定克利金法與樣條函數法來進行魚眼鏡頭變形模型的推估與其成果分析比較。

### 2.1 樣條函數法模型推估

在一般的內插法中，樣條內插法通常比多項式內插法好用。因為使用低階的樣條內插法可以產生和高階多項式內插法類似的成果並且可以避免數值不穩定的情形。在實際的應用面上，較適合平緩變化的表面，例如高程、地下水位高度等[6]。

樣條函數法可分為兩種類型：規則樣條函數法和張力樣條函數法。規則樣條函數法：使用樣本資料範圍外的值來推估其平滑的模型。張力樣條函數法：依據建模形式來控制表面的彎曲程度，換句話說它受樣本資料範圍約制情形更為嚴格，適合用來推估較不平滑的模型[7]。其算法如式 1：

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j) \quad (1)$$

$j=1, 2, \dots, N$ 。

$N$  為點數。

$\lambda_j$  是通過其線性方程組的係數。

$r_j$  是點  $(x, y)$  到第  $j$  點之間的距離。

然而依據選擇的處理方式不同， $T(x, y)$  和  $R(r)$  的定義也有所不同。

(1) 在規則樣條函數法方面，其  $T(x, y)$  定義為：

$$T(x, y) = a_1 + a_2x + a_3y \quad (2)$$

$a_i$  是通過其線性方程組的係數

規則樣條函數法 $R(r)$ 的定義為：

$$R(r) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{r^2}{4} \left[ \ln\left(\frac{r}{2\tau}\right) + c - 1 \right] + \tau^2 \left[ K_0\left(\frac{r}{\tau}\right) + c + \ln\left(\frac{r}{2\pi}\right) \right] \right\} \quad (3)$$

$r$ 是點與樣本之間的距離。

$\tau^2$ 是權重參數。

$K_0$ 是修正貝塞爾函數。

$c$ 是大小等於 0.577215 的常數。

(2) 在張力樣條函數法方面，其  $T(x, y)$  定義為：

$$T(x, y) = a_1 \quad (4)$$

$a_1$ 是通過其線性方程組的係數。

張力樣條函數法 $R(r)$ 的定義為：

$$R(r) = \frac{1}{2\pi\varphi^2} \left[ \ln\left(\frac{r\varphi}{2}\right) + c + K_0(r\varphi) \right] \quad (5)$$

$r$ 是點與樣本之間的距離。

$\varphi^2$ 是權重參數。

$K_0$ 是修正貝塞爾函數。

$c$ 是大小等於 0.577215 的常數。

## 2.2 克利金法模型推估

Noel Cressie 針對克利金內插法進行整理，其中提及克利金法是用來做空間內插的地理統計學方法，克利金法假設說屬性的空間變異不是完全的隨機性(stochastic)或是完全的決定性(deterministic)，而空間的變異包含了三個要素，(I) 空間相關要素，表示了區域變數的變異性。(II) 偏移值(drift)或結構(structure)，表示一個趨勢。(III) 隨機誤差。偏移值的存在與否與區域變數的解釋導致了不同克利金法的發展[8]。一般來講可分為二大類：

(1) 一般克利金法(ordinary kriging)

一般克利金法假設偏移值是不存在的，著重在空間相關要素，衡量所選已知點之間空間相關程度的度量是半變異數(semi-variance)，公式如下：

$$r(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad (6)$$

$h$ 是樣本點間的距離， $n$ 是被  $h$  分出的成對樣本數， $z$  值是屬性值， $r(h)$ 為臨界變異值。如果在點與點之間有存在著空間相依性，距離較近的點，它們的值會比距離較遠的點的值接近。在具有空間相關性時  $r(h)$  會隨著  $h$  的增加而增加。在不同距離的半變異數算出後，就可以繪製出半變異元圖(semi-variogram)， $y$  軸代表  $r(h)$ ， $x$  軸代表  $h$ ，半變異元圖(如圖 6)可分成三部分：碎塊效應(nugget effect)是在距離為 0 時的半變異數，代表空間雜訊。範圍(range)是空間相關的部分，它顯示半變異數隨著距離增加，超過範圍之的半變異數，將是持平的狀態。基值(sill)達到持平狀態的  $r(h)$  值[9]。

