

整合式智慧型產品開發資訊系統之研究

彭泉* 蔡禎騰* 邱正祥*

摘要

資訊科技(Information Technology; IT)的發展一日千里,進步迅速。根據于宗先的研究指出,不論大型企業或中小企業,保持技術的不斷革新與進步,才是今後求生存、圖發展的必要條件[1]。另外Olesen[5]的研究也指出,新產品太慢推出到市場,可能成爲新產品競爭成功的最大障礙。由此可知,適當的引用資訊科技,加速企業研發的進行,是企業擁有競爭優勢的重要途徑。

適當的研發資訊系統應該具備那些功能?其建構方法爲何?企業如何在有限的人力、物力下完成符合研發需求的資訊系統?這些都是企業在建構研發資訊系統時所需考量的重點。本研究將對研發資訊系統之整合與建構模式進行深入的探討,此建構模式同時考慮系統"智慧性"與"整合性"的需求。本研究所建議的發展模式突破傳統研發的觀念,將專家系統導入研發系統核心,並以專家系統在研發系統內的運作模式爲研究重點,同時探討研發資訊系統在製造系統中的資訊架構。此外,如何有效率地運用研發系統所需的知識是本研究的另一項重點。對於知識的運用所考量的重點爲:一、探討研發資訊系統內所需的各項知識庫;二、探討各知識庫最適當的知識表達法;三、探討知識表達法之推理演算法之建構。本研究最後以上述發展之整合性資訊架構與知識表達法,進行一實作系統驗證本研究成果之可行性。

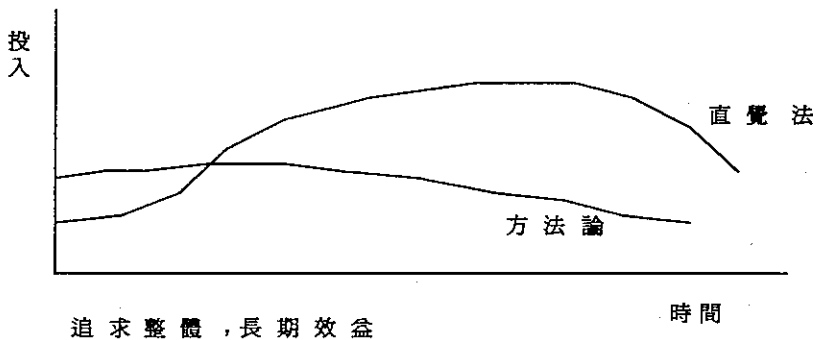
(關鍵詞:資訊科技、專家系統、人工智慧、研究發展、整合性系統)

前 言

根據Itami[6]的競爭循環理論,競爭首先以產品差異化開始。因此,企業在市場上要能夠取得先機,達到產品的競爭優勢,最重要的因素是強化研發能力來達成其產品優勢。目前企業在研發上電腦化之需求,以過去傳統的電腦技術無法完全滿足,而人工智慧(AI)與專家系統(ES)技術之應用正可以補足傳統資訊系統的不足。資策會於民國79年發表的調查報告指出目前企業沒有使用AI/ES的原因以『不了解AI/ES技術如何應用』者最多,比率超過50%以上,顯見產業界對此技術的認知與方法的應用仍嫌不足。

* 東海大學工業工程學系

另一方面，研發資訊系統牽涉到相當複雜的因素及現象，因此建立一固定的發展步驟，明確的作業方式及規劃方法有其必要性。陳明豐[2]曾指出不依方法論建構系統，在建構早期比較快，但是進入到維護階段就要會面臨一些困難。因此，依據一定程序的方法論建構系統，在整個系統發展週期來看是較為經濟的。由圖一可以看出，因為系統維護占了整個系統的生命週期很大的比率。由過去的經驗可知，在初期的一項錯誤若沒有及時檢出排除，而等到後期實施階段才發現的話，往往要花十倍以上代價才可能更正過來，有時甚至一敗塗地無法挽救。因此依照方法論來發展系統，可以求得整體的較佳效益以及增加系統的成功率。因此發展研發資訊系統的建構方法論，並結合專家系統的概念來輔助企業進行研發系統的開發工作，在企業改進研發效率與品質上扮演一相當重要的角色。



追求整體，長期效益
圖一、依方法論所產生之效果
資料來源：機械工業雜誌，"電腦整合製造系統規劃"，1989,12

研發資訊系統運作模式與資訊架構規劃

目前在企業研發系統內最受重視的資訊工具屬CAD/CAM的整合，Groover[7]也強調CAD/CAM必須在一個共有的資料庫（data base）中進行整合。因此，一般學者都將整合所需的資料庫納入CAD系統中。Joe Hatvany [8]在1984年定義CAD系統的架構時更是明白的指出，研發內部整合工作由CAD系統來執行。這樣的作法在傳統的製造資訊系統中是可以滿足需求的，但以現代化人工智慧與專家系統為發展工具的前題下，這樣的設計在整合製造資訊系統時就比較沒效率。因此，本研究將以較新的整合概念來整合研發資訊系統，其做法是將專家系統從CAD系統中獨立出來，並利用專家系統來進行研發系統的內部整合工作，此專家系統將可視為研發系統的中心，研發所需的資料以及知識皆彙整於此專家系統之內。

Latombe[9]在其 TROPIC 系統中第一次將AI的觀念導入CAD系統中，Latombe主要是利用 AI 的技術輔助CAD對於產品工程圖的產生。而本研究在整合模式的分工原則下，將有別於Latombe的做法，其運作模式為：將CAD系統的主要功能設定在產品的概念設計階段，而專家系統的工作則著重於將CAD產生的概念設計圖，經由其內部的知識庫進行推理而產生工程設計圖。在此運作模式之下，由專家系統負責所有資料庫的儲存工作以及與外界的資訊溝通工作。同時利用專家系統的各個知識庫整合研發系統內 CAM、CAT、CAPP等各個系統。

Fumihiko Kimura[10]曾提出整合的概念，他認為在設計過程中資訊流與物流應該同步的處理而且二者在整個設計與製造流程中是相互影響的。因此研發與製造二者之間的整合為目前產品開發所強調的重點。在製造與研發之資訊架構中，最重要的為產品物料清單（BOM），同時研發必需將規劃之新產品的製程交由製造現場進行試製生產，同時生管部門必需提供原料成本及製造成本給研發部門進行產品可製造性分析。研發資訊系統在此整合性的架構下，方可使整個研發的功能發揮其效率。

