

大尺寸平面量測的影像接合法

蘇彥禎
工研院量測中心
YJSu@itri.org.tw

摘要

本論文提出一個用軟體來接合影像的演算方式，並以多張影像的接合，來達到大尺寸平面量測的目的。運算時，我們先以平整化的計算來校正傾斜(tilted)的待測物；然後以相關係數(correlation coefficient)比對影像可能重疊的部份，找出最佳接合位置；最後再將影像疊合(diffuse)。本演算方式能有效克服硬體結構的不穩定所造成的傾斜、以及載台移動時精確度不足的問題；另外，此方法很容易實做、而且有很快的運算速度，很適合應用在實際量測上。

關鍵字：大尺寸平面量測、影像接合、自動化

壹、前言

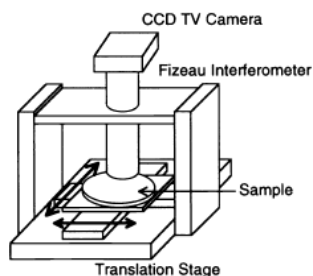


圖 1：大尺寸平面量測的基本架構，以水平、和垂直載台，調整待測物的量測位置。

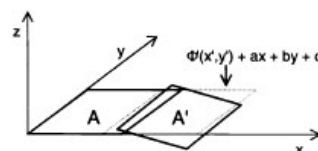


圖 2：兩次的量測，A 和 A' 要接合，必須校正座標原點，以及做傾斜(tilt)修正。

現今顯微量測技術發展的重點，除了精度要夠細密、掃描速度要夠快、自動化的功能要夠完整外，大行程、大尺寸的量測是另一個普遍獲得重視的發展方向。要進行大尺寸的量測，提升元件的規格(如加大物鏡)是一個做法；然而這麼做除了開發成本會大量增加之外，硬體本身也有它的極限存在，因此以軟體的方式，將多次量測後的各張影像校正並接合，是一個較常被採用的方式，各家儀器開發大廠，如 FOGALE、SNU、Taylor-Hobson、Veeco、Zygo 等，均推出據有接合功能的機台。

影像接合的應用可分為：平面(plane)量測、與非平面(non-plane)量測(包括球面與非球面)兩部份。非球面量測較為複雜，因為相對之下待測物的曲率比它的表面形貌大非常多，所以通常需要旋轉測頭或是待測物，以避免超出量測範圍的情況，而這種空間中多維度的變化，不僅機構設計上較難處理，也是造成影像接合困難的主要原因。

本論文處理的問題限定在平面量測上，儀器的架構如圖一所示，其中測頭的部份可以是光干涉儀，也可以是接觸式的構造，量測方式是藉由水平和垂直載台的移動，來調整待測物的量測位置。影像接合時所要克服的問題如圖二所示，圖中 A 和 A' 是兩次量測的結果，它們的座標原點會因為量測載台的移動而產生位移；也會因為機構的不穩定性，而必需考慮載台移動時的精確度、以待測物傾斜的問題。

我們提出一個以軟體的方式進行影像接合的方法，可以修正機構上的不穩定性，而且具有很快的運算速度。本論文的架構，第一章為前言；第二章為相關研究方法；第三章為研究成果；第四章為結論與建議；最後一章為參考文獻。

貳、相關研究方法

要增加影像疊合的精確度，主要的處理方式分成硬體及軟體兩方面：硬體上，是以精密的元件來架設機構，使得量測時儀器的誤差能在特定的範圍之內，但是更精密的機構代表儀器的成本和儀器的複雜度會有所增加；而軟體上，則是以演算法來修正對位的誤差。

[Besl]提出的 Iterative Closest Point (ICP)是一種適用於三維空間對位、且具有普遍性的演算方式，經過[Rusinkiewicz]統整後，將本演算法分成以下各階段：

1. 資料群中，取樣點的選取；
2. 兩比資料中，取樣點的對映；
3. 對映後，對於相似度的權重計算；
4. 差距過大取樣點的去除；
5. 誤差矩陣(error metric)的設定；
6. 最小化誤差矩陣。

