

東 海 大 學

工業設計學系碩士班

碩士論文

模組化模糊分類在產品開發之研究

-以自行車內變速器為例

Modular Fuzzy Sorting in Product Development

- Case Study in the Multi-Speed Drive Hub for Bicycles

研 究 生：蕭惠華

指 導 教 授：王中行

中 華 民 國 九 十 八 年 六 月

誌 謝

碩士班的生涯，比想像中的還要短，慕然回首還常常以為自己剛入學，求學期間要感謝的人太多了，第一個要感謝指導教授 王中行教授的指導，老師對學術專業的堅持、對論文的要求，在在讓學生印象深刻，也深深了解到身為研究生該有素養，及自我要求的重要性。感謝口試委員 蕭世文教授、陳維隆教授、林均燁教授及郭炳宏教授在口試期間的指教，讓學生受益良多，在此致上個人最深的謝意。

感謝家人一路的支持，還有摯友在學習期間的協助鼓勵。謝謝學長、姐 張晟、麗恩、依倫，和同屆的好同學永鴻、阿寬(彥寬)、仁傑及雅惠在學期間的各方面的幫助和鼓勵，特別是永鴻和阿寬是我麻煩最多的人；另外亦感謝組上的學弟、妹 泰華、陳璽和靜如在論文撰寫期間的意見提供和協助，及讓我享受到當學姊的樂趣。感謝系秘書 解小姐和系助理 李穎勳小姐在學業事務上的協助。衷心感謝曾經幫助過我的所有人，因為你們讓我得以向前邁進。

最後我要感謝 主，感謝聖靈與我同在，並親自做工，願一切榮耀歸於 主。

中文摘要

模組化是使用共通元件創造產品多樣性的策略或方法，當產品要運用模組化概念開發時，必須完整考慮到產品的設計、組裝和製造，整個模組化過程中，最重要的部分就是產品零件的分類，現有的分類技術，僅止於零件的編碼，而並不考量零件間的關聯性與組裝，本研究以結合模糊邏輯的概念於產品的分類，提出模糊詮釋結構模式和模糊聚類分析兩種分類的技術，以更適合產品模組化之規劃與應用。

模糊詮釋結構模式為詮釋結構模式與模糊綜合評價之結合運用，比原先的方式更能清楚知道產品零件的重要順位。模糊聚類分析則分別以零件連結強度關係值定義產品關係，及模糊語意考量產品零件連結的強度，並經解模糊化後實際定義產品關係，此兩種方法操作零件分類，兩方法皆達成將原本模糊聚類分析之 4 個操作步驟簡化為 2 步驟，使設計分類更容易快速。

本研究具體達成以下目標：

1. 本研究是以內變速器為案例驗證對象，具體達成模糊理論應用於產品零件之模組化分類。
2. 重新建構模糊詮釋結構模式及模糊聚類分析的操作步驟，以更適合在產品零件的模組化設計規劃應用中。
3. 考量零件分類中的零件關連強度值。

關鍵詞：模組化、模糊分類、模糊綜合評價、詮釋結構模式、模糊聚類分析、內變速器。

ABSTRACT

This research emphasizes on the decomposition analysis. In developing modular design, and replanning the two techniques, the fuzzy interpretive structural model (FISM) and the fuzzy clustering analysis (FCA) in sorting. The fuzzy interpretive structural model combines the interpretive structural model and the fuzzy synthetic evaluation, is more useful in deciding the priority of components in production than other methods. By using fuzzy clustering analysis, the relationship between the assessed value of parts indicates the strength of connection between components. It simplifies four stages to two stages, and makes sort designing easier.

The research objects addressed in this paper include :

1. This research takes the multi-speed drive hub for example to verify the application of fuzzy theory in product modular design.
2. Re-construct Fuzzy Interpretive Structural Model and fuzzy clustering analysis of steps to a more suitable parts of the modular product design and planning applications.
3. Parts classification considerations related to Link strength of Parts .

Keywords: Interpretive Structural Model, Fuzzy Synthesized Evaluation, Fuzzy Clustering Analysis, Fuzzy Sorting

目錄

| | |
|-----------------------|------|
| 誌謝..... | I |
| 中文摘要..... | II |
| ABSTRACT..... | III |
| 目錄..... | IV |
| 圖目錄..... | VI |
| 表目錄..... | VIII |
| 第一章 前言..... | 1 |
| 1-1 研究動機..... | 1 |
| 1-2 研究目的..... | 4 |
| 1-3 研究流程..... | 5 |
| 1-4 本文架構..... | 7 |
| 第二章 文獻探討..... | 8 |
| 2-1 模組化設計..... | 8 |
| 2-1-1 模組化的類型..... | 8 |
| 2-1-2 產品模組化型態..... | 11 |
| 2-1-3 模組化系統分類..... | 15 |
| 2-1-4 模組化設計流程..... | 16 |
| 2-1-5 目前的相關研究..... | 20 |
| 2-2 模糊理論..... | 24 |
| 2-2-1 模糊綜合評價..... | 34 |
| 2-2-2 模糊聚類分析..... | 34 |
| 2-3 詮釋結構模式..... | 35 |
| 2-4 文獻總結..... | 36 |
| 第三章 模糊詮釋結構模式..... | 37 |
| 3-1 詮釋結構模式概念..... | 37 |
| 3-2 模糊綜合評價操作..... | 44 |
| 3-2-1 模糊綜合評價範例說明..... | 46 |
| 3-3 模糊詮釋結構模式操作..... | 47 |
| 第四章 模糊聚類分析..... | 50 |
| 4-1 模糊聚類分析操作..... | 50 |
| 4-2 改良之模糊聚類分析操作..... | 61 |

| | |
|--|------------|
| 4-3 模糊聚類分析和改良之模糊聚類分析比較 | 62 |
| 第五章 案例驗證 | 64 |
| 5-1 內變速器之功能結構分析 | 67 |
| 5-2 內變速器之模糊詮釋結構模式 | 75 |
| (1)內變速器詮釋結構模式 | 75 |
| (2)內變速器各零件之模糊綜合評價 | 82 |
| (3)內變速器之模糊詮釋結構模式 | 87 |
| 5-3 內變速器之模糊聚類分析 | 89 |
| (1)一般之零件連結強度關係值 | 89 |
| (2) 模糊語意零件連結強度關係 | 94 |
| 5-4 結果討論 | 98 |
| 第六章 結論與建議 | 100 |
| 6-1 結論 | 100 |
| 6-2 後續研究建議與展望 | 101 |
| 參考文獻 | 103 |
| 附錄一 內變速器 <i>UV</i> 關係矩陣網路線上填表畫面 | 109 |
| 附錄二 內變速器填表統計結果及各零件之 <i>UV</i> 評價矩陣 | 111 |

圖目錄

| | |
|--------------------------------------|----|
| 圖 1 研究流程圖..... | 6 |
| 圖 2 功能和模組類型..... | 10 |
| 圖 3 零組件共用式模組化..... | 11 |
| 圖 4 零組件置換式模組化..... | 12 |
| 圖 5 切割以適配式模組化..... | 12 |
| 圖 6 模組匯流排模組式..... | 13 |
| 圖 7 模組化設計..... | 17 |
| 圖 8 功能-結構圖..... | 18 |
| 圖 9 系統階級說明..... | 19 |
| 圖 10 模糊集合和明確集合矩陣比較..... | 25 |
| 圖 11 模糊集合和明確集合圖形表示比較..... | 26 |
| 圖 12 KAUFMANN 提出之模糊集合和明確集合圖形案例..... | 27 |
| 圖 13 模糊數條件說明..... | 28 |
| 圖 14 模糊數文字及圖形表示..... | 28 |
| 圖 15 模糊語意之圖形表達..... | 29 |
| 圖 16 重心法概念圖示..... | 30 |
| 圖 17 中心平均值解模糊化法概念圖示..... | 31 |
| 圖 18 最大值平均值法概念圖示..... | 31 |
| 圖 19 模糊關係之最大-最小合成運算圖示..... | 33 |
| 圖 20 模糊綜合評價運算概念圖示..... | 45 |
| 圖 21 影響因子的相關架構及權重概念圖示..... | 46 |
| 圖 22 電腦輔助計算之模糊關係-最大最小合成法..... | 47 |
| 圖 23 模糊詮釋結構模式概念圖示..... | 48 |
| 圖 24 截矩陣聚類圖..... | 57 |
| 圖 25 一般法- $\lambda = 0.8$ 路徑圖..... | 59 |
| 圖 26 一般法- $\lambda = 0.6$ 聚類圖..... | 59 |
| 圖 27 $R_{0.6}$ 編網圖..... | 60 |
| 圖 28 照片相貌相像程度最大樹圖..... | 61 |
| 圖 29 權重小於 $\lambda = 0.6$ 的最大樹圖..... | 61 |
| 圖 30 自行車系統圖..... | 64 |
| 圖 31 自行車變速系統機構圖示..... | 65 |
| 圖 32 一般內變速器示意圖..... | 65 |
| 圖 33 自行車內變速器系統組成圖..... | 66 |
| 圖 34 變速機構變速示意圖..... | 67 |
| 圖 35 SG-3S40 內三速變速器..... | 68 |
| 圖 36 SG-3S40 內三速變速器爆炸圖及實體圖示..... | 68 |

| | |
|--|----|
| 圖 37 DRIVER UNIT 驅動單位 | 70 |
| 圖 38 換檔滑套 | 71 |
| 圖 39 零件編號 6- AXLE UNIT 車軸細部說明圖示..... | 71 |
| 圖 40 RING GEAR UNIT 外驅動套 | 72 |
| 圖 41 變速控制裝置 | 72 |
| 圖 42 變速推桿裝置位置概念圖示 US5182962A1 | 73 |
| 圖 43 變速推桿控制裝置作動圖示 4179953 | 73 |
| 圖 44 變速控制裝置影響換檔滑套作動圖示 | 74 |
| 圖 45 零件編號 3- CARRIER UNIT 組裝好的行星齒輪座及分解圖 | 74 |
| 圖 46 零件編號 1-HUB | 75 |
| 圖 47 內三變速器零件爆炸圖 | 76 |
| 圖 48 初步拆解零件關聯圖 | 76 |
| 圖 49 電腦輔助計算鄰接矩陣..... | 78 |
| 圖 50 電腦輔助計算可達矩陣..... | 79 |
| 圖 51 電腦輔助計算詮釋結構模式結果..... | 80 |
| 圖 52 內變速器零件階層圖 | 81 |
| 圖 53 內變速器 UV 關係矩陣網路線上填表資料畫面 | 83 |
| 圖 54 電腦輔助計算零件 1 之模糊綜合評價矩陣..... | 84 |
| 圖 55 內變速器之模糊詮釋結構模式圖示 | 87 |
| 圖 56 內變速器模糊聚類分析最大樹圖-強弱關係值 | 93 |
| 圖 57 權重小於 $\lambda = 0.537$ 的最大樹圖..... | 94 |
| 圖 58 內變速器模糊聚類分析最大樹圖-模糊語意 | 97 |
| 圖 59 權重小於 $\lambda = 2.238$ 的最大樹圖 | 97 |

表目錄

| | |
|---|----|
| 表 1 決策方式比較 | 3 |
| 表 2 顧客需求和產品特徵間模糊語意對應之三角形模糊數..... | 29 |
| 表 3 可達集合和先行集合關係表 | 41 |
| 表 4 可達集合和先行集合比對 $R \cap A$ 確認階層一 | 41 |
| 表 5 可達集合和先行集合比對 $R \cap A$ 確認階層二 | 42 |
| 表 6 可達集合和先行集合比對 $R \cap A$ 確認階層三 | 42 |
| 表 7 可達集合和先行集合比對 $R \cap A$ 確認階層四..... | 43 |
| 表 8 ISM 和本研究改良之 FISM 比較..... | 49 |
| 表 9 照片相貌相像程度相似關係矩陣表 | 58 |
| 表 10 模糊聚類分析和本研究改良之模糊聚類分析比較..... | 63 |
| 表 11 內變速器零件矩陣關係表 | 77 |
| 表 12 內變速器設計需求影響因子及其權重 | 82 |
| 表 13 內變速器各零件之模糊綜合評價分數..... | 86 |
| 表 14 零件連結強度關係值..... | 90 |
| 表 15 內變速器零件連結關係之模糊數值表 | 92 |
| 表 16 內變速器零件模糊等價關係矩陣 | 93 |
| 表 17 模糊語意零件連結強度關係值..... | 94 |
| 表 18 內變速器零件連結關係之模糊語意關係表 | 96 |
| 表 19 內變速器零件連結強度關係模糊語意轉明確值關係表..... | 97 |
| 表 20 本研究改良之 FISM 方法與模糊聚類分析比較表..... | 99 |

第一章 前言

科技的演進使諸多技術門檻降低，且顧客需求抬頭，因此整個商業模式以客戶需求引領產業走向已是必然的趨勢。以顧客為先，但要如何滿足顧客需求，又可以在滿足之餘還能降低生產成本，這是兩個彼此相互矛盾的設計需求，卻又是矛盾到無法捨其一的抉擇，基於產品的變異性及彈性，衍生了目前的模組化設計概念。

模組化設計（Modular Design）主要精神就是要把產品轉化成數種可以自由變化組裝的零件，這些零件是獨立、標準化，卻又可以相互交換變化組裝出不同功能產品。模組化設計中獨立及標準化的設計可以保留大量生產降低成本的優勢，但相互變化組裝方式，又可以滿足各別客戶需求，是一個精細的產品設計規劃流程。

複雜的產品再進行模組化設計時有三個重要的階段，分別是零件結構的分類分析、產品本身的分析和製造流程分析，其中的分類分析的關鍵重點在於將產品深入進行結構分解及分類技術的規劃，本研究的研究重心是著重在前端的分類分析部分，並嘗試導入模糊理論之模糊綜合評價及零件連結強度關係的概念，重新建構模糊詮釋結構模式（Fuzzy Interpretive Structural Modeling；FISM）和模糊聚類分析（Fuzzy Clustering Analysis）兩種分類的技術，以更加適合於產品模組化設計規劃用。

1-1 研究動機

過去產業界生產只著重在大量生產、大量製造，消費者因為物質匱乏，對於產品需求只要求有，細節就不在乎了，但是現在的產業，

消費者意識抬頭，而且更加注重個人品味，因此如何讓消費者使用的產品中能夠擁有個人特色，對業者來說反倒是一個重要的競爭優勢，但是如何兼顧生產成本及客製化設計 (Customized Design)，卻是另一種不一樣的挑戰，也因此模組化設計的概念被引入製造、生產和設計中，由某一個角度來看，這樣的設計概念就像是對生產兼顧銷售的保證，因為模組化設計的概念被產業界重視，相對於它的設計及搭配的設計方法也不斷的被嘗試、更新和建構，不管是最開始的概念設計階段，或是設計過程中的細部規劃等，產學界都再而三的嘗試新方法，比如在零件分類時有學者使用設計結構矩陣(Design Structure Matrix, DSM) (吳建南，2007)、基因演算法 (Tseng, 2008)或是斐氏網路(Petri Net) (李佩華，2004) …等方式，在各項研究的案例中當然也都證明了它們搭配應用上的優勢。

產品模組化設計的前端部分，「分類」是一個重要的概念，由相關文獻可以知道「分類」的概念不只是讓複雜問題簡單化，還可以做為決策的參考依據，從相關應用及對理論的瞭解，我們清楚知道，這些理論，包括 ISM 的決策概念都是在單一絕對的 0 和 1 間抉擇，但是在了解模組化設計、零件設計或是者產品設計過程中知道，設計的細節裡所產生的各項有意義的評估點，都是不容忽視的，而這些評估常會落入 0 至 1 間的抉擇點，以致於被忽視，所以絕對 0 或 1 的決策分析方式對於複雜的人類思維來說，會有許多不客觀、不夠接近實際的思維狀況，因為不夠接近現實，過程中有可能是不客觀的，因此本研究針對模組化設計規劃建構一個新的分類方法，即能兼具理性的階層思維方式，又能顧及感性的人類思維評估。

現存的分類理論及優先排序概念的理論，本研究分別依明確集合與模糊集合、價值或是效用為基礎和重要順序為基礎的概念，並依據

Lahdelma et al. (2000)的定義分析瞭解得到表 1，並考量現有技術較少被使用的理論，經挑選後決定針對詮釋結構模式、模糊聚類分析及模糊綜合評價等理論進行操作流程改良，以更適合目前的產品模組化分類規劃之用，本研究要結合的決策、分類概念不只是模擬人類思考，還希望決策、分類方式可以兼具效用及優勢排序，希望透過這樣的改良讓原本的設計規劃能夠更完善。

表 1 決策分類方式比較

| 決策概念 | 價值或效用為基礎的決策 | 重要順序為基礎的決策 |
|------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 定 義 | 可以將複雜問題簡單化表現，比如階層或是問題分類，方便決策者思考稱之。 | 計算各問題權重，透過權重比較訂出重要性順序。 |
| 明確集合為基礎的分類 | 設計結構矩陣、詮釋結構模式、層級分析法、多屬性效用理論、隨機多目標分析法 | 理想解類似度偏好順序評估法、灰色系統理論、折衷排序法 |
| 模糊集合為基礎的分類 | 模糊層級分析程序、模糊聚類分析、模糊多目標線性規劃模式… | 模糊綜合評價、模糊積分技術、… |

本研究在案例驗證將以自行車內變速器為例。台灣的自行車族群已由過去的通勤目的，漸漸轉向為運動與休閒為主，這類的族群相較於一般將自行車視為通勤工具的族群，更加要求客製化的個人風格，相對也比較願意付出一定價位的金錢購買產品，且經常使用的自行車，內變速系統約半年至一年就需要做一次保養，因此本研究認為零組件本身的模組化設計有其必要性，而內變速器目前的研究多是針對零件發展過程、組成機構和作動原理，近幾年則更深入針對多速內變速器及分流式內變速器進行研究，但是相關於模組化設計規劃方面則未有相關文獻，因此本研究嘗試以自行車內變速器作為模組化設計規

劃之案例。

1-2 研究目的

詮釋結構模式和模糊聚類分析的產品分類分析結果各有優劣，詮釋結構模式的分類分析結果中可以清楚看到產品零件的關係階級分類；模糊聚類分析是使用一定的公式轉換出零件間空間距離的概念，透過距離的關係遠近將重要度相近的零件整合分類，模糊聚類分析的分類方式可以以傳統的樹狀圖表示，或是座標聚落的方式呈現，目前無具體使用於產品規劃之用。這兩個理論本研究認為都有其不足之處，因此將重新規劃其操作方式，並達到的目標有以下四點：

1. 模糊聚類分析中考量零件連結強度關係，使其更適合用於產品模組化設計規劃。模糊聚類分析的概念一般都用於統計的資料分析，但是其分類的屬性很適合用於產品模組化設計分類用，但是操作方式需要做適當的改良。
2. 結合模糊理論中之模糊綜合評價於詮釋結構模式中，綜合其決策優點作為產品設計規劃用。原本的詮釋結構模式可以瞭解到零件的分類狀況，但是無法知道族群中的重要順序及屬性，因此本研究建構詮釋結構模式時，將結合模糊綜合評價的優先順序的概念於其中。
3. 建立模糊聚類分析與模糊綜合評價於詮釋結構模式之重要 Matlab 程式碼，以利後續研究的發展應用。
4. 最後內變速器為案例，完成模組化設計分類。

1-3 研究流程

本研究探討的是產品模組化設計規劃前端的零件分類的概念，針對目前現有的理論做改良以更適合產品設計規劃之用。本研究挑選的兩個分類理論-詮釋結構模式是原本的運算方式較複雜，模糊聚類分析則是運用方式尚不成熟，因此不易使用於模組化設計，但是兩者都有分類上的優勢，另外實際現實世界對於事物 0 至 1 的考量、不明確的思考方式，讓本研究認為有必要結合模糊理論的概念於其中，以利設計者於設計規劃時，過程能更接近實際的思考模式。

為了能夠更明確改良現有方法，並針對模組化設計、模糊理論及詮釋結構模式等相關理論、方法深入探討，研究上的兩個重要目標是：

1. 原本的詮釋結構模式單考量零件間 0 和 1 的關係結合，但是忽略了零件設計過程的影響因子，以致無法清楚知道零件間的重要順位，且原本的呈現方式只能知道零件的總數，但無法知道屬性，在規劃上需要強記零件編號及屬性，所以考量模糊綜合評價及圖形表示方式是重要方向。
2. 模糊聚類分析常常被使用在統計資料分析，其屬性操作容易且分類的概念很適合用於產品模組化設計前端的分類分析，但是需要加以改良，因此後續將考量模糊綜合評價及零件連結強度關係，建構更適合於分類上的概念方式。

以上目標的達成是為了讓設計者於未來的產品設計規劃時能夠有更多元、容易的選擇。詳細的研究流程如圖 1。

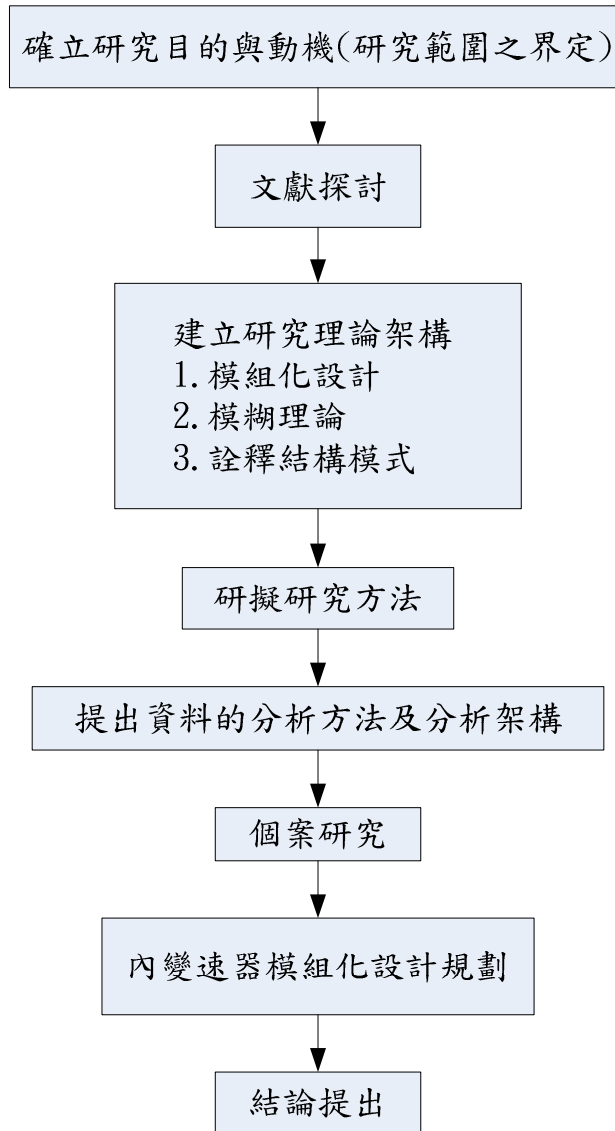


圖 1 研究流程圖

1-4 本文架構

本論文共分為五章，概要簡述如下：

第一章 前言

說明本論文研究的動機與目的，並簡述研究流程。

第二章 文獻探討

介紹論文相關的理論應用，包括模組化設計、模糊理論的基本概念 — 模糊綜合評價及模糊聚類分析、詮釋結構模式的相關方法及應用狀況。

第三章 模糊詮釋結構模式

研究方法，本研究集合模糊理論之模糊綜合評價及詮釋結構模式間的優點為模糊詮釋結構模式，其個別理論及整合方法說明。

第四章 模糊聚類分析

研究方法之模糊聚類分析，本研究整合模糊綜合評價及零件連結強度關係於其中，其個別理論及整合方法說明。

第五章 案例驗證

經由案例的實際探討用以說明本研究所提供模式的可行性。

第六章 結論與建議

說明本研究提供之方法對產品設計概念的方案評估上的貢獻與未來可行的研究方向。

第二章 文獻探討

為了更深入了解產品前端的分類分析規劃方式，及深入瞭解相關的應用方式，因此我們針對以下三點文獻進行探討：1.模組化設計;2.模糊理論;3.詮釋結構模式。

2-1 模組化設計

透過生產線的模組化設計規劃，可以讓複雜的設計過程中彼此間可以有更簡單的方式相互連結，這簡單的模組化設計模型可以刺激和分析發展的過程，同時縮短產品週期，並且降低設計費用。

2-1-1 模組化的類型

模組化的概念可運用的範圍很廣，可以同時使用在以下三個範圍內，包括產品模組化、設計問題模組化和產品系統模組化，此三個範圍的解釋意義如下（[Kamrani, 2002](#)）：

1.產品模組化（Modular products）

產品模組化是指產品透過組合或是模組產生各式各樣的功能，而這個功能又可以被拆成不同的模組或是擁有附屬功能的零件。模組化產品有一個基本的核心單元可以和不同的模組搭配，使得相同的模組卻能搭配出不同的產品。

2.設計問題模組化（Modularity in design problems）

大部分的設計問題都可以被分解成容易管理或是更簡單的子問題，有時候複雜問題被分解成簡單的子問題後，其中一個子問題微小的改變，也許就能引領其他的子問題找到解決辦法。設計問題模組化

是專注在將問題分解成功能獨立的子問題，把其中相互依賴的子問題降到最低。

3.生產系統模組化(Modularity in Production Systems)