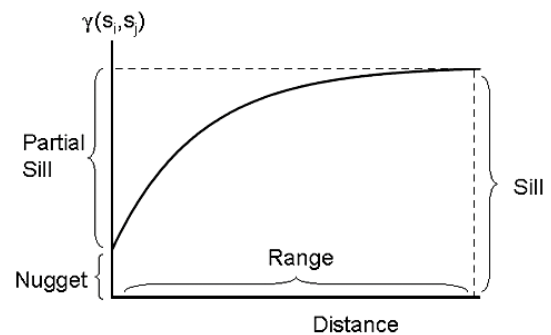


圖 6 original 半變異元模型圖

半變異元圖將半變異數與距離聯合起來，它可單獨用來度量空間的相關性。但在克利金法中是用來做為內插器，半變異元圖必須與數學函數或模型擬合(fit)，如高斯(gaussian)、線性(linear)、球面(spherical)、圓形(circular)和指數(exponential)模型(如圖 7)，擬合過後的半變

異元圖便可用估算任何給定距離的半變異數。

球面式(Spherical)：

$$\begin{cases} \gamma(h) = c_0 + c \left( \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right) & 0 < h \leq a \\ \gamma(h) = c_0 + c & h > a \\ \gamma(0) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

圓形式(Circular)：

$$\begin{cases} \gamma(h) = c_0 + c \left( 1 - \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left( \frac{h}{a} \right) + \sqrt{1 - \frac{h^2}{a^2}} \right) & 0 < h \leq a \\ \gamma(h) = c_0 + c & h > a \\ \gamma(0) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

指數式(Exponential)：

$$\begin{cases} \gamma(h) = c_0 + c \left( 1 - \exp \left( \frac{-h}{r} \right) \right) & h > 0 \\ \gamma(0) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

高斯式(Gaussian)：

$$\begin{cases} \gamma(h) = c_0 + c \left( 1 - \exp \left( \frac{-h^2}{r^2} \right) \right) & h > 0 \\ \gamma(0) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

線性式(Linear)：

$$\begin{cases} \gamma(h) = c_0 + c \left( \frac{h}{a} \right) & 0 < h \leq a \\ \gamma(h) = c_0 + c & h > a \\ \gamma(0) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

$c_0$ 為碎塊常數(nugget constant)， $c_0 + c$ 為基值(sill)， $c$ 為偏基值(partial sill)， $a$ 為範圍(range)。

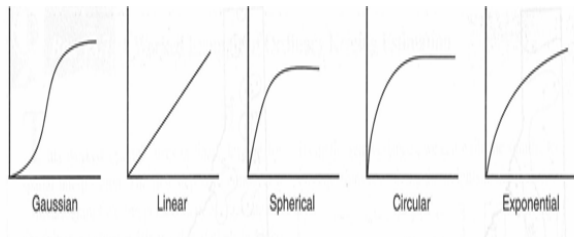


圖 7 各式半變異元模型

一般克利金法在空間內插中直接使用擬合過後的半變異元圖去估算某點的  $z$  值，公式如下：

$$Z_0 = \sum_{i=1}^s z_x w_x \quad (12)$$

$Z_0$ 是估計值， $z_x$ 為已知點的值， $w_x$ 為與每個已知點的關係權重， $s$ 是用來估算的已知點數量。

(2)通用克利金法(Universal Kriging)