演算時以疊代(iteration)的方式不斷地重覆以上諸步驟，直到將誤差收斂至一個可以接受的穩定值為止，其中，每個階段的動作都有許多人所提出的不同演算法可供選擇，必須視應用上對於執行速度、記憶體空間、以及資料本身的特性而定。根據[Rusinkiewicz]所做的分析，即使 ICP 這麼強大的演算法，還是有它的極限存在，例如沒有明顯特徵的形貌就會造成它運算時的不穩定性，使得演算發散，誤差無法收斂，而這種沒有明顯特徵的現象卻普遍存在於微小結構的量測之中，因此不適合運用這個演算法來做量測資料的接合。

另外，[Lewis]是從傳統的影像處理方式出發，將正規化互關聯函數(normalized cross-correlation)[Gonzalez]的計算，以傅立葉轉換(Fourier transformation)、和查表的方式加速其運算，使得快速的正規化影像比對變成可行，因此可以應用來接合具有重疊部份的兩張影像。[Fitch 2002]則是提出以梯度(gradient)的比較為基處的影像比對演算法，這種方式更具有一般性(robust)，不需要事先估計影像間重疊的地方、以及其佔有的比例，而且對雜訊有比較高的容忍度；[Fitch 2005]更進一步提出，以關聯函數(correlation)為基礎的一般化演算方式。

而[蘇 1]是根據資料的特性進行後處理，針對增亮膜(Brightness Enhancement Film, BEF)，本論文根據其週期性及規則性，以 Hough 轉換、及最小平方法，將傾斜的量測資料轉正，再將其疊合。[蘇 2]則是以模型套疊的方示，由已知的模型做修正，增加量測的精確度。

在接合後的校正上，[Otsubo]使用最小平方法(least square method)[Cheney]，在平面量測的接合時，消除待測物因為傾斜(tilt)所產生的誤差。[Fleig]則將這個方法推廣到非平面量測的接合上。

參、研究成果

如圖一所示，經由機構的輔助，我們可以獲得影像於空間中的相互關係，因此本論文的基本假設為：

1. 各張影像間的相對位置為已知；
2. 影像重疊的部份所佔的大約比例為已知，

而我們的實做流程為：

1. 以最小平方法消除傾斜的誤差；
2. 配合機構提供的資訊，找出影像重疊的部份；
3. 以正規化互關聯函數，在另一張影像中找出重疊部份的所在位置；
4. 根據重疊的資訊，調整影像的相對高度，將兩張影像做疊合。

各個步驟將於後面做詳細的說明。

一、以最小平方法消除傾斜的誤差

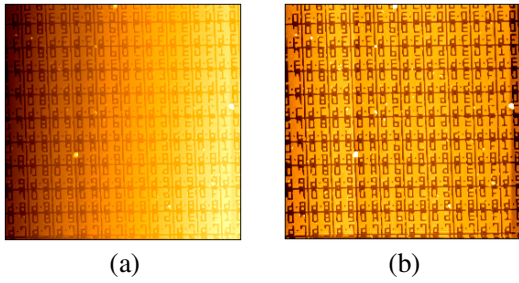


圖 3：(a)含有傾斜誤差的原始影像；(b)以最小平方方法消除傾斜後的結果。

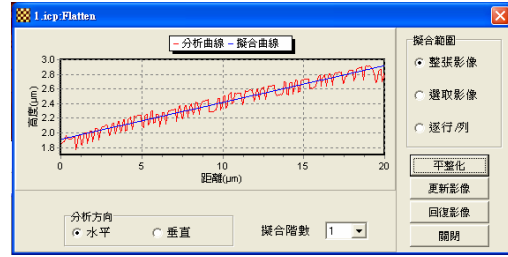


圖 4：程式的演算過程，以最小平方方法找出擬合平面。

我們以整張影像的資料，配合最小平方方法，去推算擬合平面，再將影像的資料點與此擬合平面相減，即可將傾斜扳正。如圖三所示，(a)為量測的影像，(b)為處理後的結果；圖四則為程式執行的介面，紅線量測的剖面圖(profile)，藍線則為擬合平面。

