

新產品開發決策之同步 SMART² 評價模式

張文智* 衛萬里**

* 國立台灣科技大學設計研究所
e-mail:wchang@mail.ntust.edu.tw

** 國立台灣科技大學設計研究所
e-mail:wanliwei@ms34.hinet.net

(收件日期:94年09月06日;接受日期:95年05月01日)

摘要

企劃與設計 (P&D) 是影響新產品開發成功與否的重要階段。而公司決策者則因新產品開發所涉及之不確定因素眾多, 諸如營運策略、資金運用、市場行銷、技術研發、生產製造、顧客需求及外觀造型等, 於評價設計替選方案時依個人主觀的判斷而遽下最終決策。

本研究提出一應用雙向分析網路程序法 (bi-directional ANP) 就企劃與設計兩面向同步進行之 SMART² 評價模式, 以求得分別評比概念發展所提出之設計替選方案各局部權值; 再經由決策團隊確立此新產品導向比重後, 計算其整體綜合權值, 並進行陡坡敏感度分析 (GSA), 作為評價與決策之參考依據。接著, 考量企業有限資源和種種條件限制下, 此模式并可整合建構之 0-1 目標規劃 (ZOGP) 數學模型, 讓決策者選擇最有利於實際執行此新產品開發案的最佳組合。本文並以開發中的新產品「孕育體驗吋子機」實證說明此評價模式在決策應用上之可行性。研究結果顯示四款設計替選方案在企劃面向評估所得之局部權值為 C (0.365) > B (0.273) > A (0.257) > D (0.105); 在產品設計面向評估則為 A (0.299) > C (0.237) > B (0.283) > D (0.181)。而進一步的敏感度分析更清楚描述不同產品導向比重下的三個決策區段, 其中最大決策區 C > A > B > D 約佔 66.5% (20.5-87%)。因此最後將企劃與設計面向之產品導向比重設定為 50-50%, 作為 0-1 目標規劃法模擬點以獲得最佳解 (optimal solution)。其最終之決策結果為執行設計方案 A 和方案 C, 除了適切地將企業所能提供的資源充分運用外, 並根據量化分析之數據具體且客觀地選出最佳的商品設計方案。

關鍵詞: 新產品開發、SMART² 評價模式、分析網路程序法、陡坡敏感度分析、0-1 目標規劃法

一、緒論

新產品開發 (new product development, NPD) 前期作業中, 企劃和設計 (planning and design, P&D) 在整個專案過程裡扮演著同等重要的地位, 也是企業獲利與生存的關鍵 [15]。Pullman 等人 [18] 曾強調產品企劃人員 (包括市場行銷、製程技術、品質管控等領域) 在 NPD 的重要性, 認為以其具有的專業能力所進行之現有產品分析, 或藉由市場調查及問卷訪談所得知的消費者偏好, 不論採質性研究或量化分析

的數據結果，都可視為擬定新產品開發方針之參考；相對的，設計專業的貢獻卻隻字未提。以往設計師是透過產品計劃的成果與所作結論進行「自我管理 (self-managing)」式的設計執行[26]，而組成今日企業內部所謂的「產品研發團隊 (product development team, PDT)」。雖然企業對新產品開發的積極投入隨著全球化競爭的白熱化日益加速腳步，但 Booz 等人[8]卻在一項調查中明白指出，新產品開發以此種合作機制或類似模式的運作下，其成果是無法令人滿意的：自 1963 到 1981 年間，700 家企業的新產品開發成功率僅佔 33-35%，而研發所需投入的龐大費用，在 7 件產品設計案中僅有 1 件能真正問市。因此本研究希望能針對需適切整合計劃與設計專業的新產品開發活動，建構一以雙向 (bi-directional) 分析網路程序法 (analytic network process, ANP) 為設計方案決策分析的同步 SMART²評價模式。除了可達成同時考量兩個不同面向所涵蓋之不同評估準則外，實際上也解決真實世界中此些評估準則彼此間所存在的相依性 (interdependence) 及回饋 (feedback) 關係[28]。畢竟於經濟面的考量下，產品設計方案的選擇是屬於多準則決策 (multi-criteria decision making, MCDM) 問題，需顧及的影響因素眾多。這也是大部分公司決策者面臨最終方案選擇時無所適從或無法達成共識的主因；甚而造成企業體風險成本的提高，嚴重損及公司的整體利益。再者，研發新產品亦需明確制定營運策略的產品導向；不論是計劃導向，抑或設計導向。如此才能獲得各方案整體的優先順序權值，並進而尋求一個有效的新產品開發決策機制協助經營團隊作出正確的判斷；也就是若能進一步針對公司在有限資源與條件限制等財務面考量下，應用目標規劃抉擇開發執行的最佳方案組合，此評價模式將發揮其更大的效益。

第一章緒論說明本研究動機和預期成果；第二章則針對產品設計評估準則與決策之相關文獻和理論作一探討；第三章根據上述研究心得建構一創新的同步 SMART²雙向分析網路程序評價模式，並提出整合敏感度分析、目標規劃之新產品開發決策機制及流程；第四章以實例驗證此評價模式操作上的可行，且詳細地將雙向 ANP 演算求解過程作完整說明；第五章進行此案例分析結果之陡坡敏感度分析及其後續目標規劃的整合應用。最後，第六章則總結說明本研究之成果與心得。

二、文獻回顧與理論探討

2-1 產品設計評價與決策

Mike Baxter [7]於 Product Design 一書中清楚介紹新產品創新與開發的原則和產品造形風格的原理，並詳細闡述產品計劃過程及其重要性。在產品計劃方面特別強調策略、需求、品質與價值，當然生產技術也是執行上不可或缺的影響因素；產品造形上則著重視覺感官的意象傳達與社會、文化和經營理念的結合。而 Ljungberg 和 Edwards [17]也指出產品之所以成功在於有精緻的設計、適切的材料和洞悉市場需求。Breemen 等[9]研究產品造形特徵，認為細部形狀、組成方式與色彩、材料、質感等物理屬性對產品美感的貢獻最大；而產品的整體造形反而是次要的。同樣地，Chen [10]亦將產品造形特徵萃取歸納為造形元素、材料、接合關係、色彩、細部處理與質感等六項屬性。而蔡子璋[5]則以五項造形屬性：形態線條、尺寸、色調、材質與構件組成作為評估產品造形意象呈現的依據。David Wallace [27]且根據完形法則 (gestalt rules) 與產品美學 (product aesthetics) 提出符合美學與製程的 CAID 系統，並將產品造形依 (1) 構件配置；(2) 邊角形態及 (3) 表面色彩、圖案及 (4) 加工處理作為系統應用上的規劃。至於有關產品設計方案評估與決策乃屬多準則決策 (MCDM) 問題，必須釐清各評估準則對其之影響和重要性，才能作為決策判斷的依據。有關之探討文獻則有 Hsiao [13]應用決策理論中的分析層級程序法 (AHP) 為新產品開發建立一同步設計模式；曾懷恩等[4]也利用 AHP 作為評估設計方案的決策方法。然而 AHP 法應用於多準則決策的產品設計方案評估上時，並無法真正解決準則間或方案間存在著相互依

特性的問題；而其之所以被廣泛作為決策工具的原因，實乃 AHP 在操作上是簡單且較容易理解。因此，衛萬里等 [6] 整合模糊德爾菲與分析網路程序法 (ANP) 為選擇最佳產品設計方案進行研究，藉由專家問卷篩選出七項產品設計方案評估準則，包括市場需求、產品定位、產品設計、生產製造、技術支援、財務分析和廣告行銷，並以 ANP 演算求得各方案實際優先權值。另外國外學者 Lee 和 Kim [16] 則結合 ANP 與 ZOGP 應用於資訊系統方案的評估與選擇；Karsak 等 [14] 也以同樣方法應用在產品企劃階段的品質機能展開 (quality function development, QFD) 研究上。Saaty [24] 並提出 AHP 整合線性規劃 (linear programming) 的研究，幫助企業組織有效分配無形資源 (intangible resources)。

此外，為了解決最優化 (optimization) 的問題，過去許多學者多使用數學模式來處理：如目標規劃法、動態規劃法、或線性 0-1 整數規劃法等 [20, 21, 25]。然而這些被採用的解決方法，同樣存在上述 AHP 法在應用上的限制，其皆假設準則間或替選方案間的關係是彼此相互獨立 (independent) (雖然此假設並不盡符合真實情況)，並未真正考慮實際存在的相互依存特性。過去相關文獻的研究，對此相互依存關係並未多加以深入探討；對需考慮多準則且具相依性的產品設計方案選擇問題更尚未發現具整合性的研究。因此本文乃針對解決最優化此項議題作進一步的探討。

2-2 分析網路程序法 (analytic network process, ANP)

