

以行動電話為例探討灰色田口方法於產品美感品質最佳化設計之研究

陳俊智^{*1} 莊明振^{**}

* 高雄師範大學應用設計系
e-mail:ccchen@nknuc.nknu.edu.tw

** 交通大學應用藝術研究所
e-mail:cming@cc.nctu.edu.tw

(收件日期:94年10月24日;接受日期:95年03月18日)

摘要

產品造形所誘發的美感品質已成為影響消費者產品購買決策的重要因素之一。在過去相關消費者美感偏好的研究中，大多以單一向度指標，探討美感品質的改善，忽略了消費者產品造形美感的判斷是具備了多重品質的特性。同時，有關消費者之間品質評價的變異也未加以考量。為了達到美感品質最佳化與穩健設計之目標，研究以多品質之觀點，應用田口方法進行美感品質的最佳化；藉由灰色理論之灰色灰關聯分析解決多品質特性最佳化參數組合的衝突性問題，以灰關聯度為產品多品質特性的整體績效指標，再藉由田口最佳參數設計決定多品質特性之最佳因子水準組合。研究以「行動電話」為例，透過專家焦點小組與模糊層級分析法，求得美感準則項目與權重，再應用灰色田口方法推論美感多品質之最佳化造形參數組合，藉由驗證結果證明了多品質最佳化設計能達到整體美感績效的最大化與品質最小變異的目標，證明此模式應用在產品美感品質改善的可行性與有效性。

關鍵詞：產品設計、美感、田口方法、多品質特性、灰關聯分析、模糊層級分析法

一、前言

Yalch[39]、Rutter[33]與 Gotzsch[21]等人的相關研究中指出，消費者在面對產品市場的成熟化，對於產品所提供的機能性、安全性與舒適性感到滿足後，對於品質的要求則轉向產品造形的裝飾性、情緒性與象徵性設計等「心理面品質」的強調[11]。說明了產品造形已成為影響消費者品質認知與評價的重要因素；而產品造形所誘發的「美感」反應可被視為產品「品質」(quality)中的一種，是影響消費者「選擇」與「滿意度」(satisfaction)的重要屬性。過去相關消費者產品造形偏好之研究，大多針對產品感性為主，並將產品美感視為消費者感性反應之一，藉由感性工學[30]的語意差異法(semantic differential method)與多變量分析模式，建構產品造形參數與產品美醜程度的相關性。但是，在相關美學研究[14, 21, 28, 29,

¹交通大學應用藝術研究所

34]中指出，美感評價是屬於多向度(multi-dimension)決策問題，並不是單一向度(uni-dimension)“美的-醜的”之語意指標即能完整解釋。而相關感性工學的研究中，是以使用者評價之平均值為應變項值，藉由相關迴歸分析與類神經網路等技術，取得目標值（感性程度）的最大化，並未考量使用者品質評價變異的現象。因此，本研究導入品質工程方法-田口方法，藉由參數的最佳化程序降低重要品質特性的變異，以達到品質最佳化與穩健設計(robust design)的目標。田口方法的提出是以解決單一品質參數最佳化為目標。然而，產品實務上所面對的問題大多是屬於多品質特性，多品質之間往往存在衝突性（例如，某一品質的提升，卻會造成另一品質績效的降低），而品質之間所相對應之設計參數往往是相互矛盾，無法一致；決定單一品質特性的參數最佳化往往不能代表整體品質的改善。灰色理論(Grey theory)是由Deng[17,18]提出，乃是針對系統模型中資訊不明確及數據不完整的部分，進行有關系統本身之關聯分析、模型架構建立，並藉由其預測與關聯對系統做更進一步之探討，處理「不確定性」、「多變量性輸入」資訊或「離散的數據」，現已被廣泛地應用於不同領域之決策與預測行為。由於田口參數設計方法是透過直交表來減少實驗次數，以有限的實驗資料來找出最佳的因子水準組合，而在多重品質特性問題中，是在有限、不完整的資訊環境下，針對多變量性輸入資訊找到最佳的因子水準組合，故其系統是屬於一個灰色系統。由於灰色理論能對不確定性及多變量性輸入作有效分析，相關研究[9,24,25,36]利用灰色理論中的灰關聯分析，解決實驗中因子回應的複雜關係，再藉由變異數分析得到最適化參數組合。本研究以提升產品美感品質為目標，整合田口方法與灰關聯分析(灰色田口方法)建構適用於主觀評價之產品美感品質改善模式，並以「行動電話」為例，探討灰色田口方法之多品質最佳化模式在產品設計領域應用的可行性。

二、文獻探討

2-1 產品造形與美感品質評價

隨著感性消費時代的來臨，設計師在設計過程中必然要揣摩消費者意圖，並切實地將其心中所渴求的意象與美感透過產品造形。而消費者對於產品美感品質的評價，主要是根據產品的視覺資訊(visual information)，亦即以產品造形為溝通媒介[15,16,27]，透過產品造形因子，例如，形態、色彩、材料、質感、細部處理等達到訊息的傳達，形成美感的知覺。Tjalve將美感造形的特性歸納為整體性、次序性、視覺平衡、韻律感、尺寸比例等[37]。Meyer認為美學風格是由主要屬性(顏色、形狀、材質)、複雜度、表現度三者所共同界定[28]。Schmitt等人以複雜度(complexity)與表現度(representation)來區別風格美學，複雜度兩端分別為簡潔對裝飾(minimalism versus ornamentalism)。表現度的向度兩端分別為寫實與抽象(realism versus abstraction)[34]。Birkhoff則以純藝術的角度對產品美學加以量化計算，提出： $M=O/C$ (M是 aesthetic measure，美學量測；O是 order，秩序、對稱、調和；C是 complexity，複雜度)；量測項目包括：垂直對稱值、水平對稱值、旋轉對稱值、垂直水平交叉關係值、平衡值與形之不滿意值[14]。造形原理[2]一書中指出美的特徵包括了：獨創性、完整性、統一性與快感性，亦是造形表現的目標。這些相關研究即說明了美感品質判斷是具備了多重的品質特性(multiple characteristics)。

2-2 田口方法(Taguchi method)

田口方法已被廣泛應用在工業界製造、加工與開發過程。近來亦有相關產品感性研究[1,10]，應用田口方法以推論出符合特定感性目標之最佳化造形組合，說明了田口方法應用於產品心理面品質提升的

可行性。田口方法的特色，為其利用正交表(orthogonal array)來設計實驗，以減少實驗次數，並由損失函數所發展的信號雜音比(signal to noise ratio, S/N 比)，作為衡量品質的指標。在 S/N 比最優化回應的過程，分析計算的方法包括：目標的望小特性、望大特性與望目特性。其 S/N 比計算式為：[13, 32]

(一)望小特性：以最小化平均值與變異為目標。

$$\eta = -10 \log \left(\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \right) \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

(二)望大特性：以最大化平均值與最小化變異為目標。

$$\eta = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

(三)符號型望目特性：有一固定目標值，可以利用 S/N 比最小化變異外，還可利用調整因子將平均值調整至目標值。

$$\eta = -10 \log (s^2) \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

η 為 S/N 比特性， y_i 為實驗值， s^2 為變異數， n 為實驗次數，dB 為 S/N 比的分貝單位，不管是何種特性，愈大的 η 值(即越大的 S/N 比)對品質特性而言愈佳。在計算每一個實驗回應值的過程中，不管回應的 S/N 比範圍如何，最大的 S/N 比就是最好的回應值，也就是最理想水準的製程或設計回應。同時，藉由 S/N 比配合變異數分析(analysis of variance, ANOVA)找出可控因子的最適水準組合、並辨識出影響品質特性的顯著因子。然而，在實驗過程中其回應值的最優化選擇，通常不可能只以單一品質的回應最優化那麼簡單，往往在某一組實驗之中，具備了多種的品質特性回應，在這些製程回應之中，各種的製程的 S/N 比特性值的回應往往不能一致，而使多重品質的製程回應中最优化的 S/N 比難以評估。相關研究[9, 24, 25, 36]利用灰色理論中的灰關聯分析，將具有多個品質特性的產品品質損失，整合成單一指標來決定最佳因子水準組合，解決實驗中因子回應的複雜、矛盾關係，再藉由變異數分析得到最適化參數組合結果。考量產品「質感」品質的評價的模糊性與多品質特性，因此，本研究整合灰關聯分析與田口方法，找出最優化之造形參數組合，達到產品質感品質改善之目標。

