

國立交通大學

電機學院與資訊學院 資訊學程

碩士論文

中國水墨畫中水流之模擬與描繪

The Synthesis and Rendering of Water in Chinese Ink Painting



研究生：謝華興

指導教授：施仁忠 教授

中華民國九十五年七月

中國水墨畫中水流之模擬與描繪

The Synthesis and Rendering of Water in Chinese Ink Painting

研 究 生：謝華興

Student : Hua-Shing Hsieh

指導教授：施仁忠

Advisor : Dr. Zen-Chung Shih

國立交通大學
電機學院與資訊學院專班 資訊學程
碩士論文



A Thesis

Submitted to Degree Program of Electrical Engineering and Computer Science

College of Computer Science

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Computer Science

June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年七月

中國水墨畫中水流之模擬與描繪

研究生：謝華興

指導教授：施仁忠 教授

國立交通大學 電機學院與資訊學院 資訊學程（研究所）碩士班



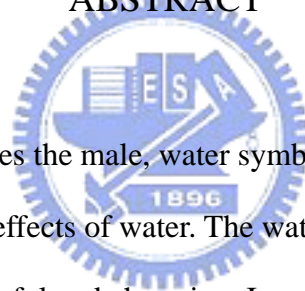
如果山所代表的是男性的陽剛，那麼水所顯示的則當是女性的陰柔；山因水的滋養而潤澤，水因山的環抱而愈顯貞專；山因水的對比而愈堅實，水因山的襯托而愈美麗；山因水而明，水因山而秀。在千山萬壑間，畫上穿雲一線的飛瀑，呈現「疑是銀河落九天」的優美。就感性而言，山石是穩定的，水波是多變的，但是因為水的變化，同一座山卻可能給人完全不一樣的感受。本論文之研究重點，在於提出一套半自動作畫系統，可以根據輸入的三維地形模型，只要使用者在模型上輸入一點座標，系統就會自動依據模型產生最適合的水流走勢，並依據使用者所定義的重要特徵參數，電腦便能依其所想要的效果，自動完成所有繪畫過程，完成山水畫中的水流部分，配合之前的研究，呈現有山有水的山水畫。

The Synthesis and Rendering of Water in Chinese Ink Painting

Student : Hua-Shing Hsieh Advisor : Dr. Zen-Chung Shih

Degree Program of Electrical Engineering and Computer Science
National Chiao Tung University

ABSTRACT



If the mountain symbolizes the male, water symbolizes the female. The mountain is enriched by the nourishing effects of water. The water, when embraced by the mountain, becomes more graceful and charming. In contrast to one another, the mountains stronger, and the water brighter. A small waterfall painted in a scene of many mountains, brings the mountain to life. A narrow river painted on flat ground, brings elegance to the entire landscape. In this thesis, we develop a semi-automatically Chinese ink painting system. User just need to input a coordinate of three-dimension and the system will generate the water streamline follow the topographical model, According to the important characteristic parameter that the user define, the computer will generate Chinese ink painting automatically.

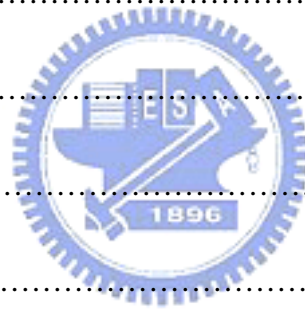
致 謝

關於這篇論文，首先要感謝指導教授 施仁忠博士，由於他熱誠的教導與指引，給予我許多建議與支持，才得以順利完成此篇論文著作。另外還要感謝電腦圖學實驗室的所有學長同學們，由於你們的幫忙讓我得以順利克服程式的障礙與觀念上的困惑。尤其是蔡玉寶學長給予我很多思考的方向和圖學相關知識的增長，余冠鳴同學所給我很大的鼓勵等。最後我要感謝我的家人，因為有你們的支持，讓我得以專心於論文研究。非常感謝大家！



目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
致謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
第 1 章 序論.....	1
1.1 論文動機.....	1
1.2 系統技術概觀與流程簡介.....	3
1.3 章節概要.....	6
第 2 章 相關研究.....	8
第 3 章 水流的模擬.....	11
3.1 水流走勢的產生.....	11
3.2 水流邊界的產生.....	14
3.3 水流波紋的產生.....	20
第 4 章 水流描繪.....	21



4.1	水墨筆觸.....	21
4.2	水流打底處理.....	33
4.3	水流邊界描繪.....	34
4.4	水流波紋線描繪.....	36
第5章	實驗結果.....	39
第6章	結論.....	46
參考文獻	48



表目錄

表 5.1 執行效能成果.....39



圖目錄

圖 1.1	系統流程圖.....	4
圖 3.1	參考方向.....	12
圖 3.2	自動產生出來的水流走勢.....	13
圖 3.3	水流邊界的產生.....	15
圖 3.4	水流邊界特徵線.....	17
圖 3.5	水流表面的產生.....	18
圖 3.6	識別影像 1.....	18
圖 3.7	識別影像 2.....	19
圖 3.8	識別影像 3.....	19
圖 3.9	水流波紋特徵線.....	20
圖 4.1	毛筆與畫布接觸面之同心橢圓模擬.....	23
圖 4.2	毛筆筆毛與畫布接觸點的分佈.....	24
圖 4.3	毛筆的移動軌跡與旋轉.....	28
圖 4.4	墨色變化效果.....	29
圖 4.5	墨色在 Y 方向作線性灰階變化所產生的效果.....	29
圖 4.6	不同的墨色擾亂程度所產生的效果.....	30
圖 4.7	筆毛斷水效果.....	31
圖 4.8	毛筆接觸面積與施加壓力成正比.....	32
圖 4.9	側鋒單邊拉起的效果.....	33
圖 4.10	水流表面.....	34
圖 4.11	以水墨筆觸的方式畫水流邊界.....	35
圖 4.12	以渲染的方式畫水流邊界.....	35

圖 4.13 鉤勒筆觸.....	36
圖 4.14 鉤勒筆觸擾動.....	37
圖 5.1 地形模型使用材質貼圖.....	38
圖 5.2 地形模型使用 Lee[38]所提出的方法.....	39
圖 5.3 地形模型使用材質貼圖加邊界用渲染處理.....	39
圖 5.4 地形模型使用材質貼圖加水流線擾動處理.....	40
圖 5.5 地形模型使用材質貼圖加邊界用渲染和水流線擾動處理.....	40
圖 5.6 地形模型使用 Lee[38]所提出的方法加邊界用渲染和水流線擾動處理....	41
圖 5.7 地形模型使用材質貼圖.....	41
圖 5.8 地形模型使用 Lee[38]所提出的方法.....	42
圖 5.9 地形模型使用材質貼圖加邊界用渲染處理.....	42
圖 5.10 地形模型使用材質貼圖加水流線擾動處理.....	43
圖 5.11 地形模型使用材質貼圖加邊界用渲染和水流線擾動處理.....	43
圖 5.12 地形模型使用 Lee[38]所提出的方法加邊界用渲染和水流線擾動處理...	44

第 1 章 序論

1.1 論文動機

水在山水畫中是生命之源，山不動水動。從細如絲的瀑布，到二疊三疊的泉瀑；從溪流河水，到江水和海水；從源遠流長的谷水到汪洋大海，每種水有每種水的神貌，也有不同的生命力。山巒或山峰是沉穩靜謐的舞台，靈泉飛瀑則是跳躍的樂章。

畫山配水即在「靜」中浮現「動」的生機，因此郭熙說：「山以水為血脉，以草木為毛髮，以煙雲為神采，故山得水而活，得草木而華，得煙雲而秀媚」。



畫「山」如無「水」，則如「好花」無「葉」，山水本是同脈而生、宇宙生命的神髓。山有樹則生機活潑，山有水則氣靈神秀。

流水為水的統稱，包括溪澗、瀑布、江河、大海、激流、浪濤等，都是山水畫家描寫的對象。尤其是瀑布，更是山水畫中所不可或缺的，它有時是畫中的配角，有時卻成為畫中的主角，如黃君璧便以描寫大瀑布而享譽藝壇，此外，古代畫家如馬遠，便有著名的「水圖」十二幅，此圖描寫長江與

黃河的不同性格，寫盡流水的變化。

水的特徵是動態的，無固定形狀，透明無色，畫水時，卻要將水變為固定化和造型化的東西。西畫可以用白色或是其他色調來表現，甚至將水中倒影畫出來；國畫則利用留白或線條來表現。由於水是千變萬化的，在描寫上比山石等實物更難，畫家必須經過長時間的觀察，將其特徵化為筆墨。

由於之前已經有人研究山水畫的皴法、雲和樹木等的模擬[13, 33, 34, 35, 37, 38]，對於山水畫中水的模擬研究則付之闕如，而水又在山水畫中扮演舉足輕重的腳色，因此本篇論文提出一套半自動作畫系統，可以根據輸入的三維地形模型，只要使用者在模型上輸入一點座標，系統就會自動依據模型產生最適合的水流走勢，並依據使用者所定義的重要特徵參數，電腦便能依其所想要的效果，自動完成所有繪畫過程，完成山水畫中的水流部分。

1.2 系統技術概觀與流程簡介

本論文之研究重點，為在三維地形模型呈現中國水墨山水畫中水流的部分，電腦採用暴力法來自動找出模型的輪廓線及特徵線，之後參考 Weng [35]所提的水墨模組模擬機制，並調整線條的粗細變化及渲染的筆觸方法，來模擬山水畫中水流的部分。至於在電腦繪圖的技巧與步驟上則是參考 Northup [21, 23] 等人提出的方法來加以實踐。圖 1.1 是整個系統的流程圖，其後將會說明各主要的功能項目。



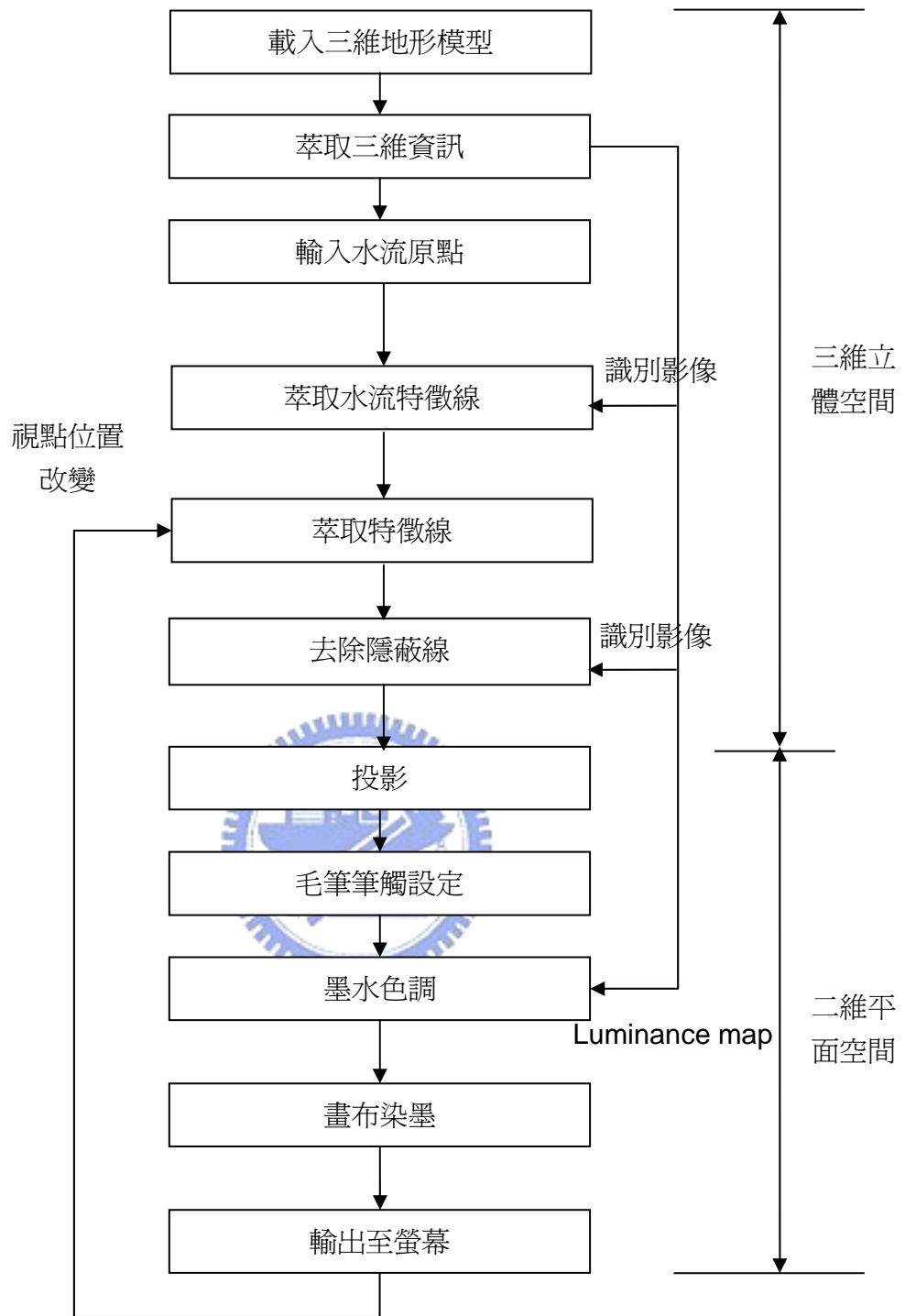


圖 1.1 系統流程圖

1. 萃取三維資訊 (3D Information Extraction) : 本研究是以OpenGL的繪圖機制來繪製三維地形模型。亮度圖(Luminance Map)用來當成墨水的濃度值，

而識別參考影像(ID reference image)則被用來處理去除隱蔽線的動作。

2. 萃取特徵線(Feature Lines Extraction)：此步驟電腦會分析三維場景並自動地找出模型的輪廓線(Silhouette Edge)及特徵線，而模型的輪廓線與特徵線我們會根據不同的視點位置，在每一個視框(Frame)以暴力法方式重新計算獲得，這個步驟是在物件三維的空間中進行的。

3. 輸入水流原點(Input Source Point)：使用者在此互動式的瀏覽系統中，可以任意地輸入自己認為適當的位置當作水流起點，而系統會以此為起點產生適當的水流走勢。



4. 萃取水流特徵線(Water Feature Lines Extraction)：此步驟電腦會自動的產生水流走勢圖、水流邊界與水流波紋線等特徵線。

5. 去除隱蔽線 (Hidden Lines Removal)：此步驟會從視框緩衝區 (Frame Buffer) 中讀取識別參考影像，再以識別參考影像的識別值來判別可見的輪廓線與特徵線。

6. 投影 (Projection)：將可見的特徵線和輪廓線線段投影到二維平面，而這

些所投影出來的點將被用來當做之後水墨筆觸的控制點。

7. 毛筆參數設定 (Brush Parameters Setting) : 載入墨水的參數設定值, 並初始化毛筆模組物件, 並設定毛筆模組參數及應用以物理基礎的毛筆模擬機制 [35], 繪製出具有中國水墨風格的效果。
8. 墨水色調 (Ink Tone) : 根據毛筆參數的設定值, 起始毛筆墨水的色調以呈現出所要產生的墨水效果。
9. 畫布染墨 (Ink Diffusion on Rice Paper) : 模擬墨水在畫布上擴散的運行效果 [14]。



1.3 章節概要

本論文架構共分六章, 其內容概述如下:

- 第一章: 介紹中國水墨畫山與水之關係、說明本論文的研究動機與目標、系統架構等。

- 第二章：介紹NPR之相關研究。
- 第三章：水流的模擬，包含水流走勢、邊界與波紋等特徵線的產生
- 第四章：水流描繪，包含水墨毛筆模組之模擬機制與山水畫中水流的繪圖處理步驟。
- 第五章：顯示實作結果。
- 第六章：結論。



