無效量測資料的理想形貌模擬

蘇彦禎	張樂融
工研院量测中心	工研院量测中心
YJSu@itri.org.tw	lehrong@itri.org.tw

摘要

形貌的量測,會因為儀器本身、外在環境、或傳輸時的干擾等諸多因素,而產生無效的量測資料, 因此本論文提出一種重建表面形貌的演算法,來修補並改善量測結果。

這個演算法結合了電腦圖學的概念,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,而完成重建的運算。我們將這個演算法應用於 LCD 面板量測後,對 spacer 的重建上,將重建結果與掃描式電子顯微鏡的量測資料相互對照,藉以驗證此演算法的精確性,並且 因為本方法具有簡單、快速等特性,所以非常適合運用於實際量測上。

關鍵字:資料重建、破損修補、自動化

壹、前言



圖 1:(a)以掃描式電子顯微鏡量測,LCD spacer 的真正形 貌,為山丘狀;(b)白光干涉儀對 spacer 的量測結果,邊緣 的部份因為反射光無法被偵測,而產生無效的量測資料。

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,而普遍地被應用於微小結構物 的量測中,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。如圖一所示,(a)為以掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)所量得,LCD(Liquid Crystal Display) spacer 的真正形貌,原本應該為山丘狀,但是 因為邊緣的部份傾斜度過高(大於 20 度),而使得以白光干涉儀量測時,產生如(b)的無效(null)量測資 料。

習知的處理方式,是以數值方法[Cheney]對既有的資料做擬合,再根據擬合曲線或曲面來重建未 知的資料:其中最小平方法(least squares method)是一個常見方式,使用上必須先估計擬合曲線的幕 次,再根據最小誤差的原則,由已知的資料推算符合此幕次的最可能解;另外,spline 也廣範被應用, 它以多個具有連續性質的方程式來做擬合,其中幕次為3的 cubic spline 更是經過理論分析後,最能完 整重建原始資料的運算式。

然而最小平方法最明顯的缺點是,一個多項式能表現的形貌有限,並不適用於所有可能的情形; spline 則是容易受到資料雜訊的影響,而發生擾動(oscillation)的現象,實做時雖然可以將資料做低通 濾波,但是如此一來也更動了原始的量測結果。

有鑑於一般性的方法所遭遇到的困難,我們提出一套演算法,能在光學量測後,根據有限的已知 資料,重建出光學限制下,高傾斜度形貌所遺失的資訊,並且能兼顧:重建的精確度、執行的速度、 不易受雜訊干擾的穩定度、以及表面形貌的普遍性等要素。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

[Carr]是一篇在資料重建上大量被引用的論文,它使用能同時顧及精細度及平滑效果的 radial basis functions 來計算空間對映的 implicit function,再以 implicit function 重建資料。其突破之處在於計算 implicit function 時,減少 radial basis functions 的計算量、並加速計算,使得大量的量測資料(30多萬 個資料點),能在可容許的時間內(3分鐘),得到計算結果;並提供一個調整平滑度的參數,讓使用者 得以對 implicit function 做完整的控制;最後再利用 marching cubes 的方法[Lorensen][Treece],由 implicit function 重建出曲面的 iso-surface。

而[Davis]是引用[Curless]中 distance function 的概念,提出以 diffusion 延伸待建形貌的 distance function,再用 marching cubes 在 distance function 中撷取 iso-surface,並以此重覆地 進行疊代,直到重建出完整的表面輪廓為止。這個方法的好處是,它只需要對待建形貌附近 的資料點做運算,使用的儲存空間比[Carr]的演算法小很多;另外它的演算的方式也比較簡單。

另外,[Nooruddin]是將二維影像的處理方式,推廣到三維資料中,首先他們用自己提出的方式將 表面輪廓轉換成體素(voxel),以免除薄殼化(thin-shlled)的情況;然後用 distance function 加速影像處理 [Gonalez]常用的閉合演算(closing),將無效資料補起來;最後再以 marching cubes 重建 iso-surface。這 個方法的運算方式簡單,重建後的資料較為平滑,但是演算時必須用到所有的資料點。

[Pauly]則是以資料庫儲存所有的模型,運算時將待建輪廓與資料庫比對,選出最接近的模型;並 根據最小化誤差的原則,調整模型的架構,然後套疊在待建輪廓上,而完成重建;最後再將重建的結 果回饋給資料庫,以擴充其內容。這個方法有別於其他演算法最大的優點是,無效待建資料的範圍可 以很大;但是要如何有效調整已知模型,則是實做的問題所在。

同樣利用資料的特性,[蘇1]是聚焦在增亮膜(Brightness Enhancement Film, BEF)的處理上,根據 其週期性及規則性,本論文以 Hough 轉換、及最小平方法,將傾斜的量測資料轉正,再以多張量測影 像重建出三維形貌。[蘇1]則是以相關係數(correlation coefficient)比對影像間重疊的部份,藉此提升形 貌重建的精確度。

参、研究成果

本論文將[Pauly]的方法應用於量測 LCD 面板後, spacer 的重建上,如圖一所示, spacer 的邊緣部 份因為傾斜度過高,而產生無效資料。我們對[Pauly]的演算方式加入一些修改,使得重建結果較為精 確、並且更便利於實做。

一、以最小平方法消除傾斜的誤差

因為理想的 spacer 是規則的軸對稱形態,所以如圖二所示,我們用以下步驟建立 spacer 的 模型:

- 1. 先用掃描式電子顯微鏡量測 spacer,可得到其側面輪廓;
- 2. 以一半的側面輪廓繞著假想的對稱軸旋轉一圈,這種旋轉的方式(revolution),是電腦輔助幾何設計(Computer Aided Geometric Design, CAGD)[Watt]中,常用來建立模型的方法。
- 側面輪廓旋轉後的結果,就是 spacer 的模型,此模型是位於參數空間(parameter space)[0,1]
 的 bounding box 中,用來與實體空間(world space)中的待建形貌做疊合。



(c)

圖 2: spacer 模型的建立方式:(a)先以掃描式電子顯微鏡量 測 spacer,得到 spacer 的側面輪廓(profile);(b)以(a)得到的 側面輪廓繞中心軸旋轉一圈;(c)旋轉後的表面輪廓即 spacer 的模型,此模型是為於參數空間為[0,1]的 bounding box 中。

二、搜尋待建形貌的 bounding box



圖 3: 搜尋 spacer 待建形貌邊界盒的方式:(a)先以閥值 (threshold)擷取待建的 spacer;(b)以鍵碼搜尋(chain rule searching)找出待建 spacer 的輪廓資料點;(c)再根據邊界資 料點,最小平方法分析出最緊合的 bounding box。

於參數空間建立模型後,接著必需找出待建形貌在實體空間中,相對應的 bounding box,以 做為套疊之用,如圖三所示,其步驟如下:

- 1. 因為 spacer 是撐起面板的支柱,它的高度較高,所以可以簡易地用閥值(threshold)來擷取 待建的 spacer;
- 以影像處理中常用的鍵碼搜尋(chain rule searching)演算法[Gonzalez],用4方位鍵碼 (4-neighborhood)或8方位鍵碼(8-neighborhood)重覆地搜尋相鄰的輪廓點,而得到待建 spacer 完整的輪廓資料點;
- 3. 然後用幕次為1的線性方程式對輪廓資料點做分析,最小誤差就是最符合資料散佈的方程式,即為bounding box 的長軸;而最大誤差的方程式就是 bounding box 的短軸,兩軸呈現正交關係。除此之外,再加上 spacer 的最高高度、與底部高度,即構成最緊合的 bounding box。

三、疊合並平滑化



圖 4:(a)參數空間與實體空間 bounding box 的疊合;(b)未 做平滑化所產生的鋸齒(aliasing)現象;(c)已知的量測資料 (黑線)與模型(藍線)做平滑化的示意圖,紅線是根據權重平 均做平滑處理的結果。

(c)

(b)

疊合處理如圖四(a)所示,將參數空間的 bounding box 對應到實體空間待建形貌的 bounding box 上,就完成重建 spacer 的動作。但是這時候會因為原始的量測資料與重建 的模型不夠連續,而發生鋸齒(aliasing)的現象,如圖四(b)所示,因此我們在疊合時加入 平滑化運算,使得模型與量測資料更為貼合。

如圖四(c)所示,新的疊合是量測資料與 spacer 模型根據權重取平均後的結果,我們是以資料點的高度來估計權重,因為越高的資料點,越有可能位在 spacer 的頂部平坦處,量測的可信度也越大,所以高度越高,量測資料的權重較高,反之則較低。

肆、結論



圖 5: (a) 重建前的 spacer; (b) 重建後的結果。

本演算法實做的對象如圖五(a)所示,是以白光干涉儀量測所得,一張 640x480 的 LCD 面板高度 圖(height field),其中包含了三個待重建的 spacer。

實做用的電腦規格為:1.8G Hz 的 Intel CPU、1G 的記憶體;程式在 Microsoft XP 的作業系統上執行,重建的結果如圖五(b)所示,自動整張影像所花費的運算時間為一秒鐘。

由此可知,本方法具有簡單、快速等特性,所以非常適合運用於實際量測上。

伍、参考文獻

1. 蘇彥禎 (2007), 大尺寸平面量測的影像接合法, AOIEA.

2. 蘇彥禎 (2007), 增亮膜表面形貌的三維影像重建, AOIEA.

3. Carr, J. C., Beatson, R. K., Cherrie, J. B, Mitchell, T. J., Fright, W. R., McCallum, B. C., and Evans, T. R. (2001),

Reconstruction and Representation of 3D Objects with Radial Basis Functions, SIGGRAPH'01, ACM, pp. 67-76.

- 4. Cheney, W. and Kincaid, D. (2004), Numerical Mathematics and Computing, Brooks Cole.
- 5. Curless, B., and Levoy, M. (1996), A Volumetric Method for Building Complex Models from Range Images, *SIGGRAPH'96, ACM*, pp. 303-312.
- 6. Davis, J., Marschner, S. R., Garr, M., and Levoy, M. (2002), Filling Holes in Complex Surfaces using Volumetric Diffusion, *3DPVT'02*, *IEEE*.
- 7. Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2002), Digital Image Processing, Prentice Hall.
- 8. Lorensen, W. E., and Cline, H. E. (1987), Marching Cubes: AHigh Resolution 3D Surface Construction Algorithm, *SIGGRAPH'87, ACM*, pp. 163-169.
- 9. Nooruddin, F. S., and Turk, G. (2003), Simplification and Repair of Polygonal Models Using Volumetric Techniques, *Trans. Visualization and Computer Graphics, IEEE*, 9(2), pp. 191-205.
- Pauly, M., Mitra, N. J., Giesen, J., Gross, M., and Guibas, L. J. (2005), Example-Based 3D Scan Completion, *Eurographics* '05, pp. 23-32.
- 11. Treece, G. M., Prager, R. W., and Gee, A. H. (1999), Regularised Marching Tetrahedra: Improved Iso-Surface Extration, *Computer and Graphics*, 23(4).
- 12. Watt, A. (2000), 3D Computer Graphics, Addison-Wesley.