

The study on interdependence analysis of product design attributes

Ya-Mei Chiang ¹, Wen-Liang Chen ^{2*}

¹Department of Animation and Game Design, Shu-Te University, Taiwan

²Department of Product Design, Shu-Te University, Taiwan

*Corresponding author, E-mail: cwl@stu.edu.tw

(Received 25 March 2023; Final version received 5 July 2023; Accepted 15 August 2023)

Abstract

With the improvement of customer awareness, companies have begun developing various diversified designs to meet customer needs. Make the designer face the challenge of multiple customer needs and then increase the difficulty of understanding. Taking a hair dryer as an example, this study applies Fuzzy Interpretive Structural Modeling (FISM) to analyze the interdependence of product design attributes. To effectively clarify the critical design factors and to describe the complex interdependence between each other. The research results show that by analyzing the logical sequence of attributes and transforming them into structured association diagrams and hierarchical diagrams. Structural association diagrams and hierarchical diagrams can help designers identify independent or dependent design factors. It is also possible to identify the interplay between key elements and desired attributes.

Keywords: Fuzzy theory, Interpretive structural modeling (ISM), Hair dryer, Interdependence.

產品設計屬性互依關聯性分析之研究

江雅媚¹，陳文亮^{2*}

¹ 樹德科技大學動畫與遊戲設計

² 樹德科技大學生活產品設計系

*通訊作者 E-mail: cwl@stu.edu.tw

(Received 25 March 2023; Final version received 5 July 2023; Accepted 15 August 2023)

摘要

隨著顧客意識的提高，企業為滿足顧客需求，開始發展各種多元化與多樣化的設計。使得設計者將面臨多種顧客需求的挑戰，進而增加理解的困難。為有效釐清攬取關鍵性的設計因子，並能釐清彼此間複雜的互依關係。本研究以吹風機為例，應用模糊詮釋結構模式(Fuzzy Interpretive Structural Modeling, FISM)解析產品設計屬性之互依關聯性。研究結果顯示，經由解析屬性之邏輯順序並轉變為結構化關聯圖與階層圖，可協助設計者釐清獨立性或從屬性的設計因子，並可辨識關鍵性的要素以及需求屬性間互相影響關係。

關鍵詞：模糊理論、詮釋結構模式、吹風機、互依關聯性。

6. 前言

隨著產品屬性需求越來越多樣化，產品需要不斷改進，產品屬性設計變更也越來越頻繁(Myrodia, Kris-tjansdottir, and Hvam, 2017)。設計者將面臨愈來愈多數量的設計資訊，設計屬性間的連結關係也變得十分複雜而不易理解(You, Kato, and Kitaoka, 1994)。產品項目越來越複雜，需求管理也越來越必要(Violante and Vezzetti, 2014)。Sage(1977)指出當顧客需求屬性越多或關聯程度較複雜時，設計者無法以直觀的方式處理。尤其在需求分析的階段，Tseng and Jiao(1998)也指出顧客的需求往往是不精確和模稜兩可的。顧客需求管理容易缺乏結構化的需求定義(Jiao and Chen, 2006)，且優先考慮顧客偏好的需求也是必要的(Griffin and Hauser, 1993)。由於模糊抽象與不明確的陳述需求，容易忽略顧客需求屬性間的互依性，以及對於屬性要求可能也有差別，因此在需求管理上，導致設計者很難判別複雜的產品設計相關需求訊息。例如以吹風機而言，當

顧客考量攜帶或收納的情況時，就會加以考量產品的大小或重量，而產品的尺寸或重量也就會影響使用性或便利性。如此一來，即產生屬性之間相互影響而非各自獨立的情況，顧客衡量標準會因某項屬性獲得滿足而來取捨其他屬性。以至於在實際的情況，屬性之間仍會有相互牽制的現象。因此，在顧客需求之攬取與分析階段，若對顧客需求的缺乏理解力或是不精確的臆測，在後續之設計與製造階段中，將會對產品品質、前置時間與成本等造成嚴重負面的影響(Jiao and Chen, 2006)。

7. 文獻回顧

ISM 最早由 Warfield (1976)提出，原為社會系統工學(Social System Engineering)彙整訊息的一種結構化建模方法，為一制定管理決策的工具，以解決及分析複雜的情境問題(Senecal, Kalczynski, and Nantel, 2005)。You et al. (1994)指出 ISM 可將原始的個別資料轉換為有價值的資訊，並且釐清彼此的關係，這對於設計者而言，是展開正確的設計程序關