生產系統模組化的目標是從標準的模組化機械中建造生產系統，為了建造一個模組化的生產系統，生產機械必須先依照功能分類成不同的模組，一個模組化的生產系統可以應不同的生產需求做出不同的反應。生產系統模組化之後，所有的生產流程就不需要全部保留在同一公司，把生產流程進行模組分解後，將分解的部份外包給其他公司，或是直接到市場上購買所需要的模組就可以了，這樣公司本身可以把精神專注在某一個模組的專業技術發展上，而不用花太多心血在產品的生產流程上。

Kamrani (2002)表示模組化的系統是由獨立的單位或是模組所建立而成，模組中有兩個主要的模組：功能模組（Function modules）和生產模組（Production modules）。

1.功能模組：被設計成獨立的功能或是可以和其他模組一起組成完整的機械功能。

2.生產模組：是基於生產的考量單獨設計的模組。

功能模組在模組化的系統中會因為不同的功能再被分類成不同的模組，這些模組分別為：基本功能（Basic function）、輔助功能（Auxiliary functions）、特殊功能(Special functions)、適應功能(Adaptive functions)和客戶特殊功能(Customer-specific functions)，

Kamrani(2002)進一步說明如下：（圖 2， **Kamrani, 2002**，及本研究整理）

(1)基本功能：

指產品中最基本、重複的或是不可或缺的部份，是產品中基本不變的部份。

(2) 輔助功能：

指產品的組裝及連接所需要的功能。

(3) 特殊功能：

特定系列產品中特殊的、使產品更加完善或是讓功能可以擴張的部份。

(4) 適應功能：

為用戶特別指定的或是與系列產品連接的部份稱之。

(5) 客戶特殊功能：

這部份的功能是由沒有模組化的系統所提供，是被單獨設計出來的，如果要被使用，可以結合在模組裡或是在非模組的混合系統中。

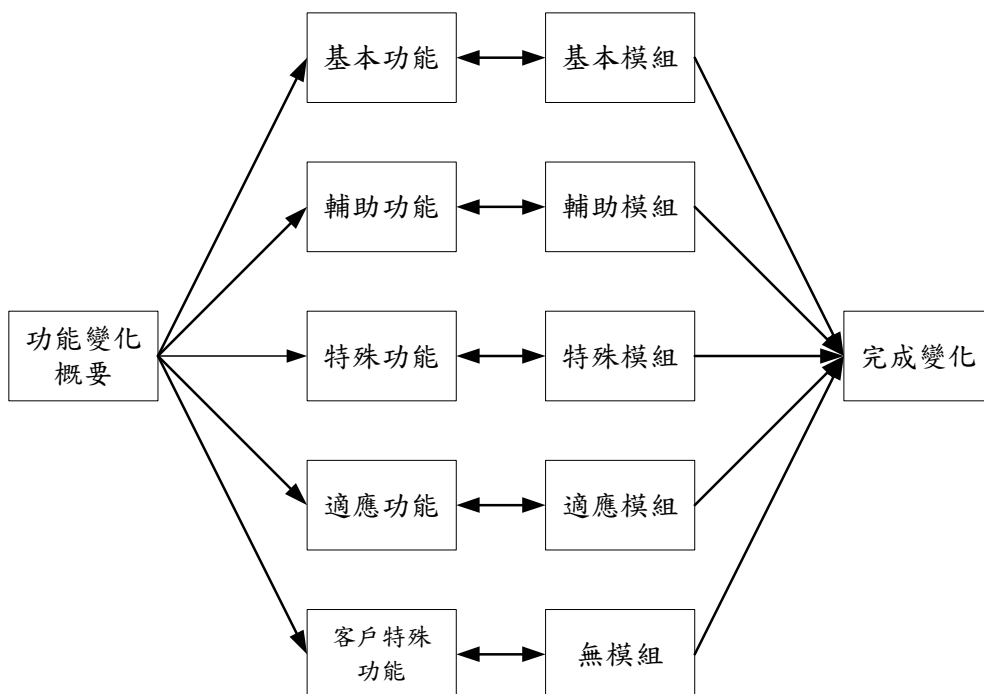


圖 2 功能和模組類型

2-1-2 產品模組化型態

模組化的概念可以被運用的範圍很廣，此概念運用在產品上，依產品模組間組裝及配置的關係衍生各式產品模組的架構，其規劃型態可以分為以下六種：[\(Kamrani, 2002、Kusiak & Huang, 1996\)](#)

1. 零組件共用式模組化(Component-sharing modularity) (圖 3)

多樣化的產品來自於不同的產品家族 (Product family)，以不同的模組內分享相同的基本零件，此概念主要是來自於零組件置換式模組化(Component- swapping modularity)，譬如：產品家族系列的個人電腦可以使用相同的電源線、監視器和微處理機。

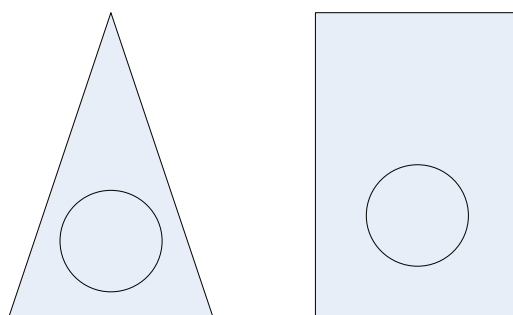


圖 3 零組件共用式模組化

2. 零組件交換式模組化(Component- swapping modularity) (圖 4)

多樣化的產品都屬於相同的產品家族，以標準的產品平台為基礎，搭配不同的產品或零件進行組合，產生多樣的模組化產品。譬如：相同的主機板上可以組裝不同的光碟機、螢幕和鍵盤。

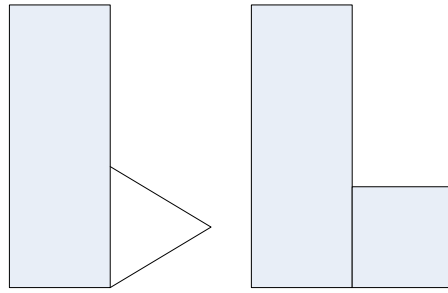


圖 4 零組件置換式模組化

3.切割以適配式模組化(Cut-to-fit modularity)

一個或是多個標準零件被組合在一個或是多個具變化性的附加零件上，而這個附加零件的變化通常是指物理上的尺寸變化。這種模組化的特色在於部份的配件可以根據顧客需求調整，譬如褲管的長度(圖 5)。

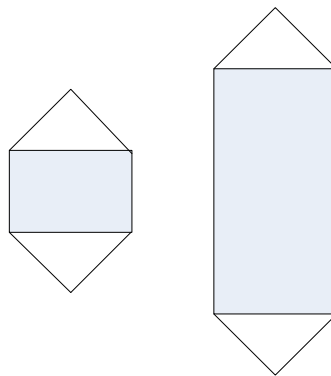


圖 5 切割以適配式模組化

4.混合式模組化(Mix modularity)

將零組件共用式模組化、零組件置換式模組化和切割以適配式模組化等混合在一起時的模組稱之。就好像是肥料中的組成份。

5.匯流式模組化(Bus modularity)

由一個可以使用不同組件的標準平台所形成的模組，此模組的關鍵在建立標準平台。譬如主機板上的可以搭配不同的記憶體、CPU

或是各式的介面卡。

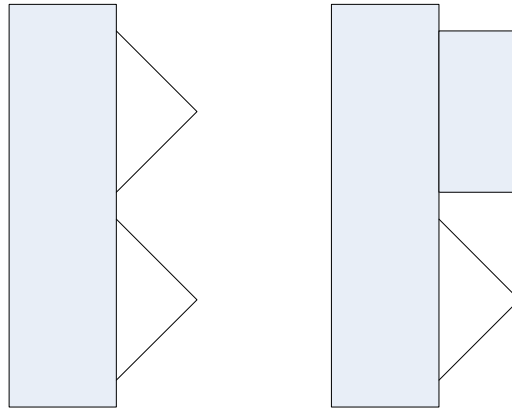


圖 6 模組匯流排模組式

6.組合式模組化(Sectional modularity)

允許任何數量，不同的模組類型，任何方式搭配組裝而成，最典型的就是樂高積木。

零組件共用式模組化和切割以適配式模組化的模組化生產，其配合的模組需要依據標準模組修改和設計，因此產品客製化的程度較「高」，相反地，零組件置換式模組化、混合式模組化、模組匯流排模組式和組合式模組化中相關模組是標準化且可以重複使用，因此產品客製化的程度較「低」。而這些模組化的型態中，目前最常被使用的就是組合式模組化。

模組化設計規劃的過程會遇到零件該如何分解、及分解後要如何整合等兩個問題，本研究重心在零件的系統分類，系統分類的兩大誘因是：

- 1.簡化：把大型的系統分類成小的，可以使需要解決的問題也相對變小，另一方面使管理變得容易。

- 2.效率：解決小問題所花的時間比大問題少，因此可以降低整體

問題解決的時間。

因為簡化的概念及效率的考量，系統分類方面可以依被應用的狀況可再分為產品分類、問題分類和流程分類，概念分述如下：

1. 產品分類

產品分解的兩個部份-產品模組化 (Product modularity) 和結構分類。

(1) 產品模組化：是要找出獨立功能的零件，此零件可以用在同步設計或是預先設計，產品模組化後再組裝會和原本的產品有相同的功能或是物理特徵，目前最佳的範例就是個人電腦模組化的設計。

(2) 結構分類：是指系統分類成子系統後，在細部設計階段再區分出：產品、組裝、次組裝和零件等架構。

2. 問題分類

問題分解是希望將複雜的設計單純化，使之更容易掌握，而這個動作應該要持續進行到獨立的產品或是零件設計完成。問題分解被區分為：需求分解、限制條件參數分解和基於最佳化設計的分解。

3. 流程分類

流程分類是開始於需求認知，結束於細部設計，整個流程分類可以由物流 (Product flow perspective)、資訊流通 (Information flow perspective)、資源 (Resource perspective) 等三方面的觀點切入瞭解，這個就是 Pahl and Beitz 功能模型的基本概念，功能模型是以黑箱模式 (Black box model) 和動詞-物體型式 (Verb-object form) 表達功能鏈 (Function chain)，功能鏈是指能量流、材料流和訊號流等彼此間的互動關係。

2-1-3 模組化系統分類

產品經系統分類為零組件或是某要素之後，接下來就需要一個合併的技術將功能相似的要素或是零組件結合，使用群組技術（Group technology；GT）依特徵做歸納，相似的零件可以歸納成一個設計家族（Design families），而新零件可以透過相同家庭中的零件修改產生。群組技術是進階綜合生產系統的設計過程中一個重要概念，這個技術並無法解決所有的問題，但卻是模組化及消除零件重複功能的一種高階技術。分類指的是為使用一組原則將群組歸類為某一家族的過程，**Kamrani（2002）**將這個方法被更進一步分成兩種：

- 1.視覺方法（Visual method）：使用幾何學為基礎的分類方法。
- 2.編碼程序（Coding procedure）：使用數字或是一串的字母順序來定義流程或是零件的特徵。

這方面群組分類的技術常用的為分類法（Sorting Techniques），指用矩陣的方式描述零件與機械間的關係後，再企圖定義出群組。群組分類的演算法，依本研究瞭解如下：

- (1)位階順序法
- (2)修正的位階順序法
- (3)群集辨識演算法
- (4)數學上基於群組的編制程序
- (5)p-中間模型（The p-median model）：將相似的群組合併成一個模組（**Salhieh & Kamrani,1999**）。
- (6)二次編制程序模型（Quadratic programming model）

模組化系統分類的部分即為本研究的研究關鍵，雖然相關的研究已經提供了許多分類的技術，這些分類技術有許多都是先基於圖學的

幾何概念，將產品關係圖示化後，再經過一連串的數字編碼來定義流程或是產品特徵，而這一連串的訊息都是建立在明確集合 0 和 1 的概念中，本研究認為模糊理論模擬真實世界的 0 至 1 的概念可以對模組化系統分類有更深一層的貢獻。

2-1-4 模組化設計流程

產品運用模組化概念開發時，一般會有三個重要階段，這三階段的設計流程會完整考慮到產品的功能、組裝和製造，此三個階段及方法分別為：[\(Kamrani, 2002\)](#)

階段一 分類分析：模組化設計和分類

- (1) 產品和問題分類
- (2) 結構和模組分類
- (3) 組成分析（零件和說明）
- (4) 群組技術（Group technology；GT）—分類系統應用
- (5) 建立模組尺寸
- (6) 選擇最佳模組

階段二 產品分析 (Product analysis)：組裝設計 (Design for Assembly)

和功能分析(Functionality analysis)

- (1) 定義可能獨立生產的模組零件
- (2) 確定可拆解和組合的零件模組
- (3) 基於設計特徵分析評估介面
- (4) 確定可以作為最後生產命令的次組件

階段三 流程分析 (Process analysis)：製造設計

- (1) 定義出產品家族和規劃成模組的樣本

- (2) 依邏輯確定模組化過程的 GT 代碼
- (3) 機械和流程的參數計算
- (4) 變異流程計畫

階段一是模組化設計的重心，同時也是本研究的關鍵，因此更細部的針對以下四個步驟說明：(圖 7, Kamrani, 2002)

- (1) 需求分析
- (2) 產品需求分析
- (3) 概念分析
- (4) 概念整合

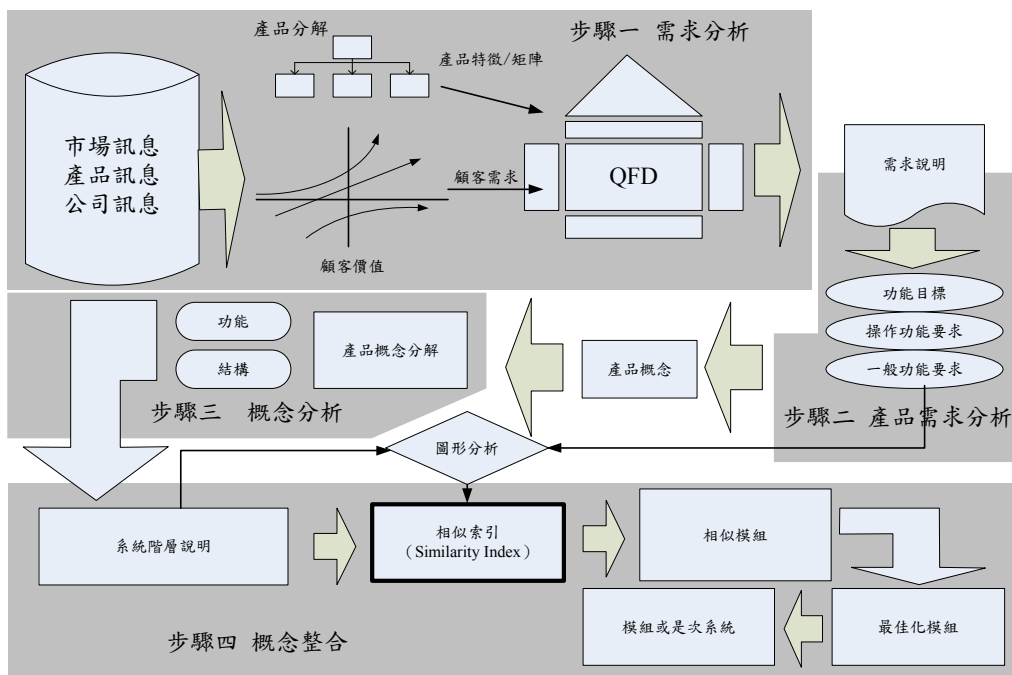


圖 7 模組化設計

步驟一 需求分析

首先將市場訊息、產品訊息和公司訊息進行分析，產品的部份需要先進行分解找出產品特徵；顧客的部份要分析出有說出來及沒有說出來的需求，將兩者找出的設計參數放入品質機能展開 (Quality

Function Deployment, QFD) 中分析出彼此的關係矩陣。

步驟二 產品需求分析

依步驟一品質機能展開依結果擬定確認的需求說明，同時進一步擬定功能目標、操作的功能要求和一般功能要求。

步驟三 概念分析

產品概念分析來自於產品的結構和功能的分類，結構分類方面是指一產品被分成基本構成零件，這些零件可以經過組合後達成產品的功能，它可以是產品的基本組合，或是構成功能的基本組件；功能分類指的是依據所描述的產品的功能概要，並定義出零件功能，此外也要定義出零組件的介面。功能和結構的關係可以用一張圖表表示(圖 8, Kamrani, 2002)。

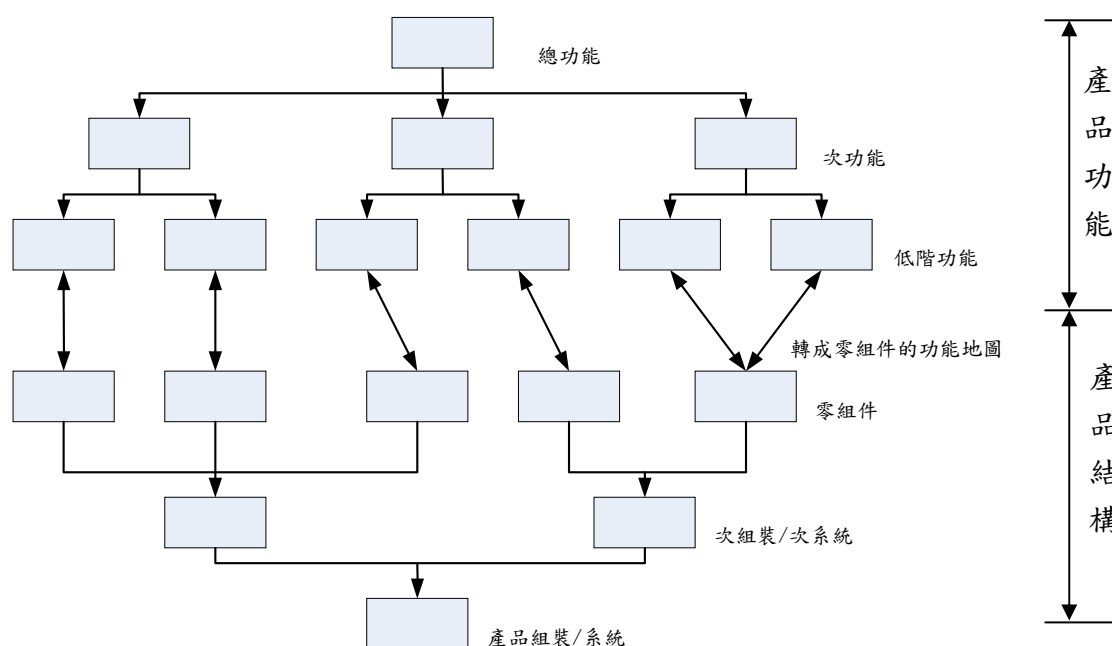


圖 8 功能-結構圖

步驟四 概念整合

分類過程中基本零件應該被分類歸納到同一功能的系統中，而其中零件被歸納安排的狀況將會影響到整個產品設計，因此相關的分析

會建議使用系統階級說明 (System-level specifications) 來表示。

系統階級說明是使用一對一的關係來說明-零件間的功能和結構特徵。功能特徵可以幫助瞭解零件的組成安排、組合和幾何上的關係。系統階級說明的表示方式是從高水準 (Top level) 的組成部分開始,最後在低階 (Bottom-level) 描述細部狀況 (圖 9, Kamrani, 2002)。

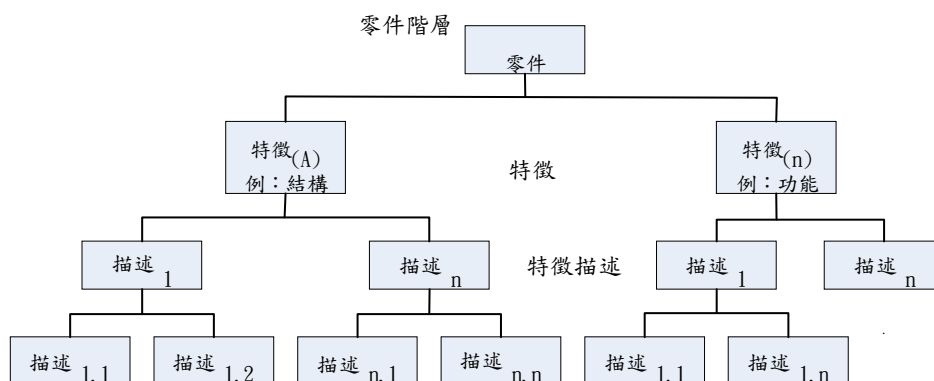


圖 9 系統階級說明

模組化設計中 (圖 27) 有幾個重要的模組歸類,其分別說明如下:

(1) 相似索引 (Similarity index):

將測量過的零件依其相似度歸納成一個模組,可以合併一般性的功能。這部份可以使用編碼或是矩陣的方式表示。

(2) 相似模組 (Similarity modules):

將相似的群組合併成一個模組。譬如 p-中間模型 (The p-median model) 是一個可以參考使用的方法。

(3) 最佳化模組 (Optimization modules):

篩選最佳化模組的方法很多,譬如:基因演算法 (Genetic algorithm) 就是其中之一。

由以上相關於模組化設計的流程可以知道,產品的分類分析是模組化設計規劃的重要關鍵步驟,而分類分析的概念在於將功能相似的

要素或是零組件結合，使用群組技術依特徵做歸納，相似的零件可以歸納成一個設計家族 (Design families)，而新零件可以透過相同家庭中的零件修改產生，各種理論都有其優缺點，沒有理論是完美的，全在乎使用人的應用與解析。

2-1-5 目前的相關研究

針對模組化設計相關型態、分類及流程深入瞭解後，對於模組化設計與其他理論的結合應用方面，本研究根據目前研究的結合重點分類如下：

1. 考量功能、結構分類相關文獻

劉家煒 (2001) 將遺傳演算法運用於模組的分類工作上，首先基於目標性與功能性指標定義產品內各功能元件的交互作用，並以整數型基因編碼字串代表系統內各元件的模組編號，在「模組內交互作用最大化；模組介面間交互作用最小化。」的原則下，將模組介面間的總交互作用函數與限制條件相結合，並應用遺傳演算法進行最佳模組規劃方案的搜尋，藉由設計的自動化提升模組化設計的效能與實用性。

張堂聖 (2002) 以功能觀點為出發點的 Connector 描述方式，來描述整個產品，以單階及多階 Connector 組裝網路圖作為研究之輸入，並考慮了產品變異性的觀點，作 Connector 變異性分析，並將分析之結果賦予各 Connector 權重值，在擁有了 Connector 權重值之後，即利用這些變異權重值，作網路切割演算法，以得到一個符合功能及變異觀點的產品模組，有了各產品模組之後再根據 Connector 的工程特性作零件歸併之依據，以完成整個模組化之研究。

Wang (2005) 從功能性上分割進行模組化設計，將產品依據功能性分析出所架構的模組類型，最後再以數值分析 (Numerical analysis) 和實驗測試 (Experimental testing) 來證明這個標準化的設計方式。

Robert et al. (2004) 指出大部分的模組化設計的 DFA 都是在概念設計後才可量，他提出基礎功能 (Functional basis) 和模組探索法 (Method of module heuristics) 放在概念設計階段，基礎功能 (Functional basis) 指的是用圖解流程標示出產品的模組使用狀況，模組探索法 (Method of module heuristics) 則是運用產品外型圖示表示模組之間運作關係。

Jeffrey et.al. (2001) 提出產品家族模組化設計之初，應先建立出產品家族 (Product family) 相互間的結構功能表，再透過這個架構找出重複使用的模組，及鑑定出有效的工具，再以模組矩陣 (Modularity matrix) 的方式驗證它們在產品家族 (Product family) 中的地位，設計團隊最後再使用模組矩陣找出可以合併的模組成為產品平台，確定產品模組的合適的數量。

2. 考量機構、零件交互作用相關文獻

劉佳斌 (2001) 發展以輸入端與輸出端之間的運動依存關係作為分解依據的分解方法。藉由運動單元的分解，齒輪機構內的運動關係可被適當的分割，過程中發展兩種進行運動分解的程序，包括以桿件鄰接矩陣為基礎的矩陣法與以位移圖為基礎的圖解法。此文獻認為運動分解概念，必能使齒輪機構在概念設計的階段以更有效率的方式進行，同時也能使設計者在設計過程中對機構的運動內涵有更充足的認識。

Kreng (2004)先以分析產品功能及物理（指排列、組裝及幾何關係）的交互作用的矩陣，再從矩陣中找出彼此的關係，之後再鑑定會影響模組化的作動外型，並找出其間的關係矩陣後定義出模組化的作動外型，最後再用群組基因演算法（Grouping Genetic Algorithm, GGA）找出最佳的解答。

Gu (1999)產品生命週期的模組化設計需要考量產品的功能性、製造、組裝、有用的、可重複使用及可回收的部份，因此首先需針對模組化的部份進行分析後，定義出零件互動的交互作用矩陣，針對產品週期的考慮要件進行評估後，最後針對評估後的零件組合進行模組化設計。

Bai (2005)將產品配置特徵（Product Layout Feature；PLF）中加進了幾何學資料元素(Geometric Datum Elements；GDEs)和工程符號（Engineering symbols），以利協同設計之用。模組化設計中最重要的關鍵步驟就是進行系統零件的分解，而零件分解過程中的重要三要素之一就是介面的認定，因此正確的深入瞭解模組化的產品的 PLF，會是設計過程中重要的步驟。