2-3 灰關聯分析(Grey relational analysis)

灰關聯分析是在灰色系統中，分析系統離散序列間相關程度大小的方法。其分析是根據數據發展的趨勢作分析，所以並不需要考慮傳統統計方法關於封體分佈之假設或大樣本之要求；而且灰關聯分析計算簡單，其主要是利用離散的測度方式來衡量兩個序列間的距離，基本思想是一種相對性的排序分析，同時對系統進行定量描述與比較的方法，以探討兩個序列間的關聯程度[6]。有關灰關聯分析步驟，說明如下：[3, 26, 38]

在灰色系統中，灰關聯分析可以評定兩個推論資料序列間的關係程度，此兩個推論資料序列分別是參考序列(reference series) 與比較序列(compared series)；對於下面所示之序列

$$\begin{aligned} x_0(k) &= (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)) \\ x_i(k) &= (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)) \end{aligned} \quad (4)$$

$x_0(k)$ 是具有 n 筆屬性資料的參考序列，即 $k = 1, 2, \dots, n$ 。而 $x_i(k)$ 是第 i 個比較序列， $i = 1, 2, \dots, m$ ，同時亦擁有 n 筆屬性資料。

步驟 1：適當參考序列的選擇：選擇各個屬性中的最佳值作為參考序列的屬性值。

步驟 2：線性化數據前處理[6]：傳統的序列前處理[19,20]並不完全是線性轉換，因此可能會造成序列失真，導致灰關聯分析的結果與事實有所出入；同時，數值特別大的屬性因子可能會在決策分析中扮演決定性的角色，如此會導致不良的結果；因此，宜進行線性化數據前處理，使轉換過的數據資料都具有相當好的一致性[19]。其數據前處理公式為：

$$x^*_i(k) = \frac{x^{(0)}_i(k) - \min[x^{(0)}_i(k)]}{\max[x^{(0)}_i(k)] - \min[x^{(0)}_i(k)]} \quad (5)$$

$x^*_i(k)$ 為表示轉換後之數據， $x^{(0)}_i(k)$ 為表示某實驗組序列， $i = 1, 2, \dots, m$ ， $k = 1, 2, \dots, n$ ， $\max[x^{(0)}_i(k)]$ 為表示某實驗組序列的最大值， $\min[x^{(0)}_i(k)]$ 為表示某實驗組序列的最小值。

步驟 3：計算灰關聯係數(Grey relational coefficient)：灰關聯係數可以表示如下：

$$r(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min}(k) + \zeta \Delta_{\max}(k)}{\Delta_{0i}(k) + \zeta \Delta_{\max}(k)} \quad (6)$$

$r(x_0(k), x_i(k))$ 為 x_0 and x_i 中第 k 個灰關聯係數， $\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$ 是 $x_0(k)$ 和 $x_i(k)$ 的序列差絕對值。而 Δ_{\min} 是所有序列差 $\Delta_{0i}(k)$ 中的最小差，而 Δ_{\max} 則是所有序列差 $\Delta_{0i}(k)$ 中的最大差。 ζ 稱為辨識係數(distinguish coefficient)，介於 0 與 1 之間，主要目的在調整 $\Delta_{0i}(k)$ 與背景值 Δ_{\max} 的對比關係，不同的辨識係數會有不同的灰關聯係數值，但是一般不會影響灰關聯序的排列情形，在無特定需求下， ζ 選擇值為 0.5 [3]。

步驟 4：計算灰關聯度(Grey relational grade)：灰關聯度表示兩個序列(參考序列與比較序列)的關聯程度，可表示如下：

$$r(x_0, x_i) = \sum_{k=1}^n \beta_k r(x_0(k), x_i(k)) \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^n \beta_k = 1 \quad (8)$$

其中， β_k 表示第 k 屬性的常態化權重，本研究是採用模糊層級分析法取得權重值。 $r(x_0, x_i)$ 為灰關聯度，其值愈大表示與參考序列的關聯性愈強。灰關聯分析旨在尋求一種能夠衡量各種因素間其關聯程度大小的量化方法，以便找出影響系統發展態勢的重要因素。為解決MCDM多品質最佳化參數不一致問題，研究應用灰關聯分析進行實驗組序列(直交實驗設計)對理想序列的比較，取得各實驗組之灰關聯度，表示其多品質特性績效與理想序列的關聯程度，整合成單一指標來決定最佳因子水準組合，以推論最佳化參數組合。

2-4 模糊集合理論 (Fuzzy set theory)

大多數的產品或是製程的品質，其品質特性通常都是可以量測的。然而，在某些情況下品質特性可能是無法直接量測出來的，必須藉由語意性措辭(linguistic descriptions)的方式，以人為或主觀地判定產品

品質。Zadeh [40,41]所發展的模糊集合論中，透過歸屬函數(membership function)將語意性措辭予以量化，將各語意性的描述轉成介於 0 和 1 之間的數值，然後經由此數值的大小來表現可能的影響因素所導致的不同程度之影響。對於語意性措辭之分析，模糊集合理論是一個相當適當的分析技巧。為解決消費者主觀判定無法客觀量測的問題，研究藉由語意性措辭的方式，並應用模糊理論中特殊歸屬函數，有效地將主觀判斷予以數量化、客觀化，以為心理面品質量測之方法。

2-5 模糊層級分析法 (fuzzy analysis hierarchy process, FAHP)

層級分析法(Analytic Hierarchy Process, 簡稱 AHP 法)為 Saaty 於 1971 年所提出的一套決策方法[35]，主要應用在不確定性情況、以及具有數個評估準則的決策問題。自 AHP 法發展後，已廣泛地應用於各領域。在一般的層級分析法中，一直存在人為評估不精確的問題，也就是在此方法的應用中，總是將決策者主觀認定的數值當成精確值來處理。這種做法在大部分的情況下不甚合理，因為面對這些問題的專家學者，並非皆在相同的客觀環境條件下進行決策評估。考量主觀感知與專家群體決策之主觀差異性、模糊性，研究藉由模糊層級分析法的應用，整合專家群體的意見，以為準則項目的重要性程度判定之依據。模糊層級分析法的應用，是引用三角模糊數的概念，對於專家群體的個別意見加以整合，以求取決策準則的模糊權重。以下針對模糊層級分析法的實施步驟加以說明：[7,23]

- (1)專家層級分析法(AHP)的進行：藉由專家針對評估準則進行成對比較，並輸入二屬性的成對比較的確值(亦即和 Saaty 的 AHP 法一樣)，再藉由計算特徵向量及特徵值，以求取各層級要素間相對權重。
- (2)建立專家準則權重之模糊三角函數：藉由層級分析法求得各專家對於準則的權重值，然而所得的權重值未必相等，若以平均數來求取其代表權重，則可能會失去部分所應有的訊息，因此，以三角模糊數的概念，求得各準則的模糊權重。模糊三角函數的建立是很據所有專家的準則權重資料，依下列各式構建各準則之模糊三角函數，而模糊三角函數如圖 1 所示。

$$\begin{aligned} \tilde{N} &= (L_A, M_A, U_A) \\ L_A &= \min(x_{Ai}), i=1,2,3,\dots,n & (9) \\ M_A &= (X_{A1} \times X_{A2} \times \dots \times X_{An})^{1/n} & (10) \\ U_A &= \max(X_{Ai}), i=1,2,3,\dots,n & (11) \end{aligned}$$

其中，A 為準則代號，i 為決策者代號， \tilde{N} 為準則重要性之模糊數， X_{Ai} 為第 i 個決策者對 A 準則之評估值， L_A 為決策群對 A 準則之評估下限值， M_A 為決策群體對 A 準則之幾何平均數， U_A 為決策群對 A 準則之評估上限值。