鍵因素之一。ISM 的獨特之處在於在屬性之間創建邏輯鏈接，這有助於形成系統或問題的可視化圖形，也就是透過繪製一結構性的圖形來表示屬性間的關係(Chen and Wu, 2010; Mandal and Deshmukh, 1994)，因為 ISM 通過結合計算、理論和概念能力來構建圖表(Narayanan, Sridharan, and Ram Kumar, 2019)，進而能清楚辨識屬性之間的相互影響關係。當存在不確定關係的因素影響主題時，運用此方法可以轉換為可理解和結構化的因素，方法的應用是有用的(Raut, Gardas, and Narkhede, 2019)。而與其他多準則決策(multi criteria decision making, MCDM)方法相比，ISM 不需要建立階層構造來研究因素之間的相互關係(Raut et al., 2019)。例如在層次分析法中(AHP)，沒有解決相互作用和間接影響(Zayed and Yaseen, 2021)。另外，在分析網絡法(ANP)的分析過程中，可能無法反映所有依賴關係，因為很難去除集群內可能會有的交互作用(Wu, 2008)。ISM 也不同于決策試驗和評估實驗室(DEMATEL)和社交網絡分析(SNA)的替代方法，因為 ISM 除了在複雜系統中建立關係之外，還需要優先考慮因素(Abuzeinab, Arif, and Qadri, 2017)，而且是一個需要相對較少數據量的強大工具(Panigrahi and Sahu, 2018)。ISM 不需要定量數據，且是通過構建影響系統的許多不同且直接相關的變量來準備模型，有助於分析變量之間的相互關係(Bouzon, Govindan, and Rodriguez, 2015)。ISM 方法有多種擴展並應用於各種領域，這些領域包括教育學、行政學、社會學、心理學等(Warfield, 1982)。例如 Ravi and Shankar(2005)的研究應用 ISM 來分析汽車工業供應鍊中逆向物流之阻礙因素間的交互關係，以管理觀點確認因素間的層級關係，並以結構化自我交互矩陣建立成對因素間的關係，作為設定要素層級

與有向圖之依據。Jiang et al. (2018)使用 ISM 和模糊分析網絡(FANP)來識別風險因素，並計算北極航運戰略聯盟的風險，可以強調應該關注的風險因素。而另一項研究也使用 ISM 方法來確定可持續生產系統的關鍵成功因素(CSF)(Kota, et al., 2021)。Menon and Ravi (2021)透過 ISM 研究電子行業供應鏈管理的問題。對於技術領域，ISM 通過新產品開發(NPD)整合來評估新產品的各種技術(Lee, Kang and Chang, 2011)。

再者，將 ISM 結合模糊理論(fuzzy set theory)的計算方式，能有效處理人類思想和表達決策的模糊性(Tseng, 2013)。這是由於人類主觀判斷的不確定性和偏見以及意識的缺乏，現實生活事件的視角可能會發生偏差(Lopez et al., 2021)。而模糊理論可以克服這些問題並提高決策者判斷的準確性(Bari et al., 2022; Karmaker et al., 2021)。模糊集合理論(fuzzy set theory)是由札德(L. A. Zadeh)於 1965 年提出，此理論強調人類之思考推理及對週遭事物之感知，均充滿相當之模糊性(Zadeh, 1965)。而且在不確定性與複雜性的影響之下，唯有同時考慮模糊性的特性，方能正確地衡量目標達成的狀況(Bellman and Zadeh, 1970)。模糊集理論在處理人類思想和表達決策的模糊性很有幫助(Tseng, 2013)。ISM 與模糊集的集成為決策者提供了靈活性，以進一步了解一個標準對另一個標準的影響程度，這在早期僅以二進制(0, 1)數字的形式存在(Khatwani, Singh, Trivedi, & Chauhan, 2015)。0 代表沒有影響，1 代表有影響。因此，無論影響程度如何，無論是低、高還是非常高，決策者都只能選擇 0 或 1。而 FISM 方法解決了這個問題，並提供更全面的靈活性，可以使用模糊數來表達影響性。在這方法中，不再僅是從二進制的角度來識別變量之間的關係，而是根據 0 和 1 之

間的數值範圍對連接進行排序，例如 0、0.1、0.3、0.5、0.7、0.9 和 1 等。模糊集理論擴展集合論的經典概念，並已廣泛用於解決現實生活中的模糊問題，由於該工具能夠評估從專家或調查參與者那裡獲得的主觀判斷，因此引起了從業者和學術界的廣泛關注。至於有關 FISM 技術的應用領域，例如 Tseng(2013)應用 FISM 來解決分析衡量可持續生產指標(SPI)，所提出的標準被分類為一個層次結構，並根據其驅動力 and 依賴力排列在圖表上的視覺象限中，如此透過圖示和層次結構可以協助管理人員進行與改善公司環境活動相關的戰略規劃。

Valmohammadi and Dashti (2016)也是應用 FISM 來識別和突顯這些電子商務阻礙之間的內在相互作用。以上說明 ISM 與 FISM 技術的多重面向應用，確實能釐清關鍵性屬性間的結構化關係，輔助設計者進行設計規劃，以利後續產品設計與發展。

8. 研究方法

ISM 是利用圖形理論(graph theory)與階層有向圖(hierarchical digraph)來描述分析目標屬性之次序邏輯關係，如此可將抽象化的屬性順序轉變為具體化與全面化的關聯構造階層圖，能有效釐清屬性間互相影響的關係(Jharkharia and Shankar 2004)。而加入模糊理論能提高結果的準確度(Kwong and Bai, 2002; Govindan, Diabat, and Madan Shankar, 2015)。

