

# 基於離散小波轉換聚焦測量的三維影像融合

蘇庭億

朝陽科技大學

資訊管理系研究生

abba8553@gmail.com

戴紹國

朝陽科技大學

資訊管理系教授

sgdai@cyut.edu.tw

## 摘要

本研究以離散小波分解的聚焦測量(focus measure)方法為基礎，計算在相同視野但不同焦距下多張影像的聚焦變化。由於每張影像都是以固定間隔焦距拍攝，所以只要針對視野的每一個部分找出最佳焦距影像，便能得知該部分視野的高度，進而建立該視野的三維模型。實驗中我們以幾種不同的物件，分別取像成型，並且與實際多角度拍攝作為效率比較，另外我們也使用 SMLFM 作為聚焦測量建立三為模型證實離散小波轉換聚焦測量更適合三維影像融合。

**關鍵詞：**離散小波分解、三維影像融合、焦距量測。

## 1. 前言

電腦視覺技術中的影像融合是一項很重要的技術。它能夠提高在各種應用領域的效能，例如物件辨識和影像分割等。此外，影像融合技術可以讓幾張影像的訊息有互補的作用，改善可見度和解析度，並且強化特徵訊息，提高分析正確性，同時在檢測與識別物體時降低錯誤率[1]。目前，影像融合已經成功的應用在許多方面，例如在醫療診斷，遙感探測，多焦距的 CCD 和軍事用途[2、3、4、5]。而三維影像融合則主要是建立二維影像的三維模型，在電腦斷層影像與核磁共振影像上，影像融合與三維重建是很重要的關鍵。近年來，有不少學者在影像融合相關方面之研究提出了各種解決的方法，Li [6]利用離散小波轉換(Discrete Wavelet Transform; DWT)作為基礎的影像融合方法，將對焦區不同的影像以 DWT 做轉換，轉換後會得到四種頻帶低頻、低高頻、高低頻、高頻，來做計算，將兩張影像的相對應係數值做比較，再選出最大的係數值進行融合。離散餘弦轉換(Discrete Cosine Transform, DCT) [7]，將不同對焦區的影像空間域經由運算後轉換成頻率域。Unser 以離散小波轉換作

為基礎提出了進階的離散小波框架轉換(Discrete Wavelet Frame Transform, DWFT)[8]，將經過 DWT 轉換後會得到的子帶(sub-band)影像大小會與原始影像相同。Huang[9]提到一個以計算影像邊緣銳利度為主的方法 Energy of Laplacian (EOL)，是以鄰近四個點的差異為主要的依據，其它鄰近的四個點為輔，來計算主要點周圍的平滑程度，值越大則表示它的平滑程度越小。離散小波轉換聚焦測量(Discrete Wavelet Transform Focus Measure, DWTFM)，是利用 DWT 轉換後的係數，進行聚焦測量，取得最佳聚焦點影像之後，再合成一張清晰的影像。

使用基於小波變換的影像融合方法，必需考慮能夠在沒有損失資訊的狀況下將輸入的影像做處理。以前的研究曾使用計算比較簡單的方法來結合小波係數，像是權重法，選擇最大值甚至做線性及非線性分析。Hong Zhang, Lei Liu 和 Nan Lin[10]提出了一個新的醫學影像融合方法，使用小波係數的基礎上去分析影像能量。Huaixin Chen 提出了以主成分分析法為基礎的影像融合方法[11]。Nikolaos Mitianoudis 和 Tania Stathaki 使用獨立分量分析，發展另一種不同的方法[12]。而最近的研究有些基於分割影像的做法，例如 Yingjie Zhang 和 Liling Ge[13]提出的方法是先區分物件，然後判斷各物件的優先次序。利用這些區域的各種特徵來做計算，以確定其中的圖片哪些特徵需要融合到影像之中。這些研究改進了原有的方法，可以考慮根據影像的特徵，針對不足訊息的來源影像做分割，發展出更有智慧的融合規則。