通用克利金法假設除了已知點之間的空間相關要素外，在  $z$  值的空間變異上是具有偏移或一個趨勢存在的。一般來說，通用克利金法過程中包含了一階與二階方程式，一階方程式如下：

$$M = b_1 x_i + b_2 y_i \quad (13)$$

$M$ 為偏移， $x_i$ 和 $y_i$ 分別為已知點  $i$  的  $x$  和  $y$  坐標， $b_1$ 和 $b_2$ 為要估計的偏移係數。二階多項式如下：

$$M = b_1 x_i + b_2 y_i + b_3 x_i^2 + b_4 x_i y_i + b_5 y_i^2 \quad (14)$$

由式 14 中的係數 $b_i$ 必須按權重估算，因此通用克利金法比一般克利金法要求更多的聯立方程式來估算未知值。

綜合上述樣條函數法與克利金法的理論介紹，本研究使用樣條函數法(張力法、規則法)、一般克利金法(球面式、圓形式、指數式、線性式、高斯式)與通用克利金法(一階、二階方程式)共計九種方法進行魚眼鏡頭變形模型的推估。

### 三、實驗及成果分析

依據前述理論基礎所提出首先針對魚眼鏡頭變形模型使用九種空間內插法推估後進行模型成果比較與分析，再進行魚眼鏡頭校正板的變形影像變形模型校正及精度比較與評估，最後為短距離率定成果於室外長距離拍攝



影像校正成果分析。

### 3.1 變形模型及成果分析

將魚眼鏡頭拍攝之影像處理後，萃取出點位坐標( $x_{dis}$ ,  $y_{dis}$ )，與校正板標準影像點坐標( $x'_{ori}$ ,  $y'_{ori}$ )，透過空間內插法來推估出魚眼變形影像各像素在 x、y 方向上的偏移量( $\Delta x, \Delta y$ )，因為在模型的外觀上，肉眼較難分析細部其餘模型的差異，因此針對模型的 X 方向上的橫斷切線與 Y 方向上的縱斷切線進行模型分析(如圖 8)。

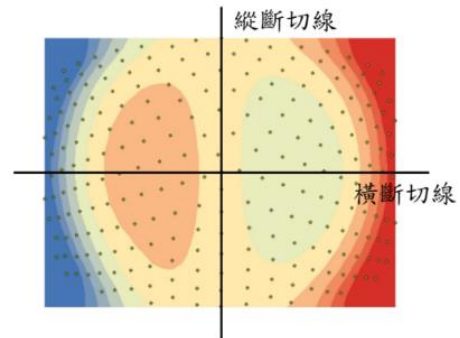


圖 8 橫縱斷切線示意圖

#### (1) 模型橫斷切線分析

比較所有模型 X 方向上各點位坐標的對應變形量，由圖 9 中可以看出通用克利金法 I(綠線)與通用克利金法 II(深藍線)的橫斷面有鋸齒的情形產生。另高斯克利金法(淺灰線)會有異常突起於模型的現象產生，因為校正板上的點位樣本有限，在進行變形量推估時，在極值處會發生突起狀況。