FISM 實施步驟如下：

3.1 建立相關矩陣

判別屬性 e_i 對 e_j 的影響情況。式(1)中 e_i 為第 i 個屬性， e_j 為第 j 個屬性， π_{ij} 為兩屬性間的相互關係。問卷調查表是採用模糊語意尺度如表 1 與圖 1 所示，且使用三角模糊數予以量化。解模糊化計算根據 Lee and Li (1988)，當三角模糊數 $\tilde{A}=(l, m, u)$

時，解模糊後之數值如式(2)。接著，利用取門檻值 ≥ 0.5 的方式，將解模糊化的數值(0~1)轉換為明晰值($\pi_{ij}=1$ 為有影響， $\pi_{ij}=0$ 為無影響)。

$$D = \begin{matrix} & e_1 & e_2 & \cdots & e_n \\ \begin{matrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & \pi_{12} & \cdots & \pi_{1n} \\ \pi_{21} & 0 & \cdots & \pi_{2n} \\ \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ \pi_{m1} & \pi_{m2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

$$DF = \frac{((u_i - l_i) + (m_i - l_i))}{3} \approx \frac{(l + m + u)}{3} \quad (2)$$

表 1. 問卷使用之模糊語意尺度。

語意	尺度
極高度重要	(0.75, 1.0, 1.0)
高度重要	(0.5, 0.75, 1.0)
中度重要	(0.25, 0.5, 0.75)
低度重要	(0, 0.25, 0.5)
極低度重要	(0, 0, 0.25)

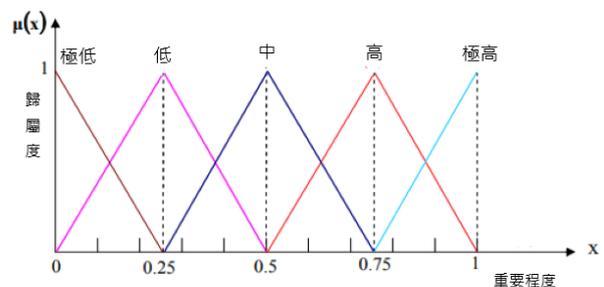


圖 1. 五個等級語意變數之隸屬函數圖。

3.2 計算關係矩陣

將相關矩陣 D 與單位矩陣 I 相加如式(3)。

$$M = D + I \quad (3)$$

3.3 文獻探討計算可達矩陣

利用式(4)及布林代數運算法，將關係矩陣 M 轉換成可達矩陣 M^* 。當達到收斂，便可求得可達矩陣 M^* 。

$$M^* = M^k = M^{k+1} \quad k > 1 \quad (4)$$

3.4 將可達矩陣 M^* 轉換為階層矩陣

在可達矩陣 M^* 中的第 i 項元素，以直向計算其關係值為 1 者抽出，即為可達集合 $R(t_i)$ ，如式(5)；而以橫向計算其關係矩陣值為 1 者抽出，即為先行集合 $A(t_i)$ ，如式(6)；最後，依照式(7)判斷出兩集合的交集，即可找出關係架構的核心屬性，並藉此核心屬性建立起屬性間的相關圖。

$$R(t_i) = \{e_j \mid m_{ji}^* = 1\} \quad (5)$$

$$A(t_i) = \{e_j \mid m_{ij}^* = 1\} \quad (6)$$

$$R(t_i) \cap A(t_i) = R(t_i) \quad (7)$$

3.5 繪製結構關係圖

計算每一橫列與直行之總合數值，並計算每一個設計屬性之成對資料(D+R, D-R)為 XY 軸數值來繪製結構關係圖，其中 D 為影響力之傳送者角色，R 為影響力之接收者角色，(D+R)為關連程度，(D-R)為影響程度。

9. 結果與討論

本研究以吹風機為例，提出需求分析方法的實用性。研究中所分析之產品需求屬性根據 Chen and Chiang(2011)的研究調查結果，採用的屬性分別為：風嘴輔助配件(A1)、人為溫度控制(A2)、自動恆溫(A3)、電磁波防護(A4)、易於收納(A5)、重量輕(A6)、款式的變化(A7)、顏色搭配(A8)、質感(A9)、

風量(A10)、噪音量(A11)、省電(A12)、節能標章(A13)、絕緣性佳(A14)、握柄易握防滑(A15)、機體過熱自動斷電(A16)、耐熱性佳(A17)、堅固耐用(A18)等 18 項。

接著，研究委請 4 位專家進行問卷調查，4 位專家分別為家電相關產業設計師 2 位(包含機構設計師與研發人員)與產品設計相關系所具有實務經驗教育者 2 位。問卷採取封閉式評分量表，使用表 1 之模糊語意尺度進行各自評分，而後針對屬性的模糊評估值加以整合並加上單位矩陣 I，再經由解模糊化計算如表 2，且依據布林代數運算方法與矩陣連續乘積，當關係矩陣(M)達收斂，即為可達矩陣 M^* (表 3)。而後根據可達矩陣 M^* (表 3)可定義設計屬性之可達集合 $R(t_i)$ 、先行集合 $A(t_i)$ 與強相關集合 $R \cap A$ ，可達矩陣中直行為可達集合，橫列為先行集合。