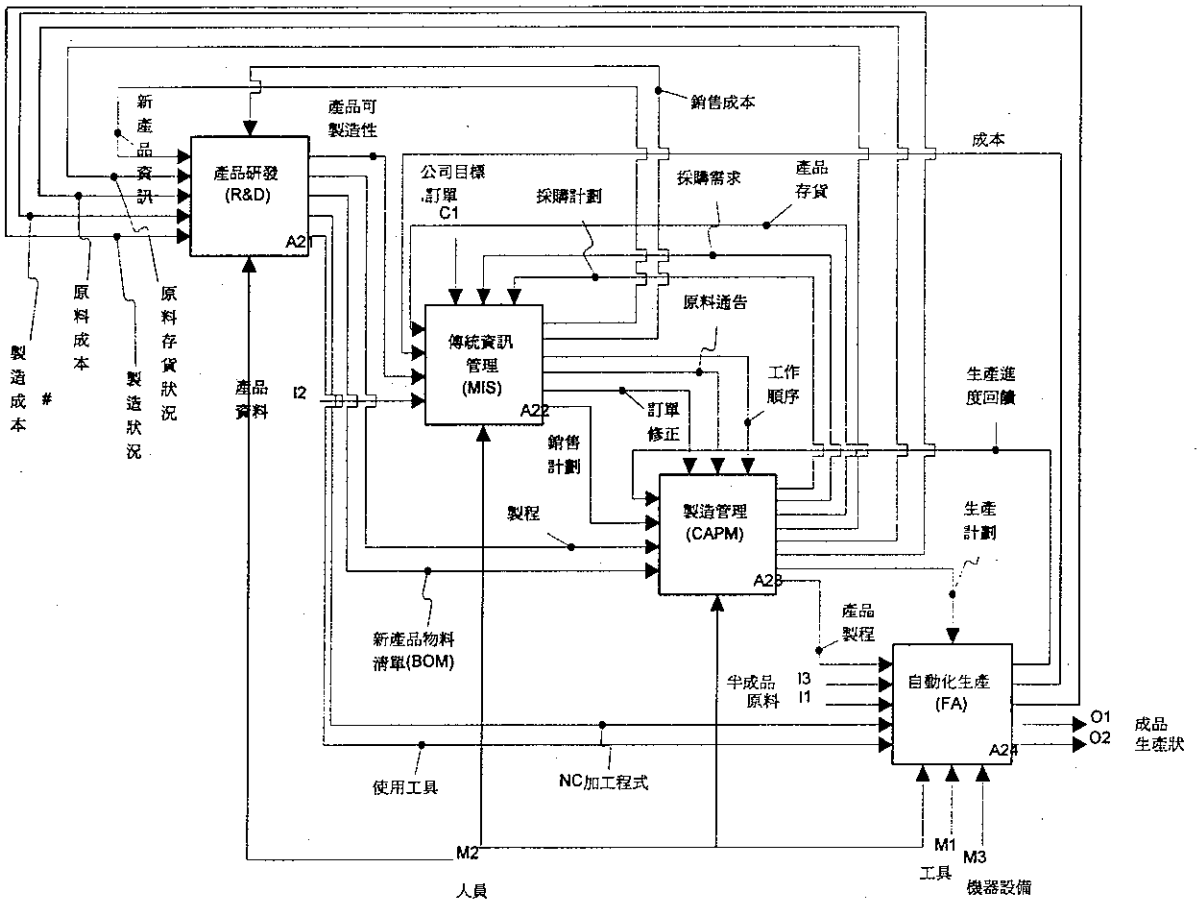
另一方面，研究發展與行銷單位間關係的健全與否，對新產品的推出具有舉足輕重的影響。因此，健全研究發展與行銷部門的關係是使企業達成新產品上市目標的基礎。今并賢一[3]將產業內的分工以網路結構來分類而發展出研發、試製與生產和行銷之整合型網路。本研究參考今并賢一的網路模型，規劃出製造系統的資訊架構(見圖二)，此資訊系統強調試製生產階段，迅速進行資訊交換的重要性，將之納入研發和設計過程中，做成強力的核心，形成從概念設計到試製生產整合型的資訊網路。

研發專家系統知識庫之規劃

3.1 研發專家系統之知識庫規劃

由於研發專家系統所需的知識非常的龐大且複雜，因此對於知識的分類與整理就顯得相當重要。林堯瑞[4]就曾說一個好的知識庫，首要具備的條件就是要能夠表示該領域所需的各種知識，並使各知識間能夠相容，因此本節的重點以討論研發系統之相關知識的規劃工作。一般來說，我們將知識結構化處理的理由有二：一為增加推理的效率，一為增加知識維護的效率。首先，由於在處理一特定的問題時，系統只需下載這方面的知識即可，

這使得知識的推理效率較快以及對系統資源的需求較少。其次，將知識進行分類後，使用者在進行知識庫的資料維護時，單一時間修改的知識量較少，使得資料維護更具方便性與效率。



圖二、 研發與各模組之資訊架構

本研究將研發系統的知識庫分為四大類：概念設計知識庫、工程設計知識庫、製造知識庫、介面知識庫。由於這四種知識庫所從事的功能各有不同，而其本質也大不相同。以下分別對這四個部分作進一步的詳述。

3.1.1 概念設計知識庫

一般設計研發專家系統最先遇到的問題，就是如何利用知識庫進行物件外觀的描述。

Stefik, Bobrow, Mittal & Conway[11]就曾提出進行圖形的識別為ICAD (Intelligent computer-aided design) 的最基本功能需求。本研究將此方面的知識定義為概念設計知識庫。本知識庫主要是用來描述產品的外形，以便使專家系統能進行圖形辨識。在圖形識別方面的研究最早為Solaja[12]提出利用產品外觀的某些特性進行產品分類的方法。本研究的知識庫基本上是以Solaja所發展出來的群組技術 (GT) 為基礎，將群組技術之分類方法轉換為專家系統內的法則，進而利用這些法則讓電腦進行圖案辨識。其原理是將產品的外形分解成眾多的特徵值 (如線、弧、框...等)。而知識庫則記錄各項產品所必須具備的所有特徵值以及這些特徵值彼此間的關係。因此，當一新圖案輸入後，專家系統就以目前之知識來判斷此圖形是否為已知之產品或為一全新之產品設計。

3.1.2 工程設計知識庫

John S. Gero[13]在其一篇有關利用知識庫來進行設計工作的文章中指出，此方面的專家系統在推理時必須能夠先縮小問題範圍，並且能夠確認出知識庫中 "設計概念"、"關係" 以及 "定義" 的功能。因此，工程設計知識庫的運作基本上就是以綜合法則庫中的搜索方法為基準，並以Gero等對知識庫所定義的功能來進行推理運作。工程設計知識庫包括產品設計時所需之資訊。本知識庫為研發專家系統之主要知識庫，因此必須具備與其他資料庫或知識庫通訊的能力，包括庫存材料、概念設計資料、供應商...等資訊的傳輸。而其本身則是由各項設計資訊所組成的知識庫，如公差、材料特性、設計方法、工程計算公式、單位換算...等。設計知識庫主要是利用概念設計完成後所得之資訊，再經由本身之知識庫推理法則找出所需之設計程序或設計圖。

3.1.3 製造知識庫

製造知識庫主要是記錄製造現場的各種狀況，如機台數量，機台特性、加工種類...等。其主要目的是將工程分析後的資料轉換成製造時所需的資料。因此，製造知識庫為整合性研發資訊系統與製造管理和製造現場的溝通橋樑。大體來講，製造知識庫包括生管知識以及製造現場特性知識，並將製造現場之資料有系統的處理產生資訊，提供生管部門做為現場規劃、控制之參考依據。綜合言之，製造知識庫是將製造管理的部份功能電腦化，使系統能提供初步的製造資訊給生管部門來進行製造管理、製造規劃及計劃之監督控制。

3.1.4 介面知識庫

本知識庫的目的主要在整合研發資訊系統。當研發資訊系統與其他系統進行資訊流通時，所使用的資料結構皆放在本知識庫中。Davis[14]認為資訊為資料的集合，並且將一般的資料結構定義為下列五種資料型態：

- 1.字元 (Character)：為資料組織中最基本的元素，由一個單一的英文字母、字或其他符號構成。
- 2.欄位 (Field)：由一群字母、數字組成，它能表現出一個個體 (Entity) 的特性 (Attribute)。
- 3.記錄 (Record)：記錄是一群相關的欄位之組合，它表示出一個個體，即人、事、物的特性組合。
- 4.檔案 (File)：為相關記錄之集合。
- 5.資料庫 (Database)：為邏輯上相關的記錄或檔案之集合。

因此，介面知識庫的記錄方式大體上以Davis的資料結構來描述研發系統與其他系統整合資料的內部結構。本知識庫所記錄的為與研發資訊系統所連接的所有檔案名稱、用途、以及每個檔案的欄位數目和每個欄位的資料型態。故每當研發專家系統必須抓取其他系統的資料時，必須先經過本知識庫對於其他系統資料型態的描述來進行資料轉換。以上述方式進行資訊的傳遞來增加研發資訊系統的資訊整合能力。

研發知識表示法之設計

目前專家系統的知識表示法，大致上可分為二類。這兩種表示法為陳述式表示法如語義網路與過程式表示法如法則庫。一般來講，陳述式表示法偏向對知識的靜態描述，其特點為模組化好、可讀性強、較容易維護，但推理效率較差。而過程式表示法則偏向求解問題，但對知識維護的困難度較高。基本上研發專家系統的使用較偏向求解問題，也就是說以法則庫來表示研發知識較為適合。但另一方面，由於研發所需的知識相當的龐大且複雜，如果用法則庫的話，勢必造成知識庫維護的困難。因此，本研究試圖找出一個適合的知識表示法來進行此研發專家系統知識的記錄。

前述之四個知識庫中，其個別的特性有很大的差異性。如工程設計知識、製造知識偏向求解問題上，而概念設計、界面知識則偏向靜態描述。因此發展出一套可以同時運用在這四個不同性質的知識表達法為本節討論的重點。

