

應用於產品設計的微電腦彫刻機之研究 A Study of Micro Computer Engraver Applied to Production Design

鐘世明 黃正熙 王士賓

Shyh Ming Jong, Chen Hsi Huang and Shih Bin Wang

黎明技術學院創意產品設計系

Department of Innovative Production Design Engineering,
Lee Ming Institute of Technology

摘 要

本文探討微電腦控制三軸雕刻機的基本功能，應用產品設計工具的影像處理技巧，編修待加工物之輪廓成標準電腦輔助設計(CAD)檔案，確定無誤後，再換成電腦輔助製造(CAM)檔案，修改微電腦控制器的硬體抽象層(Hardware Abstract Layer, HAL)，達到能接收CAM檔案的三軸雕刻機。

關鍵詞：微電腦、雕刻機、電腦輔助設計、電腦輔助製造

Abstract

This paper unveils the main functions of 3 axes micro computer engraver. It approaches object profile by image processes of production design tools. Artworks will be converted into standard computer-aided design (CAD) files and then into standard computer-aided manufacturing (CAM) files after file modifications. We change the hardware abstract layer (HAL) of the micro computer controller to fit the requirements of CAM standard as the 3 axes engraver.

Key Words: Micro-Computer、Engraver、CAD、CAM



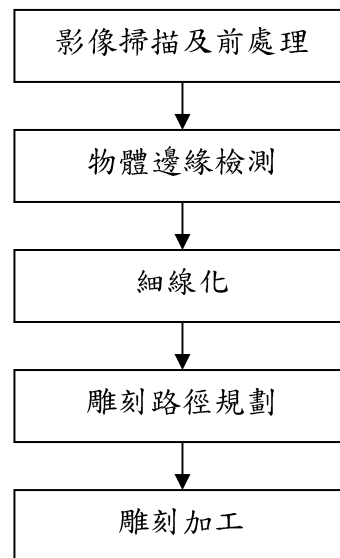
1. 前言

在本文研究之前，已經完成微電腦鑽孔機[1]及輪廓儀[2]的研究及製作，所以雕刻機是鑽孔機與輪廓儀的組合與延伸。一般市售的雕刻機或鑽孔機，大多以 CAM 軟體所產生的圖檔，讀入雕刻機後再進行路徑規劃或是孔位編修，本文嘗試著以微電腦結合機器視覺，將一般掃描的圖檔，特徵萃取後，產生輪廓路徑資料，再將資料編寫成標準電腦輔助設計(CAD) DXF 檔案，確定無誤後，在轉換成電腦輔助製造(CAM) G-Code 檔案，下載至雕刻機進行加工。雕刻機硬體部份由微電腦 ET44M210 將定位及移動的位置資料傳送至步進馬達驅動器，經功率放大後輸出至步進馬達，再由馬達聯軸器傳動至滾珠導螺桿，帶動平台定位並加工(鑽孔)，本文將控制器修改硬體抽象層(HAL)成能接受 CAM 中 G-Code 格式，以方便加工程式與步進馬達的連結。

雖然機構及控制方面與鑽孔機設計是一致的，但是雕刻機在加工路徑的產生及加工順序的規劃遠比鑽孔機來得嚴苛，鑽孔機的孔位順序即使不是最佳化，也只是浪費加工時間；但是使用於雕刻機將產生嚴重的錯誤:路徑交叉，因為雕刻機是應用銑床加工(miller)的原理，路徑的合理性遠比最短路徑來得重要，所以影像處理有三個研究重點：物體邊緣萃取、細線化及輪廓加工順序等。物體邊緣萃取包含一般雜訊去除功能及邊緣檢測方法，圖形與文字加工時需細線化功能將其處理成單畫素(pixel)的線條，而輪廓加工順序的重點在於如何決定合理路徑及何時上/下刀才不會產生交叉路徑。

2.原理與製作

微電腦雕刻機系統流程圖如圖一所示。



圖一、微電腦雕刻機流程圖

2-1.影像前處理演算法

影像前處理演算過程[3]如下：影像平滑化(smoothing)、雜點溶解(eroding)、圖形閉合(closure)。第一步平滑化：平滑濾波採用 3*3 的平滑運算元，去除雜訊，使圖像平滑化。第二步溶解雜點：組成物體總畫素小於篩選值被視為雜點，如圖二手掌周圍因為取像裝置(scanner)表面不潔所造成的斑點，將被溶解消失。第三步閉合圖形：如圖二手掌下緣所產生破碎的現象，需將其閉合，以利於邊緣的偵測。