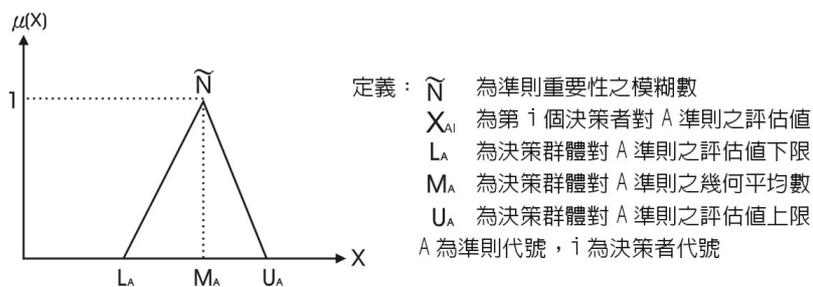


圖 1 準則評價之模糊三角函數

- (3)同時，必須針對專家給定的「明確」成對比較值進行一致性檢定，以一致性係數(consistency Index, C.I.) C.I.<0.1 為標準[35]，求得各專家之準則權重分配，再轉成三角模糊數，避免直接給定模糊數，

造成一致性低的問題。

(4) 專家的模糊權重數值並非明確數值，無法對於各準則之重要性程度加以比較，再以重心法則進行除模糊化(defuzzification)，以取得模糊數之非模糊數值為最終權重值。

三、研究方法與步驟

研究整合田口方法與灰關聯分析應用於產品美感多品質參數最佳化模式的建立，以釐清造形因素與消費者美感評價之相關性，找出產品造形參數最佳化組合。研究步驟包括：(1) 產品造形參數設定與測試樣本建構；(2) 美感評價準則與權重之設定；(3) 灰色田口之產品美感品質最佳化模式。

3-1 測試樣本直交設計

3.1-1 產品造形參數設定

產品造形參數的選取及其水準的決定，是實驗成敗的關鍵。本研究探討之產品鎖定「直立式」、「無天線」的行動電話形制為由，再委請專業設計師進行焦點小組[22,31]之討論，決定實驗的控制因子及水準設定。焦點小組(產品設計專家)是由6位碩士班研究生所組成，包括男生3位、女生3位，其大學與研究所皆是攻讀工業設計，同時，其中3位具有3年以上設計實務經驗。首先，蒐集大量行動電話樣本與相關感性工學的研究[4,5,12]作為專家參考依據，再由專家針對影響行動電話美感評價之造形因素，進行型態分析法(morphological method)的討論，以確認實驗之參數項目與水準。

產品形態特徵與構成關係是影響消費者造形評價之重要因素[8]。因此，焦點小組成員在造形的分析上，分別以形態特徵(單一元件所採用的不同形態與形制)與構成關係(不同元件之間的相對位置、接合關係、相對比例)兩個向度為導向，以為造形參數解構的基礎。經由焦點小組的充分討論與分析，歸納出影響美感評價的參數(包括：形態特徵與構成關係)。其中有關「螢幕尺寸」、「功能鍵形制」、「發音孔」等設計元素不列入參數項目中，在後續測試樣本中，此三項造形元素皆使用相同的樣式。在參數水準設定上，是很據現有行動電話各造形參數的變化與專家所建議的可能造形樣式為由，以達到實驗樣本「整體性」的要求；同時，各水準之間應具備明確的「區別性」，及要求實際應用「可行性」(指不同參數之間不同的水準組合結果不會產生矛盾)，而實驗的造形參數及水準設定結果，如表1所示。

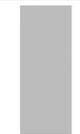
3.1-2 直交法選擇以建構實驗樣本

為了避免「刻板印象」或「品牌因素」影響實驗結果，本研究將建構全新的行動電話樣本，以作為問卷測試的樣本。測試樣本的形態建構是很據專家所分析之造形參數項目與水準，利用「 $L_{32}(2^1 \times 4^9)$ 直交表」(如表2所示)將「形態分析」中的決定之參數設計加以配對，建構出32個測試樣本，如圖2所示。

3.2-2 美感評價準則與權重的判定

美感評價準則之初擬與建構，涉及諸多專業知識與認知。因此，在評估準則的選取上，藉由參考相關造形美感研究[2,14,15,16,21,28,29,34,37]取得初擬之評估因子，再藉由專家組成之焦點小組進行討論，建構出產品美感評價準則，包括了：獨創性、統一性、完整性、簡潔性、愉悅性與形的滿意度。而焦點小組是由3.1-1之6位具備相關知識背景之碩士班研究生所組成。由於準則權重的判定是涉及專業知識，因此，委由10位專家進行層級分析法(包括3位具有5年以上產品設計實務經驗者與7位博士班研究生)，進行成對比較矩陣的建構；同時針對專家建構之矩陣資料，以一致性 $C.I. < 0.1$ 為標準進行

表 1 行動電話造形參數之型態分析法

造形參數	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
A 數字鍵排列	圓弧 	直線 	-	-
B 機身造形輪廓	左右上下對稱 	不對稱 	傾斜對稱 	左右對稱 (上大下小) 
C 機身側邊曲線	直線 	外凸 	內凹 	複合形 
D 機身上緣	直線 	外凸大曲 	外凸中曲 	外凸小曲 
E 接面關係	小圓角 	中圓角 	半圓 	導角 
F 機身正面造形分割 (色塊裝飾)	無 	下緣色塊 	側邊環繞色塊 	上、下緣色塊 
G 數字鍵形式	獨立 	水平分割 	垂直分割 	整體 
H 數字鍵造形	三角弧形 	圓弧形 	方形 	六角形 
I 數字鍵視覺形式	方形 	弧形 	梯形 	圓形 
J 機身比例	長 (115*45) 	中 (107*46) 	寬 (100*45.6) 	小 (80*46) 

致性檢定，如未通過檢定則要求專家重新考慮評比，直到通過一致性檢定為止，以求得專家個別之準則權重。同時，考量美感評價的主觀差異性與模糊性，進一步採用模糊層級分析法，解決群體決策之不一致性問題。

表 2 根據 $L_{32}(2^1 \times 4^9)$ 直交表之測試樣本設計因子與水準分配

NO.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	NO.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	2	1	1	4	1	4	2	3	2	3
2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	18	2	1	2	3	2	3	1	4	1	4
3	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	19	2	1	3	2	3	2	4	1	4	1
4	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	20	2	1	4	1	4	1	3	2	3	2
5	1	2	1	1	2	2	3	3	4	4	21	2	2	1	4	2	3	4	1	3	2
6	1	2	2	2	1	1	4	4	3	3	22	2	2	2	3	1	4	3	2	4	1
7	1	2	3	3	4	4	1	1	2	2	23	2	2	3	2	4	1	2	3	1	4
8	1	2	4	4	3	3	2	2	1	1	24	2	2	4	1	3	2	1	4	2	3
9	1	3	1	2	3	4	1	2	3	4	25	2	3	1	3	3	1	2	4	4	2
10	1	3	2	1	4	3	2	1	4	3	26	2	3	2	4	4	2	1	3	3	1
11	1	3	3	4	1	2	3	4	1	2	27	2	3	3	1	1	3	4	2	2	4
12	1	3	4	3	2	1	4	3	2	1	28	2	3	4	2	2	4	3	1	1	3
13	1	4	1	2	4	3	3	4	2	1	29	2	4	1	3	4	2	4	2	1	3
14	1	4	2	1	3	4	4	3	1	2	30	2	4	2	4	3	1	3	1	2	4
15	1	4	3	4	2	1	1	2	4	3	31	2	4	3	1	2	4	2	4	3	1
16	1	4	4	3	1	2	2	1	3	4	32	2	4	4	2	1	3	1	3	4	2