T.L. Saaty 於 1996 年提出以網路形態、非線性結構式呈現的分析網路程序法 (analytic network process, ANP)，主要是將原有自創之線性結構式的分析層級程序法 (analytic hierarchy process, AHP) 加上「回饋 (feedback) 機制」而衍生。雖然 AHP 是 ANP 的一特例，但 ANP 及 AHP 同樣地都能以有系統的方法建立決策模式 [22]。在研究多準則決策問題的方法中，傳統的 AHP 是有效處理需考慮許多評估準則問題的解決方法之一，其將錯綜複雜的多準則決策問題建構成一具階層架構 (hierarchy) 的系統形態，每一層 (level) 皆由不同之元素 (elements) 組成一個節點 (node) 般的群組 (cluster/component)，藉由系統化的矩陣運算處理許多質化因素，並將客觀所得的數量化結果提供予決策者作為參考依據。然而，近年來許多社會科學的研究方法發現，涉及決策的問題並不能單純地僅以階層化方式來達合乎內部具高度複雜之關聯性；其上、下層級間具某種程度的相互影響，且位於低層之元素亦與高層之元素存在相互依存的特性。因此，分析網路程序法 (ANP) 乃被提出以解決此類問題 [16]。本研究針對產品設計方案評估準則之間其實也存在著同樣的相互回饋 (feedback) 和損益取捨 (trade-off) 關係，採用此一具客觀且創新的方法於產品設計方案評估與選擇上，運用超矩陣 (supermatrix) 的演算法確認組織目標、評估準則和各替選方案的優先權值。圖 1 表示一 ANP 網狀圖，各群組 (以 Ch 表示， $h=1, \dots, n$) 與其所包含之元素 (群組 h 有 m_h 個元素，以 $eh_1, eh_2, \dots, eh_{m_h}$) 依序列於矩陣左側與上方，形成一個超矩陣以說明元素間之關係和強度。若超矩陣中若有空白或 0，則表示群組或元素間彼此相互獨立而無任何交互作用，其最大的好處是可以用來評估外部 (outer) 及內部 (inner) 二種不同的相依性。外部相依為群組與群組間相互影響之關係；內部相依則發生於同一群組內之各元素間。超矩陣是由數個子矩陣所組成，子矩陣則由元素與元素間彼此相互比對後的特徵向量 (eigenvectors) 所形成。 $W_{n1}, W_{n2}, \dots, W_{nm}$ 即為所得之特徵向量值。至於超矩陣中各行之值乃為隨機性的 (stochastic)，且其各行之值的總和為 1。同時此矩陣亦說明：若矩陣元素彼此相依，則矩陣多次相乘後將會得到一個收斂的極限值 $\lim_{k \rightarrow \infty} A^{2k+1}$ ；且此極值將固定不變，也就是最終求得之權值 [6, 22]。

2-3 0-1 整數目標規劃法 (Zero-One Goal Programming, ZOGP)

目標規劃 (Goal Programming, GP) 是多目標決策模型中應用最廣泛的一種方法，也是多目標決策領

$$\begin{matrix}
 & & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\
 & & e_{11}e_{12} \dots e_{1m_1} & e_{21}e_{22} \dots e_{2m_2} & \dots & e_{n1}e_{n2} \dots e_{nm_n} \\
 C_1 & \begin{matrix} e_{11} \\ e_{12} \\ \vdots \\ e_{1m_1} \end{matrix} & \begin{bmatrix} W_{11} & & & \\ & W_{12} & & \\ & & \dots & \\ & & & W_{1n} \end{bmatrix} & & & \\
 C_2 & \begin{matrix} e_{21} \\ e_{22} \\ \vdots \\ e_{2m_2} \end{matrix} & \begin{bmatrix} W_{21} & & & \\ & W_{22} & & \\ & & \dots & \\ & & & W_{2n} \end{bmatrix} & & & \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\
 C_n & \begin{matrix} e_{n1} \\ e_{n2} \\ \vdots \\ e_{nm_n} \end{matrix} & \begin{bmatrix} W_{n1} & & & \\ & W_{n2} & & \\ & & \dots & \\ & & & W_{nn} \end{bmatrix} & & & \\
 \mathbf{W} = & & & & & &
 \end{matrix}$$

圖 1 T.L. Saaty 超矩陣 (Supermatrix) [22]

域中歷史最久的方法之一 [3]。1952 年首先由 Cooper 和 Charnes 提出，能計畫性地處理複雜或不一致的目標之問題求解[11]。其應用範圍包括一般性的資金編列、企業計畫、市場研究、廣告預算、教育資源及勞基金分配等。此法採取理性的計畫方式，以各目標之需求說明所欲達成之最佳方案結果，並藉此方式建立數學操作模式，進而從演算中求得最佳解答[19]。雖然目標規劃法被應用的相當普遍，然其應用上之主要缺點在於採用此法之規劃者或決策者必須事先詳細說明所選擇之各目標及其優先順序的理由為何，以避免決策者的主觀判斷產生重要之差異而影響規劃的結果。因此，一個有系統的決策程序必須要透過群體討論 (group discussion) 的方式來決定下列諸多在應用目標規劃法時所須考慮的重要因素：(1) 計畫或方案之目的；(2) 達到每個目的所要求的標準；(3) 各標準間相互依存關係的程度；(4) 超出或低於所欲達到目標預期成果時的懲罰權值 (penalty weights)。此外，目標規劃法本身也缺乏一具系統性的方法來設定各目標之優先順序，且無法明確訂出各目標及準則間的損益取捨 (trade-off) 情形。而此缺點尤其顯著發生於當同時有明確及非明確兩類因子並需加以考量，以及當其中包含有相互依存的因子和一群人員須共同參與決策過程時。為了克服這些問題，由 Saaty [22] 所發展出的分析網路程序法 (ANP)，將可被應用並解決上述目標規劃法在執行上的缺點。

本研究之所以採用 0-1 整數目標規劃法之目的，主要在於檢討若干決策目標是否符合企業經營之最終目的，並研判其中部分目標或全部目標間如何取捨的問題。此外，目標規劃法可同時針對多項目標進行規劃要求，針對每一個目標選擇一個特定重要性之權值以尋求解答，並使所得之目標函數偏差和 (平均) 為最小。以下的數學規劃模式將用來說明目標規劃應用於本研究產品設計方案選擇之評價模式：

$$\text{Minimize} \quad Z = P_k (w_j d_i^+, w_j d_i^-) \tag{1}$$

$$\text{Subject to} \quad a_{ij} x_j + d_i^- - d_i^+ \leq b_i \quad \text{for } i=1, 2, \dots, m, \quad j=1, 2, \dots, n \tag{2}$$

$$x_j + d_i^- = 1 \quad \text{for } i=m+1, m+2, \dots, m+n, \quad j=1, 2, \dots, n \tag{3}$$

$$x_j = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for } \forall j \tag{4}$$

其中，

- P_k : 表示差異變數之優先權重；
 w_j : 表示決策者對於各目標每單位差異之數學權值；
 d_i^+, d_i^- : 分別表示為超過及未達目標值之差異變數；
 a_{ij} : 表示決策變數間之關係係數，其亦表示每個產品設計方案的貢獻程度；
 x_j : 表示 0-1 整數決策變數，其亦表示產品設計方案選擇形成的可能性與否；
 b_i : 表示目標限制條件之右端值，其為一可用之資源值。

三、建立 SMART² 模式與研究架構

3-1 同步 SMART² 評價模式

由上一章節的貢獻探討得知：新產品開發的成功取決於早期縝密的計劃作業與品質精良的產品設計。因此本研究得以採用多準則決策理論之分析網路程序法 (analytic network process, ANP)，考量兩個不同屬性的「SMART」面向 (dimension) 建構創新的同步 SMART² (SMART×SMART) 雙向 ANP 評價模式 (圖 2 所示採本研究之四款設計替選方案為例)。一為產品計劃面向，包括策略 (Strategy)、行銷 (Marketing)、美學 (Aesthetics)、需求 (Requirement) 及技術 (Technology) 五個評估準則；另一則為產品設計面向，包含外形 (Shape)、材料 (Material)、組裝 (Assembly)、色彩 (color) 及質感 (Texture) 五個評估準則。由於計劃專業與設計專業兩面向對新產品開發所考量的因素和立場不同，其衍生的十項評估準則 (criteria) 【層級 2】自然也有所差異；當然，各自對替選方案 (alternatives) 【層級 3】整體評估的目標 (goal) 【層級 1】也不會是相同的。是故，以此雙向 ANP 評價模式將可同步獲得兩面向對方案個別評估的優先權值，作為決策者進行概念發展整體評估的依據；同時將所獲結果應用於多目標決策上。以下分別就「產品計劃」和「產品設計」兩面向之單向 ANP 評估準則作進一步闡釋，以為專家問卷評估產品設計替選方案的依據：

【產品計劃 SMART 評估準則】

- (1) 策略：依市場供需面、景氣循環和產品生命週期尋求機會點和產品定位，進而制定明確的設計規範；且透過產品創新策略的擬定達成企業成功之目標。
- (2) 行銷：針對消費者心理需求確立產品定位、市場區隔和價格策略，並透過行銷手法進行訴求階層的市場競爭，從而獲取公司最大之營運效益。
- (3) 美學：計劃專業人員對市場具高度敏銳性，且與具備對產品外觀整體呈現感性、直接的審美觀，可平衡設計師對造型上的執著與堅持。
- (4) 需求：考量產品功能、擴充性、人機介面、愉悅感和使用環境等人因上的需求，並強化「使用者為中心」的概念，以提昇新產品之附加價值。
- (5) 技術：收集相關先進科技資訊的資源與應用，評估公司是否具自行研發的能力，或者引進國外技術支援，同時考量生產製造的可行。

【產品設計 SMART 評估準則】

- (1) 外形：從造型要素強調的「形態」、「構成」所呈現的產品外觀視覺意象，進行有機、幾何造型發展；並藉由形式原理產生平衡、對稱、比例、對比和調和造型[1,2]。
- (2) 材料：科技促成新材料的出現，而每一種材料有其最為適合的加工方法。思於材料、思於自然是美學的教條；同樣地，表現材料特性更是影響產品造型的要素之一。
- (3) 結構：造型與力學具有密切關係，材料的特性也影響強度，材料本身的結構更直接影響產品造型的發展。