3. 考量組裝面的相關文獻

楊鈺銓 (2003)改良拆裝因素評分卡法，針對組裝上的工程特性加以評比，形成零件關係矩陣，並利用距離公式將不同度量單位的工程資訊加以合併，最終以最小展開樹(Minimal spanning tree)演算法的執行，形成組裝網路關係圖，提供設計初期之先行圖參考。

陳世和 (2005)研究中的第一階段為模組化的建立，以自行車作為案例，應用詮釋結構模式(Interpretive structural model, ISM)進行構件的模組分類，輔以 Das 所提出之因素分析卡(Disassembly Effort

Index, DEI)，能以數值化的方式呈現構件的聯結關係。第二階段為發展產品族階段，應用群聚分析(Cluster analysis)進行受測者的樣本分類，於各市場區隔族群之模型建立後，以網路層級分析法(Analytic network process, ANP)取得模組的最佳化之權重配置，最後建立四個產品族，並提供產品族間共用模組組成與獨立模組組成的分配狀況。

Tseng et al. (2008)將綠色模組化設計的設計參數中加入了工程屬性，包括接觸、結合、工具類型，同時考量組裝的方向性，最後再以群組基因演算法 (Grouping Genetic Algorithm, GGA)進行評量找出最佳模組。

4. 考量模糊概念的相關文獻

Tsai & Wang (1999) 首先運用模糊群集辨識法 (Fuzzy cluster identification) 將零件分成不同模組，之後以製造及組裝為思考條件選出最佳模組類型，最後評量可以滿足功能訊息的模組作為優先設計的模組。

Fei et al. (2008) 提出使用模糊群集 (Fuzzy clustering) 鑑定模組介面關係，如果模組介面可以確定，則可以幫助產品家族的設計獨特性。

5. 其他

Gu et al. (1997) 為達到多目標所提出的綜合模組化設計方法，先鑑定設計要素和目標後，透過這些參數的相互作用分析組成的部份，最後使用基因演算法 (Genetic algorithm) 串連這些零件後進行模組化設計。

Yasushi et al. (2008) 針對不同的生命週期階段提出模組化設計的策略，首先以類神經網路之自組織映射圖網路 (Self-organizing

map, SOM) 在不破壞資料結構下，對產品零件進行分類，之後再用模組密度 (Module density) 和近似模組結構 (Approximate modular structure) 評估模組的幾何穩定性，建立模件結構幾何學模型 (Geometric models of modular structure)，模型中會包含模組的連接及幾何關係，最後將所得到的結果進行模組化設計。

Xuan & Ram (2006) 認為可以用結構基因演算 (Structured genetic algorithm based, SGA) 的方法找出產品家族不同模組所產生的活動或是被動的模組變化，以建立產品家族的基本平台 (Platform-based) 設計與發展。

Fabrice et al. (2007) 提出使用設計結構矩陣 (Design Structure Matrix; DSM)、價值工程 (Value Analysis; VA) 及平常對差異索引 (Commonality versus Diversity Index; CDI) 三個工具改良現有的產品家族設計。

本研究由以上文獻中知道，目前相關於模組化設計的文獻多偏重在功能和結構的觀點，組裝方面考量後進行模組化零件分類者次之，而近年亦開始出現模糊理論應用於模組化設計的相關文獻。

2-2 模糊理論

模糊理論 (Fuzzy theory) 是模糊集合、模糊關係、模糊邏輯、模糊控制、模糊量測等理論的總稱，目標是解決模稜兩可的問題，講究的是一種近似推理 (Approximation reasoning) 的方式。人類的自然語言本身就很模糊，譬如：「今天天氣很熱，把窗戶打開吧！」，這句話本身針對天氣熱的部分並沒有提出明確的數據，而天氣熱的程度和打開窗戶彼此的連接本身關係就是一種模糊的狀況，模糊理論就是

希望能夠解決這樣的問題，希望透過不完整的資訊和模糊的訊息，卻仍然可以得到正確的判斷結果，為了這個目的，模糊理論被發展出來。

模糊理論起源於 1965 年美國加州柏克萊大學 (Berkeley) 的 L.A. Zadeh 教授，在資訊與控制 (Information and Control) 學術期刊上所發表的論文-模糊集合 (Fuzzy Sets)，主要是探討關於元素和集合之間的關係，針對介於 [0,1] 之間的隸屬度 (Membership) 的模糊概念描述，也就是所謂的歸屬函數 (Membership function)，將人類的主觀判斷數字化，使得研究結果能夠更符合人類的思考方式。

本研究主要是擷取模糊理論中的模糊綜合評價及模糊聚類分析兩個理論作為模組化分類、分類的操作改良基礎，因此將針對過程中會運用到的基本知識 (1) 圖形理論; (2) 模糊數、模糊語意及解模糊化; (3) 模糊排序及 (4) 模糊關係等概念，分述如下：

(1) 圖形理論

不論是詮釋結構模式或是一般的模糊聚類分析的前端，如果要應用在零件的分類上，大多都需要先針對零件拆解後，依據拆解流程繪製出零件關係圖形，以便後續進一步的分類操作。圖形表達方面因為明確集合及模糊集合的對於數值的概念不同，零件關係表轉成關係矩陣的表達方式會差異 (圖 10)。

| | | |
|-------|---------|-------|
| | → y_1 | y_2 |
| x_1 | 0.3 | 0.7 |
| x_2 | 1 | 0 |
| x_3 | 0.5 | 0.2 |

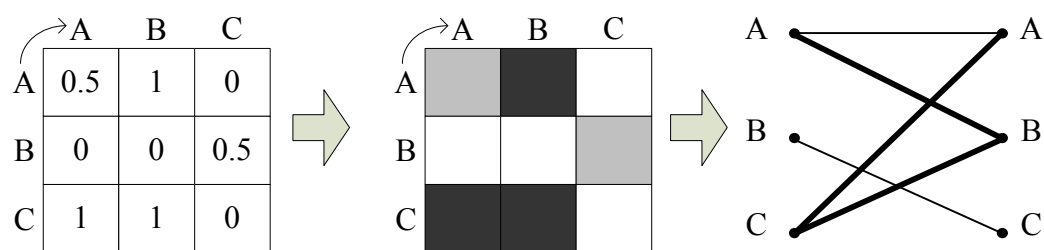
模糊集合

| | | |
|-------|---------|-------|
| | → y_1 | y_2 |
| x_1 | 0 | 1 |
| x_2 | 1 | 1 |
| x_3 | 1 | 0 |

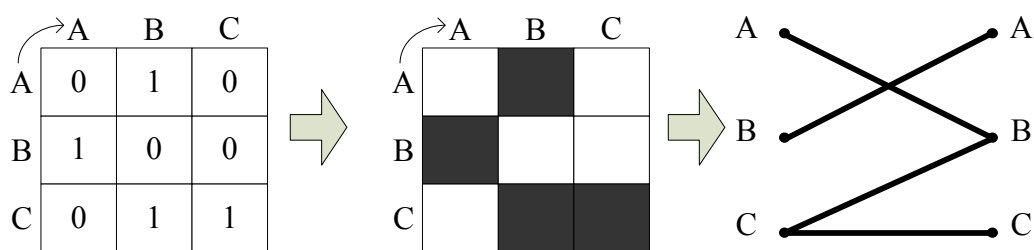
明確集合

圖 10 模糊集合和明確集合矩陣比較

在實際的應用中我們會發現，模糊集合圖形和明確集合圖形表示有很大的不同（圖 11），其中 Kaufmann (1975) 提出的案例最明顯，由圖形中可以發現現實生活中有許多的關係因為非常薄弱，雖然在明確集合中被省略了，但並不表示它不存在。圖 12 (a) 模糊集合圖形表示，有關於 0.5 與 0 在線型的差異。

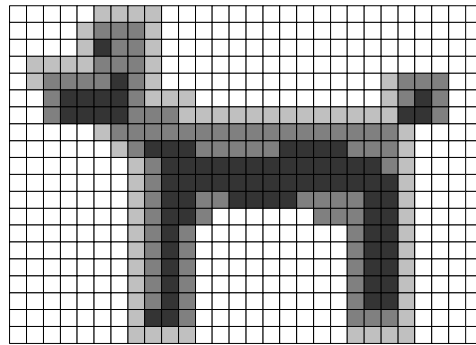


(a) 模糊集合圖形表示

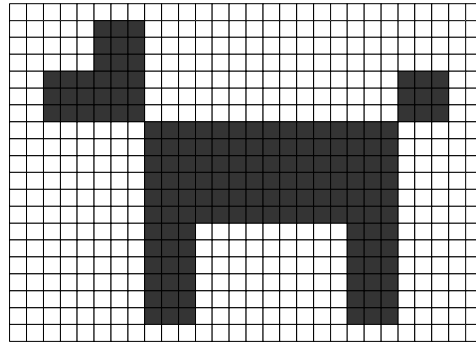


(b) 明確集合圖形表示

圖 11 模糊集合和明確集合圖形表示比較



(a) 模糊集合圖示



(a) 明確集合圖示

圖 12 Kaufmann 提出之模糊集合和明確集合圖形案例

(2) 模糊數、模糊語意及解模糊化

模糊數

模糊數是一個特別的模糊集合 A ，被定義在一個實數上，它必須滿足以下三個條件（王文俊，2007）：

- (1) A 必須是一個正規（Normal）的模糊集合。
- (2) ${}^{\alpha}A$ 對所有的 $\alpha \in (0, 1]$ 是單一個封閉的區間。
- (3) ${}^{0+}A$ (A 之底集) 必須有界。

以上三個條件的意思是， A 如果被定義為是特定實數的模糊集合， A 的模糊數表示一定會是正規接近這個特定實數。 ${}^{\alpha}A$ 如果不是單一的封閉區間，而是兩個區間，即非封閉（圖 13-a），且沒有界線、沒有底集的 ${}^{0+}A$ 沒辦法被解釋，底集指的是 X 軸上對應的數字（圖 13-b）。

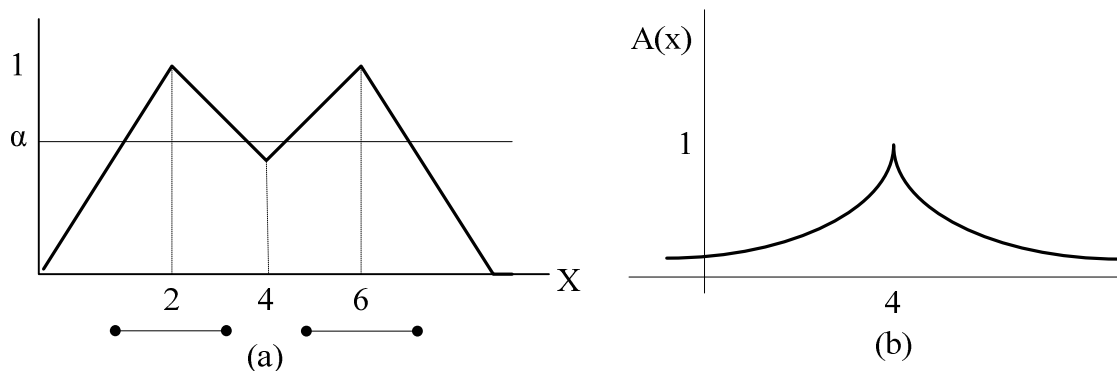


圖 13 無法解釋之模糊數條件圖示

模糊數常用及表示方式一般分為以下四種，這裡以模糊數 $\tilde{3}$ 在明確形式之模糊數（圖 14-a 和 b）、三角模糊數(圖 14-c)及梯型模糊數（圖 14-d）的圖示及文字標示為例：

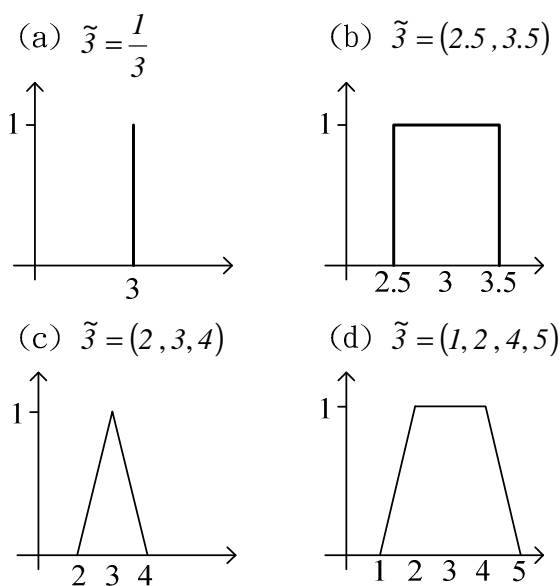


圖 14 模糊數文字及圖形表示

圖 14-a 意思是明確值 3 的歸屬函數為 1，圖 14-b 指歸屬函數在 2.5 ~ 3.5 區間內都是模糊數 $\tilde{3}$ 的範圍，是比較牽強的模糊集合表示方式，圖 14-c 是以三角模糊數來表示模糊數 $\tilde{3}$ ，圖 14-d 是以梯型模糊數來表示模糊數 $\tilde{3}$ 。

模糊語意

人類對於模糊數的應用就是將各種的自然表達方式轉成圖形概念（圖 15，Zimmermann,1996），並以模糊數來表達其中的意義，使用模糊數表達語意的方式被稱為模糊語意，因為是個人感覺意思表示，所以數字定義上可以用個人感覺定義，而模糊數值的表示方法上大多是使用三角模糊數或是梯型模糊數，如果後續要解模糊化做明確值比較，則大多會使用三角模糊數，計算上會比較單純，譬如 Tsai & Hsiao(2004)採用三角形模糊數概念定義顧客需求和產品特徵間的模糊語意後建構模糊矩陣（表 2）。

表 2 顧客需求和產品特徵間模糊語意對應之三角形模糊數

| Linguistic variables | Triangular fuzzy numbers |
|----------------------|--------------------------|
| Highly Negative (HN) | (0, 0, 1) |
| Negative (N) | (0, 1, 3) |
| Lowly Negative (LN) | (1, 3, 5) |
| No Relation (NR) | (3, 5, 7) |
| Lowly Positive (LP) | (5, 7, 9) |
| Positive (P) | (7, 9, 10) |
| Highly Positive (HP) | (9, 10, 10) |

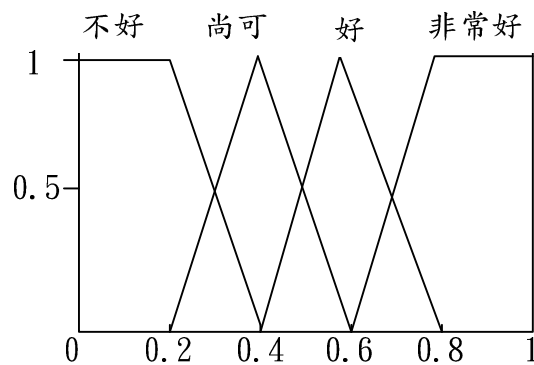


圖 15 模糊語意之圖形表達

解模糊化

解模糊化的概念和模糊數的概念剛好相反，為了能夠應用模糊的概念與明確集合做比較，因此相關的模糊數值都需要經過解模糊化的

步驟，將其轉成明確數值，一般解模糊化的動作都是用在模糊推論的部分，但是本研究因為是將零件連結關係強度以模糊語意方式表達，後續將轉成關係圖示時，需要明確數值作為比較，以決定順序。

現有的文獻中提到解模糊化的方法很多，以下為較常用的方法有：

1. 重心法(Center of area, COA)

重心法的原理和求取物件的重心位置概念是一樣的，主要是求出模糊集合的「中心值」來代表整個模糊集合。圖 16 為重心法的概念圖示，色塊部分即為模糊集合的隸屬函數。

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^N y_i u(y_i)}{\sum_{i=1}^N u(y_i)}$$

y^* : 為模糊數的明確值

$u(y_i)$: 模糊集合的隸屬函數

y_i : 為 y 軸上的權數

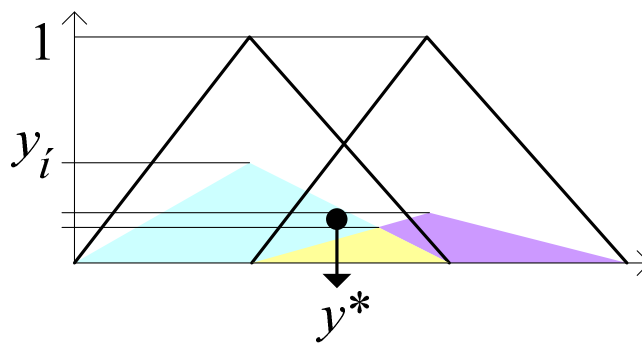


圖 16 重心法概念圖示

2. 中心平均值解模糊化法(Center Average Defuzzication)

主要針對模糊集合的隸屬函數圖形是正規且對稱的形狀時使用。圖 17 中 x_i 為中心平均值。

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^N y_i x_i}{\sum_{i=1}^N y_i}$$

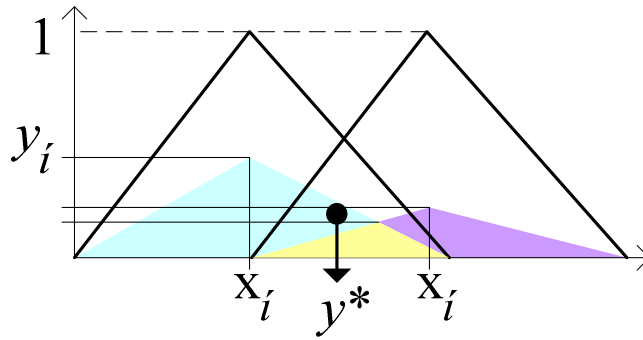


圖 17 中心平均值解模糊化法概念圖示

3. 最大值平均值法(Mean of Maximum ,MOM)

取模糊數中最大值的平均值稱之。

$$y^* = \frac{X_f + X_l}{2}$$

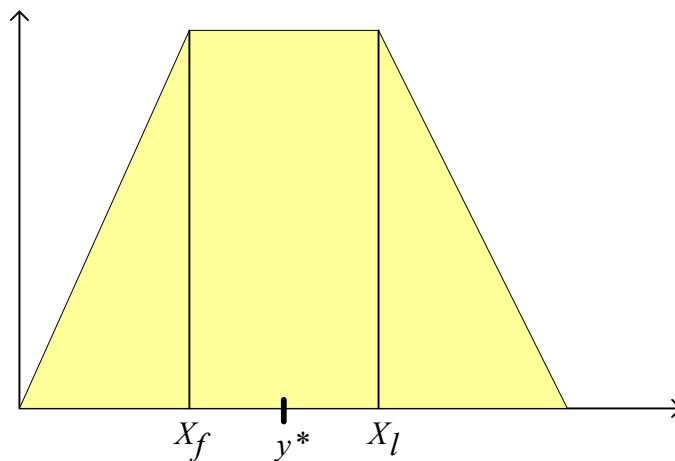


圖 18 最大值平均值法概念圖示

因為使用狀況不同，解模糊化的方法也會有差異，而公式選擇的基本概念為：

1. 合理性：至少在人的直覺上，解模糊化後得到的明確值與所

代表模糊數比較是合理、可被接受的。

例如，得到的明確值在模糊數之底集中間或是明確值的隸屬度值較高，若明確值在模糊數之底集合以外，直覺上就不合理。

2. 計算簡單：這是為了在模糊控制問題上使用方便。
3. 連續性：模糊數之形狀有稍許的變化，明確值之位置變化不會太大。

本研究經過相關測試運算，後續將採用最大值平均值法的概念，直接將模糊語意轉化出的模糊數值，相加後除以數值總數取平均數後做明確值的比較。

(3) 模糊排序

模糊的環境下確定各種決策方案的優先順序的方法，或是針對已定義出距離關係的數值進行相似性分類，找出順序階層都是模糊排序的概念。本研究後續會用到的模糊綜合評價即是使用這樣的概念。

(4) 模糊關係合成

操作合成運算就可以結合在不同產品空間內的模糊的關係，不同合成運算的建議，結果亦會不同，當然也包含他們的數學特性。譬如：已經知道”溫度-壓力”和”壓力-濕度”的關係，如果研究會需要再進一步瞭解”溫度-濕度”的關係時，就可以運用模糊合成運算得到，當然這也是進行模糊推論的方法之一。最大最小合成運算是目前最好的，同時也是目前所知最經常使用的一個，計算說明如下：

首先紀錄兩個符號： $R \subset X \times Y$ 和 $G \subset X \times Y$ ，圖示意思為這裡的模糊圖形 G 為反應模糊關係 R 的結果。假設 $R_1 \subset X \times Y$ ， $R_2 \subset Y \times Z$ ，需要用最大-最小合成運算來合成 R_1 和 R_2 ，則其中的意思表示為（圖

19) :

$$\mu_{R_2 \circ R_1}(X, Z) = \vee [\mu_{R_1}(x, y) \wedge \mu_{R_2}(y, z)] = \max[\min(\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z))] , x \in X ,$$

$y \in Y , z \in Z$ 。

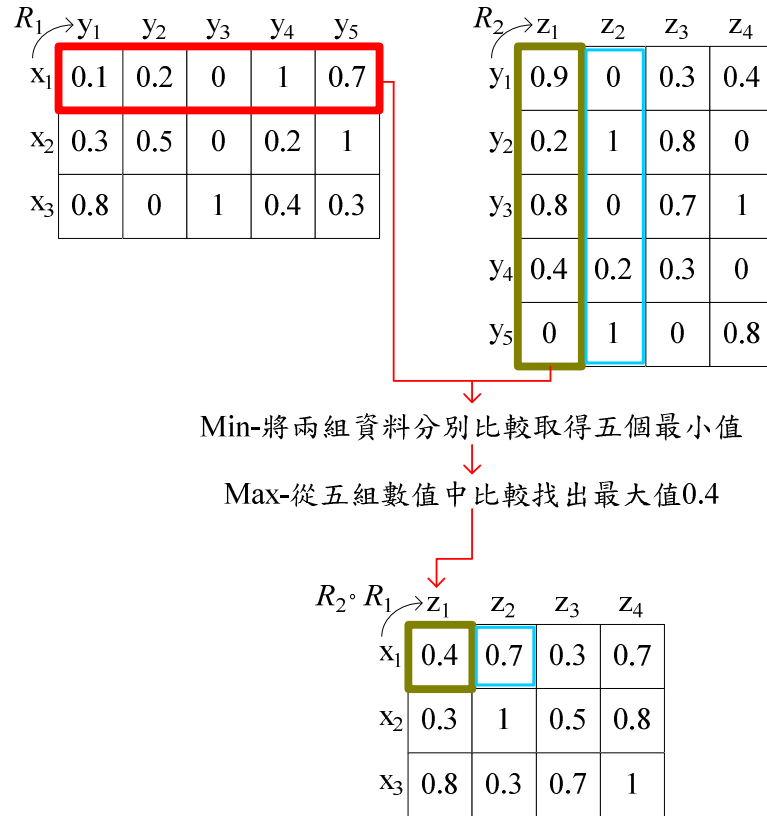


圖 19 模糊關係之最大-最小合成運算圖示

說明 $(x, z) = (x_1, z_1) = 0.4$ ，計算過程如下：

1.先比小，取得最小值

$$\text{Min}(\mu_{R_1}(x_1, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_1)) = \text{Min}(0.1, 0.9) = 0.1$$

$$\text{Min}(\mu_{R_1}(x_1, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_1)) = \text{Min}(0.2, 0.2) = 0.2$$

$$\text{Min}(\mu_{R_1}(x_1, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_1)) = \text{Min}(0, 0.8) = 0$$

$$\text{Min}(\mu_{R_1}(x_1, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_1)) = \text{Min}(1, 0.4) = 0.4$$

$$\text{Min}(\mu_{R_1}(x_1, y_5), \mu_{R_2}(y_5, z_1)) = \text{Min}(0.7, 0) = 0$$

2.比大，取得最大值，得到第一個合成數值 0.4。

$$\text{Max}[\text{Min}(\mu_{R_1}(x_1, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_1))] = \text{Max}(0.1, 0.2, 0, 0.4, 0) = 0.4$$

後續的計算如： $(x, z) = (x_1, z_2) = 0.7$ ，計算方式如上所示，如圖 19 框線標示的數字類推。

2-2-1 模糊綜合評價

模糊綜合評價（Fuzzy synthetic evaluation；又稱 Fuzzy comprehensive evaluation、fuzzy comprehensive assessment、fuzzy synthetical evaluation）是模糊理論中考量多種因素對事物的影響的方法之一。模糊綜合評價的結果可以得到事物的獨立評價分數，依據這樣的分數後續則引導出模糊排序的概念，**Kuo & Chen(2006)**以手機市場為例使用模糊綜合評價幫助消費者決策找出最佳產品。

模糊綜合評價的概念被廣泛的運用在不同領域，其中 **Wu et al.(1996)**提出可以結合 Dempster-Shafer(DS)和模糊綜合評價來建立機械設計時的不確定推理模型。**Wen(2008)**以 5 個班級，6 門科目的成績為案例，表示使用這樣的評價方式會比過去採用成績平均值或是標準差更接近學生的實際成績狀況。

