

以文法概念為基礎的電腦輔助造形設計模式研究 －以咖啡杯設計為例

游萬來* 趙鴻哲**

* 國立雲林技術學院 工業設計技術研究所

** 翰威實業股份有限公司

(收件日期:85年9月11日; 接受日期:86年4月23日)

摘要

本文以咖啡杯設計為例，提出一套以文法概念為基礎的電腦輔助造形設計的方法。全文除前言及結論外，分為咖啡杯造形分析、造形發展模式提出及擴大應用等三個主要部分。在咖啡杯造形分析部分，首先收集 108 個咖啡杯為樣本，建立成電腦圖檔，並描述及分解出其造形構件，之後將其分類，並就其特徵分別加以計測，而分析其造形變化範圍及平均造形。依此建構咖啡杯的文法規則，並提出三階段的造形發展模式，分別是造形衍生、篩選及建構模組。由造形衍生模組以所定義的規則對其構件衍生，之後透過篩選模組中的篩選條件，濾除掉不合適的衍生形，最後則由建構模組將其建構成立體電腦圖學模型，供使用者在電腦上評選、修正、發展為最終的造形。擴大應用的部分，則嘗試建構部分表面花紋的衍生規則，使咖啡杯的設計系統更趨完整。最後並探討將所提出的模式應用在容器設計上的可行性。本文所建構的造形規則，除了能產生樣本中的造形外，並能產生多種變化的造形，提供設計師造形設計的電腦化工具。雖然本文提出的文法規則是以咖啡杯而作，但此模式的原理也能轉用於其他形態的產品設計。

關鍵詞：造形文法，咖啡杯，造形設計，電腦輔助設計

一、前言

近年來由於微電子及加工技術的進步，使造形的可變化性增加不少，造形發展受到機能的掣肘愈來愈少。因此，研究一套能真正運用於實際產品設計上的造形發展方法，作為可為設計師分憂解勞的“工具”，應是工業設計界所迫切需要的課題。

對於造形方法的研究，至今仍然具有相當的爭議。因為造形的過程含有許多不確定的“感性”因素。因此造形方法不是用“一言以蔽之”或“奉一家之言”的方式可以涵蓋的。本文就造形設計的方法粗略的歸納為三個觀念上較為不同的方向，分別是早期的形態分析法，近期的造形量化研究，以及將造形視為有規則可循的造形文法理論。

形態分析法的優點是程序明確，易於了解，即使是沒有設計背景的人也能輕易地使用。但因為容易操作便需要在操作過程中應用大量的專家知識。因此使用方法雖同，結果卻是因人而異。近期的研究開始以電腦來輔助人腦，應用龐大的構件資料庫，可以產生各種可能的組合，種類繁多〔張悟非，1994〕。在造形量化的方向上有造形均化法（shape average）的提出，藉以計算不同產品的平均造形〔Chen，1988〕。在電腦應用軟體發展成熟之際，更有以中間插補法作為造形衍生的理論提出〔王鴻祥，1995〕。

造形設計的另一個發展方向，即是造形文法（shape grammars）觀念的提出，Stiny & Gips〔1972〕等人陸續提出造形分析及發展的概念，此種方法沿用語言學中的“語構”概念，認為造形是有規則可尋的，這種規則可整合成造形的文法，稱為“造形文法”。這種方式有定義明確的造形元素及文法規則，使得造形的解析及衍生過程有跡可尋，也使以電腦來輔助運作變得可能。但是如何使造形文法的發展更為完善，則需要進一步的研究。

另外值得一提的是鄧建國與莊明振對於造形溯衍模式的研究〔1994〕，此研究藉由系統化的方法嘗試將造形過程“規則化”，經由對典範產品的分析而分解出多種造形規則來，並且再再利用此規則可重新發展出一些既有創新性，又具有典範作品風格的作品，雖然此研究限於時間、人力而未能真正達到設計自動化的目標，但是此種將文法概念應用再產品設計的思考模式確實也對本研究具有相當的啓迪作用。

雖然各種方法的造形目的相同，但是其執行的“手段”卻是利弊互見。以文法概念將造形發展視為規則應用的研究，則較可能產出多樣的造形；雖然規則是有限的，但是不同的產品構件重複運用規則之後，所產生的造形是難以計數的。本文的主要目的便是嘗試發展一套以文法概念為基礎的電腦輔助造形模式。研究的內容在探討如何以此模式輔助工業設計師從事造形工作。本模式的提出，在理論上是為電腦輔助造形提供一個思考方向；而在實務上則為設計師提供一個造形發展的輔助工具。