二、配合機構提供的資訊，找出影像重疊的部份

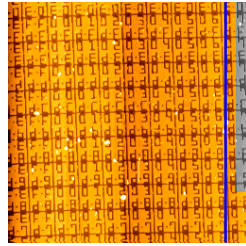


圖 5：藍線的區域內，為影像可能的重疊範圍；灰色的部份，則是用來比較的影像。

如圖五所示，為了保證用來比較的影像，一定全部位於另一張影像中，所以選擇時，會稍微縮小可能的重疊範圍，圖中，灰色的影像即位於藍色的區域內。

三、以正規化互關聯函數，在另一張影像中找出重疊部份的所在位置

我們實做[Lewis]的演算法，以正規化互相關函數來做相似度的計算，正規化互相關函數的公式如下所示：

$$\gamma(u, v) = \frac{\sum_{x,y} [f(x, y) - \bar{f}_{u,v}] [t(x - u, y - v) - \bar{t}]}{\left\{ \sum_{x,y} [f(x, y) - \bar{f}_{u,v}]^2 \sum_{x,y} [t(x - u, y - v) - \bar{t}]^2 \right\}^{0.5}} \quad (1)$$

其運算結果會介於-1 到 1 之間，值越大則影像的相似度越高，經過[Lewis]的加速，正規化互相關函數的演算速度已獲得大幅提升。如圖六所示，為正規化互相關函數的運算結果，相對於最大相似度的 X、Y 座標，即為影像疊合的所在位置，圖七所展示，為兩張影像對位的過程。

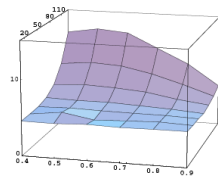


圖 6：正規化互關聯函數所比對的相似度結果。

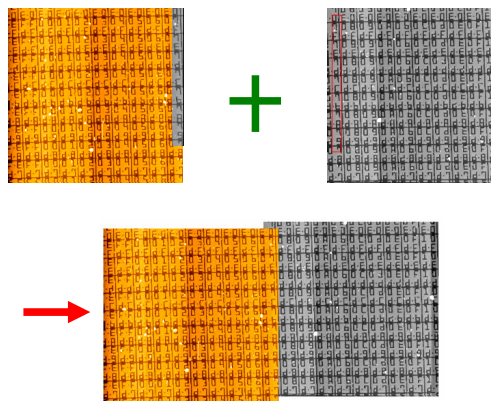


圖 7：以可能的重疊範圍，在另一張圖片中做比對。其中，紅色的框線為重疊範圍比對後的所在位置；再將第一張影像疊何在這個位置上，即完成接合的動作。

四、根據重疊的資訊，調整影像的相對高度，將兩張影像做疊合

因為精微量測的結果為相對高度，所以影像對位後，相同位置的高度值並不一定會相等，此時要透過一個等化(correlate)的步驟，將相同位置的高度值調成相等，這個步驟，可利用最小平方法，找出誤差最小的等化參數。經過等化後，就完成影像接合的動作了。

肆、結論

本演算法以四次量測的結果做為測試，四次的影像其相對的空間關係如圖八所示；圖九為影像 1 與 4 的接合過程；圖十為影像 1 與 2 的接合過程；圖十一為影像 3 與 4 的接合過程；圖十二為整體的接合結果。