2-2-2 模糊聚類分析

使用圖像的概念作物件歸類是人類的本能，因此圖像識別是分類的基本概念之一，而模糊理論在分類技術上的應用，最主要的就是模糊聚類分析。模糊聚類分析是建立在空間距離概念上的一種分類方法，相關的文獻中瞭解到聚類分析的概念大多是用在統計資料的分析上，而比較接近於應用方面的是 **Mitchell & Jianxin (1997)** 使用一般聚類分析的概念在電子產品的模組分類上，Mitchell 和 Jianxin 首先將電子產品的零件關係依據有相互關係、單向關係和無相關等，以 0 或 1 的概念建構出零件之關連矩陣，之後使用聚類分析的方式做零

件分類後規劃產品模組。Mitchell 和 Jianxin 所提出的聚類分析做為零件分類的概念，不足之處在於群組細部歸屬的模糊概念並未被考量。

2-3 詮釋結構模式

詮釋結構模式 (Interpretive structure model, 簡稱 ISM) 主要在於分析一個集合內元素的從屬關係，其中利用了圖形理論結合行為科學、數學、決策等領域，透過矩陣的運算，找出元素間的關連性，最後建構出多層級結構化階層圖形。

ISM 的分析方法目前多是教育或是管理相關領域在使用，目標是用來進行複雜問題簡單化的決策使用，其中接近為產品應用上的研究為陳世和 (2005) 所提出的以自行車作為案例，應用 ISM 進行構件的模組分類，輔以 Das 所提出之因素分析卡(Disassembly Effort Index, DEI)，能以數值化的方式呈現構件的聯結關係。

其他的相關研究為，鍾靜蓉(2002)針對經濟學中「需求與供給」單元為實例建置，進行 ISM 及構造化學習的實證研究。陳紹銘(2006)以自編之「等量公理測驗」為研究工具，將 ISM 應用於學生作答資料分析。李家豪 (2004) 指出進行組織設計時可以引用 ISM 求得的階層影響關係圖亦可作為劃分組織內部層級的依據，或是以此安排資深人員和資淺人員。Ashish et.al. (2007) 則是將 ISM 應用於供應鏈的管理規劃和改善其敏捷性。

詮釋結構模式是建立數學模型的方式之一，它可以將複雜又模糊不清的事物重新規劃，整理出一個有條有理的架構，以方便管理者或是設計者後續的規劃發展，可以被利用的領域很廣大，但和其他的理

論一樣，它並不是一個完整無缺的理論。

Shirley (1982)表示詮釋結構模式有以下缺陷：

1. 理論中建立鄰接矩陣及可達矩陣時會需要設計者的經驗，設計者經驗不足會導致建構的關係矛盾，致後續結果失敗。
2. 建立的過程非常費時，因為它需要管理者或設計者在確認元素時提出各種看法和基礎知識來判斷。
3. 詮釋結構模式階級概念是強制忽略自然界存在的回饋機制，階層與階層間只有單向的箭頭關係。

2-4 文獻總結

綜合以上文獻探討，本研究確認以下幾點：

1. 產品零件模組化的設計規劃中，模糊理論的模糊綜合評價及模糊聚類分析是少被應用的部分。
2. 使用模糊綜合評價評價零組件，可以讓產品設計過程更接近人的思考模式。
3. 資料分析中常被使用的模糊聚類分析，可以嘗試作為零組件的分類工具。
4. 現行的 ISM 可以作為零組件的分類工具，但是未考量其中的模糊評價，因此本研究將模糊綜合評價的概念與其結合為模糊詮釋結構模式，簡稱 FISM，做為模組化設計規劃用。

基於以上發現，本研究決定使用模糊詮釋結構模式和模糊聚類分析，以內變速器為驗證案例，進一步套用在模組化規劃設計前端的分解分析。

第三章 模糊詮釋結構模式

Shirley(1982) 表示建立 ISM 流程是一個學習的過程，透過建立過程中的討論，管理者或是設計者可以更堅定的相信哪一些是對的，而哪一些會需要被調整，由此可見，在建立元素關係的過程中，加入權重的概念會是一個好方法。原本的 ISM 因為只能看到單純的分類結果，但是由分類的圖示中並無法更深入瞭解分析，對於經驗不足的設計者來說會是一種困擾，基於這樣的想法，本研究將模糊綜合評價，結合多影響因子，作為判斷的概念融入，以求更適合用於模組化設計規劃用。

3-1 詮釋結構模式概念

ISM 的概念源於圖形理論，圖形的概念中有所謂的無向圖和有向圖的矩陣表達方式，無向圖的特徵是：無向圖的關連矩陣是對稱的，且對角線上的元素均為 0(因為對於無向圖來說，其關聯矩陣是對稱的，而且其中並不考量元素的迴圈自反概念)，而有向圖剛好相反，有向圖的關連矩陣不一定是對稱的，而且各元素間存有迴圈自反的概念，因此在關聯矩陣表示時對角線的元素均為 1，而對角線為 1 的矩陣，在數學的概念上稱為單位矩陣，且在計算的意義上相當為 1 的概念。圖形的概念確定後，之後衍生出的是圖形理論中最短路徑的概念，最短路徑定義為由某節點到其他各節點之最短路徑，且經計算後它的總權重最少，計算最短路徑的方法很多，其中最簡單也最常被使用的為佛洛依德(Floyd)演算法，Floyd 演算法的定義為關聯矩陣自我相乘至節點數字只有數字大小的改變，而沒有其他變化時停止，此時

關聯矩陣中得到的節點的數字即為路徑的權重值，由此可推敲出圖形中的最短路徑(徐士良，1994；Clark & Holton,1996；Frank & Frisch,1971)。基於此概念衍生 1972 年 Warfield 提出 ISM 的想法，其中唯一不同的是可達矩陣的表示方式，可達矩陣中只單純顯示元素間的關係有無，因此只以 0 或 1 表示關係(Warfield, 1973, 1974, 1977)。

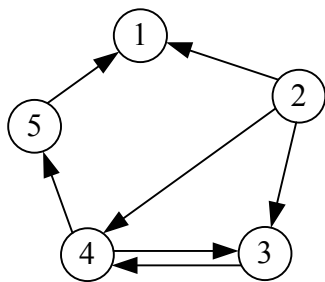
ISM 的流程是建立在二元矩陣一對一的反應，和圖形表示的網路方向圖中，流程的基本概念是“元素集合”和“上下關係”，考慮系統元素集合相關成員中的關係，哪些關係存在，哪些關係不存在，然後在二元矩陣中以 1 或 0 的方式描述。透過 1 和 0 的表示方式建構出鄰接矩陣(Adjacency matrix)，然後讓鄰接矩陣和單位矩陣接合後，運用乘法運算自我相乘到沒有新的矩陣出現為止，即為可達矩陣(Reachable matrix)，以下的數學運算都是使用布林代數運算法。可達矩陣在各式各樣的集合或是次集合中會出現許多重要的分割處：

1. 元素間 0 和 1 關係的分割。
2. 水平分割：由此分割出直行的可達集合 (R) 和橫列的先行集合 (A)，滿足 $R=R \cap A$ 條件者定義出各階層。
3. 透過 $A=R \cap A$ 條件找到最底階層，最後確認總階層數。確認最底階層還有一個功能，就是檢驗可達矩陣中是否確定是單一個方向圖建立出來的，如果其中建立有問題，則會出現數個最底階層的元素間的可達集合沒有相同的元素，即表示此矩陣含兩個以上無關的方向圖或是無關的關係，這樣的研究是沒有意義的，如果是這樣，表示原本的矩陣有問題，需要重新檢驗。
4. 確定強連接的階層集合：可達集合和先行集合內含的相同元素，表示此元素為強連接的階層，強連接階層集合間具迴路關係，行

與列間的元素對應關係完全相同，因此只要選擇其中一個對應上一階層就可以了。

ISM 依照固定的運算法則運算（李家豪，2005；鍾靜蓉，2002；吳建南，2007；Warfield, 1973, 1974, 1977；Ravi & Ravi, 2005；Ashish et al., 2007；Hwang & Lin, 1987），本研究以 Hwang & Lin（1987）所提的案例進一步探討，主要的步驟如下：

(1) 抽出元素



(2) 建立矩陣關係表（又稱原因/結果分析表）同時轉換成鄰接矩陣（Adjacency matrix），以 M 示之。

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

(4) 將鄰接矩陣加上單位矩陣 I ，變為”含有自己的因果關係矩陣”，以 B 示之，再將 B 帶入布林代數運算法將其轉成”可達矩陣”。

$$M + I = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = B$$

【建立可達矩陣】

矩陣 B 使用布林運算法自我相乘 B^n 至 $n=3$ 時矩陣不再改變，完成可達矩陣的建立。透過逐次平方法 $\log_2(n-1)+1$ 運算瞭解（楊秀文等，2003），當單位矩陣為 5 階時，需要 3 次方可以得到可達矩陣：

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$B^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad B^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(5) 再將可達矩陣轉換為階層矩陣（Hierarchical matrix）

a. 將可達矩陣轉換成“可達集合和先行集合關係表”，可達矩陣中的直行為可達集合，橫列為先行集合。

表 3 可達集合和先行集合關係表

| 元素 | 可達集合 R | 先行集合 A | $R \cap A$ |
|----|-----------|-----------|------------|
| 1 | 1 | 1,2,3,4,5 | 1 |
| 2 | 1,2,3,4,5 | 2 | 2 |
| 3 | 1,3,4,5 | 2,3,4 | 3,4 |
| 4 | 1,3,4,5 | 2,3,4 | 3,4 |
| 5 | 1,5 | 2,3,4,5 | 5 |

b. 建立階層矩陣

同一階層需要滿足 $R=R \cap A$ ，即以可達集合 R 為主，對照 $R \cap A$ 關係。

(a) 可達集合和先行集合比對 $R \cap A$ ，確認 1 為階層一，將比對後的 1 資料消去確認階層二。

表 4 可達集合和先行集合比對 $R \cap A$ 確認階層一

| 元素 | 可達集合 R | 先行集合 A | $R \cap A$ |
|----|-----------|-----------|------------|
| 1 | 1 | 1,2,3,4,5 | 1 |
| 2 | 1,2,3,4,5 | 2 | 2 |
| 3 | 1,3,4,5 | 2,3,4 | 3,4 |
| 4 | 1,3,4,5 | 2,3,4 | 3,4 |
| 5 | 1,5 | 2,3,4,5 | 5 |

(b) 可達集合和先行集合比對 $R \cap A$ ，確認 5 為階層二，將比對後的 5 資料消去確認階層三。

表 5 可達集合和先行集合比對 $R \cap A$ 確認階層二

| 元素 | 可達集合 R | 先行集合 A | $R \cap A$ |
|----|---------|---------|------------|
| 1 | | 2,3,4,5 | |
| 2 | 2,3,4,5 | 2 | 2 |
| 3 | 3,4,5 | 2,3,4 | 3,4 |
| 4 | 3,4,5 | 2,3,4 | 3,4 |
| 5 | 5 | 2,3,4,5 | 5 |

(c) 可達集合和先行集合比對 $R \cap A$ ，確認 3,4 為階層三，比較中可以發現 3,4 中的可達集合和先行集合元素相同，表示 3,4 不只是同一階層，而且是強連接的次集合。

表 6 可達集合和先行集合比對 $R \cap A$ 確認階層三

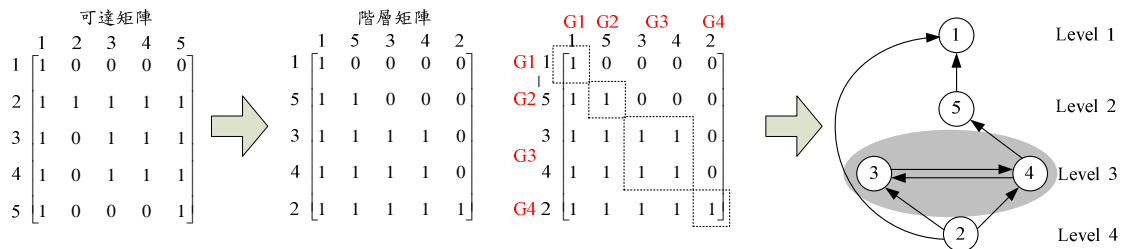
| 元素 | 可達集合 R | 先行集合 A | $R \cap A$ |
|----|--------|---------|------------|
| 1 | | 1,2,3,4 | |
| 2 | 2,3,4 | 2 | 2 |
| 3 | 3,4 | 2,3,4 | 3,4 |
| 4 | 3,4 | 2,3,4 | 3,4 |
| 5 | | 2,3,4 | |

(d) 可達集合和先行集合比對 $R \cap A$ ，確認 2 為階層四。2 為階層四，同時滿足 $A=R \cap A$ ，由這個條件可以確定它是最底層的集合。

表 7 可達集合和先行集合比對 $R \cap A$ 確認階層四

| 元素 | 可達集合 R | 先行集合 A | $R \cap A$ |
|----|--------|--------|------------|
| 1 | | 2 | |
| 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | | 2 | |
| 4 | | 2 | |
| 5 | | 2 | |

(6) 依據階層矩陣畫出階層圖形



由原本的 5 元素方向圖定義出的階層，更可以清楚的看到元素間上下從屬關係，從圖中可以知道，階層之間的連接關係一定是單向的，而同階層內因過程中確定為強連接的次集合，元素間會有互動關係，而矩陣看到的 3,4 階層分類中，兩者會出現全為 1 的矩陣關係。

同時由可達矩陣轉接層圖的狀態可以發現，可達矩陣轉換過程中其實並不一定需要仰賴可達集合和先行集合關係表來分析，單由可達矩陣圖形就可以略知一二，本研究重新歸納規則如下：

1. 先以直行為單位，將零件兩兩比較，直行中的關係數字 1 較多的向左方集中。
2. 直行比較時，如果遇到相同數目的關係數字 1 時，則選擇數字橫列偏上者優先向左方集中。
3. 橫列兩兩比較時，則是數字 1 多時向下三角矩陣集中。

4.以橫列為主，比較元素關係，若橫列中具相同數量 1 的為同一群，以此類推得到各分類結果。

5.得到各分類後再依先前的方向圖關係標示出各分類結果的連結關係。

3-2 模糊綜合評價操作

模糊綜合評價得到的結果不是一個絕對的否定或是肯定的答案，而是以一個模糊集合來表示，主要是運用模糊理論中的模糊關係合成的運算方式，綜合各種影響因子，經一定方法的運算得到適當模糊綜合評價分數，再藉此分數區分評價對象的相對重要性。模糊綜合評價建構的重點分別為：

1. 確定影響評價的因子 U 。
2. 確定各評價指標的權重 W ，這部分通常都是根據專家經驗或是應用層次分析法(AHP)來判定。
3. 找出評價矩陣。
4. 模糊評價結果提出。

模糊綜合評價的應用可以依據實際狀況的複雜度，分為一級模糊綜合評價及多級模糊綜合評價。如果有需要使用多級模糊綜合評價，則可將多個一級模糊綜合評價中得到的評價矩陣 B 組合成綜合評價矩陣 R (圖 20)，再進一步使用 $B=W \circ R$ 的公式得到第二級的模糊綜合評價，其他級數的模糊綜合評價方式以此類推。這裡的「 \circ 」使用的是模糊關係合成之最大最小合成法計算。

整合以上討論結果定義之模糊綜合評價步驟如下：

1. 確定系統的綜合評價集合 U ：即各種影響因子。

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$$

2. 確定綜合評價集合 U 的權重：

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$$

可以先透過階層圖示建立起各種影響因子的相關影響架構及權重，影響因子的影響關係階層可以有很多層，這部分可視案例的複雜程度而定（圖 21），本研究說明是以單階層影響因子為例。

3. 建立模糊評價集 V ：即類似將「很滿意、滿意、普通、不滿意和很不滿意」等，定義出在 0 和 1 之間的數值。

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$$

由 U 中的各種影響因子和 V 的關係 R 和影響因子的權重相乘就可以得到影響因子評價矩陣 B_i ， $(i=1,2,3\dots n)$ 。 U 中所有影響因子評價矩陣 B_i 集合為 B ， B 稱為綜合評價矩陣（圖 20）。

4. 系統的綜合評價矩陣的評判結果為 A ：即模糊關係 W 和模糊關係 B 的合成。

$$A = W \times B = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$$

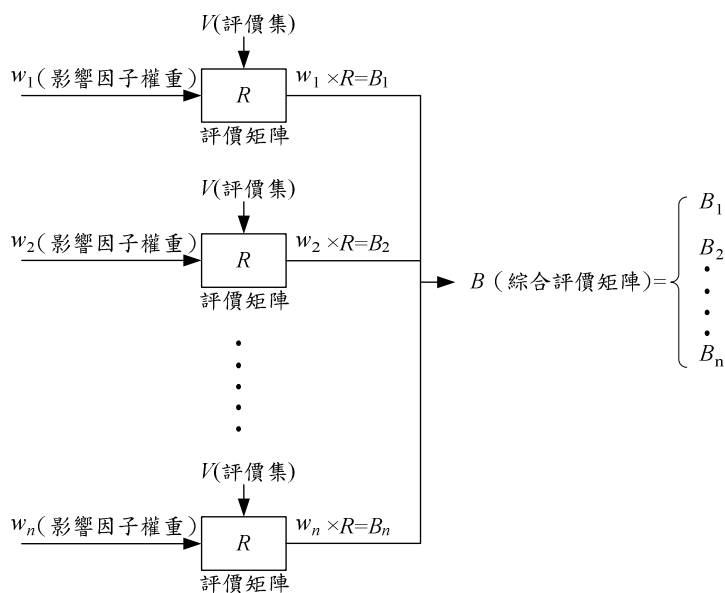


圖 20 模糊綜合評價運算概念圖示

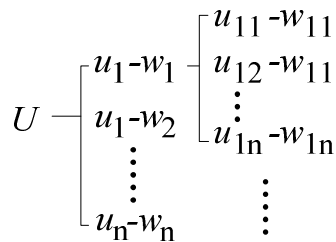


圖 21 影響因子的相關架構及權重概念圖示

3-2-1 模糊綜合評價範例說明

以下以教師的課堂教學品質進行評價為例說明(白思俊，2006)，會影響教學品質的影響因子簡化為四點，即 $U=[$ 教學清晰易懂，熟悉教材，能力培養，提供完整教材 $]$ 。

經專家給定各因素的權重值為 $W=(0.5, 0.2, 0.2, 0.1)$ 。

建立評價矩陣：

評價分為四個等級，評價尺度為 $V=[$ 很好，好，一般，不好 $]=[1.0, 0.7, 0.4, 0.1]$

請專家針對老師甲評鑑，建立出 $U \times V$ 的評價矩陣 R 。(U 為橫列，V 為直行。)

$$R = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.6 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.2 \end{bmatrix}$$

則綜合以上資料得到的模糊綜合評價為：

$$B = W \circ R = (0.5, 0.2, 0.2, 0.1) \circ \begin{bmatrix} 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.6 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.2 \end{bmatrix} = (0.4, 0.5, 0.2, 0.1)$$

這裡的「 \circ 」使用的是模糊關係合成之最大最小合成法計算(圖

22)。

```
>> P=input('Please put a matrix P\n');
Q=input('Please put a matrix Q\n');
fprintf(' Your answer is \n');
for x=1:length(P(:,1))
    for y=1:length(Q(1,:))
        R(x,y)=max(min(P(x,:),Q(:,y)'));%最大最小關係合成
    end
end
disp(R)
Please put a matrix P
[0.5 0.2 0.2 0.1]
Please put a matrix Q
[ 0.4 0.5 0.1 0;0.6 0.3 0.1 0;0.1 0.2 0.6 0.1;0.1 0.2 0.5 0.2]
Your answer is
    0.4000    0.5000    0.2000    0.1000
```

圖 22 電腦輔助計算之模糊關係-最大最小合成法

模糊綜合評價分數判定：

老師甲得到的綜合評價分數為 $N_1 = B \times V$

$$N_1 = (0.4, 0.5, 0.2, 0.1) \times (1.0, 0.7, 0.4, 0.1) = 0.84$$

如果依序使用這個方法對其他老師評價，各個老師就會有屬於自己的綜合評量分數，而這個分數必有高低，可以用來做為決策者的決策依據。本研究將使用此方法對零件間的關係進行綜合評價，由評價結果可以知道零件設計的重要性高低順序，以做為後續實務設計時的判定依據。

3-3 模糊詮釋結構模式操作

過去詮釋結構模式用於建立模組化零件規劃時，零件間關係的有、無都是以 0 和 1 表示，但是實務上零件設計時的零件關係影響因

子，並非如此單純，因此本研究嘗試使用詮釋結構模式建構出零件階層圖後，再輔以模糊綜合評價定義零件關係，最後再利用完成的模糊綜合評價模式圖示作為零件模組化設計規劃之用，案例驗證過程中會需要大量計算的部分將以電腦輔助計算軟體 Matlab 協助運算。(圖 23)

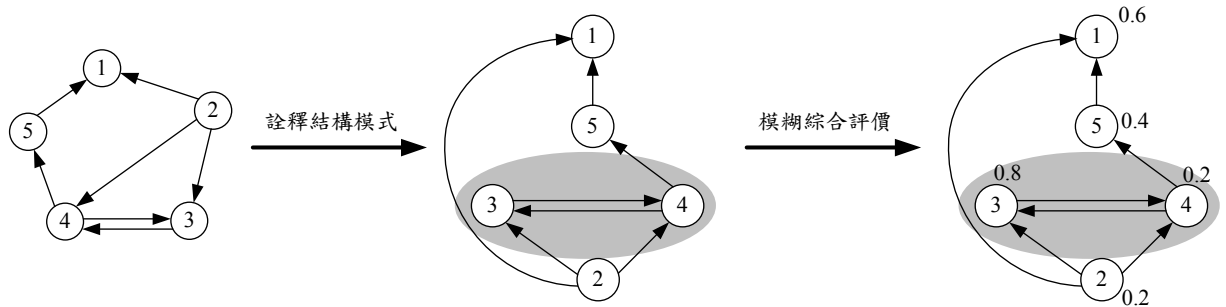


圖 23 模糊詮釋結構模式概念圖示

新建立的模糊詮釋結構模式的是將原本的詮釋結構模式的結果圖示，加上模糊綜合評價的概念，如同 Shirley(1982)的建議，明確的權重概念可以幫助設計者知道零件間的重要順序關係，同時本研究提出的模糊概念融入思考，讓影響零件關係的因子考量更接近實務。

模糊詮釋結構模式結合了模糊綜合評價的概念，讓原本只能讓設計者瞭解元素分類層級關係的理論，更進一步能夠透過圖示知道零件間因為各影響因子評價結果，產生不同的關係順位，兩者間的原理及優、缺點比較如下：

表 8 ISM 和本研究改良之 FISM 比較

| 設計方法 | | 詮釋結構模式 Interpretive Structural Model | 模糊詮釋結構模式 Fuzzy Interpretive Structural Model(本研究改良) |
|------|-------|--|--|
| 項目 | | | |
| 1 | 表示方式 | 0 和 1 之二維矩陣方式。 | 0 和 1 之二維矩陣方式，及模糊綜合評價分數。 |
| 2 | 元素關聯性 | 強調交互作用性。 | |
| 3 | 運算原理 | 可達矩陣運算。 | 模糊關係合成及可達矩陣運算。 |
| 4 | 分類方式 | 使用可達集合和先行集合關係表，繪出層級關係圖等。 | |
| 5 | 運用目的 | 分析元素關聯，得到較佳模組分類。 | |
| 6 | 優點 | <ul style="list-style-type: none"> a.圖示清晰表達出零件關連。 b.完成層級關係圖即得到分類，簡單易瞭解。 | <ul style="list-style-type: none"> a.圖示清晰表達出零件關連。 b.完成層級關係圖即得到分類，簡單易瞭解。 c.考量模糊排序的概念。 d.由圖示中可以知道零件之重要順序。 e.由標示圖形瞭解零件屬性。 f. 考量零件細部之陳列遮蔽關係。 |
| 7 | 缺點 | <ul style="list-style-type: none"> a.矩陣運算較為複雜，對不甚瞭解者執行較難。 b.第一階段的零件關係辨認錯誤，後續導出的結論會有矛盾無法解答的問題。 c.強調元件交互之關連性，陳列遮蔽不在考量範圍。 d.看不出零件之重要順序。 | <ul style="list-style-type: none"> a.矩陣運算較為複雜，對不甚瞭解者執行較難。 b.第一階段的零件關係辨認錯誤，後續導出的結論會有矛盾無法解答的問題。 |

第四章 模糊聚類分析

原本的模糊聚類分析大多是用於統計資料分析，但是其分類的概念很適合用於產品零件分類用，其相關的操作方式需要被修正，因此本研究提出考量零件多影響因子之模糊綜合評價、零件連結強度關係數值及零件連結強度關係模糊語意來重新規劃原本的模糊聚類分析步驟。自從模糊理論的概念被提出後，模糊聚類分析就被廣泛的應用到各種層面，它使用 0 至 1 的概念更仔細的描述點資料隸屬於各群聚的程度，而這些群聚的程度最後相加後會等於 1，而點資料屬性的分類則是利用空間中的距離概念來分類。

4-1 模糊聚類分析操作

模糊理論概念搭配聚類分析經專家學者研究後衍生了許多的方式，本研究經確認可用於模組化分類的整理步驟如下(馮國臣, 2007; 吳萬鐸等, 1993):