本研究所建議的知識表達法為複合知識表達法。基本上為語義網路與法則庫的綜合體。本知識表示法的原理主要是以法則庫為主體，而這些法則庫則利用物件以及圖型化的觀念（語義網路方法）來進行維護與管理。因此，本知識表達法主要的構成要素有二個，分別為"事件"與"關係"。其中事件主要是用來描述在本知識領域內的所有的事實，關係則用來描述事件間的關係。以下針對本複合知識表達法做一詳細的討論。

4.1 事件的定義

在Simmon[15]的語義網路中，節點代表某一事件個體，其本身並沒有代表任何資料而只代表著某一事實，這種表示法下通常會增加推理上的困難。本研究所建議的知識表示法中，一個節點代表著一個事件並以一個英文名稱表示，但這個英文名稱同時也為變數名稱，因此每個節點可儲存資料。另一方面，本知識表示也將框架系統的階層概念導入其中。其做法是以每一個節點為中心進行下階的展開而使知識庫更加的結構化。故本知識表示法依其節點的功能可將事件（節點）分成下列四大類：

- 1.數值物件（Value Object）：此種事件所攜帶的值為數字型的資料，如某物的重量事件即屬此類。
- 2.字串物件（String Object）：此種事件所攜帶的值為字串型的資料，如某人的姓名事件即屬此類。
- 3.命令物件（Command Object）：此種事件一成立則可進行其所描述的命令。
- 4.虛擬物件（Fiction Object）：此種事件為知識庫要進行下階展開時的虛擬事件。

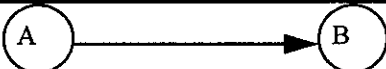
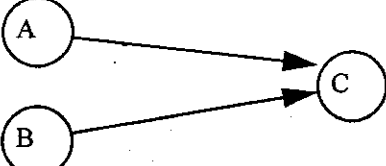
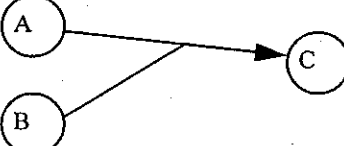
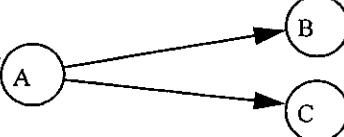
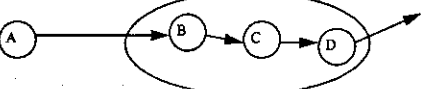
4.2 關係的定義

關係在本知識表示法以弧（arc）來表示。因此節點之間透過一組帶有標記(token)的弧連接，而標記的弧表達了節點之間的關係。基本上，弧所指向的事件是此關係的果事件，而另一端的事件則為因事件。在本知識表達法中一個弧可以有多个因事件但只能有一個果事件。在弧內部則記錄二種型態的資料：一為因事件在此關係的成立條件，另一個為當關

係成立後果事件所必需改變的值（此值可能記錄在關係中或關係內的運算式經由運算所產生）。最後本知識表示法將弧的資料記錄在法則庫中。

另外，由於本知識表達法為複合的知識表達法。因此，圖案與法則庫的轉換必需具備轉換法則，表一為本研究定義出的一些轉換法則。

表一、法則庫之基本轉換法則

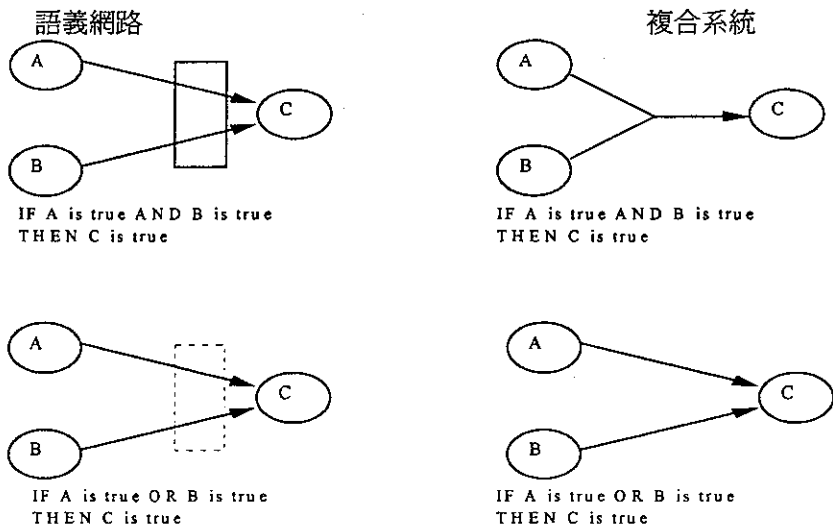
| 法則庫 | 圖案表示 |
|---|--|
| IF A is true THEN B is true |  |
| IF A is true or B is true THEN C is true |  |
| IF A is true and B is true THEN C is true |  |
| IF A is true THEN B is true THEN C is true |  |
| IF A is true THEN action B: action C: action D |  |

由上面的轉換法則可以看出本知識系統在表示上更改進了語義網路的一些缺點（如語義網路對於 arc 間的描述太過複雜，本表示法就做了相當的改進）。早先的語義網路將 arc 定義為完全獨立的個體。因此當有二個 arc 連至同一個事件時，則 arc 間的 "and" 和 "or" 關係的表示就顯得相當的麻煩。而本研究所建議的方法對於 arc 的定義可分為 "可連接弧的集合"。因此，這些可連接的弧則構成一個 arc，而集合內的資料間彼此為 "and" 的關係。表二為語義網路與本系統間的差異，比較中可以看出二者間的優劣。

另一方面，本知識系統對於知識的維護性與結構性相較於法則庫則明顯的高出許多。如知識的修改與刪除。以修改為例，當某一事件的名稱屬性改變後，在早先的法則庫必須

一一的找出與此事件有關的 rule 然後逐條的修改。而本系統只需在事件所在的位置修改其名稱屬性，知識庫系統會自動根據圖案相關性找出相關 arc 後修改其屬性值。而刪除也是以同樣的道理，在某一事件太過老舊而必需刪除時，知識庫系統也會自動根據圖案關係找出相關 arc 後刪除之。而這些工作在早先的法則庫則是相當繁雜、耗時且不容易達到完全準確的工作。

表二、 語義網路與本知識表示法之差異



早期專家系統的開發所使用的工具以prolog以及lisp為最普遍，而目前專家系統的發展工具則有相當多如：rocky、M4、prolog、nexpert...等等。從目前最普遍的二個工具與本系統所做的比較中，可以看出其中各工具間的優劣點（見表三）。

表三、 知識庫工具比較表

| 項目\軟體 | Prolog | M4 | 複合知識 |
|-------|----------|----------|----------------|
| 知識查詢 | $O(n/2)$ | $O(n/2)$ | $O(n/(2*g)+g)$ |
| 知識修改 | $O(m)$ | $O(m)$ | $O(1)$ |
| 知識刪除 | $O(m)$ | $O(m)$ | $O(1)$ |
| 知識增加 | $O(1)$ | $O(1)$ | $O(1)$ |
| 推理方式 | 使用者撰寫 | 系統自動 | 系統自動 |
| 知識表示法 | 陳列式 | 陳列式 | 圖型化 |