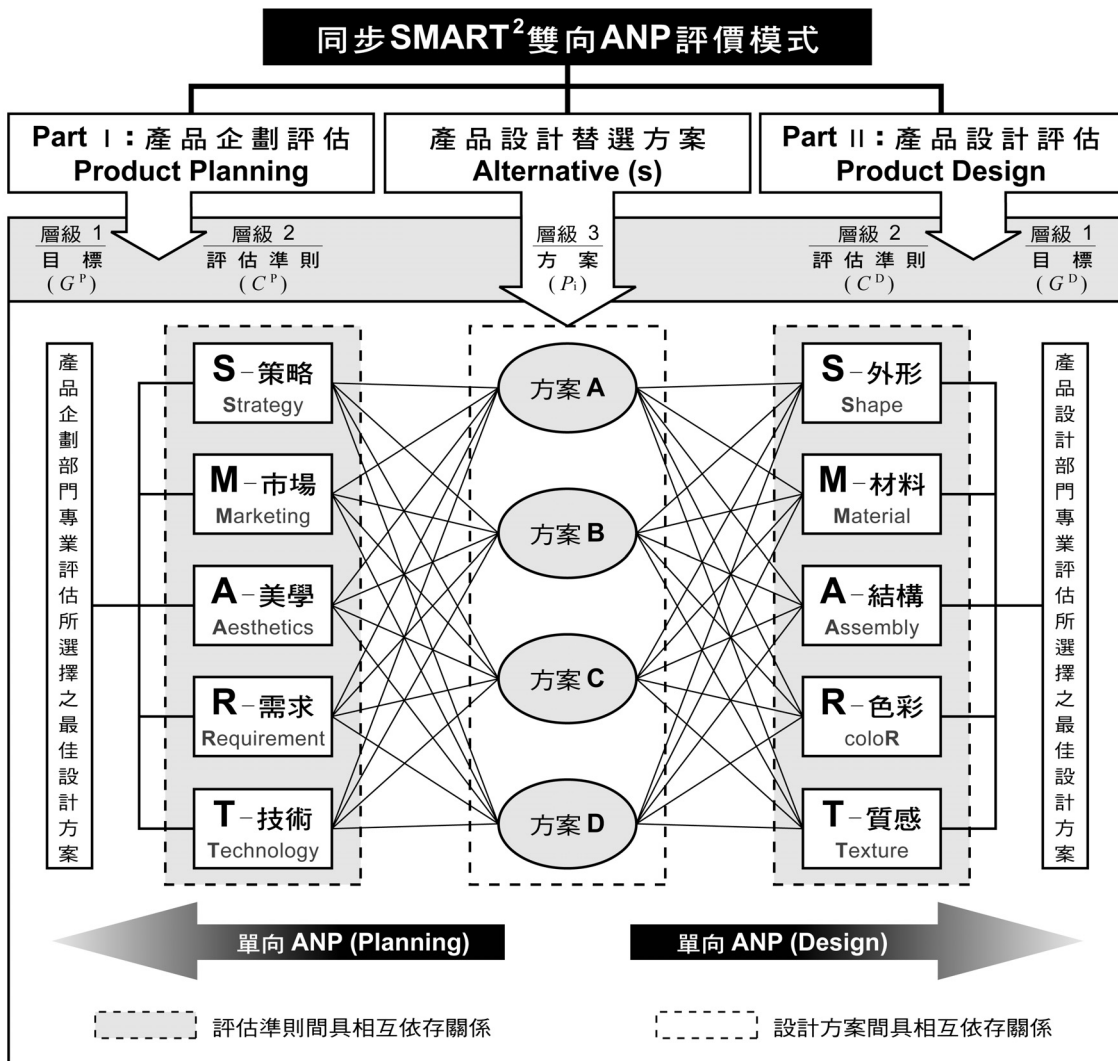


圖 2 同步 SMART²雙向分析網路程序法評價模式 (依本研究案例整理)

因此，完美的造形必須同時合乎力學與美學的要求[1]。

- (4) 色彩：色彩與形態密不可分，是非常重要的造形要素；沒有了色彩，造形是無法完整表達。其對人類心理和生理上具有較強的好惡影響力，在美學上也首屈一指的價值。
- (5) 質感：質感表現取決於用途；而質感的決定無異於材料的選擇。因此，同一材料因加工處理的不同將產生相異的質感表現，連帶著也創造嶄新的造形。

3-2 確立準則內部相依性

操作分析網路程序法 (ANP) 最重要的是需考量各評估準則間或替選方案間所存在的內部相依性及回饋關係；也就是當我們進行方案選擇時，是無法僅就單一準則作評估，必須同時顧及其他準則對各個方案的影響。因此權衡比較相關評估準則彼此間的相互影響程度，將是本研究建立此評價模式核心觀念與重要環節。至於此模式內部相依性決定的方式，則是經由文獻的探討並進行專家群體討論後作最終地確認。例如：策略與行銷兩者息息相關、策略與技術影響美學、需求不受行銷直接影響…… (圖 3(1))；外形與結構需同時考量、質感和色彩與結構毫不相關；但色彩卻受材料單方面的影響…… (圖 3(3))。

至於設計替選方案則與上一層級的各準則間皆有著回饋關係，也就是選擇方案 A 時必定牽動其他方案的選擇考量（圖 3(2)）。圖中「策略→美學」之單向箭頭即表示策略直接影響美學；「外形↔結構」雙向箭頭則為外形與結構相互影響。

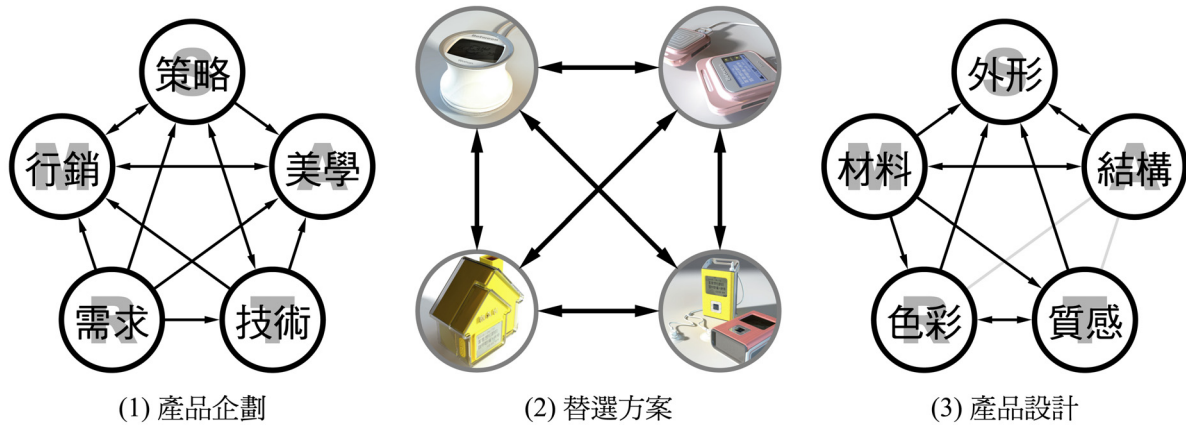


圖 3 企劃與設計之評估準則內部相依性與替選方案（本研究實例）和準則間的回饋關係

3-3 研究架構與流程

圖 4 的研究架構為同步 SMART² 評價模式整合目標規劃之決策機制，於表 1 中也依各步驟流程逐一說明其操作程序。依循此建構之評價模式與多目標決策求解過程，將提供公司決策者一完整、客觀且具量化分析之參考資訊，獲得所欲尋求之最佳產品設計方案解答。因此，本研究之運作模式與流程是可作為企業執行新產品開發時的決策依據。

表 1 新產品開發決策研究流程與步驟說明

| | |
|--------|--|
| 步驟 I | 產品研發團隊擬定設計目標與方針執行新產品開發，由設計部門提出產品設計替選方案。 |
| 步驟 II | 採團體討論方式，由企劃與設計兩功能部門應用同步 SMART ² 雙向 ANP 評價模式，各自對替選方案進行 Saaty 9 階尺度的給分或配對比較評比，然後分別計算各方案之局部優先權值。 |
| 步驟 III | 將所得之局部優先權值進行陡坡敏感度分析 (GSA)，並經公司決策團隊權衡量化的結果，選擇最適切的決策機會點，以決定新產品開發的產品導向比重（企劃導向或設計導向）。 |
| 步驟 IV | 依產品導向比重計算各替選方案的整體綜合優先權值，並將其列為 0-1 目標規劃 (ZOGP) 數學模型中的目標函數。 |
| 步驟 V | 考量公司設定的有限資源和限制條件，就建構之 ZOGP 數學模型進行演算求解，自可行之產品設計替選方案尋求最佳的解答（亦即新產品開發執行方案）。 |

四、實例驗證與演算求解

4-1 案例說明

M 嬰兒用品公司正進行一項新產品開發案，針對即將迎接新出世的父母親們設計數款應用先進科技的互動產品：以「關懷胎兒成長與母親健康」為主要訴求，希望此新產品「孕育體驗互動機」能確實達