例如從表 3 中可得知當 A1 可直接或間接到達 A1、A5、A6、A7、A9、A10、A11、A12、A13、A15、A17、A18 等屬性；先行要素為 A1；而強相關集合結果顯示 A1 為強相關集合($R \cap A$)關係架構的核心屬性；當 A2 可直接或間接到達 A2、A3、A10、A11、A12、A13、A16、A17 等屬性；先行要素為 A2、A3、A16；而強相關集合結果顯示 A2、A3、A16 為強相關集合($R \cap A$)關係架構的核心屬性；當 A3 可直接或間接到達 A2、A3、A10、A11、A12、A13、A16、A17 等屬性；先行要素為 A2、A3、A16；而強相關集合結果顯示 A2、A3、A16 為強相關集合($R \cap A$)關係架構的核心屬性，以此類推整理 A1 至 A18 屬性之可達集合 $R(t_i)$ 、先行集合 $A(t_i)$ 與強相關集合 $R \cap A$ 如表 4 所示。

表 2. 解模糊化計算結果。

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
A1	1.00	0.08	0.08	0.08	0.63	0.71	0.52	0.19	0.19	0.71	0.63	0.25	0.19	0.13	0.08	0.19	0.19	0.25
A2	0.08	1.00	0.50	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.67	0.67	0.71	0.29	0.25	0.08	0.71	0.71	0.29
A3	0.08	0.46	1.00	0.19	0.08	0.19	0.19	0.08	0.19	0.67	0.25	0.71	0.71	0.25	0.08	0.71	0.46	0.29
A4	0.08	0.08	0.08	1.00	0.60	0.25	0.71	0.08	0.25	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.50	0.08	0.08	0.25
A5	0.08	0.08	0.08	0.08	1.00	0.08	0.46	0.08	0.25	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.71
A6	0.08	0.08	0.08	0.08	0.42	1.00	0.25	0.08	0.42	0.08	0.42	0.08	0.08	0.08	0.50	0.08	0.08	0.71
A7	0.08	0.25	0.08	0.08	0.71	0.63	1.00	0.50	0.71	0.42	0.42	0.08	0.08	0.08	0.67	0.08	0.08	0.71
A8	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.29	1.00	0.71	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
A9	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.42	0.29	0.46	1.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.19	0.08	0.08	0.60
A10	0.25	0.08	0.08	0.42	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	1.00	0.71	0.88	0.71	0.08	0.08	0.50	0.08	0.08
A11	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.25	0.08	0.08	0.25	1.00	0.08	0.50	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
A12	0.08	0.08	0.25	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.25	0.08	1.00	0.71	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
A13	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.25	0.29	0.25	1.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
A14	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	1.00	0.08	0.08	0.08	0.50
A15	0.08	0.08	0.08	0.08	0.58	0.63	0.79	0.19	0.63	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	1.00	0.08	0.08	0.67
A16	0.08	0.71	0.67	0.25	0.08	0.25	0.19	0.08	0.08	0.08	0.08	0.25	0.25	0.08	0.08	1.00	0.19	0.08
A17	0.42	0.42	0.42	0.08	0.08	0.50	0.08	0.08	0.08	0.42	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.50	1.00	0.50
A18	0.42	0.08	0.42	0.08	0.08	0.71	0.42	0.08	0.58	0.42	0.08	0.08	0.08	0.50	0.08	0.50	0.83	1.00

接著，根據 FISM 分析所得設計屬性的 D 值(驅動力)與 R 值(附屬力)，可繪製驅動與附屬力分析圖如圖 2 所示，將設計屬性進行分類管理(Mandal and Deshmukh, 1994)，區分類別特性如下：

- (1) 自主性要素(autonomous elements)：絕緣性佳(A14)屬於自主性要素。此類特點是附屬力 D 與驅動力 R 皆相當薄弱，自主性要素鮮少與其他要素有所互動。而顏色搭配(A8)介於自主性要素與驅動性要素之間，風量(A10)介於自主性要素與附屬性要素之間。
- (2) 附屬性要素(dependent elements)：這類的要素其特點在於其附屬力 R 相當強，但驅動力 D 則相當薄弱，往往會在屬性階層的最上端。重量輕(A6)、質感(A9)、噪音量(A11)、省電(A12)、節能標章(A13)、耐熱性佳(A17)、堅固耐用(A18)屬於附屬性要素。

