

式談文 論形圖腦電

鄭國揚 編著



式談文 論形圖腦電

鄭國揚 編著

儒林圖書公司 印行

版權所有
翻印必究

交談式電腦圖形論

編著者：鄭 國 揚

發行人：楊 鏡 秋

出版者：儒 林 圖 書 有 限 公 司

地 址：台北市重慶南路一段111號

電 話：3812302 3110883 3140111

郵政劃撥：106792號

吉豐印刷廠有限公司承印

板橋市三民路二段正隆巷46弄7號

行政院新聞局局版台業字第 1492 號

中華民國七十三年四月初版

定價新台幣 200 元正

序 言

五年前，當編著者開始在大學教交談式電腦圖形論時，就覺得這門學科的應用性非常廣，未來的發展一定很大。這幾年來，從國外舉辦的各型圖形研討會以及有關雜誌上的理論性文章，可以看出科技先進國家，不論是政府支援的機構或者私人企業的公司，皆極力地在這方面投資開發新技術。目前電腦圖形的技術進步神速，可以說在硬體、軟體、演算方法論和使用者界面上皆有重大的進展，而電腦圖形的應用系統直如四月裡台大校園內的杜鵑花，處處可見。現在西方的花香東飄，我國亦開始感染其重要性，有關科技發展的決策層也陸陸續續地邀請國外的專家來宣揚一番。似乎現在正是用中文寫一本書的時候，能不深不淺地介紹交談式電腦圖形論，以應國內在這一方面的需求。

過去的圖形顯像儀是屬於昂貴的週邊儀，現在由於積體電路和微電腦技術的發達，每單位效能的價格已大幅下降，圖形顯像儀可以分擔許多主機的工作量，它的價格已經是相當合乎經濟原則。同時高階層次且標準化的圖形軟體已經發展成功，撰寫圖形應用程式的時間和人力皆可大幅減少。況且用圖形來交談比用指頭敲打字鍵，對使用者來言是最自然，最方便，另一方面對電腦來言也會產生比較有效的運作。以上這些因素終於使交談圖形成為人機交談上的一項利器。有時人用其視覺感知能力來瞭解複雜現象，比用文字描述來得清楚而且容易。目前電腦圖形的發展趨勢也是朝往這方面，所謂第五代（或者下一代電腦）的圖形系統，就是要求它具有像人類在視覺及對圖形知能上的某些功能。

本書將偏重說明設計交談圖形系統時的一些主要觀念和方法，包括硬體、軟體、數據結構、圖形表現的數學式、使用者界面、以及圖形的基本演算法等。讀者不一定需具備任何圖形知識，但要稍微具備程式規劃、數據結構、和電腦結構的基本知識，才比較能由淺入深地涉獵到這方面的知識。本書分成三個部份，第一部份從第一章到第六章，第二部

份從第七章到第十章，第三部份從第十一章到第十三章。

第一部份先介紹最基本，最簡單的圖形系統觀念及一些圖形儀，再用實例說明怎樣在一個簡單而完整的圖形組件上撰寫應用程式，和設計此種圖形組件上所需考慮的因素。第二部份介紹圖形組件一些主要的運作方法，諸如圖形的變換、觀視、修剪及掃描顯像的方法。第三部份再介紹表現圖形的數學方法，最後介紹立體圖形的顯像方法。這樣的安排，可以讓一般工程師自行進修時，很容易瞭解前面六章，除非他想再深入瞭解設計細節上所用數學方法，否則他能瞭解前六章，已可算是具備了交談圖形的知識。後七章可讓在校學生在聽解後，能更深入瞭解交談圖形的一些數學方式，將來在設計及撰寫應用圖形系統時會有很多裨益。

本書能在很短的時間內寫成和出版，是有許多因素促成的。首先，要感謝國家科學委員會和中央研究院讓編著者有機會在國外進修訪問六個月，本書的初稿是在這段期間裏利用閒餘時間寫成。其次，要感謝儒林圖書公司在百忙中，願意趕工儘早出書。還有，要感謝關心這件事的人，包括目前正在修讀及以前曾修讀此門科的學生們，中央研究院資訊科學研究所圖形實驗室的人員和同仁們。特別要感謝的是鼓勵我寫書的人，沒有精神上的鞭策力量，是很難寫完這本書的。

