

歐陽詢古拓碑真跡修復暨向量化字跡描述

趙春棠

南台科技大學 電機系
tang@mail.stut.edu.tw

邱興堯

南台科技大學 電機系
chiou.sing@gmail.com

摘要

本論文旨在對歐陽詢古拓碑真跡進行修復，使遭受歲月蝕損以致模糊不清與殘缺不全之古拓碑字跡能夠完整呈現，清楚的展示其風格。為此，我們應用現代影像及軟體技術，建立一個以圖形介面為基礎之系統，協助古拓碑真跡之修復。對於字跡之輪廓，我們使用曲線擬合 (curve fitting) 方法，令原本崎嶇不平之拓碑字跡輪廓能趨於平滑。接著，為了防止字跡影像放大時有鋸齒狀現象，更進一步將修復後之點陣圖字跡向量化。此修復動作可以使用我們所設計之 MATLAB GUI 介面，在字跡輪廓上選取數個座標，使用曲線擬合之方法令字跡輪廓變得平滑順暢。另一方面，將歐陽詢不同時期之書法風格做一些比較，比較不同時期字跡長寬之比例、字跡筆畫之粗細、字跡筆畫之傾斜程度等。更進一步，我們把修復好之筆畫或字根存於資料庫，以便選取需要之筆畫或字根，替代不完整之筆畫或字根，進而組合成一個完整之字跡。

關鍵詞：歐陽詢、書法、曲線擬合、向量化字型

1. 前言

千百年來，筆墨紙硯之書法藝術伴隨中國人度過漫長之悠悠歲月，為中華文化創造出獨特而輝煌之成果。自古以來，書法是傳達思想與交流情感之工具，同時也是一種表現文字美之藝術。在初唐時期，最負盛名之歐陽詢，是上繼北碑、下開唐楷，最具代表性之大書家。歐陽詢是初唐書法四大家之首，其書法自成一家，人稱「清勁秀建，古今一人」。歐體書法是繼承二王、北魏及北齊之基礎，並參以古隸筆融會變革，創立自己獨立之風格，歐體結字嚴謹、穠纖合度，間架堅實平衡，平正中見險絕，規矩中見飄逸，主要作品有皇甫誕碑、化度寺塔銘、九成宮醴泉銘、虞恭公溫彥博碑等。

歐陽詢之書法，一直是初學書法者學習之對象。歐陽詢於隋唐時期所流傳下來之拓碑是人們模仿與學習其書法風格之主要來源，許多後代書法家根據所流傳之拓碑，相繼臨摹寫成文，有些書法家甚至將各時期歐陽詢拓碑完整的臨摹寫成書籍，作為古拓碑之臨摹版，欲清楚呈現出歐陽詢各拓碑原來之風貌，但頂多僅能仿其形，難以仿其意。雖然目前坊間已有多種書法帖行銷，其中供中、小學生選用的更不在少數，但多為近代書法家臨寫者居多，而其封面多未註明有「臨本」之字樣，故往往為後人以訛傳訛，誤以為是古人真本拓得。因此，應用現代影像及軟體技術，協助古拓碑真跡之修

復，以致力於保存中華文化之書法藝術，顯得格具意義。

歐陽詢書法風格為後代所楷模之對象，所存之拓碑更是後人所欣賞及臨摹之範本，但各碑經過長年累月之蝕損所捶拓出來的本子，碑文上難免有殘損、模糊與參差不齊。因此本篇論文目的在於將歐陽詢古拓碑上不完整或不整齊之字跡，使用現代影像處理及軟體技術，建立一個使用者介面，令崎嶇不平之字跡輪廓得以趨於平滑順暢、隨處可見之雜訊得以排除、模糊掉之筆畫部份得以修復，使歐陽詢古拓碑之字跡能夠整齊、潔淨、完整地將歐陽詢的書法風格呈現出來。



(a)

(b)



(c)