二、咖啡杯造形分析

本文選用咖啡杯作為造形發展模式探討的案例，樣本是由阪根進〔1988〕編撰，日本講談社出版的《西洋的洋食器設計集成》一書共三冊，選取其中的咖啡杯共 108 個。

本節的研究流程共分為三個部分：分別是 1) 樣本電腦圖檔建立：將所收集的圖片樣本轉換成正確尺寸及比例的電腦圖檔；2) 樣本造形描述：對咖啡杯的各部位名稱及形態加以定義、分解造形構件及歸類；3) 樣本計測及分析：經由定義樣本的計測點後，分別計測及統計樣本的基本尺寸資料及曲線資料，並分析其曲線的變化範圍。本節所建立的資料將可作為下一節應用規則衍生變化的依據。

2-1 樣本電腦圖檔建立

為便於日後計測或分析起見，本文將所收集的樣本圖形資料轉換成電腦圖檔，其流程可分為樣本前處理及幾何轉換兩部份。樣本前處理的目的是為了將收集的圖片轉換成“向量式”的電腦圖檔。此外，為了將圖形從照片拍攝時的角度轉為正確的視圖，我們運用了一些投影幾何技巧，對圖形進行幾何轉換。

由於樣本資料為平面的照片圖形（參看圖 1），必需經過描繪輪廓、電腦描圖、細線化及平滑化等步驟（使用 Corel Draw 6.0, Corel Trace 電腦軟體）。才能做進一步的應用。經過上述的步驟將樣本圖片轉換為電腦圖檔之後，運用電腦軟體上的投影指令，將圖形投影在已旋轉和拍攝角度相同的平面上，即可得到沒有變形的樣本資料。圖 2 表示經過處理後的 108 個樣本電腦圖檔。



圖 1 原始樣本圖片

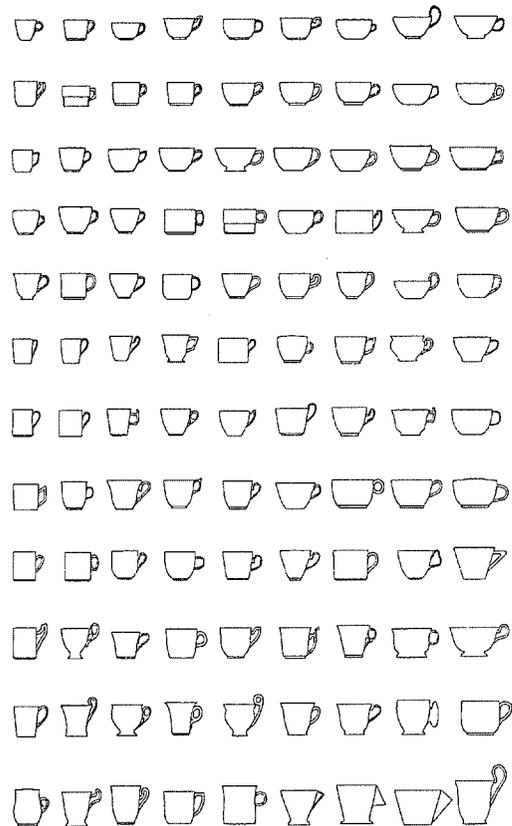


圖 2 經過處理後的 108 個咖啡杯的電腦圖檔

2-2 樣本造形描述

在樣本轉換成電腦圖檔之後，接著將其造形依電腦模型的方式分解為四個構件，最後將所分解的四個構件各依其形式予以分類。本文依咖啡杯造形的電腦模型建構方式，將杯體簡化為單一曲線，稱為“杯身曲線”，以及一個繞軸旋轉的路徑，稱之為“杯口”。而在把手的定義上，則以一個幾何形表示把手造形的剖面，稱之為“把手剖面”，另外以一條曲線表示把手造形延伸的路徑，稱之為“把手曲線”。因此可將咖啡杯的造形分解成杯身曲線、杯口、把手剖面、把手曲線（圖 3）。

本文是採用反曲點的方式對於曲線形態做分類，但是分類的方式並不是絕對的，也是可用其他方式分類的。本文將“杯身曲線”分為三種。“把手曲線”分為四種。而在曲線的定義上，本文是採用 B-Spline 曲線定義。此曲線是由一段多邊形（多段折線）所定義的，移動折線的頂點可改變曲線的曲度和方向。圖 4 表示以 B-Spline 曲線來定義所分類的杯身及把手曲線的情形。