附：n 為知識庫法則數，m 為進行異動時與同一事件相關的法則數，g 為知識庫分類的群數

4.3 專家系統之推理演算法則

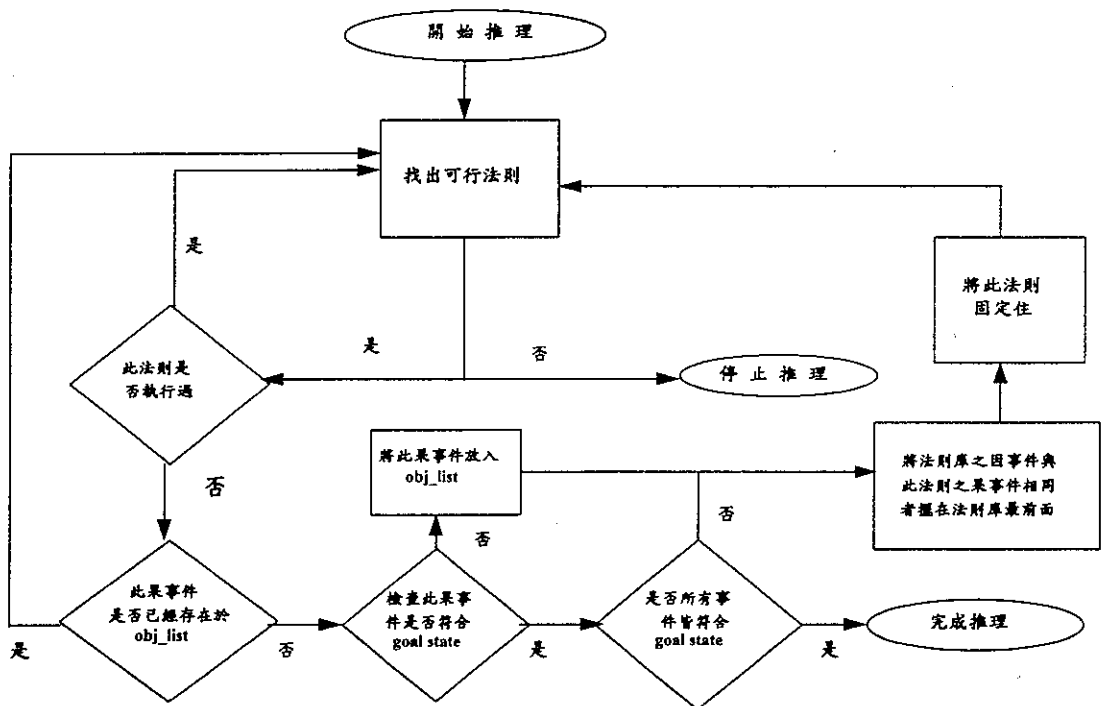
馬少平[4]認為求解過程中的搜索演算法中，每一個節點代表一個完整的問題狀態描述，而每一條規則則說明改變總體狀態描述的一種方法，這已說明了目前專家系統中推理機制的全貌。Jamers P. Ignizio[16]更詳細的指出增加專家系統推理效率的方法有：

1. 將法則(rule)依其重要性依序排列。
2. 將法則分成若干組群。
3. 在搜索過程中，機動的改變每個法則的優先權(priority)。

Jamers P. Ignizio同時還指出推理過程在搜索的過程中，依其問題特性可分為前導式(forward)和後推式(backward)二種。本專家系統之推理機制大致上以forward為主。由於利用傳統樹搜尋法，遇到有"and"之法則時必須進行向後推導，而此過程的演算法相當的複雜相對的程式難度也相當的高。因此，本研究的推理機制採用PN (Petri Net) 的網路擊發觀念發展出一套演算法則，圖三為此推理演算法的詳細情形。大致上，本演算法則是從法則庫中，逐一找出成立的法則（可擊發），而將已擊發的法則固定住（使之不再擊發）並依其敘述更改事件的屬性。在每次的擊發後，立刻判斷是否符合目標(goal state)的狀態，如果不成立則重頭再來一次，直到沒有可擊發的法則為止。以下為此推理法的詳細演算法則：

- Step1. 判斷init_state的事實中是否符合goal_state的所有事實。假如符合的話則停止推理，否則進行step2。
- Step2. 計算init_state的事實的所有排列組合後存入list1{}，取出第一個組合後進行step3。
- Step3. 從法則庫的開頭逐一檢查符合的法則，如果有則進行step4，如果皆沒有則進行step10。
- Step4. 檢查此法則的果事件是否存在obj_list{}中如果有則回到step3，進行下一條法則的檢查，如果沒有則進行step5。
- Step5. 檢查此法則是否存在ruel_list{}如果有則回到step3，進行下一條法則的檢查，如果沒有則進行step6。
- Step6. 依照此法則的運算式更改果事件的屬性，如果此果事件已符合goal state的情況則將此事件放入obj_list{}，進行step7。

- Step7. 檢查目前的所有事件是否完全符合goal state的描述，如果是則進行step9，如果不是則進行step8。
- Step8. 找出法則庫中因事件與此法則之果事件相同者，將這些法則移至法則庫的最前，並重新檢查法則庫，進行step3。
- Step9. 推理完成，並印出所有擊發過事件的屬性值。
- Step10. 推理失敗（無可行解）。



圖三、 研發專家系統推理流程圖

實證範例

爲了使本研究之設計專家系統運作模式的介紹更具體，以下將以網球拍的設計爲例子來說明之。首先概約的介紹目前網球拍的設計原則，然後以網球拍的例子來描述本研究所設計之研發資訊系統的運作模式。本系統之運作模式可分爲四個部份，分別爲：一、概念

設計資料處理；二、造形分析模式；三、設計分析模式；四、介面運作模式。此外在本文最後將進行一網球拍實際系統的建構範例來介紹此本系統的運作，並驗證本研究成果的可行性。

5.1 網球拍之設計

管狀物 (Tubular Products) 複合材料結構，在運動器材的應用中，可謂最普遍且最能提供高性能的產品設計，網球拍為其中最具代表性的產品之一。運用管狀物於網球拍，最先考量的因素為管子的彎曲剛性 (Bending Stiffness) 與扭剛性 (Twist Resistance)。另外根據實際應用上的需要，再加以考量其他的結構要求，如管子的抗拉強、度耐衝擊性、重量分佈、尺寸大小等。一般管子的結構是對稱均勻的結構排列。網球拍雖屬管狀結構，但發生在一支球拍上的各部位，其預期的功能有所不同。以下為複合材料管狀物在管狀物結構的設計上，所歸納出的幾點基本原理，而表四則為網球拍研發時所必需考量的功能需求。

1. 強剛性材料，儘量置放在外層以發揮材料的特性。
2. 疊層力求管壁中心軸的對稱原理 (Symmetric Structure Design)。
3. 考慮疊層間，因角度對熱脹冷縮效益的影響。
4. 充分應用零度紗設計原理，即向強度或剛性以與管子平行的方向為補強材料的強度最大值；扭曲強度或剛性則以45度為最大值。

表四、 網球拍的基本設計原理

| 項目 | 功能需求 |
|--------|-----------------------------|
| 強度、剛性 | 高強度與剛性，足以承受高張力網泉與提供迅速的反彈力。 |
| 彈性、扭剛性 | 強彈性與扭剛性性能展現提供易控球與反撥力。 |
| 振動性 | 低振動性 (Less Vibration) 的舒適感。 |

資料來源："複合材料在運動器材的設計與加工",1991,6,PP18

綜合以上網球拍的設計要素以及本研究實際的訪談，可規納出網球拍研發的設計流程，描述如下：

1. 測量產品造形基本資料
 - a. 全長。
 - b. 各點週長。

2. 決定紗的層數

考量因素：球拍總重量、球拍平衡點。

3. 決定各層紗的角度與長、寬

考量因素：球拍強度（側壓、正壓、平壓、扭力）、工作方便性、球拍對稱性。

總而言之，複合材料在管狀物的結構設計上，表面看好像較單純的設計理論，但是若為顯現不同強度與不同功能的產品設計，則將是複雜且多元化的結構選擇。本研究在以下各節將藉由網球拍的設計工作來導引出本研究的系統運作模式。

5.2 概念設計資料之處理

5.2.1 產品造形資料轉換

由於CAD系統對於圖型資料的記錄皆以向量圖來儲存，向量圖雖可節省電腦的記憶空間，但對圖形的辨識與分析卻非常的不方便。點距陣圖雖然佔記憶體很大的空間，其資料型態卻非常適合圖形的辨識。因此，要進行圖形辨識前必須將向量圖轉換成點距陣圖的二值化資料型態。故本小節首先介紹如何將一向量圖有效率的轉換成二值化的點距陣圖。

要將向量圖轉換成點距陣圖，最簡單的方法是將向量圖繪製在電腦螢幕上，依次檢查螢幕上的灰度值，再轉入電腦預設的陣列中。然而這個方法雖然簡單，卻沒有效率。本研究將介紹一個較有效率的轉換方法：首先一般向量圖皆有每個圖形原始基本資料（如點、線、弧），因此只要將原始資料預設值皆設為"0"，再將這些圖形基本資料一一投射在預設陣列中，即可構成一個二值化的點距陣圖形。以下為這些基本圖形的轉換方法：