(1) 確定待分類的全體 U

假設 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 為待分類的全體，其中每一待分類物件 u_i 由一組資料表示。

$$u_i = (X_{i_1}, X_{i_2}, \dots, X_{i_m})$$

(2) 定義模糊相似關係 (Fuzzy similar relation)

待分類的全體 U 確認後，皆下來就需要建立 u_i 和 u_j 之間的相似關係。目前有很多方法可以用來建立相似關係，因此在確定方法時必須評估實際狀況後，選擇其中一種來定義 u_i 和 u_j 的相似關係 $R(u_i, u_j)=r_{ij}$ 。建立相似關係的距離公式如下：

1. 數量積法

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{當 } i = j \\ \sum_{k=1}^m \frac{X_{ik} \cdot X_{jk}}{M}, & \text{當 } i \neq j \end{cases}$$

其中 M 為一適當的整數，且滿足

$$M \geq \max \left(\sum_{k=1}^m x_{ik} \cdot x_{jk} \right)$$

2. 絕對值指數法

$$r_{ij} = \exp \left[- \sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}| \right]$$

3. 最大最小法

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m \min(x_{ik}, x_{jk})}{\sum_{k=1}^m \max(x_{ik}, x_{jk})}$$

4. 算數平均最小法

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m \min(x_{ik}, x_{jk})}{\frac{1}{2} \cdot \sum_{k=1}^m (x_{ik} + x_{jk})}$$

5. 絕對值倒數法

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{當 } i = j \\ \frac{M}{\sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}|}, & \text{當 } i \neq j \end{cases}$$

其中當 M 適當選取，使 $0 \leq r_{ij} \leq 1$ 。

6. 幾何平均最小法

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m \min(x_{ik} \cdot x_{jk})}{\sum_{k=1}^m \sqrt{x_{ik} \cdot x_{jk}}}$$

7. 夾角餘弦法

$$r_{ij} = \frac{\left| \sum_{k=1}^m x_{ik} x_{jk} \right|}{\sqrt{\left(\sum_{k=1}^m x_{ik}^2 \right) \left(\sum_{k=1}^m x_{jk}^2 \right)}}$$

8. 相關係數法(correlation coefficient)

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m |x_{ik} - \bar{x}_i| \cdot |x_{jk} - \bar{x}_j|}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_i)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}}$$

$$\text{其中 } \bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_{ik}, \quad \bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_{jk} \text{。}$$

9. 指數相似係數法

$$r_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \exp \left[-\frac{3}{4} \left(\frac{(x_{ik} - x_{jk})^2}{s_k^2} \right) \right]$$

其中 s_k 為適當選取的正數，即第 k 個特徵的方差，為實際值減期望值的差的平方的平均值。

$$s_k = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}, \quad \bar{x}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ik}$$

10. 絕對值減數法

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & , \text{ 當 } i = j \\ 1 - c \sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}| & , \text{ 當 } i \neq j \end{cases}$$

其中 c 為適當選取數，使 $0 \leq r_{ij} \leq 1$ 。

11. 主觀評定法

這是唯一非公式化判斷 u_i 和 u_j 相似關係的方法，可以請專家給定分數，將所評得的總分除以 100 後，即為區間[0,1]間的一個數。或是多人評分後，再取平均數的方式訂出 r_{ij} 。

以上的方法都可以用來定義 u_i 和 u_j 之間的相似關係，哪一種方式較適合，需要按照實際狀況決定，有時亦可以採用多種方式做為輔

助檢驗之用。確定使用的方法之後就可以建立模糊相似矩陣 (Fuzzy similar matrix)。以上是原本被定義的模糊聚類分析法，過程中沒有更進一步考量零件間的關係，因此在使用上不適用於模組化設計規劃，本研究後續將調整此部分的作法。

(3) 建立模糊等價關係

針對待分類的全體 U 確認後出的模糊關係 \tilde{R} ，其對應的模糊矩陣 $\tilde{R} = (r_{ij})_{n \times n}$ ，若滿足

- a. 自反性 $r_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$ ，即矩陣對角線上的元素全為 1。
- b. 對稱性 $r_{ij} = r_{ji} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$ ，即 \tilde{R} 為對稱矩陣。
- c. 傳遞性 $\tilde{R} \times \tilde{R} \subseteq \tilde{R}$

則稱 $\tilde{R} = (r_{ij})_{n \times n}$ 是一個模糊等價矩陣 (Fuzzy equivalent matrixes)，其關係為模糊等價關係；如果只滿足 a 和 b 則稱為相似關係。

使用 (2) 方法所建立的模糊關係 \tilde{R} ，只滿足了自反性和對稱性，因為還沒滿足傳遞性，因此還不是模糊等價關係，唯有 \tilde{R} 成為模糊等價關係，成為模糊等價矩陣，才能夠進一步進行模糊類聚分析。

首先將所建立模糊相似矩陣先自我合成，直到出現 $\tilde{R}^{2k} = \tilde{R}^k$ 為止，其中的 \tilde{R}^k 就是模糊等價矩陣。

(4) 模糊聚類

模糊等價矩陣建立之後就可以進行後續的模糊聚類分析，模糊聚類分析建立的方法分為間接聚類法及直接聚類法兩種，依實際案例分析如下：

a. 間接聚類法-利用 λ 截矩陣分類

如果模糊相似關係矩陣無法直接反應元素主從關係順序，因此需要將模糊相似關係矩陣轉換成模糊等價矩陣這樣的方法稱之為間接

聚類法。

【實際案例】

假設單元 $U=\{ I, II, III, IV, V\}$ ，每個單元 I, II, III, IV, V 可以包含 A、B、C 和 D 四種要素，它們的數據如下：

| | A | B | C | D |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| I | X ₁₁ 5 | X ₁₂ 5 | X ₁₃ 3 | X ₁₄ 2 |
| II | X ₂₁ 2 | X ₂₂ 3 | X ₂₃ 4 | X ₂₄ 5 |
| III | X ₃₁ 5 | X ₃₂ 5 | X ₃₃ 2 | X ₃₄ 3 |
| IV | X ₄₁ 1 | X ₄₂ 5 | X ₄₃ 3 | X ₄₄ 1 |
| V | X ₅₁ 2 | X ₅₂ 4 | X ₅₃ 5 | X ₅₄ 1 |

步驟一 建立模糊相似關係矩陣

使用絕對值減數法

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & , \text{當 } i = j \\ 1 - c \sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}| & , \text{當 } i \neq j \end{cases}$$

其中 c 為適當選取數， c 的數字會影響實際帶入公式中運算的結果，不適合的數字帶入會出現超過 0 至 1 的計算結果，如果計算結果超過定義範圍，表示此選取的數值不適合，需要重新定義，目標是使計算的結果範圍在 $0 \leq r_{ij} \leq 1$ 間，因此選取 c 的過程需要不斷的被測試。

選取 $c=0.1$ ， $m=4$ ， $i, j=1,2,3,4,5$ 。

如 $r_{11}=1$

$$\begin{aligned} r_{12} &= 1 - C \cdot [|x_{11} - x_{21}| + |x_{12} - x_{22}| + |x_{13} - x_{23}| + |x_{14} - x_{24}|] \\ &= 1 - 0.1 \times (|5 - 2| + |5 - 3| + |3 - 4| + |2 - 5|) \\ &= 1 - 0.1 \times 9 = 0.1 \end{aligned}$$

$$r_{13} = 1 - 0.1 \times (|5 - 5| + |5 - 5| + |3 - 2| + |2 - 3|) = 0.8$$

.....

$$r_{45} = 1 - 0.1 \times (|1 - 2| + |5 - 4| + |3 - 5| + |1 - 1|) = 0.6$$

經計算後得到模糊相似矩陣

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} 1 & 0.1 & 0.8 & 0.5 & 0.3 \\ 0.1 & 1 & 0.1 & 0.2 & 0.4 \\ 0.8 & 0.1 & 1 & 0.3 & 0.1 \\ 0.5 & 0.2 & 0.3 & 1 & 0.6 \\ 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.6 & 1 \end{bmatrix}$$

步驟二 建立模糊等價矩陣

將 \tilde{R} 自我合成。

$$\tilde{R}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0.3 & 0.8 & 0.5 & 0.5 \\ 0.3 & 1 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.8 & 0.2 & 1 & 0.5 & 0.3 \\ 0.5 & 0.4 & 0.5 & 1 & 0.6 \\ 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.6 & 1 \end{bmatrix}, \tilde{R}^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0.4 & 0.8 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 1 & 0.4 & 0.4 & 0.4 \\ 0.8 & 0.4 & 1 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.4 & 0.5 & 1 & 0.6 \\ 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{R}^8 = \begin{bmatrix} 1 & 0.4 & 0.8 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 1 & 0.4 & 0.4 & 0.4 \\ 0.8 & 0.4 & 1 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.4 & 0.5 & 1 & 0.6 \\ 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 1 \end{bmatrix} = \tilde{R}^4$$

因為 $\tilde{R}^8 = \tilde{R}^4$ ，因此選定 \tilde{R}^4 為模糊等價矩陣。

步驟三 模糊類聚分析-利用 λ 截矩陣分類

當 $\lambda=1$ 時， R^* 的 λ 截矩陣為

$$R_{\lambda}^* = \begin{array}{c} I \quad II \quad III \quad IV \quad V \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

U 分為五類， $\{I\}, \{II\}, \{III\}, \{IV\}, \{V\}$ 。

當 $\lambda=0.6$ 時， U 分為三類， $\{I, III\}, \{II\}, \{IV, V\}$ 。

$$R_{0.6}^* = \begin{array}{c} I \quad II \quad III \quad IV \quad V \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

$\lambda=0.5$ 時， U 分為二類， $\{I, III, IV, V\}, \{II\}$ 。

$$R_{0.5}^* = \begin{array}{c} I \quad II \quad III \quad IV \quad V \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

由以上結果就可以得到聚類圖（圖 24）。

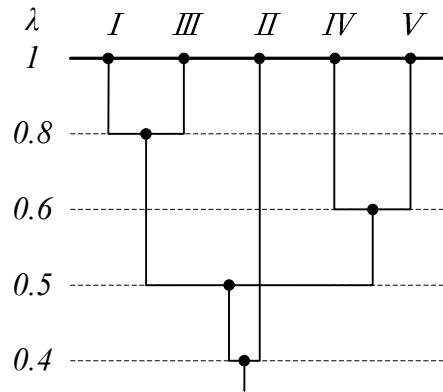


圖 24 截矩陣聚類圖

b. 直接聚類法

模糊相似關係矩陣可以直接反應元素主從關係順序，因此可以不需要再轉換成模糊等價矩陣。直接聚類法有三種分類的表示法，分別為：一般法、編網法和最大樹法。直接聚類法是用主觀的方式定義元素間的相似關係，讓它直接成為模糊等價矩陣，以直接進入後續的分類。本研究改良的模糊聚類分析將以此為依據，並加入零件關係的概念。

【實際案例】(馮國臣，2007)

現在三個家庭，每個家庭由四至七人組成，每人一張照片，共十六張，利用照片按相貌相像程度分類，將三個家庭分開來。(表 9 照片相貌相像程度相似關係矩陣，相似關係矩陣因為是一個對稱性矩陣，因此矩陣的另一面省略表示，只標示下三角的部分。)

表 9 照片相貌相像程度相似關係矩陣表

| r_{ij} | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0 | 0 | 0.4 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | |
| 6 | 0.5 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0 | 1 | | | | | | | | | | |
| 7 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 0.4 | 0 | 1 | | | | | | | | | |
| 8 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0 | 0.8 | 0 | 1 | | | | | | | | |
| 9 | 0 | 0.4 | 0 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 0 | 1 | | | | | | | |
| 10 | 0 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0 | 0 | 0.2 | 0 | 0.2 | 1 | | | | | | |
| 11 | 0 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0.4 | 0.2 | 1 | | | | | |
| 12 | 0 | 0 | 0.2 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 0.8 | 0 | 1 | | | | |
| 13 | 0.8 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0 | 0.4 | 0 | 0.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | |
| 14 | 0 | 0.8 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0 | 0.8 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0.6 | 0 | 0 | 1 | | |
| 15 | 0 | 0 | 0.4 | 0.8 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0 | 1 | |
| 16 | 0.6 | 0 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0.8 | 0 | 0.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 1 |

(a) 一般法-利用 λ 截矩陣分類

照片相貌相像程度相似關係矩陣表，取 $\lambda=0.8$ ，則權重不低於 0.8 的路徑共五條（圖 25）。

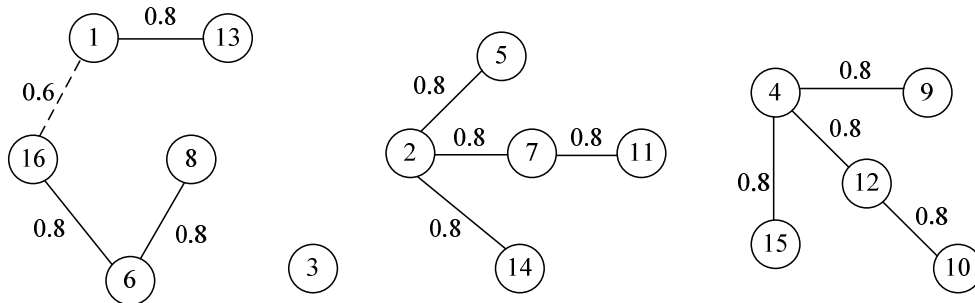


圖 25 一般法- $\lambda=0.8$ 路徑圖

取 $\lambda=0.6$ ，將路徑 1 和 16 連接起來，不考慮 3，就可以將 15 張照片分為三類（即三個家庭）（圖 26）。

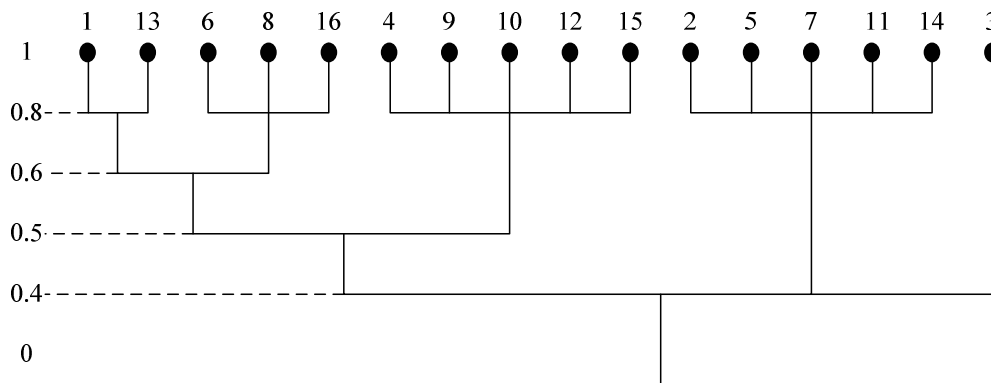


圖 26 一般法- $\lambda=0.6$ 聚類圖

(b) 編網法

編網法的推演步驟如下，取矩陣 $R_{0.6}$ 為例：

- I. 針對照片相貌相像程度相似關係矩陣表，取矩陣 $R_{0.6}$ 在對角線中填入符號。
- II. 對角線左下方為對象，權重大於 $R_{0.6}$ 者以”*”表示，其他以空格代替 0。”*”稱為節點，像對角線引出經線和緯線，即完成所謂的編網（圖 27）。

透過經線和緯線相交的節點而相互連結者屬於同一類。

$R_{0.6}$ 編網圖所得到的分類為： $\{1,6,8,13,16\}$ 、 $\{2,5,7,11,14\}$ 、

$\{4,9,10,12,15\}$ 及 $\{3\}$ ，所得到的結果和一般法是一樣的。

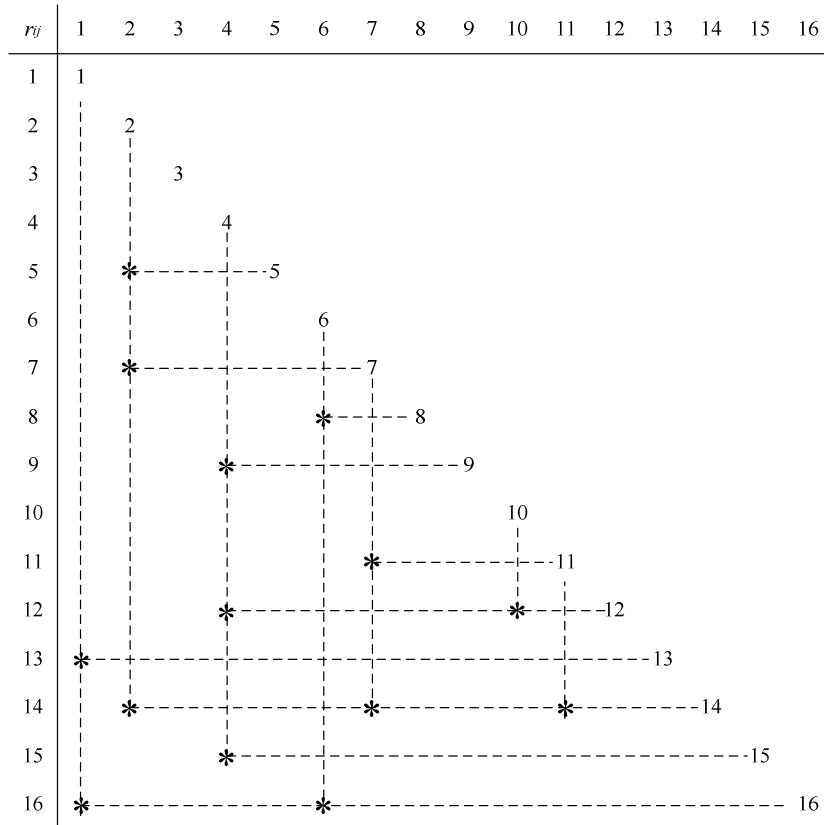


圖 27 $R_{0.6}$ 編網圖

(c) 最大樹法

推演步驟如下：

- I. 照片相貌相像程度相似關係矩陣表中，按 r_{ij} 的大小順序依序用直線將元素連接在一起。
- II. 將元素間的權重加入。
- III. 如果繪製圖像的過程中出現回路，就不畫這一步，直到元素全部連在一起。

最大樹法得到的結果可以不是唯一的，它會因為研究者所定義的 λ 數字的不同得到不同的分類結果，因此分類的結果適當與否在於研究者的經驗及相關的判斷。

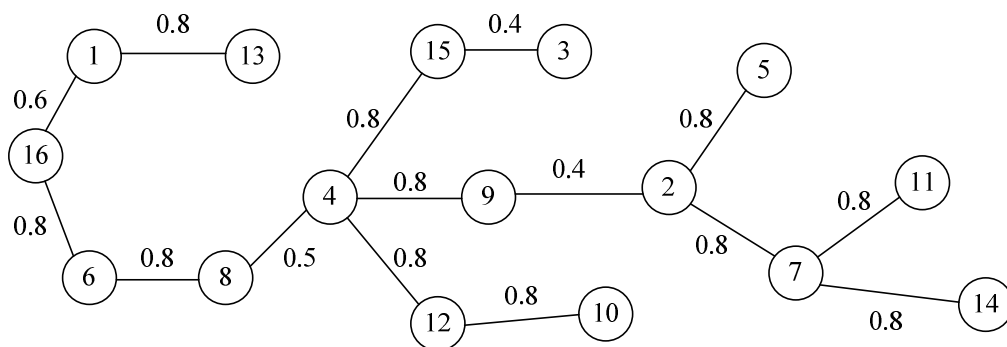


圖 28 照片相貌相像程度最大樹圖

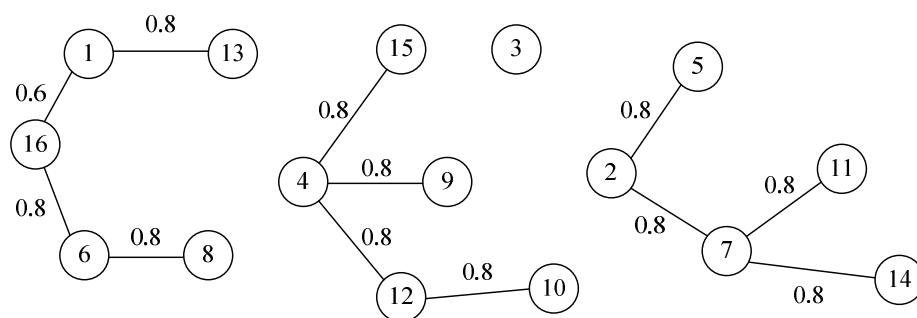


圖 29 權重小於 $\lambda=0.6$ 的最大樹圖

4-2 改良之模糊聚類分析操作

模糊聚類分析的分類概念是建立在點與點，或是零件間的距離關係所形成的分類方法，這個距離關係的概念在模糊聚類分析中亦稱為相似關係。

模糊聚類分析之操作步驟中缺乏考量零件關係強度及零件設計之影響因子，因此本研究加入零件連結強度關係值及模糊綜合評價後，重新規劃操作步驟如下：(馮國臣，2007；吳萬鐸等，1993；王

俊文；2007；及本研究定義)

1. 確定待分類的全體 U 。

2. 建立模糊等價矩陣：本研究在此部分分為零件連結強度關係數值及零件連結強度關係模糊語意兩個概念驗證，因此使用兩零件之模糊綜合評價分數，分別於第一次的案例驗證時是乘上零件連結強度關係值，即零件間的相似關係 I_{ij} ；第二次的案例驗證則是乘上零件連結強度關係模糊語意，得到零件間的相似關係 I_{ij} ，最後再依序建構求得模糊等價矩陣。

3. 模糊聚類分類：使用最大樹法進行模糊聚類分類（馮國臣，2007），操作步驟如下：

- (1) 將模糊等價矩陣中零件間的關係數值依大小順序用直線將零件元素連接起來。
- (2) 繪製過程若出現回路則忽略，直到零件元素全部歸類完成。
- (3) 最後用最大樹法及 λ 截矩陣原則得到分類的結果。

4-3 模糊聚類分析和改良之模糊聚類分析比較

模糊聚類分析基本研究改良步驟後更適合用於模組化設計規劃用，過程中除了使用模糊綜合評價考量實際設計時的多個影響因子外，另外有針對零件實際的連結關係重新定義，與原本的模糊聚類分析的原理和優、缺點，本研究比較如下：

表 10 模糊聚類分析和本研究改良之模糊聚類分析比較

| 設計方法 | | 模糊聚類分析 Fuzzy Clustering Analysis | 修正型模糊聚類分析(本研究改良) Modified Fuzzy Clustering Analysis |
|------|-------|--|---|
| 項目 | | | |
| 1 | 表示方式 | 0 至 1 模糊數值矩陣方式。 | |
| 2 | 元素關聯性 | 強調交互作用性。 | 模糊綜合評價分數及零件連結強度之關係值及模糊語意。 |
| 3 | 運算原理 | 模糊關係合成及模糊等價矩陣。 | 模糊聚類分類。 |
| 4 | 分類方式 | 依零件間之空間距離分類。 | |
| 5 | 運用目的 | 分析元素關聯，得到較佳模組分類。 | |
| 6 | 優點 | <p>a. 有多種之主、客觀的距離公式選擇定義出零件間之空間距離。</p> <p>b. 方便使用可快速分類。</p> | <p>a. 因本研究直接使用主觀式定義零件關係，因此後續只需簡單的模糊聚類分類。</p> <p>b. 操作步驟簡化為 2 步驟。</p> <p>c. 考量零件間模糊連結關係。</p> <p>d. 考量到零件之陳列遮蔽關係。</p> |
| 7 | 缺點 | <p>a. 矩陣運算較為複雜，對不甚瞭解者執行較難。</p> <p>b. 距離公式多需要測試，才能得到最佳分類。</p> <p>c. 未考量零件間之陳列遮蔽關係。</p> <p>d. 第一階段的零件關係標準化方式可隨狀況改變，對不瞭解產品者不易導入設計規劃中。</p> | <p>a. 對不瞭解產品結構者不容易使用。</p> <p>b. 需要瞭解模糊綜合評價及模糊語意之基本運算。</p> |

第五章 案例驗證

一個完整的自行車的系統包括：煞車系統（含變速系統操控裝置）、車輪系統、車架系統、傳動系統和變速系統（圖 30），從 60 年代開始台灣一直是全世界最大的自行車及零配件輸出國，最先是以前廠委託代工起家，逐步發展至自行設計建立新品牌，也因為之前紮實的代工技術，因此台灣的自行車產業在零組件裝配上已呈現高度模組化，各系統在統一考量相容性的狀況下可以分開設計，最後再統一組裝成一台完整的自行車，而後續本研究認為可以再發展的就是零組件本身的模組化設計，因此以型號 SG-3S40 作為範例，嘗試進行模組化規劃設計。

所謂的內變速器，簡單來說就是將變速機構包覆於輪轂中。目前自行車內變速器的使用上，可分為前內變速器(Bracket mounted gear)與後內變速器(Hub gear；Multi-speed hub；Internal gearing hub)。由於前內變速器不普及，因此大部份的研究都集中在後內變速器的發展過程、組成機構和作動原理。



