

國立交通大學

管理學院(工業工程與管理學程)碩士班

碩士論文

規則式方法應用於彈性製造系統的派工問題研究

A Study of Applying Off-line Rule-Based Method to Solve the Dispatching Problem in FMS



研究生：郭俊良

指導教授：彭德保 教授

中華民國九十六年六月

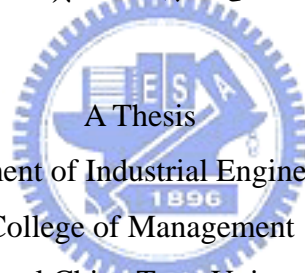
規則式方法應用於彈性製造系統的派工問題研究

A Study of Applying Off-line Rule-Based Method to Solve the Dispatching
Problem in FMS

研究生：郭俊良
指導教授：彭德保

Student : Chun-Liang Kuo
Advisor : Der-Baau Perng

國立交通大學
管理學院 (工業工程與管理學程) 碩士班
碩士論文



Submitted to Department of Industrial Engineer and Management
College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Industrial Engineer and Management

June 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年六月

規則式方法應用於彈性製造系統的派工問題研究

學生：郭俊良

指導教授：彭德保

國立交通大學 管理學院 (工業工程與管理學程) 碩士班

摘 要

本論文將探討應用決策樹、決策表、IPO 模式(Input-Process-Output Model)及彩色斐氏圖(Color Petri-Net)等一系列方法與程序來擷取、分析專家的知識、經驗，並使用智慧型決策支援系統(IDSS)提供的人機介面，轉換、模擬與測試知識規則及決策模型，將知識轉換過程的分析方法與程序予以明確化，讓使用者能因此按部就班，逐步分析、構建知識規則。

而本論文所使用的 IDSS 工具是應用網際網路技術、決策支援概念及 Java Expert System Shell (JESS) 推論引擎所發展的規則式推論編輯工具，其提供圖形化知識規則編輯器及決策元件封裝嵌入功能，使得建置、編輯知識規則與整合外部系統或裝置更加彈性。並以彈性製造系統(Flexible Manufacture System, FMS)作為測試、驗證載具，以實際驗證本研究所提出之分析方法與程序的可行性與實用性。

關鍵字：彩色斐氏圖、規則式推論、規則轉換、JESS、派工

A Study of Applying Off-line Rule-Based Method to Solve the Dispatching Problem in FMS

student : Chun-Liang Kuo

Advisor : Dr. Der-Baau Perng

Degree Program of Industrial Engineering and Management

National Chiao Tung University

ABSTRACT

This thesis was described a method and procedure that apply decision tree, decision table, IPO model and Color Petri Net to analyze the domain experts knowledge and to transfer the knowledge rule and decision model via Intelligent Decision Support System (IDSS). The objective of developing the rule-based inference method is to provide an easy follow knowledge rule construction approach.

This IDSS tool was constructed based on the web technology, decision support concept, and Java Expert System Shell (JESS) inference engine. It is to provide the visual editing interface and the decision object's packaging & embedding function, so as to have the integration of knowledge rule inference ability and other systems are more flexible. The developed method was test and verified experimental results were given to illustrate the usefulness of the developed method via the FMS test platform.

Key Words: Color Petri Net, Rule-based Inference, Rule Transfer, JESS, Dispatching

誌 謝

本論文得以完成，首先得感謝恩師 彭德保教授，於論文寫作期間所給予的悉心指導及教誨。其豐富學養，令我深感如沐春風，受益匪淺，而且在我攻讀碩士期間給予許多學業與研究上的寶貴建議及方向，讓我有深思與啟迪，慮事考量更周延全面，實是獲益良多，由衷的感謝，難於言表。此外在本研究進行過程中，非常感謝工研院主管 谷中昭 副組長的全力支持與鼓勵以及清華大學工業工程系 張瑞芬教授、台北科技大學 陳凱瀛教授 鼎力協助配合相關學界研究計畫，使本論文從構想、文獻探討、方法論證、系統架構、分析到實作驗證的每一階段得以進行一系列完善的探討、測試、驗證及實作。