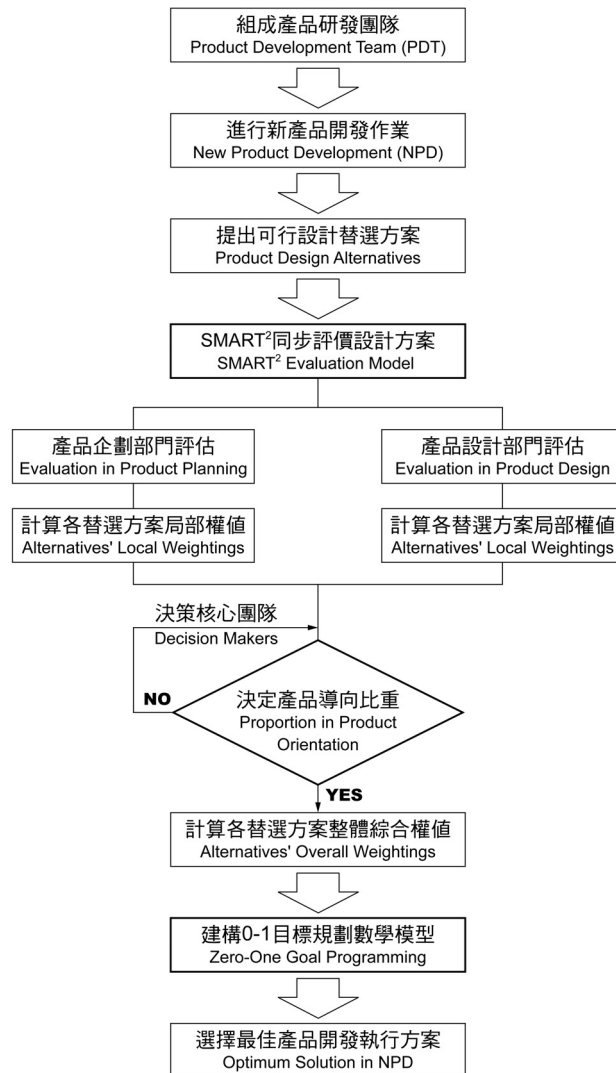


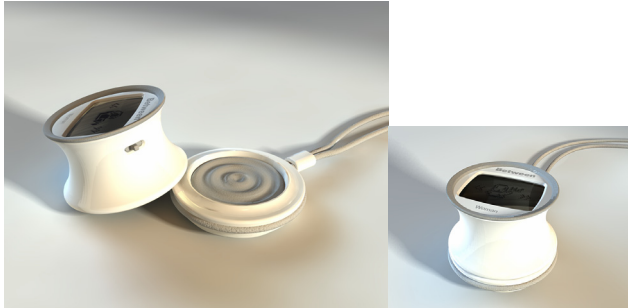

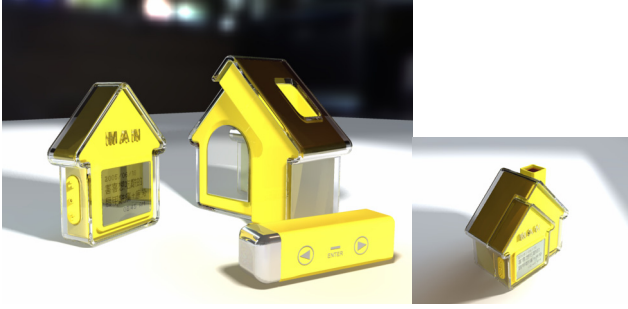

圖 4 整合同步 SMART² 評價模式與目標規劃之決策流程

到體驗、掌控和記錄對體孕有胎兒全部過程的目標；更重要的是，讓身為新生命的父親對母親懷孕時的心境也能感同身受。新產品研發由目標與方針確立後，隨即交付設計部門執行產品設計作業。表 2 為經設計部門內部精選出的四款設計替選方案 3-D 圖面（以 SolidWork 軟體建構模型，3DS Max 進行 Render 算圖）及其設計特點說明：

4-2 局部優先權值演算

為取得各替選方案的整體優先權值作為後續評選最佳產品設計方案的主要依據，本節同步進行兩功能部門單向的分析網路程序法（ANP）問卷調查，分別求取替選方案的局部優先權值。ANP 法之專家問卷由 M 公司決策核心團隊以群體討論（group discussion）和採 Saaty 9 階尺度（nine scales）之給分或配對比較方式，就各評比項目謀求共識值，之後再進行 ANP 法的客觀操作與計算。其分析過程及相關內容說明如下：企劃面向評估準則集 $C^P = (\text{策略, 行銷, 數學, 需求, 技術}) = (S^P, M^P, A^P, R^P, T^P)$ ；設計面向評估準則集 $C^D = (\text{外形, 材料, 結構, 色彩, 質感}) = (S^D, M^D, A^D, R^D, T^D)$ 。四款設計方案則以 P 表示，為方案 A (P1)、方案 B (P2)、方案 C (P3) 及方案 D (P4)，此四個方案亦可表

表 2 四款新產品開發設計替選方案

| 方案 A (無線聽診型) | 方案 B (USB 傳輸型) |
|---|---|
|  |  |
| <p>設計特點：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 以「聽診器」為產品意象特徵，造形設計上傳達真情、關懷、體貼與細心。 ■ OLED 彩色顯示面板清楚呈現母體與嬰兒即時狀況，並詳盡記錄孕育過程。 ■ 智慧型組合收納、可佩掛式、無線傳輸、512M 儲存容量、按鍵設計。 ■ ABS 外殼、防水橡膠、皮革漆表面處理。 | <p>設計特點：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 僅作為孕育過程記錄之用。造形上以女性設計為訴求。 ■ OLED 彩色觸控面板、USB 高速傳輸、256M 儲存容量。 ■ 智慧型設計（孕婦為主機，父親攜帶子機）。 ■ ABS 外殼、防水橡膠及 USB Port 接頭。 |
| 方案 C (桌上組合型) | 方案 D (SIM 記憶卡型) |
|  |  |
| <p>設計特點：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 突顯「家」的產品意象，造形設計概念以傳達有趣、溫馨、愉悅與關心。 ■ LED 顯示面板監控母體與嬰兒即時狀況，並提供孕育過程之一切記錄。 ■ 組合式（母、子機及遙控器）整體造形、無線傳輸、256M 儲存容量。 ■ 壓克力（染色處理）+ABS 外殼。 | <p>設計特點：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 接收母體與嬰兒即時訊息。以隨身手機造形為設計重點。 ■ LED 顯示面板、512M SIM 記憶卡 儲存、貼身接收器。 ■ 智慧型設計、可攜式、SIM 卡 傳輸功能。 ■ 金屬外殼、髮紋+皮革漆表面處理、橡膠材質接收器。 |

示為集合 $P = (P1, P2, P3, P4)$ 。而以下操作過程和步驟乃根據 Saaty 和 Takizawa 於 1986 年所提出的「矩陣操作 (matrix manipulation)」概念，並非 Saaty 之後發展的超矩陣[23]。其中 9 階尺度為基礎的評比過程可以是給分 (scoring) 或配對比較 (pair-wise comparison) 方式，而就圖 2 所示的層級架構逐一說明雙向 ANP 如何決定四款設計替選方案各自的局部優先權值。

【產品計劃面向】

(1) 各準則之相對權重

假設各準則間不具有內部相依性的考量下，僅針對各準則與替選方案欲達成之目標進行重要性評比給分（並非採用配對比較方式），求其影響權重。以 Saaty 9 階尺度給分方式得（策略，行銷，或學，需求，技術）= (7, 9, 7, 5, 3) = (7/31, 9/31, 7/31, 5/31, 3/31) = (0.226, 0.290, 0.226, 0.161, 0.097)。因此，各準則的影響權重可表示為權值向量 $w_1^P = (0.226, 0.290, 0.226, 0.161, 0.097)$ 。

(2) 各準則對各替選方案的相對重要性評比

同樣假設各替選方案間不具有內部相依性，以 Saaty 9 階尺度給分方式進行每個準則對各替選方案的重要性評比（亦非採用配對比較），求得之影響權重以 W_2^P 矩陣表示，而其結果示於表 3。

表 3 各準則對替選方案之重要性評價矩陣

| | 策略(S ^P) | 市場(M ^P) | 美學(A ^P) | 需求(R ^P) | 技術(T ^P) |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 方案 A(P1) | 9 | 7 | 7 | 5 | 5 |
| 方案 B(P2) | 5 | 5 | 3 | 7 | 7 |
| 方案 C(P3) | 7 | 9 | 9 | 7 | 5 |
| 方案 D(P4) | 5 | 3 | 3 | 3 | 5 |
| 方案 A(P1) | 0.346 | 0.292 | 0.318 | 0.227 | 0.227 |
| 方案 B(P2) | 0.192 | 0.208 | 0.136 | 0.318 | 0.318 |
| 方案 C(P3) | 0.269 | 0.375 | 0.409 | 0.318 | 0.227 |
| 方案 D(P4) | 0.192 | 0.125 | 0.136 | 0.136 | 0.227 |
| | w_{2S}^P | w_{2M}^P | w_{2A}^P | w_{2R}^P | w_{2T}^P |