第2章 相關研究

本章將介紹與本篇論文相關之NPR研究，依據繪畫風格的不同，在NPR方面的研究可分成幾個不同的領域，例如：以西畫為主的水彩繪[8]、影線畫[11, 20]、鋼筆畫[27, 28, 29]以及鉛筆畫[30, 31]等，另外則是以中國水墨畫為主的山水畫[33]、樹木水墨畫[34]及動物水墨畫[36]等。而本論文的研究目標則是模擬中國水墨風格的水流應用在三維模型上，呈現出中國水墨風格的山水畫。



在NPR的繪圖處理上，三維模型的輪廓線與特徵線的萃取是非常重要的。其萃取的方法約略可分為三類：影像空間演算法（Image Space）、物件空間演算法（Object Space）與混合演算法（Hybrid）[22]。影像空間演算法有下列幾種：單次法（One Pass）[10,11]、雙次法（Two Pass）[25]、模型參數法[20,26]（Model Augmentation）與深度不連續性法[22]（Depth Discontinuity）等。而物件空間演算法有下列幾種：暴力法（Brute Force）、使用特殊資料結構的Edge Buffer [7]、機率法[20]、階層式標準圓錐體[17]（Normal Cone Hierarchy）、隱含式曲面[16]（Implicit Surfaces）與NURBS曲面[9]等。最後是由Northrup et al. [23]提出的混合演算法，它集合了影像處理方法的優點和三維空間方法的精確性，首先使用物件空間演算法找出輪廓線，再來利用識別參考影像去找出所有部份可見（Partially

Visible)的輪廓線線段，然後將螢幕影像上相鄰的輪廓線線段連結成較長的線段，當成筆觸經過點，因此這些線段已具有物件空間的精確邊線，而同時又可避免產生鋸齒狀的輪廓線及與原始可見的輪廓線不一致現象。

另一個在 NPR 繪圖處理中相當重要的演算法是可見範圍的選擇 (Visibility Culling)，亦可稱為隱蔽線去除演算法 (Hidden Line Removal)。Appel's [3] 提出不可見數量的概念 (Quantitative Invisibility QI) 的演算法來去除隱蔽線，其隱蔽線的判斷是利用計算模型物件與視點位置之間正面 (Front-Facing) 的多邊形個數為依據。Markosian et al. [20]修改 Appel 的演算法而提出新的演算法，經由他所設計的特殊遊走機制，並不需要採用暴力法的方式測試模型的所有多邊形邊線，就可以計算出可見的線段及三維模型的可見曲面。而最簡單也是速度最快的偵測方法是利用硬體的 Z-Buffer，但是 Z-Buffer 的主要缺點為圖素 (Pixel) 的精確度以及部分遮蔽的問題，使得 Z-Buffer 的使用上有一些限制。Kowalski et al. [21, 23]是利用識別參考影像 (ID Reference Image) 的方式來去除隱蔽線，首先給予所有的輪廓線與多邊形一個唯一的顏色值，再藉由繪製輪廓線與多邊形至視框緩衝區 (Frame Buffer) 中，待全部繪製完成後再從視框緩衝區中，讀出識別參考影像執行可見性測試。在本篇論文中是使用識別參考影像來處理隱蔽線的問題，因為識別參考影像除了很直覺且容易實作外，可以很簡單的就識別出可見的輪廓線與可見的三角面，可以省卻許多計算上的時間。

另外對於繪畫風格的模擬，在油畫方面 Shiraishi[39,40] 提出一個模擬油畫的演算法，透過參考任意二維影像，自動合成出具油畫效果的影像。在水彩畫方面 Curtis et al. [8] 提出了以物理特性為基礎的二維影像處理方式來模擬水彩畫，他們的研究並沒有將三維模型的資訊應用於三維的場景繪製上，主要是以二維影像處理的方式為主。另一個重要的NPR繪畫風格是鋼筆畫[27, 28, 29]，而大部份擁有鋼筆畫風格的研究，主要還是依靠著三維模型的參數性質為其研究重點。另一項與鋼筆畫研究相關的是鉛筆畫研究[30,31]，Praun et al. [24]將鉛筆畫的風格應用到三維的模型上，他的研究主要貢獻是：色調圖，當材質的顏色色調改變時，可以避免不連續性現象的發生。



中國水墨畫注重筆墨表現，所以好的毛筆模型是模擬水墨畫先決條件。毛筆模型的模擬研究方面，Strasman [32]提出了最基本的毛筆模型：將筆刷當成一個筆毛的一維陣列，而陣列的元素存放著筆毛個別的墨含量與位置，隨著毛筆所行走的軌跡，筆刷永遠跟筆觸的路徑方向垂直。Horace and Helena [13]提出的毛筆模型：他們使用三維圓錐體模擬毛筆外形，並可動態的移動，當在畫圖時，毛筆與畫布的接觸形狀為橢圓形，用以模擬毛筆形變的影響，主要著重在中國書法應用上的模擬。Weng et al. [35]提出的毛筆模型：定義以一個平面圓形，作為筆刷與畫布的接觸區域，筆毛的位置以同心圓方式平均分布於筆刷中，模擬中國水墨風格的二維毛筆模組。Weng 的二維毛筆模組模擬的結果看起來較自然且平

滑，因此本篇論文的水墨畫模組選擇參考 Weng 的二維毛筆模組，應用於本篇論文的系統上。



第3章 水流的模擬

要產生水流，首先要決定水流的原點，在本篇論文提供一個半自動的方式來產生水流，使用者在瀏覽此三維地形模型時，若發現有適當的位置要產生水流時，只要在該位置上點選一下，而本研究所提供的演算法就會在該位置依據三維模型產生適當的水流走勢，並依據該水流走勢產生水流邊界，最後再產生水流波紋。

3.1 水流走勢的產生

爲了產生水流的骨架(Skeleton)，由使用者在三維地形上覺得適當的位置點選一下，由該點和識別參考影像找到對應的三角形和該點的三維位置，從該三角形開始，首先計算每個頂點的主要曲率方向(Principal Curvature Direction)。

\vec{F}_n : 三角形 F 的法向量

\vec{G} : 重力方向 (0, -1, 0)

\vec{G}_{ref} : 重力 \vec{G} 投影在三角形 F 的向量

$t(P)$: 初始的主要方向(Principal Direction)，Q 是所有與 P 相連的頂點而 W 是 PQ 間的權值(Weighting)

$$t(P) = \frac{t(P) + \sum_{i=1}^n [W_i \times t(Q_i)]}{1 + \sum_{i=1}^n W_i}, W_i = \frac{\overline{PQ_i}}{\sum_{i=1}^n \overline{PQ_i}}$$

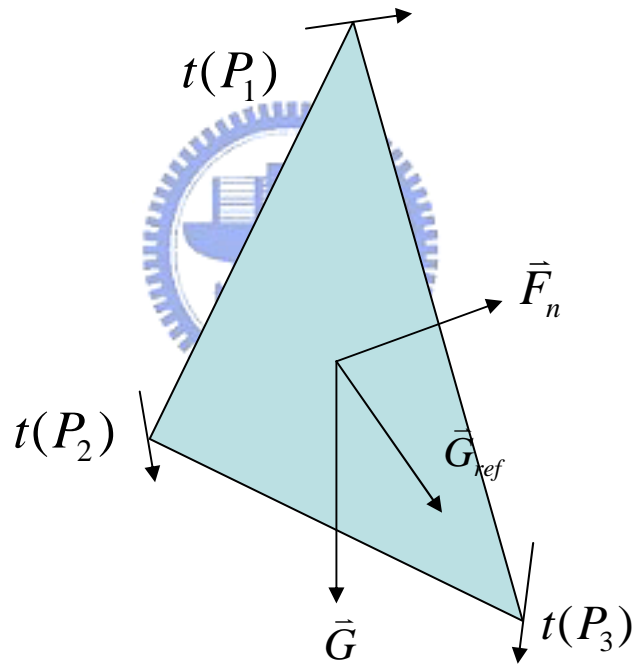


圖 3.1 參考方向 \vec{G}_{ref}

結合 $t(P_1)$ 、 $t(P_2)$ 、 $t(P_3)$ 和 \vec{G}_{ref} 可求得水流骨架在三角形 F 表面的移動方向向量 $t(F)$ ，其定義為 $t(F) = \alpha \vec{G}_{ref} + (1 - \alpha)(t(P_1) + t(P_2) + t(P_3))$ ，將其應用在地形模型上即可求得水流骨架，但是此法有一個缺點，有可能在某些

三角形會有無法繼續執行下去的情形發生，即在峽谷地形時會發生，因此，將其修改成在無法繼續執行下去時改為尋找相鄰的較低頂點作為下一次的移動點，當有數個頂點合乎條件時，選擇斜率最大的那一個頂點，然後再交互的應用上述兩種方法，直到到了模型的邊緣才停止，如圖 3.2，在尋找到骨架節點時，該節點的法向量可由相鄰三角形的平均法向量來得到。

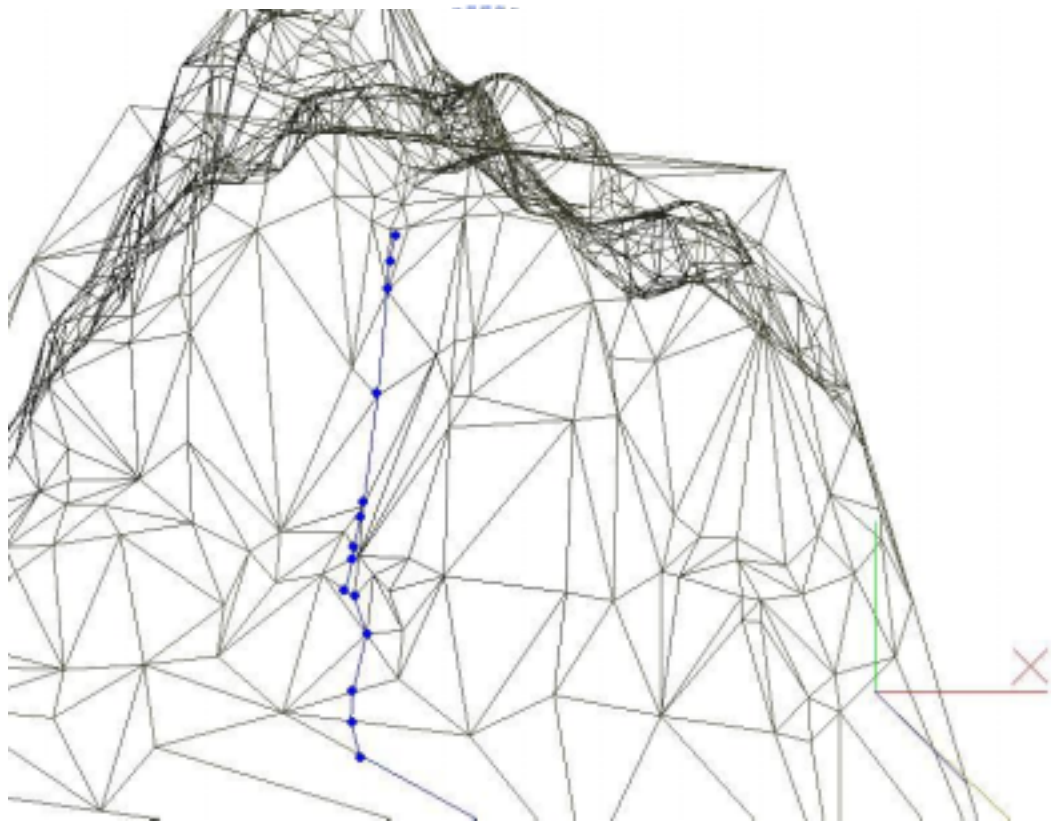


圖 3.2 自動產生出來的水流走勢

3.2 水流邊界的產生

在尋找出水流走勢之後，要沿著該水流走勢的各個節點分別計算每個節點的 \vec{D} 、 \vec{G} 、 \vec{N} 、 \vec{L} 、 \vec{R} 等向量。

\vec{D} ：每個節點的方向，由前後節點計算而得到

\vec{G} ：重力方向 $\langle 0, -1, 0 \rangle$

\vec{N} ：該節點的法向量，由該節點相鄰多邊形的法向量平均計算而得，在尋找水流走勢的節點時即計算得到

\vec{L} ： $\vec{G} \otimes \vec{D}$

\vec{R} ： $-\vec{L}$



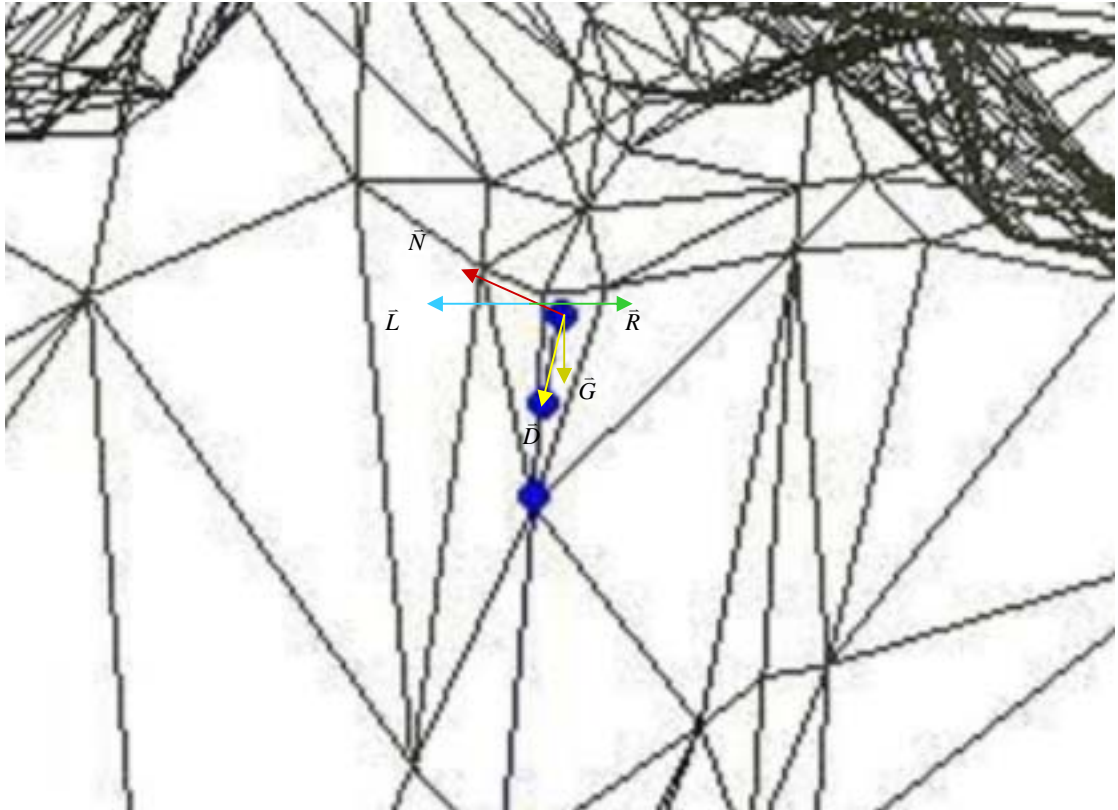


圖 3.3 水流邊界的產生



在計算出上述的向量之後，順著該節點的法向量方向提升特定臨界值的量後分別往 \bar{L} 、 \bar{R} 計算與多邊形相交處，而該相交點則是我們水流邊界特徵線的一個節點。

Line and triangle 相交的演算法如下

```

LineTriangleIntersect(int nVecID, Vector vLineOrigin, Vector vLineDir, float epsilon,
Vector &vIntersection)
{
    Vector e1, e2, p, s, q;
    float t, u, v, tmp;

    MyTriangle *tri = draw_tri[nVecID];

```

```

e1 =v[tri->vertex[1]->vertexid] - v[tri->vertex[0]->vertexid];
e2 =v[tri->vertex[2]->vertexid] - v[tri->vertex[0]->vertexid];

p = vLineDir*e2;    //cross product
tmp = p^e1;        //dot product

if(tmp>-epsilon && tmp< epsilon)
    return false;

tmp = 1.0/tmp;
s = vLineOrigin - v[tri->vertex[0]->vertexid];

u = tmp*(s^p);

if(u<0.0 || u>1.0)
    return false;

q = s*e1;
v = tmp*(vLineDir^q);

if(v<0.0 || v>1.0)
    return false;

t = tmp*(e2^q);

vIntersection = vLineOrigin+t*vLineDir;

return true;
}