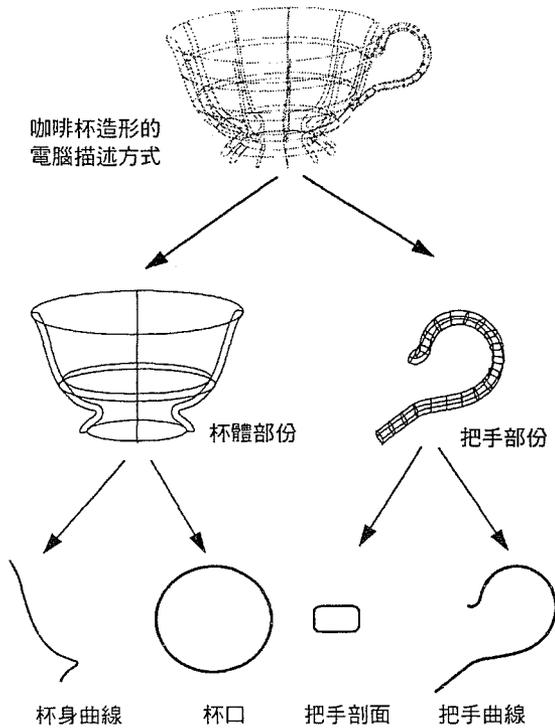


圖 3 咖啡杯造形的構件及組成方式

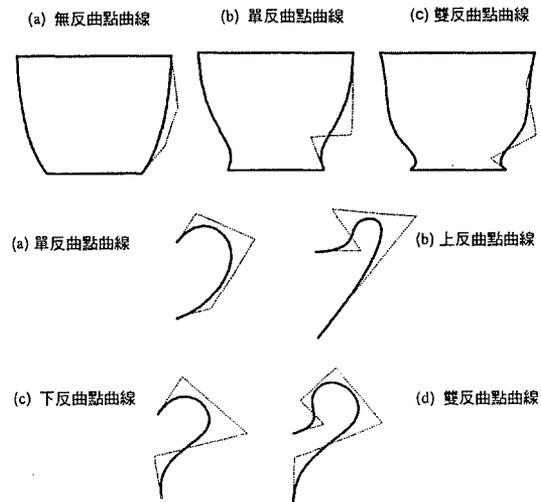


圖 4 杯身及把手曲線的 B-Spline 曲線的定義

2-3 樣本計測及分析

關於樣本的計測可以分為基本資料的計測及曲線資料的計測兩種。所謂基本資料的計測指的是咖啡杯的高度、杯口直徑等幾何資料，類似於一般產品的計測。而曲線計測是指計測把手或杯身曲線的形態，依前述所定義的曲線類別分別計測其控制點座標。

爲了了解咖啡杯曲線的變化範圍，我們嘗試將曲線控制點的座標資料分別以散布圖的方式在座標方格上呈現，並且求出其平均座標。將此座標分別加減全體座標的標準差後，可以畫出一個橢圓形範圍。藉由控制點的變動便可以改變曲線的形態，而作為衍生變化時的依據。

三、三階段造形發展模式

本文提出一個造形發展的三階段模式。這個三階段造形發展模式可以用圖 5 表示。首先，由資料庫中取出合適的起始形至衍生模組中，由造形文法規則分別對構件加以衍生變化(使用電腦軟體 AutoCad R12, AutoLisp)。接著，將第一階段的結果輸入篩選模組，以預設的條件(如人因條件、美學條件、機能條件等)對衍生形加以選擇(使用電腦軟體 AutoLisp)。最後，則將第二階段篩選後的造形輸入建構模組，轉換成立體的電腦模型(使用電腦軟體 3D Studio R3)，供設計師進行後續的修改及再設計。