(3) 各準則間內部相互依存關係之評比

接著由評估者(五位企業部門副理級以上主管)以群體討論方式就準則與準則間的內部相互依存關係進行評判。評估各準則間之相互影響程度，獲得在某一特定準則優先考量下各準則實際對目標影響的權重分配(總和為 1)。例如：「策略(S^P)」準則自身佔權值 0.4 比重下，其他準則對目標影響程度之比例分配分別是行銷(M^P) 0.2，美學(A^P) 0.0，需求(R^P) 0.3 及技術(T^P) 0.1；而「技術(T^P)」準則自身佔權值 0.5 比重下，其他準則對目標影響程度之比例分配分別是策略(S^P) 0.1，行銷(M^P) 0.0，美學(A^P) 0.0 及需求(R^P) 0.4；其餘類推。最後，各準則間內部相互依存關係和其相對影響權值分配如圖 5 所示，並以權值矩陣 W_3^P 示之。矩陣中的各對角線元素 A_{ij} ($i=j$) 為同一列之最大值，表示在此準則考量下，自身對目標具有最重要的影響程度。

$$W_3^P = \begin{matrix} & \begin{matrix} S^P & M^P & A^P & R^P & T^P \end{matrix} \\ \begin{matrix} S^P \\ M^P \\ A^P \\ R^P \\ T^P \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.0 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.1 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.1 & 1.0 & 0.4 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.0 & 0.5 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

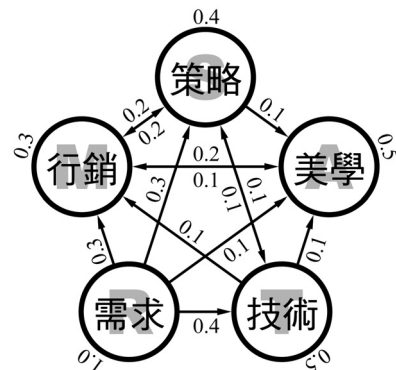


圖 5 企業面向評估準則內部相互依存關係圖

(4) 各方案間內部相互依存關係之配對比較

此階段進行方案與方案間在不同評估準則下內部相互依存關係的配對比較，評比方案彼此的優勢。各方案間內部相互依存之關係如圖 3 所示。在不同評估準則下逐一比較各替選方案之相對權重，其結果示於表 4 至表 8，并以權值矩陣 W_4^P 表示。

表 4 在策略準則(S^P)下對各替選方案之配對比較矩陣

| w_{4S}^P | 方案 A(P1) | 方案 B(P2) | 方案 C(P3) | 方案 D(P4) |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 方案 A(P1) | 1 | 3 | 1 | 5 |
| 方案 B(P2) | 1/3 | 1 | 1/3 | 1 |
| 方案 C(P3) | 1 | 3 | 1 | 7 |
| 方案 D(P4) | 1/5 | 1 | 1/7 | 1 |
| 方案 A(P1) | 0.395 | 0.375 | 0.404 | 0.357 |
| 方案 B(P2) | 0.132 | 0.125 | 0.135 | 0.071 |
| 方案 C(P3) | 0.395 | 0.375 | 0.404 | 0.497 |
| 方案 D(P4) | 0.079 | 0.125 | 0.058 | 0.071 |

表 5 市場準則 (M^P) 下對各替選方案之配對比較矩陣

| w_{4M}^P | 方案 A(P1) | 方案 B(P2) | 方案 C(P3) | 方案 D(P4) |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 方案 A(P1) | 1 | 1 | 1/3 | 3 |
| 方案 B(P2) | 1 | 1 | 1/5 | 1 |
| 方案 C(P3) | 3 | 5 | 1 | 5 |
| 方案 D(P4) | 1/3 | 1 | 1/5 | 1 |
| 方案 A(P1) | 0.188 | 0.125 | 0.192 | 0.300 |
| 方案 B(P2) | 0.188 | 0.125 | 0.115 | 0.100 |
| 方案 C(P3) | 0.562 | 0.625 | 0.577 | 0.500 |
| 方案 D(P4) | 0.062 | 0.125 | 0.115 | 0.100 |

表 6 品質準則 (A^P) 下對各替選方案之配對比較矩陣

| w_{4A}^P | 方案 A(P1) | 方案 B(P2) | 方案 C(P3) | 方案 D(P4) |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 方案 A(P1) | 1 | 5 | 1/3 | 3 |
| 方案 B(P2) | 1/5 | 1 | 1/3 | 1 |
| 方案 C(P3) | 3 | 3 | 1 | 7 |
| 方案 D(P4) | 1/3 | 1 | 1/7 | 1 |
| 方案 A(P1) | 0.221 | 0.500 | 0.184 | 0.250 |
| 方案 B(P2) | 0.044 | 0.100 | 0.184 | 0.083 |
| 方案 C(P3) | 0.662 | 0.300 | 0.553 | 0.583 |
| 方案 D(P4) | 0.073 | 0.100 | 0.079 | 0.083 |

表 7 需求準則 (R^P) 下對各替選方案之配對比較矩陣

| w_{4R}^P | 方案 A(P1) | 方案 B(P2) | 方案 C(P3) | 方案 D(P4) |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 方案 A(P1) | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 方案 B(P2) | 1 | 1 | 3 | 3 |
| 方案 C(P3) | 1 | 1/3 | 1 | 5 |
| 方案 D(P4) | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1 |
| 方案 A(P1) | 0.300 | 0.375 | 0.192 | 0.250 |
| 方案 B(P2) | 0.300 | 0.375 | 0.577 | 0.250 |
| 方案 C(P3) | 0.300 | 0.125 | 0.192 | 0.417 |
| 方案 D(P4) | 0.100 | 0.125 | 0.038 | 0.083 |

表 8 技術準則 (T^P) 下對各替選方案之配對比較矩陣

| w_{4T}^P | 方案 A(P1) | 方案 B(P2) | 方案 C(P3) | 方案 D(P4) |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 方案 A(P1) | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/5 |
| 方案 B(P2) | 3 | 1 | 3 | 3 |
| 方案 C(P3) | 3 | 1/3 | 1 | 1 |
| 方案 D(P4) | 5 | 1/3 | 1 | 1 |
| 方案 A(P1) | 0.083 | 0.167 | 0.062 | 0.038 |
| 方案 B(P2) | 0.250 | 0.500 | 0.562 | 0.577 |
| 方案 C(P3) | 0.250 | 0.167 | 0.188 | 0.192 |
| 方案 D(P4) | 0.417 | 0.167 | 0.188 | 0.192 |

(5) 求各準則之內部相依優先權值 w_c^P

綜合各準則權值向量 w_1^P 及在不同準則下對各準則間內部相依關係進行配對比較之權值矩陣 W_3^P ，即可得各準則的內部相依優先權值 w_c^P 。亦即 $w_c^P = W_3^P \times w_1^P$ ，

$$w_c^P = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.0 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.1 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.1 & 1.0 & 0.4 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.0 & 0.5 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.226 \\ 0.290 \\ 0.226 \\ 0.161 \\ 0.097 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.181 \\ 0.177 \\ 0.142 \\ 0.377 \\ 0.123 \end{bmatrix}$$

(6) 求各替選方案實際的影響權重 W_p^P

綜合每個準則對於各替選方案之權值 W_2^P 及在不同準則下對各替選方案間之內部相依關係的權值 W_4^P ，即可得各替選方案實際的影響權重矩陣 W_p^P 。因此 $W_p^P = W_4^P \times W_2^P$ ，為 $w_{PS}^P, w_{PM}^P, w_{PA}^P, w_{PR}^P$ ，和 w_{PT}^P 所組成之向量矩陣。其中 w_{PS}^P 即表示在 W_{4S}^P 下，各替選方案間內部相依之配對比較矩陣乘以在 w_{2S}^P 下對於各方案之配對比較權值向量，可表示為 $w_{PS}^P = W_{4S}^P \times w_{2S}^P$ 。而 $w_{PS}^P, w_{PM}^P, w_{PA}^P, w_{PR}^P$ 和 w_{PT}^P 的權值矩陣則分別計算如下：

(6.1) 在策略準則 (S^P) 下各替選方案之相依權值向量 w_{PS}^P

$$w_{PS}^P = W_{4S}^P \times w_{2S}^P = \begin{bmatrix} 0.395 & 0.375 & 0.404 & 0.357 \\ 0.132 & 0.125 & 0.135 & 0.071 \\ 0.395 & 0.375 & 0.404 & 0.497 \\ 0.079 & 0.125 & 0.058 & 0.071 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.346 \\ 0.192 \\ 0.269 \\ 0.192 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.386 \\ 0.120 \\ 0.413 \\ 0.081 \end{bmatrix}$$

(6.2) 在市場準則 (M^P) 下各替選方案之相依權值向量 w_{PM}^P

$$w_{PM}^P = W_{4M}^P \times w_{2M}^P = \begin{bmatrix} 0.188 & 0.125 & 0.192 & 0.300 \\ 0.188 & 0.125 & 0.115 & 0.100 \\ 0.562 & 0.625 & 0.577 & 0.500 \\ 0.062 & 0.125 & 0.115 & 0.100 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.292 \\ 0.208 \\ 0.375 \\ 0.125 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.190 \\ 0.137 \\ 0.573 \\ 0.100 \end{bmatrix}$$

(6.3) 在實學準則 (A^P) 下各替選方案之相依權值向量 w_{PA}^P

$$w_{PA}^P = W_{4A}^P \times w_{2A}^P = \begin{bmatrix} 0.221 & 0.500 & 0.184 & 0.250 \\ 0.044 & 0.100 & 0.184 & 0.083 \\ 0.662 & 0.300 & 0.553 & 0.583 \\ 0.073 & 0.100 & 0.079 & 0.083 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.318 \\ 0.136 \\ 0.409 \\ 0.136 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.248 \\ 0.114 \\ 0.557 \\ 0.080 \end{bmatrix}$$