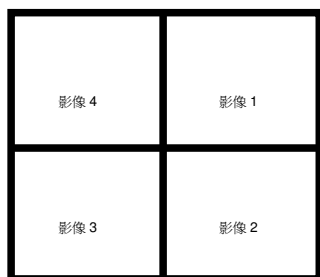


圖 8：影像的在空間中的相對關係。

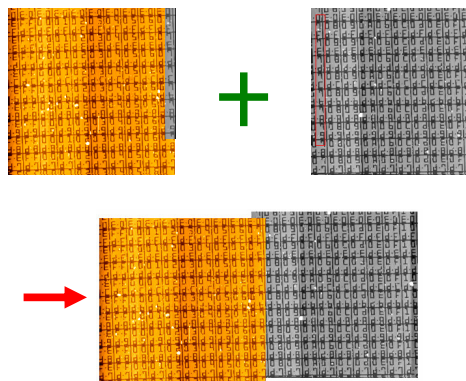


圖 9：影像 1、4 的接合。

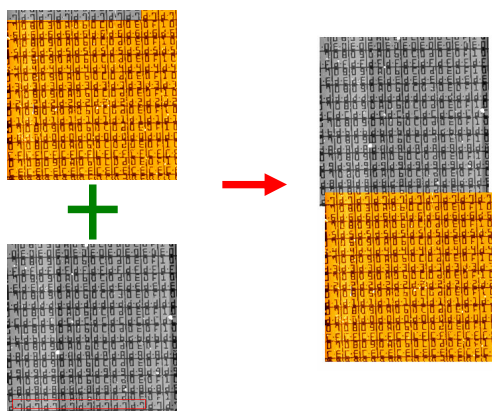


圖 10：影像 1、2 的接合。

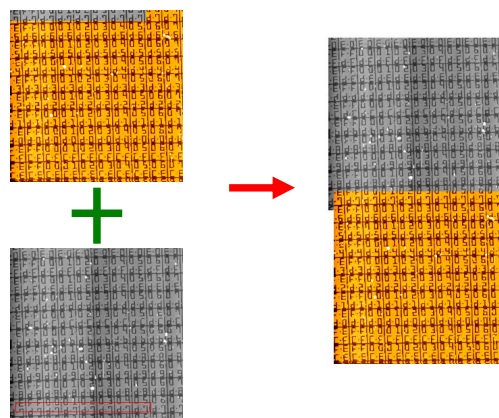


圖 11：影像 3、4 的接合。

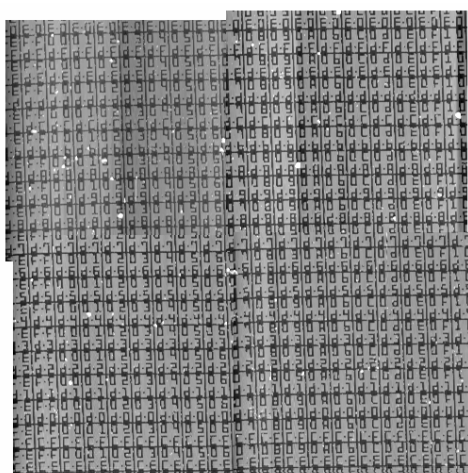


圖 12：影像 1、2、3、4 的接合。

由此可知，本演算方式能有效克服硬體結構的不穩定所造成的傾斜、以及載台移動時精確度不足的問題；另外，此方法很容易實做、而且有很快的運算速度，很適合應用在實際量測上。

伍、參考文獻

1. 蘇彥禎 (2007), 增亮膜表面形貌的三維影像重建, *AOIEA*.
2. 蘇彥禎 (2007), 無效量測資料的理想形貌模擬, *AOIEA*.
3. Besl, P. J., and McKay, N. D. (1992), A Method for Registration of 3-D Shapes, *Trans. PAMI, IEEE*, 14(2), pp. 239-256.
4. Cheney, W. and Kincaid, D. (2004), Numerical Mathematics and Computing, *Brooks Cole*.
5. Fitch, A. J., Kadyrov, A., Christmas, W. J., and Kittler, J. (2002), Orientation Correlation, *BMVC*, pp. 133-142.
6. Fitch, A. J., Kadyrov, A., Christmas, W. J. and Kittler, J. (2005), Fast Robust Correlation, *Trans. Image Processing, IEEE*, 14, No. 8, pp. 1063-1073.
7. Fleig, J., Dumas, P., Murphy, P. E., and Forbes, G. W. (2003), An automated subaperture stitching interferometer workstation for spherical and aspherical surfaces, *SPIE*, 5188, pp.296-307.
8. Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2002), Digital Image Processing, *Prentice Hall*.
9. Lewis, J. P. (1995), Fast Normalized Cross-Correlation, *Vision Interface*, pp. 120-123.
<http://www.idiom.com/~zilla/Work/nvisionInterface/nip.html>.

10. Otsubo, M., Okada, K., and Tsujiuchi, J. (1994), Measurement of large plane surface shapes by connecting small-aperture interferograms, *Optical Engineering*, 33, pp. 608-613.
11. Rusinkiewicz, S., and Levoy, M. (2001), Efficient Variants of the ICP Algorithm, *3DIM*, pp. 145-152.