3-1 衍生模組的建構

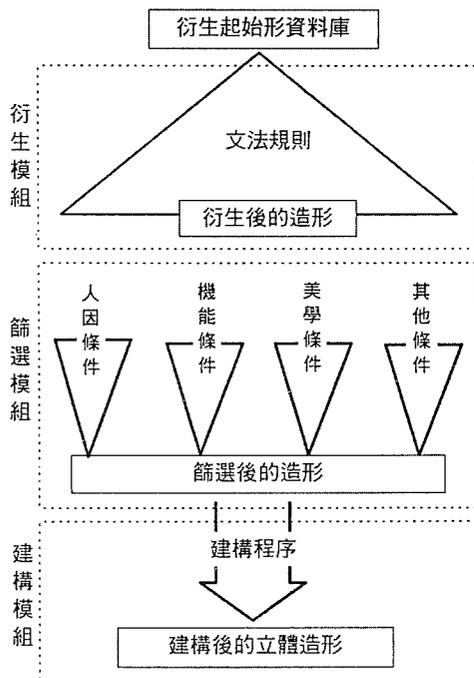


圖 5 三階段造形發展模式架構圖示說明

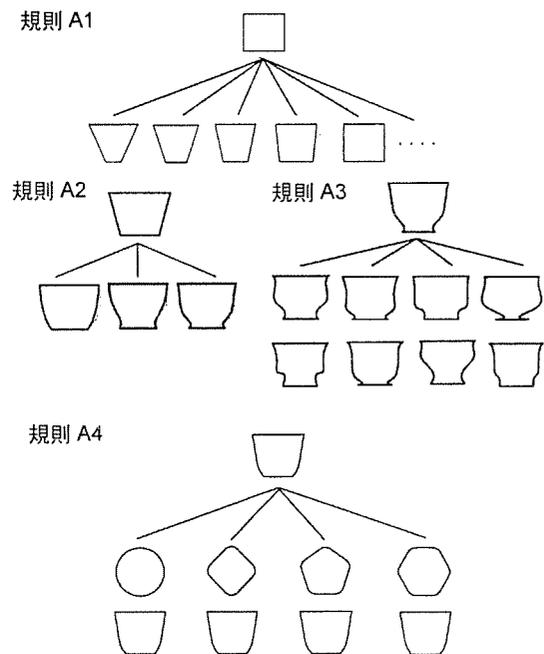


圖 6 杯體規則集合的定義

衍生模組主要是引用文法的概念，將造形的發展視為某些規則的應用過程。因此，此模組主要是由造形規則所構成。

而衍生規則的變化範圍上，是依據前節對於樣本的統計資料，取其第 5 百分位及 95 百分位的值作為變化的最小及最大值，而在本文中，為說明方便起見僅將其變化範圍等距取五個數值，因此可以產生五個衍生形。圖 6 表示杯體規則集合中的圖示說明，圖 7 表示把手規則集合中的圖示說明。

本文對於起始形的定義是依前節中有關於杯體寬高的計測結果，取其平均值所構成的矩形為起始形。另外，前述所定義的規則在應用時並不一定都要用到。而使用者也可以視需要增加某些特殊的規則。而以規則衍生之後的形，並不一定只有前述規則定義中所舉出的數種。將同一規則重複執行後所產出來的造形將不會相同。圖 8 舉出一種運用規則衍生的過程。由這些規則將衍生的形，若以所有可能的方式計算，將龐大得難以容納。圖 9 中僅列出部分的衍生形。衍生形中包含在樣本中所收集到的造形，以及其他的造形。並且所有的造形都是包含在前述所分類或定義範圍內的造形，而這些圖形只是階段性的成果。

3-2 篩選模組的建構

本文的造形發展模式中的第二部分是篩選模組，其中包含多種產品設計時所要考慮的篩選條件，透過這些條件濾除掉不合需要的造形，可減輕使用者面對龐大的衍生形而不知如何下手的困擾。雖然前述的造形規則中也有限制其衍生範圍，但這是一種“事前限制”的規則，衍生之前限制得愈多則其衍生的結果愈趨於一致性。比較好的方法應是“事後篩選”，因此本文將篩選模組加入造形發展模式中。