在研究所兩年的生涯中，感謝工研院 夥伴 蔡瑞彬、亞頌公司 何佩勳博士、洪嘉偉、清大博士生 林彥伯、蕭維承、北科大碩士生 何佳潭及許許多多相關老師、學生的共同研究配合，使得論文得以順利完成。

非常感謝 梁高榮教授、陳文智教授、洪一薰教授及 彭德保教授等口試委員於百忙之中撥冗指導，不吝指教，提供許多寶貴意見及理論論證不足之處，期使本論文更臻完善。

最後僅將本論文獻給我摯愛的母親、家人、師長、工作夥伴以及所有關愛我的朋友，感謝您們的支持，才能使我順利完成學業，希望您們同我分享這份成長的喜悅。

郭俊良

謹誌於 新竹 工研院
中華民國九十六年六月三十日

目錄

<u>摘</u> <u>要</u>	I
ABSTRACT.....	II
<u>誌</u> <u>謝</u>	III
表目錄.....	V
圖目錄.....	VI
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
第二章 文獻探討.....	5
2.1 彩色斐氏圖.....	5
2.1.1 彩色斐氏圖的性質.....	8
2.2 決策支援系統.....	12
2.2.1 決策支援系統與專家系統的關係.....	15
2.2.2 知識的表示.....	15
2.2.3 知識的擷取.....	16
2.2.4 專家系統的建構.....	17
2.3 彈性製造系統.....	19
第三章 分析方法.....	27
3.1 問題界定.....	28
3.2 問題描述.....	29
3.3 問題分析.....	29
3.4 規則建置.....	31
3.5 規則測試與驗證.....	34
第四章 實作與驗證.....	36
4.1 概念架構.....	36
4.2 派工問題界定.....	38
4.3 派工問題描述.....	39
4.4 派工問題分析.....	42
4.5 推論規則建置.....	50
4.6 推論規則測試與驗證.....	58
4.7 推論式 IDSS 派工與撰寫單元 CELL 程式的派工比較.....	62
第五章 結論與建議.....	66
5.1 結論.....	66
5.2 未來發展方向.....	67

表 目 錄

表 1. 斐氏圖組成元素.....	5
表 2. 決策支援系統的定義[吳俊逸，2007].....	12
表 3. 不同電腦化系統的比較[SPRAGUE AND CARLSON, 1983][梁定澎，1991].....	14
表 4. 彈性製造系統的定義.....	21
表 5. 彈性製造系統排程.....	23
表 6. 基本決策表.....	30
表 7. 系統間訊息交換之生產資訊.....	40
表 8. 彈性製造系統派工決策表分析，其中一例說明.....	46
表 9. 所需收集之生產資訊.....	49
表 10. 推論式 IDSS 派工與撰寫單元 CELL 程式的派工比較.....	64



圖目錄

圖 1. 研究目標概念圖.....	2
圖 2. 研究架構	4
圖 3. 斐氏圖基本模式圖.....	6
圖 4. 彩色斐氏圖之初始標誌狀態.....	6
圖 5. 彩色斐氏圖之激態 T1 激發後標誌狀態.....	7
圖 6. 彩色斐氏圖之激態 T2 激發後標誌狀態.....	7
圖 7. 彩色斐氏圖動態行為.....	7
圖 8. 專家系統獲得知識之模式.....	17
圖 9. 專家系統建構過程[FREDERICK, 1992]	19
圖 10. CIM 工廠不同階層的系統結構[MALEKI, 2000].....	20
圖 11. 分析設計程序圖.....	27
圖 12. 傳統程式撰寫方式示意圖.....	28
圖 13. IDSS 知識規則編輯器示意圖	29
圖 14. 基本決策樹圖.....	30
圖 15. IPO 模式基本架構圖	30
圖 16. 彩色斐氏圖激發範例.....	31
圖 17. 知識規則編輯介面.....	32
圖 18. 知識規則節點編輯介面.....	33
圖 19. 知識規則 LHS 編輯介面	33
圖 20. 知識規則 RHS 編輯介面	34
圖 21. 知識規則推論驗證執行畫面.....	35
圖 22. FMS 派工的決策概念	37
圖 23. 彈性製造系統與智慧型決策支援系統的規劃示意圖	38
圖 24. 彈性製造系統與智慧型決策支援系統的整合構想	42
圖 25. FMS 派工規則分析設計程序圖.....	43
圖 26. FMS 派工規則之決策樹分析圖.....	45
圖 27. FMS 派工規則實際建置知識規則之決策樹分析圖	46
圖 28. IPO 模式實例圖	47
圖 29. 推論過程的彩色斐氏圖(CPN)實例圖	48
圖 30. FMS 驅動 RGV 搬運過程的彩色斐氏圖(CPN)實例圖	49
圖 31. IDSS 各功能的樹狀圖.....	51
圖 32. IDSS 中知識類別建置實例圖	51
圖 33. IDSS 中知識元件建置實例圖	51
圖 34. IDSS 中圖片說明建置實例圖	52
圖 35. IDSS 中資料庫連線組態建置實例圖	52
圖 36. IDSS 中資料庫資料匯入設定實例圖	52