```



將所有取得的邊界點連線後，圖 3.4 即是所求得的水流邊界特徵線：

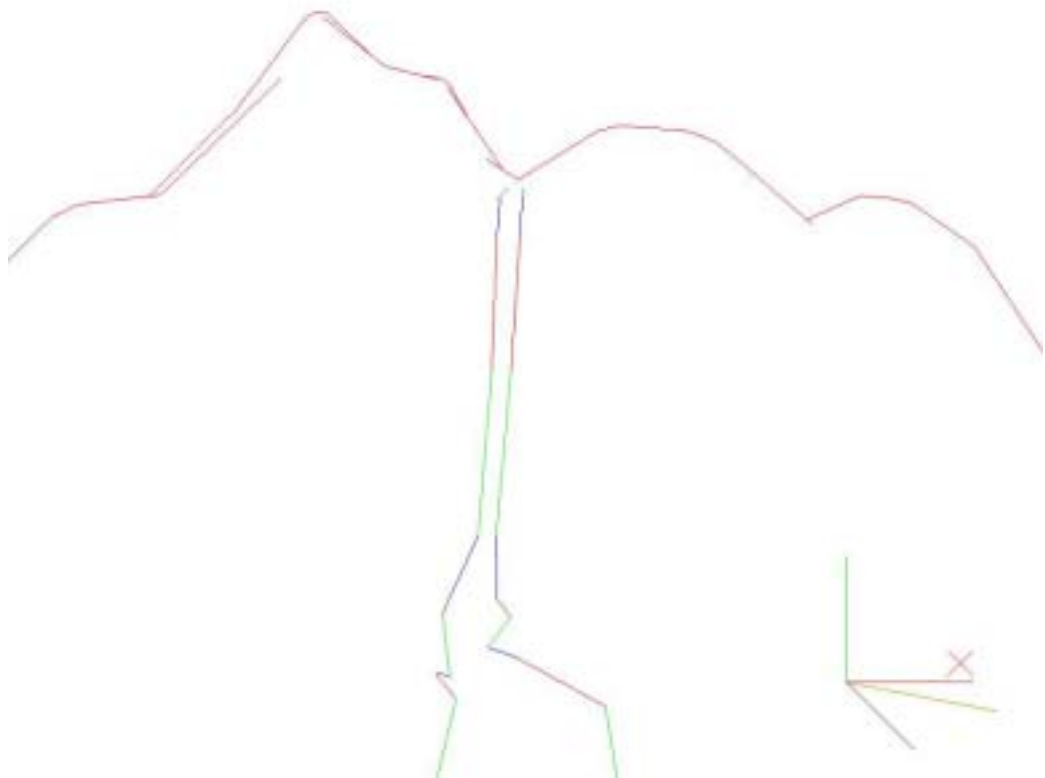


圖 3.4 水流邊界特徵線

將水流邊界特徵線的左右邊界以帶狀三角形(triangle strip)的方式顯示,而所要求得的水流表面就出現了,將該帶狀三角形以特定的影像識別碼顯示出來,然後再在二維平面空間利用該特定的識別碼求得二維平面空間的水流邊界,請參閱圖 3.6、3.7 和 3.8,淺綠色的部分為水面左邊,淺藍色的部分為水面的右邊,而紫紅色的地方則是輪廓線(Silhouette Edge),這麼做的目的是由於該河流表面有可能因為地形與視角的關係而被輪廓線的阻擋而中斷,若完全由三維立體空間來處理的話,將無法很完整的將其表現出來。

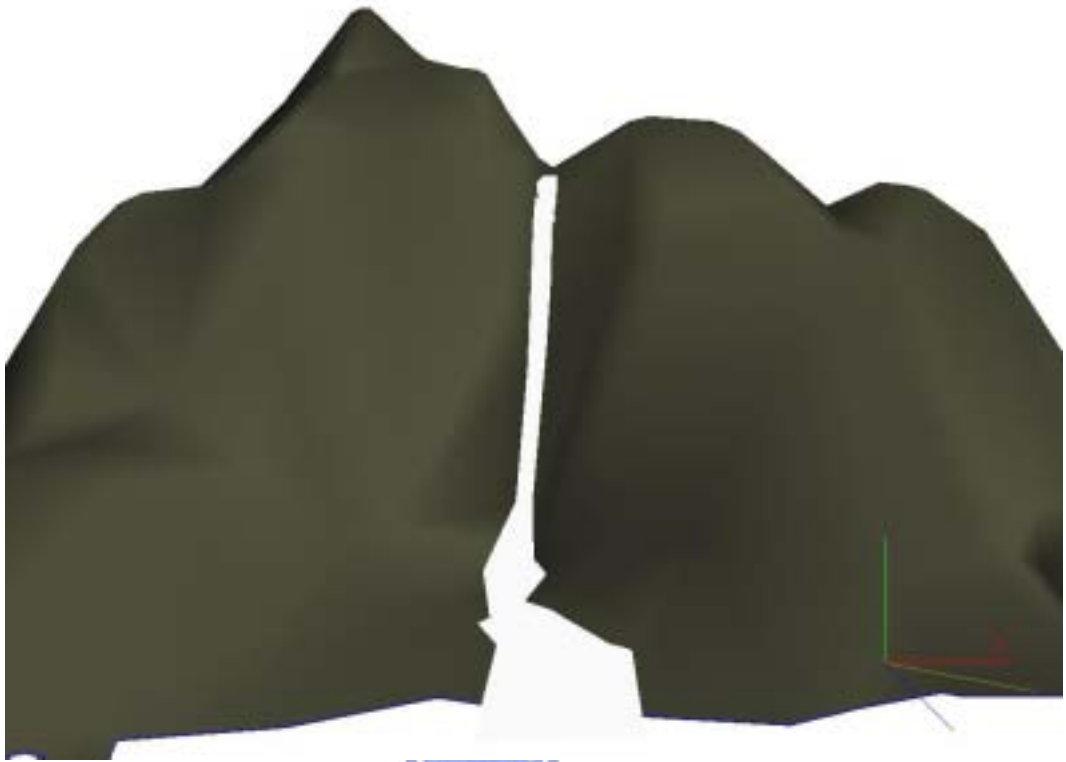


圖 3.5 水流表面的產生

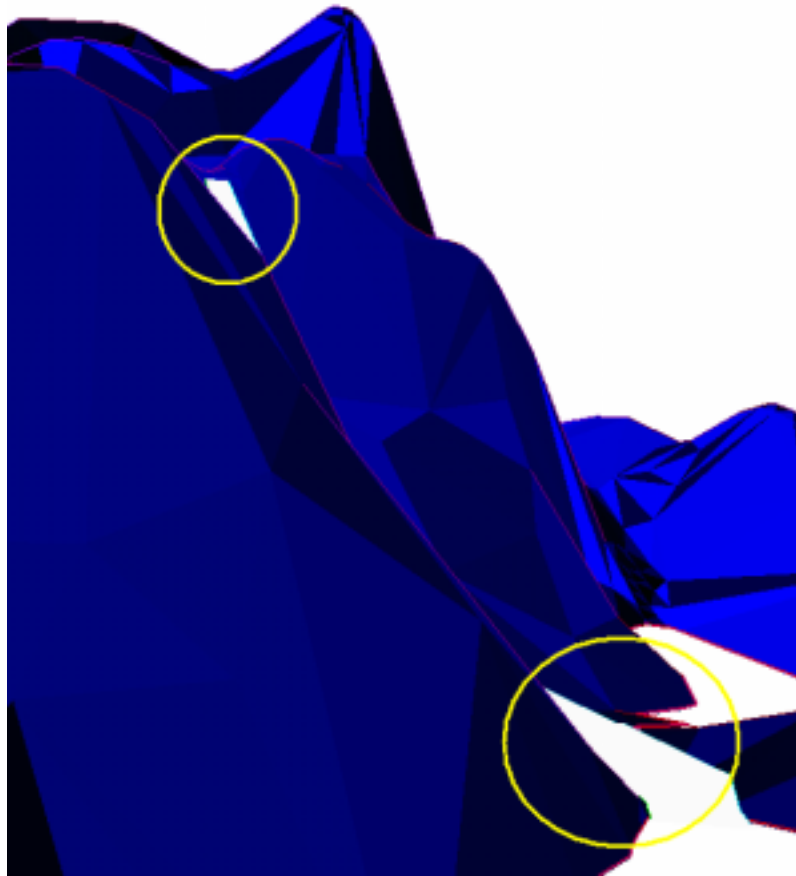


圖 3.6 識別影像 1

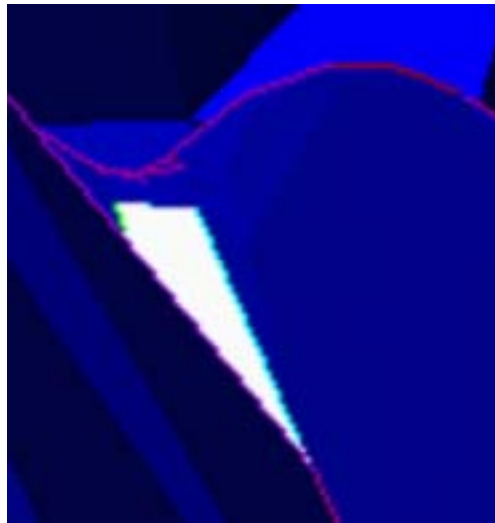


圖 3.7 識別影像 2

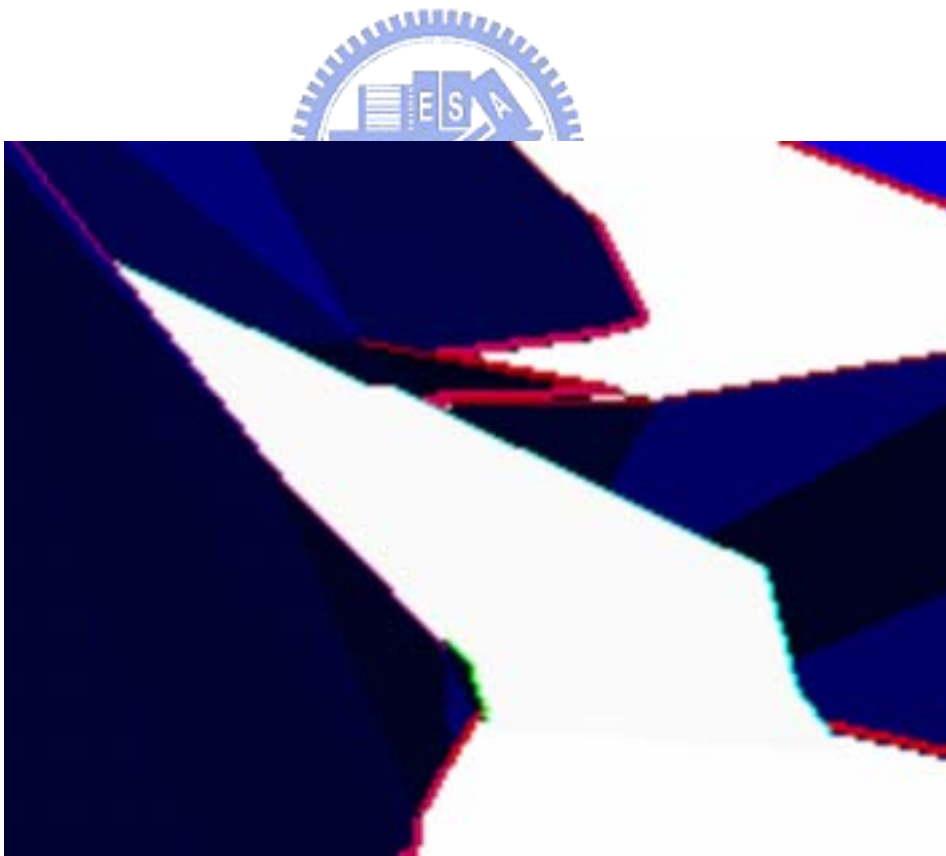


圖 3.8 識別影像 3

3.3 水流波紋線的產生

在產生出水流表面時，將其著以白色呈現出水的白練效果，再依水流表面的寬度順其方向分別產生不同數量的水流波紋特徵線，如圖 3.9 所示：

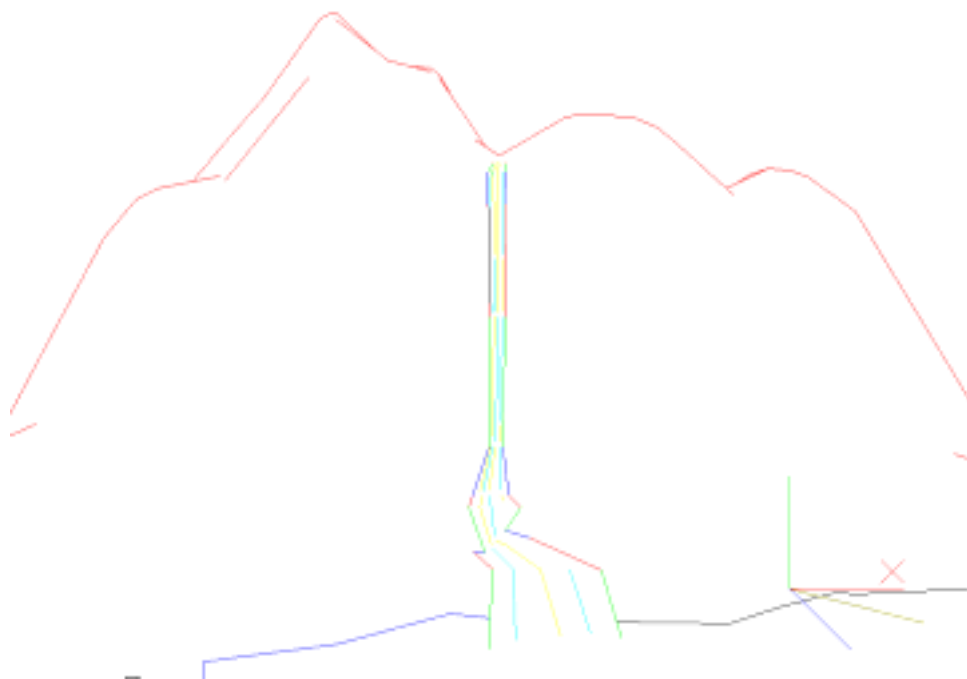


圖 3.9 水流波紋特徵線

第4章 水流描繪

在上一章中完成了水流走勢、水流邊界與水流波紋線等的筆觸軌跡後，本章說明我們的繪圖演算法，以模擬出中國山水畫中水流的水墨效果。首先，會說明我們的水墨筆觸，包含水墨畫模組中的毛筆模組與移動控制機制、水墨筆觸模擬與濃淡效果、水墨特性與毛筆壓力機制等。再來，會說明如何應用水墨筆觸在水流表面、水流的邊界和水流波紋線上。

4.1 水墨筆觸



下面我們會介紹水墨畫模組中的毛筆模組與移動控制機制、水墨筆觸模擬與濃淡效果、水墨特性與毛筆壓力機制。

4.1.1 毛筆模組與移動控制機制

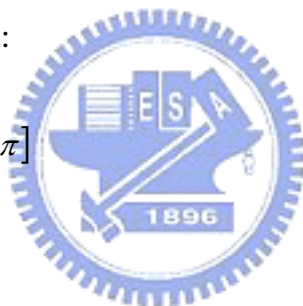
本節將介紹以 Weng[35]為主的二維毛筆模組，Weng 的毛筆模組是以二維圓形的架構來模擬毛筆與畫布的接觸區域，主要是著重在中鋒的筆觸模擬上，然而我們可以藉由將二維圓形的架構改變成二維橢圓的架構，經由改變橢圓的長短軸比例去模擬毛筆與畫布的接觸面積，以達到模擬側鋒的效果。毛筆的筆毛是以同心橢圓的方式均勻分布在與畫布的接觸面積內，而毛筆與