鄭 國 揚

識于南港中央研究院

資訊科學研究所

版權所有
翻印必究

交談式電腦圖形論

編著者：鄭 國 揚

發行人：楊 鏡 秋

出版者：儒 林 圖 書 有 限 公 司

地 址：台北市重慶南路一段111號

電 話：3812302 3110883 3140111

郵政劃撥：106792號

吉豐印刷廠有限公司承印

板橋市三民路二段正隆巷46弄7號

行政院新聞局局版台業字第1492號

中華民國七十三年四月初版

定價新台幣 200 元正

目 錄

第一章 什麼是交談式電腦圖形	1
1. 1. 引言	1
1. 2. 交談圖形、影像處理、與模式認知	1
1. 3. 圖形之輸入與輸出	4
1. 4. 圖形數據間之數據	5
1. 5. 交談圖形之特點	7
1. 6. 交談圖形之應用	7
1. 7. 交談圖形之模型	9
第二章 電腦圖形儀	15
2. 1. 引言	15
2. 2. 輸入儀	16
2. 3. 交談顯像儀	22
2. 4. 輸出儀	28
2. 5. 圖形扶助設備	30
第三章 建造一種電腦模型	33
3. 1. 引言	33
3. 2. 命令語言	34
3. 3. 圖形與非圖形數據	36
3. 4. 交談輸入的程式結構	37
3. 5. 邏輯輸入儀	40

第四章 基本交談圖形之規劃	43
4. 1. 引言	43
4. 2. 繪圖	44
4. 3. 窗和修剪	47
4. 4. 分段	49
4. 5. 現埠	51
4. 6. 文字串	53
4. 7. 圖形程式	55
4. 8. 從數據結構產生圖形	55
4. 9. 交談程式之規劃	58
4.10. 按鈕啟動	61
4.11. 功能表啟動	63
4.12. 定義名稱	69
4.13. 刪除符號	76
4.14. 改觀	78
第五章 基本交談圖形之實作	87
5. 1. 引言	87
5. 2. 圖形系統組織	89
5. 3. 觀視運作	92
5. 4. DPU程式碼之產生	96
5. 5. CPU和DPU的同步	104
5. 6. 交談處理	106
5. 7. 錯誤處理	107
5. 8. 與儀器無關之圖形系統	108
第六章 人機圖形交談之設計	111
6. 1. 引言	111

6. 2.	語言的類化性	112
6. 3.	設計交談圖形的考慮因素	113
6. 4.	一般交談輸入法	116
6. 5.	設計過程	120
第七章 幾何變換		123
7. 1.	引言	123
7. 2.	二維變換	123
7. 3.	均質座標系	126
7. 4.	三維變換	128
7. 5.	透視變換	132
7. 6.	座標系之變換	135
第八章 三維的觀視運作		137
8. 1.	引言	137
8. 2.	投影	138
8. 3.	訂定三維的觀視	142
8. 4.	平面幾何投影之處理過程	145
8. 5.	簡單圖形組件的三維觀視	150
第九章 多邊形之修剪		159
9. 1.	引言	159
9. 2.	線段相交性之判別	159
9. 3.	凸集多邊形的修剪	163
9. 4.	長方形的修剪	168
9. 5.	多邊形的互相修剪	171
第十章 掃描畫面之數據結構		175
10. 1.	引言	175

10. 2.	圖形的橫掃法	176
10. 3.	二方樹	179
10. 4.	二方樹之建造法	180
10. 5.	從二方樹重造影	183
第十一章 曲線圖形之表現法		187
11. 1.	引言	187
11. 2.	內插多項式	188
11. 3.	參數三次曲線	189
11. 4.	Bezier 多項式	196
11. 5.	Bezier 多項式的計算法	199
11. 6.	B 軟楔函數	202
11. 7.	均勻 B 軟楔曲線	205
11. 8.	均勻 B 軟楔曲線的顯像法	209
第十二章 曲面圖形之表現法		213
12. 1.	引言	213
12. 2.	曲面的一些簡單特性	214
12. 3.	Coons 綴面	216
12. 4.	Bezier 曲面	220
12. 5.	B 軟楔曲面	221
第十三章 立體圖形之顯像		227
13. 1.	引言	227
13. 2.	隱藏線與隱藏面的問題	229
13. 3.	隱藏面處理之轉換函數	230
13. 4.	二方樹可見性演算法	234
13. 5.	掃描線畫面可見性的演算法	238
13. 6.	連貫性	240
13. 7.	優勢法	242

第一章

什麼是交談式電腦圖形

1.1 引言

電腦圖形論（Computer Graphics）所討論的對象是圖形（Picture）或影像（Image），為方便計，本書將圖形和影像混為一談，將它們當做圖形物體的數據資訊，這些數據資訊可能來自影像的明暗度，或是圖形的線段，特殊結構的符號等，它們在數位處理機（電腦）中被運作並被創造，所以電腦圖形論是探討用電腦創造、運作、儲存、或認知圖形物的模型及其圖形數據之一門學問。用電腦處理圖形數據對不同的應用有不同的方式，通常我們又將電腦圖形論分成三門學科，它們是交談式電腦圖形，影像分析（Image Analysis）和模式認知（Pattern Recognition）。