圖 37. IDSS 中知識規則群組設定引用介面實例圖	53
圖 38. IDSS 中知識規則編輯介面實例圖	53
圖 39. IDSS 中知識規則編輯介面拖曳節 A 點實例圖	54
圖 40. 知識規則節點 A 之知識元件、屬性引用實例圖	55
圖 41. IDSS 中知識規則編輯介面拖曳節點 B 及連線實例圖	55
圖 42. 知識規則節點 B 之知識元件、屬性引用實例圖	56
圖 43. 知識規則之連線條件(IF)設定實例圖	57
圖 44. 知識規則連線之動作(THEN)設定實例圖	57
圖 45. 知識規則建置完成實例圖	58
圖 46. TOMCAT CONSOLE 偵錯介面實例圖	59
圖 47. IDSS 偵錯介面實例圖	59
圖 48. 整合智慧型決策支援系統與彈性製造系統的資料傳輸交換	60
圖 49. 智慧型決策支援系統推論出的派工結果	61
圖 50. 彈性製造系統運作中的即時動畫	61
圖 51. 彈性製造系統運作中實景	62
圖 52. 智慧型決策支援系統今後發展方向架構圖	67



第一章 緒論

本章將闡明本研究之背景、動機與研究之目的；陳述建構本論文的分析方法與程序，最後，並說明本研究實證結果與限制。

1.1 研究背景與動機

專家系統主要是包含特殊領域的資料、事實以及專家的經驗常識，其中知識庫的建立即是其中極重要的一環，藉著良好的建構方法與工具可在極短的時間內建構好專家系統。因此本研究的首要考慮，即是找出適當的方法、步驟和知識庫格式，以利資料、經驗及知識易於記載、編輯和分享傳承，方便未來專家系統上的知識表達與前推式、回溯式及複合式等推理法則的建立。

現有已知的專家系統大都針對特定領域而發展的專門系統，除建構工具之選用、知識表示的方法外，其知識來源、知識擷取、知識規則轉換過程及執行策略的研究...等實為建構專家系統的眾多難題。

首先，專家知識、經驗的擷取、轉換及相關規則建置，相關人員均須兼具熟悉電腦程式設計、撰寫技巧及領域知識，遠非一般使用者歷經短暫學習訓練或與專家密集的晤談溝通即可勝任。其次，從知識、經驗擷取並轉換成電腦系統可以解讀的過程中，其知識、規則的詮釋及表示將因人而異，很難有一定標準，也形成專家系統導入過程中的無形門檻。更有甚者，現有專家系統也無法提供一簡易測試驗證功能，以提供使用者線上驗證其想法與概念，使得建構專家系統更形困難。

有鑑於此，本研究擬提出一分析方法與程序，並藉由融合人們熟悉的自然語言語法的知識規則編輯工具[郭俊良 等，2004]，可以有系統地擷取、建置、驗證、管理、分享與再利用專業領域知識 (Domain Knowledge)，以累積保存歷年來的知識、經驗和想法。