畫布的接觸區域如圖 4.1 所示，以 O 為同心橢圓的中心點，並以最外圈的橢圓 (F_1) 作為基準，而內圈的橢圓則按比例分佈其內，我們定義 Y 軸的方向為主軸 (B)，將其作為軸長比率的基準，而 X 軸的方向為副軸 (A)。其個別的橢圓方程式與軸長定義如 4-1 式，參數式如 4-2 式。

$$\begin{aligned}
 F_i &\Rightarrow \frac{x^2}{a_i^2} + \frac{y^2}{b_i^2} = 1 \\
 a_i &= A \times \frac{i}{I} \\
 b_i &= B \times \frac{i}{I}
 \end{aligned} \tag{4-1}$$

F_1 的橢圓參數式如下所示：

$$\begin{aligned}
 x_i &= a_i \cos \theta \\
 y_i &= b_i \sin \theta \quad \theta \in [0, 2\pi]
 \end{aligned} \tag{4-2}$$



其中：

a_i, b_i, A, B 分別為 F_i 與 F_1 的副軸與主軸，

I 為橢圓的總個數，

i 為橢圓索引編號。

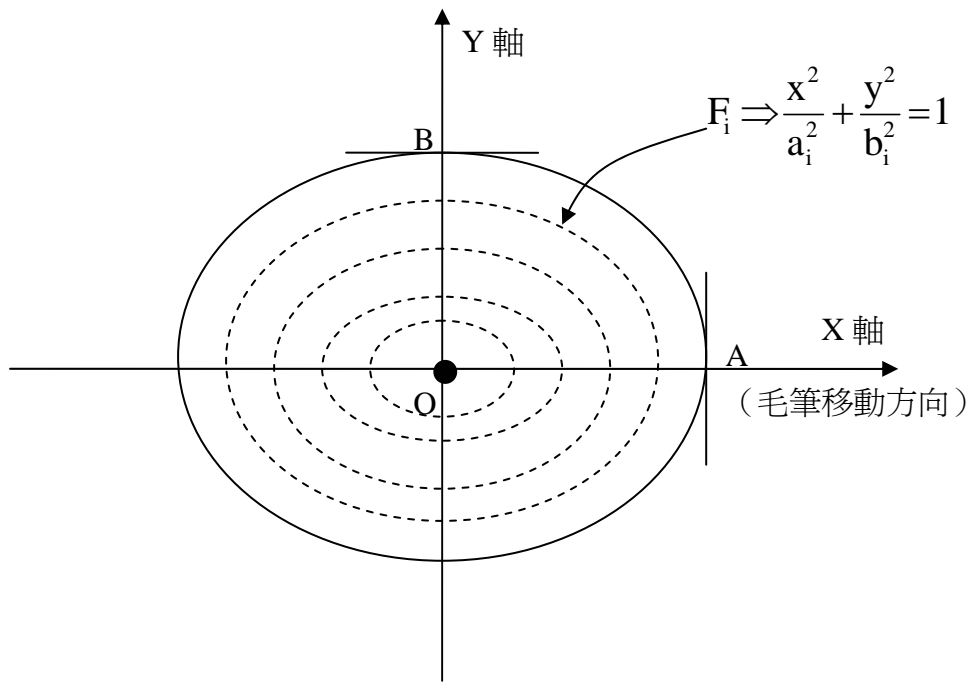


圖 4.1 毛筆與畫布接觸面之同心橢圓模擬

在毛筆與畫布接觸面內部，由於筆毛是均勻的分佈在同心橢圓上，因此各個筆毛與畫布的接觸位置，可從 O 點輻射出直線與同心橢圓的相交點得到，輻射線段稱作區域 R ，而同心橢圓被輻射線段以等角度方式切割成數個小區域，如圖 4.2 所示，因此各個輻射線段與 X 軸的夾角可由 4-3 式求得。

$$\theta_j = 2\pi \times \frac{j}{J} \quad (4-3)$$

其中

$0 \leq \theta_j < 360$ 為 X 軸與 $\overline{OS_{i,j}}$ 的夾角。

J 為分割的區域的總數，

j 為區域的索引編號。

對於筆毛與畫布的接觸位置即 F 與 R 的相交點 S_{ij} ，可以極座標方式表

示如4-4式：

$$S_{i,j} = S(d_{i,j}, \theta_{i,j}) \quad (4-4)$$

其中

i 為橢圓的索引編號，

j 為分割區域的索引編號，

$d_{i,j}$ 為 $S_{i,j}$ 到原點 O 的距離。

$$d_{i,j} = \sqrt{\left(A \times \frac{i}{I} \times \cos \theta_j\right)^2 + \left(B \times \frac{i}{I} \times \sin \theta_j\right)^2} \quad (4-5)$$

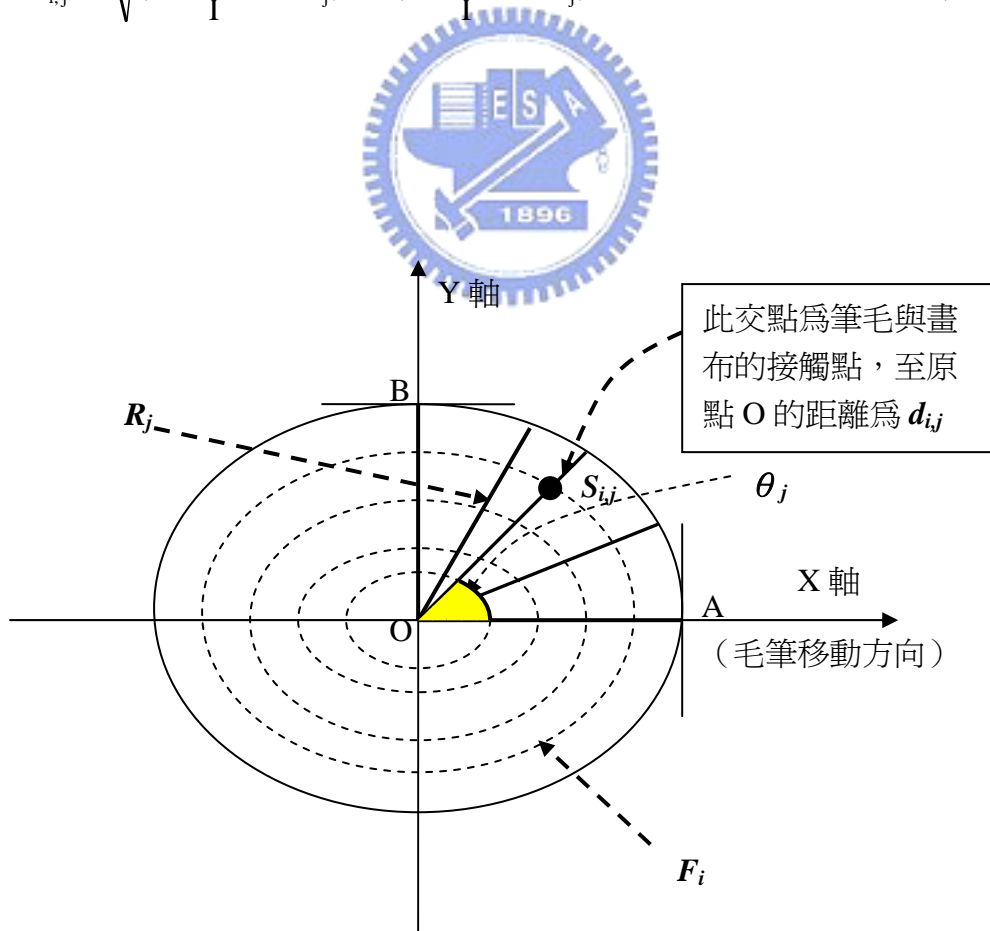


圖 4.2 毛筆筆毛與畫布接觸點的分佈

毛筆模組中的 A 、 B 參數控制著整個毛筆與畫布接觸的形狀與面積，在本研究系統中副軸 A 是以主副軸的比例 R 來代替 ($A = R \times B$)，因此可以藉由改變 B 的大小決定毛筆與畫布接觸的範圍，改變主副軸的比例 R 來決定毛筆與畫布接觸面的外型。毛筆筆毛的多寡與分布情形，可經由 I 橢圓的個數與 J 分割的區域的總數來控制。藉由改變 B 、 R 、 I 與 J 四個參數就可以模擬出中鋒與側鋒等兩種不同的筆觸。

在模擬毛筆的行進過程中，毛筆移動軌跡是利用 *Cardinal Spline* 來建立的，移動軌跡曲線的控制點是以內插的方式計算而獲得，其行進過程包含毛筆位置、毛筆壓力及毛筆軸向等三個參數，分別說明如下。



1. 毛筆位置：

假設毛筆的中心點 O 在畫布 (x, y) 位置上，則筆毛 $S_{i,j}$ 與畫布的接觸點

定義如下：

$$\begin{aligned} S_{i,j,x} &= S'_{i,j,x} + x = \left(A \times \frac{i}{I} \times \cos \theta_j \right) + x \\ S_{i,j,y} &= S'_{i,j,y} + y = \left(B \times \frac{i}{I} \times \sin \theta_j \right) + y \end{aligned} \quad (4-6)$$

其中

$S'_{i,j}$ 為 $S_{i,j}$ 在毛筆模組的區域座標位置，
 $S'_{i,j,x}$ 、 $S'_{i,j,y}$ 、 $S'_{i,j,x}$ 、 $S'_{i,j,y}$ 分別為 $S_{i,j}$ 與 $S'_{i,j}$ 的 x 、 y 座標位置。

2. 毛筆壓力：

假設有 $n+1$ 個曲線控制點 $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n, c_{n+1}$ ，將曲線

分成 n 個線段 $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ 。

則在某一線段 s 中的內插點 d ，可以利用4-7式求得該點壓力值：

$$\frac{p_d - p_{c_i}}{p_{c_{i+1}} - p_{c_i}} = \frac{u_d - u_{c_i}}{u_{c_{i+1}} - u_{c_i}} \quad (4-7)$$

其中

$0 \leq p_d, p_{c_i}, p_{c_{i+1}} \leq 1$ 分別為 d, c_i, c_{i+1} 各點的壓力值，

$0 \leq u_d, u_{c_i}, u_{c_{i+1}} \leq 1$ 分別為 d, c_i, c_{i+1} 各點的Cardinal Spline 參數。



3. 毛筆軸向：

我們參考Weng[35]利用毛筆軸向對齊曲線的切線方法，以獲得

較自然的筆觸。如圖4.3所示，毛筆沿著軌跡移動，在第 k 個軌跡

點 d_k ，利用 d_k 點上的斜率可以計算出切線向量 T_k 與X軸的夾角如

4-8式所示：

$$T(x_k, y_k) = \frac{y_k - y_{k-1}}{x_k - x_{k-1}}$$

$$\alpha_k = \text{Tan}^{-1}(T(x_k, y_k)) \quad (4-8)$$

其中

$T(x_k, y_k)$ 為切線向量 T_k 的斜率，

α_k 為 T_k 與 X 軸的夾角。

將第 k 個軌跡點的 α_k 值減去前一個軌跡點的 α_{k-1} ，可以得到 d_{k-1} 到 d_k

的毛筆旋轉角度 α ，毛筆旋轉後的新座標為：

$$S_{i,j,x} = (A \times \frac{i}{I} \times \cos \theta_j \times \cos \alpha - B \times \frac{i}{I} \times \sin \theta_j \times \sin \alpha) + x$$

$$S_{i,j,y} = (A \times \frac{i}{I} \times \cos \theta_j \times \sin \alpha + B \times \frac{i}{I} \times \sin \theta_j \times \cos \alpha) + y \quad (4-9)$$

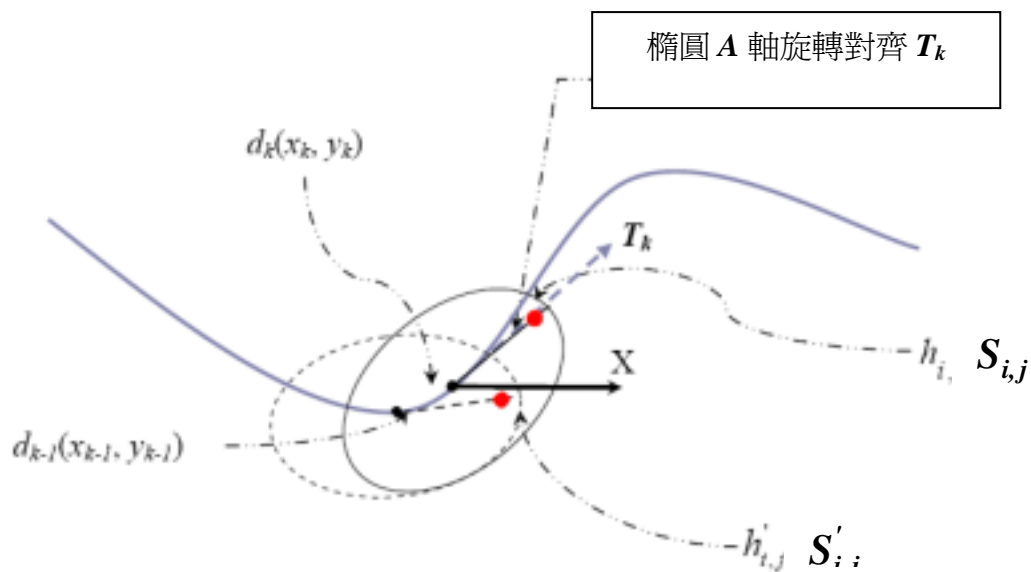


圖 4.3 毛筆的移動軌跡與旋轉

4.1.2 水墨筆觸模擬機制

4.1.2.1 墨色變化

在Weng[35]的毛筆模組中將墨水量與墨色濃度視為相同，因此無法模擬墨色濃水量少的情形，因此本篇論文將墨色濃度值與墨水量分開。此外將Weng毛筆模組中的Decreasing 參數模擬墨水量減少產生的墨色變化，修改成分別以水與墨色的濃度不同而產生的墨色變化，如圖4.4所示。為了模擬毛筆所畫的墨色濃淡深淺變化，另外加入了墨色控制參數，並設定筆觸的起始墨色與結束墨色，以線性內插的方式呈現筆觸的墨色變化情形。



圖 4.4 墨色變化效果

本研究參考了Weng毛筆模組中的Concentration、Difference及Discontinuity等三個參數，利用前兩個參數來控制墨色濃度及墨水量的分布，第三個參數則是用來模擬在墨水量不足時所產生出來的水墨畫飛白效果，說明如下：

1. 水墨集中效果（Concentration）

Weng在此處提供了四種墨色分布效果，他的墨色分布效果是在毛筆與畫布的接觸面Y方向上做出線性的灰階變化，如圖4.5所示，此效果可與其他的參數配合而產生出多樣的筆觸風格。



圖 4.5 墨色在Y方向作線性灰階變化所產生的效果

2. 筆毛水墨相異值 (Difference)

Weng以一個亂數陣列 (difference[]) 來實作這個效果，其內存放著從正負相同區間內取出的亂數值，每根筆毛再依其y值對應至亂數陣列的特定位置，以取得不同的亂數值，如此使得不同的筆毛y值就可以有不同的墨色擾亂程度，其所產生出來的筆觸效果如圖4.6所示。



圖 4.6 不同的墨色擾亂程度所產生的效果



3. 筆毛斷水效果 (Discontinuity)

繪圖的時候，毛筆所沾上的墨水量會隨著筆毛與畫布的接觸移動逐漸減少，為了模擬在墨水量不足時所產生出來的飛白這項效果，定義了不連續性陣列 (discontinuity[])，其作法與亂數陣列 (difference[]) 作法相同，其索引出來的數值就作為筆毛發生斷水的長度上限 (Max_Gap)。當筆毛的墨水量不足時，以亂數產生小於等於Max_Gap的斷水長度gap-size，讓筆毛於該區段距離內不留下墨跡，其效果如圖4.7所示。