1. 點：點為最簡單的投射圖形，其轉換方法只要將點的座標 (X_0, Y_0) 對應到陣列位置 (X, Y) 而將陣列此位置值改成"1"即可。
2. 線：一般向量圖對於線段的記錄資料為線段的兩端點，假設為 (X_0, Y_0) 與 (X_1, Y_1) 。此轉換方法就是利用這二個點座標進行線段資料的轉換。首先必須算出此線段之斜率 $m = \frac{(Y_1 - Y_0)}{(X_1 - X_0)}$ ，後X由 X_0 每次加 Δd 值而Y由 Y_0 每次加 $\Delta d * m$ 值，直到X等於 X_1 。將每次新的(X,Y)座標對應到陣列位置後

將此位置值改成"1"即可。(註：此 Δd 值為決定轉換時的精細度，其值越小，轉換的精細度越細膩)。

3. 弧：向量圖對於弧的記錄資料較為複雜，分別為中心點 (X_0, Y_0) 、半徑 r 、起始角度 d_0 以及終了角度 d_1 。本研究的轉換方法即利用這些資料將弧形圖形轉換成點距陣圖，其詳細轉換方法如下所示：deg以 d_0 為起始值每次加一個 Δd 值算出一座標點 (X, Y) ，此座標之x值為 $X_0 + \text{COS}(\pi * \text{deg} / 180)$ 、y值為 $Y_0 + \text{sin}(\pi * \text{deg} / 180)$ ，值到deg等於 d_1 。將每次新 (X, Y) 座標對應到陣列位置後將此位置值改成"1"即可。(註：此 Δd 值為決定轉換時的精細度，其值越小，轉換的精細度越細膩)。

由於一般向量圖的圖形資料皆有一定的數學函數可循，因此對於這些圖形資料只要能夠找到其數學函數，就可依其數學函數，找到此圖形的所有點座標。而本研究的轉換方法則是先找出圖形的所有座標，再將這些座標對應到預設陣列中。

5.2.2 產品造形資料處理

本研究對於概念設計資料的檢定是利用物件的邊緣來檢定。因此，在進行物件的檢定前，把物件分成核心與邊緣是必要的。在此，本研究採用侯東旭(1994)所提的方法利用簡單的算術運算來找出物件邊緣部分，其程序如下所述。

1. 二值化影像

首先須將原始造形資料予以二值化處理。其主要目的是將影像分割為"0"與"1"兩類。其主要做法在上一節已詳細描述過。在此不再重覆。

2. 縮小影像

此步驟是將二值化影像作運算的處理，以取得一個縮小影像，而此縮小過的影像即為此物件的核心部份。圖四為概念設計資料之二值化資料(假設二值化後亮處灰度值為"1"，暗處為"0")，再依井字格的排列方式予以疊加起來(即將整個影像以止近鄰的方位各移動一次再予以加總)，此時僅有核心部位加滿九次，因此將運算過後的整個影像之灰度值減去八，並將灰度值小於"0"的值以"0"取代，便可得到一縮小的物件影像，此縮小的物件也為原先物件的核心。

一、二值化之原物件資料

```
000000000
0001111000
0001111000
0001111000
0001111000
0111111110
0111111110
000000000
```

二、依并字格之位置作灰度值相加

| | | | | |
|------------|---|------------|---|------------|
| 0011110000 | | 0001111000 | | 0000111100 |
| 0011110000 | | 0001111000 | | 0000111100 |
| 0011110000 | | 0001111000 | | 0000111100 |
| 0011110000 | + | 0001111000 | + | 0000111100 |
| 1111111100 | | 0111111110 | | 0011111111 |
| 1111111100 | | 0111111110 | | 0011111111 |
| 0000000000 | | 0000000000 | | 0000000000 |
| 0000000000 | | 0000000000 | | 0000000000 |
| | | + | | |
| 0000000000 | | 0000000000 | | 0000000000 |
| 0011110000 | | 0001111000 | | 0000111100 |
| 0011110000 | | 0001111000 | | 0000111100 |
| 0011110000 | | 0001111000 | | 0000111100 |
| 0011110000 | + | 0001111000 | + | 0000111100 |
| 1111111100 | | 0111111110 | | 0011111111 |
| 1111111100 | | 0111111110 | | 0011111111 |
| 0000000000 | | 0000000000 | | 0000000000 |
| | | + | | |
| 0000000000 | | 0000000000 | | 0000000000 |
| 0000000000 | | 0000000000 | | 0000000000 |
| 0011110000 | | 0001111000 | | 0000111100 |
| 0011110000 | | 0001111000 | | 0000111100 |
| 0011110000 | + | 0001111000 | + | 0000111100 |
| 1111111100 | | 0111111110 | | 0011111111 |
| 1111111100 | | 0111111110 | | 0011111111 |



```
0012332100
0024664200
0036996300
0036996300
1257997521
2479999742
2466666642
1233333321
```

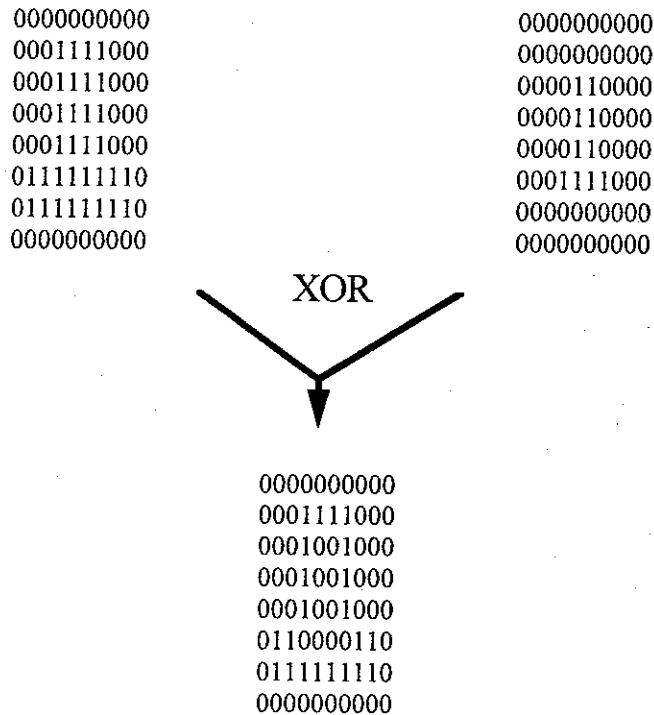
三、灰度值減八（負值以"0"取代）

```
0000000000
0000000000
0000110000
0000110000
0000110000
0001111000
0000000000
0000000000
```

圖四、影像算術運算示意圖

3. 影像比對

將程序一之二值化影像，與程序二的縮小影像作"XOR"運算，即讓原物件影像與縮小後影像之灰度值相減 (Image Subtraction)，便可取得邊緣之灰度值，此邊緣灰度值將做為下節造形分析時之造形資料。圖五為此程序之示意圖。



圖五、 影像比對示意圖

5.3 造形分析模式

5.3.1 點距陣圖單位點屬性

本研究為了方便於找出檢測物件之特徵值，而對每個單位點付予一個屬性值，此屬性值為"0"到"8"的數字所構成，以下為此屬性值的定義：

如圖六所示，點(x,y)的屬性值是以其週圍的十六個點的灰度值來計算。首先判斷這十六個點之灰度值，如果為"1"時將其四近鄰的四個灰度值改成"0"。然後將新的十六個灰度值相加即為點(x,y)的屬性值。此屬性值可看出物件在此位置的特徵，如屬性為"1"時表

示此物件在此位置是為端點，大於二時表示有二個以上的基本幾何圖形在此相交。這些屬性值在進行圖形的辨識時，是相當有用的資料值。

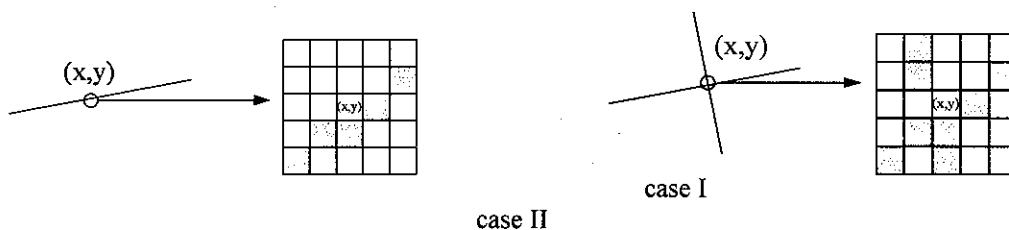
| | | | | |
|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| $(x-2,y-2)$ | $(x-1,y-2)$ | $(x,y-2)$ | $(x+1,y-2)$ | $(x+2,y-2)$ |
| $(x-2,y-1)$ | $(x-1,y-1)$ | $(x,y-1)$ | $(x+1,y-1)$ | $(x+2,y-1)$ |
| $(x-2,y)$ | $(x-1,y)$ | (x,y) | $(x+1,y)$ | $(x+2,y)$ |
| $(x-2,y+1)$ | $(x-1,y+1)$ | $(x,y+1)$ | $(x+1,y+1)$ | $(x+2,y+1)$ |
| $(x-2,y+2)$ | $(x-1,y+2)$ | $(x,y+2)$ | $(x+1,y+2)$ | $(x+2,y+2)$ |