本論文的無論是空間領域或是頻率領域，當中最重要部份，就是用來測量影像的聚焦測量方法，一個影像融合系統的結果良好與否，這部份佔了相當大的因素，所以近年來有許多的聚焦測量方法被提出來。Subbarao et al.[14][15]提出一個利用灰階影像的變異數(Variance)當作聚焦測量方法，將每一點的值和整張影像的平均值相減，如果得到的值越接近

0，表示該點的值和影像的平均值接近，有可能是較平滑的部份，反之代表該點和平均值差異大，可能是影像中比較清楚的地方。Eltoukhy and Kavusi[16]和 Miao and Wang[17]藉由計算影像梯度的能量(Energy of Image Gradients; EOG)來當作影像融合的聚焦測量方法，藉此得知影像的變化程。

Wei[18]提到一個以計算影像邊緣銳利度為主的方法 Energy of Laplacian (EOL)，這個方法以鄰近四個點的差異為主，其它四個點為輔，計算主要點周圍的平滑程度，值越大則平滑程度越小；另外作者還提到另一個方法 Tenenbaum's algorithm (Tenenbaum)，這個方法主要是利用 Sobel 運算子分別取得 x 軸及 y 軸兩個不同方向的梯度傾斜幅度，以此得知該區域中的影像變化。Nayar and Nakagawa[19]在研究 Laplacian 公式時，意外發現 x 軸的方向及 y 軸的方向如果呈現相反的話，往往會有相互抵消的情形，因此提出了 Sum Modified Laplacian focus measure(SMLFM)方法。Li [20]利用離散小波轉換(Discrete Wavelet Transform; DWT)為基礎的影像融合方法，先將多傳感器所取得的多焦距影像以 DWT 做轉換，再以轉換後的四種頻帶做計算，將多張影像的每個相對應位置的值做比較，以選出各自最大值的方式進行融合。John [21]以雙樹複小波轉換(Dual-tree Complex Wavelet Transform ; DT-CWT)將影像做轉換，然後以區域計算的方式先建立一個區域地圖(region map)，進行區域對區域的比較，再以比較的結果進行影像融合。

我們這篇論文是針對相同視野但不同焦距下多張影像，進行融合來產生三維的模型，可以適用在很多方面，例如體積估量或者三維建模等。本文的章節簡介如下：在第 1 節我們介紹一些重要的相關研究。第 2 節中，提出三維影像融合的方法。在第 3 節我們有一些實驗的範例。最後，第 4 節為結論。

## 2. 研究方法

### 2.1 離散小波轉換聚焦測量(DWTFM)

如果選擇測量焦距的影像部分越小，則三維模型越精細，所以如果使用 SMLFM 之類的焦距量測，會因為檢視部分太小，很容易受到雜訊干擾，造成錯誤的判斷，因此我們選擇 DWTFM 來做為焦距量測的方法，他在小波轉換的過程中，由於母波的長度較長，例如 DB4

就長達 9 的像素，所以它的焦距量測範圍寬很多，得到結果也會比較穩定。

影像經過 DWT 轉換後會得到  $B_{LH}$ 、 $B_{HL}$ 、 $B_{HH}$  及  $B_{LL}$  等四個頻帶，其中  $B_{LH}$  及  $B_{HL}$  為次高頻， $B_{HH}$  為高頻，而  $B_{LL}$  為低頻，因為清晰影像的部份，在高頻及次高頻的值會較高，低頻的值會相對較低，而模糊影像的部份，在高頻及次高頻的值會較高，低頻的值會較低，公式如下：

$$FM(i, j) = \frac{FM_H(i, j)}{FM_L(i, j)} \quad (1)$$

$$FM_H(i, j) = \sqrt{B_{LH}(i, j)^2 + B_{HL}(i, j)^2 + B_{HH}(i, j)^2} \quad (2)$$

$$FM_L(i, j) = B_{LL}(i, j)^2 \quad (3)$$

其中公式(2) $FM_H$ 代表高頻部份的焦距度量，公式(3) $FM_L$ 代表低頻部分的焦距度量，而(1)則將兩者相除取得其比例，如果低頻係數很高，而高頻係數很低，則 FM 會變低，若相對低於其他同範圍但是不同焦距的影像，則表示聚焦比較差。