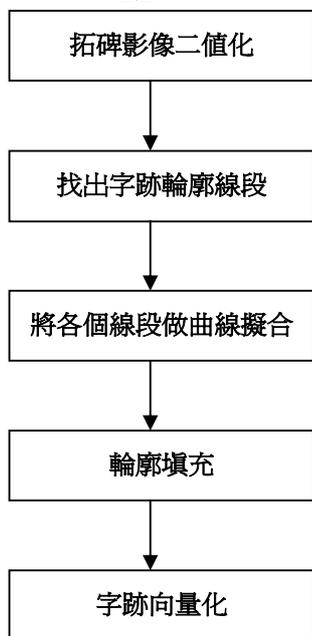
圖一 (a)皇甫誕碑 (b)九成宮醴泉銘 (c)虞恭公溫彥博碑

2. 系統介紹

本研究主要採用曲線擬合方法，使用 MATLAB 語言程式撰寫，設計一個容易使用、修復快速之 GUI 介面。首先在字跡輪廓之擷取部份，先在字跡輪廓上選取座標點，執行曲線擬合，銜接曲線擬合後每一段輪廓線，形成封閉字跡輪廓，然後在輪廓區域內塗色。接著，我們把修復好之筆畫和字根存於資料庫，如此可以方便選取想要之筆畫或字根，替代不完整之筆畫或字根，甚至組合成一個完整之字跡。最後，將修復後之字跡點陣圖做向量化。

2.1 實驗流程

2.2



圖二 實驗流程圖

2.2 曲線擬合

「曲線擬合」是一種利用最小平方法，將數值與欲擬合之函數做分析運算，以求出最逼近或最能表示出資料趨勢之函數。是一種將點結合成直線或多項式曲線之方法。MATLAB 是以 `polyfit` 函數來進行多項式之曲線擬合。`polyfit` 擬合之結果是一個列向量：