- (3) 鏈結性要素(linkage elements)：18 項屬性中較少屬於此鏈結性要素，易於收納(A5)剛好在區隔的中間點，同時在階層的中間層，所以將易於收納(A5)歸類在鏈結性要素。此類特點在於驅動力 D 與附屬力 R 皆相當強，鏈結性要素與其他要素之互動最多，往往置於屬性階層的中間層。
- (4) 驅動性要素(driver elements)：風嘴輔助配件(A1)、人為溫度控制(A2)、自動恆溫(A3)、電磁波防護(A4)、款式的變化(A7)、握柄易握防滑(A15)、機體過熱自動斷電(A16)屬於驅動性要素。此類特點是驅動力 D 相當強，但附屬力 R 相當薄弱，具有很高的獨立性。因此，驅動性要素往往置於屬性階層的最下層，需要先被施行完成者。

表 3. 可達矩陣。

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	D	D+R	D-R
A1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	12.0	13	11
A2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	8.0	11	5
A3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	8.0	11	5
A4	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	8.0	9	7
A5	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5.0	10	0
A6	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4.0	13	-5
A7	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	7.0	11	3
A8	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5.0	6	4
A9	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4.0	13	-5
A10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4.0	9	-1
A11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.0	7	-5
A12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2.0	8	-4
A13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1.0	8	-6
A14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1.0	2	0
A15	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	7.0	11	3
A16	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	8.0	11	5
A17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1.0	14	-12
A18	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4.0	13	-5
R	1	3	3	1	5	9	4	1	9	5	6	6	7	1	4	3	13	9	5		

再者，繪製顧客需求之結構關係圖如圖 3 所示，為視覺化地詮釋所得之可到達矩陣，根據可到達矩陣中成對數值資料(R-C, R+C)(如表 3)繪製結構關係圖，以利釐清顧客需求之間的關係，也可了解每項屬性受支配或獨立的狀態，以及設計上的主要問題為風嘴輔助配件(A1)、人為溫度控制(A2)、自動恆溫(A3)、電磁波防護(A4)、款式的變化(A7)、顏色搭配(A8)、握柄易握防滑(A15)與機體過熱自動斷電(A16)，而重量輕(A6)、質感(A9)、風量(A10)、噪音量(A11)、省電(A12)、節能標章(A13)、耐熱性佳(A17)、堅固耐用(A18)為主要目標。此外，還可萃取出設計入口與設計出口。一般而言，設計入口之設計屬性與其他要素擁有最強之關係，相對的，設

計出口之屬性與其他屬性則擁有最弱之關係，因此，設計入口是設計程序中最優先需被考慮的屬性，設計出口則是設計程序中最後施行的對象。此外，獨立的屬性亦可被確認出來。分析結果顯示設計入口的屬性分別是人為溫度控制(A2)、自動恆溫(A3)、款式的變化(A7)、顏色搭配(A8)、握柄易握防滑(A15)、機體過熱自動斷電(A16)、風嘴輔助配件(A1)與電磁波防護(A4)等 8 個項目；設計出口的屬性分別是噪音量易於收納(A5)、重量輕(A6)、質感(A9)、風量(A10)、(A11)、省電(A12)、節能標章(A13)、絕緣性佳(A14)、耐熱性佳(A17)、堅固耐用(A18)等 10 個項目，獨立的設計屬性為絕緣性佳(A14)。分析結果顯示屬性間複雜的相依關係與分

類，可以藉由找到最初主要的屬性予以簡化，此外滿足這些根本的屬性的實現，將有助於最終屬性的達成。

最後，根據屬性之可達集合與先行集合，建立階層矩陣(Hierarchical matrix)完成屬性之層級與影響關係圖如圖 4 所示。根據強相關集合 $R \cap A$ 對應可達集合(表 4)中的單一選項主要有 A11、A13、A14 與 A17，此四項為設計出口，接著從可達集合中剔除上述四項後，再對應的單一選項則有 A6、A9、A12 與 A18，再來則是 A5、A8 與 A10，下一階層為 A2、A3、A7、A15 與 A16，最後的設計入口即為 A1 與 A4。從圖 3 中可知道人為溫度控制(A2)、自動恆溫(A3)、握柄易握防滑(A15)、機體過熱自動斷電(A16)、風嘴輔助配件(A1)與電磁波防護(A4)、款式的變化(A7)與顏色搭配(A8)都是設計的主要問題，而這些問題又可以從圖 4 的設計階層中，清楚知道可以先從主要問題的風嘴輔助配件(A1)與電磁波防護(A4)來去構思吹風機需不需要風嘴輔助配件來增強風力以及增加電磁波的需求與增設的方式。尤其

在目前吹風機產品中，一些基本規格例如風量、噪音量都無法再有新的突破之下，若先從這兩個問題點去思考，更是會影響後續的吹風機款式變化(A7)與風量(A10)的設計，而增加了風口部位的重量或長度，也需要考量握柄易握防滑(A15)等問題，而電磁波防護(A4)則是要再延伸考量增設在吹風機的部