本研究將應用決策樹、決策表、彩色斐氏圖(Color Petri-Net)及 IPO 模式 (Input-Process- Output Model)等方法對專家知識、經驗予以分析、模擬，然後透過智慧型決策支援系統(Intelligent Decision Support System, IDSS)工具，將知識轉化為規則及決策模型。並以彈性製造系統(Flexible Manufacture System, FMS)作為應用雛型系統[郭俊良 等，2007]，以測試、實證本研究所提出之分析方法

與程序的可行性與實用性。

1.2 研究目的

由於學者專家或一般人皆很難將自己的知識、經驗與想法完整透過語言、文字表達或記錄下來，因此在知識保存、分享與利用上出現巨大的鴻溝。如何跨越這道鴻溝並將知識工程應用在製造業自動化/智能化方面尚有很大發展性[劉興煙 等，1991]，尤其是在知識的擷取、表示、保存與轉換的過程的簡化、親和性上，而綜觀現有專家系統，皆為特定領域而專門特製，知識工程師大多需要資訊技術背景及專業領域知識，才能駕輕就熟地使用，對於一般專家或使用者而言，知識的擷取與轉換過程實是一大挑戰。本研究以一套可即時執行於網際網路上之圖形化知識建置編輯工具—智慧型決策支援系統(IDSS)為基礎[谷中昭等，2006]，希望能找出一可行的知識表示、擷取、轉換分析、知識規則分析、建置、編輯的方法及程序，再藉由此 IDSS 工具的知識規則編輯介面來描述專業知識及經驗，建置並轉換成決策判斷規則，經反覆測試驗證無誤後，予以封裝成決策支援元件併嵌入其他系統或裝置，使其具有智慧/智能化。

因此，本研究主要將達成下列目標(圖 1)：

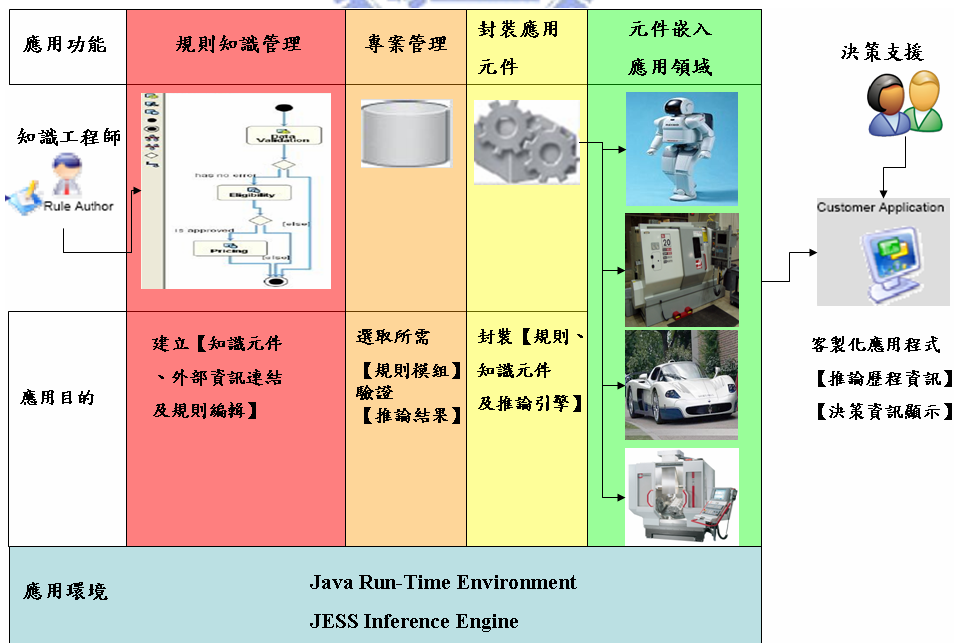


圖 1. 研究目標概念圖

- 研擬出一知識、經驗之表示、分析及模擬、測試的方法與程序：藉由運

用決策樹、決策表、IPO 模式(Input-Process- Output Model)及彩色斐氏圖(Color Petri-Net)等方法，使一般使用者對專家知識、經驗簡易地予以描述、分析並轉化成為知識規則及決策模型。