交談式電腦圖形（簡稱交談圖形 Interactive Graphics）是電腦圖形論中探討使用者可透過交談儀做出各種動態控制圖形數據的內含、格式、尺寸、或顏色等並在顯像儀顯示各種結果的一項專門技術，本書的主旨即在介紹交談圖形的各項技術。

1.2 交談圖形、影像處理、與模式認知

交談圖形係用可被解釋成爲圖形的非圖形資訊 (Nongraphic Information) 來使影像產生，例如在螢幕上產生一條直線段，使用者輸入的方式可能僅是用光筆指到線段在螢幕上的二個端點。由於我們的眼睛與大腦模式認知的機構非常發達，可以迅速地察覺並處理許多不同型態的圖形數據，所以交談式是產生電腦圖形最直接最自然的一種方式，事實上，在許多的設計 (Design)、實作 (Implementation)，以及建造 (Construction) 的過程，用電腦圖形來顯示及互通訊息是非常合適的。然而，對不同的應用，所涉及在程式設計上的複雜度及計算量亦有不同層次上的差異，例如設計電腦遊戲 (Computer Game) 和設計飛行模擬 (Flight Simulator) 的難易度就有很大的差異，同樣是產生動態圖 (Dynamic Motion Picture) 的顯像，前者容易後者就相當複雜，因爲遊戲的顯像僅是平面的靜態圖一張一張隨著時間之改變而在螢幕上顯示以產生動畫，但是模擬器的顯像除了和時間的改變有關外，尚需考慮到影像的景深以產生身臨其境的感覺。更高一層的應用，例如電腦藝術 (Computer Art) 及電腦卡通 (Computer Animation)，除了需發展新的圖形演算法外，尚需要考慮藝術鑑賞的因素，才能使交談圖形系統具有藝術家的某些才華。

影像處理 (Image Processing) 的對象是影像，輸入電腦的數據以及經分析處理後的輸出皆爲影像，例如影像傳輸問題是考慮影像雜點的去除以及影像數據的壓縮，影像調析問題是考慮過度曝光、曝光不足、或模糊圖片的影像改進。更高一層的應用是影像瞭解 (Image Understanding) 例如從一組 X 光照片建造出斷層圖並抽取特徵及下判斷。

模式認知將圖形或圖形的描述分類，從一角度來看，模式認知可看成交談圖形的反向問題，從一個圖形開始，它將此圖形轉換成一種抽象的描述，經處理後產生判斷再將原圖形分門別類，例如自動分信機能自動辨認區域號碼並自動分類就是其中一種典型的應用。更高一層的應用是專家系統 (Expert System) 的認知，例如自動醫療診斷系統所開

出的藥單，幾乎和高明的醫生一樣有效。

從上面的敘述，我們可用圖 1.1 表示這三門學科的相異與相似處，雖然它們分別皆有廿多年的歷史，重視它們之間的相似處還是近年來的事情，首先是我們認識了將模式認知和影像處理合在一起是必要的，因為影像經過分析及轉換的處理後可簡化分類的問題，最近我們又認識了某類的應用需將此三門學科整合起來使用。例如最簡單的應用是將文件在二地間用電子傳送，為了得到文字和數字的傳送及再製，我們將它們每個用點矩陣表示，例如用 20×15 點矩陣，矩陣的每個元素用一位元表示，換言之，每字用 300 位元表示。影像處理將 300 位元壓縮成更少的數據輸送，而可以在接收端被還原，但是如果用模式認知來辨認輸入影像的每個字，再將每個字的名稱傳送給接收端，則每字僅需要 8 位元來表示（8 位元可表示 256 字），幾乎可節省 40 倍的數據傳送，當接收端接到每字的名稱並可計算其在顯像窗位置的數據後，再用交談圖形的方法將它們顯示出來，就可得到高品質的文件輸出在接收端。類似這樣的應用愈來愈多，因為電子及電腦的技術日益進步，計算機及週邊機的價格愈來愈便宜，特別是近年來超大型積體電路（VLSI）的出現及平行處理（Parallel Processing）的研究，更加速了這種跡象的明朗化。