圖 30 自行車系統圖

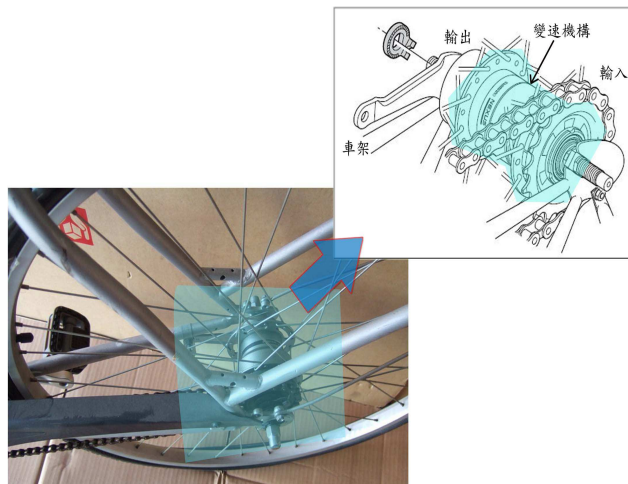


圖 31 自行車變速系統機構圖示

內變速器是將變速齒輪裝在封閉的殼體內，作為後軸使用，並可變換 2~9 種騎行速度，適合不同人群的需用；其中內 6 速相當於外 18 速，內 9 速相當於外 21 速；內 2 速用於女士、中老年及少年兒童；內 3 速適用於上班人群；內 6、內 9 速騎行速度可以很輕（上坡）也可以很快，適用於青年人和學生；最高級的 9 速全世界獨有，屬世界最高端產品。

自行車內變速器的開發與設計主要以日本 Shimano 公司、美國 Sram 公司與德國 Sachs 公司為主。最近隨加工技術成熟，台灣陸續有幾家公司也開始進行內變速器研發與生產，如：日馳、川飛...等。

市面上大部分的自行車內變速器主要構件為：行星齒輪、驅動器、離合器、環齒輪、太陽齒輪和相關的輸入和輸出桿（圖 32），資料來源：日本島野自行車公司），這裡以 Sachs 公司之七速內變速器為例說明其中的運作，如圖 33。

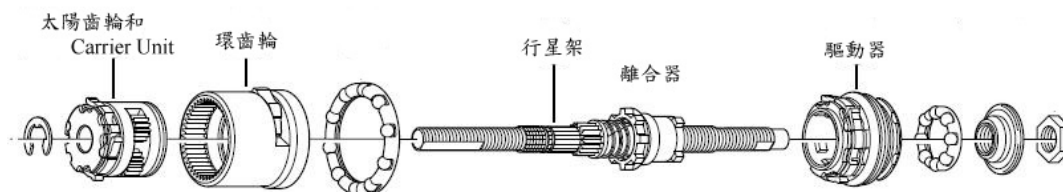


圖 32 一般內變速器示意圖

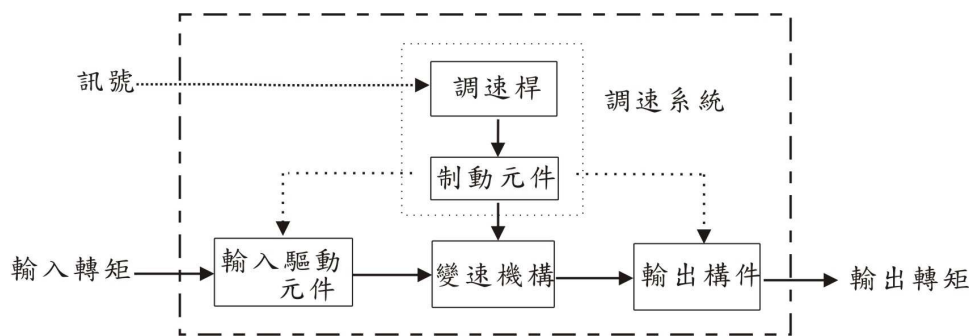


圖 33 自行車內變速器系統組成圖

整個內變速器運作過程說明如下：

(1)訊號經由調速系統之調速桿控制各離合器制動元件，使動力由輸入構件經過變速機構改變轉矩，得到所需之轉速比，最後再經由輸出構件輸出至車輪輪轂。

(2)變速機構：主體是由一個或多個行星齒輪系所組合而成的，負責將騎乘者腳部所輸入的轉速經行星齒輪系之間的轉換後輸出至後輪輪轂，藉以達到帶動自行車前進的目的。

(3)調速系統：主要作用為變換不同的輸入、輸出或固定桿件以達到不同的檔位。

自行車內變速器之系統組成主要分為三部分：變速機構、調速系統、其他（輸入驅動元件和輸出構件等）。

變速機構：包含太陽齒輪、行星齒輪、行星架和環齒輪。

功用：將腳部輸入的轉速經行星齒輪間的轉換，輸出至後輪花轂殼，以達到帶動自行車前進的目的。後內變速器的變速裝置主要是在改變 ω_1 和 ω_2 的關係（圖 34），內變速器安裝在B的位置，而 $\frac{\omega_2}{\omega_1} = r$ ， r 就是所謂的轉速比。

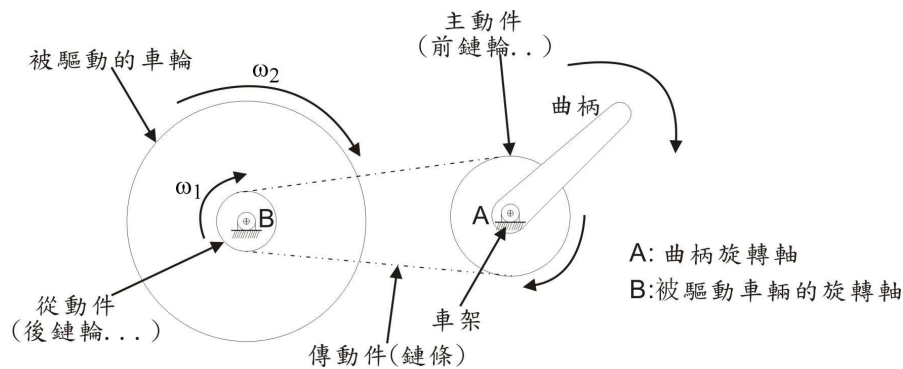


圖 34 變速機構變速示意圖

調速系統：包含連結構件（離合器、固定卡制器）和控制構件（調速滑塊、調速套筒）

功用：連結構件傳遞動力；控制構件可以變換離合器位置或是控制桿件以達到不同檔位。

其他：包含固定用的主軸、連接鏈條動力輸入的驅動鏈輪、動力輸出花殼殼、軸承、彈簧...等。

功用：這部分不是變速器變速機構的主體，他主要的功用在於連接變速機構系統或是固定各元件的位置。

5-1 內變速器之功能結構分析

關於內變速器內部結構與功能方面，關於 S 公司之相關研究資料，本研究由美國專利資料庫中搜尋，共找到 44 篇相關文獻，經研究拆解及相關文獻瞭解，以下以 SG-3S40 內三速變速器（圖 35）為例分解說明：



圖 35 SG-3S40 內三速變速器

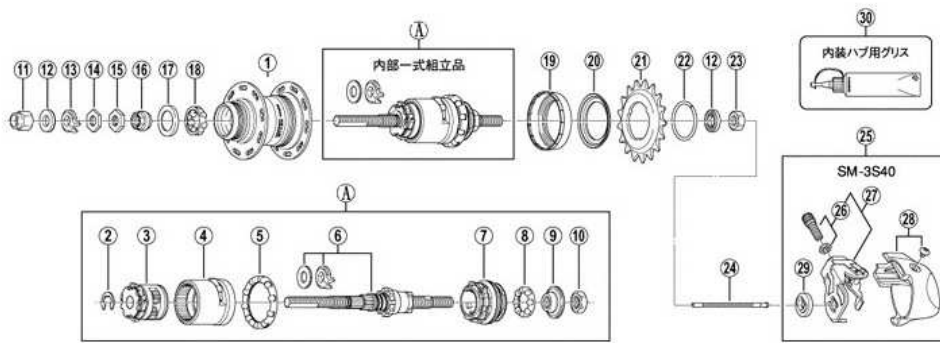


圖 36 SG-3S40 內三速變速器爆炸圖及實體圖示

S 公司對外公開之 SG-3S40 內三速變速器爆炸圖共 29 個零件(圖 36)，其中不含驅動單位 (圖 37) 的千斤及固定環、車軸上的換檔滑套 (圖 38) 及配件、外驅動套 (圖 40) 上的配件和行星齒輪座(圖 39)上的行星齒輪和行星齒輪軸等圖示。

內變速器變速的三大概念為：行星齒輪、驅動滑套和飛輪組。而其中重要的變速原理是透過驅動滑套的移動，改變與行星齒輪間的齒數比來達到變速的效果，有點像是槓桿原理的應用。

整個內變速器內部運作的概念是，騎乘者腳踏自行車踏板後透過鏈條帶動飛輪(圖 36-零件編號 21)引入動力源，飛輪固定連接花鼓帶動轉動(圖 36-零件編號 1)，花鼓轉動時其內部的內棘輪(圖 43)和外驅動套的千斤(圖 43)交互作用，將動力及控制指示轉入車軸上的換檔滑套及相關變速齒輪，進而引發變速換檔等作動程序。

SG-3S40 內三變速器依變速控制裝置影響換檔滑套 (圖 43) 的狀況可以知道變速器三檔分別的作動狀況：

變速控制的拉繩拉到最緊(圖 44-a)-增速檔，變速滑套移到圖示的最上方(如果為正常安裝狀況為移到最左邊)，驅動行星齒輪座，對外驅動套作增速，外驅動套會透過千斤驅動車輪。這時候的外驅動套和車輪轉速相同，行星齒輪座和外驅動套的千斤呈現打滑空轉的狀況。使用增速檔摩擦阻力也較大，容易造成嚴重磨損，因此建議使用一點。

變速控制的拉繩拉到最鬆(圖 44-c)-減速檔，變速滑套移到圖示的最下方(如果為正常安裝狀況為移到最右邊)，外驅動套與車輪的傳動連接被切斷，外驅動套由飛輪驅動，進而帶動行星齒輪組的外齒圈，驅動行星齒輪座減速，行星齒輪座上的千斤會驅動車輪。適合上坡或是遇風阻時使用。

變速滑套為中間部位 (圖 44-b) -直接檔，不會切斷外驅動套和車輪間

的傳動，也不會連接飛輪（圖 36-零件編號 21）和行星齒輪座，從飛輪來的動力可以通過千斤驅動外驅動套，外驅動套再透過自身的千斤驅動，這時候的車輪轉速和飛輪片一樣。直接檔是最常被使用的檔位，齒輪磨損比較小，因此建議常使用。

S公司在發展內三速變速器後的變速推桿槽（圖 39）改變了造形，改成了X型，據了解這樣的改變可以方便使用者在行車驅動狀況下可以連續變速。



圖 37 Driver Unit 驅動單位



圖 38 換檔滑套

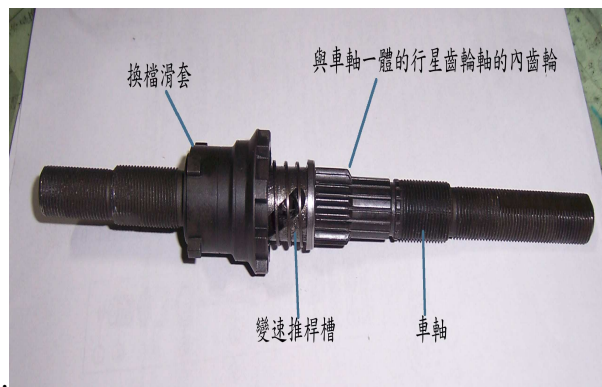


圖 39 零件編號 6- AXLE UNIT 車軸細部說明圖示



圖 40 Ring Gear Unit 外驅動套

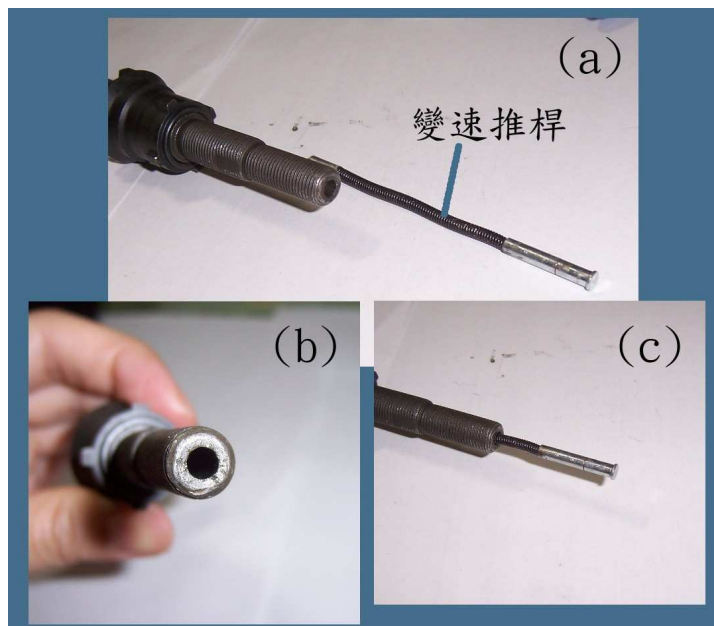


圖 41 變速控制裝置

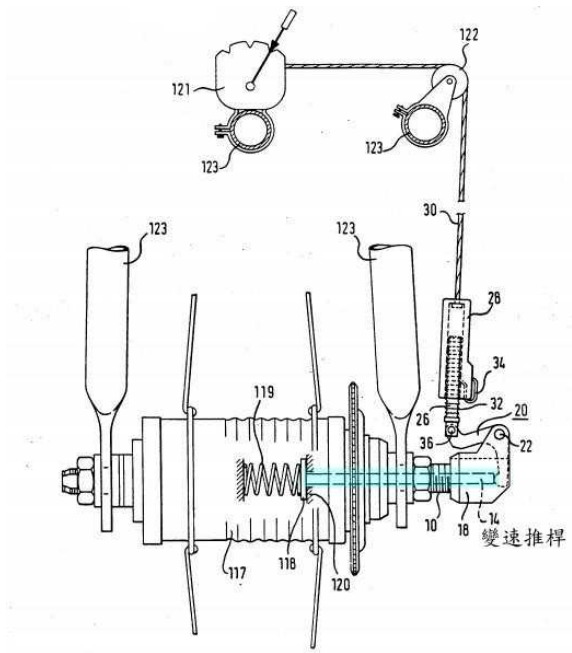


圖 42 變速推桿裝置位置概念圖示 US5182962A1

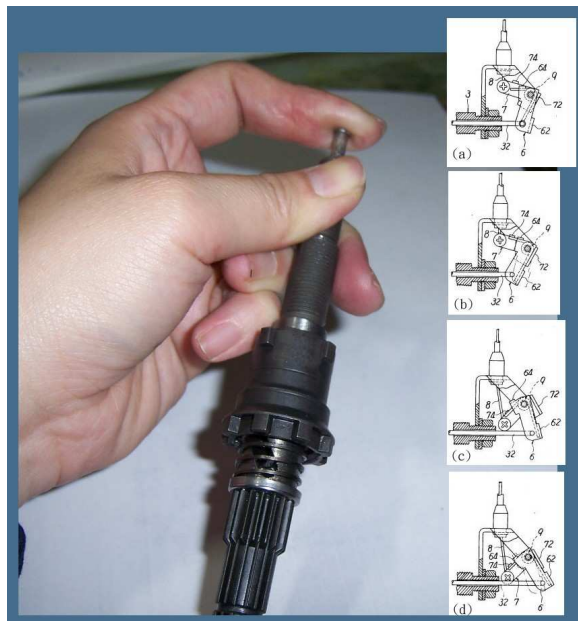


圖 43 變速推桿控制裝置作動圖示 4179953



圖 44 變速控制裝置影響換檔滑套作動圖示



圖 45 零件編號 3-Carrier Unit 組裝好的行星齒輪座及分解圖

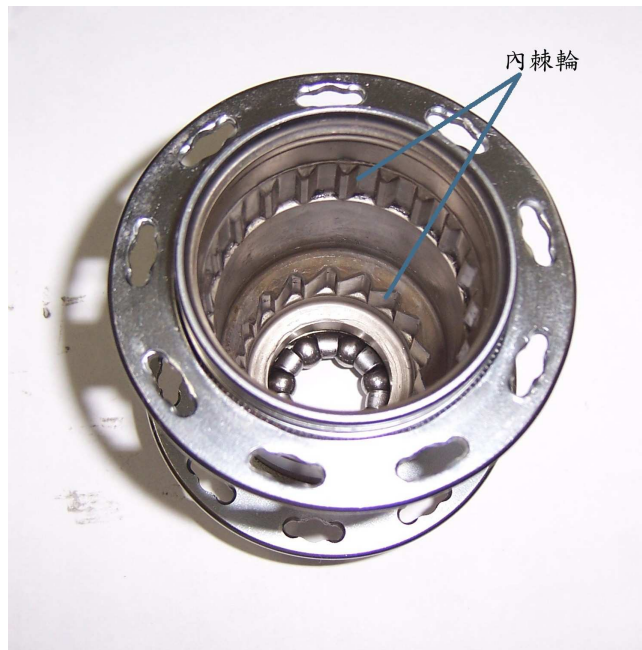


圖 46 零件編號 1-Hub

5-2 內變速器之模糊詮釋結構模式

本研究是取內 SG-3S40 三速變速器的零件作為模糊詮釋結構模式的驗證對象，分別以以下三步驟完成規劃階層圖。

- (1) 內變速器詮釋結構模式。
- (2) 內變速器各零件之模糊綜合評價。
- (3) 內變速器之模糊詮釋結構模式階層圖。

(1) 內變速器詮釋結構模式

步驟一 零件拆解

經拆解後得到零件爆炸圖如圖 47，初步拆解零件關聯圖如圖 48，零件間的關係則以物件間關聯性分類原則作為紀錄，完成初步拆解零件間連接關係表如表 11。

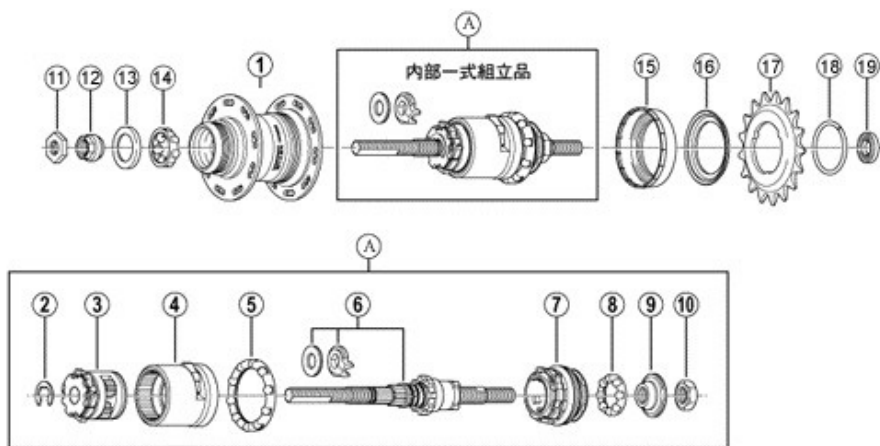


圖 47 內三變速器零件爆炸圖

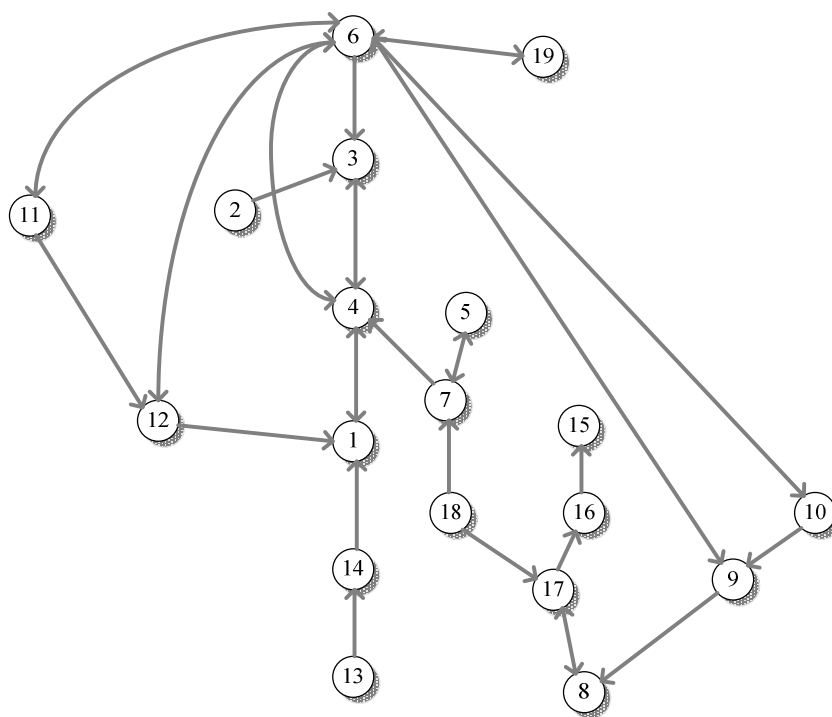


圖 48 初步拆解零件關聯圖

步驟二 建立零件矩陣關係表

表 11 內變速器零件矩陣關係表

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 1 | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | 1 | 1 | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | 1 |
| 7 | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 9 | | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 12 | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 14 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 17 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | | | |
| 18 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | |
| 19 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |

步驟三 將矩陣關係表轉換成關係矩陣，即鄰接矩陣 (Adjacency matrix)，以 M 示之。(圖 49)

```

Editor - D:\matlab\20090426-4.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 - a=[ 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2     0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3     0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4     1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
5     0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
6     0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1
7     0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
8     0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
9     0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
10    0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
11    0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
12    1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
13    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
14    1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
15    1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
16    0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
17    0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
18    0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
19    0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
20    0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0] %零件關係矩陣
21 - b=eye(20) % 單位矩陣
22 - c=a+b %鄰接矩陣

```

圖 49 電腦輔助計算鄰接矩陣

步驟四 建立可達矩陣

透過逐次平方法 $\log_2(n-1)+1$ 運算瞭解，當單位矩陣為 20 階時，需要 5 次方可以得到可達矩陣，將計算得到的鄰接矩陣自我相乘至 5 次方後求得可達矩陣。

```

Editor - D:\matlab\20060426-5.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 - c=[ 1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1
2     1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1
3     1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1
4     1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1
5     1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1
6     1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1
7     1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1
8     1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0
9     1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1
10    1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1
11    1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1
12    1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1
13    1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1
14    1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1
15    1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1
16    1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1
17    1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0
18    1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1
19    1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1
20    1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 1 ]%可達矩陣

```

圖 50 電腦輔助計算可達矩陣

步驟五 確定詮釋結構模式結果

將計算得到的可達矩陣帶入電腦輔助軟體中運算得到階層資料。

```
>> r1=c; % c 為可達矩陣
[x y]=size(r1);
for i=1:x;
    s=find(sum(r1,2)==min(sum(r1,2)));
    r1(find(sum(r1,2)==min(sum(r1,2))),:)=2;
    if sum(size(s))==x+1
        g
        break;
    end
    g{i,1}=['第 ' num2str(i) ' 層 ' num2str(s)]; %建立階層
end
g =
    '第 1 層 8'
    '第 2 層 17'
    '第 3 層 1 2 3 13 14'
    '第 4 層 4 11 12 19 20'
    '第 5 層 6 9 10 15 16'
    '第 6 層 5 7'
    '第 7 層 18'
```

圖 51 電腦輔助計算詮釋結構模式結果

步驟六 轉換成階層圖

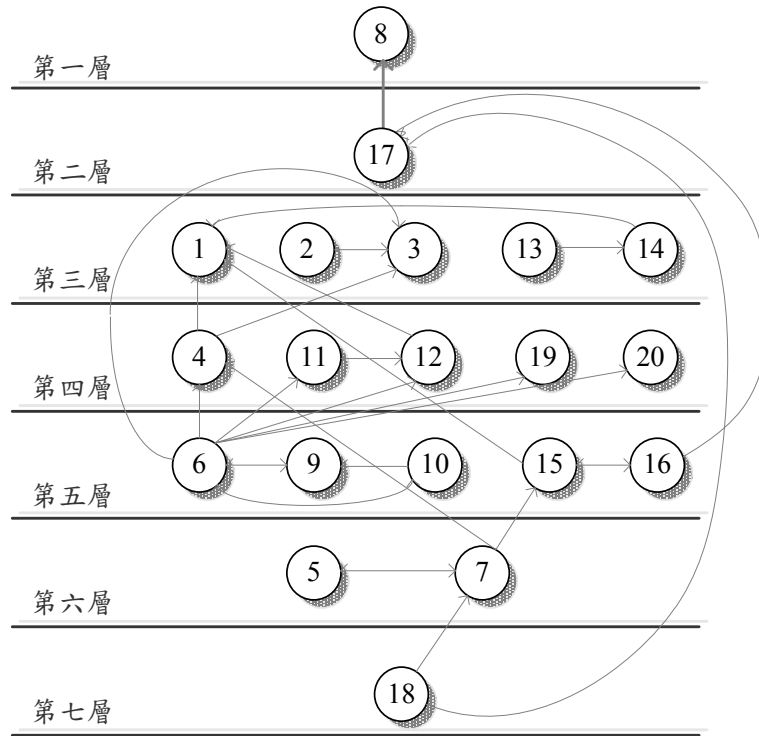


圖 52 內變速器零件階層圖

(2)內變速器各零件之模糊綜合評價

模糊綜合評價矩陣

1.確定系統的綜合評價集合 U ：即各種影響因子。

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$$

內變速器之組裝及拆解時之影響因子，本研究引用陳佳麟（1998）和 Chen & Tseng (2000)相關於內變速器專利之研究報告所訂定的影響因子及權重為本研究之評估依據（表 12）。