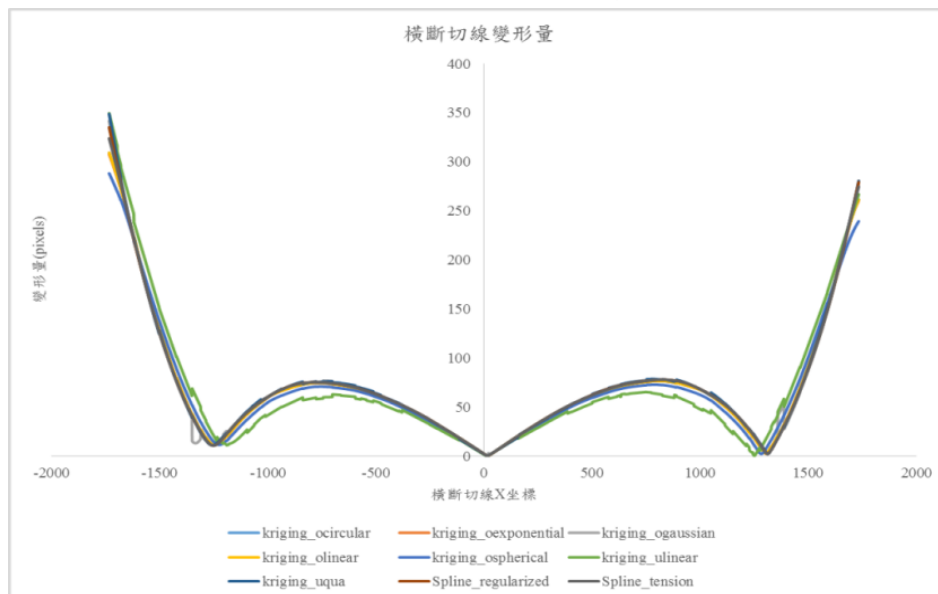


圖 9 橫斷切線變形量

#### (2) 模型縱斷切線分析

再比較橫斷切線數據後，此部分比較模型同縱斷面進行折線分析，圖 10 為所有模型 Y 方向上各點位坐標的對應變形從圖中可以看出通

用克利金法 I(綠線)與通用克利金法 II(深藍線)的縱斷面一樣有鋸齒的情形產生，高斯克利金法(淺灰線)也會有異常突起於模型的現象產生。

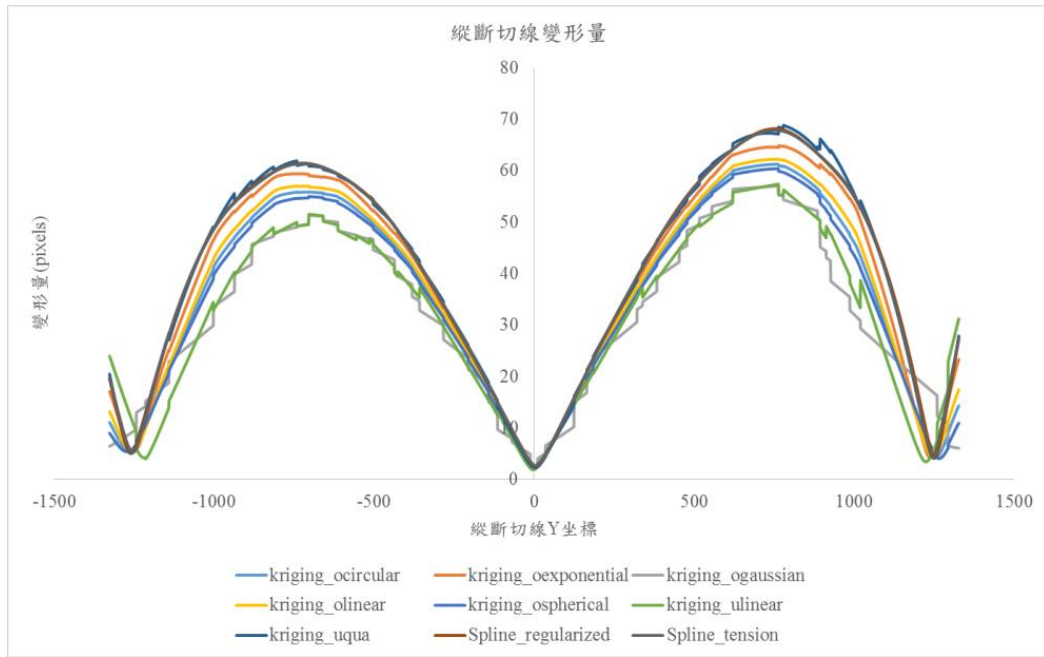


圖 10 縱斷切線變形量

經由上述的各類模型分析後，發現只有高斯克利金法產製的此魚眼鏡頭變形模型有異常凸起情形，其餘內插法推估的成果多為平滑或些微鋸齒狀情形，

評估後，本研究將高斯克利金法產製的模型於此步驟剔除，其餘變形模型將進入下一步驟的校正板影像校正及精度評估。

### 3.2 校正板變形影像校正後精度比較

(1) 各圈點位校正後平均偏移值( $\overline{D_{cal}}$ )計算

由於魚眼變形影像各點位的變形量不盡相同，因此本實驗成果針對校正板設計之 12 圈同心圓進行各點位改正後偏移值計算，即針對該圈未變形影像點位(original) 減去該圈校正後影像點位