(6.4) 在需求準則 (R^P) 下各替選方案之相依權值向量 w_{PR}^P

$$w_{PR}^P = W_{4R}^P \times w_{2R}^P = \begin{bmatrix} 0.300 & 0.375 & 0.192 & 0.250 \\ 0.300 & 0.375 & 0.577 & 0.250 \\ 0.300 & 0.125 & 0.192 & 0.417 \\ 0.100 & 0.125 & 0.038 & 0.083 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.227 \\ 0.318 \\ 0.318 \\ 0.136 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.282 \\ 0.405 \\ 0.226 \\ 0.086 \end{bmatrix}$$

(6.5) 各技術準則 (T^P) 下各替選方案之相依權值向量 w_{PT}^P

$$w_{PT}^P = W_{4T}^P \times w_{2T}^P = \begin{bmatrix} 0.083 & 0.167 & 0.062 & 0.038 \\ 0.250 & 0.500 & 0.562 & 0.577 \\ 0.250 & 0.167 & 0.188 & 0.192 \\ 0.417 & 0.167 & 0.188 & 0.192 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.227 \\ 0.318 \\ 0.227 \\ 0.227 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.095 \\ 0.474 \\ 0.196 \\ 0.234 \end{bmatrix}$$

因此最後可得：

$$W_P^P = \begin{bmatrix} 0.386 & 0.190 & 0.248 & 0.282 & 0.095 \\ 0.120 & 0.137 & 0.114 & 0.405 & 0.474 \\ 0.413 & 0.573 & 0.557 & 0.226 & 0.196 \\ 0.081 & 0.100 & 0.080 & 0.086 & 0.234 \end{bmatrix}$$

(7) 求各替選方案的實際優先權值 w_{ANP}^P

最後綜合各替選方案之影響權值 W_P^P 與各準則之內部相依優先權值 w_c^P ，即可求得各替選方案的實際優先權值 w_{ANP}^P ，亦即 $w_{ANP}^P = W_P^P \times w_c^P$ 。其所得權值向量如下：

$$w_{ANP}^P = \begin{bmatrix} 0.386 & 0.190 & 0.248 & 0.282 & 0.095 \\ 0.120 & 0.137 & 0.114 & 0.405 & 0.474 \\ 0.413 & 0.573 & 0.557 & 0.226 & 0.196 \\ 0.081 & 0.100 & 0.080 & 0.086 & 0.234 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.181 \\ 0.177 \\ 0.142 \\ 0.377 \\ 0.123 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0.257} \\ \mathbf{0.273} \\ \mathbf{0.365} \\ \mathbf{0.105} \end{bmatrix}$$

【產品設計面向】

依循上述(1)至(7)各步驟可得最終各替選方案的實際優先權值 w_{ANP}^D ，亦即 $w_{ANP}^D = W_P^D \times w_c^D$ 。其所得權值向量如下：

$$w_{ANP}^D = \begin{bmatrix} 0.250 & 0.420 & 0.531 & 0.137 & 0.094 \\ 0.113 & 0.389 & 0.193 & 0.244 & 0.074 \\ 0.566 & 0.112 & 0.083 & 0.518 & 0.254 \\ 0.072 & 0.079 & 0.193 & 0.101 & 0.576 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.155 \\ 0.338 \\ 0.141 \\ 0.200 \\ 0.166 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0.299} \\ \mathbf{0.237} \\ \mathbf{0.283} \\ \mathbf{0.181} \end{bmatrix}$$

其中各準則間內部相互依存關係之評比仍由評估者（五位企業部門副理級以上主管）以群體討論的方式就準則與準則間的內部相互依存關係進行研判。同樣評估者在特定準則優先考量下，各準則實際對目標影響的權重分配（總和為1）。例如：「外形 (S^D)」準則自身佔 0.4 權值比重下，其他準則對目標影響程度之比例分配分別是材料 (M^D) 0.2，結構 (A^D) 0.1，色彩 (R^D) 0.2 及質感 (T^D) 0.1；而「質感 (T^D)」準則自身佔 0.5 權值比重下，其他準則對目標影響程度之比例分配分別是外形 (S^D) 0.0，材料 (M^D) 0.4，結構 (A^D) 0.0 及色彩 (R^D) 0.1；其餘類推。最後，設計面向各準則間內部相互依存關係和其相對影響權值分配如圖 6 所示，並以權值矩陣 W_3^D 示之。

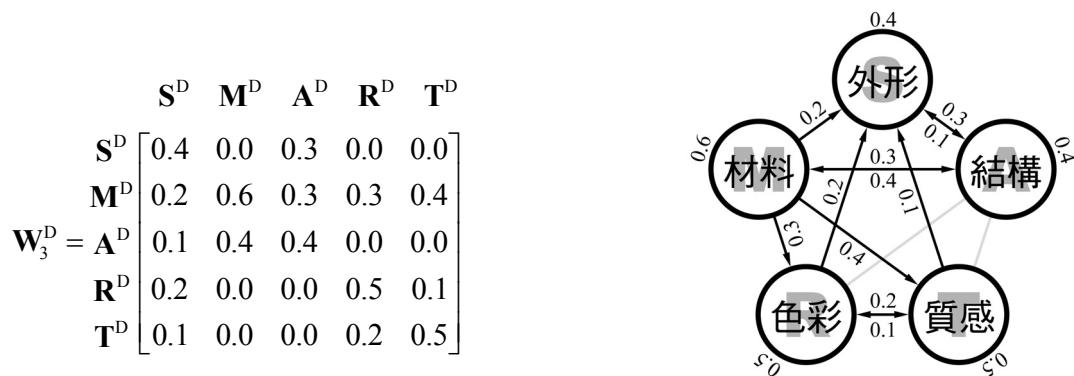


圖 6 設計面向評估準則內部相互依存關係圖

五、分析討論與決策結果

5-1 敏感度分析

雙向 ANP 運算結果得知：若僅就產品企劃面向的五項評估準則評價替選方案，四款設計方案之局部優先權值分別為 (A, B, C, D) = (0.257, 0.273, 0.365, 0.105)；產品企劃面向則為 (A, B, C, D) = (0.299, 0.237, 0.283, 0.181)。利用數學線性規劃將此兩組數據進行陡坡敏感度分析 (gradient sensitivity analysis, GSA) [12]，可得如圖 7 所示的三個決策區段：區段 1—企劃導向比重從 100%降至 79.5% (亦即設計導向比重從 0%上升至 20.5%) 時，綜合優先權值為方案 C > 方案 B > 方案 A > 方案 D；區段 2—企劃導向比重從 79.5%降至 13% (亦即設計導向比重從 20.5%升至 87%) 時，綜合權值為方案 C > 方案 A > 方案 B > 方案 D；而區段 3—企劃導向比重從 13%降至 0% (亦即設計導向比重從 87%升至 100%) 時，綜合優先權值為方案 A > 方案 C > 方案 B > 方案 D。三個決策區段比值為 (區段 1：區段 2：區段 3) = (20.5：66.5：13)。藉此研究分析所獲結果，將提供企業高階經營團隊一有力的新產品開發決策機制：

- (1) 當新產品開發以企劃導向為考量時，替選方案的選擇順序為 C > B > A > D (區段 1)。且方案 C (0.365) 是最目的選擇方案，方案 D (0.105) 則獲最低的評價；
- (2) 當新產品開發以設計導向為考量時，替選方案的選擇順序為 A > C > B > D (區段 3)。方案 A (0.299) 與方案 C (0.283) 都是不錯的選擇，而方案 B (0.237) 與方案 D (0.181) 則不及前兩方案；
- (3) 至於在企劃導向和設計導向間佔 66.5% 之區域，其選擇方案的順序則為 C > A > B > D (區段 2)。這對持保守心態、不冒進的企業經營者而言，兼顧企劃與設計兩面向將是較為謹慎的選擇；
- (4) 當然，經營者可根據敏感度分析的結果確實設定兩面向的比重，以 SAW (simple additive weight) 計算各替選方案的整體綜合權值，以確立方案最終之優先選擇順序。

下節將就此一決策機制設定兩面向的比重各為 50-50% (圖 7 所示) 為模擬點，說明企業在考量有限資源和種種條件限制下，如何應用 ZOGP 模式中之目標、決策變數以及限制式的設定，以推論分析求得符合公司整體經濟利益之最佳解。

5-2 0-1 目標規劃

根據 M 公司針對每一方案所需的成本限制條件及最大可用之資源分配所提供的資料 (內容整理如表 9 所示)，求解設定之目標規劃函數。此 ZOGP 模式包含有：(1) 產品設計及模型製作費用；(2) 執