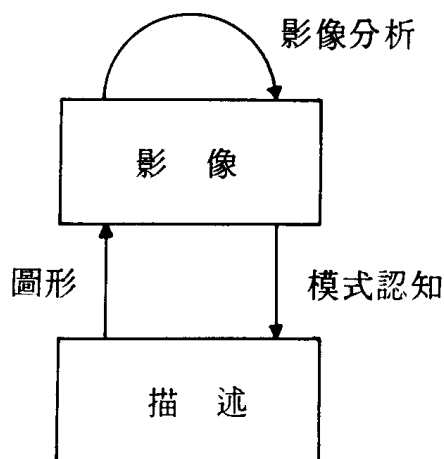


圖 1.1 圖形，影像處理，和模式認知的關係圖

1.3 圖形之輸入與輸出

任何一個影像必須先轉變成以數值為內含的列陣，方能在電腦裏被處理，這種轉變的過程稱為數位化 (Digitization)。數位化涉及取樣及數量化的處理，例如商業用電視每秒傳送 30 張圖片在螢幕上，若畫面的解析度為 512×512 ，則以電視照像機當數位儀取樣時，其 A/D 轉化器必需至少每秒能處理 $30 \times 512 \times 512$ 個樣本點，並將每點的灰值 (Gray Level) 數量化。其他形式的取樣可用一支電筆 (stylus) 在電磁化的平版畫出軌跡，經 A / D 轉化器取樣及數量化，得到一序列在軌跡上的點座標值，這是一般用數位儀 (Digitizer) 輸入圖形的方式，在第二章中我們將介紹一些主要的圖形儀。

給圖形數據予數量化的軟體是相當簡單的，通常是用 read(device, buffer) 的指令將取樣儀的數據讀入緩衝區 (Buffer) 的一個列陣 (Array) 裏，數量化的程式在一個 start end 所構成的區域裏，則其內有一環狀 (Loop) 的程式流，讀入一個數據後跳回 start，直到讀入的指令是岔斷訊號或者是數據已讀畢時，才跳離此環到 end。一般的交談圖形系統皆設置有編輯器 (Editor)，可讓使用者很方便地修改讀入的圖形數據，例如選擇部份的圖形數據，或修改曲線上某點的位置等，這樣的軟體就比較複雜，第三章我們將以系統設計的觀點加予討論。

反過來將數據轉成圖形的顯像儀是透過 D / A 轉化器 (Converter)，通常顯像儀可分成二類，一是複印 (Hard Copy) 類，另一是陰極射線管 (CRT) 類，前者是將事先擺入其緩衝區的數據依序印出，後者沒有很固定的順序，它只是一再地顯示其緩衝區的內含，而內含值是可以隨時改變的，其緩衝區的內含是一個顯像檔 (Display File)，用一個 start end 的程式段表示，則其內最原始的指令是 write (x,y,z)，它使電子束指到螢幕的 (x,y) 點，並在那點產生和 z 值對

應的灰值或顏色，除非有岔斷（Interrupt）否則這種動作會一再地跳回 start 反復進行。

顯像儀有向量圖形和畫面圖形二種型式。向量圖形儀用的原始指令是將電子光束指到（ x, y ）位置的 $P(x, y)$ ，以及設定光束在該點的強度為 z 的 $S(z)$ ，令 $S_1, S_2, \dots, S_n$ 分別表示顯示 n 個物體的指令群，則其顯像檔從 start 開始依序執行 $S_1, S_2, \dots$ ，若有岔斷則跳到岔斷處理完後跳回 Start，否則一直執行到 S_n 時再跳回 start 重新開始。每執行完畢一次 start $\dots$ end 的程式，就稱螢幕被重現（Refresh）一次，其重現率（每秒螢幕被重現的次數）和其程式的執行時間成反比，所以若二個重現之間的時間比螢光質消失時間還要長時，就會產生螢光幕閃動的現象。畫面圖形儀用的原始指令有二，read（ A, x, y, z ）從緩衝區的位址 A 讀入螢幕位置（ x, y ）及該點上的圖形元素（簡稱圖元（Pixel））值（或稱灰值（Gray Level）），再用 write（ x, y, z ）將電子光束指到（ x, y ）點並產生對應 z 值的灰值或顏色。令 N 表示圖元的個數（螢幕的解析度），則其顯像控制器在 start $\dots$ end 的程式總是執行 N 個 read $\dots$ write 的指令，大部份的畫面圖形儀用電視螢幕，每秒每點至少需執行 30 次 start $\dots$ end 以避免螢幕產生過份跳動的現象。