位，也影響了款式變化(A7)與重量。再來就可以去思考第二階層人為溫度控制(A2)、自動恆溫(A3)、機體過熱自動斷電(A16)等問題。此外，上述這些項目也可以在圖 2 中看到是屬於驅動性要素，驅動性要素往往置於屬性階層的最下層，需要優先考慮。如此設計入口從 A1 與 A4 此處著手，在面對所有看似都是關鍵問題的時候，似乎可以從圖 4 結構圖中找出的設計入口問題。本階段畫分出屬性之層級與影響關係圖的目的是為了讓設計師面對複雜的問題時，可以利用詮釋結構模式，先將腦中較為籠統、主觀或是抽象化的資訊重新排列，轉換為關聯結構圖，幫助設計師有條理的進行設計。

表 4. 需求屬性之可達集合 $R(t_i)$ 與先行集合 $A(t_i)$ 。

屬性	可達集合 $R(C_i)$	先行集合 $A(C_i)$	強相關集合 $R \cap A$
A1	A1, A5, A6, A7, A9, A10, A11, A12, A13, A15, A17, A18	A1	A1
A2	A2, A3, A10, A11, A12, A13, A16, A17	A2, A3, A16	A2, A3, A16
A3	A2, A3, A10, A11, A12, A13, A16, A17	A2, A3, A16	A2, A3, A16
A4	A4, A5, A6, A7, A9, A15, A17, A18	A4	A4
A5	A5, A6, A9, A17, A18	A1, A4, A5, A7, A15	A5
A6	A6, A9, A17, A18	A1, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A15, A18	A6, A9, A18
A7	A5, A6, A7, A9, A15, A17, A18	A1, A4, A7, A15	A7, A15
A8	A6, A8, A9, A17, A18	A8	A8

A9	A6, A9, A17, A18	A1, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A15, A18	A6, A9, A18
A10	A10, A11, A12, A13	A1, A2, A3, A10, A16	A10
A11	A11	A1, A2, A3, A10, A11, A16	A11
A12	A12, A13	A1, A2, A3, A10, A12, A16	A12
A13	A13	A1, A2, A3, A10, A12, A13, A16	A13
A14	A14	A14	A14
A15	A5, A6, A7, A9, A15, A17, A18	A1, A4, A7, A15	A7, A15
A16	A2, A3, A10, A11, A12, A13, A16, A17	A2, A3, A16	A2, A3, A16
A17	A17	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A15, A16, A17, A18	A17
A18	A6, A9, A17, A18	A1, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A15, A18	A6, A9, A18

10. 結果

有效釐清設計屬性關係是發展產品成功的關鍵因素之一。在產品發展的初始階段中，如何有效攫取關鍵性的顧客需求屬性，並能釐清彼此間複雜的互依關係至為重要。本研究以吹風機設計為例，運用模糊理論結合 ISM 技術，其目的在於釐清需求間的相依關係與邏輯順序。藉此結構化的關聯圖與階層圖，協助設計者辨識確認設計入口、設計出口與獨立變數，以及依據需求屬性之

驅動力與附屬力，進行分類管理，可輔助設計者釐清獨立性或從屬性，並可辨識關鍵性的屬性，有助於說明屬性之間的組織次序性關係，以及整合個人意見、經驗、想法和動機對於將語言判斷轉化為模糊數字，有效處理人類思想和表達決策的模糊性。研究結果顯示 FISM 能有效協助設計者以整體性視覺化觀點理解設計屬性。本研究雖以吹風機作為施行案例，所提出之模式亦可應用於其他產品設計程序，以作為釐清屬性關係之設計策略。

