

附件：封面格式

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

建立與修補模型曲面

計畫類別：☒ 個別型計畫 ☐ 整合型計畫

計畫編號：NSC 90 - 2212 - E - 002 - 167 -

執行期間： 90 年 8 月 1 日 至 91 年 7 月 31 日

計畫主持人：陳漢明 台灣大學機械工程研究所

共同主持人：

計畫參與人員：林宗翰, 沈泓翰 台灣大學機械工程研究所

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐ 赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學機械工程研究所

中 華 民 國 91 年 8 月 5 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

建立與修補模型曲面

Construct and Repair of Surface Model

計畫編號：NSC 90-2212-E-002-167

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：陳漢明 台灣大學機械工程研究所

共同主持人：

計畫參與人員：林宗翰,沈泓翰 台灣大學機械工程研究所

一、中文摘要

本研究對於逆向工程每一環節的工作做詳盡的研究，並提出以下幾種方法來改善未盡完善之處：

1. 資料重建方法：利用曲率值找出特徵點快速將資料點做初步疊合。
2. 雜訊處理方法：利用統計的概念，快速過濾雜訊點並予以刪除。
3. 平滑處理方法：利用兩種新方法結合在一起使用，可以降低震盪程度同時兼顧保留原來點資料的相對分佈位置。

本研究實際黏土捏製的模型，利用雷射掃描儀所測得的各項資料，驗證各項方法，都得到相當滿意的結果。

關鍵字：疊合，過濾雜訊，平滑化。

Abstract

In our research, we have done thorough works on every step, and proposed some new methods for improvement:

1. In registration: we search the feature points by calculating the curvature values and register the different sets to an acceptable position.
2. Dealing with noise: we apply statistical concepts on the data to filter out the noises and delete them.
3. Smoothing method: we developed two methods to reduce the vibration of scan-line data and keep the relative distribution and positions of them at the same time.

We retain the features of every section of scan-line and construct the curve on them. After, we loft the whole surface by interpolating all section curves, which reduce the data storage and keep the features

of curves and surface.

Keyword: registration, filter, smoothing.

二、源由目的

自從雷射掃描儀問世後，大大地縮短了硬體模型和虛擬模型之間的距離，經過電腦修改過的產品，可使成本大幅降低並獲得比較佳的設計品質。利用逆向工程的技術來加速產品的開發時，有下列問題需要解決：

1. 量測的誤差必須夠小。
2. 必須過濾掉雜訊。
3. 利於建構曲面資料與修改。
4. 曲面資料的重組。

本研究針對第 2 第 3 和第 4 個問題，應用逆向工程的技術配合四軸掃描器的特性，找出設計曲面之外形上的特徵點，產生出曲面之資料，進而轉入 CAD 軟體中來進行產品的設計、改良與製造。

過去對如何用資料點建立 B-spline 曲面的方法中，Roger^[1]以 B-spline 曲面反求控制點，藉由受限制的 B-spline 曲面綴合技巧 (Constrained B-spline Surface Fitting)，移動這些控制點，以獲得預期的曲面。Sarkar^[2]將資料點先以高斯運算子 $\nabla^2 G$ (Laplacian Gaussian Operator) 過濾出模型外形上劇烈變化的邊。這個方法可保存模型曲面上劇烈變化的部分；但在這些劇烈變化的地方，曲面的平滑性欠佳。Ma^[3]利用基礎曲面 (Base Surfaces) 貼近資料點的分佈之最小平方方法求得建立曲面時所需要的控制點。Park^[4]對電腦斷層掃描圖像中建立模型的 Skinning 曲面，並提供了可靠的擷取特徵點方法。姚宏宗^[7]以分割子