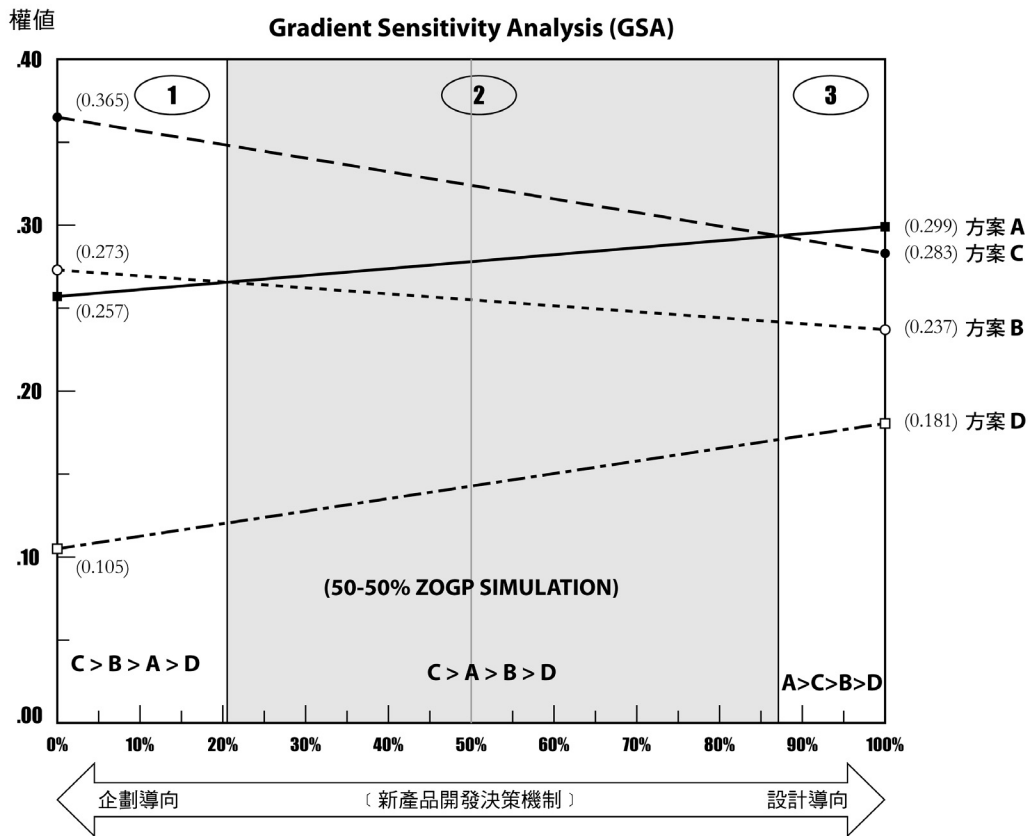


圖 7 產品導向影響方案優先權值之風險敏感度分析 (本研究整理)

行方案所需工作人數；(3) 成品交貨所需人數 (1,000 件；含生產、製造、包裝) 及 (4) 成本預算 (1,000 件；含規劃、設計、製造、行銷) 四項。以下則根據上述 SAW 法計算所得的各替代方案整體綜合權值： $(P1, P2, P3, P4) = (0.257 \times 50\% + 0.299 \times 50\%, 0.273 \times 50\% + 0.237 \times 50\%, 0.365 \times 50\% + 0.283 \times 50\%, 0.105 \times 50\% + 0.181 \times 50\%) = (0.278, 0.255, 0.324, 0.143)$ ，針對本 0-1 整數目標規劃模式之目標函數、決策變數與限制條件以及求解結果進行分析與探討。

表 9 設計方案選擇所需之成本限制條件及最大可用資源的分配情形

| | 產品設計方案 | | | | 最大可用資源 b_i |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| | 方案 A (X_1) | 方案 B (X_2) | 方案 C (X_3) | 方案 D (X_4) | |
| 產品設計及模型製作費用 | 25 萬 | 32 萬 | 30 萬 | 36 萬 | 60 萬 |
| 執行方案所需工作人數 (含產品設計、模型製作) | 18 人 | 25 人 | 20 人 | 30 人 | 40 人 |
| 成品交貨所需人數 (1,000 件；含生產、製造、包裝) | 20 人 | 28 人 | 35 人 | 40 人 | 60 人 |
| 成本預算 (1,000 件；含規劃、設計、製造、行銷) | 180 萬 | 240 萬 | 200 萬 | 300 萬 | 500 萬 |

5-2.1 目標與決策變數

本 0-1 整數目標規劃數學式之目標為求各要素之偏差值總和最小化，而偏差值為正，即為 d_i^+ ，表示超出之值為最小。故本 ZOGP 之目標 (pl_1) 則如下四項所述：

- (1) 產品設計及模型製作費用之正偏差值最小 (d_1^+) ；

- (2) 執行方案所需工作天數 (含產品設計、模型製作) 之正偏差值最小 (d_2^+) ;
 (3) 成品交貨所需工作天數 (1,000 件 ; 含生產、製造、包裝) 之正偏差值最小 (d_3^+) ;
 (4) 成本預算 (1,000 件 ; 含規劃、設計、行銷等費用) 之正偏差值最小 (d_4^+) 。

且將上述 SAW 法求得四個設計替選方案之綜合優先權值 (0.278, 0.255, 0.324, 0.143) 導入, 則本 ZOGP 之目標函 (pl_2) 如下所述:

- (1) 方案 A 為 0.278, 其負偏差值最小 (d_5^-) ;
 (2) 方案 B 為 0.255, 其負偏差值最小 (d_6^-) ;
 (3) 方案 C 為 0.324, 其負偏差值最小 (d_7^-) ;
 (4) 方案 D 為 0.143, 其負偏差值最小 (d_8^-) 。

因此, 本模式中目標函 (pl_2) 為: $0.278d_5^- + 0.255d_6^- + 0.324d_7^- + 0.143d_8^-$ 。其中偏差值為負, 即為 d_i^- , 則表示未達到之值為最小。據此, ZOGP 模式中限制式亦可列出 $X_1 + d_5^- = 1$, $X_2 + d_6^- = 1$, $X_3 + d_7^- = 1$, $X_4 + d_8^- = 1$ 。其中, X_j 若為 1 表示方案 A 被選上 ($X_1 = 1$), 而 d_5^- 則為 0。反之亦然, X_2 若為 1 表示方案 B 被選上 ($X_2 = 1$), 而 d_6^- 則為 0。同理以此類推其餘皆同。

針對上述之目標, 本 ZOGP 模式之目標函數將其視為無優先順序 (Nonpreemptive) 之目標函數, 因此, 目標偏差值總和最小化方程式為:

$$\text{Min} \quad d_1^+ + d_2^+ + d_3^+ + d_4^+ + 0.278d_5^- + 0.255d_6^- + 0.324d_7^- + 0.143d_8^- \quad (1)$$

由此, 設定決策變數為 X_j ; 而 X_j 則表示為產品設計方案選擇形成的可能性與否, 其 $j=1, 2, 3, 4$ 。

5-2.2 限制式之設定

數學模型之限制式是由各目標與決策變數所產生, 就決策變數產生的限制式而言, 所表示的是產品設計及模型製作費用中, 最大可用資源分配為 60 萬。因此, 依據目標產生之第一限制式即表示為:

$$25X_1 + 32X_2 + 30X_3 + 36X_4 + d_1^- - d_1^+ = 60 \quad (2)$$

其中, 符號右邊為設計方案之產品設計及模型製作費用的重要係數與方案 A 至方案 D 決策變數之組合, 以及目標之負偏差值 d_1^- 和正偏差值 d_1^+ , 而符號左邊則為最大可用之資源值。至於第二限制式至第七限制式則同理可整理如下:

$$\text{第二限制式: } 18X_1 + 25X_2 + 20X_3 + 30X_4 + d_2^- - d_2^+ = 40 \quad (3)$$

$$\text{第三限制式: } 20X_1 + 28X_2 + 35X_3 + 40X_4 + d_3^- - d_3^+ = 60 \quad (4)$$

$$\text{第四限制式: } 180X_1 + 240X_2 + 200X_3 + 300X_4 + d_4^- - d_4^+ = 500 \quad (5)$$

$$\text{第五限制式: } X_j = 1 \text{ or } 0, \quad j=1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

$$\text{第六限制式: } d_i^-, d_i^+ \geq 0, \quad i=1, 2, 3, \dots, 8 \quad (7)$$

最後, 需加以限制的是決策變數 X_j 及正負偏差之值, 假若設計方案為較具有優先執行之條件, 此時 X_j 之值則為 1, 若無此優先執行之條件則為 0, 而正負偏差變數值皆大於等於 0。因此, 由上述之限制式所示, 由於電腦語法的關係, 本模式設定正偏差值符號為 P (表示 plus), 而負偏差值則為 M (表示 minus)。其中 INT X_j 則表示 X_j 為整數 0 或 1, 而 0 則為不選擇此設計方案; 1 則為選擇此設計方案。0-1 整數目標規劃之數學模式可如表 10 所示。

表 10 0-1 整數目標規劃模式

| ZOGP 數學模式 | 目標 |
|---|-------------------------|
| Minimize Z= | |
| $pl_1(d_1^+ + d_2^+ + d_3^+ + d_4^+)$ | 滿足目標函數中偏差總和為最小。 |
| $pl_2(0.278d_5^- + 0.255d_6^- + 0.324d_7^- + 0.143d_8^-)$ | 選擇綜合優先權值高之設計替選方案。 |
| Subject to | |
| $25X_1 + 32X_2 + 30X_3 + 36X_4 + d_1^- - d_1^+ = 60$ | 產品設計及模型製作費用，避免超出最大之資源值。 |
| $18X_1 + 25X_2 + 20X_3 + 30X_4 + d_2^- - d_2^+ = 40$ | 執行方案所需工作人數，避免超出最大之資源值。 |
| $20X_1 + 28X_2 + 35X_3 + 40X_4 + d_3^- - d_3^+ = 60$ | 成品交貨所需工作人數，避免超出最大之資源值。 |
| $180X_1 + 240X_2 + 200X_3 + 300X_4 + d_4^- - d_4^+ = 500$ | 成本預算，避免超出最大之資源值。 |
| $X_1 + d_5^- = 1$ | 選擇方案 A。 |
| $X_2 + d_6^- = 1$ | 選擇方案 B。 |
| $X_3 + d_7^- = 1$ | 選擇方案 C。 |
| $X_4 + d_8^- = 1$ | 選擇方案 D。 |
| $X_j = 0 \text{ or } 1, \forall j = 1, 2, 3, 4$ | |