圖 4.7 筆毛斷水效果

4.1.2.2 中鋒與側鋒模擬

中鋒的移動方式為直筆而下，而毛筆與畫布接觸面積的大小及墨水滲出量與施加於毛筆的壓力值有關，如圖4.8所示，而墨色的濃淡表示著每根筆毛滲出墨水的加權數 W_p 高低，以4-10定義如下：

$$W_p = \begin{cases} \text{no touch} & , \frac{d_{i,j}}{d_{l,j}} > p \\ \sqrt{\left(\left(1 - \frac{d_{i,j}}{d_{l,j}}\right) \times p + p\right)/2} & , \frac{d_{i,j}}{d_{l,j}} \leq p \end{cases} \quad (4 - 10)$$

其中

- $d_{i,j}$ 為 $S_{i,j}$ 到橢圓中心點 O 的距離，
- $d_{l,j}$ 為 $S_{l,j}$ 到橢圓中心點 O 的距離，
- $0 \leq p \leq 1$ 為毛筆的壓力 值。

由4-5式可以得出：

$$d_{i,j} = d_{i,j} \times \frac{i}{I} \quad (4-11)$$

因此 4-10可簡化爲：

$$W_p = \begin{cases} \text{no touch} & , \frac{i}{I} > p \\ \sqrt{((1 - \frac{i}{I}) \times p + p) / 2} & , \frac{i}{I} \leq p \end{cases} \quad (4-12)$$

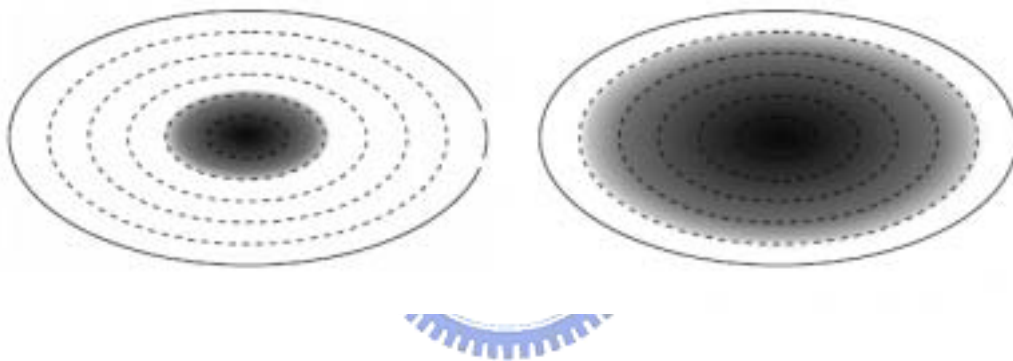


圖 4.8 毛筆接觸面積與施加壓力成正比

側鋒筆觸的移動方式爲斜筆而下，提筆時毛筆與畫布接觸面是由單邊開始逐漸往筆尖縮小，如圖 4.9 所示，其筆毛滲出墨水的加權數 W_p 高低，以 4-13 定義如下：

$$W_p = \begin{cases} \text{no touch} & , \frac{S_{i,j,y} + B}{2B} > p \\ p & , \frac{S_{i,j,y} + B}{2B} \leq p \end{cases} \quad (4-13)$$

其中

$S_{i,j,y}$ 為 $S_{i,j}$ 的Y座標值標

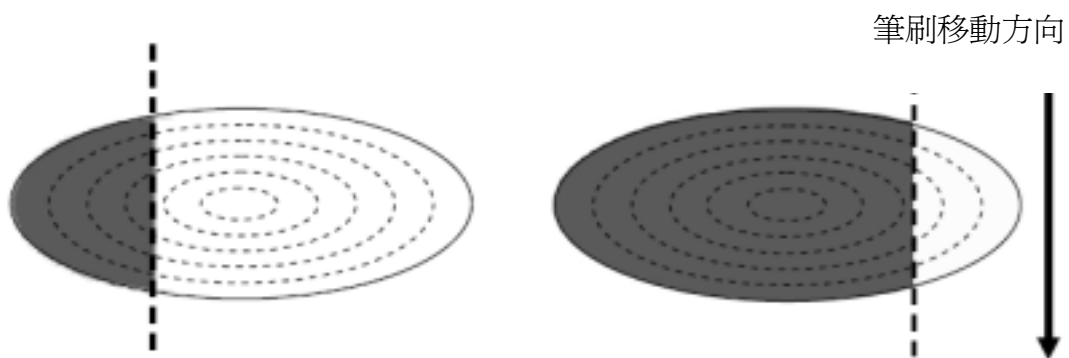


圖 4.9 側鋒單邊拉起的效果

4.2 水流打底處理

在中國的山水畫中，關於水的部分通常是以留白的方式來表示，因此，在產生河流的表面之後，特地將其著以白色，如圖 4.10 所示，由於尚未將水流邊

界做適當的處理和鉤勒水紋，此時所呈現的效果尚不真實。

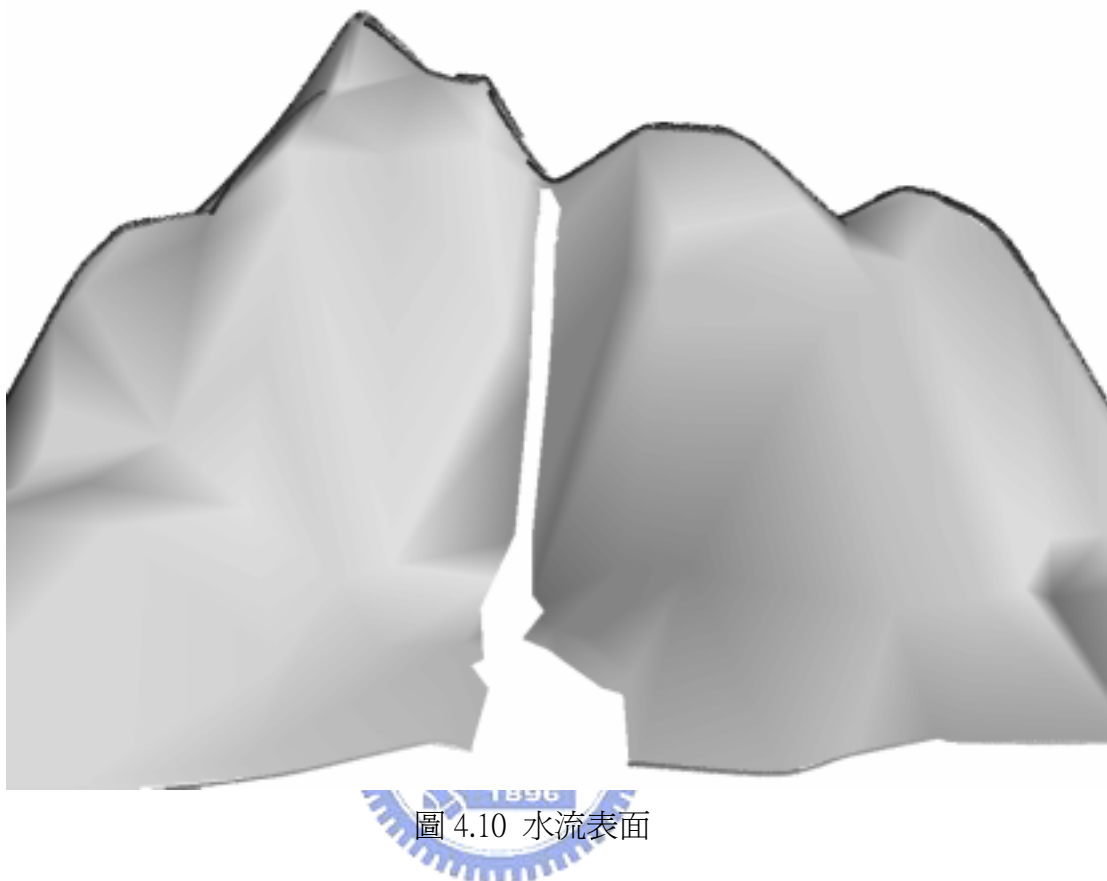


圖 4.10 水流表面

4.3 畫水流邊界

對於水流邊界的處理上，在此提出兩種方式，其中之一是利用水墨筆觸勾勒的方式來呈現，如圖 4.11。另一種則是將邊界以渲染的方式來處理，在此是使用低通濾波器來模擬渲染的效果，如圖 4.12 所示。

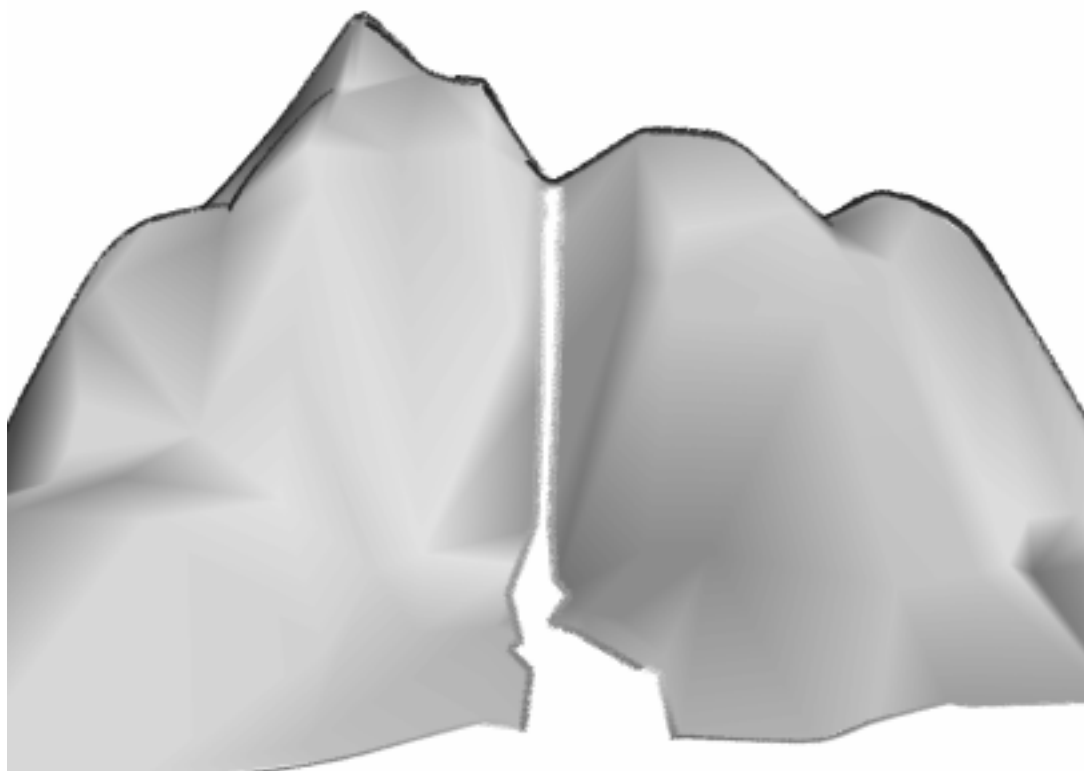


圖 4.11 以水墨筆觸的方式畫水流邊界

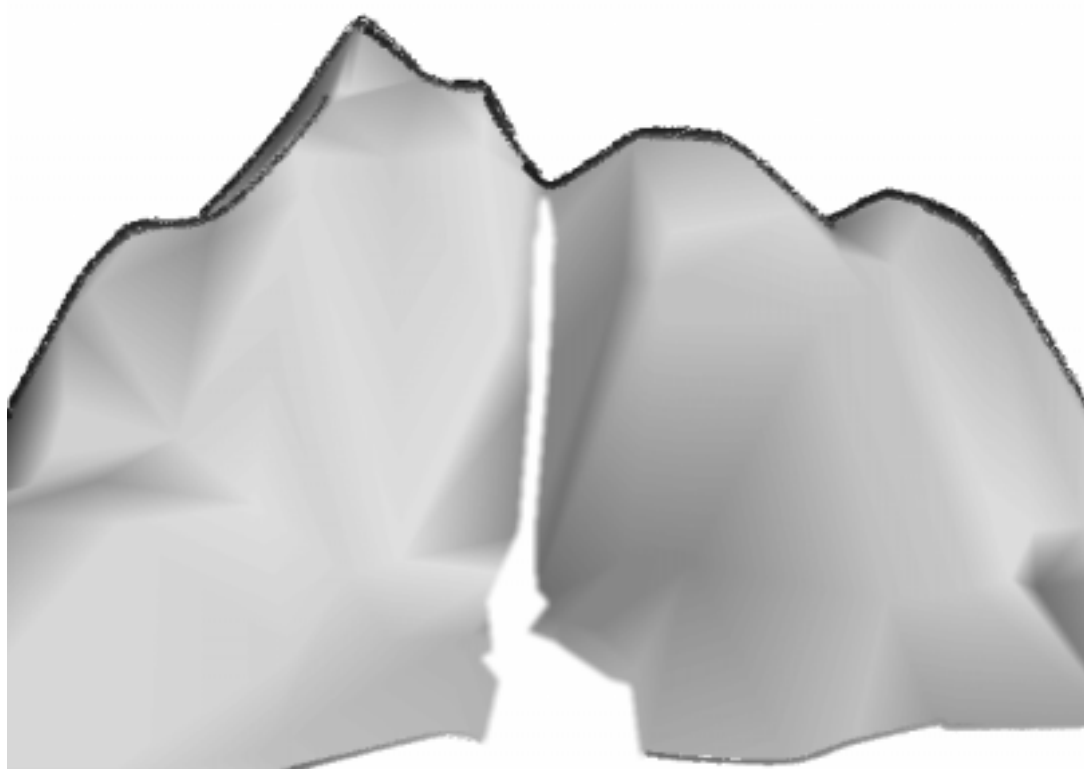


圖 4.12 以渲染的方式畫水流邊界

4.4 畫水流波紋線

對於水流波紋線也是以兩種方式來呈現，其中之一是較直的勾勒筆觸，通常是用來表示較湍急的狀態，呈現水流的速度感，如圖 4.13。另一則是在勾勒水流波紋時做一些擾動的處理，呈現水流的流動感，如圖 4.14。