Original palm image



圖二、手掌的掃描原圖

2-2. 物體邊緣檢測

影像經過適當的邊緣處理，可大幅減少資訊量，對影像後計算與處理速度的提昇有相當的助益。本文在邊緣檢測時採用 Norm of Gradient(N.O.G.)的方法[4]:

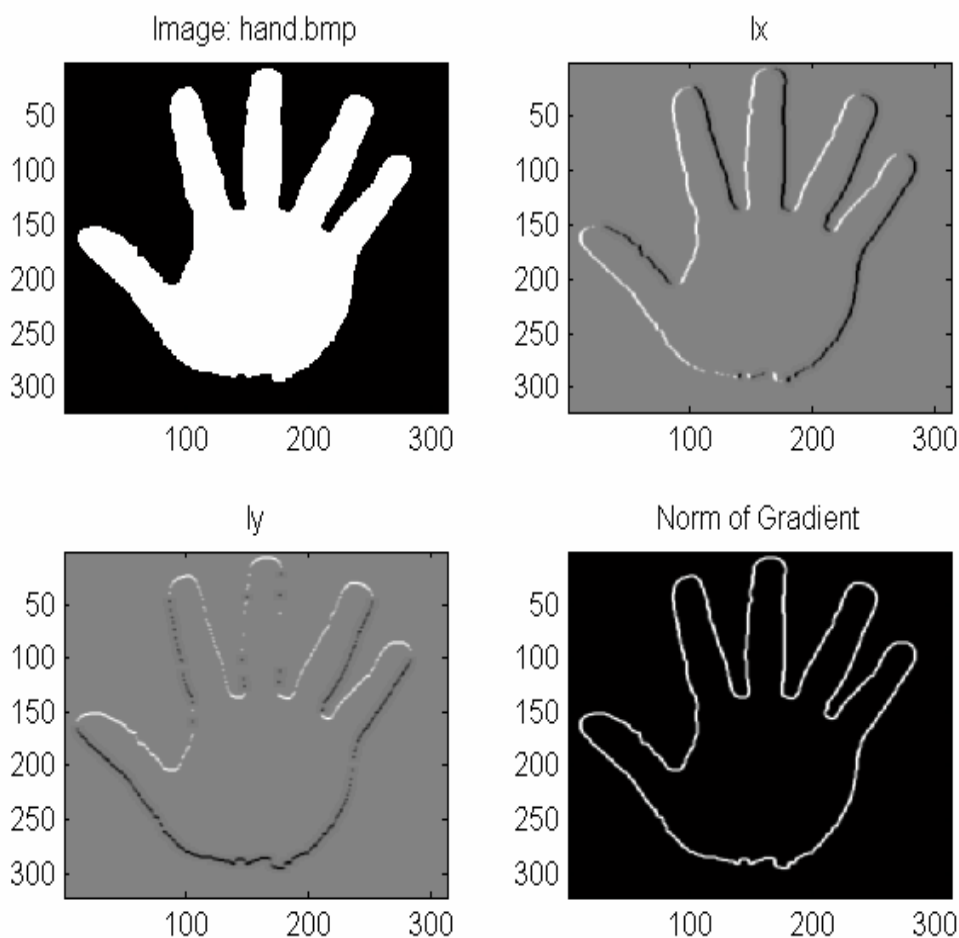
定義影像平面 $f(x, y)$ ，梯度向量為：

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} \bar{i} + \frac{\partial f}{\partial y} \bar{j} = G_x \bar{i} + G_y \bar{j} \quad (1)$$