### 2.2 三維影像融合方法

所以在連續拍攝了 N 張相同視野但不同焦距下的影像  $\{I_i: \text{for } i=1 \text{ to } N\}$ ，每張影像的焦距是固定間隔，如果取得每張影像的相同位置的像素  $\{p_{xyi}: x, y \text{ 是該點座標, } i=1 \text{ to } N\}$ ，並且計算其  $FM_{xyi}$ ，則令第 k 張影像其  $FM_{xyk} = \text{MAX}(\{FM_{xyi}: \text{for } i=1 \text{ to } N\})$ ，則第 k 張的焦距所訂的高度，就是該點的實際位置，當決定出影像中的 k 值，就可以將 N 張影像融合出一個立體的三維模型。然而在實際測試時，計算單點的 FM 非常容易受到單一雜訊的影響，所以我們修改了  $FM_{xyi}$  的計算方式，以  $FM_{xyiw}$  來取代， $FM_{xyiw} = \text{Average}(FM_{x'yi})$ ， $FM_{x'yi}$  是  $p_{x'yi}$  的 FM，而  $p_{x'yi}$  是在視窗 w 內的像素，w 是以  $p_{xyi}$  為中心大小為  $m \times m$  的視窗。因為不太可能單點最佳焦距和其所有鄰居有很大差異，所以如此做法將周圍的聚焦列入考慮，可以避免雜訊干擾，取得更穩定的結果。

然而最適合的焦距點並不具備單一性，圖一是擷取每張影像的同一個座標的  $FM_{xyi}$ ，可以發現從影像編號 73 到 93 都有著差不多但極高的 FM 值，如果單單取最高值應該會造成很不穩定的情形，因為任何一個雜訊就可能造成極高值位置的變換。但是在觀察多組數據之後，我們發現雖然極高值位置不穩定，但是最適焦距的範圍的位置是固定的，所以我們挑選

最佳焦距的方式就修改成以最適範圍的中點位置作為最佳焦距，下面是選擇最佳焦距的演算法：

表 1 OPT-Focus 演算法虛擬碼

```

ALGORITHM:OPT-Focus
INPUT:{  $FM_{xyiw}$  : for  $I=1$  to  $N$ },  $x_a, y_a, T1, T2, T3$ 
OUTPUT: $k$ 
1. Let stage=start
2. Let count=0
3. For  $i=1$  to  $N$ 
  a. Switch (stage)
  b. Case start:
    i. If  $FM_{xyiw} > T1$  then
    ii. count=count+1
    iii. Else
    iv. count=0
    v. If count> $T2$  then
    vi. stage=up
    vii. count=0
    viii. range1=i
  c. Case up:
    i. If  $FM_{xyiw} < T3$  then
    ii. count=count+1
    iii. Else
    iv. count=0
    v. If count> $T2$  then
    vi. stage=down
    vii. range2=i
  d. Case down:
    i. output  $k=(range1+range2)/2$ 
END

```

以下是我們的三維影像融合演算法，其中  $fl$  是每張影像焦距間隔的實際高度：

表 2 3D-image-Fusion 演算法虛擬碼

```

ALGORITHM:3D-image-Fusion
INPUT: { $I_i$  : for  $I=1$  to  $N$ },  $w, fl$ 
OUTPUT: $F$  //fused 3D model
1. calculate  $FM_{xyi}$  from  $I_i$ 
2. for every  $(x,y)$  in  $I$ 
  a. finding  $FM_{xyiw}$ 
  b. select optimal  $FM_{xyiw}$  by OPT-Focus for all  $I_i$  as  $FM_{xykw}$ 
  c. put  $k*fl$  into  $F(x,y)$ 
3. reshape  $F$  as output
END