圖六、 十六近鄰示意圖

5.3.2 十六近鄰與八近鄰之比較

單位點的週圍屬性值如果以八近鄰來計算其屬性值將會使圖形的混淆現象更為嚴重，而十六近鄰可改善八近鄰的一些混淆現象。以下將說明一些八近鄰與十六近鄰所產生的效果。

以下圖為例，一線段的所有單位點除了二端點之屬性值為一之外，其他的單位點之屬性值應該為二。在圖七 Case I 中，以八近鄰來計算， (x,y) 之屬性值為二；而以十六近鄰來計算 (x,y) 之屬性值也同為二。但在Case II中，當有二條直線相交時在交點 (x,y) 之屬性值應為四但在八近鄰的計算所得的屬性值為三，而用十六近鄰所得的屬性值為正確的四。

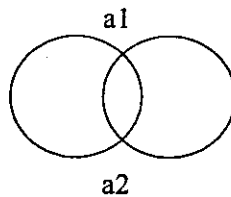


圖七、 向量圖轉點距陣圖

由以上的二個Case中可以很明顯的看出用八近鄰來計算其屬性在Case II中並無法正確的算出交點的屬性值，而十六近鄰法就可以相當精確的計算出其真實屬性。

5.3.3 造形檢定

以上計算每一單位點的屬性值是要做為圖形檢定之用。因此，本小節主要介紹如何利用點距陣圖以及每個單位點的屬性進行造形檢定。本研究在進行造形檢定時是以圖形端點（屬性值為一之點）以及節點（屬性值大於二之點）來切割物件，而將物件分成若干個基本圖形。如圖八所示，為二個圓形的相交，而產生二個節點（a1、a2）。因此，在知識庫的描述時必須以四個弧來描述此圖形。



圖八、造形檢定範例圖

以下為本研究對於造形檢定的詳細描述：

1. 首先找出此圖形之某一端點或節點為初始點。
2. 將其十六近鄰點的x座標以及y座標存入arrx以及arry中，並記錄此節點或端點於nodx、nody以及centx、centy中。
3. 由arrx以及arry中取出一座標點(x,y)，並找出其屬性值。如果屬性值為二，則從十六近鄰點灰度值為一，且其座標不等於(centx,centy)之點，並將此點記錄在datax及datay裡，再將此座標點(x,y)取代原先的centx及centy再重覆執行第三步驟。如果此點座標(x,y)屬性值為一或大於二則由(nodx,nody)至目前(centx,centy)為一基本圖形而此圖形的原始資料則存在datax及datay裡。這些datax及datay所成的集合將可看出此基本圖形的斜率以及其斜率變化，而判定其為弧、圓、線段以及這些基本圖形彼此間的相關位置。最後點(x,y)屬性為"1"時找出下一組arrx以及arry再重覆進行第三步驟，而點(x,y)屬性大於"2"時則回到第二步驟。

根據以上的分析結果，可以很快的看出原圖形的所有特徵值，如整個圖形的節點數、端點數、線段數目、線段間的相交點...等。而將這些資訊構成研發資訊系統中的概念知識庫的初始狀態（Initial State）。而研發系統由內定的概念知識判定這些資料是否構成產品的概念設計的必要條件。

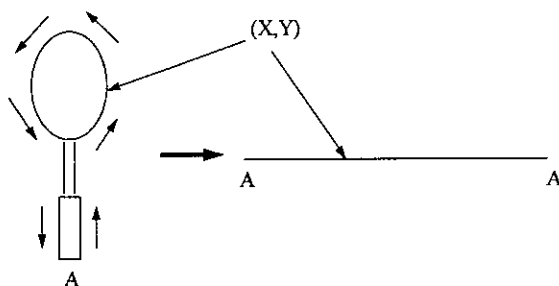
最後在判定為產品設計圖的過程中，將可獲得某些資訊，這些資訊為研發資訊系統進行產品造形分析的最終目的，也為往後的工程設計所需之資料，如產品之空間、位置配置、週長、重心...等。

5.4 設計分析模式

工程設計之分析為此資訊系統運作之核心，在本研究的整合模式下。系統之工程分析並不單純只考慮到產品的工程設計方面，而是多方面的考量整個製造環境來決定其產品設計圖（如物料成本、存貨數量...等問題）。因此在工程設計的核心是綜合了各種不同的知識以及不同系統的資料，才能完整而正確的推算出問題的較佳解。以下為本研究對於設計分析的詳細介紹。

5.4.1 問題定義

在系統進行工程分析之前，系統除了工程分析所需的各項知識庫之外，還必具備要處理問題的定義。Ignizio (1991) 將專家系統問題的定義分為初始狀態 (Initial State) 以及目標狀態 (Goal State)。在研發領域內對於每一待處理的問題皆可以Initial State以及Goal State來表示。一般來講，研發資訊系統初始狀態是由其他系統或使用者所提供或定義。以網球拍的設計為例，由CAD系統中的概念設計資料為其工程分析的初始狀態，如圖九所示：當一球拍完成造形分析時，系統可獲得的資料中，球拍的週長以及每個點的配置（實



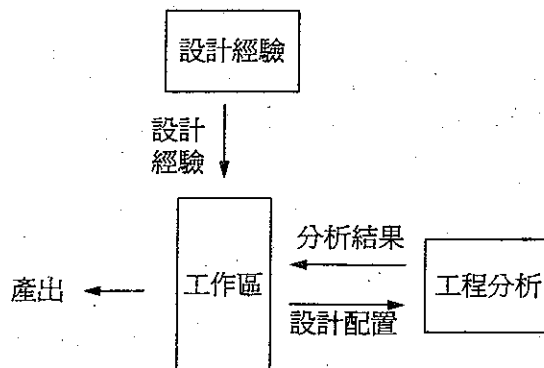
圖九、網球拍工程設計示意圖

際位置)，就為問題定義初始狀態的資料。另一方面研發領域的目標狀態為其產品的功能需求，以網球拍的例子，其產品的重量限制、平衡點範圍以及球拍的各個強度的範圍限制...等，皆為其問題的目標狀態，這些目標狀態通常是以數學式來表示。因此工程分析的

主要目的是在初始狀態中的各個配置中找出一組可以符合所有目標狀態的設計。下面將詳細的描述研發資訊系統如何利用問題定義以及內部的知識庫來進行工程分析。

5.4.2 設計分析

研發系統之設計分析運作，基本上是一個求解的過程。而利用專家系統運用在設計問題時，必須考慮到利用經驗在狀態空間移動以增加其推理效率。因此，本研究規劃的求解過程中，專家系統扮演二種工作；一為將設計配置的結果進行工程分析，找出此設計配置能夠符合目標狀態的解，以及其結果。另一個工作則為當此設計配置無法滿足所有目標狀態時，利用分析結果及設計經驗找出下一個較好的設計配置來進行工程分析。因此，設計分析在此運作原則下，如下圖十，其工程設計知識庫可分為二類知識庫，分別為工程運作以及設計經驗。有關工程運作的知識為一些材料結構計算上的物理公式及公式間彼此的關係，而設計經驗知識庫為先前產品設計後的經驗累積。工程運作知識為專家系統內所必須具備的工程知識庫，而設計經驗的工作則以減少整體求解過程的時間，進而增加整個系統的效率。以下為本研究以網球拍設計為例對於工程設計的詳細介紹：



圖十、工程設計運作模式

如前所述，工程設計必須具備初始狀態的描述，如網球拍設計的最重要初始資料為其週長。不同的紗以不同的比例在此週長內可以形成多種配置，而構成初始狀態的狀態空間。此狀態空間可以用線性規劃的方法加以描述，如下所示：