則採用 N.O.G.:

$$|\nabla f| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

邊緣處理經過如圖三所示，是一個簡單且省時的方法。



圖三、掌形輪廓邊緣檢測



2-3. 細線化

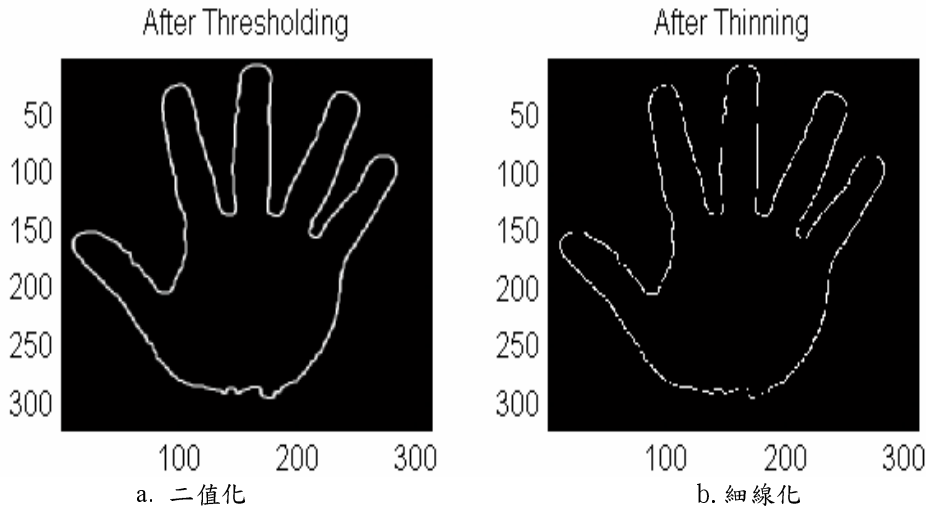
影像經邊緣處理後，每個畫素還是灰階(8bits)，所以須再經過二值化的處理(如圖四 a 所示)，此時物體的邊緣寬度大於 1 個畫素，而細線化的目的就是處理物體的邊緣寬度等於 1 個畫素。

本文所採用的細線化原理為補差(interpolation)的觀念，每一點 $Z(x, y)$ 及 8 個鄰接點(如下式所示)對該點的 $Z(x,$

$y)=\nabla f /|\nabla f|$ 作線性補差[4]，

$$Z^*(x, y) = \begin{bmatrix} Z(x-1, y-1) & Z(x-1, y) & Z(x-1, y+1) \\ Z(x, y-1) & Z(x, y) & Z(x, y+1) \\ Z(x+1, y-1) & Z(x+1, y) & Z(x+1, y+1) \end{bmatrix} \quad (3)$$

得出的補差值在 x 與 y 方向取區域最大值(local maximum)為邊緣的細線(1 個畫素)代表，細線化的結果如圖四 b 所示。



圖四.二值化及細線化

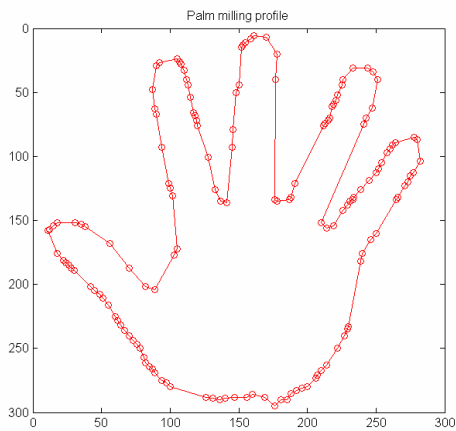
2-4. 輪廓路徑規劃

細線化的結果座標順序是由上而下、由左而右的分布，如果直接將其輸出會產生路徑交叉的現象，無法產生形狀正確的輪廓，所以路徑必須重新排序，本文提出兩種方法:最短路徑[6]與最合理路徑[7]。最短路徑是指所有路徑(global，全域)總合(不交叉、不重疊且不重複)的最小化，結果如圖五所示，可以看出與的手掌輪廓不符；最合理路徑是計算每一輪廓點的八鄰接點的最短距離為該點的繼承點(local，區域)，結果如圖六所示，可以產生合理的加工路徑。