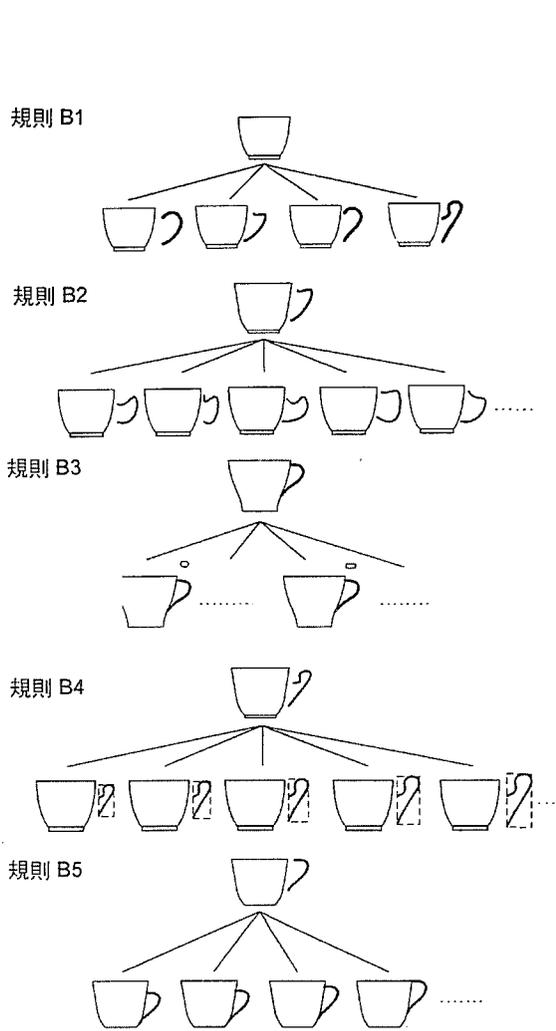


圖 7 把手規則集合的定義

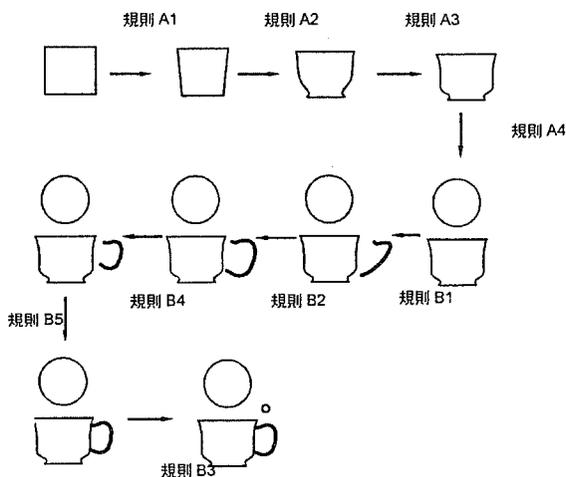


圖 8 一種衍生過程的圖示說明

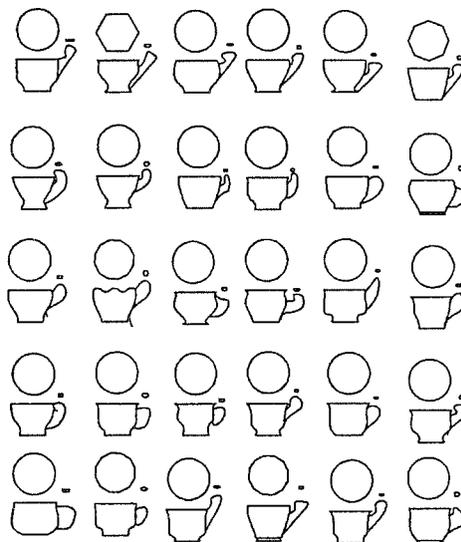


圖 9 部份衍生形的圖示

本文所提的篩選條件主要有人因條件、美學條件及機能條件三種。以下僅就每種條件舉出幾個例子加以說明。但是，每種條件應不只這幾個定義即能涵蓋。為了使本模式的造形發展彈性更大，上述的這些篩選條件，有時也可以容許使用者作選擇性的選取與執行，甚至選擇每個條件的篩選程度 (range) 放寬或縮小。

1. 人因條件的定義：對咖啡杯而言，最主要便是考量使用者拿取咖啡杯時對於把手握持的合用與否。因此，本篩選條件在執行時，便是檢測衍生完成的把手所環繞的封閉空間是否大於一根手指的厚度 (參看圖 10a 中所示)。另一方面咖啡杯和飲用者口部的接觸主要是杯口部分，因此咖啡杯的杯口設計若太為外凸或內縮都將影響到使用者飲用的方便性。有關於杯口的篩選條件將限定其夾角在 20° 至 320° 之間(圖 10b)，若是不合於要求的衍生形則予以刪除，或是由使用者決定是否加以修改。
2. 美學條件的定義：本文所提出的美學條件。是依據美感的參考原則加以量化，以可執行的條件來作篩選。其中包含嘗試以圈足的有無來判斷整體和諧的美感，因為某些造形並不合

適加上圈足，否則將造成整體不和諧的感覺(參看圖 11a)。另外，就整體而言，杯體和把手的比重是否均衡也將影響造形的美感(參看圖 11b)。本文以兩項美學條件為例說明以美學條件篩選時的情形。

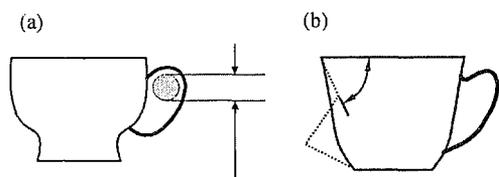


圖 10 人因條件定義的圖示說明

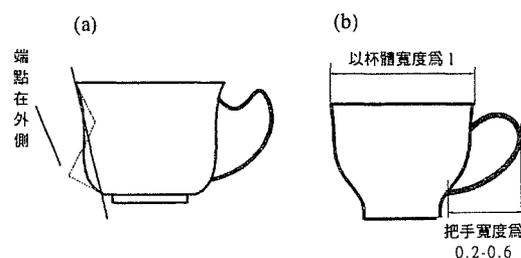


圖 11 美學條件定義的圖示說明

3. 機能條件的定義：除了上述條件的考量，更應注意的是咖啡杯應具有其機能性，對咖啡杯而言機能性的條件可以包含重量、材質等。在本文中依衍生規則將把手和杯體結合時可有多個不同位置，因此有可能在把手衍生之後發生如圖 12 的情形。機能條件的定義便即對每個衍生完成的咖啡杯檢查其把手的最低點是否高於圈足或杯底的最低線。以此作為其機能篩選條件。

3-3 建構模組的建構

對於產品設計而言，立體造形是絕對必要的思考方式。本建構模組可將篩選後的造形，經過適當的步驟，轉換成立體電腦模型(使用電腦軟體 3D Studio R3)。可提供設計師在電腦軟體上直接修改其立體模型。甚至若是設備許可，更可以直接將此電腦模型輸出至工具機上做成立體草模，以供設計師實際操作及感受其造形。