$$[p_n, p_{n-1}, \dots, p_1, p_0]$$

向量裡之元素由左至右分別代表擬合後，多項式由高次項到常數項的係數。代表多項式：

$$p_n x^n + p_{n-1} x^{n-1} + \dots + p_1 x + p_0$$

例如一次多項式：

$$y = p_1 x + p_0$$

在笛卡兒平面上，這是一條直線，而這條直線的斜率是 p_1 ，任何兩點都有一條直線穿過，因此一次多項式可以串起任何兩個點。

若多項式次數增加為二：

$$y = p_2 x^2 + p_1 x + p_0$$

此多項式就串起任何三點。

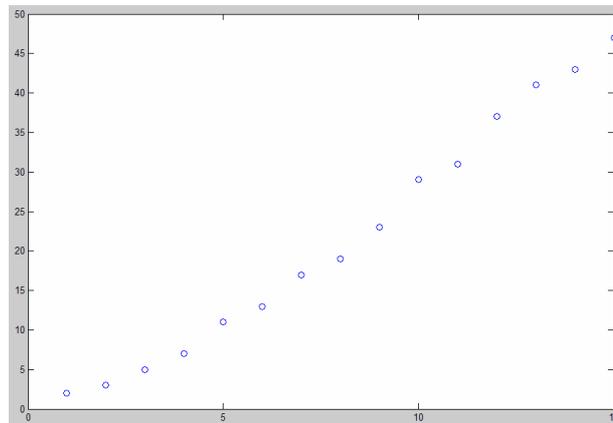
若多項式次數增加為三：

$$y = p_3 x^3 + p_2 x^2 + p_1 x + p_0$$

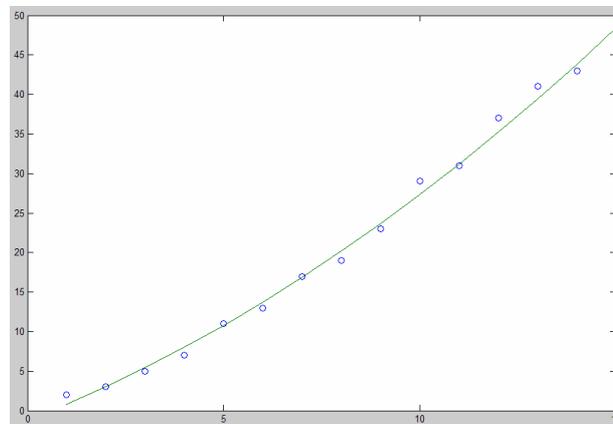
此多項式就串起任何四點。

以此類推，多項式越高次數，串連點越多，曲度也越高。

圖三與圖四是分別以資料點之橫座標與縱座標所組成之向量 x 與 y ，進行二次多項式之擬合。



圖三 資料點在 x-y 平面上之分布情形

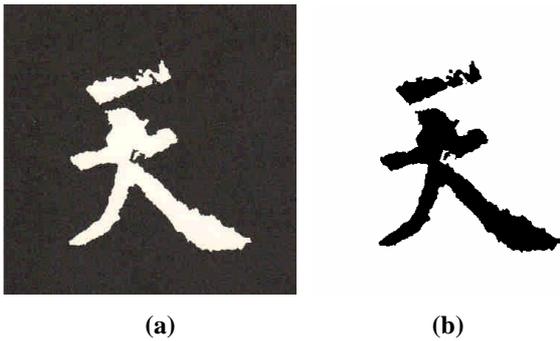


圖四 使用二次多項式擬合後之曲線

多項式階次若太高，曲線曲度也會隨著增高，對書法字跡之輪廓而言並不適合，因此本研究主要以二或三次多項式來進行擬合。

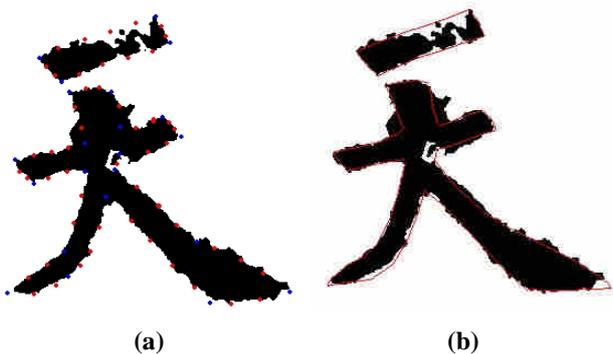
2.3 古拓碑字跡之曲線擬合

首先將黑底白字之拓碑影像轉換成白底黑字之二值影像，如圖五。



圖五 (a)拓碑字跡 (b)圖(a)之二值影像

接著在字跡輪廓切割之擷取部分，找出字跡輪廓，在輪廓上找出曲率變化較大的點當作輪廓線的斷點，這些斷點將每一個輪廓線切成數個輪廓線段，如圖六(a)，字跡輪廓上標記的藍色圓圈代表輪廓線之端點，紅色圓圈代表輪廓線之取樣點，兩個藍色圓圈包含之間之紅色圓圈就代表一條輪廓線段，因此圖六的字跡是由 22 條輪廓線所構成。在字跡輪廓切割之描述部分，使用曲線擬合來描述，藉此讓字跡輪廓能趨於平滑，將歐陽詢書法字跡描述的更完美，如圖六(b)。最後利用輪廓填充演算法，將輪廓內區域上色，形成完整之字體。



圖六 (a)拓碑字跡上分布之輪廓線段端點與取樣點 (b) 擬合後之字跡輪廓

2.4 向量化字跡

在完成曲線擬合之後，接著就是將擬合後之字跡點陣圖做向量化。所謂向量化字跡，是將描繪之對象以數學方程式寫出來，在電腦中只紀錄方程式，所以資料量很小，而方程式又可以隨意代入其他尺度的變數，因此可以任意縮小或放大。其最重要一點是能防止字跡影像放大時出現鋸齒狀，令字跡隨時保持平滑狀態，以使字跡更美觀。

當向量化字跡要被呈現之時，呈現它的軟體必須將方程式描述之圖形轉換成點陣圖。圖七這個字以 200x200 點陣圖的形式呈現出來，圖八是「永」字中間的筆畫，那一條封閉的外框曲線是由多條較簡單的曲線所構成的。在數學上，這種使用一段一段之簡單方程式銜接而成之函數，通稱為樣條函數 (spline function)，而根據函數畫出來之曲線，就是樣條曲線，在本論文中則是使用曲線擬合去描述每一段曲線。一段曲線與另一段曲線之銜接點，稱為結點 (note)，如圖八中的黑點所示。向量化字跡是由幾個點組成曲線，再由多條曲線勾勒出文字外型。要放大或縮小文字，只要調整這些控制點位置即可完成，並且透過控制這些曲線點，還可以做平移、旋轉或改變文字外型，因此不但文字美觀，空間小，更富有變化。