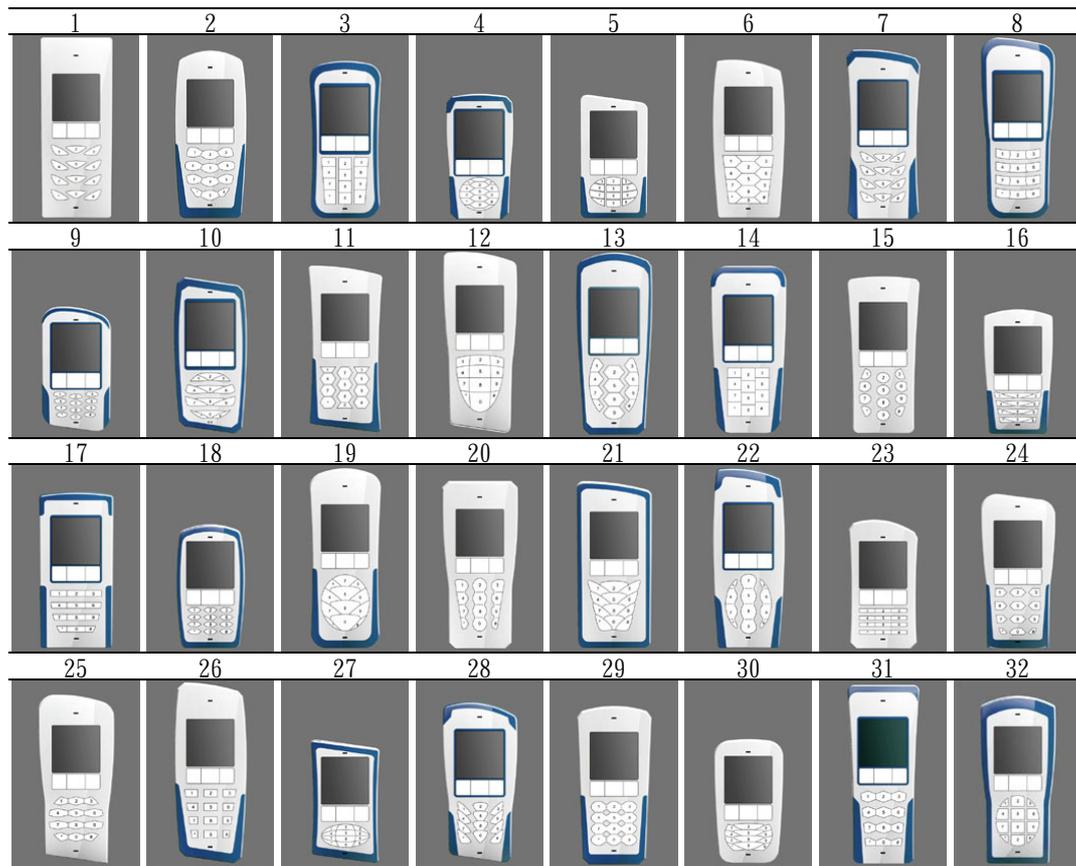


圖 2 測試樣本

3-3 美感品質之模糊評價調查

考量美感評估所涉及的專業知識，受測者是委由 15 名專家(包括 8 位博士班研究生、3 位具 5 年以上產品設計實務經驗者與 4 位具 5 年以上設計專業教師)進行美感準則之模糊評價調查，以 6 項感評標準則為量尺，採用 7 階的模糊語意量尺(如表 3 所示)，對 3.1-2 建構的 32 個行動電話測試樣本(如圖 2 所示)進行評價。模糊評估結果採 7 階之三角隸屬函數，將模糊語意變數量化成三角模糊數，其三角隸屬函數，如圖 3 所示，再利用重心法加以解模糊化(defuzzification)，得到一非模糊化的數值，以為後續出口分析之用。

表 3 美感評價模糊語意指標

等級	1	2	3	4	5	6	7
模糊語意	非常低	低	有點低	中型	有點高	高	非常高
模糊數	(0,1,2)	(1,2,3)	(2,3,4)	(3,4,5)	(4,5,6)	(5,6,7)	(6,7,7)

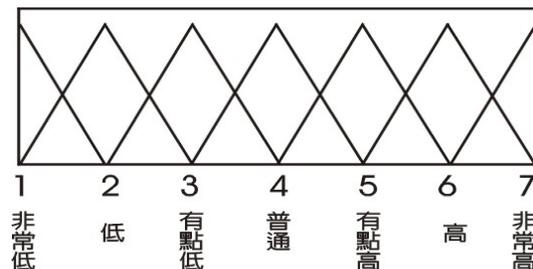


圖 3 美感評價之三角模糊函數圖

四、結果與討論

4-1 美感評價準則之模糊層級分析法

將 10 位專家針對美感評價準則所建構成對比較矩陣結果，進行一致性檢定後(以 C.I. < 0.1 為標準)，應用 AHP 法求得 10 位專家對於美感準則的權重結果；並進一步以 FAHP 找出模糊權重值，依 10 位專家權重值之下限值(L)、幾何平均數(M)與上限值(U)以為該項三角模糊數，以區間之模糊概念取代單一明確數值，並應用重心法將模糊數轉為非模糊數，並將各項權重值加以正規化處理，使準則權重值總和等於 1，結果如表 4 所示。

表 4 專家準則權重之模糊層級分析法 (L 表下限值、M 表幾何平均數、U 表上限值)

準則	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	(L,M,U)	解模糊化值	正規化權重
獨創性	0.09	0.19	0.09	0.04	0.02	0.04	0.03	0.04	0.11	0.10	(0.02,0.06,0.19)	0.09	0.087
統一性	0.03	0.05	0.03	0.12	0.07	0.03	0.11	0.03	0.05	0.03	(0.03,0.05,0.12)	0.07	0.067
完整性	0.09	0.09	0.04	0.02	0.16	0.06	0.05	0.08	0.03	0.05	(0.02,0.06,0.16)	0.08	0.077
簡潔性	0.04	0.03	0.09	0.09	0.04	0.15	0.05	0.12	0.05	0.11	(0.03,0.07,0.15)	0.08	0.077
愉悅性	0.45	0.42	0.30	0.46	0.35	0.43	0.28	0.26	0.38	0.44	(0.26,0.37,0.46)	0.36	0.346
形的滿意度	0.30	0.24	0.45	0.27	0.35	0.29	0.49	0.47	0.38	0.27	(0.24,0.34,0.49)	0.36	0.346
C.I.	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	—	—	—

4-2 灰色田口方法之美感多品質最佳化參數設計

本研究整合灰關聯分析與田口方法設計，以求得美感多品質之最佳化參數設計。多重品質特性分析流程，說明如下：

(1)S/N 比計算：產品美感多品質評價是以 15 位受測者對 6 個美感準則的模糊評估結果為計。研究是以美感品質最佳化為目標，屬於望大特性。因此，將受測者的美感品質評價解模糊化結果代入 2-2 之方程式(2)，即可得各測試樣本的 S/N 回應表，結果如表 5 所示。

表 5 專家美感準則評價解模糊數值與 S/N 值

NO.	獨創性		統一性		完整性		愉悅性		形的滿意度		簡潔性							
	g(x)	S/N	N(x)															
1	2.87	9.15	0.541	4.49	13.04	0.772	4.51	13.09	0.774	3.42	10.69	0.632	3.56	11.02	0.652	5.20	14.32	0.847
2	3.80	11.60	0.686	3.62	11.18	0.661	4.00	12.04	0.712	3.42	10.69	0.632	3.11	9.86	0.583	3.40	10.63	0.629
3	4.13	12.33	0.729	3.93	11.90	0.704	4.33	12.74	0.754	3.47	10.80	0.639	3.58	11.07	0.655	4.13	12.33	0.729
4	4.33	12.74	0.754	2.87	9.15	0.541	2.60	8.30	0.491	2.22	6.94	0.410	1.87	5.42	0.321	2.29	7.19	0.426
...
29	4.00	12.04	0.712	4.73	13.50	0.799	4.87	13.74	0.813	4.07	12.18	0.721	4.20	12.46	0.737	4.71	13.46	0.797
30	4.00	12.04	0.712	4.67	13.38	0.792	4.73	13.50	0.799	4.18	12.42	0.735	4.20	12.46	0.737	4.36	12.78	0.756
31	3.96	11.94	0.707	3.82	11.65	0.689	3.58	11.07	0.655	3.38	10.57	0.626	3.16	9.98	0.591	3.87	11.75	0.695
32	4.00	12.04	0.712	4.07	12.18	0.721	4.20	12.46	0.737	3.40	10.63	0.629	3.42	10.69	0.632	4.20	12.46	0.737