```

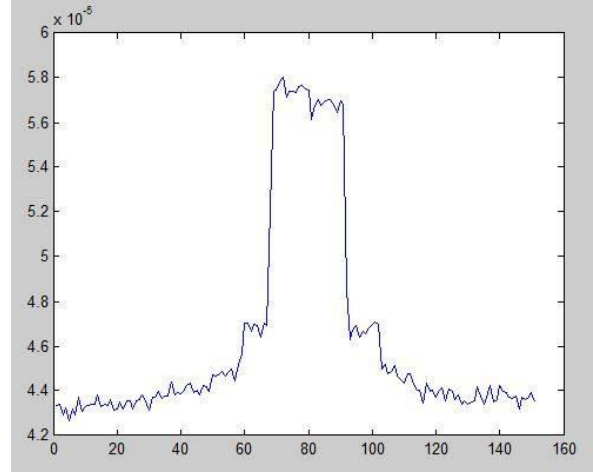


圖 1 每張影像的同一座標的  $FM_{xyi}$ ，X 軸為影像編號，Y 軸為  $FM_{xyi}$ 。

### 3. 實驗結果

#### 3.1 實驗設備

實驗影像以彩色變焦相機 The Imaging source DFK Z30GP031 進行拍攝，個人電腦 (Inter Core Quad i7-4510U CPU, 4GB RAM) 進行實作，並利用 Matlab(版本 2012a)所提供之影像處理工具為基礎撰寫方法。相機焦距設定為 1 至 300 點，當焦距越小，使離鏡頭越近的則成像越明顯，當焦距越大時，使離頭越遠的則明顯，其間距每兩點取一張，圖片大小為 1024\*768，共 150 張。

#### 3.2 實驗流程

第一部份預先計算所有影像的聚焦量測：先把全部的原始影像轉成灰階圖，因為灰階圖只有單一數值比較好處理，先把全部的灰階圖做 DWTFM 處理，再依圖片順序把 DWTFM 處理後獲得的數值繪製波形，再從波形中，找出最佳成像的範圍。

第二部份找出最適合的  $W$ ：把灰階圖切不同的視窗大小，再做 DWTFM 處理，再依圖片順序把 DWTFM 處理後獲得的數值繪製波形，再從波形中，定義出最佳成像的範圍且與全圖的波形的範圍比較，找出符合在全圖波形的範圍且最小的視窗大小。