圖七 200x200 點陣圖呈現之「永」字



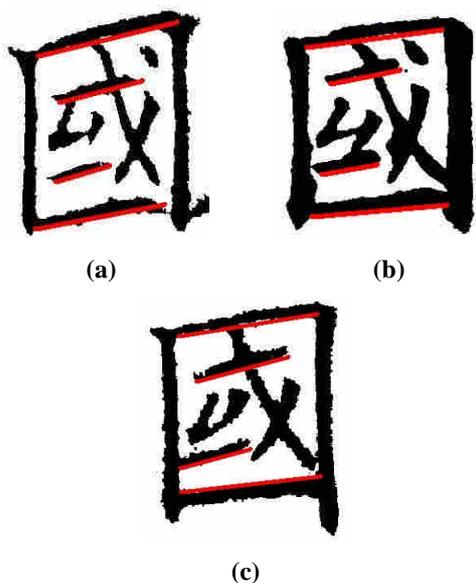
圖八 「永」字中間之筆畫

3. 各時期拓碑字跡比較

此節將歐陽詢不同時期拓碑《皇甫誕碑》、《九成宮醴泉銘》、《虞恭公溫彥博碑》做觀察比較，為了更容易區分出各時期拓碑字跡結構之不同，我們挑選出各時期相同字跡來做比較區分。

圖九(a)是《皇甫誕碑》字跡，是歐陽詢早年所書，綜觀此碑特色，法度規矩森嚴，字形縱長，結構間架穩固緊密，自出新意，翁方綱曰：「是碑由隸成楷，因險絕而恰得方正，乃率更行筆最見神采，未遽藏鋒，是學唐楷第一必由之路也。」圖九(b)是《九成宮醴泉銘》字跡，是歐陽詢晚年所書，渾厚沉勁，意態飽滿。寫撇、捺常用圓筆，顯得圓融流暢。正如郭尙先所評：「《醴泉銘》高華渾補，體方筆圓，此漢之分隸、魏晉之楷合的空間結構，整碑的位置輕重渾然天成，一字一畫不能絲毫移動，完美併醞釀而成者。」圖九(c)是《虞恭公溫彥博碑》字跡，歐陽詢書此碑時已八十歲，為歐陽詢後期之作，字體略小於歐書其他碑的字，用筆結構更為平和、穩實、老練，筆法穩健，結構嚴謹。何紹基云：「《醴泉》宏整而近闊落，《化度》逾緊而近敬側，《皇甫》肅穆而近窘迫，惟《虞恭公碑》和介相兼，形神俱足，當為現存歐書第一。前輩推崇《化度》，乃以少見珍耳，非通論也。」

比較此三拓碑字跡筆畫部份，可以發現《皇甫誕碑》筆畫較瘦細，字型較狹長，字體橫畫之斜率較大，如圖九中紅線所畫，所以顯得非常峻峭。《九成宮醴泉銘》相較於《皇甫誕碑》，筆畫顯得粗胖、圓滑，字型趨於正方，字體橫畫斜率趨於水平。至於《溫彥博碑》筆畫較《皇甫誕碑》粗，較《九成宮醴泉銘》細；字型無《皇甫誕碑》狹長，無《九成宮醴泉銘》方正；字體橫畫斜率無《皇甫誕碑》之大，無《九成宮醴泉銘》之小，故《溫彥博碑》可以說既有《九成宮》之含蓄，又有《皇甫君》之險峭，以其清麗為後世所讚賞。