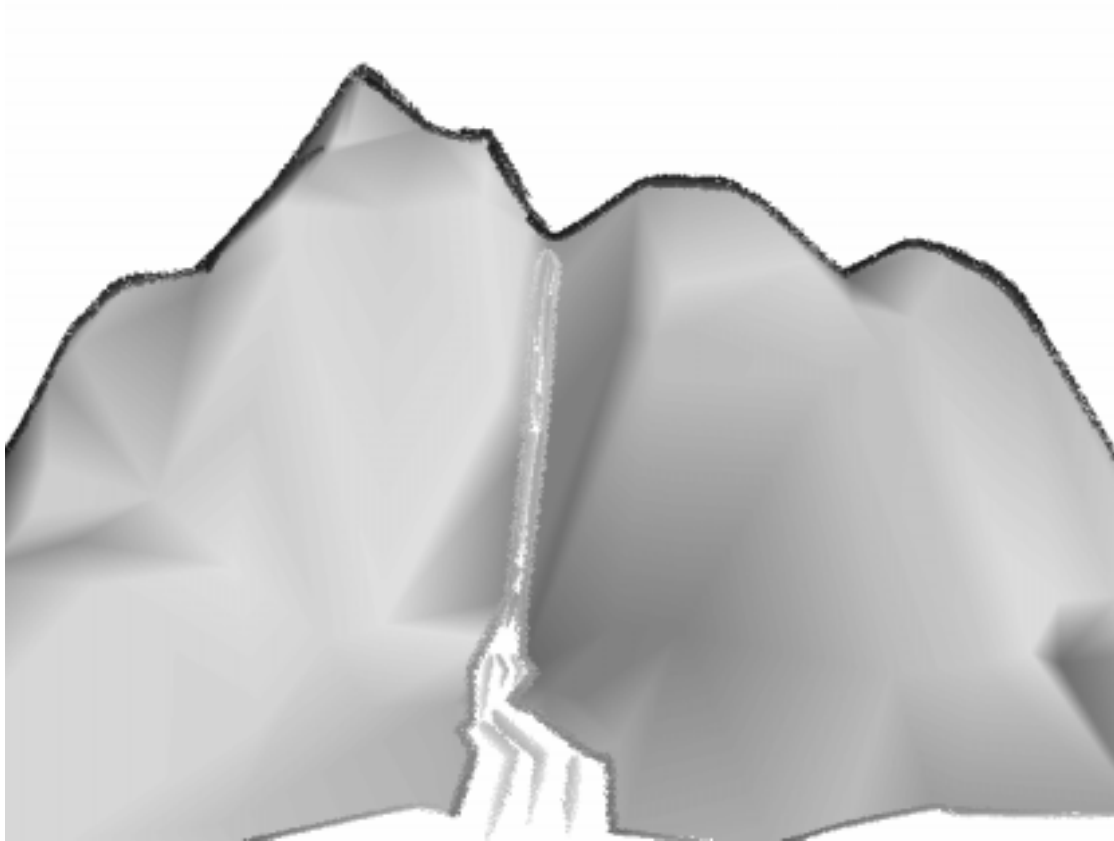


圖 4.13 鉤勒筆觸

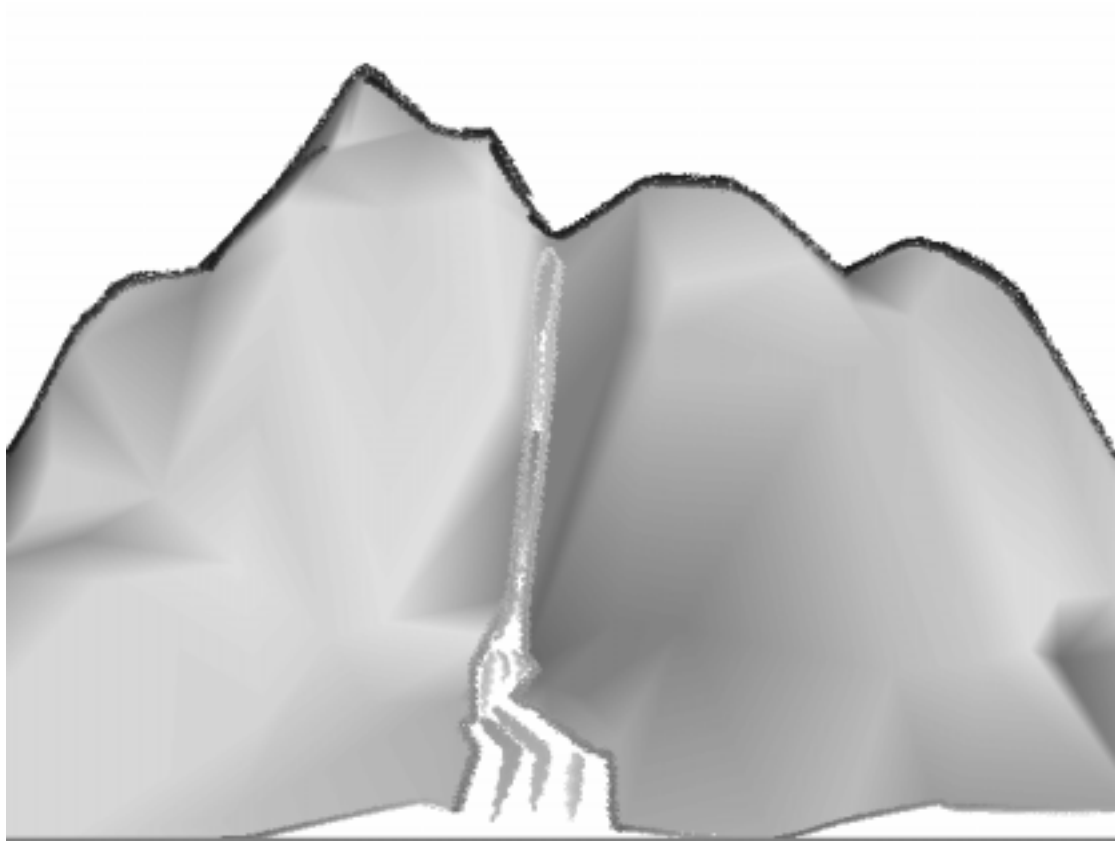


圖 4.14 鉤勒筆觸擾動

第5章 實驗結果

本篇論文主要是模擬山水畫的水流部分，對於山石皴法的部分朝向兩方面來處理，其一是採用材質貼圖的方式，優點是能較快速的處理，另一則是採用 Lee[38]所模擬的披麻皴，圖 5.1~圖 5.6 使用的是模型 s0.obj，圖 5.7~圖 5.12 使用的是模型 M2.obj，在設備為 P4-3.0G，RAM 512MB 的 PC 平台上執行測試，其效能成果請參閱表 5.1，描繪成果請參閱圖 5.1~5.12。



Model	三角面數量	頂點數量	Lee[38]的方法 (FPS)	材質貼圖 (FPS)
s0.obj	1185	600	3~5	7~10
M2.obj	2500	1531	2~4	5~7