- 使用智慧型決策支援系統(IDSS)工具，建構並編輯知識規則及決策模型，此工具將自動將所建知識規則轉譯為 JESS (Java Expert System Shell)[JESS, 2006]推論引擎能接受的格式。
- 設計、研發知識元件封裝嵌入功能與程序：將所建構的知識規則、決策模型予以匯出及封裝成決策元件，並以嵌入方式與其他系統、裝置整合，提升其智能/智慧化。

並選擇彈性製造系統的派工法則作為測試驗證的標的，實證本研究的分析方法與程序的可行性與實用性。

1.3 研究方法與架構

針對將知識、經驗解析，並轉換為知識規則的分析方法與程序，本研究首先收集整理並研習相關的文獻資料（包括：彩色斐氏圖、決策支援系統、彈性製造系統...等），接受專家系統等相關技術訓練，再利用一些發展工具，來嘗試理論與實際的配合，並與專家學者晤談及交換心得，來了解相關技術領域的來龍去脈。

其次，妥善選擇合適的分析、發展工具，蒐集現有專家系統、電腦整合製造系統及彈性製造系統等發展工具資料，配合可能的應用領域，選定並熟習相關分析、發展工具的特色及適用領域。

最後，選定彈性製造系統的派工法則作為測試標的之後，著手蒐集相關現場管理(Shop Floor Control)專家系統的知識與經驗，深入瞭解其運作狀況。同時將這些問題，先以由上而下的方式(Top-Down)予以細分，並與相關人員研討，整合此研究所需的知識，再運用決策樹、決策表、彩色斐氏圖[Looney, 1988]及 IPO 模型逐步分析、釐清派工法則後，再藉由智慧型決策支援系統(IDSS)來編輯、測試相關建構的知識規則，最後進行整個智慧型決策支援系統與既有的彈性製造系統間軟、硬體整合的實作與驗證。整體上本研究之研究架構與程序，如圖 2 所示。