(calibrate) 之絕對值進行平均偏移值計算(即為校正板各圈點位之平均殘差)(如圖 11)，為方便示意，在計算式中以  $|ori_i - cal_i|$ ，其計算式如下：

$$\overline{D_{cal}} = \frac{\sum_{i=1}^n |ori_i - cal_i|}{\text{該圈校正點位數量}(n)} \quad (15)$$

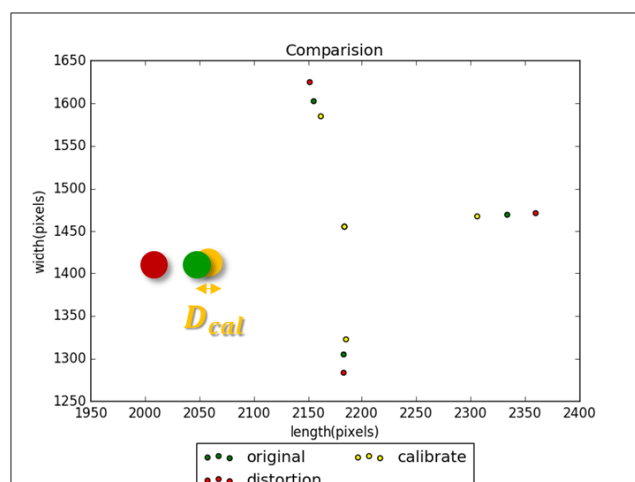


圖 11 偏移值示意圖

經計算整理後之各圈平均偏移值如表 1，可看出樣條函數法(Spline)各圈校正後殘差在 150pixels 以內，克利金法各圈校正後殘差在

175pixels 以內，而其中線性克利金法校正後殘差各圈殘差最大值為 89.8pixels，為變形模型校正後成果最好者。

表 1 校正後影像各圈平均偏移值(pixels)

| 圈數\方法            | Spherical | Universal-II | linear | exponential | circular | spline_tension | spline_regularized |
|------------------|-----------|--------------|--------|-------------|----------|----------------|--------------------|
| 1 <sup>st</sup>  | 7.28      | 6.85         | 4.23   | 7.77        | 6.19     | 6.25           | 5.37               |
| 2 <sup>nd</sup>  | 17.73     | 16.46        | 9.68   | 20.45       | 15.76    | 16.78          | 14.02              |
| 3 <sup>rd</sup>  | 27.52     | 25.36        | 15.26  | 32.19       | 24.95    | 26.21          | 22.12              |
| 4 <sup>th</sup>  | 37.76     | 35.11        | 20.74  | 44.38       | 34.17    | 36.06          | 30.62              |
| 5 <sup>th</sup>  | 48.12     | 44.57        | 26.08  | 56.23       | 43.52    | 45.73          | 38.53              |
| 6 <sup>th</sup>  | 57.61     | 54.15        | 32.16  | 68.2        | 52.17    | 55.66          | 46.83              |
| 7 <sup>th</sup>  | 69.46     | 64.73        | 43.29  | 81.89       | 63.79    | 66.48          | 56.44              |
| 8 <sup>th</sup>  | 96.9      | 92.45        | 41.16  | 115.8       | 88.4     | 94.26          | 79.55              |
| 9 <sup>th</sup>  | 116.11    | 112.74       | 42.36  | 141.06      | 107.24   | 114.7          | 96.79              |
| 10 <sup>th</sup> | 122.83    | 131.79       | 46.84  | 160.47      | 122.17   | 131.36         | 110.74             |
| 11 <sup>th</sup> | 114.55    | 142.82       | 52.8   | 171.81      | 129.51   | 142.3          | 119.3              |
| 12 <sup>th</sup> | 106.35    | 148.01       | 89.8   | 173.31      | 136.28   | 149.61         | 128.03             |