表 5.1 執行效能成果

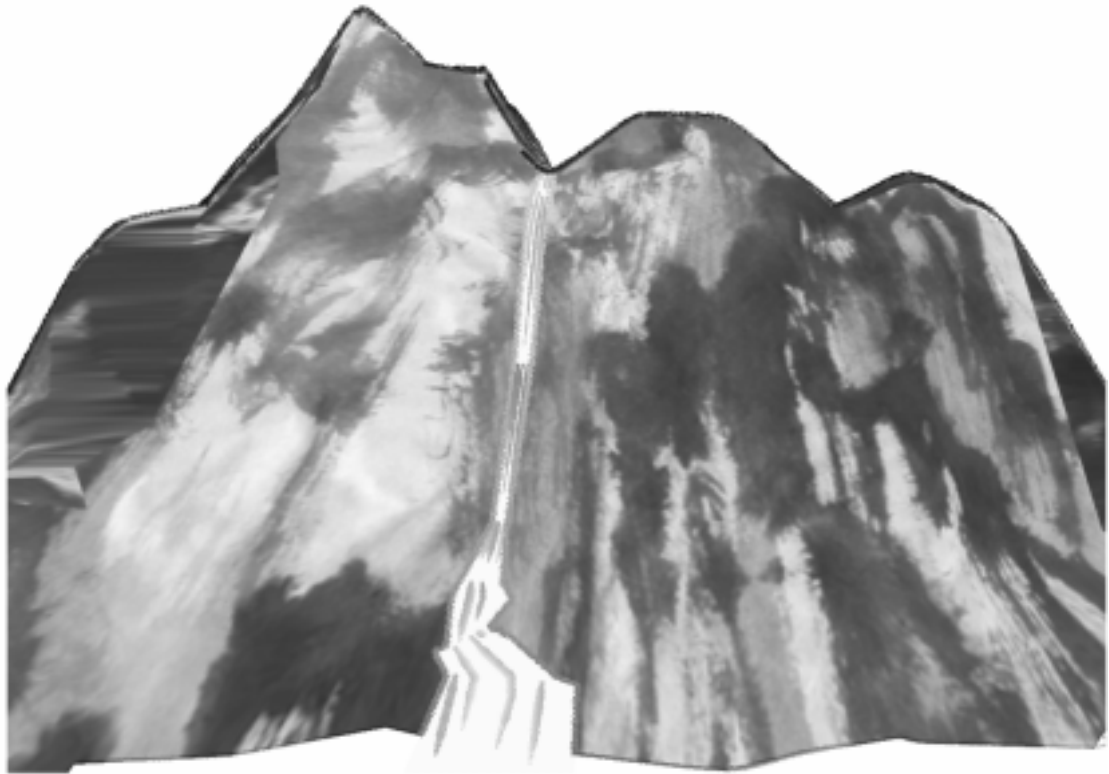


圖 5.1 地形模型使用材質貼圖

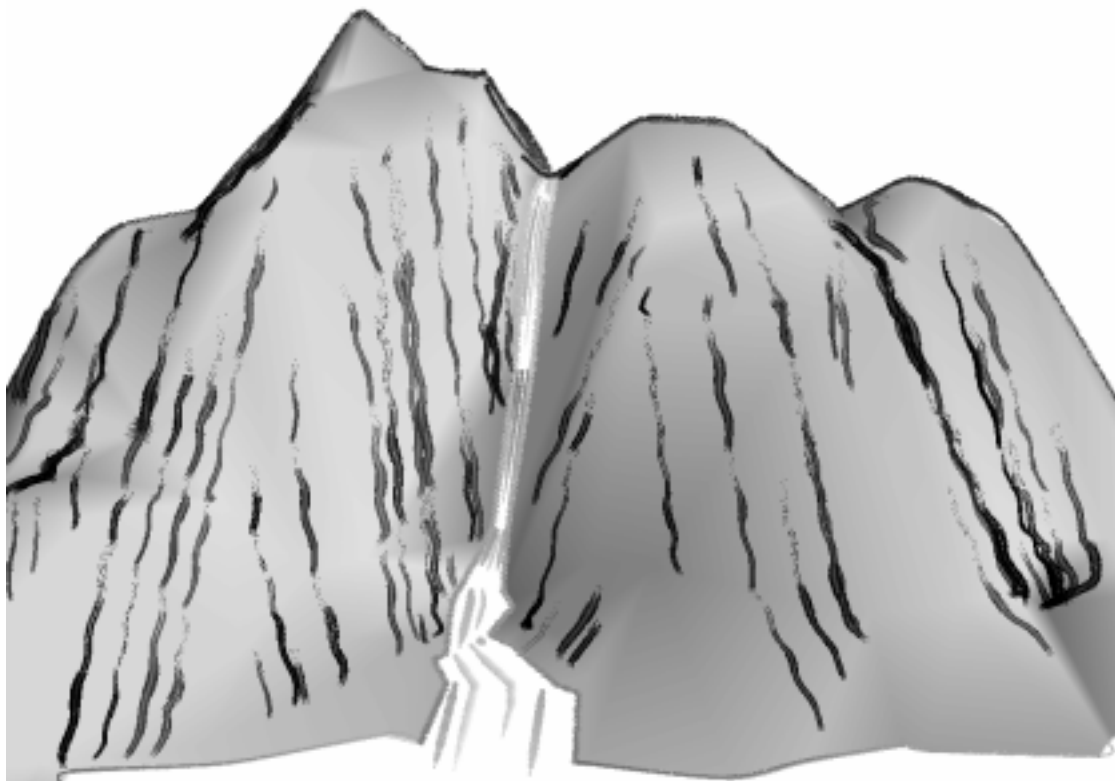


圖 5.2 地形模型使用 Lee[38]所提出的方法

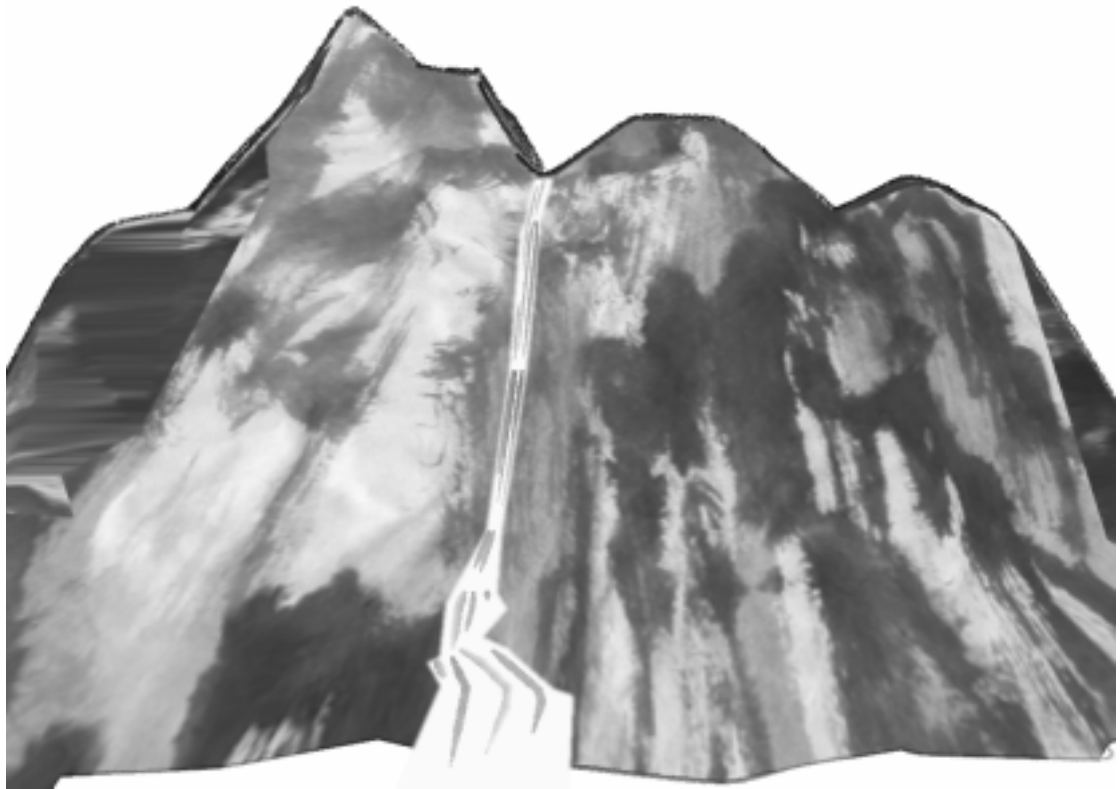


圖 5.3 地形模型使用材質貼圖加邊界用渲染處理

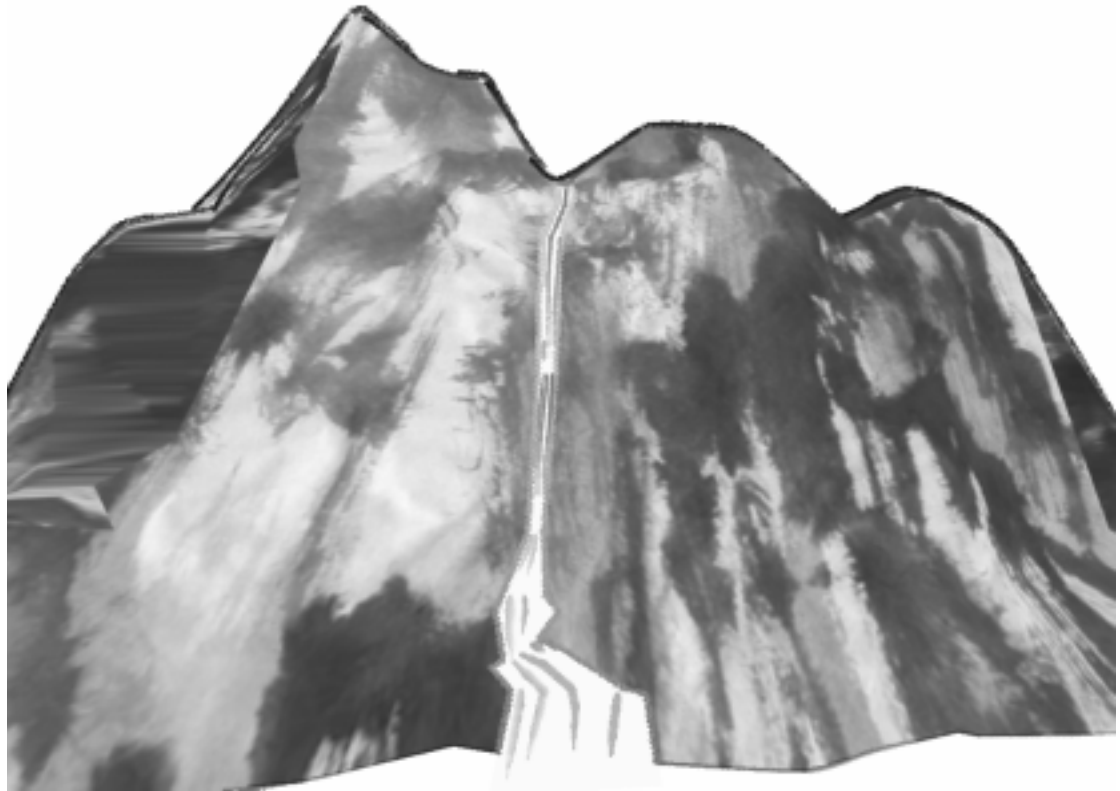


圖 5.4 地形模型使用材質貼圖加水流線擾動處理

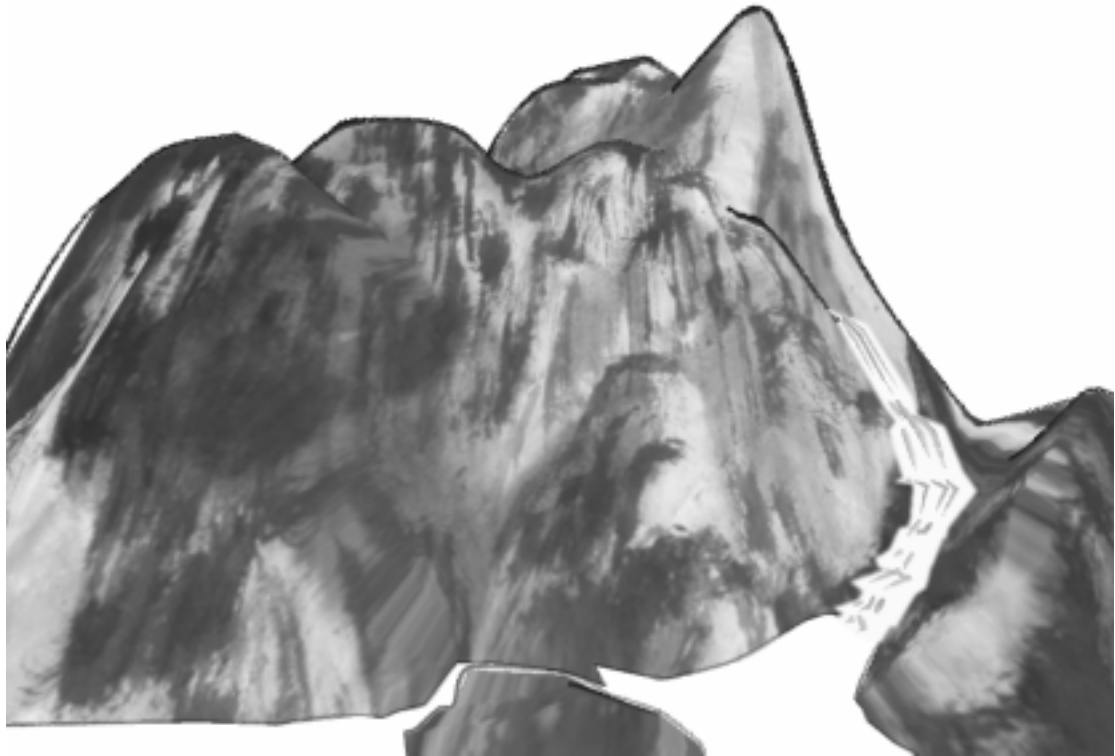


圖 5.5 地形模型使用材質貼圖加邊界用渲染和水流線擾動處理

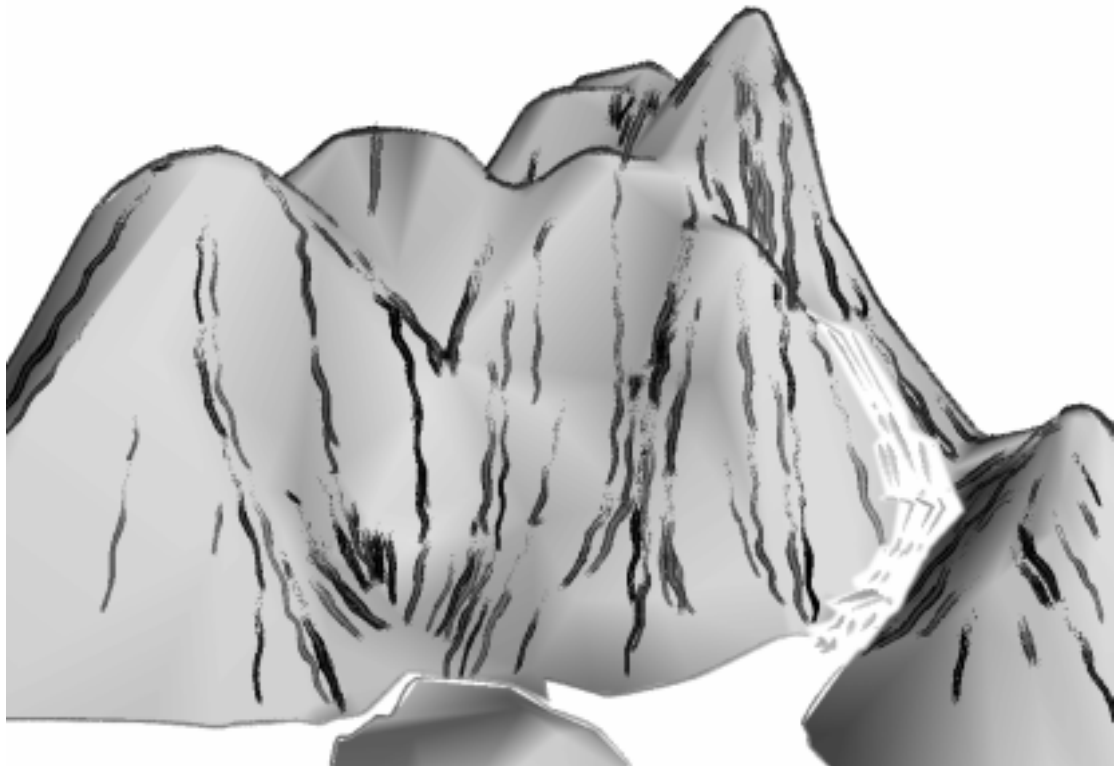


圖 5.6 地形模型使用 Lee[38]所提出的方法加邊界用渲染和水流線擾動處理

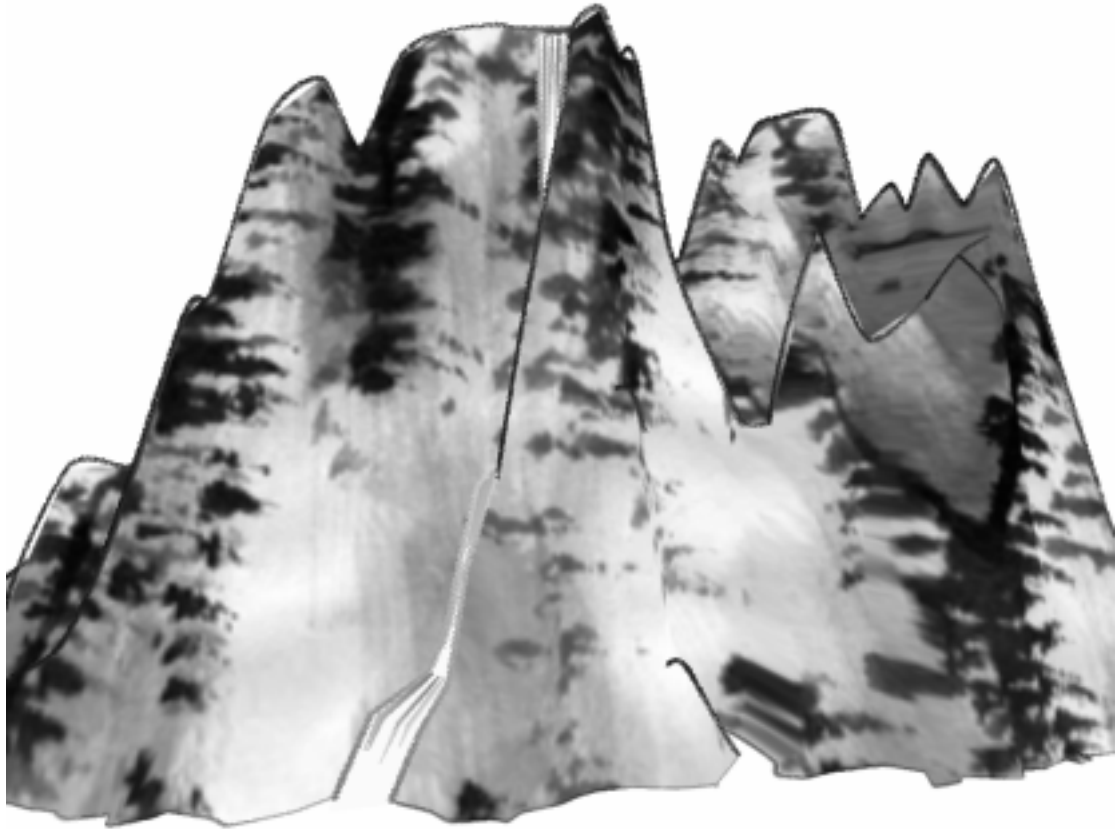


圖 5.7 地形模型使用材質貼圖

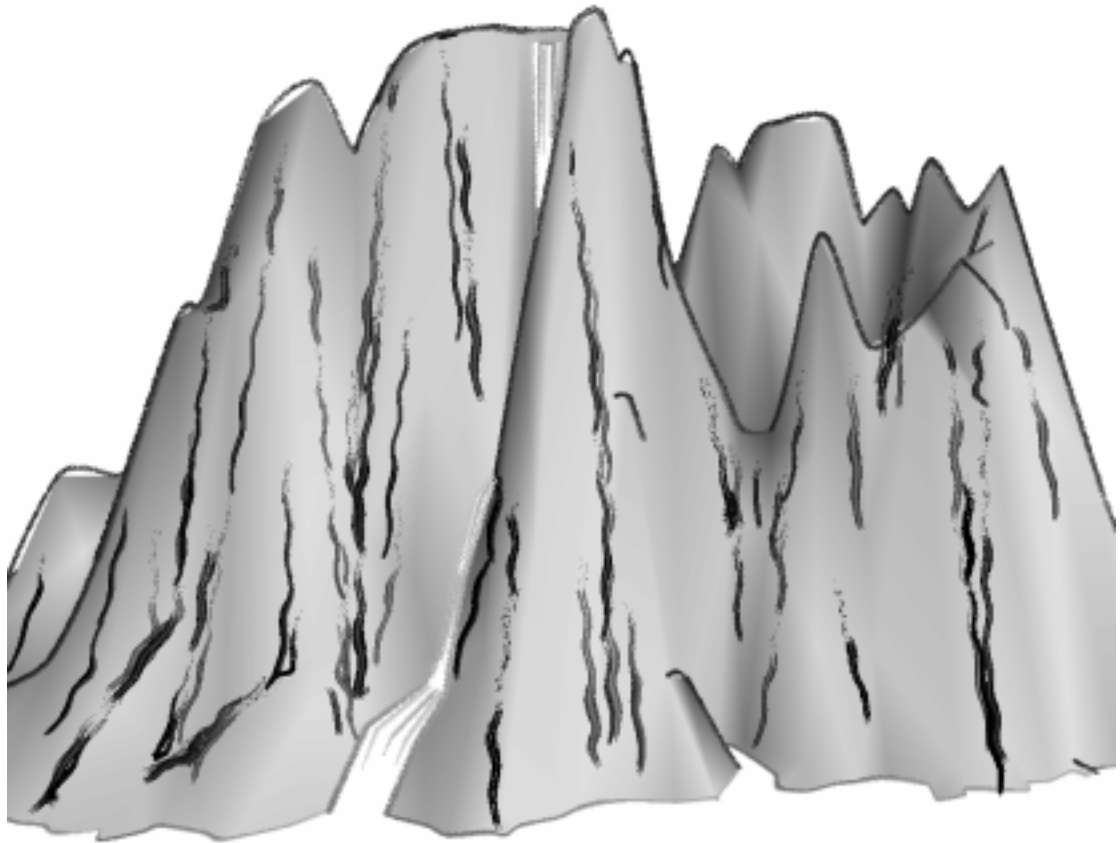


圖 5.8 地形模型使用 Lee[38]所提出的方法

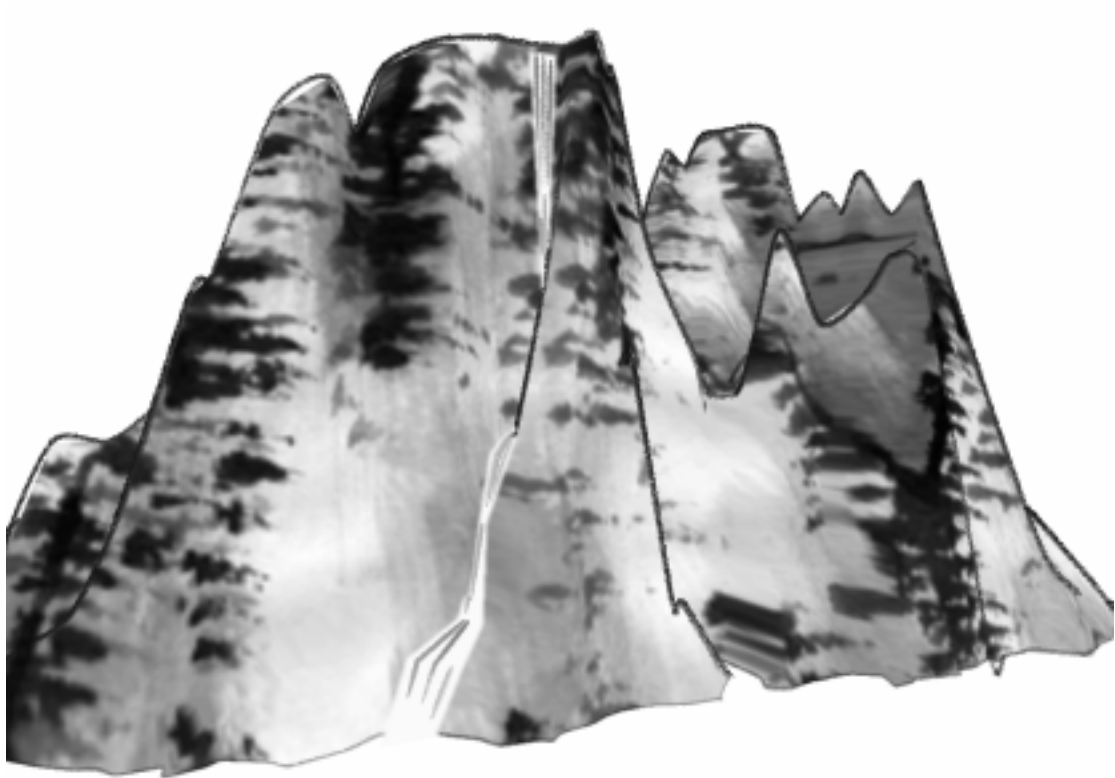


圖 5.9 地形模型使用材質貼圖加邊界用渲染處理

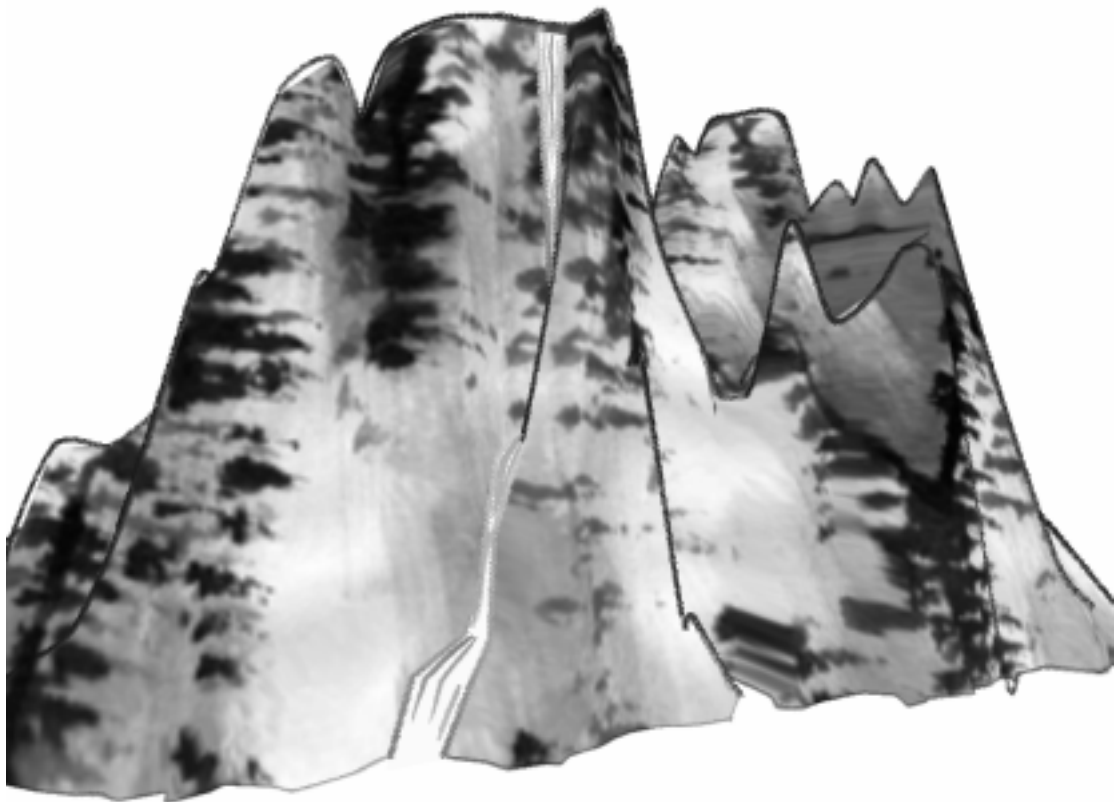


圖 5.10 地形模型使用材質貼圖加水流線擾動處理

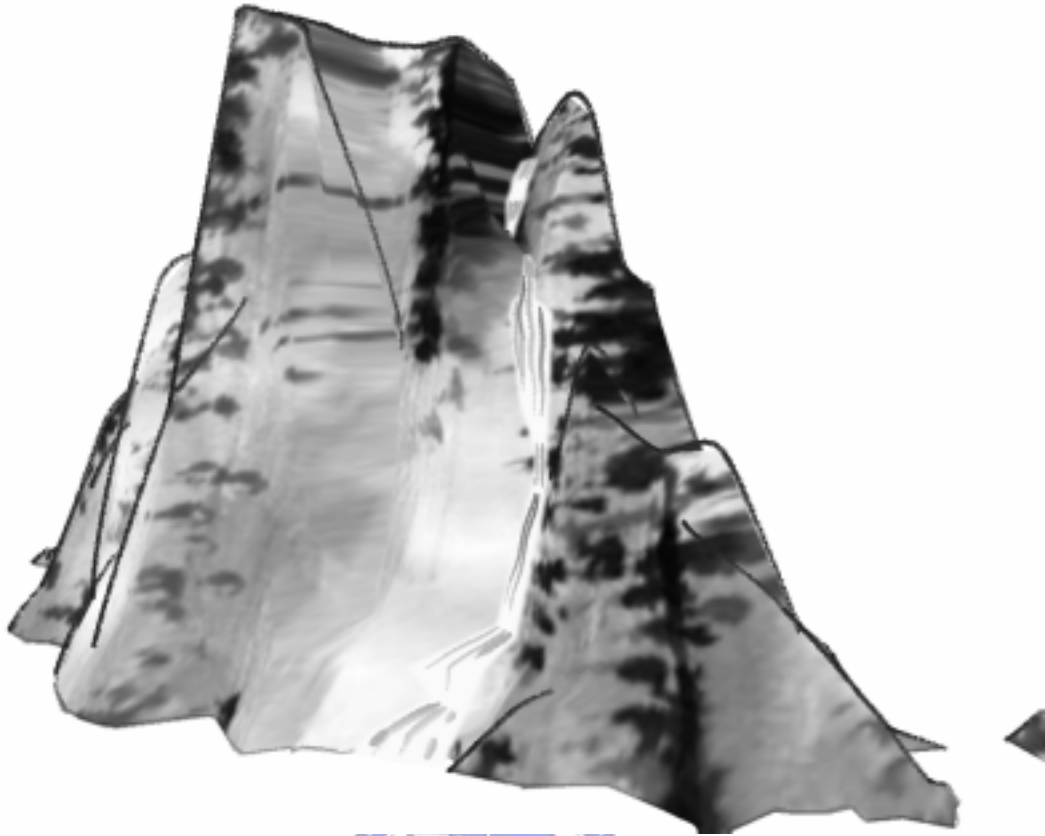


圖 5.11 地形模型使用材質貼圖加邊界用渲染和水流線擾動處理

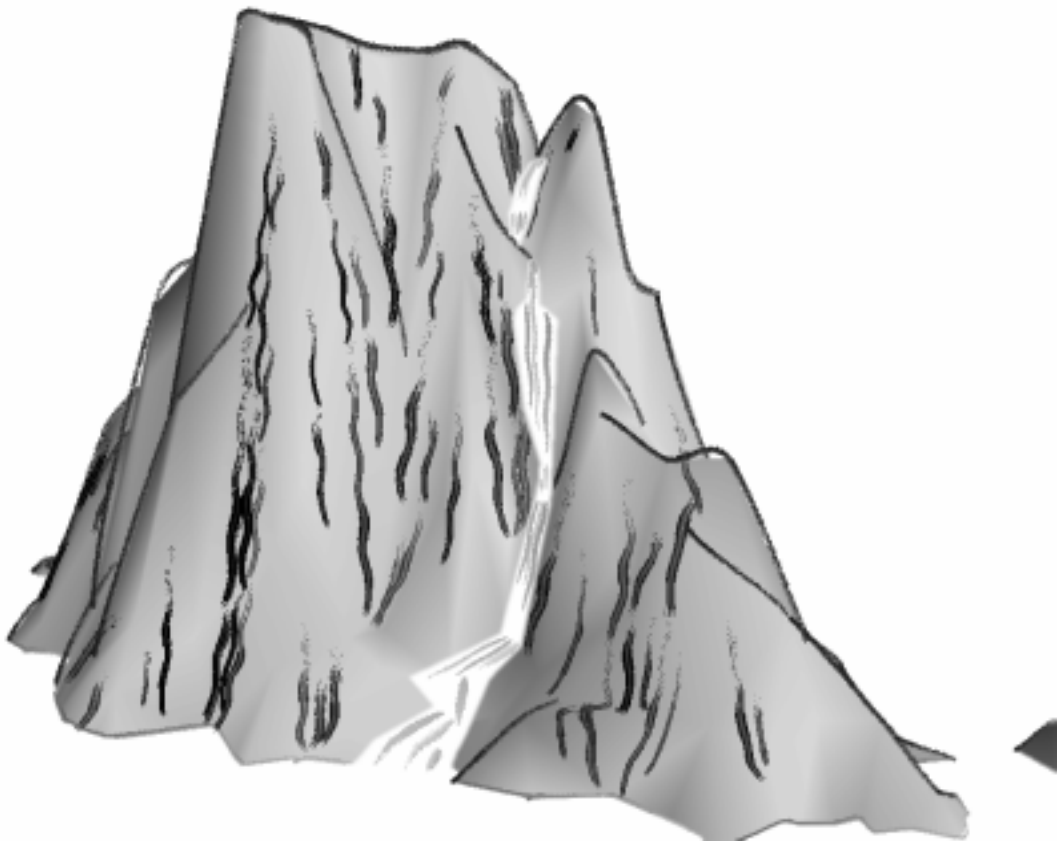


圖 5.12 地形模型使用 Lee[38]所提出的方法加邊界用渲染和水流線擾動處理

第6章 結論

本篇論文中，提供一個半自動的方式來產生中國水墨畫風格的水流模擬，使用者只需要輸入三維地形模型，經由三維的幾何分析，並由使用者點選適當的位置，系統就會自動的在該處產生水墨風格的水流特徵線，並綜合 Northup 等人所 [21,23]提出的方法，利用繪製識別參考影像來處理場景中物體遮蔽問題，再來利用 *Cardinal Spline* 來產生毛筆移動軌跡，參考 Weng [35]的水墨模組，將毛筆模組的模擬機制應用其中並做一些修改調整，就完成具山石皴法特色與水流的山水畫作品了。使用者不需要熟練筆墨技法，便可在短時間之內得到具有藝術風格的山水畫作品。



然而，仍有部分問題需留待未來研究解決：

1. 在尋找水流走勢時，如果有遇到區域最低(Local minimal)的地形時，例如：窪地，將會使得水流走勢中斷在該位置上。
2. 支援更多流水的型態，例如：黃君璧先生的勾水花畫法和其他的水波及浪濤等等。

3. 在 LOD(Level Of Detail) 的處理上並不十分完善。
4. 整合中國水墨畫中其他的元素，例如：樹木、雲、船、屋宇建築、人物等等，呈現出更完整豐富的中國山水畫。



參考文獻

1. 王耀庭編，「山水畫法 1、2、3」，雄獅圖書公司，民國七十三年三月。
2. 鄭明編著，「中國山水畫技法」，藝風堂出版社，民國七十六年三月。
3. 陸嚴少，俞子才著，「怎樣畫雲·水·松·石」，藝術圖書公司，民國七十六年三月。
4. 張雄繪著，「畫山寫水」，藝術圖書公司，民國九十年六月。
5. 劉墉著，「劉墉山水寫生畫法」，民國七十三年三月。
6. 戴學正著，「戴學正山水畫譜」，世界文物出版社，民國八十年一月。
7. J.W. Buchanan and M.C. Sousa, “The Edge Buffer: A Data Structure for Easy Silhouette Rendering” , Proc.1st Int’l Symp. Non-Photorealistic Animation and Rendering, ACM Press, pp. 39-42, 2000.
8. J. Curtis Cassidy, D. Anderson Sean, E. Seims Joshua, W. Fleischer Kurt, H. Salesin David, “Computer-Generated Watercolor” , Proc. of SIGGRAPH’97, pp. 421-430, 1997.
9. G. Elber and E. Cohen. “Hidden curve removal for free form surfaces” , In Proceedings of SIGGRAPH ’90, pp. 95–104, August 1990.
10. C. EVERITT, “One-pass silhouette rendering with geforce and geforce2.” NVIDIA Corporation White Paper.
11. B. Freudenberg, “Real-Time Stroke Textures” , (Technical Sketch) SIGGRAPH 2001 Conference Abstracts and Applications, p. 252, 2001.
12. Horace H S Ip, Helena T F Wong, “Calligraphic Character Synthesis Using a Brush Model,” Proc. of Computer Graphics International 1997, page 13-21, 1997.

13. Chih-Wei Hsu, "The Synthesis of Rock Textures in Chinese Landscape Painting" , Ms thesis, National Chiao Tung University, June 1999.
14. Sheng-Wen Huang, Der-Lor Way, Zen-Chung Shih, "Physically-Based Model of Ink Diffusion in Chinese Ink Paintings" , Proc. of WSCG 2003.
15. T. Isenberg, N. Halper, and T. Strothotte, "Stylized Silhouettes at Interactive Rates: From Silhouette Edges to Silhouette Strokes" , Computer Graphics Forum (Proc. Eurographics 2002), vol.21, no. 3, pp. 249-258, 2002.
16. D.J., B., AND J.F., H. "Rapid approximate silhouette rendering of implicit surfaces." In Proceedings of Implicit Surfaces 98 (June 1998), pp. 155–164.
17. D. E. JOHNSON, AND E. COHEN, "Spatialized normal cone hierarchies." In 2001 ACM Symposium on Interactive 3D Graphics (March 2001), pp. 129–134. ISBN 1-58113-292-1.
18. A.W. KLEIN, W. LI, M.M. KAZHDAN, W. T. CORREA, A. FINKELSTEIN, AND T.A.FUNKHOUSER, "Non-photorealistic Virtual Environments." In Proceedings of SIGGRAPH 00, Computer Graphics Proceedings, pp.527-534.