曲面方式，提出局部修改曲面方法。陳哲斌^[8]提出弦高值判斷特徵點的方法。此方法可將曲面的準確度控制在一定的範圍內，但用所保留特徵點數目會比用最小平方方法所得者為多。黃俊明^[9]則提出局部最大曲率作為判斷特徵點的方式。然而目前建立曲線與曲面使用最廣泛的工具首推非均勻(Non-uniform)B-Spline 曲線與曲面，在 Bartels^[5,6]中，對常用的一些曲線與曲面的理論都有詳盡的介紹。

三、結果與討論

本研究結果包含五個主要項目，分述如下：

3.1 迴歸三次曲線之求法

假設所欲擬合的三次多項式：

$$x(z) = az^3 + bz^2 + cz + d$$

則函數值的差平方和為

$$E = E(a, b, c, d) = \sum_{i=1}^n [(az^3 + bz^2 + cz + d) - x_i]^2$$

滿足矩陣式：

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n z_i^6 & \sum_{i=1}^n z_i^5 & \sum_{i=1}^n z_i^4 & \sum_{i=1}^n z_i^3 \\ \sum_{i=1}^n z_i^5 & \sum_{i=1}^n z_i^4 & \sum_{i=1}^n z_i^3 & \sum_{i=1}^n z_i^2 \\ \sum_{i=1}^n z_i^4 & \sum_{i=1}^n z_i^3 & \sum_{i=1}^n z_i^2 & \sum_{i=1}^n z_i \\ \sum_{i=1}^n z_i^3 & \sum_{i=1}^n z_i^2 & \sum_{i=1}^n z_i & \sum_{i=1}^n 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i z_i^3 \\ \sum_{i=1}^n x_i z_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i z_i \\ \sum_{i=1}^n x_i \end{bmatrix}$$

利用高斯消去法求出 a、b、c、d 的值後，便可得到迴歸的三次式。

3.2 過濾雜訊的方法

對局部點群建立擬合方程式後，我們將高於閾值的點視為雜訊，如圖 1 所示。有四個點高於閾值，則視為雜訊。利用該方法可以很快速的將掃描所得到的資料點中的雜訊過濾，圖 2 所示為原始掃描獲得資料點，圖 3 為透過本方法過濾後的剩下的資料點。