假設週長為 L

零度紗起點位置為 $X01$ 、長度 $L01$

30度紗起點位置為 X_{11} 、長度 L_{11}

45度紗起點位置為 X_{21} 、長度 L_{21}

60度紗起點位置為 X_{31} 、長度 L_{31}

90度紗起點位置為 X_{41} 、長度 L_{41}

因此，網球拍在第一層的初始狀態的配置空間為：

$$\begin{aligned}
 X_{01} &\leq L \\
 X_{11} &\leq L \\
 X_{21} &\leq L \\
 X_{31} &\leq L \\
 X_{41} &\leq L \\
 X_{01} + L_{01} &\leq L \\
 X_{11} + L_{11} &\leq L \\
 X_{21} + L_{21} &\leq L \\
 X_{31} + L_{31} &\leq L \\
 X_{41} + L_{41} &\leq L
 \end{aligned}$$

當配置空間決定之後，工程分析的第二步是從這些配置空間依設計經驗（如球拍的對稱性）隨意拿出一組組合，而將此組合放入工程分析中，計算其重量、強度、平衡點等。下圖即為利用本研究之知識庫系統來計算網球拍某一層配置的重量。

假設紗的密度為 d

零度紗的長度為 L_{01}

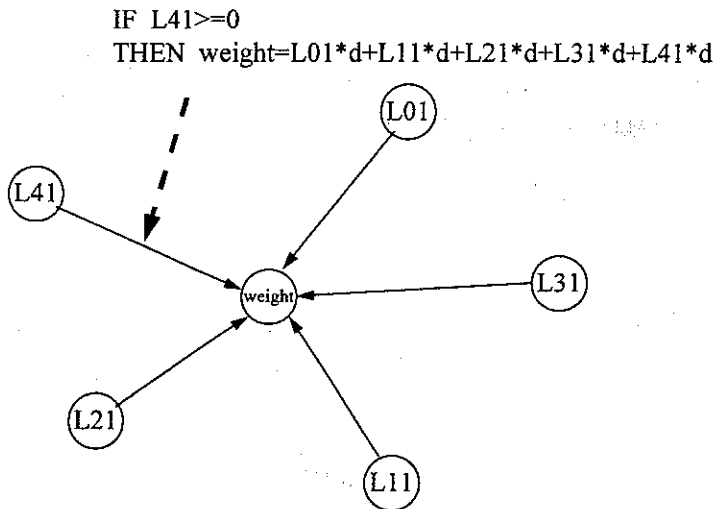
30度紗的長度為 L_{11}

45度紗的長度為 L_{21}

60度紗的長度為 L_{31}

90度紗的長度為 L_{41}

故有關球拍重量的知識表示如圖十一所示：



圖十一、網球拍工程設計知識範例（一）

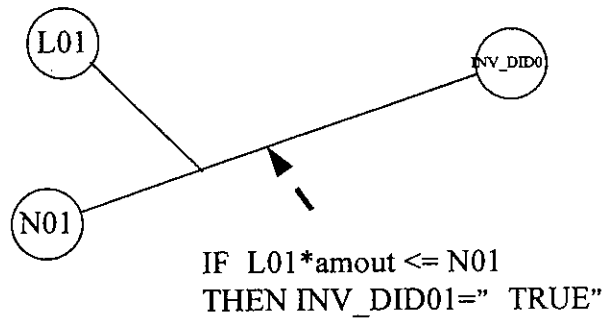
因此，當每一初始狀態的位置在工程分析時，有關重量分析部份，系統就可利用其工程設計知識庫的知識計算其整個球拍的重量，並判斷此配置在重量部份是否符合目標狀態的要求。

此外，在系統整合性的考量下，其分析模式並不能只是單純的考量工程技術部份。還必須考量製造現場的狀況以及商業上的成本問題。在製造現場方面，庫房的物料存量就決定產品的設計配置，圖十二可以很清楚的看出存貨也是影響產品設計的因素之一。在存貨不足的條件下，工程分析將無法滿足目標狀態的描述，而迫使系統找尋另外的結構配置。因此，在這個例子系統在整合的考量下，知識庫的存貨資料是以On Line的方式在異動的，因此系統必須藉由介面系統將這些資料放入知識庫中，加以考量。

假設L01為所使用零度紗的長度

N01為目前庫房零度紗的存貨

amount為球拍的生產數量



圖十二、網球拍工程設計知識範例（二）

另外，對於系統在商業方面考量的因素為成本，製造期限...等。而這些資料也必須藉由介面系統將資料轉入知識庫中進行設計時考量因素。圖十三為網球拍有關成本方面的考量因素，因此在成本不符合目標狀態的描述時，也會迫使系統找尋其他的結構配置。

假設零度紗的長度為L01，零度紗的單位長度成本為C01

30度紗的長度為L11，30度紗的單位長度成本為C11

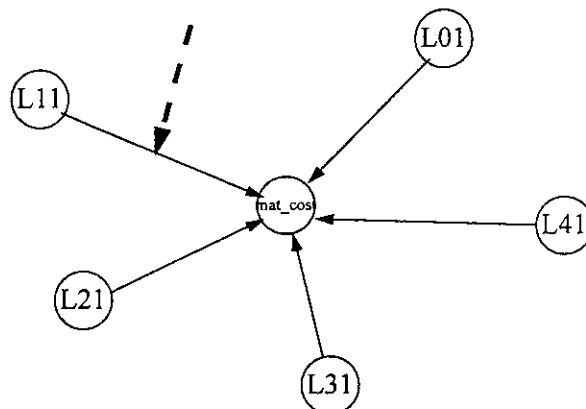
45度紗的長度為L21，45度紗的單位長度成本為C21

60度紗的長度為L31，60度紗的單位長度成本為C31

90度紗的長度為L41，90度紗的單位長度成本為C41

mat_cost為物料成本

IF L11>=0
THEN mat_cost=L01*C01+L11*C11+L21*C21+L31*C31+L41*C41



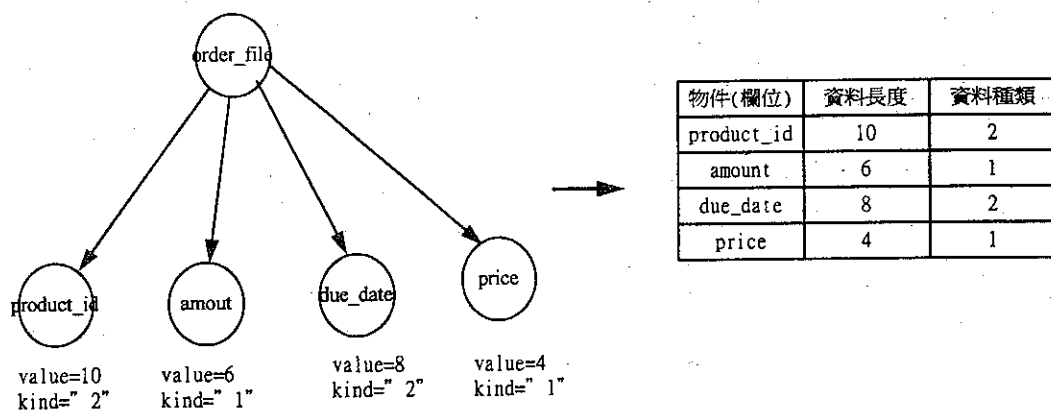
圖十三、網球拍工程設計知識範例（三）

以上為本研究對於工程運作模式所作的介紹，其中在整合環境下的工程分析，本研究利用介面系統來進行資料轉換。下面一節將繼續的描述研發資訊系統如何利用介面系統進行資料的轉換。

5.5 介面運作模式

以上節的介紹可以很清楚的看出，研發資訊系統在進行工程分析模式需要的資料可分為二類，分別為靜態資料以及動態資料。靜態資料我們將之定義為不隨製造環境而改變的資料，而動態資料則隨整個製造環境變化而改變其值。因此，系統遇到需要使用動態資料時，系統由他系統擷取資料的能力是必須的，以下我們將詳細的介紹系統如何利用介面知識庫來進行資料的轉換。