第三部份計算最後的聚焦量測值產生三維模型：針對每一個點根據前一步驟所得到的視窗大小，計算出最後聚焦量測值，再找出最佳聚焦值的影像，融合出三維模型。

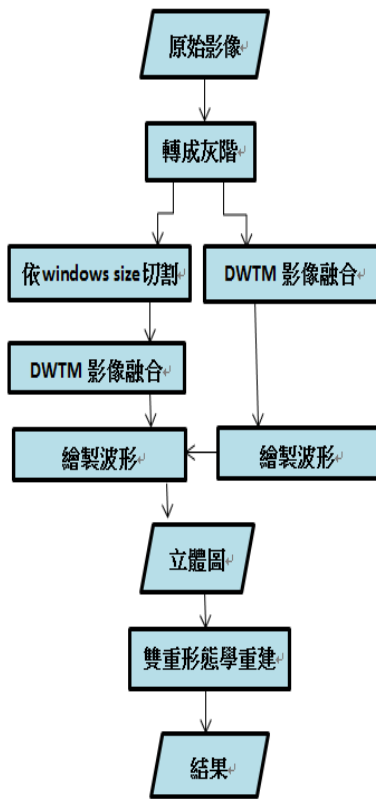


圖 3 實驗流程圖。

### 3.3 實驗結果與討論

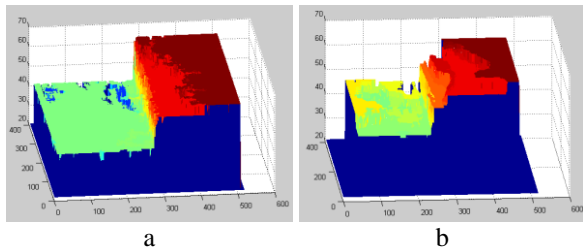


圖 3 windows size 比較。

圖 3(a)是 windows size 為 10\*10，圖 3(b)是 windows size 為 50\*50。

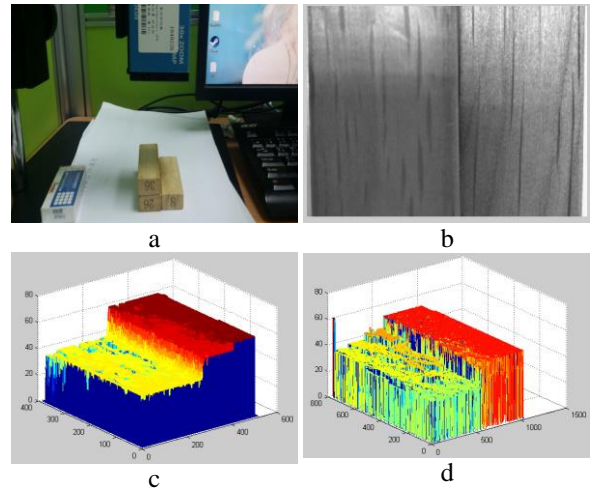


圖 4 第一組實驗。

圖 4(a)是物體在相機拍攝時的照片，圖 4(b)是鏡頭由上往下拍時的照片，圖 4(c)是融合的結果，圖 4(d)為 SML 方法融合的結果。

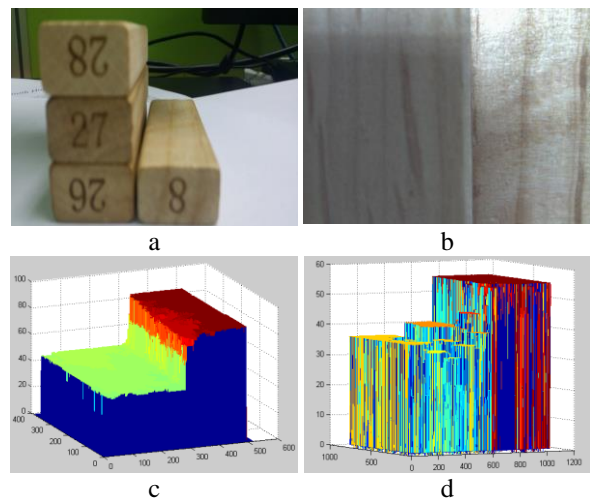


圖 5 第二組實驗。

圖 5(a)是物體在相機拍攝時的照片，圖 5(b)是鏡頭由上往下拍時的照片，圖 5(c)是融合的結果，圖 5(d)為 SML 方法融合的結果。

實驗是使用積木排成不同形狀來做測試，共三組實驗組，第一組是用三個積木排成的 L 形，第二組是用四個積木排成的 L 形，第三組是用四個積木排成的凸形；依第一組實驗結果，依圖 4 所示，兩個融合結果皆趨近物體的形狀，但此方法的融合結果比 SML 的融合結果更為完整，如圖 4(c、d)；依第二組實驗結果與第一組實驗結果，此方法的融合結果比 SML 融合結果的三維圖更為接近物體的形狀，圖 4(c、d)、圖 5(c、d)。

## 4. 結論

本篇論文目的在於利用三維影像融合的技術，使物體可透過二維的平面圖融合成三維的立體模型，基於離散小波轉換的頻率域影像融合聚焦測量方法，利用離散小波轉換每個頻帶代表的不同意義，計算出清晰的區域及的區域，藉此融合多張同位置但不同焦距的影像，將多張影像的所有聚焦清楚部分焦距產生一個三維影像模型，實驗結果證實方法可行，且 DWTFM 確實適合以焦距為基礎的三維影像融合。