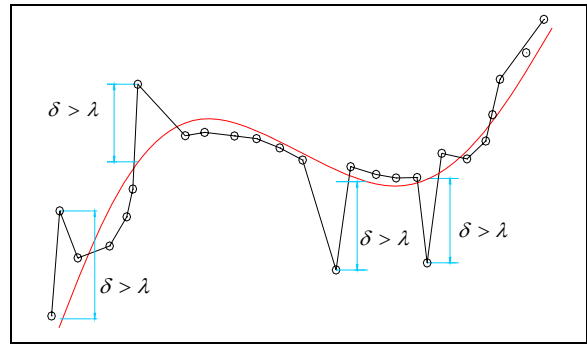


圖 1、利用閾值與擬合曲線過濾雜訊

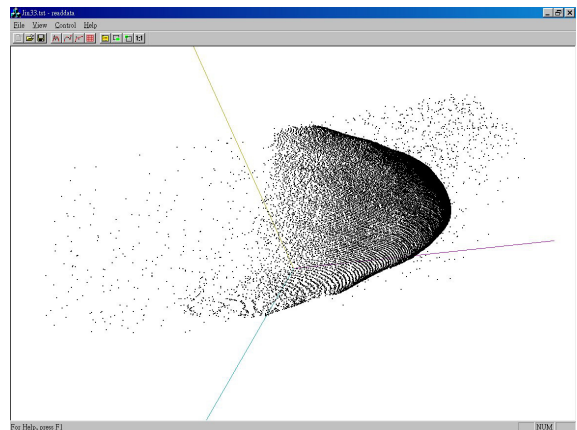


圖 2、雷射掃描之原始資料點。

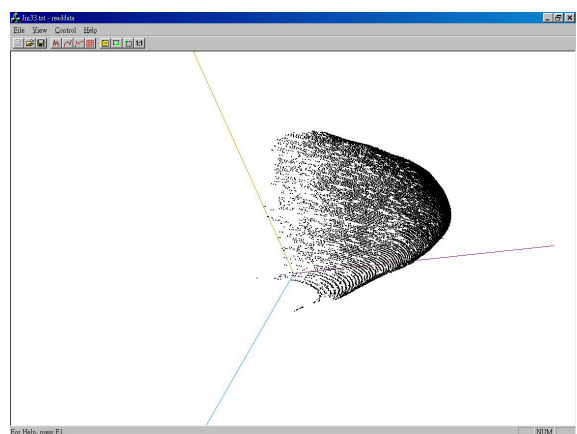


圖 3、經過過濾後的資料點。

3.3 資料點的平滑化

過去比較廣為接受的中值法或三角形內心法固然可以使資料點分佈的上下振幅平坦化而達到平滑化的效果，然而卻會破壞原資料點之間的凹凸關係。而高斯法不會破壞原先點資料的空間凹凸關係特徵關係，但是因計算較複雜而且不保證每一資料點的調整方向一定接近原曲面模型的位置。因此，我們提出下列兩種方法：

1. 加權均值法(Weighted Averaging)
2. 幾何形狀趨勢法(Geometry Trend)

圖 4 為經過加權均值法運算後的結果與原始資料及中值法計算結果做比較，可發現我們的方法比較不會破壞原來的幾何特性。幾何趨勢法則在於協助判斷是否該點是否需要做平滑化處理，其結果如圖 5 所示。

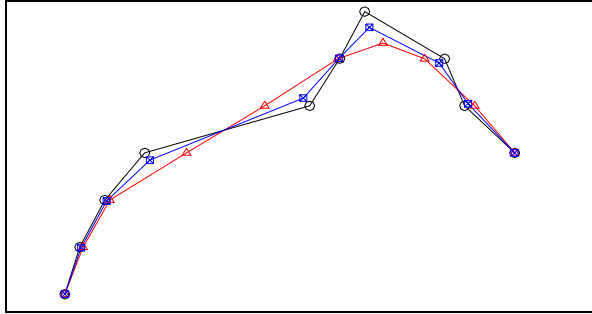


圖 4. 原始點資料經中值法和加權均值法的運算後之比較圖形(○原始點資料，●中值法，□加權均值法)

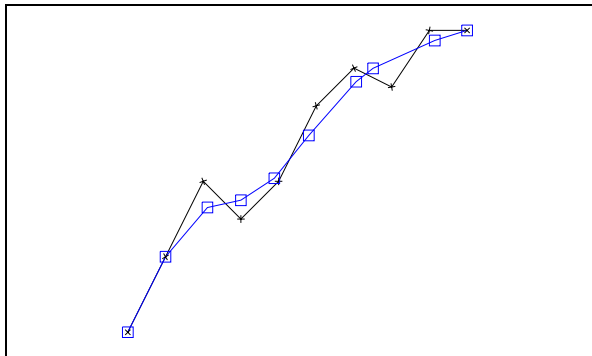


圖 5. 原始資料與透過幾何趨勢法輔助平滑化內插之比較(X 原始資料，□加權均值法)

3.4 利用曲率特徵疊合資料點

在不考慮量測誤差的情形之下，一個曲面不管是從什麼方向量得資料點在相同的位置上都一定會保持其幾何上的特徵，曲率值不會因為量測的角度不同而有所變化，曲率值最大的位置必是外觀上變化最激烈的位置，即便兩組資料的掃描點位置不同，但曲率值的極值點出現位置也僅僅只是有一小段差距而已。因此，只要找出局部小區域中曲率最大的點位置，便可以求得兩組資料的轉換關係。

求取曲率的方式有數學上比較嚴謹的高斯曲率計算方法：

$$|G|\kappa_n^2 - (g_{11}d_{22} + d_{11}g_{22} - 2g_{12}d_{12})\kappa_n + |D| = 0$$