※g(x)表解模糊後之數值，S/N 表 S/N 比值，N(x) 表 S/N 比值正規化後數值

- (2)數據前處理：各品質特性皆經 S/N 比特性分析後，其每一組數據呈現出不同極性及不同等級的分佈，故依據空間理論的數學基礎，按照規範性、偶對稱性、整體性和接近性，這四項定理，確定參考序列和若干比較序列之間的關聯係數和關聯度，其經數據前處理後，就能關聯度最接近的數值轉換成 1，反之距離最遠的數據將被轉換為 0，因此，因子都將介於 0~1 之間，使轉換過的數據資料都具有相當好的一致性。利用 2-3 方程式(5)，將 S/N 值進行數據前處理，結果如表 5 所示。
- (3)多重品質特性之灰關聯度分析：灰關聯度分析為實驗組序列對理想序列的比較，取得兩序列之關聯程度。分析步驟為：一、設定理想序列：各數據前處理時已將測試樣本 S/N 比特性處理成 1~0 的區間序列(表 5 之 $N(x)$)，而理想序列 X_0 中各項準則之數值皆為 1。二、計算序列差，並找出最大與最小值。三、設定辨識係數：研究將值設定為 0.5。四、計算個別品質特性中各實驗組合下之灰關聯係數：利用 2-2 方程式(6)，計算測試樣本中不同準則之灰關聯係數。五、準則權重值設定：權重值是根據 FAHP 推論之數值為 ω (表 4)。六、計算多重品質特性中各實驗組合下的灰關聯度：根據上步驟求得之灰關聯係數，利用 2-2 之方程式(7)求得各測試樣本灰關聯度。而各測試樣本與理想序列的相近程度與灰排序結果，如表 6 所示。

表 6 美感受價與理想序列之灰關聯係數與灰關聯度

美感受價與理想序列之灰關聯係數與灰關聯度								
美感受價準則評價 (多品質)								
準則	獨創性	統一性	完整性	愉悅性	形的滿意度	簡潔性	灰關聯度	灰關聯序
權重	0.087	0.067	0.077	0.346	0.346	0.077		
X_0	1	1	1	1	1	1		
1	0.617	0.867	0.871	0.696	0.716	1.000	0.744	8
2	0.753	0.726	0.785	0.696	0.651	0.693	0.694	16
3	0.807	0.774	0.840	0.703	0.719	0.807	0.741	9
4	0.840	0.617	0.580	0.530	0.483	0.539	0.551	32
5	0.879	0.614	0.604	0.518	0.509	0.677	0.572	31
6	0.774	0.818	0.785	0.726	0.677	0.887	0.736	10
7	0.807	0.696	0.703	0.664	0.626	0.626	0.665	21
8	0.829	0.887	0.863	0.746	0.753	0.852	0.782	5
9	0.778	0.680	0.699	0.568	0.559	0.713	0.612	26
10	0.855	0.709	0.683	0.586	0.589	0.632	0.629	25
11	0.891	0.699	0.696	0.611	0.568	0.716	0.641	23
12	0.852	0.670	0.680	0.598	0.580	0.778	0.639	24
13	0.764	0.733	0.785	0.726	0.696	0.657	0.718	13
14	0.753	0.844	0.821	0.818	0.818	0.907	0.821	3
15	0.753	0.789	0.778	0.767	0.757	0.923	0.777	6
16	0.733	0.785	0.829	0.673	0.664	0.743	0.700	14
17	0.601	0.903	0.911	0.709	0.740	0.965	0.758	7
18	0.743	0.814	0.852	0.803	0.796	0.969	0.813	4
19	0.696	0.604	0.595	0.577	0.547	0.667	0.588	30
20	0.829	0.598	0.645	0.580	0.556	0.723	0.611	27
21	0.716	0.690	0.709	0.667	0.667	0.736	0.681	18
22	0.840	0.632	0.680	0.677	0.657	0.657	0.680	19
23	0.661	0.740	0.740	0.592	0.617	0.852	0.648	22
24	0.746	0.723	0.743	0.673	0.620	0.706	0.672	20
25	0.829	0.611	0.604	0.577	0.547	0.638	0.598	29
26	0.726	0.836	0.796	0.713	0.683	0.931	0.735	11
27	0.948	0.629	0.654	0.565	0.550	0.629	0.609	28
28	0.743	0.785	0.726	0.696	0.651	0.638	0.688	17
29	0.785	0.911	0.935	0.796	0.818	0.907	0.829	1
30	0.785	0.899	0.911	0.814	0.818	0.844	0.828	2
31	0.778	0.757	0.719	0.690	0.657	0.764	0.698	15
32	0.785	0.796	0.818	0.693	0.696	0.818	0.728	12

- (4)建立多重品質特性灰關聯度回應表及回應圖，進行因子效果分析：將表 6 的灰關聯度數值進行變異數分析，藉由 S/N 比取得因子效益圖與因子回應表(表 7、圖 4)，找出造型因子(參數)各水準的個別效果，藉由比較各項目之水準效益值，選取最佳效益值的水準組合即為最參數自設計，並將參數組合之水準效益差與平均效益值加總，以品質預測效益值。根據灰關聯度回應表(表 7)所示，可判定出造型參數的最佳水準組合：A2(數字鍵為直線排列)B4(機身造型輪廓為上大下小且左右對稱)C2(機身側邊為外凸曲線)D4(機身上緣為外凸小曲)E3(半圓接面關係)F3(機身正面造型有側邊環繞色塊)G1(數字鍵形狀為獨立)H3(方形形數字鍵)I1(數字鍵為方形視覺完形)J3(寬型比例機身)。同時，其預測效益值(最大灰關聯度回應值)為 16.692 (效益值 $16.692 = 0.698 (A2) + 0.762 (B4) + 0.742 (C2) + 0.719 (D4) + 0.705 (E3) + 0.713 (F3) + 0.718 (G1) + 0.705 (H3) + 0.746 (I1) + 0.729 (J3) + 9.455 (平均效益值)$)。
- (5)變異數分析：變異數分析的目的在以統計的方法，對多重品質特性的綜合性評估中，找出對整個系統具有顯著影響的因子，分析結果如表 8 所示。表中變異來源為造型參數，藉由 F 值來表示因子效果對於誤差變異的關係。統計學上，F 值配合著 F 分配來描述一特定因子的效果。因此，F 值可用以排列因子的重要順序。F 值小於 1，表示因子效果(相較於誤差)算是小；F 值大於 2，表示因子效果不算

表 7 美感灰關聯度回應表(*表最大效益值)

	水準一	水準二	水準三	水準四
A(Var 1)	0.689	0.698*	—	—
B(Var 2)	0.687	0.680	0.644	0.762*
C(Var 3)	0.689	0.742*	0.671	0.671
D(Var 4)	0.670	0.676	0.708	0.719*
E(Var 5)	0.699	0.695	0.705*	0.673
F(Var 6)	0.698	0.679	0.713*	0.684
G(Var 7)	0.718*	0.688	0.685	0.682
H(Var 8)	0.690	0.699	0.705*	0.678
I(Var 9)	0.746*	0.698	0.689	0.640
J(Var10)	0.698	0.680	0.729*	0.666

圖 4 美感灰關聯度因子效益圖

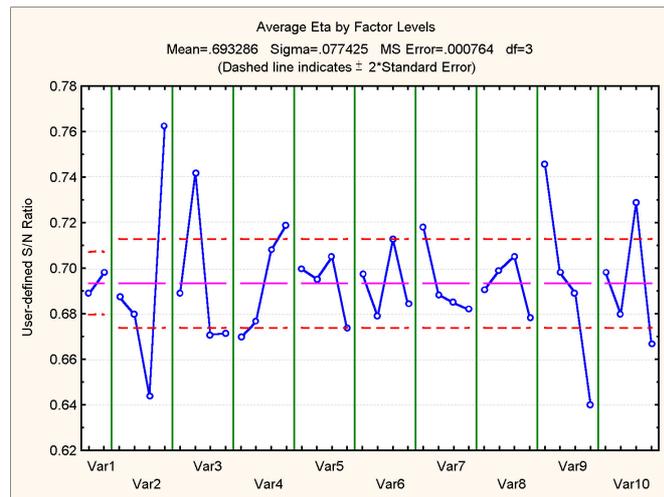


表 8 美感灰關聯度變異數分析表

變異來源	平方和	自由度	均方	F 值	貢獻率(%)	P-值
A. 數字鍵排列	0.001	1	0.001	0.829	—	0.43
B. 機身造型輪廓	0.060	3	0.020	25.971	30.839	0.01*
C. 機身側邊曲線	0.027	3	0.009	11.813	13.385	0.04*
D. 機身上緣	0.014	3	0.005	6.028	6.252	0.09
E. 接面關係	0.005	3	0.002	2.032	1.325	0.29
F. 機身正面造型分割	0.006	3	0.002	2.415	1.797	0.24
G. 數字鍵形狀	0.007	3	0.002	2.980	2.494	0.20
H. 數字鍵造型	0.003	3	0.001	1.414	0.563	0.39
I. 數字鍵視覺完形	0.045	3	0.015	19.546	22.919	0.02*
J. 機身比例	0.017	3	0.006	7.634	8.232	0.06
誤差	0.002	3	0.001	—	—	—
合計誤差	0.003	4	0.001	—	12.195	—
總和	0.186	31	—	—	100	—

