增亮膜表面形貌的三維影像重建

蘇彥禎 工研院量測中心 YJSu@itri.org.tw

摘要

本論文提出一個針對增亮膜的量測,以軟體修正、並重建其表面形貌的演算方式。對於一般擺動探頭的量測結果,我們會利用增亮膜的結構上的特性,先以 Hough 轉換來對正量測影像;再以最小平方法擬合出增亮膜的傾斜平面,平面的傾斜度即量測時探頭旋轉的角度,將資料以這個角度反轉,就是它真正的形貌;最後再由系統提供對位點,將多張影像疊合(diffuse),就可重建出完整的三維形貌。本方法容易實做、而且具有好高的便利性,很適合應用在實際量測上。

關鍵字:增亮膜、影像重建、自動化

壹、前言

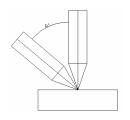


圖 1: 光學量測的基本架構, 先將測頭擺動到各個適當的角度, 得到多次量測結果, 再由軟體進行 3 維重建。

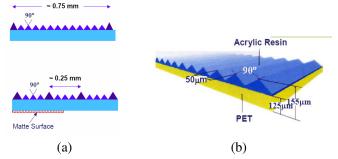


圖 2:(a)為增亮膜的側視圖,其結構具有穩定的週期性; (b) 為增亮膜的 3 維示意圖。

在微小結構物的量測上,光干涉技術因為具有快速、精細度高、以及非破壞性檢測等優點,而普 遍地被應用,但是對於傾斜度過高的表面形貌,則會因為反射光的角度過大,無法被感應設備正確地 偵測到,而發生量測資訊不足的現象。

習知的處理方式,是將待測物或量測儀器位移、並擺動至特定的角度進行測量,而得到多張量測影像;然後由位移量及擺動的角度推算每張量測影像的空間關係;再根據彼此的關連性,疊合出最後的結果。圖一為擺動探頭的量測架構,量測環境如:旋轉中心、旋轉半徑、旋轉角度等,都要提供給三維重建運算。

以精密的元件來架設機構,可以將量測時儀器的誤差限定在一定的範圍之內,而確保有精確的環

境參數,但是如此一來儀器的成本和複雜度就會有所增加。有鑑於此,本論文嘗試利用增亮膜 (Brightness Enhancement Film, BEF)結構上的特性(如圖二所示,增亮膜的結構簡單、而且具有週期性), 在有限的硬體輔助下,以軟體自動修正量測誤差,並重建其表面形貌。

我們提出一個針對增亮膜的量測,以軟體修正、並重建形貌的演算方式,量測系統只要提供位移 對位點即可,具有高度的便利性。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

互關聯函數(cross-correlation)、及其正規化的表示法,是傳統影像處理[Gonzalez]上常用的比對方式,[Lewis]以此為出發點,將正規化互關聯函數(normalized cross-correlation)的計算,以傅立葉轉換(Fourier transformation)、和查表的方式進行加速,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平面量測上,具有重疊部份的兩張影像。[Fitch 2002]、及[Fitch 2005]則分別提出以梯度(gradient)、和以關聯函數為基礎,更一般性(robust)的演算法。

在三維空間校正上,[Besl]提出的 Iterative Closest Point(ICP)是一種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。但是根據[Rusinkiewicz]所做的分析,即使IC仍有其極限存在,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[蘇 1]是利用相關係數(correlation coefficient)比對影像間重疊的部份,以最佳的接合運算,來提升形貌重建的精確度。[蘇 2]則是先建立出待修補區域的理想模型;再根據已知的資料點,將此模型套疊到量測結果中,藉此以重建出量測結果的無效區域。

在接合後的校正上,[Curless] 是以 weighted function 來疊合多張影像,根據分析,這麼做能在影像間產生最小的平方誤差。而[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]則進一步推展[Ostubo]的演算法,將它應用到非平面(包含球面與非球面)量測的接合上。

參、研究成果

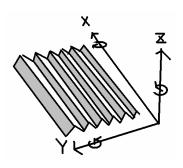


圖 3: 本論文所使用,座標關係的示意圖。

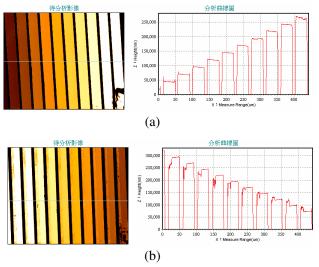


圖 4:(a)測頭擺動-30 度的量測結果;(b)測頭擺動 30 度的量測結果。

為了方便說明,在這篇論文,我們制定空間中的座標關係,如圖三所示。

擺動測頭所量測到的原始結果如圖四所示,可以發現的 Z 軸旋轉偏移的現象,雖然其偏移的角度不大,對成像的影響卻非常顯著;另外測頭擺動角度的還原、以及影像間的對位,都是必須克服的問題。本演算法的處理流程為:

- 1. Z 軸旋轉校正;
- 2. X 軸旋轉校正;
- 3. X、Y 位移(offset)對位;
- 4. 影像疊合。

各個步驟將於後面做詳細的說明。

一、Z 軸旋轉校正

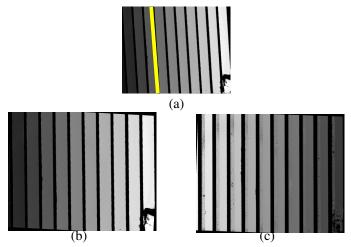


圖 5:(a)Hough 轉換找到的直線;(b)-30 度量測 Z 軸校正的結果;(c)30 度量測 Z 軸校正的結果。

我們以 Hough 轉換[Gonzalez][Duda],找出增亮膜的邊界線,如圖五 a 所示,由直線的方程式可以推算出 Z 軸旋轉偏移的角度,只要將對影像反轉這個角度,即可完成 Z 軸旋轉校正,如圖五 b、五 c 所示。

二、X軸旋轉校正

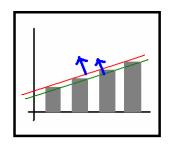


圖 6: 最小平方法校正的示意圖。

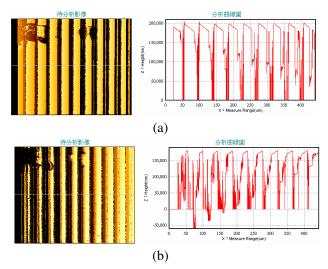


圖7:(a)、(b)X 軸旋轉校正後的結果。

將 Z 軸旋轉校正後的資料,以平面方程式,做最小平方法[Cheney\的擬合,根據這個方程式,可推算出測頭真正擺動的角度,如圖六所示,只要對影像反轉這個角度,即可完成 X 軸旋轉校正,如圖七所示。

三、X、Y位移對位

關於 X、Y 位移校正的自動化,因為增光膜結構的規則性、及週期性、以及量測影像間戶相沒有疊合的部分,實做上,這步驟目前仍然依賴機構提供較為精確的資訊。將來可以考慮用輔助的定位點(如相對不動的雷射光點)[蘇陳],做為自動化的參考標的。

四、影像疊合

因為精微量測的結果為相對高度,所以 X、Y 位移校正後,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,就完成疊合的動作了,如圖八所示。

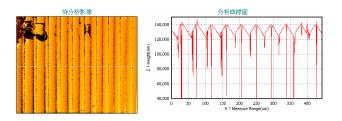
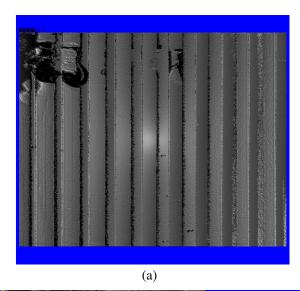


圖 8: 影像疊合的結果。

肆、結論



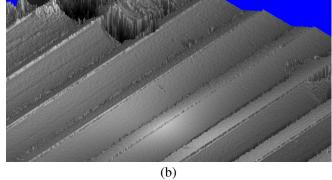


圖 9:(a)、(b)重建後的三維影像。

如圖九所示,即為影像重建後,增光膜的三維成像結果。由此可知,本方法容易實做、而且具有好高的便利性,很適合應用在實際量測上。

伍、參考文獻

- 1. 蘇彥禎 (2007), 大尺寸平面量測的影像接合法
- 2. 蘇彥禎 (2007), 無效量測資料的理想形貌模擬.
- 3. 蘇彥禎 (2007), 陳俊賢, 表面形貌量測方法及其裝置, 專利申請.
- 4. Besl, P. J., and McKay, N. D. (1992), A Method for Registration of 3-D Shapes, *Trans. PAMI, IEEE*, 14(2), pp. 239-256.

- 5. Cheney, W. and Kincaid, D. (2004), Numerical Mathematics and Computing, Brooks Cole.
- 6. Curless, B., and Levoy, M. (1996), A Volumetric Method for Building Complex Models from Range Images, *SIGGRAPH'96*, *ACM*, pp. 303-312.
- 6. Duda, R., and Hart, P. E. (1972), Use of the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures, *Communication, ACM*, 15, pp. 11-15.
- 7. Fitch, A. J., Kadyrov, A., Christmas, W. J., and Kittler, J. (2002), Orientation Correlation, BMVC, pp. 133-142.
- 8. Fitch, A. J., Kadyrov, A., Christmas, W. J. and Kittler, J. (2005), Fast Robust Correlation, *Trans. Image Processing, IEEE*, 14(8), pp. 1063-1073.
- 10. Fleig, J., Dumas, P., Murphy, P. E., and Forbes, G. W. (2003), An automated subaperture stitching interferometer workwstation for spherical and aspherical surfaces, *SPIE*, 5188, pp.296-307.
- 11. Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2002), Digital Image Processing, Prentice Hall.
- 12. 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.
- 13. Rusinkiewicz, S., and Levoy, M. (2001), Efficient Variants of the ICP Algorithm, 3DIM, pp. 145-152.