19. Gao Ling Mei, "Chinese Painting by Chang Da-Chien," Published in 1988 by Art Book Co., Ltd.
20. L. Markosian, M. A. Kowalski, S. J. Trychin, L. D. Bourdev, D. Goldstein, and J. F. Hughes, "Real-time non-photorealistic rendering" , Proc. of SIGGRAPH'97, pp. 415–420, 1997.
21. A. Michael Kowalski, J. D. Lee Markosian, Northup, Lubomir Bourdev, Ronen Barzel, S. Loring Holden, and John Hughes, "Art-Based Rendering for Fur, Grass, and Trees," Proc. of SIGGRAPH'99, pages 433-438, August 1999.
22. JASON MITCHELL. "Real-time image-space outlining for non-photorealistic rendering." siggraph 2002 session notes. ATI Corporation White Paper.
23. J.D. Northup and L. Markosian, "Artistic Silhouettes: A Hybrid Approach" , Proc. 1st Int'l Symp. Non-Photorealistic Animation and Rendering, J.-D. Fekete

and D.H. Salesin, eds., ACM Press, pp. 31-37, 2000.

24. E.PRAUN, H.HOPPE, M.WEBB, A.FINKELSTEIN, “Real-Time Hatching” In Proceedings of SIGGRAPH 01, Computer Graphics Proceedings, pp.581-586, 2001.
25. Ramwsh Rashkar and Michael Cohen , “Image Precision Silhouette Edges” , Symposium on Interactive 3D Graphics , April 26-29 1999.
26. Ramesh Raskar , “Hardware Support for Non-photorealistic Rendering” , In proceedings of siggraph / eurographics graphics hardware workshop , August 2001.
27. M. P. SALISBURY, S. E. ANDERSON, R. BARZEL, AND D. H.SALESIN, “Interactive pen-and-ink illustration.” In Proceedings of SIGGRAPH 94, Computer Graphics Proceedings, pp.101-108, 1994.
28. M. P. SALISBURY, M.T. WONG, J. F. HUGHES, AND D.H SALESIN, “Orientable textures for image-based pen-and-ink illustration.” In Proceedings of SIGGRAPH 97, Computer Graphics Proceedings, pp.401-406, 1997.
29. M. SALISBURY, C. ANDERSON, D. LISCHINSKI, AND D. H SALESIN, “Scale-dependent reproduction of pen-and-ink illustrations.” In Proceedings of SIGGRAPH 96, Computer Graphics Proceedings, pp.461-468, 1996.
30. M. C. Sousa, and J. W. Buchanan, “Observational model of blenders and erasers in computer-generated pencil rendering,” Proc. of Graphics Interface’99, pp. 157–166, 1999.
31. M.C. Sousa, and J. W. Buchanan, “Computer-generated graphite pencil rendering of 3d polygonal models,” Computer Graphics Forum, Vol.18, No.3, pp. 195–208, 1999.
32. Steve Strassmann, ”Hairy Brushes,” Proc. of ACM SIGGRAPH’86, pp. 225-232.
33. Der-Lor Way, Zen-Chung Shih, “The Synthesis of Rock Textures in Chinese Landscape Painting”, Computer Graphics Forum, Vol.20, No.3, pp. C123-C131, 2001.

34. Der-Lor Way, Yu-Ru Lin, Zen-Chung Shih, “The Synthesis of Trees in Chinese Landscape Painting Using Silhouette and Texture Strokes”, Journal of WSCG, Volume 10, Number3, pp. 499-507, 2002.
35. Shan-Zan Weng, Zen-Chung Shih, Hsin-Yi Chiu, “The synthesis of Chinese Ink Painting” , National Computing Symposium’99, page 461-468, 1999.
36. Jun-Wei Yeh and Ming Ouhyoung , “Nor-Photorealistic Rendering in Chinese Painting of Animals” , pp.1220-1224 and pp.1262, Journal of System Simulation (ISSN 1004-731X), Vol.14, No.6 ,2002
37. I-Hshang Tsai and Zen-Chung Shih, “The Synthesis of Cloud in Chinese Ink Painting”,Ms thesis, National Chiao Tung University, 2003.
38. Yen-Lin Lee and Zen-Chung Shih, “An Interactive Navigation System of 3D Chinese Landscape Paintings”, ,Ms thesis, National Chiao Tung University, 2004.
39. Michio Shiraishi and Yasushi Yamaguchi, “An Algorithm For Automatic Painterly Rendering Based On Local Source Image Approximation”, Proceedings of NPAR 2000.
40. Michio Shiraishi and Yasushi Yamaguchi, “Adaptive Parameter Control For Image Moment-Based Painterly Rendering”, ICGG Conference Preceedings 2000.