2.確定綜合評價集合 U 的權重：

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$$

表 12 內變速器設計需求影響因子及其權重

| | 影 響 因 子 | 權 重 |
|---|---------|------|
| 1 | 容易組裝 | 0.15 |
| 2 | 容易拆解 | 0.05 |
| 3 | 快速安裝 | 0.10 |
| 4 | 體積小 | 0.15 |
| 5 | 重量輕 | 0.15 |
| 6 | 壽命長 | 0.40 |

3.建立模糊評價集 V ：設定影響因子對工程設計需求的影響強度件數。

定義模糊評價集 $V=(強, 中, 弱, 無影響)=(0.9, 0.3, 0.1, 0)$

一般模糊評價集的數字定義是以等間距的概念定義，但為求客觀性，本研究直接採用 Chen & Tseng (2000)和陳佳麟(2002)所定義的強弱數值。

4.定義 U 和 V 的關係及矩陣

由 U 中的各種影響因子和 V 的關係 R 和影響因子的權重相乘就可以得到影響因子評價矩陣 B_i ， $(i=1, 2, 3 \dots n)$ 。 U 中所有影響因子評價矩陣 B_i 集合為 B ， B 稱為綜合因素評價矩陣。定義 U 和 V 的關係矩陣一般需藉由專家討論後得到，但是內變速器為冷門之零件，且不易同時匯集相關專家人

士，因此本研究擬定透過網路討論，個別填寫矩陣的方式，完成各零件之 UV 評價矩陣，而專家背景分別為機車修理師傅、農具機械研發人員、電腦公司零件維修工程師、具機車及汽車裝修經驗者、機械模具師傅及機械相關科系畢業者等共 10 位，而為了相關討論的一致性，本研究另錄製內變速器組裝影片及近距離觀察影片，作為網路線上填寫資料之預備知識，相關影片放置於填表之前，相關專家人士將於影片觀看完畢後(圖 53)，進入 UV 評價矩陣填寫畫面，相關人士於網路填表完後會直接由網路線上寄出信件回函回函至信箱，本研究收信後再依序統計建構各零件之 UV 評價矩陣，填表統計結果及各零件之 UV 評價矩陣。



圖 53 內變速器 UV 關係矩陣網路線上填表資料畫面

5.模糊綜合評價：

則綜合以上資料，本研究先以零件 1 為例帶入模糊綜合評價公式

$B = W \circ R$ ，得到的模糊綜合評價為，這裡的「 \circ 」使用的是模糊關係合成之最大最小合成法計算：

$$\text{零件1} = [0.15 \quad 0.05 \quad 0.10 \quad 0.15 \quad 0.15 \quad 0.4] \circ \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.2 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0 & 0.3 \end{bmatrix} = [0.2 \quad 0.4 \quad 0.15 \quad 0.3]$$

```
>> P=input('Please put a matrix P\n');
Q=input('Please put a matrix Q\n');
fprintf(' Your answer is \n');
for x=1:length(P(:,1))
    for y=1:length(Q(1,:))
        R(x,y)=max(min(P(x,:),Q(:,y')));%最大最小關係合成
    end
end
disp(R)
Please put a matrix P
[0.15 0.05 0.10 0.15 0.15 0.4]
Please put a matrix Q
[ 0.5 0.4 0.1 0;0.3 0.4 0.1 0.2;0.3 0.4 0.2 0.1;0.4 0.4 0.2 0;0.4 0.4 0.2 0;0.2 0.5 0 0.3]
Your answer is
    0.2000    0.4000    0.1500    0.3000
```

圖 54 電腦輔助計算零件 1 之模糊綜合評價矩陣

5. 模糊綜合評價分數判定：

再將步驟 4 計算得到之模糊綜合評價 B 帶入公式，模糊綜合評價分數判定 $N = B \times V$ ，以零件 1 為案例說明，透過模糊綜合評價分數判定的公式，最後得到零件 1 的綜合評價分數。

$$\text{零件1模糊綜合評價分數} = [0.2 \quad 0.4 \quad 0.15 \quad 0.3] \times [0.9 \quad 0.3 \quad 0.1 \quad 0] = 0.315$$

綜合以上方式將各零件分批帶入運算得到各零件之模糊綜合評價分數

(表 13)。



表 13 內變速器各零件之模糊綜合評價分數

| 編號 | 零件名稱 | 模糊綜合評價分數 |
|----|-------------------------------------|----------|
| 1 | Hub | 0.315 |
| 2 | Stop Ring | 0.245 |
| 3 | Carrier Unit | 0.470 |
| 4 | Ring Gear Unit | 0.405 |
| 5 | Ball Retainer K | 0.315 |
| 6 | Axle Unit | 0.405 |
| 7 | Driver Unit | 0.490 |
| 8 | Ball Retainer J | 0.290 |
| 9 | Right Hand Cone w/Dust Seal | 0.315 |
| 10 | Right Hand Lock Nut for Axle length | 0.300 |
| 11 | Right Hand Lock Nut | 0.360 |
| 12 | Left Hand Cone | 0.315 |
| 13 | Left Hand Dust Cap | - |
| 14 | Ball Retainer A | - |
| 15 | Right Hand Dust Cap A | 0.300 |
| 16 | Right Hand Dust Cap B | 0.350 |
| 17 | Sprocket Wheel | 0.315 |
| 18 | Snap Ring C | 0.315 |
| 19 | Hub Nut | 0.315 |

(3)內變速器之模糊詮釋結構模式

本研究建構的是一個能方便設計規劃者一目了然的決策圖示模型，透過圖示的瞭解解析深入思考設計規劃流程，因此結合價值或效用為基礎的決策及重要順序為基礎的決策兩種決策模式之評價優勢，選用詮釋結構模式及模糊綜合評價，同時以階層分類圖示、重要性評價分數和圖形變化標示零件狀況建構出模糊詮釋結構模式圖（圖 55）。影響 ISM 結果的關鍵在拆解設計者在最前端的零件拆解分析，分類結果求的是最合理、可被設計者解釋應用的部分，若所得到的結果不合理則需要回到源頭繼續探討零件元素間的關係。

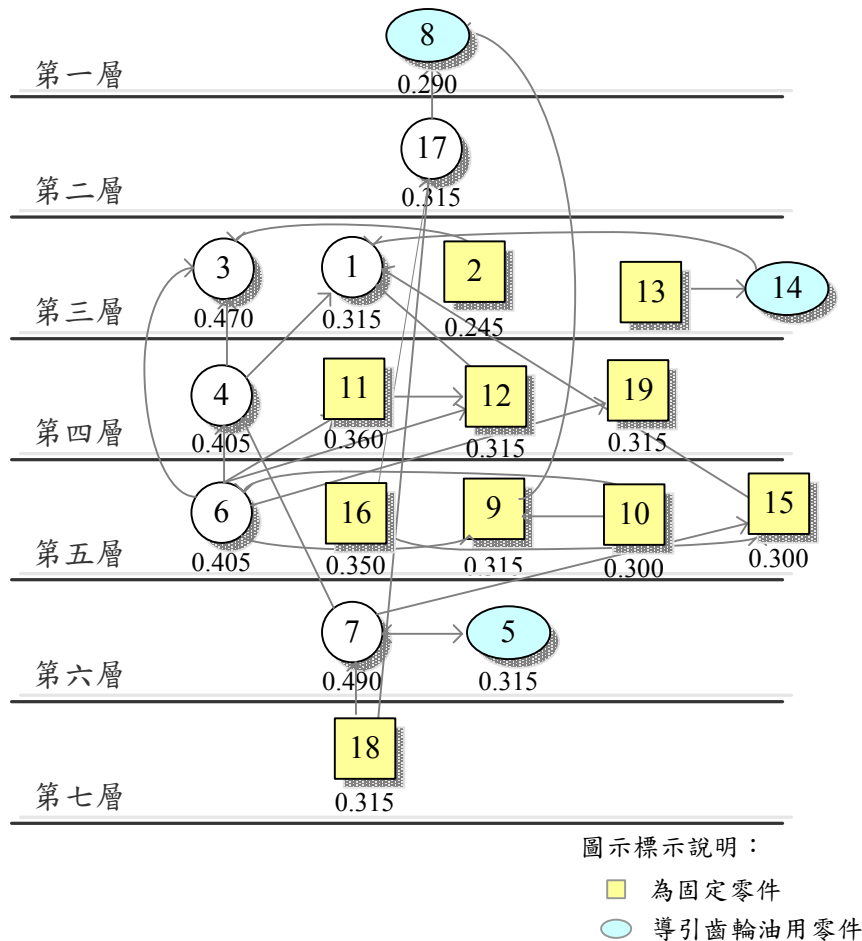


圖 55 內變速器之模糊詮釋結構模式圖示

以第五層得到的結果為範例說明如下：

第五層零件分類編號為編號 6-Axle Unit、編號 16-Right Hand Dust Cap B、編號 9-Right Hand Cone w/Dust Seal、編號 10-Right Hand Lock Nut for Axle length 和編號 15-Right Hand Dust Cap A，由圖 55 的模糊綜合評價中我們可以先知道零件編號 6 是分類中重要的零件，實務上此零件也是內變速器運轉的重要關鍵，而其他零件編號 16、9、10 和 15 則是附著在零件編號 6 上，且由圖 55 中亦可以知道這些零件都是所謂的固定零件，研究考量其模糊綜合評價分數後可以考慮的規劃方向為，零件編號 9 和 10，零件編號 15 和 16 有無可能功能合併，而其中與零件編號 6 的連結方式則可進一步思考除了旋入固定的方式外，有無其他的發想，且旋入固定的方式會有螺紋耗損的問題，以下細部規劃建議使用 TRIZ 等創意設計方法進行。

5-3 內變速器之模糊聚類分析

模糊聚類分析一般都被運用在統計資料分析，但是其分類的屬性，本研究認為符合做為零件分類的概念，但是原本的操作方式需要被修正，除了要考量零件設計過程諸多影響因子，尚須考量零件連結強度關係，基於此概念，影響因子考量部分採用模糊綜合評價評定分數，零件連結強度關係部分分為兩方法作為改良之模糊聚類分析的概念驗證，包括（1）一般之零件連結強度關係值；（2）模糊語意零件連結強度關係，研究案例驗證如下：

(1)一般之零件連結強度關係值

內變速器之模糊聚類分析第一階段的關係表建立上，本研究將考量零件間的連結方式，並細部劃分其中的細微關係，以 0 至 1 的數值導入評量，本研究依據**耿伯文和李增坪（2003）**，**Pahl & Beitz(1988)**所提出之零件間連結關連的強弱度概念及**江吉祥（1999）**，**Yu & Li(2005)**所定義的零件關係，經標準化後轉成 0 至 1 的數值，**耿伯文和李增坪（2003）**提出零件連結的關係具有強弱性，定義了四種強弱值，但是在**江吉祥（1999）**所定義的關係中後細部考慮到了陳列遮蔽(Layout Interference)的概念，而陳列遮蔽關係是強度上是間接較弱的關係，因此綜合以上評估本研究重新定義整理零件連結強度關係值得到（**表 14**），另直接使用表 5 各零件之模糊綜合評價分數定義出零件模糊等價關係矩陣（**表 15**）。

表 14 零件連結強度關係值

| 編號 | 零件連結關係 | 關係值 | 說明 |
|----|---------------|-----|-------------------------------------|
| 1 | 永久結合 | 1 | 拉彎、彎曲、化學聚合、軟桿、硬桿、鍛接、黏著、溶劑。 |
| 2 | 可拆式結合-使用分離固定鍵 | 0.8 | 螺栓、螺絲、螺帽、墊圈、鉚釘、鍵、栓、銷、釘。 |
| 3 | 可拆式結合-幾何結合 | 0.6 | 插入、扣合、壓合、旋入、接觸 |
| 4 | 陳列遮蔽 | 0.2 | 如果因為前一個零件的安裝造成後面的零件無法拆解組裝時，這樣的關係稱之。 |
| 5 | 無關係 | 0 | 零件間無任何的連接關係。 |

一般的模糊聚類分析，並不考量零件連接關係之模糊數值，但是本研究認為實務上零件連結關係也非絕對 0 和 1 的數值可以認定，其間也會因連結關係的強弱而有所不同，因此研究中除了導入模糊綜合評價分數，並考量零件連結關係，定義出其間的模糊數值，因此將使用主觀判定的方式建構零件的相似關係矩陣後，再依原本的模糊聚類分析運作得到分類結果。

本研究使用主觀式判定零件間關係，其中使用模糊綜合評價及表 14 之零件連結關係之模糊數值表來定義零件間關係，以下以零件 3 和 4 為範例，思考步驟如下：

- (1) 零件 3 和零件 4 之模糊綜合評價分數分別為 0.470 和 0.405。
- (2) 零件 3、4 結合時，彼此皆為”扣合”的關係，依表 14 所定義，模糊數值為 0.6。
- (3) 則零件關係 $R_{3,4} = (0.47 \times 0.6) + (0.405 \times 0.6) = 0.53$ 。

後續的零件關係以此類推。因為是主觀式判定零件間關係，矩陣直接為模糊等價矩陣，對角線零件關係為 1，因為等價關係矩陣必定是一個對稱性矩陣，因此矩陣的另一面省略表示，只標示上三角的部分。

表 6 的零件連結關係判定除了編號 4 比較特別，其他的部分如說明所示。判定零件連結關係之模糊數值中的編號 4 陳列遮蔽時的思考方式為，兩零件間在彼此拆解分開或是安裝時，中間有沒有其他的零件會影響這樣的行為，或本身是否是影響拆裝的零件，如果有，則陳列遮蔽的連結關係成立。依據表 6 的規則，定義出內變速器零件連結關係之模糊數值表（表 15）。

表 15 內變速器零件連結關係之模糊數值表

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0.6 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.2 | 1 | 0.6 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0.2 |
| 2 | | 1 | 0.6 | 0.2 | 0 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | | | 1 | 0.6 | 0 | 0.6 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | | | | 1 | 0.6 | 0 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | | | | | 1 | 0 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | | | | | | 1 | 0.6 | 0 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 |
| 7 | | | | | | | 1 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.2 |
| 8 | | | | | | | | 1 | 0.6 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 |
| 9 | | | | | | | | | 1 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 |
| 10 | | | | | | | | | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | | | | | | | | | | | 1 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | | | | | | | | | | | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.6 | 0.2 | 0 | 0.2 |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.6 | 0.2 | 0.2 |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.6 | 0.2 |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0 |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

經過一系列運算後可以求得內變速器零件模糊等價矩陣（表 16），本研究的模糊聚類分析採最大樹法圖示表示（圖 56），設定權重值小於 $\lambda=0.537$ 得到最後的分類（圖 57），由圖 7 中的分類中可以知道其中的核心零件為 7 和 6，後續設計者再依個別專業進行細部設計既可。

表 16 內變速器零件模糊等價關係矩陣

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 1 | 1 | | | 0.432 | 0.378 | | | | | | 0.135 | 0.126 | ★ | ★ | 0.369 | | | | 0.126 |
| 2 | | 1 | 0.429 | 0.130 | | 0.390 | | | | | | | ★ | ★ | | | | | |
| 3 | | | 1 | 0.525 | | 0.525 | 0.576 | | | | 0.166 | 0.157 | ★ | ★ | | | | | |
| 4 | | | | 1 | 0.432 | | 0.537 | | | | 0.153 | 0.144 | ★ | ★ | | | | | |
| 5 | | | | | 1 | | 0.483 | | | | | | ★ | ★ | 0.369 | | | | |
| 6 | | | | | | 1 | 0.537 | | 0.576 | 0.564 | 0.612 | 0.576 | ★ | ★ | | | | | 0.576 |
| 7 | | | | | | | 1 | 0.468 | 0.161 | 0.138 | | | ★ | ★ | 0.474 | 0.504 | 0.483 | 0.483 | 0.161 |
| 8 | | | | | | | | 1 | 0.363 | 0.118 | | | ★ | ★ | | | | | 0.121 |
| 9 | | | | | | | | | 1 | 0.369 | | | ★ | ★ | | | | | 0.126 |
| 10 | | | | | | | | | | 1 | | | ★ | ★ | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | 1 | 0.405 | ★ | ★ | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | 1 | ★ | ★ | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | 1 | ★ | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.390 | 0.123 | | 0.123 |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.399 | 0.133 | 0.133 |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.378 | 0.126 |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

★零件 13 和 14 因無法順利拆解，因此無法正確完成模糊綜合評價，故矩陣中省略。

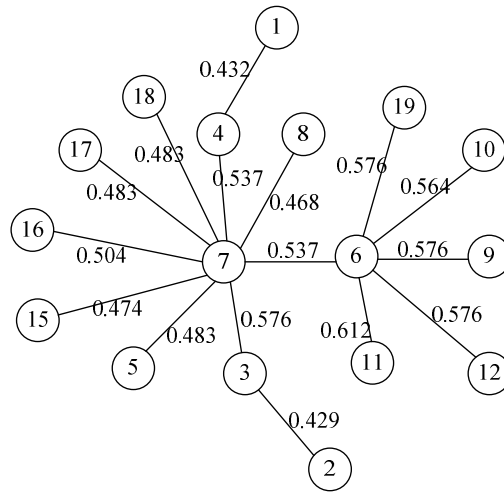


圖 56 內變速器模糊聚類分析最大樹圖-強弱關係值

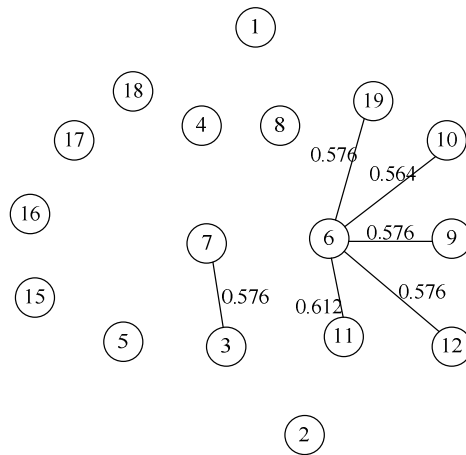


圖 57 權重小於 $\lambda = 0.537$ 的最大樹圖

(2) 模糊語意零件連結強度關係

零件連結強度關係值定義間具有模糊的感覺判斷，本研究提出使用模糊語意的概念，完成另一種型態的模糊聚類分析模式，將先前表 6 所定義的關係值改以模糊語意判斷，結果如表 17，模糊語意是以三角模糊數的概念表達，使用模糊語意定義零件連結強度關係值。

表 17 模糊語意零件連結強度關係值

| 編號 | 零件連結關係 | 模糊語意 | 說明 |
|----|---------------|-------------|-------------------------------------|
| 1 | 永久結合 | (9, 10, 10) | 拉彎、彎曲、化學聚合、軟桿、硬桿、鍛接、黏著、溶劑。 |
| 2 | 可拆式結合-使用分離固定鍵 | (5, 7, 9) | 螺栓、螺絲、螺帽、墊圈、鉚釘、鍵、栓、銷、釘。 |
| 3 | 可拆式結合-幾何結合 | (3, 5, 7) | 插入、扣合、壓合、旋入、接觸 |
| 4 | 陳列遮蔽 | (1, 3, 5) | 如果因為前一個零件的安裝造成後面的零件無法拆解組裝時，這樣的關係稱之。 |
| 5 | 無關係 | (0, 0, 1) | 零件間無任何的連接關係。 |

本研究使用主觀式判定零件間關係，其中使用模糊綜合評價及表 9 之零件連結強度模糊語意關係值來定義零件間關係，以下以零件 3

和 4 為範例，思考步驟如下：

(1) 零件 3 和零件 4 之模糊綜合評價分數分別為 0.470 和 0.405。

(2) 零件 3、4 結合時，彼此皆為”扣合”的關係，依表 17 所定義，

模糊語意關係值為 (3, 5, 7)。

(3) 則零件關係 $R_{3,4} = \frac{(0.470+0.405)}{2} \times (3, 5, 7) = (1.313, 2.188, 3.063)$

(4) 平均值解模糊化 = $\frac{(1.313+2.188+3.063)}{3} = 2.188$

後續的零件關係以此類推。依據表 9 的規則，定義出內變速器零件連結強度關係之模糊語意關係值 (表 18)。

經過一系列運算後可以求得內變速器零件模糊等價矩陣 (表 11)，因為是主觀式判定零件間關係，矩陣直接為模糊等價矩陣，對角線零件關係為 1，因為等價關係矩陣必定是一個對稱性矩陣，因此矩陣的另一面省略表示，只標示上三角的部分。本研究的模糊聚類分析採最大樹法圖示表示 (圖 58)，設定權重值小於 $\lambda = 2.238$ 得到最後的分類 (圖 59)，由圖 56 的分類結果可以知道其中的核心零件為 7 和 6，這個部分的分類結果是和本研究定義的第一種模糊聚類分析結果是一樣的。後續設計者再依個別專業進行細部設計既可。

表 18 內變速器零件連結關係之模糊語意關係表

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|----|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----|----|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 1 | (0,0,1) | (0,0,1) | (3,5,7) | (3,5,7) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (1,3,5) | (1,3,5) | - | - | (3,5,7) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (1,3,5) |
| 2 | | 1 | (3,5,7) | (1,3,5) | (0,0,1) | (3,5,7) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | - | - | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) |
| 3 | | | 1 | (3,5,7) | (0,0,1) | (3,5,7) | (3,5,7) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (1,3,5) | (1,3,5) | - | - | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) |
| 4 | | | | 1 | (3,5,7) | (0,0,1) | (3,5,7) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (1,3,5) | (1,3,5) | - | - | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) |
| 5 | | | | | 1 | (0,0,1) | (3,5,7) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | - | - | (3,5,7) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) |
| 6 | | | | | | 1 | (3,5,7) | (0,0,1) | (5,7,9) | (5,7,9) | (5,7,9) | (5,7,9) | - | - | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (5,7,9) |
| 7 | | | | | | | 1 | (3,5,7) | (1,3,5) | (1,3,5) | (0,0,1) | (0,0,1) | - | - | (3,5,7) | (3,5,7) | (3,5,7) | (3,5,7) | (1,3,5) |
| 8 | | | | | | | | 1 | (3,5,7) | (1,3,5) | (0,0,1) | (0,0,1) | - | - | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (1,3,5) |
| 9 | | | | | | | | | 1 | (3,5,7) | (0,0,1) | (0,0,1) | - | - | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (1,3,5) |
| 10 | | | | | | | | | | 1 | (0,0,1) | (0,0,1) | - | - | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) |
| 11 | | | | | | | | | | | 1 | (3,5,7) | - | - | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) |
| 12 | | | | | | | | | | | | 1 | - | - | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) |
| 13 | | | | | | | | | | | | | 1 | - | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | 1 | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) | (0,0,1) |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | (3,5,7) | (1,3,5) | (0,0,1) | (1,3,5) |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | (3,5,7) | (1,3,5) | (1,3,5) |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | (3,5,7) | (1,3,5) |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | (0,0,1) |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

表 19 內變速器零件連結強度關係模糊語意轉明確值關係表

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 1 | 1 | 0.093 | 0.131 | 1.800 | 1.575 | 0.120 | 0.134 | 0.101 | 0.105 | 0.103 | 1.013 | 0.945 | - | - | 1.538 | 0.111 | 0.105 | 0.105 | 0.945 |
| 2 | | 1 | 1.788 | 0.975 | 0.093 | 1.625 | 0.123 | 0.089 | 0.093 | 0.091 | 0.101 | 0.093 | - | - | 0.091 | 0.099 | 0.093 | 0.093 | 0.093 |
| 3 | | | 1 | 2.188 | 0.131 | 2.188 | 2.400 | 0.127 | 0.131 | 0.128 | 1.245 | 1.178 | - | - | 0.128 | 0.137 | 0.131 | 0.131 | 0.131 |
| 4 | | | | 1 | 1.800 | 0.135 | 2.238 | 0.116 | 0.120 | 0.118 | 1.148 | 1.080 | - | - | 0.118 | 0.126 | 0.120 | 0.120 | 0.120 |
| 5 | | | | | 1 | 0.120 | 2.013 | 0.101 | 0.105 | 0.103 | 0.113 | 0.105 | - | - | 2.230 | 0.111 | 0.105 | 0.105 | 0.105 |
| 6 | | | | | | 1 | 2.238 | 0.116 | 2.520 | 2.468 | 2.678 | 2.520 | - | - | 0.118 | 0.126 | 0.120 | 0.120 | 2.520 |
| 7 | | | | | | | 1 | 1.950 | 1.208 | 1.185 | 0.142 | 0.134 | - | - | 1.975 | 2.100 | 2.013 | 2.013 | 1.208 |
| 8 | | | | | | | | 1 | 1.513 | 0.885 | 0.108 | 0.101 | - | - | 0.098 | 0.107 | 0.101 | 0.101 | 0.908 |
| 9 | | | | | | | | | 1 | 1.538 | 0.113 | 0.105 | - | - | 0.103 | 0.111 | 0.105 | 0.105 | 0.945 |
| 10 | | | | | | | | | | 1 | 0.110 | 0.105 | - | - | 0.100 | 0.108 | 0.103 | 0.103 | 0.103 |
| 11 | | | | | | | | | | | 1 | 1.688 | - | - | 0.110 | 0.118 | 0.113 | 0.113 | 0.113 |
| 12 | | | | | | | | | | | | 1 | - | - | 0.103 | 0.111 | 0.105 | 0.105 | 0.105 |
| 13 | | | | | | | | | | | | | 1 | - | 0.050 | 0.058 | 0.053 | 0.053 | 0.053 |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.050 | 0.058 | 0.053 | 0.053 | 0.053 |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1.625 | 0.923 | 0.103 | 0.923 |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1.663 | 0.998 | 0.998 |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1.575 | 0.945 |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.105 |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