小；F 值大於 4，表示因子效果相當大 [3]。同時，田口分析以貢獻百分比(percent contribution)以顯示一因子對總平方和的貢獻度，可用來指出一因子降低變異之相對能力，亦即參數的貢獻率(%)數值愈大愈具影響力。同時，變異數分析亦針對因子的顯著性進行檢定，以 P 值表示在顯著水準 $\alpha = 0.05$ 之顯著性，若 P 值 < 0.05 表示達到顯著水準，P 值 > 0.05 表示未達顯著水準。同時，田口方法以誤差項百分比(%)數值，以為實驗適當性(充分性)的估計。若誤差項百分比 $\leq 15\%$ ，可認為該項實驗並沒有忽略掉一些重要因子；若誤差項百分比 $\geq 50\%$ ，可假設有些重要因子被忽略掉了，實驗狀況不是很好或有很大的衡量誤差發生 [13]。由表中之 F 值與 P 值可知，因子 B(機身造型輪廓)、C(機身側邊曲線)、I(數字鍵視覺外形)為顯著因子($P < 0.05$)，判定因子 B、C、I 因子對於整個美感多品質特性評價有顯著的影響；同時，誤差項百分比 $\leq 15\%$ ，證明實驗之適當性。

4-3 驗證實驗

為比較美感準則(單一品質)與美感多品質(灰色田口方法)最佳化參數組合的差異，針對六項美感準則評價結果進行單一品質特性之田口分析，將模糊評價結果進行 S/N 比之計算，求得因子效益回應值，找出六個美感準則最佳化造型因子組合(如圖 5 所示)，並配合變異數分析辨識出影響品質特性的顯著因子，分析結果如表 9 所示。根據美感準則(單一品質特性)之田口分析結果可知，“完整性”、“愉悅性”、“形的滿意度”等實驗的誤差項百分比(%) $\leq 15\%$ ，表示該準則實驗並未忽略掉一些重要因子。而“獨創性”的誤差項百分比(%) $\geq 50\%$ ，表示有些重要因子被忽略掉了，此結果可能是因為研究中造型參數的設定是根據現有市面上行動電話造型為基礎，是受測者所熟悉的、較不具獨創性。進一步比較各準則的最佳化參數結果，形的滿意度與美感多品質的最佳化參數組合是相同，推論此結果可能是因為灰關聯分析中“形的滿意度”之高權重值(0.346)設定所致，此現象亦說明了灰關聯分析在處理多品質特性問題之權衡(trade-off)重要性差異的能力，使最佳化參數設計能反應所強調之品質項目；統一性與完整性之結果是相同的；獨創性的參數與其他準則差異甚大；形的滿意度與愉悅性有 H 因子上有所差異、形的滿意度與簡潔性有 E 與 F 因子上有所差異。根據分析結果可知，美感準則之間所相對應之最佳化參數組合無法達到一致性，造成整體美感參數設計選擇的困難。研究藉由整合田口與灰關聯分析模式，解決多品質特性參數設定不一致性之問題，以提供多品質最適化參數組合。

NO.	1	2	3	4	5
準則	獨創性	統一性/完整性	簡潔性	愉悅性	形的滿意度
最佳參數組合					
參數組合	A1B3C4D3E4 F3G3H2I4J2	A1B4C2D4E1 F3G1H3I1J3	A2B4C2D4E1 F1G1H3I1J3	A2B4C2D4E3 F3G1H1I1J3	A2B4C2D4E3 F3G1H3I1J3

圖 5 最佳化參數設計(形的滿意度與美感灰關聯度之最佳組合相同)

為比較美感多品質與單一美感準則之最佳化參數設計在品質改善能力的差異，委請 3.3-3 之 15 名受測者，針對最佳化設計樣本(圖 5)進行美感準則的模糊評價，並將評價結果轉換為 S/N 值(db)，結果如

表 9 單一品質與多品質最佳參數組合比較表(灰色區塊表該參數與多品質最佳化不同者)

準則項目	最佳參數組合	顯著區分	誤差項百分比(%)
獨創性	A1 B3 C4 D3 E4 F3 G3 H2 I4 J2	—	50.644
統一性	A1 B4 C2 D4 E1 F3 G1 H3 I1 J3	I	19.727
完整性	A1 B4 C2 D4 E1 F3 G1 H3 I1 J3	B,G,I,J	7.203
愉悅性	A2 B4 C2 D4 E3 F3 G1 H1 I1 J3	B,C,I,J	8.174
形的滿意度	A2 B4 C2 D4 E3 F3 G1 H3 I1 J3	A,B,C,D,E,F,G,H,I	2.955
簡潔性	A2 B4 C2 D4 E1 F1 G1 H3 I1 J3	I	29.572
質感相關聯	A2 B4 C2 D4 E3 F3 G1 H3 I1 J3	B,C,I	12.195

表 10 所示。驗證實驗的比對對象是以專家質感準則評價結果中(表 5)，選擇各準則 S/N 值最大者。由表 10 可知個別質感準則品質改善量：獨創性增加了 0.119db、統一性增加了 2.249db、完整性增加了 1.606db、愉悅性增加了 0.604db、形的滿意度增加了 0.755db、簡潔性增加了 0.487db，其中以統一性與完整性的品質增益最大。再將實際增益結果與預期增益相比較，雖然並未達到預估的增益值，此現象可能是由於產品感官評價的模糊性與相對比較性特質，致使在評價中產生誤差，較難以確定數值明顯表現彼此差距的背後；但是，相關最佳參數組合設計在績效上皆高於比對對象(原有評價之最大值)，是有助於產品品質的提升，證明 III 方法應用於產品質感(心理面)品質改善的可行性。同時，比較最佳化設計樣本(圖 5)中各品質之績效，應用排序得點評分之計算方法，排名愈前面者，分數愈高(排序第 5 分、最後 1 分)，最後以總分為績效判定之基準，結果如表 11 所示。質感多品質最佳化設計(形的滿意度)的排序總分最高，並有六項準則之排序得點皆高於 2 分以上，而整體品質績效上是優於單一質感準則之最佳化設計，證明相關聯分析處理多品質特性重要性權衡(trade-off) 的能力，解決多品質特性衝突之最佳化問題，達到整體質感多品質績效之提升。

表 10 最佳化設計樣本之驗證實驗結果

最佳參數組合	NO.	評價項目						平均 值	最大 值	比對 樣本 No.	確認 實驗 值	預估 值	實驗 增益 值	預估 增益 值
		獨創性	統一性	完整性	簡潔性	愉悅性	形的 滿意度							
獨創性	1	13.979	7.925	9.485	10.198	11.424	9.195	11.85	13.86	27	13.979	15.746	0.119	1.886
統一性	2	7.959	15.749	15.346	15.291	12.240	12.357	11.28	13.50	29	15.749	17.161	2.249	3.661
完整性	2	7.959	15.749	15.346	15.291	12.240	12.357	11.38	13.74	29	15.346	17.001	1.606	3.261
簡潔性	3	10.012	14.981	15.151	14.807	13.028	12.396	11.54	14.32	1	14.807	18.691	0.487	4.371
愉悅性	4	12.041	12.001	12.587	11.797	13.064	12.920	10.03	12.46	14	13.064	15.899	0.604	3.439
形的滿意度	5	10.683	14.338	14.130	13.542	12.945	13.215	9.70	12.46	29	13.215	16.692	0.755	4.232

*形的滿意度(NO.5)與質感多品質最佳參數組合相同，統一性與完整性之最佳參數組合相同(NO.2)

表 11 最佳化設計樣本之品質績效排序得點評分

最佳參數組合	NO.	獨創性	統一性	完整性	簡潔性	愉悅感	形的滿意度	排序總合
獨創性	1	5	1	1	1	1	1	10
統一性 / 完整性	2	1	5	5	5	2	2	20
簡潔性	3	2	4	4	4	3	3	20
愉悅性	4	4	2	2	2	5	4	19
形的滿意度	5	3	3	3	3	4	5	21