最後將各類內插法進行折線圖比較分析(如圖 12)，從中可看出線性克利金法的校正成果比其餘校正成果還要來的精確許多，尤其是

影像周圍改正後偏移值離影像中心越遠，改正效果越好。



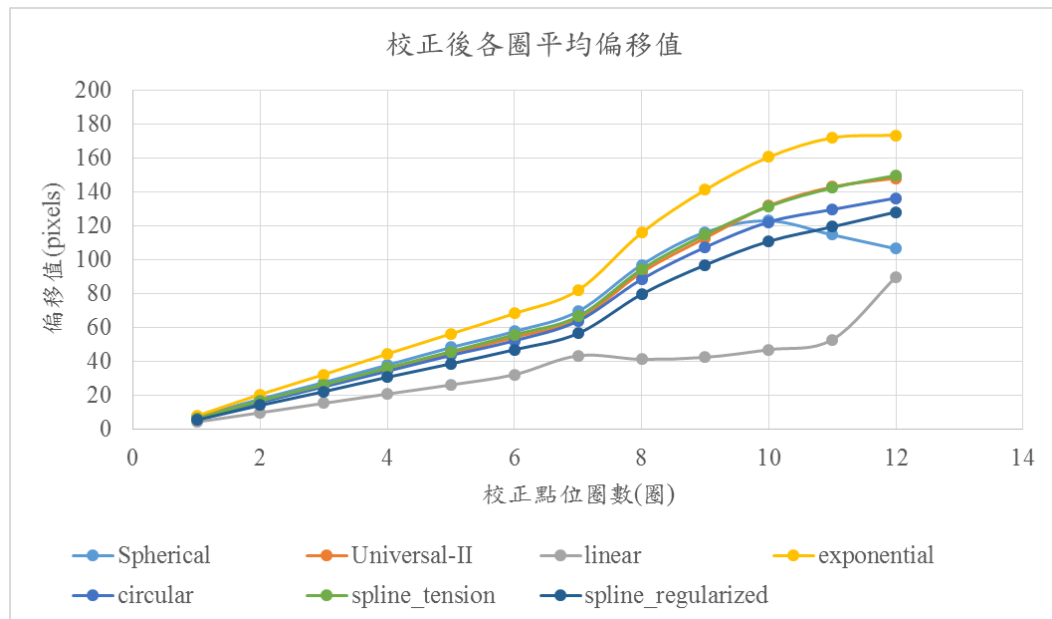


圖 12 校正後各圈平均偏移值比較

## (2) 各圈誤差改正百分比計算

針對校正板設計之 12 圈同心圓進行各點位改正後偏移值計算後，此部分進行改正後各圈校正點位的精度評估，即針對該圈改正前偏移值(distortion-original)減去該圈改正後偏移值(calibration-original)之絕對值即  $|D_{dis} - D_{cal}|$  進行精度計算，其計算式如下(如圖 13)：

$$\frac{|D_{dis} - D_{cal}|}{D_{dis}} \times 100\% \quad (16)$$

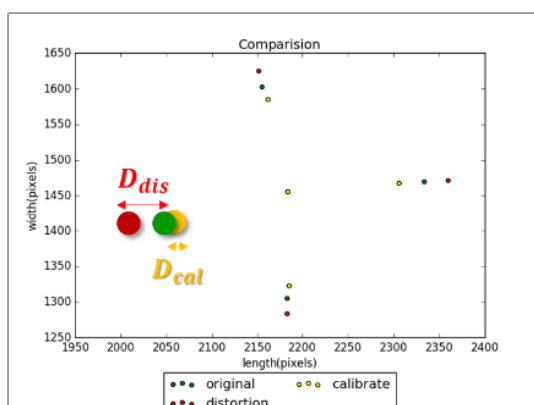


圖 13 校正板點位示意圖

### ①內圈誤差改正百分比

從圖 14 可以看出，第 1 圈到第 3 圈各方法的誤差改正百分比大多都在 60%以上，其中線性克利金法比使用其餘內插法改正的誤差百分比要來的高，內圈改正百分比都在 70%以上。