上述步驟所建構出來的立體模型，是屬於“實體模型”。可供設計者計算體積、重心等物理運算，或是改變觀察角度，甚至設定不同質感、色彩等，使整個造形達到逼近真實的產品。圖 13 中列出幾個建構完成的咖啡杯立體造形範例。此造形若是加上咖啡杯設計的另一個重點：表面花紋，則將使整個設計更為完整。

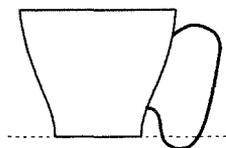


圖 12 機能條件定義的圖示說明

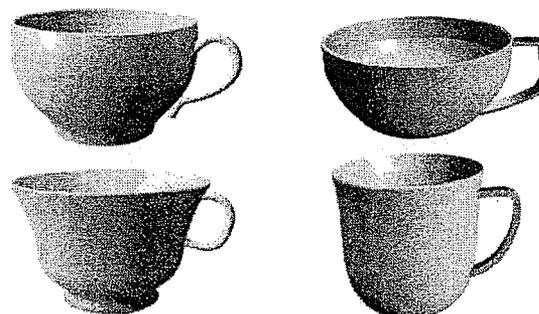


圖 13 杯體立體化的過程說明圖

四、擴大應用的可行性探討

若將咖啡杯造形發展模式加以擴大，則必須考慮其造形設計時的其他因素，諸如表面色彩、花紋、材質等因素。本章針對咖啡杯的表面花紋變化加以初步的探討，並嘗試應用文法概念在花紋的衍生上，最後並將此花紋設計系統和原有的造形設計系統加以整合，成為完整的咖啡杯造形設計系統。

本文也嘗試將所提出的三階段造形發展模式應用於容器設計上，並提出一個容器設計系統的架構，經由使用使用者設定其所需要的容器種類後，由規則衍生出多種造形供使用者選用。

4-1 咖啡杯表面花紋的分析及衍生

進行咖啡杯設計時不可忽略的是，表面花紋的設計佔有舉足輕重的地位。為使整個研究更趨完整。本節擬就所收集的咖啡杯樣本的表面花紋做一分析，嘗試找出其花紋設計的變化規則。

本文對於花紋衍生的研究方向是將單一圖案視為衍生的起始形，以其為起點而經由規則的應用，對起始形的圖案加以取代、複製、旋轉、變形等處理，而衍生出完整咖啡杯的表面花紋。因此，起始形的資料庫必須存有多樣的單一圖案，方能衍生具有多種不同圖案的組合。

本文對於衍生規則的定義，可以區分為兩類型的規則，一是用其他圖案取代現有圖案的取代型規則 R1；另一種為對現有圖案施以變化的轉換型規則 R2。圖 14 表示起始形及衍生規則，圖中舉例以單一的花朵圖案為起始形。在衍生規則的取代型規則中舉出三種規則為例加以說明。

在轉換型規則的子集中，R2-a 規則為將原有圖案反時針方向旋轉 45° ，若重複應用則可使圖案產生 90° 、 135° 等的旋轉變化。R2-b 規則為將原有圖案往左右拉伸變形，重複應用則使原有圖案成為帶狀的圖形。規則 R2-c 將原有圖案複製，產生左右各一的相同圖形。規則 R2-d 有些類似上一規則，不同的是複製的兩個圖形是經由鏡射而來的，圖案彼此為相對的對稱圖形。R2-e 規則為在原有圖案下方增加一個縮小的相同圖案，R2-f 規則為在原有圖案上方增加一個縮小的相同圖案。在圖 15 中，可清楚地說明實際進行衍生的情形。在表面花紋的衍生規則上雖然只舉九條的規則，並不是十分的完備，即便如此，所能衍生的表面圖案已是相當大量。

在造形衍生的模式中有三個階段的發展模式，而表面花紋一樣也使用此三階段的模式。在表面花紋的系統中，有起始形資料庫和花紋衍生規則資料庫兩種。起始形資料庫中，存有各種衍生所必須的單一圖案，並且可以視需要，由使用者加入新的圖案。在規則的資料庫中，含有多種衍生所需的規則。這兩者都必須由使用者事先設定。衍生的咖啡杯的圖案是繁複或是單純、輕快、高雅、華麗等，或是要求不同時期的歷史風格，可由使用者選用不同起始形及造形規則輸入至衍生模組中進行衍生。

當衍生完成後的結果，則輸入至篩選模組中，進行篩選符合使用者需求的表面花紋。在此模組中含有美學條件，依據一些美的設計原則（如統一、韻律、對比、調和等），對產生的花紋進行篩選。篩選完成的表面花紋直接輸入至建構模組中，將表面花紋貼附在造形系統建構完成的咖啡杯外形上（參看圖 16）。