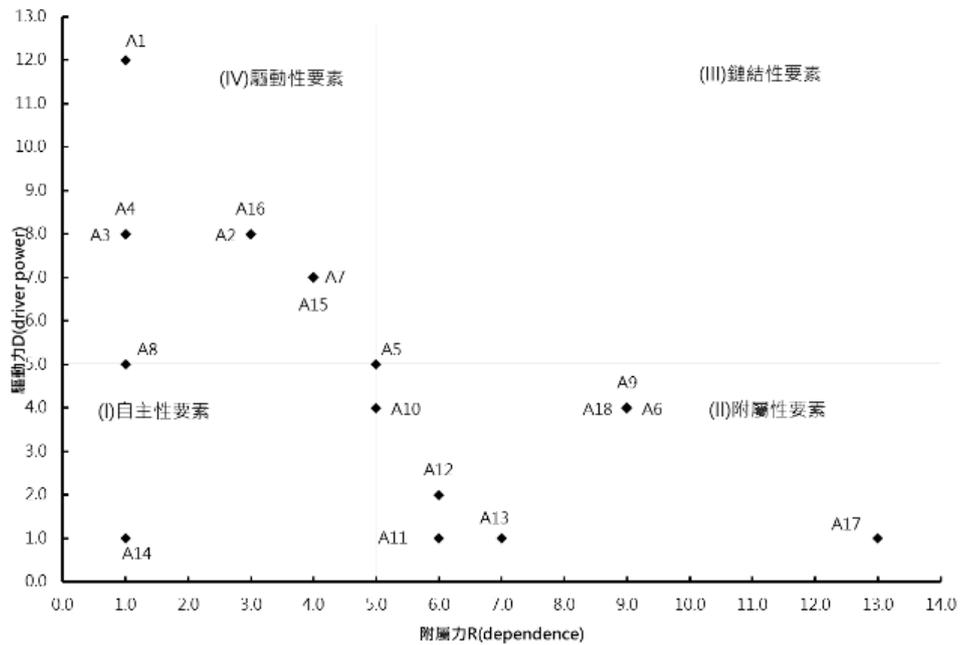


圖 2. 驅動與附屬力分析圖。

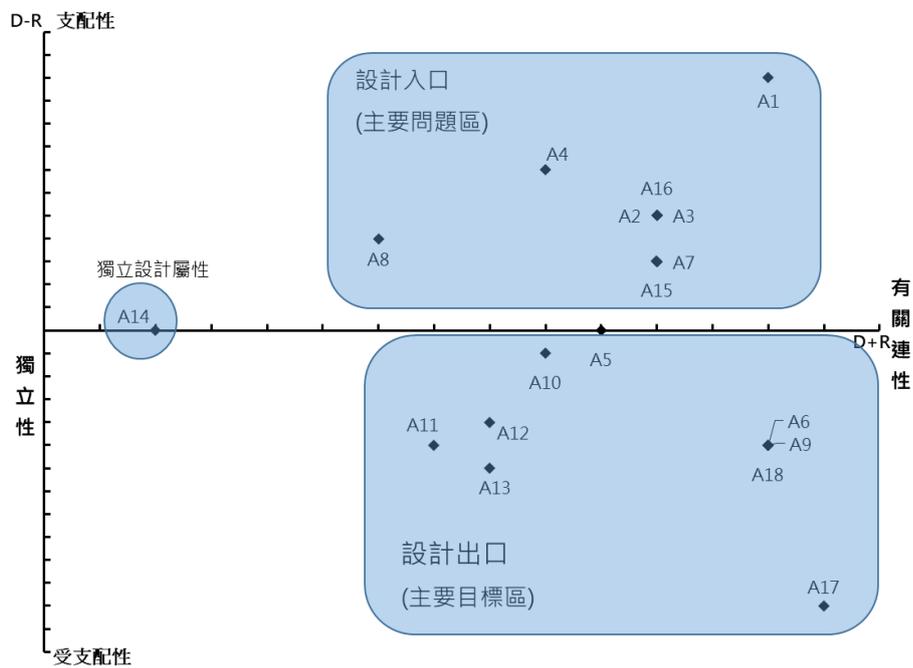


圖 3. 從可到達矩陣衍生之結構化關係圖。

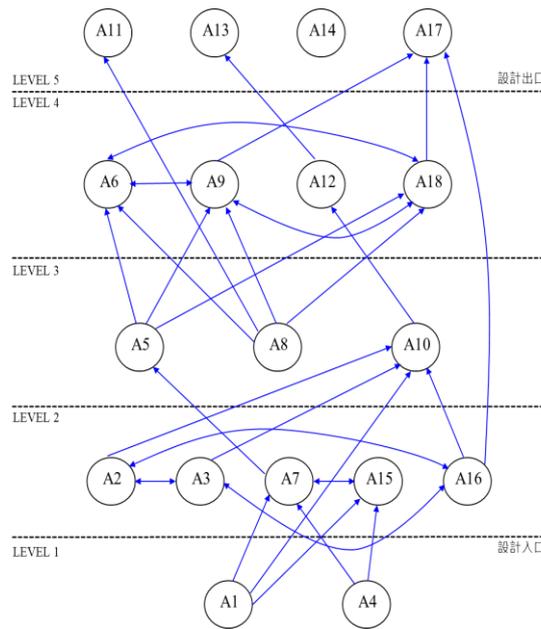


圖 4. 屬性之層級與影響關係圖。

References

Abuzeinab, A., Arif, M., & Qadri, M.A. (2017).

Barriers to MNEs green business models in the UK construction sector: an ISM analysis, *Journal of Cleaner Production*, 160, 27-37.

Bellman, R., & Zadeh, L. A. (1970). Decision making in a fuzzy environment, *Management Science*, 17(4), 141-164.

Bouzon, M., Govindan, K., & Rodriguez, C.M.T. (2015). Reducing the extraction of minerals: reverse logistics in the machinery manufacturing industry sector in Brazil using ISM approach, *Resources Policy*, 46, 27-36.

Chen, S. P., & Wu, W. Y. (2010). A systematic procedure to evaluate an automobile manufacturer distributor partnership, *European Journal of Operational Research*, 205, 687-698.

Chen, W. L., & Chiang, Y. M. (2011). A study on innovative product design model using patent

information, *Journal of Design Science*, 14(2), 1-22.

Govindan, K., Diabat, A., & Madan Shankar, K. (2015). Analyzing the drivers of green manufacturing with fuzzy approach, *Journal of Cleaner Production*, 96, 182-193.

Griffin, H., & Hauser, J.R. (1993). The voice of the customer, *Marketing Science*, 12(1), 1-27.