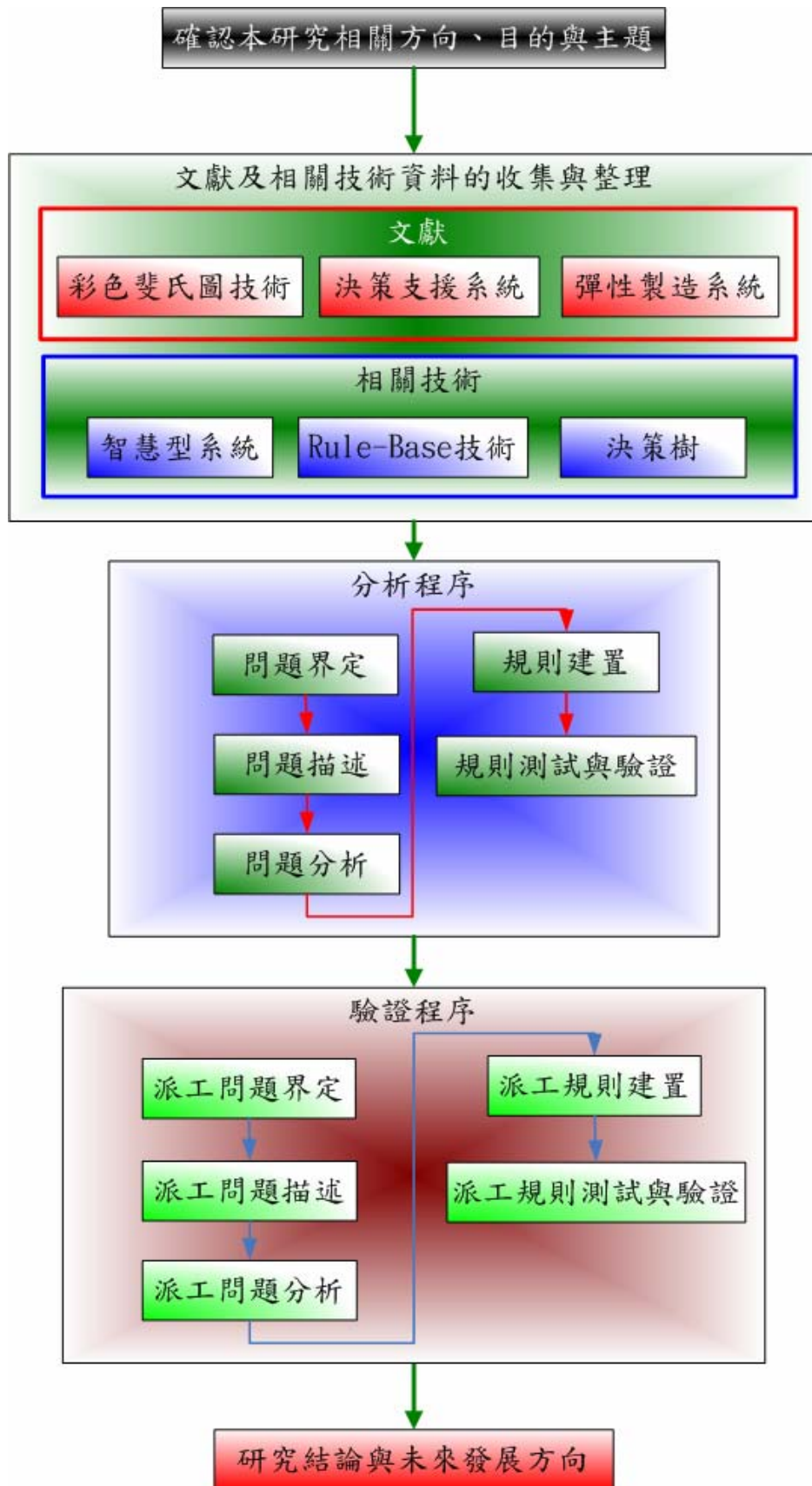


圖 2. 研究架構

第二章 文獻探討





本章研究、探討彩色斐氏圖(Color Petri Net, CPN)、IPO 模式(Input Process Output Model, IPO)、決策支援系統及彈性製造系統等相關文獻資料，以作為論文研究及實作之知識與技術背景。

2.1 彩色斐氏圖

彩色斐氏圖(Color Petri Net, CPN)是Krut Jensen於1992年提出，將斐氏圖結合程式語言發展而成的。有別於一般典型斐氏圖，彩色斐氏圖有利於將系統複雜度降低，以塑造更龐大的系統，增加對系統資訊的描述。因此，彩色斐氏圖提供更多樣的特性，簡化典型斐氏圖之結構。

至於典型斐氏圖(Petri Net, PN)是由德國數學家Carl Adam Petri博士於1962年提出，為一種兼具數學基礎及狀態導向的圖形化、模型化系統分析與發展工具，也是一種具有數學性質的正規表示法，可以用來塑模各種系統模型。其具備包括同步(Concurrency)、非同步(Asynchronous)、分散(Distributed)、平行(Parallel)、不確定(indeterminism)及推論式(Stochastic)以及隨機(random)等特性，可以用來表示各種資訊系統。而且是以類似流程圖、方塊示意圖與網路的圖形化傳遞方式表示，幫助使用者更容易清楚地了解系統的行為。典型斐氏圖可分為靜態圖示與動態行為兩部份，靜態方面可用圖形表示，主要是由被稱為穩態(Place)的圓形節點、被稱為激態(Transition)的長方圖形以及具方向性的弧線(Arc)所組成。動態方面則是使用點狀的標誌(Token)透過激態的激發(fire)造成在穩態的狀態轉移，來模擬系統的動態結構及整個網路內部結構，其基本組成元素如表1所示。

表1. 斐氏圖組成元素

元素	圖示	說明
穩態 (Place)		系統中某一特定狀態。
激態 (Transition)		系統中某一特定單純事件發生。
方向弧 (Arc)		表示系統狀態改變之方向或穩態與激態間之關聯性。
標誌 (Token)		表示系統中流通的物件可為實體物件或虛擬物件。