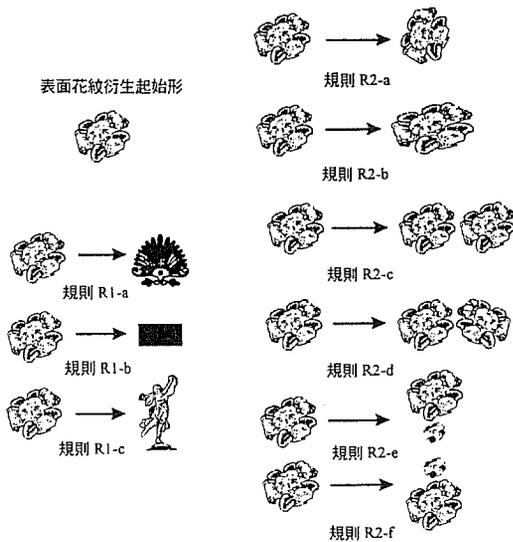


圖 14 咖啡杯表面花紋的起始形及衍生規則

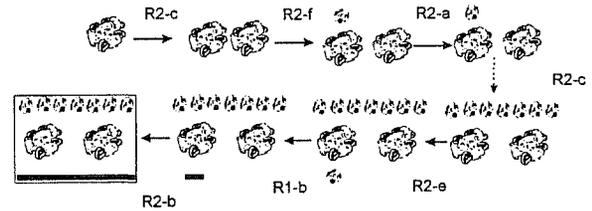


圖 15 表面花紋的衍生過程圖示



圖 16 包含表面花紋的咖啡杯設計成果

4-2 容器設計系統的建構

在前面的研究中，雖然所收集的樣本都是有把手的咖啡杯，但可以很容易地聯想到其他相似形態的造形。例如，生活周遭所常用到的花瓶、花盆、碗、盤、杯等，在造形變化上都是由類似曲線所構成的對稱形，在機能上都是具有中空特質，可以容納液體的“容器”，不同的只是針對使用地點或功用所形成的不同長寬比例、大小尺度（scale）的變化。因此，引用咖啡杯的造形發展模式應用在其他容器的造形設計上，應是一種可行的作法。

本文所建構的容器設計系統中，共包含幾個部分，一是使用者設定部分，使用者必須輸入所要設計的容器種類（如杯、瓶、碗等），另外必須輸入所使用的地點（桌上型或是落地型），再選定是作為何種用途的（是盛水的杯或是盛酒、咖啡等的杯），另外必須再輸入是否有把手或其他配件，以及把手的數量（單邊把手或雙邊把手）。

另一個部分為事先定義好的資料庫，包含起始形資料庫，內有所定義的各種容器的起始形，作為衍生的起點。另有造形規則資料庫，包含所有容器設計的造形變化規則，可經由使用者的設定，針對不同樣式選取不同規則對起始形進行造形變化。另一資料庫則為篩選條件資料庫，也是經由使用者設定而選用。

最主要的一個部分，則是實際進行造形發展的部分。依三階段的模式，在衍生階段經由所輸入的起始形和所選定的造形規則進行造形衍生，再藉由資料庫所選定的條件對衍生結果進行篩選，最後，則由相同的立體建構步驟完成立體化的設計成果。使用者可以選擇在立體化之前或之後對產生造形進行修改，再經由著色後的成果考慮是否可行，甚至可重複進行修改。整個容器設計系統可以圖 17 的架構圖加以表示。

五、結論與建議

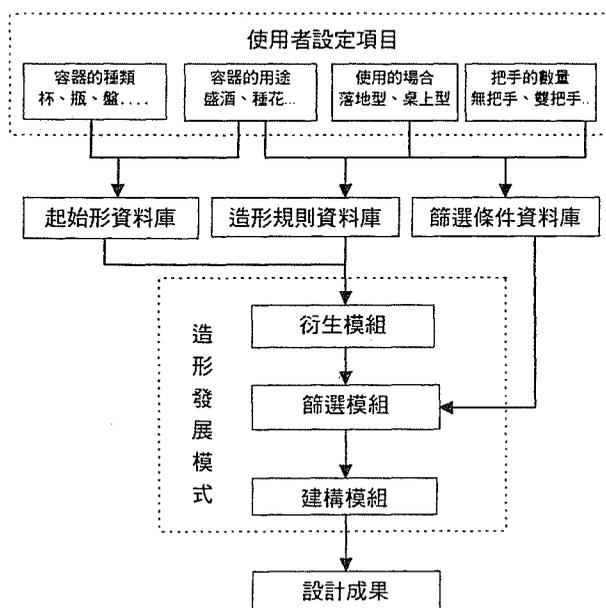


圖 17 容器設計系統的架構圖

本文嘗試分析咖啡杯的造形，並提出一套造形發展的模式。經由此模式的運作，衍生出多種不同變化的立體造形。我們也嘗試探討了咖啡杯表面花紋的衍生規則，以使整個研究更為完整。本文的主要成果可分述如下：