圖九 (a)《皇甫誕碑》字跡影像 (b)《九成宮醴泉銘》字跡影像 (c)《虞恭公溫彥博碑》字跡影像

表 1 是其它一些歐陽詢不同時期拓碑相同之字體，仔細觀察可以看出不同時期之字跡特色與差異性，大致上與上述相符。

表 1 不同時期拓碑相同字體比較

皇甫誕碑	九成宮醴泉銘	溫彥博碑
日	日	日
周	周	周
尚	尚	尚
其	其	其
書	書	書
道	道	道

4. 實驗結果

圖十是曲線擬合後之字跡影像，圖十一是圖十向量化後放大之局部影像



圖十 曲線擬合後之字跡影像

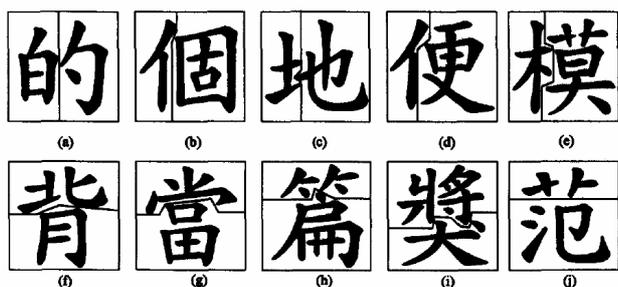


圖十一 向量化字跡放大之局部影像

5. 字跡之結構分類

此論文主旨在於歐陽詢古拓碑字跡之修復。另一方面，修復後之字跡可以進一步創造歐陽詢之字型檔。作為創造歐陽詢字型之前置處理，必須先將歐陽詢字跡做結構分類，以便做字根之間之替換與調整。

在文獻[7]中，中文字體藉由筆畫群聚方法做粗分類，根據字根組成之結構，中文字體被分為四個主要類型：不可分割型、左右型、上下型和特殊型。在筆畫擷取部份，先將字體影像細線化，得到字體骨架，接著抽取兩個分岔點之間之筆畫線段。在筆畫群聚部分，先將筆畫區塊中心二維座標(x,y)，縮減為一維數據(t)之樣本，接著進行 K 平均群聚演算法，藉由設定 $K=2$ ，將字體筆畫分為兩個群集，若是具有左右型結構之字體，則它會被分群為左右兩個筆畫群集，若是具有上下型結構之字體，則它會被分群為上下兩個筆畫群集，如圖十二。



圖十二 一些中文字體藉由一條橫跨線做分割，(a)-(e)是左右型字體，(f)-(j)是上下型字體。

基於上述，一個字體之構成可由最基本單位(筆畫)所構成，或者是由一些字根所構成，若是 True Type Font 中字體可拆解成多個字根構成，便能針對其組成字體中字根與字根間相互關係作調整，例如：可以改變字根之間的比例關係。

在 True Type Font 中字體組成隨著構成字元筆畫增加，組成複雜度也隨之增加，而構成這些筆畫之最基本單位是 Control Points，若構成字體之筆畫眾多，則難以將輸入筆畫一筆一劃對應至 True Type Font 中構成該筆畫之 Control Points，因此便需要將字體拆解成更小範圍之字根或部首或筆畫組合，例如：圖十三，信字字體利用正交投影法可拆解成圖十四和圖十五兩個字根。



圖十三 歐陽詢之字跡影像：信



圖十四 拆解後之字根：人字旁



圖十五 拆解後之字根：言

字體經過拆解之後，便可從組成方式較為複雜字體中得到組成方式較為簡化之字根，這樣便能更完整將輸入字體字根對應至構成該筆畫之控制點，如此便能夠針對各個字根作個別處理。