穩態表示系統的各种狀態，激態為穩態間互相轉移的樞紐節點，方向性弧線

則連接穩態與激態的關係，與激態相連接的穩態可分為輸入穩態(Input place)與輸出穩態(Output place)兩部份，如圖3所示。

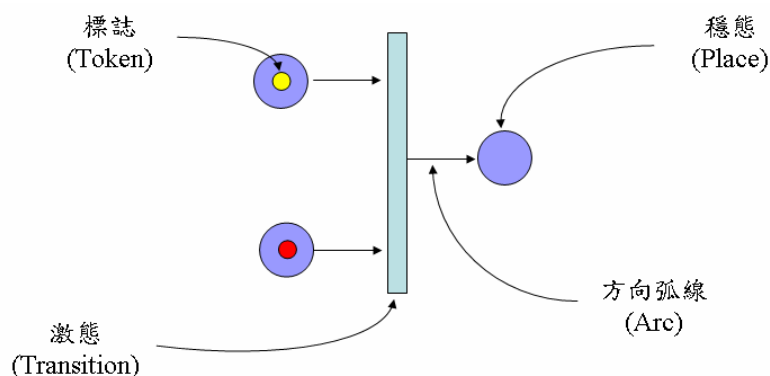


圖3. 斐氏圖基本模式圖

斐氏圖的執行規則：

- 致能(Enabling)—激態(Transition)的所有輸入穩態(Input Places)皆達到最低需求標誌(Token)數，則激態(Transition)致能。
- 激發(Firing)—激態(Transition)致能並激發後，激態(Transition)的所有輸入穩態(Input Places)消失所需的標誌(Token)數；並同時，對激態(Transition)的所有輸出穩態(Output Places)賦予標誌(Token)。

輸入穩態乃弧線方向為進入激態之穩態，如圖 4 之 P1 與 P2 為 t1 之輸入穩態；輸出穩態乃弧線方向為離開激態之穩態，如圖 4 之 P3 為 t1 之輸入穩態。探討系統當時之狀態則由穩態之標誌表示。每一穩態所含的標誌數集合，稱之為標誌狀態(Marking)，可描述此一系統目前所發生之全部狀態，並且藉著標誌狀態的改變來描述系統之動態行為。標誌狀態的改變是藉著激態之激發(Fire)，當某一激態之所有輸入穩態均有標誌存在時，此一激態為可激發的(Enable)，如圖 4 之 t1 其輸入穩態 P1 與 P2 其內均有標誌存在，則稱此 t1 為可激發的。

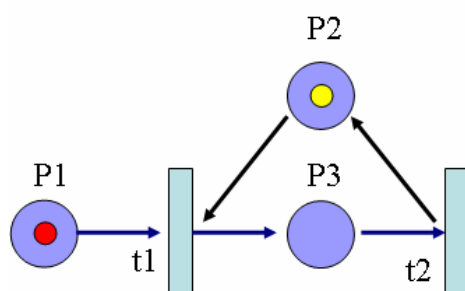


圖 4. 彩色斐氏圖之初始標誌狀態

激態激發後，它的輸出入穩態內的標誌將重新分配，形成新的標誌狀態，如圖 5 所示；當形成此標誌狀態，則 t2 的輸入穩態內有標誌存在，則 t2 成為可激發的激態，激發後的標誌狀態如圖 6 所示。裴氏圖即藉由激態一再地激發來描述系統之動態行為如圖 7 所示。