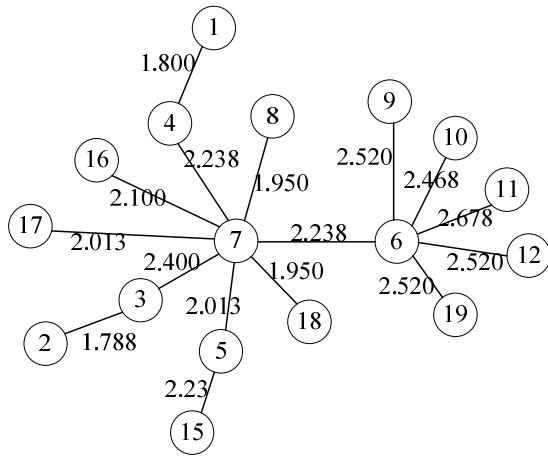


圖 58 內變速器模糊聚類分析最大樹圖-模糊語意

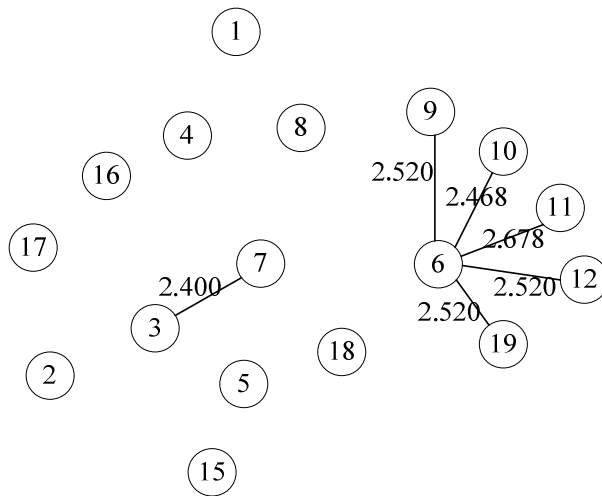


圖 59 權重小於 $\lambda = 2.238$ 的最大樹圖

5-4 結果討論

本研究針對內變速器規劃的方向為模組化設計中之零組件共用式模組化(Component-sharing modularity)，希望透過多樣化的產品來自於不同的產品家族(Product family)，以不同的模組內分享相同的基本零件，經過第一階段 FISM 的概念分類後，可以得到各分類的零件組，其中得到的零件分類可以與 TRIZ 等創意設計方法搭配進行細部設計，而由模糊聚類分析推導的結論可以明顯知道零件組件中的關鍵零件為零件編號 6 和 7，透過兩資訊評斷的結果，彼此相互搭配，對於設計實務來說，具良好規劃的參考價值。

且本研究對現有的模組化設計規劃的分類方式探討作了深入的探討，認為模組化設計的過程應該考量實務上的自然的模糊思考影響因子，甚至對於零件間連結關係需要仔細定義分辨，因此分別採用模糊綜合評價、零件連結強度關係值及零件連結強度模糊語意的概念重新定義規劃現有的分類理論，並經案例驗證確認可行，同時針對改良之方法進行比較如下：

表 20 本研究改良之 FISM 方法與模糊聚類分析比較表

| 設計方法 | | 模糊詮釋結構模式 Fuzzy Interpretive Structural Model | 模糊聚類分析 Fuzzy Clustering Analysis |
|------|-------|---|---|
| 項目 | | | |
| 1 | 表示方式 | 0 和 1 之二維矩陣方式，及模糊綜合評價分數。 | 0 至 1 模糊數值矩陣方式、圖形。 |
| 2 | 元素關聯性 | 強調交互作用性。 | 模糊綜合評價分數及連結關係之模糊數值。 |
| 3 | 運算原理 | 模糊關係合成及可達矩陣運算。 | 模糊聚類分類。 |
| 4 | 分類方式 | 使用可達集合和先行集合關係表，繪出層級關係圖等。 | 依零件間之空間距離分類。 |
| 5 | 運用目的 | 分析元素關聯，得到較佳模組分類。 | |
| 6 | 優點 | <ul style="list-style-type: none"> a. 圖示清晰表達出零件關連。 b. 完成分類結果，簡單易瞭解。 c. 考量模糊排序的概念。 d. 由圖示中可以知道零件之重要順序。 e. 由標示圖形瞭解零件屬性。 f. 考量零件細部之陳列遮蔽關係。 | <ul style="list-style-type: none"> a. 因本研究直接使用主觀式定義零件關係，因此後續只需簡單的模糊聚類分類。 b. 方便使用可快速分類。 c. 考量零件間模糊連結關係。 d. 考量到零件之陳列遮蔽關係。 |
| 7 | 缺點 | <ul style="list-style-type: none"> a. 矩陣運算較為複雜，對不甚瞭解者執行較難。 b. 第一階段的零件關係辨認錯誤，後續倒出的結論會有矛盾無法解答的問題。 | <ul style="list-style-type: none"> a. 對產品零件連結關係不瞭解的設計者不易使用。 b. 距離公式多需要測試，才能得到最佳分類。 |

第六章 結論與建議

6-1 結論

模組化設計規劃過程需要實際考量產品的分解、組裝、功能和製造等面向，因此規劃者需要深入瞭解產品零件的各項細部關係，目前相關的前端分析結果適當與否，也都需要依靠設計者的經驗及對產品零件的瞭解程度評定。本研究相關的電腦輔助運算皆使用 Matlab 軟體，研究假設經實際案例研究確認可行，並得出以下貢獻：

1. 成功將模糊理論的概念引導入產品零件模組化規劃中。
2. 因為零件模組化設計規劃使用模糊綜合評價分數，多方面考量零件設計過程中的各種影響因子。
3. 分別使用零件連結關係強度關係值及模糊語意定義零件連結強度關係於模糊聚類分析中。
4. 重新建構 FISM 及模糊聚類分析的操作步驟，以更適合在產品零件的模組化設計規劃應用中。
5. 提出 FISM 及模糊聚類分析於產品分類分析中分類的概念，提供產、學界另一種零件分類的思考面向。
6. 內變速器的研究目前多重在機構及原理方面，本研究提出可以更深入規劃做模組化設計。
7. 比較 FISM 及模糊聚類分析之相關原理及優、缺點。

相關於模組化設計規劃前端的分解分析部分，後續可再嘗試針對一般聚類分析、模糊聚類分析和本研究重新規劃之模糊聚類分析做更深入的比較，另外在模糊聚類分析的運算過程，如何篩選適當的距離

(相似)公式，如果能更明確的研究並詳細規範出挑選方向，相信對於模糊聚類分析運用在模組化設計的分類規劃的架構概念會更完整。FISM 方面則建議能夠針對階級圖示的產生方式更進一步研究，以目前產生階級圖示的方式還是過於繁雜，同時與模糊理論結合的部分，原本的 ISM 轉換成階層矩陣的運算如果使用模糊數的概念帶入，會不容易計算，但是若使用本研究可達矩陣轉階層圖重新規劃的規則，則可以考慮加入三角模糊數的概念來表達零件關係，以更能彰顯模糊理論模擬設計思考的優勢。或是在直接使用模糊聚類分析得到零件關係的最大樹法圖示，將圖示轉成矩陣後再轉成階層圖，這樣的表示方式可以結合模糊聚類分析彈性分類的概念，及 ISM 層級的關係，所產生的分類圖示或許可以提供設計者更不同的想法。

6-2 後續研究建議與展望

後續研究方面建議可以嘗試如下：

一、細部設計方面

本研究過程中發現如果要進一步完成細部設計，過程中會遇到不少瓶頸，這方面建議使用創新設計方法作為輔助，而創新設計方法目前最常被使用的為 TRIZ 理論，但可以考慮使用近期的創新設計方法-WOIS 理論、PI 理論或是 MIS 理論。

1. WOIS 理論

WOIS(Way of Oriented Innovation Strategy)是一種原本為解決技術問題而構建的創造力和技術創新戰略，利用它來激發產生新的產品和新的生產過程(Linde et al.,1999)。由德國 Linde 博士所創建。

2. PI 理論

PI 理論的德文原文是 Konzept der Problemzentrierten Invention (PI-Konzept)，意思是以問題為中心的發明方案。該理論由不來梅大學創新與能力轉移教研室主任 Möhrle 教授和 Pannenbäcker 碩士於 1997 年在他們任教的科特布斯工業大學創立的 (Möhrle & Pannenbäcker,1997)。

3. MIS 理論

MIS 是德文 Marktorientierte Innovationsstrategie 的縮寫，意思是面向市場的創新戰略。MIS 理論是現已退休的原亞琛工業大學礦業研究所所長施皮斯教授提出的。

MIS 理論的基本思想是：把那些在憑直覺進行發明過程中於潛意識中發生的過程化為有意識的過程，由此將「發明的飛躍」分解為一系列小的、一目瞭然的和可把握的步驟，然後開發工程師和設計師可以按照這些步驟進行發明創新。(參考網站：TRIZ 技術創新方法)

二、零件規劃方面

在規劃設計方法時，可以嘗試使用拆裝因素分析卡建構定義兩零件間的關係，然後再使用模糊理論中的模糊聚類分析分類，再進一步規劃設計。亦可以考慮結合製造與組裝設計 (design for manufacturing and assembly,DFMA)與模糊聚類分析嘗試更深入的規劃。

三、專利分析

研發過程中最忌諱的就是研究的方向已經被發展過了，關於內變速器方面雖然國內亦有數十位專家學者深入探討，但卻未見有公開之專利地圖分析報告，因此建議若對這部分有興趣專研，可以嘗試研究。

參考文獻

英文文獻

- 1 Agarwal Ashish, Shankar Ravi & Tiwari M.K., 2007, “Modeling agility of supply chain”, *Industrial Marketing Management*, 36, pp. 443–457.
- 2 Alizon Fabrice, Shooter Steven B. & Simpson Timothy W., 2007, “Improving an existing product family based on commonality/diversity, modularity and cost”, *Design Studies*, Vol. 28, Issue 4, pp. 387-409.
- 3 Bai Y.W., Chen Z.N., Bin H.Z. & Hu J. 2005, “Collaborative design in product development based on product layout model”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 21, Issue: 1, pp. 55-65.
- 4 Clark John & Holton Derek Allan, 1996, *Graph Theory*, World Scientific, ISBN 9810204892.
- 5 Chen, J. L. and Tseng, C. H., 2000, “Design Considerations for assembly in Planetary Gear Train,” *Proceedings of the International Conference on Gearing, Transmission, and Mechanical System*, The Nottingham Trent University, Nottingham, U. K., July 3-6, pp.157-166.
- 6 Frank Howard & Frisch T. Ivan, 1971, *Communication, transmission, and transportation networks*, Addison Wesley , ISBN:0201020815.
- 7 Gao Fei , Gang Xiao & Chen Jiu-jun, 2008, “Product interface reengineering using fuzzy clustering”, *Computer-Aided Design*, Vol. 40, Issue 4, pp. 439-446.
- 8 Gu P. & Sosale S, 1999, “Product modularization for life cycle engineering”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*

- Volume: 15, Issue: 5, pp. 387-401.
- 9 Gu P., Hashemian M. & Sosale S.,1997, “An Integrated Modular Design Methodology for Life-Cycle Engineering”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* Vol. 46, Issue: 1, pp.71-74.
 - 10 Hwang Ching-Lai & Lin Ming-Jeng., 1987, *Group decision making under multiple criteria :methods and applications*, Springer-Verlag.
 - 11 Jeffrey B. Dahmus, Javier P. Gonzalez-Zugasti & Kevin N. Otto, 2001, “Modular product architecture”, *Design Studies* Vol. 22, Issue: 5, pp. 409-42.
 - 12 Kamrani Ali, 2002, *Product design for modularity*, Boston : Kluwer Academic Publishers.
 - 13 Kaufmann A.,1975, *Introduction to the theory of fuzzy subsets*, Academic Press,New York,ISBN:0124023010.
 - 14 Kuo Ying-Feng & Chen Pang-Cheng,2006, “Selection of mobile value-added services for system operators using fuzzy sythetic evaluation”, *Expert Systems with Applications* Vol.30,pp.612-620.
 - 15 Kusiak, A. & Huang, C.C., 1996, “Development of modular products”, *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part A*, 19(4), pp. 523-538.
 - 16 Lahdelma,R.,Salminen,P.,& Hokkanen, J.,2000,“Using multicriteria methods in environmental planning and management”, *Environmental Management*, 26(6), pp. 595-605.
 - 17 Linde, H., Hall, D. M.& Herr, G. H. ,1999, “Powerful and Structured Innovation using Contradictions for Orientation”, *Journal of Engineering Design*, Vol. 10, No. 3, pp. 205-223.
 - 18 Mitchell M. Tseng & Jianxin Jiao,1997, “A Module identification

- approach to the electrical design of electronic products by clustering analysis of the design matrix”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol.33, No. 1-2, pp. 229-233.
- 19 Möhrle Martin G. & Pannenbäcker Tilo,1997, “Problem-Driven Inventing: a Concept for Strong Solutions to Inventive Tasks”, *Creativity and Innovation management*, Vol. 6, No. 4, pp. 234-248.
- 20 Pahl, G. and Beitz W.,1988, *Engineering Design: A Systematic Approach*, Springer-Verlag.
- 21 Ravi V. & Ravi Shankar,2005, “Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics”, *Technological Forecasting & Social Change*, 72 , pp. 1011–1029.
- 22 Robert B. Stone, Daniel A. McAdams & Varghese J. Kayyalethekkel, 2004, “A product architecture-based conceptual DFA technique”, *Design Studies*, Vol. 25, Issue: 3, pp. 301-325.
- 23 Salhieh, S. M. & Kamrani A. K., 1999, “Macro level product development using design for Modularity”, *Robotics and Computer Integrated-Manufacturing*, 15, pp. 319-329.
- 24 Shirley A. Olsen., 1982, *Group planning and problem-solving methods in engineering management*, ISBN:0471083119.
- 25 Tsai Hung-Cheng & Hsiao Shih-Wen, 2004, “Evaluation of alternatives for product customization using fuzzy logic”, *Information Sciences* Vol. 158, pp. 233–262.
- 26 Tsai Yuo-Tern & Wang Kuo-Shong, 1999, “The development of modular-based design in considering technology complexity”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 119, pp. 692-703.
- 27 Tseng Hwai-En, Chang Chien-Chen & Li Jia-Diann, 2008, “Modular design to support green life-cycle engineering”, *Expert Systems with*

- Applications Vol. 34, Issue: 4, pp. 2524-2537.
- 28 Victor B. Kreng & Lee Tseng-Pin, 2004, “Modular product design with grouping genetic algorithm—a case study”, *Computers and Industrial Engineering*, Volume: 46, Issue: 3, pp. 443-460.
- 29 Wang Yung-Lien, 2005, “Modular design process for a micro motion actuator, *Mechatronics*”, Volume: 15, Issue: 7, pp. 793-806.
- 30 Warfield John N., 1973, “Binary Matrices in System Modeling”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-3, No. 5, pp. 441-449.
- 31 Warfield John N., 1974, “Toward Interpretation of Complex Structural Models”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-4, No.5, pp. 405-417.
- 32 Warfield John N., 1977, “Crossing Theory and Hierarchy Mapping”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-7, No.7, pp. 505-523.
- 33 Wen Kun-Li,2008, “A Matlab Toolbox for Grey Clustering and Fuzzy Comprehensive Evaluation”, *Advances in Engineering Software*, Vol. 39, pp. 137–145.
- 34 Wu Huizhong, Wang Fang, Xia Zhang & He Nian, 1996, “A model of inexact reasoning in mechanical design evaluation”, *Artificial Intelligence in Engineering*, Vol.10, pp. 357-362.
- 35 Xuan F. Zha & Ram D. Sriram,2006, “Platform-based product design and development: A knowledge-intensive support approach”, *Knowledge-Based Systems*,Vol. 19, Issue 7, pp. 524-543.
- 36 Yasushi Umeda , Shinichi Fukushige,Keita Tonoike & Shinsuke Kondoh, 2008, “Product modularity for life cycle design”, *CIRP*

Annals - Manufacturing Technology, Vol. 57, Issue 1, pp. 3-16.

37 Yu Jyh-Cheng and Li Yi-Ming, 2005, "The Structure Representation for the Concurrent Analysis of Product Assembly and Disassembly", The 9th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design Proceedings, Vol. 2, pp 893-898.

38 Zimmermann H.J., 1996, Fuzzy set theory and its applications, Boston : Kluwer Academic Publishers, ISBN:0792396243.

中文文獻

- 1 王俊文，2007，認識 Fuzzy，全華圖書股份有限公司
- 2 白思俊，2006，系統工程，電子工業出版社
- 3 江吉祥，1999，以 STEP 為基進行產品組裝與拆卸分析之推演架構，
國立台灣科技大學機械工程碩士學位
- 4 吳建南，2007，TRIZ 與模組化之設計結構矩陣在產品開發之研究，
東海大學工業設計研究所碩士論文
- 5 吳萬鐸、吳萬釗，1993，模糊數學與計算機應用，儒林圖書有限公司
- 6 李佩華，2004，應用裴氏網路建置產品拆解設計模式，明新科技
大學工程管理研究所碩士論文
- 7 李家豪，2005，以結構整合觀點探討組織設計模式—以 I. S. M. 為
分析工具，中原大學企業管理研究所碩士論文
- 8 徐士良和朱明方，1994，軟體應用技術基礎，清華大學出版社
- 9 耿伯文、李增坪，2003，「應用集群基因演算法於產品家族設計—

- 實例研究」, Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, Vol. 20, No. 4, pp. 373-388
- 10 張堂聖, 2002, Connector 為基之模組化研究--以機械產品為例, 大葉大學工業工程研究所碩士論文
 - 11 陳世和, 2005, 以模組化設計與市場區隔發展產品族之研究-以自行車產業為例, 成功大學工業設計學系碩士論文
 - 12 陳紹銘, 2006, 國小六年級學童等量公理概念之模糊詮釋結構模式分析探討, 台中教育大學教育測驗統計研究所碩士論文
 - 13 馮國臣, 2007, 模糊理論基礎與應用, 新文京開發出版股份有限公司
 - 14 楊秀文、嚴尚安、曾順鵬和程浩, 2003, 關於可達矩陣的求法探討, 數學的實踐與認識, Vol. 33 No11, pp128-130
 - 15 楊鈺銓, 2003, 以零件模組化進行產品變異之研究, 大葉大學工業工程學系碩士論文
 - 16 劉佳斌, 2001, 運動性分解於齒輪機構拓撲及運動分析上之應用, 國立臺灣大學機械工程學研究所博士論文
 - 17 劉家煒, 2001, 應用人工智慧方法於產品設計之研究, 國立成功大學機械工程學系碩士論文
 - 18 鍾靜蓉, 2002, 詮釋結構模式於構造化教材設計之研究, 淡江大學教育科技研究所碩士論文

參考網站

TRIZ 技術創新方法 <http://www.triz.gov.cn>

附錄一 內變速器 UV 關係矩陣網路線上填表畫面

自行車 內三變速器之組裝與拆解UV矩陣填表

各位組裝與拆解的賢達先進，您好：

感謝您在百忙中撥空填寫本研究之內變速器組裝拆解UV矩陣。以下問項麻煩您直接根據本研究提供的組裝影片判斷內三變速器組裝零件狀況即可，您的寶貴意見將是本研究成功的最大關鍵，所有資料僅供學術分析之用，絕不對外公開，請安心填答。懇請您撥出幾分鐘填答，感謝您的熱心協助。

敬祝 身體健康、工作順利

東海大學 工業設計研究所

指導老師 王 中 行

學 生 蕭 惠 華 敬啟



內變速器零件編號圖示



說明：零件編號13和14內嵌於零件編號1中無法拆除，因此不列入拆解評估項目。

內變速器零件及相關工具近距離觀察



開始填寫問卷

以下為部分填表畫面：

內變速器組裝UV矩陣資料 - Mozilla Firefox

檔案 (F) 編輯 (E) 檢視 (V) 歷史 (S) 書籤 (B) 工具 (T) 說明 (H)

http://kua0112.myweb.hinet.net/1.htm

這部份是請教您個人的基本資料，純粹僅供學術分析統計使用，敬請安心作答。

1. 年齡： 15-19 歲 20-24 歲 25-29 歲 30-34 歲 35-39 歲 40-44 歲 45-49 歲
 50-54 歲 55歲以上

2. 教育程度： 小學及以下 國中 高中職 專科 大學 研究所及以上

3. 組裝及拆解任何機械零件的經驗值為： 1年以下 約 1-2 年 約 2-3 年 3年以上

-正式問卷開始-

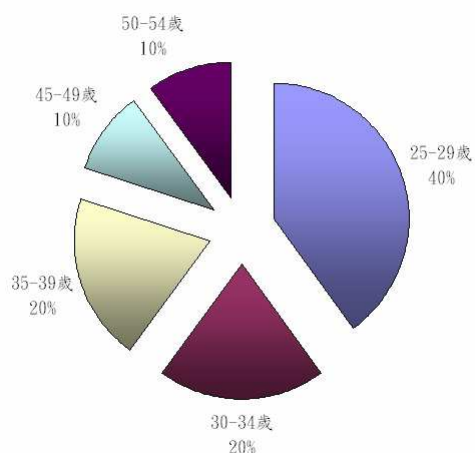
以下請依您針對圖示中17個零件的設計會影響組、拆裝的狀況直接勾選就可以了，評量上以看過影片後的直覺為主既可：(零件編號如圖示)

| 零件編號 1 (320.4g/ 佔全部重量 35.32%) | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 影響很大 | 普通 | 一點點 | 無影響 |
| 容易組裝 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 容易拆解 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 快速組裝 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 體積小 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 重量輕 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 壽命長 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

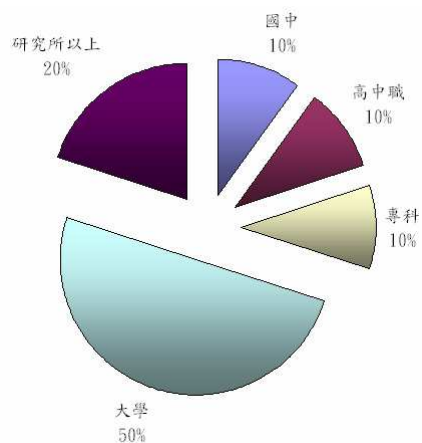
| 零件編號 2 (0.93g/ 佔全部重量 0.10%) | | | | |
|-----------------------------|--|--|--|--|
|-----------------------------|--|--|--|--|

附錄二 內變速器填表統計結果及各零件之UV評價矩陣

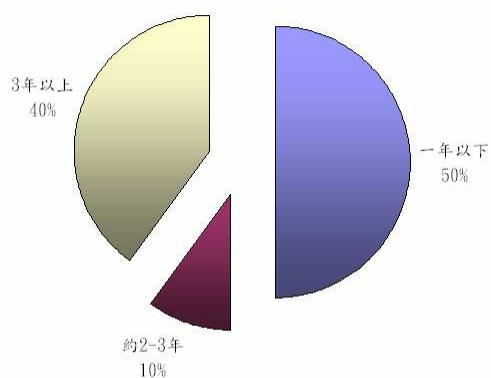
1. 年齡分佈：



2. 教育程度：



3. 組裝及拆解任何機械零件的經驗值：



4. 以下為統計整理得到之各零件 UV 評價矩陣

$$\text{零件1} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.2 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0 & 0.3 \end{bmatrix}, \text{零件2} = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.1 & 0.2 & 0.1 \\ 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.3 \\ 0.1 & 0.3 & 0.2 & 0.4 \end{bmatrix}$$

$$\text{零件3} = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}, \text{零件4} = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$\text{零件5} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0 & 0.2 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0 & 0.2 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.2 \end{bmatrix}, \text{零件6} = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.6 & 0.3 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$\text{零件7} = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}, \text{零件8} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.3 \end{bmatrix}$$

$$\text{零件9} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0 & 0.3 \\ 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.3 \\ 0.5 & 0.1 & 0.1 & 0.3 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.2 \end{bmatrix}, \text{零件10} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$\text{零件11} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.2 \\ 0.4 & 0.4 & 0 & 0.2 \\ 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.2 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0.4 & 0.2 & 0.4 & 0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix}, \text{零件12} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.2 \\ 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.2 \\ 0.4 & 0.4 & 0 & 0.2 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$\text{零件15} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix}, \text{零件16} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.2 \\ 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.2 \\ 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.2 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 \end{bmatrix}$$

$$\text{零件17} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.4 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.2 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0 \\ 0.2 & 0.7 & 0 & 0.1 \end{bmatrix}, \text{零件18} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.1 & 0.3 \end{bmatrix}$$

$$\text{零件19} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.3 \\ 0.4 & 0 & 0.4 & 0.2 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.4 & 0 & 0.4 \end{bmatrix}$$