此外還有近似方式求取曲率如透過擬合的

拋物面方程式，

$$z = f(u, v) = \frac{1}{2}(C_{2,0}u^2 + 2C_{1,1}uv + C_{0,2}v^2)$$

求取主要曲率的大小：

$$\kappa^2 - (C_{2,0} + C_{0,2})\kappa + (C_{2,0}C_{0,2} - C_{1,1}^2) = 0$$

當計算出各局部曲率時，找出兩筆不同次掃描資料中相似的曲率分佈(以三角形作為比對的依據)。當找到兩組資料中的相似三角形，我們先以點對應將該組資料平移後(圖 6-1)再分別對其他兩個對應點做旋轉(圖 6-2,3)，若對(a,b,c)旋轉 θ 角，旋轉方程式如：

$$R_L(\theta) = \begin{bmatrix} (1-a^2)\cos\theta + a^2 & -ab\cos\theta - c\sin\theta + ab & -accos\theta + b\sin\theta + ac & 0 \\ -ab\cos\theta + c\sin\theta + ab & (1-b^2)\cos\theta + b^2 & -bccos\theta - a\sin\theta + bc & 0 \\ -accos\theta - b\sin\theta + ac & -bccos\theta + a\sin\theta + bc & (1-c^2)\cos\theta + c^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

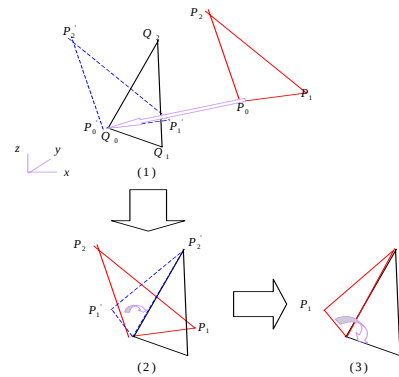


圖 6. 三角形比對方式。

圖 7 為疊合前的資料，兩筆掃描資料掃描角度相差 30° ，利用本研究提出的方法將原始資料疊合後如圖 8 所示，兩筆資料靠近且大致疊合。

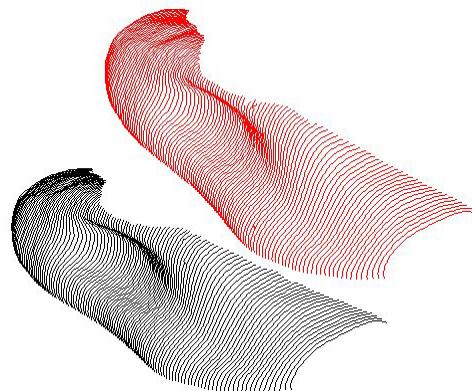


圖 7. 疊合前的兩筆部分重疊資料

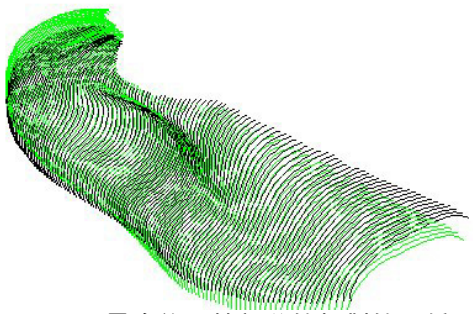


圖 8、疊合後兩筆部分的相對的關係圖

四、成果自評

我們將掃描資料過濾與平滑化後，以 B-spline 曲線擬合，在容許誤差下，反覆疊代反求出控制點而縮減資料量。對每一條同方向(等 u 方向)的掃描線都必須做擬合的動作，圖 9 為滑鼠其中一個頂部資料破洞的截面，透過內差方式可將資料內差出來，亦保有附近資料的趨勢特性。