5-2.3 運算結果及分析

經由電腦軟體 LINDO 程式運算分析後，所求解出之結果如下：

$$X_1 = X_3 = 1, X_2 = X_4 = 0$$

$$d_1^- = 5, d_1^+ = 0, d_2^- = 2, d_2^+ = 0, d_3^- = 5, d_3^+ = 0, d_4^- = 120, d_4^+ = 0, \\ d_5^- = 0, d_6^- = 1, d_7^- = 0, d_8^- = 1$$

由上述之結果可知，被選出之產品設計方案為方案 A (X_1) 與方案 C (X_3)，而方案 B (X_2) 與方案 D (X_4) 則未被選取。而此求解之結果中，產品設計及模型製作費用是將其最大可用資源減少 5 萬元 ($d_1^- = 5$)；執行方案所需工作人數也可減少 2 人 ($d_2^- = 2$)；至於成品交貨所需人數 60 人同樣地可減少 5 人 ($d_3^- = 5$)；而在最大可用預算成本資源 500 萬之限制條件下，將可省下 120 萬元 ($d_4^- = 120$)。希望此藉由 ZOGP 數學模型運算分析求解出最目解 (執行方案組合) 之實例驗證結果，能提供 M 公司決策者一客觀、合理且具量化分析的重要參考依據。

六、結論

以下就本研究之成果與心得作歸納整理：

- (1) 創新的「同步 SMART² 雙向 ANP 評價模式」列舉出「企劃面向」的五項評估準則：策略、行銷、美學、需求、技術和「設計面向」的五項評估準則：外形、材料、結構、色彩、材質。兩面向共計十項的準則將可作為新產品開發評價設計替選方案之參考指標。
- (2) 考量評估準則間與方案間的相互依存性和回饋關係，合理且真實地應用分析網路程序法演算求得各設計替選方案的局部優先權值。

- (3) 利用從企劃和設計面向評比所獲得之方案局部優先權值進行敏感度分析，並整合建構的 0-1 目標規劃函數，讓新產品開發者一選擇最佳執行方案組合的決策支援系統。
- (4) 從實例驗證的爬坡敏感度分析圖可知：從企劃面向所得之各方案局部優先權值差距大於從設計面向之所得。清楚描述了企劃與設計兩專業領域對替選方案的評比指標是不同的；也間接說明設計部門對所提出之設計方案具有共識，而企劃部門意見則較為分歧。
- (5) 決策者選擇不同的產品導向比重以 SAW 計算各方案整體綜合權值，必須假設兩面向是相互獨立、具可加成性。所得之綜合權值再經由 0-1 目標規劃函數求得最佳解答，建構一新產品開發選擇最佳執行方案組合的決策機制。
- (6) 透過本研究所建立之評價和決策模式，將可廣泛地應用在任向新產品開發上，提供企業決策者一可信度高的評估工具以降低風險成本，並達到符合公司整體經濟效益的目標。
- (7) 本文之研究成果不僅僅適用在工業設計/產品設計上，其他設計相關領域同樣可依循此決策分析方法進行研究，擬定同一專業領域適用的評估準則，並建立一套有效評價設計方案的決策流程。

參考文獻

1. 呂清秋，2003，“造形原理”，九版四刷，雄獅圖書，台北。
2. 胡佑宗譯，1996，“工業設計：產品造形的歷史、理論及實務”，初版，雄獅圖書，台北。
3. 許志義，2003，“多目標決策”，二版，南南圖書，台北。
4. 曾懷恩、李榮貴，1998，“以 AHP 模式作為評估設計案的決策方法”，〈設計學報〉，第三卷，第一期，pp.43-54，中華民國設計學會，台北。
5. 蔡可璋，1994，“產品意象語言研究—以本田意象為例”，〈國立成功大學碩士論文〉，pp.54-59，國立成功大學，台南。
6. 衛萬里、張心智，2005，“應用模糊德爾菲與分析網路程序法選擇最佳產品設計方案的初步研究”，〈設計學報〉，第十卷，第三期，pp.59-80，中華民國設計學會，台北。
7. Baxter, Mike, 1995, “Product Design: A practical guide to systematic methods of new product development”, London: Chapman & Hall.
8. Booz, Allen, Hamilton, 1982, New product management in 1980s, Booz, Allen, Hamilton, Inc., New York.
9. Breemen, J.J., Slamet, S., 1999, “The Role of Shape in Communicating Designers’ Aesthetic Intent”, *Proceeding of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences*, Las Vegas, Nevada.
10. Chen, Kuohsiang & Owen, C.L., 1997, “Form language and style description”, *Design Studies* 18, No.3, pp.249-274.
11. Cooper, W.W., Charnes, A., Ferguson, R.O., 1955, “Optimal estimation of executive compensation by linear programming”, *Management Science* 1(2), pp.138-151.
12. Ghodsypour, S.H., O’Brien, C., 1998, “A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming”, *Int. J. Production Economics* 56-57, pp.199-212.
13. Hsiao, S.W., 2002, “Concurrent design method for developing a new product”, *International Journal of Industrial Ergonomics* 29, pp.41-55.
14. Karsak, E.E., Sozer, S., Alptekin, S.E., 2002, “Product planning in quality function deployment using a combined ANP and GP approach”, *Computer & Industrial Engineering* 44, pp.171-190.
15. Kusar, J., Duhovnik, J., Grum, J & Starbek, M., 2004, “How to reduce new product development time”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 20, pp.1-15.
16. Lee, J.W., Kim, S.H., 2000, “Using ANP and GP for interdependent information system project selection”, *Computers & Operations Research* 27, pp.367-382.
17. Ljungberg, L.Y. & Edwards, K.L., 2003, “Design, materials selection and marketing of successful products”, *Materials & Design* 24, pp.519-529.
18. Pullman, M.E., Moore, W.L. & Wardell, D.G., 2002, “A comparison of quality function deployment and conjoint analysis in new product design”, *The Journal of Product Innovation Management* 19, pp.354-364.
19. Reza, K., Hossein, A., Yvon, G., 1988, “An integrated approach to project evaluation and selection”, *IEEE Transactions on Engineering Management* 35(4), pp.265-270.
20. Ringuest, J.L., Graves, S.B., 1989, “The linear multi-objective R&D project selection problem”, *IEEE Transactions on Engineering Management* 36(1), pp.54-57.
21. Roper-Low, G.C., Sharp, J.A., 1990, “A decision model for interdependent information system project selection”, *J Opl Res Soc* 41, pp.49-59.
22. Saaty, T.L., 1996, The analytic network process, RWS Publications.

23. Saaty, T.L., Takizawa, M., 1986, "Dependence and independence: from linear hierarchies to nonlinear networks", *European Journal of Operational Research* 26, pp.229-237.
24. Saaty, T.L., Vargas, L.G., Dellmann, K., 2003, "The allocation of intangible resources: the AHP and LP", *Socio-Economic Planning Sciences* 37, pp.169-184.
25. Sanathanam, R., Kyparisis, G.J., 1996, "Using ANP and GP for interdependent information system project selection", *European Journal of Operational Research* 89, pp.380-399.
26. Swink, M.L., 1998, "A tutorial on implementing concurrent engineering in new product development programs", *Journal of Operations Management* 16, pp.103-116.
27. Wallace, D.D., 1991, "A computer model of aesthetic product design", *Master thesis of Science in mechanical engineering at the MIT*, pp.42-44.
28. Weber R., Werners, B. & Zimmerman, H.J., 1990, "Planning models for research and development", *European Journal of Operational Research* 48, pp.175-188.

A Concurrent SMART² Evaluation Model for Decision-making in New Product Development

Wen-Chih Chang* Wan-Li Wei**

* Graduate School of Design, National Taiwan University of Science and Technology
e-mail:wchang@mail.ntust.edu.tw

** Graduate School of Design, National Taiwan University of Science and Technology
e-mail:wanliwei@ms34.hinet.net

(Date Received : September 6, 2005 ; Date Accepted : May 1, 2006)

Abstract

The planning and design (P&D) phase is most critical to project success in new product development (NPD). When selecting an appropriate P&D alternative which involves a variety of considerations such as corporate strategy, finance, marketing, technology, production, customer need, product aesthetics, and so forth, most company's high-level management lack the ability to evaluate the candidates effectively. Substandard NPD project is often a direct result of inadequate decision-maker selection.

In this paper, we propose a concurrent SMART² evaluation model of NPD design alternatives using the bi-directional Analytic Network Process (ANP). It is utilized to determine the local weights of these candidates from both planning and design dimensions. Following the above evaluation model, a Gradient Sensitivity Analysis (GSA) is employed to calculate the overall weights and a mathematical Zero-One Goal Programming (ZOGP) is built to incorporate multiple objectives in order to reach an optimum solution. A NPD design case is presented to illustrate the overall decision procedure and to examine the effectiveness of our proposed model. The result shows that the local weights of alternatives in the planning aspect are C (0.365) > B (0.273) > A (0.257) > D (0.105) while those in the design aspect are A (0.299) > C (0.237) > B (0.283) > D (0.181). Furthermore, the priority of alternatives in the largest of the three decision areas (C > A > B > D) identified by GSA is around 66.5% (20.5%-87%). Finally, a 50-50 proportion in planning and design dimensions is applied as a simulation point to demonstrate the final optimal solution-design alternatives A and C.

Keywords: New product development, SMART² evaluation model, Analytic network process, Gradient sensitivity analysis, Zero-one goal programming