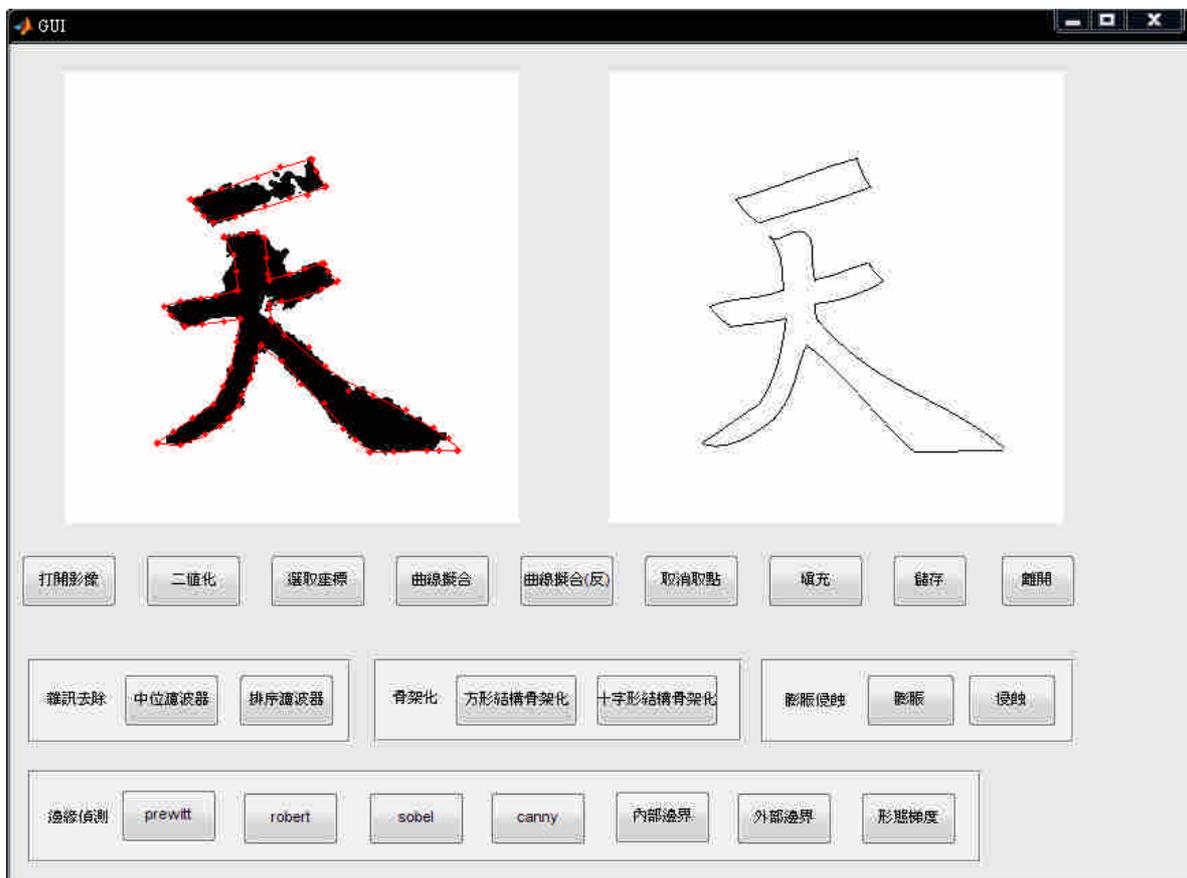
6. 結論

本系統對於歐陽詢古拓碑，進行真跡修復暨向量化字跡建立。其中在字跡輪廓部分選擇取樣點，是在主觀的意識下選擇適合之輪廓線段，這可能會因選擇之取樣點不

同，而造成與原始拓碑字跡有所偏差，這點需要針對欲修復之拓碑字體結構去選擇符合該字跡輪廓之擬合取樣點，如此才能夠修復出原始之拓碑筆跡。至於向量化字跡，可以由圖十一看出，放大後之字跡影像邊緣不會因放大而出現鋸齒狀之情形，向量化字跡不管放大多少倍都依然保持平滑狀態，使修復後之字跡影像更加美觀。圖十六所示為本系統所完成之 Matlab 真跡修復 GUI 介面，本論文所設計製作出的字型檔，待完整完成後，將公開免費社會大眾下載，期望能為中華文化的保存及宣揚做一點貢獻。

參考文獻

- [1] 皇甫誕碑，浙江省：西泠印社出版社，2007。
- [2] 墨林精粹選輯 8·歐陽詢九成宮醴泉銘·楷書，台南市：大眾書局，1983。
- [3] 歐陽詢虞恭公溫公碑，天津市，天津楊柳青畫社，2005。
- [4] 洪維恩，Matlab7 程式設計，台北市：旗標出版社，2008。
- [5] 李顯宏，MATLAB 介面開發與編譯技巧，台北市，文魁資訊，2008。
- [6] 盧建智，中文字帖書法字之描述，碩士論文，國立交通大學資訊工程研究所，台灣，1999。
- [7] Chin-Chuan, Han; Yao-Lung, Tseng; Kuo-Chin, Fan; An-Bang, Wang, "Coarse classification of Chinese characters via stroke clustering method," Pattern Recognition Letters, vol. 16, pp. 1079-1089, 1995.



圖十六 Matlab 真跡修復 GUI 介面