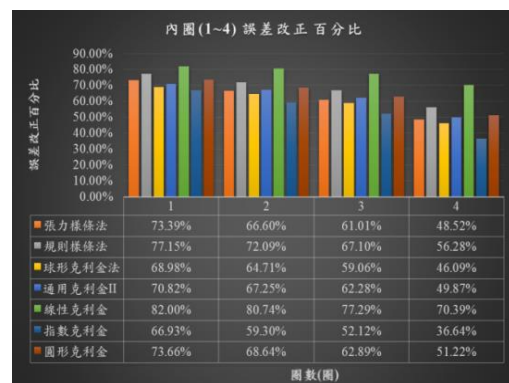


圖 14 內圈誤差改正百分比

### ②中圈誤差改正百分比

從圖 15 可以看出，第 5 圈到第 8 圈各方法的誤差改正效果都不佳，原因是相機拍攝到的中圈(5-8 圈)校正板點位最低極值處的理想值應為零，然而，相機拍攝上與校正板的中圈處點位通常

是無法準確落在變形量為零處，因此在模型推估上才會造成沒有改正為零反而加大推估模型變形量的情形。經比較後，線性克利金法仍比使用其餘內插法誤差改正的效果還要好。



圖 15 中圈誤差改正百分比

### ③外圈（9-12 圈）誤差改正百分比

從圖 16 可以看出，第 10 圈到第 12 圈各方法的誤差改正皆有發揮效用進行一定程度的改正，改正百分比都在 50%以上。然而線性克利金法比使用其餘內插法誤差改正的效果還要好，第9~12圈改正百分比皆維持在70%以上。經過上述的分析無論是校正後各圈點位平均偏移值及各圈點位誤差改正百分比，皆可發現線性克利金法的校正變形模型在校正 Sigma 15mm f/2.8 魚眼鏡頭上有較好的效果，比起其他內插法推估的模型來的精確。經線性克利金法模型校正後平均偏移值為 35.368(pixels)，最高可校正 85.98%的誤差(如圖 16，第 11 圈)。

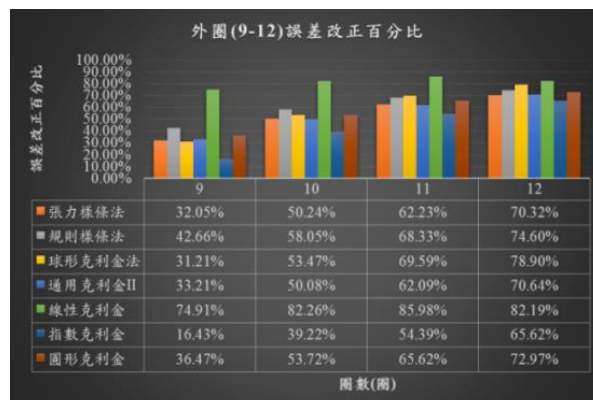


圖 16 外圈誤差改正百分比

## 3.3 短距離率定成果於室外影像校正成果分析

由於本研究的校正變形模型的產製源於 15cm 距離下所拍攝之校正板影像，因考慮各場景所拍攝之距離所產製的變形模型勢必有所不同，在此設計在不同距離拍攝下之場景的直線校正效率(如表 2)，為同樣場景(政治大學綜合院館)於三種不同距離拍攝下的魚眼影像與其對應校正成果，本研究之距離的選定為政治大學綜合院館外有其固定的地板間距，因此選定三處進行比較。

接著將此場景進行校正前及校正後之比較示意圖如圖 17 所示，校正前魚眼影像兩端點連線為橘色線段，其中最大變形量為紅色線段所示，另校正後同樣的將線兩端點連線(橘色線段為理想校正直線)，其變形量如紅色線段，三段不同距離拍攝與現影像經處理量測後如表 3 所示，其誤差改正比如式 16：

$$\frac{|\text{校正前直線變形量} - \text{校正後直線變形量}|}{\text{校正前直線變形量}} \quad (16)$$

表2 不同拍攝距離的魚眼影像校正成果

| 距離(m) | 魚眼影像                                                                                | 校正後影像                                                                                |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.164 |    |    |
| 3.645 |   |   |
| 5.135 |  |  |