Jharkharia, S., & Shankar, R. (2004). IT enablement of supply chains: modeling the enablers, *International Journal of Productivity and Performance Management*, 53(8), 700-712.

Jiang, X., Fan, H., Zhang, Y., & Yuan, Z. (2018). Using interpretive structural modeling and fuzzy analytic network process to identify and allocate risks in Arctic shipping strategic alliance, *Polar Science*, 17, 83-93.

Jiao, J., & Chen, C. H. (2006). Customer requirement management in product development: a review of

- research issues, *Concurrent Engineering*, 14(3), 173-185.
- Karmaker, C. L., Ahmed, T., Ahmed, S., Mithun Ali, S., Moktadir, Md. A., & Kabir, G. (2021). Improving supply chain sustainability in the context of COVID-19 pandemic in an emerging economy: Exploring drivers using an integrated model, *Sustainable Production and Consumption*, 26, 411-427.
- Khatwani, G., Singh, S.P., Trivedi, A., & Chauhan, A. (2015). Fuzzy-TISM: A fuzzy extension of TISM for group decision making, *Global Journal of Flexible Systems Management*, 16 (1), 97-112.
- Kota, S., Mishra, R. P, Jasti, N. V. K., & Kale, S. (2021). Sustainable production system critical success factors: an interpretive structural modeling approach, *Procedia CIRP*, 98, 324-329.
- Kwong, C. K., & Bai, H. (2002). A fuzzy AHP approach to the determination of importance weights of customer requirements in quality function deployment, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13(5), 367-377.
- Lee, A.H., Kang, H.Y., & Chang, C.C. (2011). An integrated interpretive structural modeling fuzzy analytic network process benefits, opportunities, costs and risks model for selecting technologies, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 10 (05), 843-871.
- Mandal, A., & Deshmukh, S. G. (1994). Vendor selection using interpretive structural modelling (ISM), *International Journal of Operations & Production Management*, 14(6), 52-59.
- Myrodia, A., Kristjansdottir, K., & Hvam, L. (2017). Impact of product configuration systems on product profitability and costing accuracy, *Computers in Industry*, 88, 12-18.
- Narayanan, A.E., Sridharan, R. & Ram Kumar, P.N. (2019). Analyzing the interactions among barriers of sustainable supply chain management practices: A case study, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(6), 937-971.
- Panigrahi, S.S., & Sahu, B. (2018). Analysis of interactions among the enablers of green supply chain management using interpretive structural modeling: an Indian perspective, *Inter-national Journal of Comparative Management*, 1 (4), 377-399.
- Raut, R., Gardas, B.B., & Narkhede, B. (2019). Ranking the barriers of sustainable textile and apparel supply chains: an interpretive structural modeling methodology, *Benchmarking: An International Journal*, 26 (2), 371-394.
- Ravi, V., & Shankar, R. (2005). Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics, *Technological Forecasting & Social Change*, 72, 1011-1029.
- Senecal, S., Kalczynski, P. J., & Nantel, J. (2005). Consumer decision-making process and their online shopping behavior: A click stream analysis, *Journal of Business Research*, 58(11), 1599-1608.
- Tseng, M. L. (2013). Modeling sustainable production indicators with linguistic preferences, *Journal of Cleaner Production*, 40, 46-56.
- Valmohammadi, C., & Dashti, S. (2016). Using interpretive structural modeling and fuzzy analytical process to identify and prioritize the interactive barriers of e-commerce

- implementation, *Information & Management*, 53 (2), 157-168.
- Violante, M. G., & Vezzetti, E. (2014). A methodology for supporting requirement management tools (RMt) design in the PLM scenario: A user-based strategy, *Computers in Industry*, 65(7), 1065-1075.
- Warfield, J. N. (1976). *Societal Systems: Planning, Policy and Complexity*, Wiley Publishers, NY, 1976.
- Warfield, J. N. (1982). Interpretive Structural Modeling (Chapter 5). In S. A. Olsen (Ed.), *Group Planning and Problem Solving Methods in Engineering* (pp.155-201) (pp.408-411).
- Wu, W.W. (2008). Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach, *Expert Systems with Applications*, 35 (3), 828-835.
- You, N., Kato, Y., & Kitaoka, M. (1994). Numerous date in hierarchy for knowledge concentrated in decision tree, *Computers & Industrial Engineering*, 27(1-4), 535-538.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zayed, E.O. & Yaseen, E.A. (2021). Barriers to sustainable supply chain management implementation in Egyptian industries: an interpretive structural modeling (ISM) approach, *Management of Environmental Quality*, 32 (6), 1192-1209.

作者簡介

江雅媚博士畢業於國立成功大學工業設計學系。目前任教於樹德科技大學動畫與遊戲設計系助理教授。研究領域包括設計策略與企劃、互動與介面設計、場景與角色設計、工業設計與感性認知、創意設計方法。

陳文亮博士畢業於國立台灣大學機械工程學系。目前任教於樹德科技大學生活產品設計系副教授。研究領域包括創新設計與管理、系統化設計思維、設計方法、關懷設計、人因設計、電腦輔助設計等。