圖五、最短路徑法





圖六、最合理路徑法

2-5. 雕刻加工

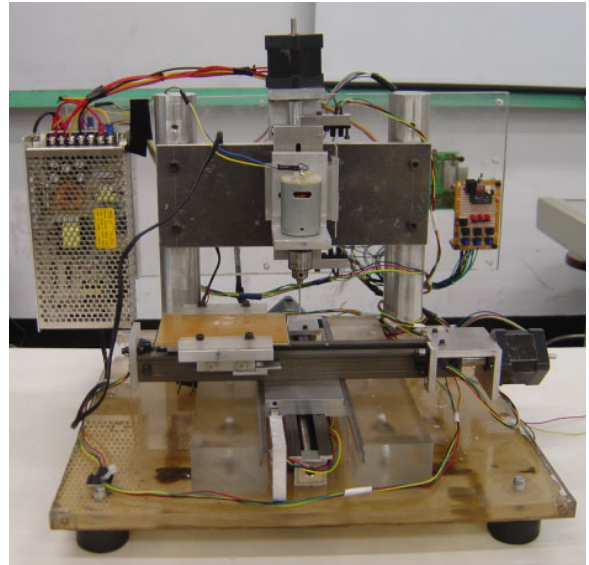
微電腦 DXF 程式包含如下：

- DxfInit(f\$)、DxfEnd(): 處理 DXF 檔案開啟與關閉，及 DXF 檔頭定義(Head File)。
- DxfLine()、DxfCircle()、DxfText(): 線、圓、文字的繪圖副程式。
- Main():加工主程式。

微電腦 G-Code 支援大部分的狀態 G 碼(Modal G Code)，以標準機能為主。因為沒有主軸轉向控制(固定正轉)、沒有切削液、沒有自動換刀功能，所以 M、S、H/D 碼大部分不支援。但以一般產品設計所需之功能已足夠。

3. 實作與應用

自製完成的雕刻機如圖七所示，X、Y 與 Z 軸的有效定位行程分別為 200mm、200mm 及 80mm，最小解析為 7.5um(三軸)，X、Y 軸線性精度分別為 $(15+L/50)um$ 、 $(15+L/100)um$ ，Z 軸線性度 $\pm 20um$ ，X、Y 軸可移動速度為 40mm/sec，可負載 1kg，銑刀直徑 ϕ 為 0.5mm-4mm。

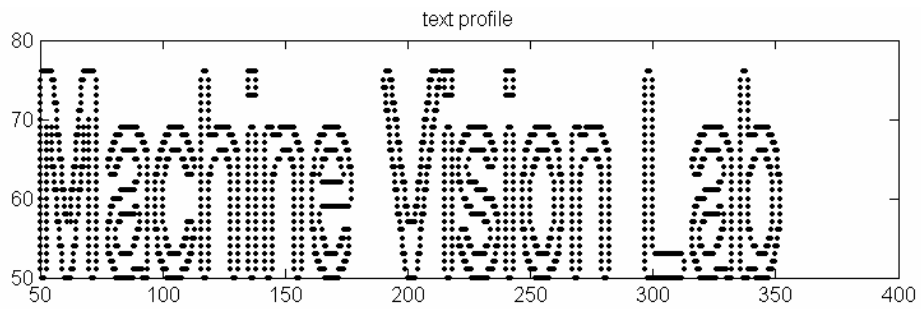


圖七、微電腦雕刻機

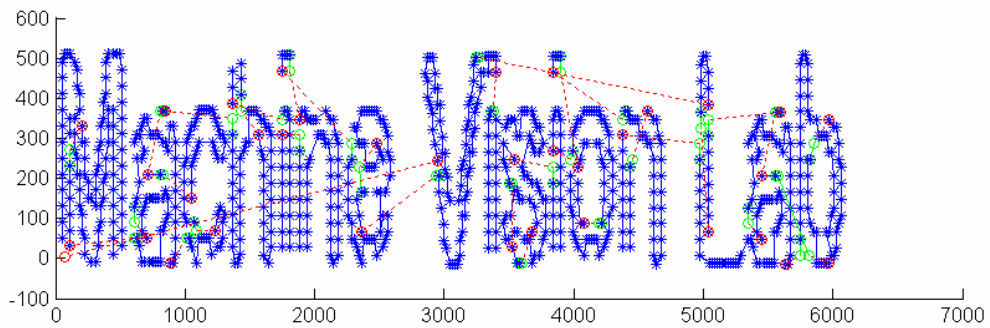
本文處理圖形與文字的輪廓，雖然文字也是圖形的延伸，但是文字需分割，而且不是封閉的輪廓，所以比封閉的圖形需要較多的考慮。圖形的處理範例為掌形輪廓，圖形輪廓取點及路徑規劃如圖六所示，為了加快加工速度及保持輪廓的完整性，在取點上加入了角度計算，如果物體形狀較為單純(曲率較小、近似直線)，則取點較疏，如圖六中指的部份；反之，則取點較密。