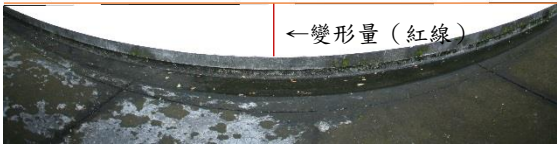
| 校正前                                                                                 | 校正後                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |

圖 17 影像校正前後弧線比較

表 3 不同距離場景的成效分析

| 拍攝距離\比較內容 | 校正前直線變形量   | 校正後直線變形量  | 誤差改正比  |
|-----------|------------|-----------|--------|
| 2.164 m   | 403 pixels | 58 pixels | 85.60% |
| 3.645 m   | 271 pixels | 39 pixels | 85.61% |
| 5.315 m   | 182 pixels | 27 pixels | 85.16% |

由表 3 可知，拍攝距離越遠，其直線變形量越小。探究其原因為同一弧線在越遠拍攝距離下其弧線越接近影像中心，故須調整的變形量相對就比較少。然而如果從誤差改正百分比來分析，不同拍攝距離的改正比例卻相當接近，皆在 85% 內。於此可做出一結論：使用 15cm 率定之變形模型進行校正的成效，在本實驗的測試中，受不同拍攝距離場景影響校正成果的比例並不大。

形。而使用 15cm 率定之變形模型進行校正的成效，在本實驗的測試中，受不同拍攝距離場景影響校正成果的比例並不大。

綜合以上所述，透過本研究之流程方法，利用線性克利金法能夠順利產製 Sigma 15mm f/2.8 魚眼鏡頭的變形模型，其結果比其他方法精度高。

## 參考文獻

### 四、 結論

根據本研究提出之方法與數值實驗成果，歸納出以下結論：

#### (一)、校正板變形影像校正

本研究使用樣條函數法(Spline)與克利金法(Kriging)共九種內插法進行變形模型曲面的推估。在模型建製時間方面，實驗結果顯示兩種方式差異不大，皆能在三分鐘內產製完成。在改正精度方面，結果為線性克利金法產製的校正變形模型在校正 Sigma 15mm f/2.8 魚眼鏡頭上有較好的效果，比起其他內插法推估的模型來的精確。經線性克利金法模型校正後平均偏移值為 35.368(pixels)，最高可校正 85.98% 的誤差量。

#### (二)、真實場景之應用

在真實場景影像方面，進行影像校正還原後，可明顯看出本研究流程能改善 Sigma 15mm f/2.8 魚眼鏡頭造成影像資訊彎曲的情

- [1] 張誠、汪嘉業，2004，「對魚眼照片場景實現三維重建和虛擬瀏覽」，『計算機輔助設計與圖形學學報』，16(1)：80-84。
- [2] 李維民，2009，「以單眼視覺演算實現倒車障礙物偵測與距離估測」，國立交通大學電機學院電機與控制學程碩士論文：新竹。
- [3] 簡大淵，2002，「內視鏡影像序列之自動校正、重構與並灶量測」，國立成功大學資訊工程學系碩士論文：台南。
- [4] 許捷皓，2004，「運用校正板與鏡頭光學參數的內視鏡影像校正法」，中原大學電子工程學系碩士論文：桃園。
- [5] Watson, D. F., & Philip, G. M. ,1985, "A refinement of inverse distance weighted interpolation", Geo-processing, 2(4), 315-327.
- [6] 李清泉, et al. "三維空間資料的即時獲取, 建模與視覺化." 武漢大學學報: 資訊科學版 12 (2003): 98-102.

- [7] Franke, R., 1982, "Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines. " *Computer and Mathematics with Applications*, 8(4): 273–281.
- [8] Noel Cressie , 1990, "The Origins of Kriging," *Mathematical Geology*., 22(3), pp. 239-252.
- [9] Oliver, M. A., 1990, "Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems.", *International Journal of Geographic Information Systems*, 4: 313–332.