當研發資訊系統在進行資料轉換工作時所需的資料結構，本研究以知識結構的形態來表示之，並記錄在系統的介面知識庫中。如圖十四所示，知識庫的物件名稱為資料轉換的檔案名稱，而此物件值則記錄此欄位的長度，同時此物件的物件種類則對應成此欄位的資料型態。除此之外，知識庫還必須給每個欄位一個序號，以確定資料的正確性。以圖十三為例子，當系統需要產品之生產數量時只要將知識庫推理機置的目標狀態設定為 `order_use="true"`，系統則將資料庫檔案為 `order_file` 之當案的資料轉至一個暫存區，同時將一檔案的資料結構放在 `product_id`，`amount`，`due_date`，`price` 等各個物件之內。因此，系統只要根據物件所描述的檔案結構從暫存區擷取資料。最後將此擷取到的資料再放入其他知識庫名稱相等之物件中即可。因此，在這種運作模式之下，系統對於資料的轉換皆由知識庫來完成，當 `order_file` 的資料結改變時，系統只需改變其知識結構，而不需從新改變系統內部程式，因而增加系統的彈性以及使用效率。



圖十四、介面系統資料轉換圖

5.6 工程圖的產出

當完成產品設計分析時，系統所產生的結果為某一組集合，而這些解集合是一群數字的集合體。如何把這些資料轉換成人們可以接受的資料為研發資訊系統在工程設計的最後工作。一般來講，產品開發完成後皆是以圖型的方式表達（工程圖），也較為設計人員所接受。因此研發資訊系統的最後工作是將其內部專家系統找出的解，將之轉換成工程圖。以網球拍的設計為例，假設系統所找出的解為：

$$X_{11} = 0, L_{11} = 157$$

$$X_{11} = 254, L_{11} = 157$$

$$X_{21} = 147, L_{21} = 117$$

$$X_{02} = 0, L_{02} = 115$$

$$X_{02} = 296, L_{02} = 115$$

$$X_{02} = 110, L_{02} = 191$$

$$X_{03} = 147, L_{03} = 117$$

$$X_{03} = 122, L_{03} = 50$$

$$X_{03} = 239, L_{03} = 50$$

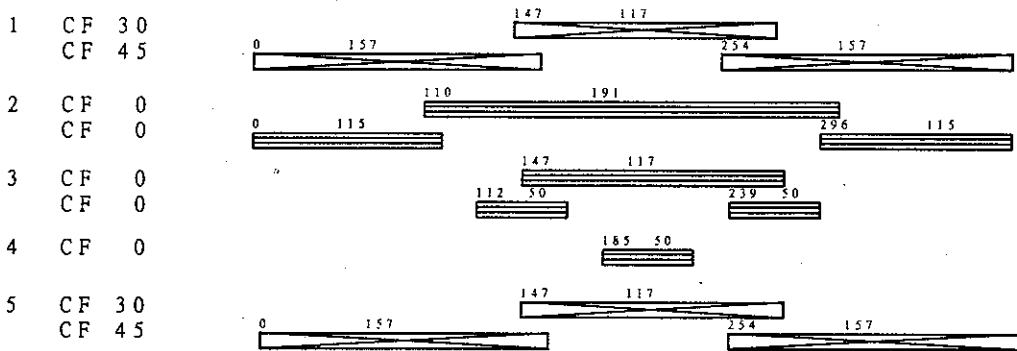
$$X_{04} = 185, L_{04} = 50$$

$$X_{15} = 0, L_{15} = 157$$

$$X_{15} = 254, L_{15} = 157$$

$$X_{25} = 147, L_{25} = 117$$

其中X變數為每段紗的起始位置，而L變數為每段紗的長度。由於網球拍的製作是為一體成型，因此網球拍在模具上的配紗可看為繞整個網球拍為一圈的位置配紗。當我們將繞網球拍一圈所構成的線段拉成一直線，此一直線上的每一點可轉換成在網球拍上的對應點。因此工程設計所求出的解集合就可轉換成如圖十五所示的工程設計圖。其內容包括整個球拍的設計結構以及所需的詳細物料，我們可以很清楚的看出球拍在不同的層所需的物料以及其配置的位置。



圖十五、網球拍工程設計範例圖

附：CF表所用材料為碳纖維，其後面數字表示所配紗的角度。

5.7 小結

在建立智慧型資訊系統應用於產品設計時並不只是單純的推理引擎之運作即可，其中還包括種種複雜的運算程序以及演算法則，方可達到系統的功能需求。本研究以上介紹的一些演算法則，基本上皆為將原始資料轉換成知識庫所要使用的方法。另外，本研究將整個研發系統之核心運作部份以網球拍的例子來說明，希望藉著網球拍設計的例子使研發資訊系統運作模式的描述更加具體。

結論與建議

企業在產品研發所面臨的問題，一直為企業發展的最大障礙。現今有關研發能力改善之研究大多以特定領域的專案軟體製作為主。對於一個研發資訊系統的發展架構、發展方法以及整體性的考量並沒有完整的探討。因此，本研究旨在發展一套研發資訊系統的建構

方法論，以及解決企業在研發所面臨的問題為本研究的考量重點。在解決方法上本研究大量的使用專家系統的技術，藉此技術的導入使得所建構的系統更具智慧化以及更具實用性。

總結來說，本研究的學術意義，可歸納為下列幾點：一、整理有關研發系統的相關文獻，確定研發資訊系統的功能架構。二、提供了一個智慧型資訊系統運用於產品研發的參考模式。三、發展出一套新的知識表示與推論方法，使建構智慧型資訊系統的程序更加方便以及所建構的系統更具使用性。另外，本研發資訊系統的建構方法中，本研究僅利用專家系統的技術。因此系統雖具智慧化，但並無學習的能力，對於新製造狀況的產生則需有具備研發專業知識能力的人來進行知識庫的維護。因此，如何結合類神經網路的技術，使系統能經由實際狀況的發生，而自動的修改其內部知識庫為本研究的未來發展方向。

參考文獻

1. 于宗先，「中小企業發展的基礎」，第一屆中小企業發展學術研討會論文集，台北，經濟部，民83年5月，5-17。
2. 陳明豐，「電腦整合製造系統規劃」，機械工業雜誌，民78年12月，158-164。
3. 今并賢一，21世紀型企業，1992,NTT。
4. 林堯瑞，馬少平，人工智慧概論，民81，儒林出版社。
5. Olesen, Douglas E. "To be Competitive, Follow These 4 Steps", *R&D*, 1994, 2, vol.36, pp.25-28.
6. Itami Hiroyuki, *Mobilizing Invisible Assets*, 1987, London, England.
7. Groover, M. P., *Automation, Production System, and Computer-Aided Manufacturing*, 1987, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
8. Hatvany, J., *The Computer Application in Industrial Engineering*, 9th World Congress IFAC Budapest, 1984, vol.6, pp.3373-3375.
9. Latombe, J. C., *Artificial Intelligence in Computer Aided Design : The TROPIC System*, North-Holland, Amsterdam, 1977, pp.61.
10. Fumihiko Kimura, H. Suzuki, *A CAD System for Efficient Product Design Based on Design Intent*, Ann, CRIP, Vol.38, 1989.

11. Stefik, M., D. G. Bobrow, S. Mittal, and L. Conway, "Knowledge Programming In LOOPS: Report on an Experimental Course", *AI Magazine*, 1983; 4, 9, pp.3-13.
12. Solaja, V. B., and S. M. Urosevic, "The Method of Hypothetical Group Technology Production Lines", *CIRP Annals*, 1973.
13. Gero, J. S., *Expert System in Computer-Aided Design*, North-Holland, 1987.
14. Davis, Gordon B. *Management Information Systems: Conceptual Foundations, Structure, and Development*, McGraw-Hill, 1974.
15. Simmon, H. A., and A. Newell, "Heuristic problem solving : The next advance in operations research," *Operation research*, 1-2, pp.1-10, 1958.
16. Ignizio, James P., *Introduction to Expert System*, McGraw-Hill Book Co, 1991.

An Information System Model for Product Research and Development

Chyuan Perng* Jenteng Tsai* Cheng Hsiang Chiu*

ABSTRACT

The intent of the study is to explore the feasibility of applying computer technology on product research and development. Expert system concepts are adopted. A framework for the development of a comprehensive product research and development information system is proposed. Methods for processing the information system's knowledge are constructed which including : 1. The identification of the needed knowledge bases; 2. The method of knowledge representation; and 3. The search algorithm in the knowledge bases. A prototypical software system is developed to demonstrate the applicability of the proposed concepts.

Key Words : information technology, expert system, product research and development

* Department of Industrial Engineering, Tunghai University