*形的滿意度(NO.5)與質感多品質最佳化設計相同

表 12 質感多品質最佳化設計與 NO.29 樣本之品質績效比較

參數組合	品質項目	獨創性	統一性	完整性	簡潔性	愉悅性	形的滿意度
A2 B4 C1 D3 E4 F2 G4 H2 I1 J3	NO.29	12.04	13.50	13.74	13.46	12.18	12.46
A2 B4 C2 D4 E3 F3 G1 H3 I1 J3	最佳組合	10.683	14.338	14.130	13.542	12.945	13.215
	S/N 比	-1.357	0.838	0.390	0.082	0.765	0.755

同時，針對多品質最佳組合樣本與灰關聯分析中(表 7)最大灰關聯度者(NO.29)加以比較，結果如表 12 所示。其品質特性的改善量：統一性增加了 0.838db、完整性增加了 0.390db、愉悅性增加了 0.765db、形的滿意度增加了 0.755db、簡潔性增加了 0.082db，其中以統一性的品質增益最大；然而，獨創性(-1.357)品質 S/N 值卻有所減少，觀察其變異數分析結果(表 9)，獨創性的(50.644)實驗結果之誤差項百分比比較大，可能是實驗設計中忽略了某些重要因素，或是實驗狀況不佳、或是衡量誤差所致。同時，在所有準則中，獨創性權重(0.087)分配亦較小，在考量多品質最佳化參數選擇時即有所取捨，導致該項準則的品質效益未有所改善。美感多品質最佳化設計的評價結果，雖然在獨創性上並未有所改善，但是，在其他美感準則與整體品質上是有所提升，說明灰色田田分析模式在多品質特性最佳化參數問題的權衡效果。

為了進一步驗證灰色田田方法在產品美感品質的實際改善能力，委請 3.1-1 之 6 位專家從現有 3 廠牌(包括 Nokia、MOTO Sony 與 Ericsson)之行動電話機型(包括上市及預計上市機型)，選擇具代表性樣本以為比較對象，並根據比較樣本之造形設計參數組合，建構驗證用之測試樣本(如圖 6 所示)。實驗採用 7 階評比量表(rating scales)，如表 13 所示，由 40 位受測者(工業設計系大學部學生，包括男女 22 位，女性 18 位)針對測試樣本(包括 NO.6 美感多品質最佳化樣本)，進行 6 項美感準則評價，評價結果(平均數與標準差)如表 14、15 所示。

NO.	1	2	3	4	5	6
模擬圖						
品牌編號	Nokia 6230	MOTO ROKR E2	MOTO C257	Sony Ericsson K600i	Sony Ericsson J230i	美感灰關聯度最佳化組合
參數組合	A2 B4 C4 D4 E2 F2 G4 H3 I1 J2	A1 B1 C1 D2 E1 F1 G4 H3 I2 J4	A2 B1 C1 D4 E1 F3 G4 H3 I1 J2	A2 B1 C1 D1 E4 F1 G1 H2 I1 J2	A1 B1 C1 D4 E1 F1 G2 H2 I3 J3	A2 B4 C2 D4 E3 F3 G1 H3 I1 J3

圖 6 驗證實驗之測試樣本(現有廠牌機型之產品模擬圖)

表 13 驗證實驗之 7 階評比量表(以獨創性評價為例)

美感準則	非常低 1	低 2	有點低 3	普通 4	有點高 5	高 6	非常高 7
獨創性	<input type="checkbox"/>						

由表 14 可知，多品質最佳化設計樣本(NO.6)在簡潔性、完整性的評價排序第一，統一性、愉悅性、形的滿意度排序為第二，獨創性則為第三名。再應用排序得點評分之計算方法，比較所有測試樣本在各品質之績效表現，結果如表 16 所示。多品質最佳化設計的排序總分最高(31 分)，並在六項準則之得點皆高於 3 分以上，在整體品質表現上是優於驗證之現有行動電話機型。進一步比較各樣本在美感準則評價之標準差；「標準差」能反映樣本資料變異之情形，標準差的數值是愈小愈好，以達到受測者之間品質評價最小變異的目標。由表 15 可知，美感多品質最佳化設計樣本在統一性、簡潔性、愉悅性與形的滿意度之標準差數值為最低，獨創性(0.75)、完整性(0.85)則為次低，說明了在整體美感準則評價上，受

表 14 驗證實驗之評價平均值

NO.	獨創性	統一性	完整性	簡潔性	愉悅性	形的滿意度
1	4.15	3.75	3.75	3.30	3.40	3.45
2	3.80	4.00	4.50	3.90	3.55	3.60
3	4.30	4.15	4.70	4.05	4.40	4.45
4	1.95	4.85	4.30	2.45	5.50	2.90
5	3.65	4.45	4.25	4.15	4.30	3.65
6	3.80	4.70	4.85	4.95	5.00	4.40

表 15 驗證實驗之評價標準差 (SD)

NO.	獨創性	統一性	完整性	簡潔性	愉悅性	形的滿意度
1	1.49	0.99	1.22	1.38	1.24	1.80
2	1.19	1.14	0.81	1.61	1.47	1.46
3	1.08	0.91	0.95	1.16	1.28	1.32
4	0.50	1.15	1.05	0.97	1.02	1.18
5	1.59	1.02	1.09	0.96	1.49	1.15
6	0.75	0.90	0.85	0.92	0.89	1.11

測者對於 NO.6 樣本的評價變異程度較其他樣本為小，符合品質穩健設計之目標；藉由驗證實驗的結果，證明灰色田口方法能有效解決多品質特性問題最佳化之可行性與有效性。

表 16 測試樣本之品質績效排序得點評分

NO.	獨創性	統一性	完整性	簡潔性	愉悅性	形的滿意度	排序總分
1	5	1	1	2	1	2	12
2	4	2	4	3	2	3	18
3	6	3	5	4	4	6	28
4	1	6	3	1	6	1	18
5	2	4	2	5	3	4	20
6	4	5	6	6	5	5	31

五、結論與建議

過去消費者美感品質評價與造形因素的相關性研究，主要是以單一品質概念加以探討。研究方法多以多變量統計為主，並未考量品質變異的問題。隨著產品設計的日益複雜，消費者對於產品造形品質的要求，已非單一品質最佳化就能解決，且必須考量到多個品質特性的最佳化。本研究嘗試整合灰色理論與田口方法，藉由多品質的觀點，提出美感品質量測之概念與方法，達到品質改善的目標。研究之相關結果如下：

- (1) 由專家焦點小組建構出產品美感評估準則包括：獨創性、統一性、完整性、愉悅性、形的滿意度與簡潔性，並應用模糊層級分析法(FAHP)，求得各美感準則的權重值，解決群體決策之差異性與模糊性。
- (2) 整合田口方法與灰關聯分析於美感多品質之最佳參數設計，並辨識出影響多品質特性的顯著因子，包括：機身造形輪廓、機身側邊曲線、數字鍵視覺造型。再藉由單一美感準則品質分析與美感多品質(灰色田口方法)分析結果的比較，確認美感多品質之最佳化設計在整體品質績效上是優於單一美感準則。證明了灰關聯分析處理多品質特性之權衡重要性差異的能力，使最佳化參數設計能反應所欲強調之品質項目，有效解決多品質特性衝突之最佳化問題。
- (3) 藉由與不同廠牌之現行行動電話機型進行比較，驗證實驗結果指出，在整體美感評價上多品質之最佳化設計樣本是優於其他比對樣本，同時，在準則評價標準差的比較上，其亦較其他比對樣本為低，說明了受測者對於多品質最佳化設計的評價變異程度較小。證明了應用灰關聯分析法，整合多品質績效成單一指標以決定最佳因子水準組合，能有效達到整體品質最大化與最小變異的穩健設計目標。同時，也進一步證明了田口方法，除了造物裡面品質改善的可行性外，對於美感(心理面)品質的度量與管制仍是有效的方法。

而未來的研究方向，可將灰色田口方法推廣於其他類型產品或相關心理面品質(例如，感性、造形吸引力、產品情緒等)之最佳化設計，例如，複合感性之參數最佳化設計等。多品質(屬性)決策問題，進一步檢驗此模式應用之可行性與有效性。