未編寫成 DXF 檔的文字分割與邊緣檢測如圖八所示，文字輪廓取點及路徑規劃如圖九，路徑比較凌亂。編寫成 DXF 檔的文字輪廓取點及路徑規劃如圖十，路徑完整無斷點。水平排列 DXF 文字在 CAD 軟體的呈現如圖十一，虛線(紅色)為下刀加工路徑，實線(藍色)為上刀移動路徑。水平排列 DXF 文字在 CAM 軟體的加工模擬如圖十二，虛線(紅色)為下刀加工路徑，實線(藍色)為上刀移動路徑。圖十三為圓形排列 DXF 文字的輪廓取點及路徑規劃，圖十四為圓形排列 DXF 文字在 CAM 軟體的加工模擬過程，圖十五、圓形排列 DXF 文字在 CAM 軟體的加工模擬結果。





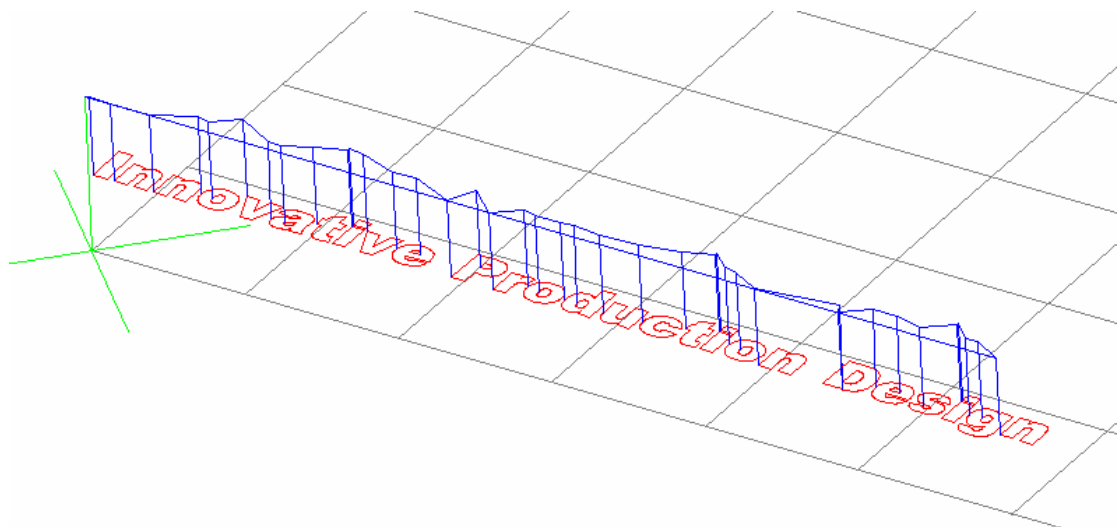
圖八、文字的分割與邊緣檢測



圖九、文字輪廓取點及路徑規劃

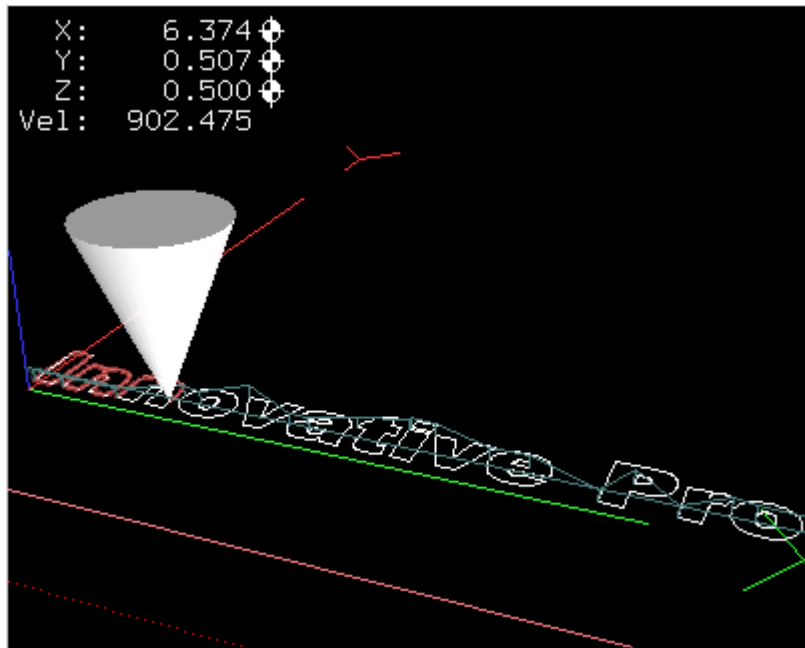
Innovative Production Design

圖十、水平排列 DXF 文字的輪廓取點及路徑規劃

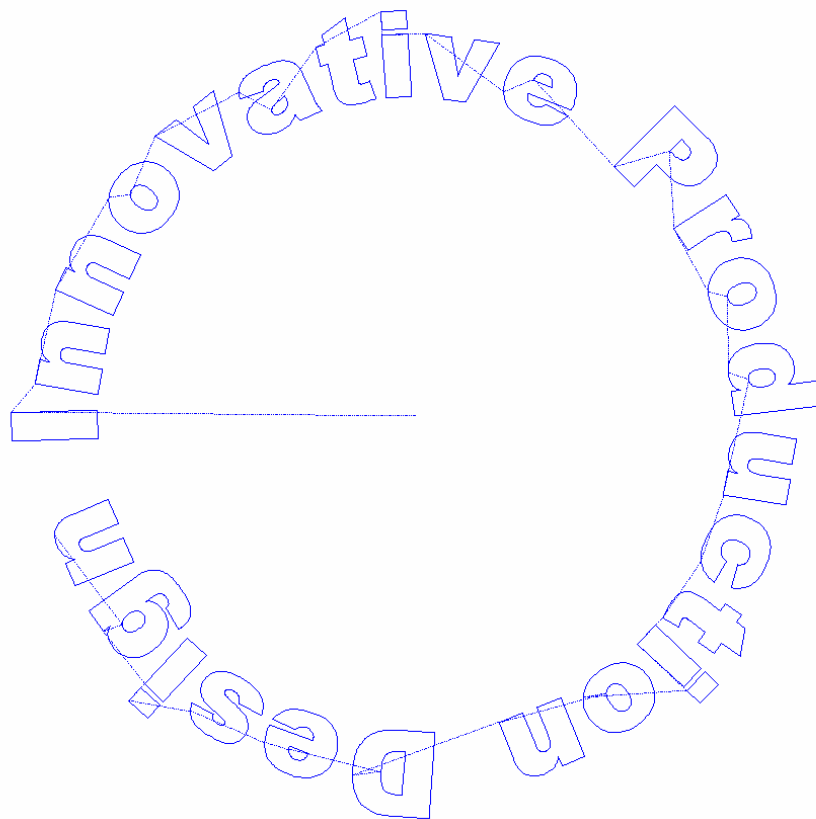


圖十一、水平排列 DXF 文字在 CAD 軟體的呈現



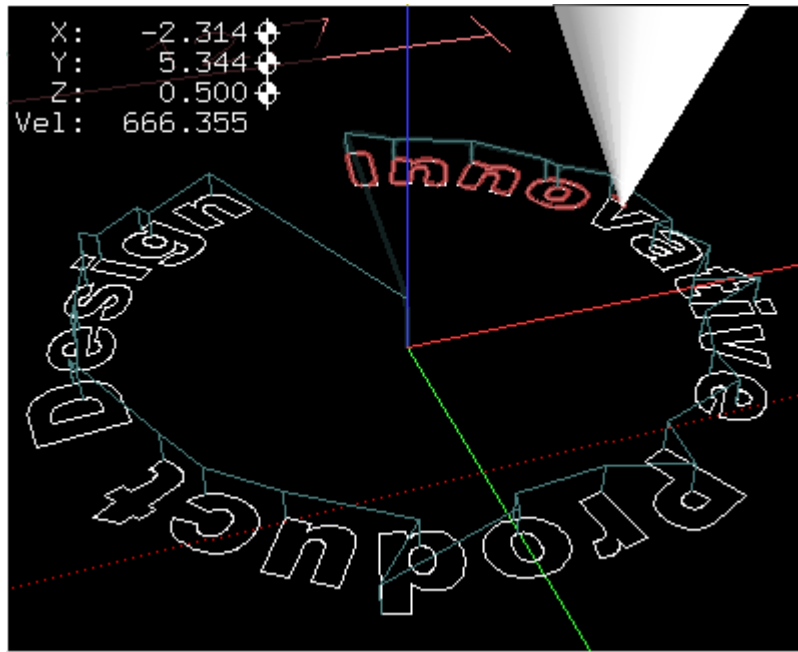


圖十二、水平排列 DXF 文字在 CAM 軟體的加工模擬

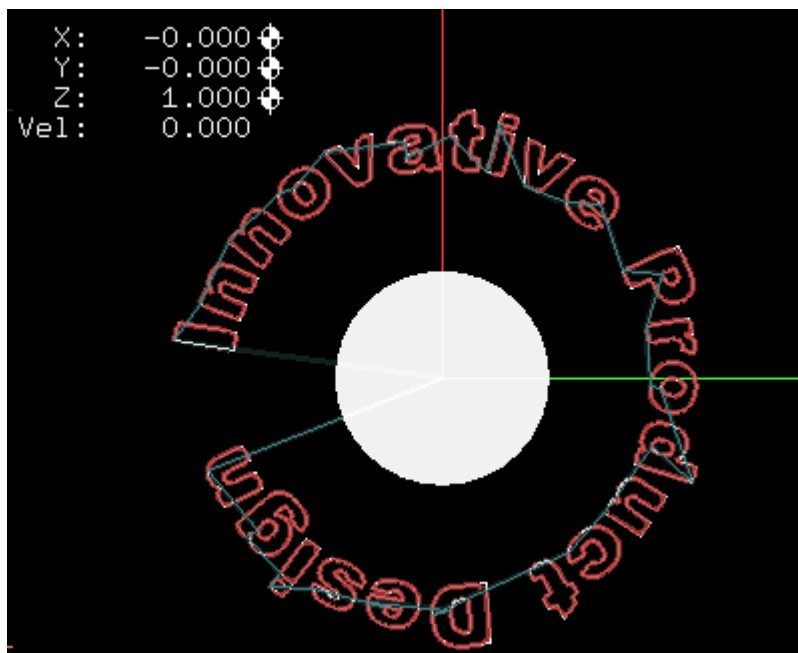