1. 咖啡杯的產品計測：將所收集到的樣本的平面圖片，經由適當的程序轉換成電腦圖形，並且維持其尺寸及比例和實物相同。此種程序可提供其他無法量測實物的類似研究，取得正確比例的操作方法參考。
2. 三階段造形發展模式：首先以規則衍生造形，經由篩選條件濾除掉不合適的形態，最後才建構成立體的模型。本文提出的篩選方式可以節省使用者不少的時間和精力，並且最後的立體結果讓使用者對於造形設計的成果更能充分地掌握。
3. 咖啡杯表面花紋的變化分析：可以發現將文法概念用在花紋的設計上，是相當具有潛力的，值得後續的研究者深入地探討。
4. 擴大應用於其他類似形態的容器設計：雖然只有嘗試性的概念提出，但卻是實際以工業產品設計的角度出發，本文的過程可作為以文法概念運用在實際產品設計的一個案例。

整體而言，本文所提出之模式和其他類似方法最大的差異在於「事後篩選」觀念的提出。此模式除了較型態分析法更能衍生出合理的造形之外，且能透過篩選條件的設定減少衍生出不需要或不合理的造形，減輕設計師的負擔。而相較於鄧建國(1994)所提出的造形溯衍模式而言，此模式更能完整的以 3D 造形表達，甚至加上其他造形要素(例如表面花紋)，並且將規則產生的過程以量化方式表達。

另外，本文受限於研究資源、時間和人力，對於所收集樣本的質與量，未能更充分地收集不同來源的樣本。而本文所提出的三階段造形發展模式，其他的產品造形設計是否能完全適用此模式？在本文中則未能加以討論。

設計一件好的產品本身便是一段複雜的過程；如何才是一個“好的”產品呢？這是相當

難以明確定義的。本文不認為經由所提出的模式所衍生的產品造形一定是好的產品。產品的使用者是人，也只有人最了解自己的需要。因此，以此模式衍生的造形，仍需要設計師以其專家經驗加以修飾才成。這是設計過程的黑箱，也是電腦所無可取代的部分。

設計最迷人的地方就是它包含著某些“不確定性”，本文只是試圖為這些感性因素提供輔助，而不是要將他們條文化、程式化，若是設計真能完全理性化、程式化，則設計將不再稱為“設計”，而是生產、製造了。

參考文獻

1. Chen, Shenchang Eric and Parent, Richard E., 1988, "Shapes averaging and its applications to industrial design", IEEE Computer Graphics & Applications, pp.47-54.
2. Stiny, G. and Gips, J., 1972, "Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture", Information Processing 71, pp.1460-1465.
3. 王鴻祥, 1995, "工業設計的電腦輔助造型", 第二屆國際電腦輔助設計研討會論文集, 交通大學, 新竹.
4. 阪根進, 1988, 西洋的洋食器設計集成 Vol.1,2,3, 講談社出版, 東京, 日本.
5. 張悟非, 1994, "產品造型基本圖素零件庫在系統的建構方法探討", 83年技術與教學研討會論文集, 明志工專, 台北.
6. 張悟非, 1995, "建構產品造型屬性資料庫用在ICAID系統模式的探討", 明志工專學報, 27期, 頁235-248, 台北.
7. 鄧建國, 莊明振, 1994, "造型朔衍模式應用於產品造型開發之探討", 83年技術與教學研討會論文集, 明志工專, 台北.

A Study on Computer-Aided Form Development Based on Shape Grammar Concept-with Coffee Cup Design as a Case Study

Man-Lai You* and Hung-Che Chao**

* Department of Industrial Design, National Yunlin University of Science and Technology

** Hanwei Enterprises Co., Ltd.

(Date Received : September 11,1996 ; Date Accepted : April 23,1997)

Abstract

This study proposes a model of computer-aided form development based on the concept of shape grammars. In addition to the introductory and conclusive sections, the paper has three other major parts, including shape analysis of coffee cups, a proposal of a model of shape generation, and its expanded applications. In the analysis section, the shapes of 108 coffee cups are analyzed and decomposed into major components. Features of the components are then measured, ranges of variations are determined, and a stereotype of the coffee cups represented by the average shape is then generated. From there, a grammar for coffee cup generation is defined and a three-stage model of coffee cup form development is proposed. The first stage uses the grammar rules to generate various coffee cups and the screening modules in the second stage select the various forms according to predetermined criteria. The third stage presents the chosen coffee cups with a 3D computer model so that users can evaluate, modify, or further develop them. To expand the application, rules for generating surface pattern designs are also suggested. Finally, the feasibility of extending this into a general system for building all types of containers is also discussed. The proposed model is considered a useful tool and its principles also can be applied in developing various types of products.

Keyword: shape grammar, coffee cup, form design and development, computer-aided design