參考文獻

1. 李穎杰，2004，以影像合成為基礎之窗簾選擇與空間配置模式，成功大學工業設計研究所博士論文。
2. 呂清秋，2000，造形原理，雄獅圖書。
3. 吳漢雄、鄧聚龍、溫坤禮，1996，灰色分析入門，高立圖書公司。
4. 林聖岳，2003，產品造形與企業形象的相互關係研究—以行動電話為例，成功大學工業設計研究所碩士論文。
5. 邵承珍、陳俊中、董鼎鈞、陳國祥、管偉升、鄧怡萍、張育銘，2000，行動電話產品造形與消費者感性關聯之建立，工業設計，Vol.28, No.2, pp.154-159。
6. 夏郭賢、吳漢雄，1996，灰關聯分析之線性數據前處理探討，1996 年第一屆灰色系統理論與應用研討會論文集，pp.23-30。
7. 徐村和，1998，模糊德非層級分析法，模糊系統學刊，第四卷，第一期，pp.59-72。
8. 莊明振、陳俊智，2005，產品形態特徵與構成關係影響消費者感性評價之研究—以水壩的設計為例，設計學報，第九卷，第三期，pp.43-58。
9. 陳和賢、王志源，2001，灰色陣列法應用於蛋黃酥油酥皮片產品最佳化之研究，技術學刊，第十六卷，第四期，pp.549-556。
10. 張華城，2005，產品造形吸引力的評價準則與設計最佳化研究，成功大學工業設計研究所博士論文。
11. 楊錦洲，1993，二維品質模式中服務品質上之應用，品質管制月刊，第29卷，第5期，pp.33-41。
12. 謝政峰，2002，產品造形屬性特徵對使用者感官意象的影響—以行動電話為例，成功大學工業設計研究所碩士論文。
13. 蘇朝墩，1999，產品穩健設計，中華民國品質學會。
14. Birkhoff G. D., 1950, "Polygonal Forms (1931)", in: Coll. Math. Papers III, NY.
15. Coates, D., 2003, Watches tell more than time: Product design, information and the quest for elegance, McGraw-Hill, London, UK.
16. Crilly, N., Moultrie, J., and Clarkson, P. J., 2004, "Seeing things: consumer response to the visual domain in product design", Design Studies, Vol.20, pp.1-31.
17. Deng, J. L., 1982, "Control problems of grey system", System and Control Letters, Vol.5, pp.288-294.
18. Deng, J. L., 1989, "Introduction to grey system theory", The Journal of Grey System, Vol.1, No.1, pp.1-24.
19. Deng, J. L., 1990, A course on grey system theory, Huazhong University of Science and Technology Press, Wuhan.
20. Deng, J. L., 1992, The essential methods of grey system, Huazhong University of Science and Technology Press, Wuhan.
21. Gotzsch, J., 2000, "Beautiful and meaningful products" in DESIGN plus RESEARCH Conference Politecnico of Milano, Italy. pp.146-154.
22. Greenbaum, T. L., 1993, The Handbook for Focus Group Research, Lexington Books, NY.
23. Hsu, T. H., 1997, "Transportation Project Evaluations: A Fuzzy Measure AHP", Proceedings of NSC, Part C, Vol.7, No.1, pp.26-34.
24. Ke, K. T., and Hung, T. H., 1997, The study and application of the grey relational grade, Master Thesis, Department of Electrical Engineering, Tatung Institute of Technology.
25. Lin, J.L., and Lin, C.L., 2002, "The use of the orthogonal array with grey relational analysis to optimize

- the electrical discharge machining process with multiple performance characteristics”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 42, pp.237 – 244.
26. Mon, D. L., Tzeng, G. H., and Lu, H. C., 1995, “Grey decision making in weapon system evaluation”, *Journal of Chung Chen Institute of Technology*, Vol.24, No.1, pp.73-84.
27. Mastandres, S., Zani A., Giuliani, M. V. and BoreG, 1992, “Meaning of industrial design objects: from designer to users”, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol.19, pp.307-319.
28. Meyer, Leonard B., 1976, *Toward a Theory of Style, The Concept of Style*, Philadelphia, PA: University Pennsylvania Press, pp.3.
29. Monō, R., 1997, *Design for product understanding Liber*, Stockholm, Sweden.
30. Nagamachi, M., 1995, “Kansei Engineering: A new ergonomic consumer-oriented technology for product development”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.15, Issue:1, pp.3-11.
31. Nielsen, J., 1993, *Usability Engineering*, United Kingdom edition publish by Academic Press LTD, p.224
32. Peace, P. G., 1993, *Taguchi Methods*, Addison-Wesley, New York.
33. Rutter, B. G., and Agne, J. A. W., 1998, “A Darwinian theory of good design”, *Design Management Journal*, Vol.Fall, pp.36-41.
34. Schmit, B. H., Simonson, A. and Marcus, O., 1995, “Managing Corporate Image and Identity”, *Long Rang Planning*, Vol.28, No.5, pp.82-92.
35. Saaty, T. L., 1980, *The Analysis Hierarchy Process*, McGraw Hill, New York.
36. Tarng, Y.S., Juang, S.C., and Chang, C.H., 2002, The use of grey-based “Taguchi methods to determine submerged arc welding process parameters in hardfacing”, *Journal of Materials Processing Technology* 128, pp.1-6.
37. Tjalve, E., 1979, *A Short Course in Industrial Design*, Butterworth & Co. Ltd, pp.143-168.
38. Tzeng, G. H., and Tsaor, S. H., 1994, “The multiple criteria evaluation of grey relation model”, *The Journal of Grey System*, Vol.6, No.2, pp.87-108.
39. Yalch, R., and Brunel, F., 1996, “Need hierarchies in consumer judgments of product designs: is it time to reconsider Maslow’s theory?”, *Advances in Consumer Research*, Vol.23, pp.405-410.
40. Zadeh, L. A., 1973, “Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes,” *IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics*, SMC-3, pp.28-44.
41. Zadeh, L. A., 1965, “Fuzzy sets”, *Information and Control*, Vol.8, pp.338-353.

誌謝

本研究係行政院國家科學委員會專題研究計劃—整合模糊理論與Fuzzy方法於產品美感評價模式之研究 (NSC 92-2213-E-009-071-92WFA0600531) 之部分成果，承蒙國科會經費補助，謹此致謝。

Optimizing Aesthetic Quality of Product Design by the Grey-based Taguchi Method: A Mobile Phone Case Study

Chun-Chih Chen*¹ Ming-Chuen Chuang**

* Department of Applied Design, National Kaohsiung Normal University
e-mail: ccchen@nknucc.nknu.edu.tw

** Institute of Applied Arts, National Chiao Tung University
e-mail: cming@cc.nctu.edu.tw

(Date Received : October 24, 2005; Date Accepted : March 18, 2006)

Abstract

Aesthetic feeling elicited by the form of a product has been a critical determinant of its purchase by consumers. Previous studies on product aesthetics focused on how to improve aesthetics quality using a single criterion for evaluation. However, the multidimensional nature of aesthetic experience has made the optimization of aesthetic quality a multiple criteria decision-making problem. Hence, previous studies have neglected the difference in consumers' assessment of aesthetic quality. In this paper, a robust design approach combining grey relational analysis and Taguchi method is employed to maximize aesthetic quality taking into consideration multiple criteria for improving aesthetic quality as well as individual variation in aesthetic assessment. In this approach, grey relational analysis developed from the grey system theory is adopted to derive the overall performance index for multiple criteria and to solve the conflict of multi-response quality characteristic problems. A grey relational grade obtained from the grey relational analysis is used as the performance index in Taguchi method. Then, the parameter design proposed by Taguchi method is employed to determine the optimized design. The case study of a mobile phone is presented to illustrate and verify the feasibility of this approach. First, focus group and fuzzy AHP were held by experts to determine the multiple criteria and their weights. The grey-based Taguchi method is then employed to find the optimal design parameter setting by analyzing the relationship between the form elements and the aesthetic quality performance. Experimental results confirm that the optimized design of multiple aesthetic criteria characteristics has a superior performance on maximizing the quality and minimizing the variation of overall performance. The aesthetic quality of product form can be improved effectively using this approach.

Keywords: Product design, Aesthetics, Taguchi method, Multi-response problem, Grey relational analysis, Fuzzy AHP

¹ Institute of Applied Arts, National Chiao Tung University