圖十三、圓形排列 DXF 文字的輪廓取點及路徑規劃





圖十四、圓形排列 DXF 文字在 CAM 軟體的加工模擬過程



圖十五、圓形排列 DXF 文字在 CAM 軟體的加工模擬結果

4. 結論

本研究因改寫控制器硬體抽象層，使得加工程式碼不再儲存於記憶體中，直接

透過通訊埠從 PC 端下載，輪廓呈現可以更表現細節。每一個文字或圖形，因為取點夠密，所以結束點與起點很接近，完成



一封閉輪廓後再提刀至下一起始點，路徑完整如圖十。

將加工輪廓改寫成 DXF 檔案格式，大部分的 CAD 軟體皆可讀取、顯示與修改，使本系統能與工業界 CAD 工具連接，應用層面增加。

本系統雖然使用開迴路(Open Loop)控制，但使用微步進馬達驅動器，使得原先 200PPR(Pulse Per Revolution)提升至 1800PPR，解析度提高 8 倍。惟系統未支援主軸轉向控制(固定正轉)、沒有切削液、沒有自動換刀功能，所以 M、S、H/D 碼大部分不支援，為未來發展方向，朝向自製 CNC 設備以迎合一般產品設計之所需。

參考文獻

- [1] 鐘世明，2006，7 月，機器視覺應用(一)以 ET44M210 製作視覺化微電腦鑽孔機，e 科技雜誌 vol.67，第 20-24 頁。
[2] 鐘世明，2006，8 月，機器視覺應用(二)

視覺化微電腦輪廓儀，e 科技雜誌 vol.68，第 16-20 頁。

- [3] Otsu N. "A Threshold Selection Method from Gray Level Histograms," *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, 1979, pp. 62-66.
[4] Niblack, W, *An Introduction to Digital Image Processing*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall, 1986, pp.115-116.
[5] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley Co., 1992.
[6] Shimizu, H.; Kobayashi, M.; Yonezawa, Y., "A route guidance system of a traffic network," *SICE'95*, 26-28 July 1995, pp.1549 – 1552.
[7] Vega, M.; Sarmiento, H.G., "Image processing application maps optimal transmission routes," *Computer Application in Power, IEEE*, Volume 9, Issue 2, April 1996, pp.47 – 51.