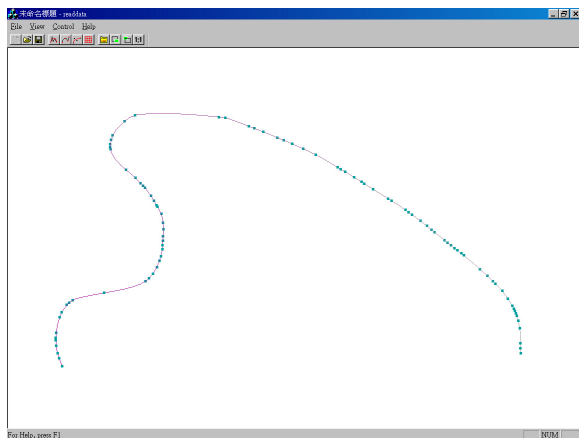


圖 9、容許誤差等於 0.5 時所選擇的點(共選了 84 點) 和建構之曲線。

對於與掃描線垂直方向的資料點內插，我們採用舉昇曲面的方式，對每條掃描線上的等參數點取出後，在容許誤差範圍內反求控制點。當 u 與 v 方向都有控制點後，可以計算曲面上的網格點，將其三角化後的網格在空間中的分佈如圖 10 所示。

經過過濾、平滑化、內插曲線與舉昇曲面等方式，我們可以很有效率的將雷射掃描儀的平行掃描資料重建回曲面模型，

除了可以彌補掃描儀的掃描盲點，亦可以提高逆向工程產品設計的效率。

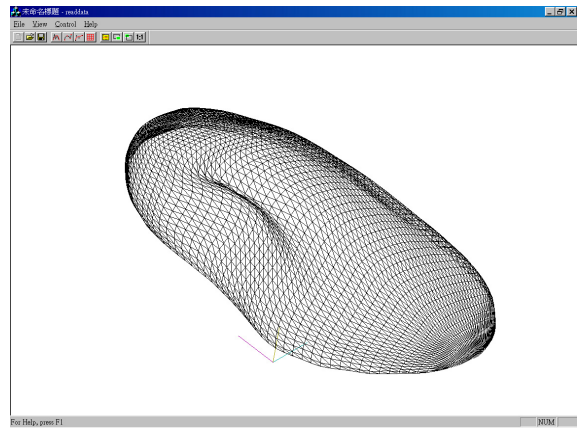


圖 10、利用截面曲線所生成的舉昇曲面網格

五、參考文獻

1. Roger, D. F. and Fogs, N. G., "Constrained B-spline Curve and Surface Fitting", *Computer-Aided Design*, Vol. 21, No. 10, Dec. 1989, pp. 641-648.
2. Sarkar, B. and Menq, C. H., "Smooth-Surface Approximation and Reverse Engineering", *Computer-Aided Design*, Vol. 23, No. 9, 1991, pp. 623-628.
3. Ma, Weiyin and Kruth, J.P., "Parametrization of Randomly Measured Points for Least Squares Fitting of B-spline Curves and Surfaces", *Computer-Aided Design*, Vol. 27, No. 9, 1995, pp. 663-675.
4. Park, Hyungjun and Kim, Kwangsoo, "Smooth Surface Approximation to Serial Cross-Sections", *Computer-Aided Design*, Vol. 28, No. 12, 1996, pp. 995-1005.
5. Bartels, Richard H., Beatty, John C. and Barsky, Brian A., *An Introduction to Splines for use in Computer Graphics and Geometric Modeling*, Morgan Kaufmann, Los Altos, California, 1986.
6. Piegl, Les and Tiller, Wayne, *The NURBS Book*, 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin, 1997.
7. 姚宏宗, 邱顯智, 陳信全, "點資料前置處理與曲面重建", *機械月刊*, 第二十三卷, 第五期, 民國八十六年, 第 228-237 頁。
8. 陳哲斌, "逆向工程針對自由曲面於快速原型加工之研究與應用", 碩士論文, 台灣科技大學機械工程學系, 台北, 民國八十八年六月。
9. 黃俊明, "逆向工程曲面重建與特徵變更之研究", 博士論文, 台灣科技大學機械工程學系, 台北, 民國八十八年六月。