1.4 圖形數據間之轉換

當我們用電腦處理影像（圖形）時，一些圖形的演算問題事實上是圖形數據的轉換問題，為了方便討論，通常我們將影像的數據分成四類。第一類是高灰值圖，第二類是低灰值圖，此二類的顯像數據可用矩陣（Matrix）表示，矩陣的元素值是正整數，每個元素稱為圖形元素（或簡稱為圖元），圖元值又稱為灰值，高灰值圖的圖元值是用較多的位元表示，例如 8 位元者可顯示 256 種灰值刻度或顏色，低灰值圖的圖元值是用較少的位元表示，例如黑白圖用 1 個位元。第三類是短線段圖，第四類是長線段圖，此二類的顯像數據可用列陣（Array）表示，列陣

內的元素是點座標與向量方向（第三類），或 $x y$ 座標值（第四類），第三類用很短的直線段連結成周線，波狀線，或圖表，第四類的點與點間用直線或圓弧連結，大部份交談圖形的數據是屬於第四類。但是我們必需再強調這種分類和我們實際看到的影像無關，所以即使是第四類的圖形數據，當其顯像輸出時亦可能是屬於第一類或第二類的顯像螢幕，我們所強調的是圖形數據檔的內部表現法。

演算問題係從第一類轉換到第二類者稱之為分區（Segmentation），分區的處理將圖片上灰值刻度幾乎均勻的各區域分開，每個區域再給予一個新的灰值。從第二類轉換到第三類者稱為細化（Thinning），細化的處理將一個區域投映成一條封閉的周線。從第三類轉換到第四類者稱為分段（Piecewiseing），分段的處理將周線的臨界點找出，若變成多邊形時則這些臨界點為其端點。從第四類轉換到第三類者稱為內插（Interpolation），內插的處理將一條近似曲線用一組其上的內插點表示。從第三類轉換到第二類者稱為塗影（shading），塗影的處理將周線所包圍的區域塗上深淺不同的灰值。從第二類轉換到第一類者稱為過濾（Filtering），過濾的處理將解析度較差的圖片改頭換面成較為光滑清晰的圖片。

大致上，模式認知是探討從較低類別轉換到較高類別之圖形數據的問題，交談圖形則是探討從較高類別轉換到較低類別的問題，影像處理則是探討雙向的轉換以及同類間的轉換，例如解析增強（Enhancement）是屬於同類間的轉換，而影像數據壓縮（Data Compression）則是第一類和第二類間彼此的轉換。

在交談圖形的演算問題亦有些重要的圖形數據轉換需要考慮，例如透視投影（Perspective Projection）的處理將三維物體的形狀轉換到二維的平面上仍具有立體感，隱藏線去除（Hidden Lines Removal）的處理讓我們可從不同角度看到當三維物體在透視投影到二維的平面上時仍具真實感。這些和交談圖形有關的演算法將在本書中陸續介紹。

1.5 交談圖形之特點

從某個觀點言，用圖形表達抽象的意義勝於千言萬語，譬如工程師看工程畫既迅速又準確，孩童打電動玩具立即學會規則，企業家看統計圖表可迅速瞭解商情，……等，以圖形為數據資訊當做人和機器交談的媒介可以說是最自然最有效的一種通訊方式。所以我們可以這麼講，自從照像和電視發明問世以來，交談圖形是製圖及再製圖的應用中最重要技術，並且透過電腦的優越性，可以讓我們自由地創造出抽象的圖形描述以及綜合物體的形狀。

圖形的表現有靜態（static）和動態（Dynamic），靜態圖在某些應用上已足夠用來表達圖形資訊，例如工程設計與製造上的工程圖就是典型的例子。但是讓我們睜眼一看，我們生存的空間那一樣不是動態的？不過是有的曇花一現有的緩慢變化而已。交談圖形將動態圖加入當做圖形資訊的通訊媒介，可以讓我們控制動態的變化速率，改變動態的走向趨勢等，更能拓展其應用。例如航空工程師可以事先瞭解超音速飛行中機翼的變化情形，命相家可以從一個人的臉孔預知其日後臉孔變化的面相，預測其人的命運以及避災趨吉的妙計，電腦教學（Computer-Aided Instruction）將學理規則加入遊戲將更為生動，更易吸收日益膨脹的知識，……。

綜上所述，交談圖形的特點是它讓我們可以和電腦做更廣更多的通訊，藉著文件、靜態圖、和動態圖的人機交談，可以讓我們深入瞭解圖形資訊，查知動向，看出真實物體的特性，以及創造出想像中的物體。藉著更有效的人機通訊，圖形可以促成更高的生產力，製造出更高品質的產品，以及降低分析與設計的費用。

1.6 交談圖形之應用