## 致謝

本論文感謝科技部計畫編號：MOST103-2632-E-324-001-MY3 的支持，特此申謝。

## 參考文獻

- [1]. Zhang, H., Liu L., and Lin N., "A Novel Wavelet Medical Image Fusion Method," International Conference of Multimedia and Ubiquitous Engineering, pp.548-553, 2007.
- [2]. Gabarda, S. and Cristobal, G., "Cloud Covering Denoising Through Image Fusion," Image and Vision Computing, Vol. 25, pp. 523-530, 2007.
- [3]. Pajares, G. and Manuel de la Cruz, J. "A wavelet-based image fusion tutorial," 隊的 Pattern Recognition, Vol. 37, Issue 9, pp. 1855-1872, 2004.
- [4]. Zhang, H., Liu L., and Lin N., "A Novel Wavelet Medical Image Fusion Method," 錯的 International Conference of Multimedia and Ubiquitous Engineering, pp.548-553, 2007.
- [5]. Zhang, Z. and Blum, R.S., "A Categorization of Multiscale Decomposition-based Image Fusion Schemes with a Performance Study for a Digital Camera Application," International journal of the IEEE, Vol.8, pp. 1315-1326, 1999.
- [6]. A. Moragas, M. Garcia-Bonafe, I. de Torres, and M. Sans, "Textural Analysis of Lymphoid cells in serous effusions. A Mathematical Morphologic Approach," Analytical and Quantitative Cytology and Histology, Vol. 15, No. 3, pp. 165-170, 1993
- [7]. A. Nasser Esgiar, R.N.G. Naguib, B.S. Sharif, M.K. Bennett, and A. Murray, "Microscopic Image Analysis for Quantitative Measurement and Feature Identification of Normal and Cancerous Colonic Mucosa," IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 2, No. 3, pp. 197-203, 1998
- [8]. Edmonson H and Steiner P. Primary, "carcinoma of the liver: a study of 100 cases among 48900 necropsies," Cancer, Vol. 7, No. 3, pp.462-503, 1954
- [9]. Gabarda, S. and Cristobal, G., "Cloud Covering Denoising Through Image Fusion," Image and Vision Computing, Vol. 25, pp. 523-530, 2007.
- [10]. Hong Zhang ; Jilin Univ., Changchun ; Lei Liu ; Nan Lin, "A Novel Wavelet Medical Image Fusion Method," International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2007. MUE '07.
- [11]. A. Moragas, M. Garcia-Bonafe, I. de Torres, and M. Sans, "Textural Analysis of Lymphoid cells in serous effusions. A Mathematical Morphologic Approach," Analytical and Quantitative Cytology and Histology, Vol. 15, No. 3, pp. 165-170. 1993
- [12]. H. Li, B. S. Manjunath, and S. K. Mitra, "Multisensor Image Fusion Using the Wavelet Transform," Graphical Models and Image Processing, Vol. 57, No. 3, pp. 235-245, 1995
- [13]. Linda G. Shapiro and George C. Stockman, Computer Vision. Prentice Hall. 2001
- [14]. Murali Subbarao, Tae Choi, and Arman Nikzad, "Focusing Techniques," Journal of Optical Engineering, pp.2824-2836, 1993
- [15]. Murali Subbarao and Jenn-Kwei Tyan, "Selecting the optimal focus measure for autofocusing and depth-from-focus," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 20, No. 8, pp.864-870, 1998
- [16]. Helmy A. Eltoukhy and Sam Kavusi , "A Computationally Efficient Algorithm for Multi-Focus Image Reconstruction," Proceedings of SPIE Electronic imaging, pp. 332-341, 2003
- [17]. Qiguang Miao and Baoshu Wang, "A Novel Adaptive Multi-focus Image Fusion Algorithm Based on PCNN and Sharpness," Proceedings of SPIE, Vol. 5778. pp. 704-712, 2005
- [18]. Wei Huang and Zhongliang Jing,

“Evaluation of focus measures in multi-focus image fusion,” *Pattern Recognition Letters*, Vol. 28 , pp. 493–500, 2007.

- [19]. Murk J. Bottema, “Circularity of Objects in Images,” *The 2000 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. 6, pp. 2247-2250, 2007
- [20]. [Online]. Good Liver Global Information: <http://www.liver.org.tw/index.php>
- [21]. John J. Lewis, Robert J. O’Callaghan, Stavri G. Nikolov, David R. Bull, and Nishan Canagarajah, “Pixel-and region-based image fusion with complex wavelets,” *Information Fusion*, Vol. 8, No. 2, pp. 119-130, 2007