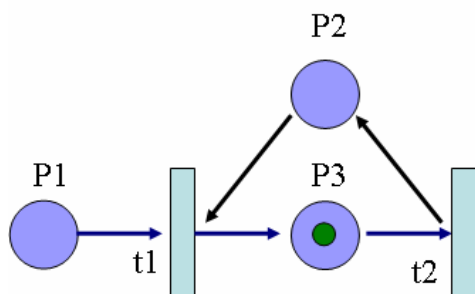


圖 5. 彩色裴氏圖之激態 t1 激發後標誌狀態

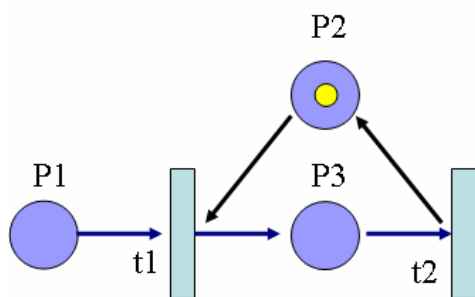


圖 6. 彩色裴氏圖之激態 t2 激發後標誌狀態

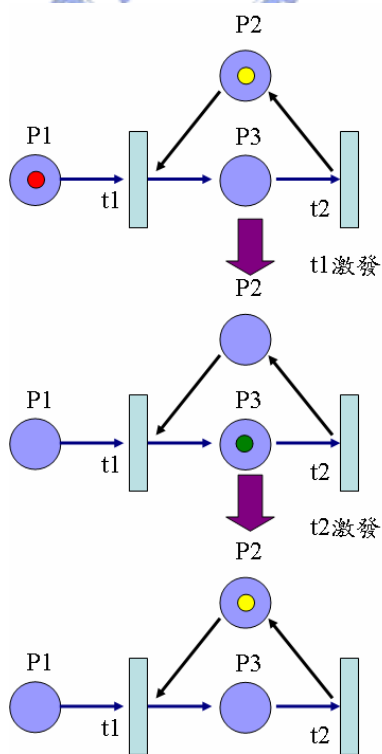


圖 7. 彩色裴氏圖動態行為

2.1.1 彩色裴氏圖的性質

彩色裴氏圖主要是因應專案中資源的多樣性問題而產生，可視為是對一般裴氏圖進行結構縮減而來。與典型裴氏圖不同的是，在穩態中的標記會以不同的色彩來區分不同的資源種類，其增加了顏色集合的觀念，顏色集合相當於資料型別，因此可以簡化及縮減傳統裴氏圖的分析模式。彩色裴氏圖的定義如下[Jensen, 1994][林怡仁，2005]：

$$CPN=(P, T, F, \Sigma, C, G, A)$$

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 為所有穩態有限集合，以圓形表示。
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ 為所有激態有限集合，以長條形表示。
- $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ 為方向弧的有限集合，表示流動的關係。
- Σ 為標誌或顏色型式的集合。為一型式之有限集合稱之為顏色集合(Color Set)，以決定網路中所使用之型式(Types)、操作(Operations)及函數(Functions)。
- $C : P \rightarrow \Sigma$ color function. 為顏色形式轉換到穩態(place)的集合，例如： $C(p_2) = (A_0, A_1)$ ，表示 p_2 的穩態(place)上，有 A_0 及 A_1 兩種顏色標誌形式。
- $G : \forall t \in T : T(G(t)) = B$ and $T(V(G(t))) \subseteq \Sigma$. 為監控各顏色形式在網路中移動的行為。
- $A : \forall f \in F : T(A(f)) = \text{bags over } C(p)$ and $T(V(A(f))) \subseteq \Sigma$. 定義方向弧位置上輸出或輸入的顏色。

從設計、建構與模式建構完的分析各個階段來說，運用裴氏圖於實際系統的模式建構，每一個階段都是十分重要的。以裴氏圖來進行分析，觀察所建構之模式是否符合實際系統的所需性質，如果不符合，則再對模式進行修正以達到系統所期望的性質。裴氏圖的性質包括[Zhou and Venkatesh, 1998][張光復&宮大川，1999]：

- 可達性(Reachability)：
在一個裴氏圖中，假設存在一激發序列(fired sequence)可將起始狀態 m_0 轉換至 m_n 的狀態，則稱為 m_n 具有可達性。 m_n 是可由標誌狀態 m_0 到達之狀態所形成之集合，以 $R(m_0)$ 來表示。
- 可歸零(Zero-reachable)：

若裴氏圖系統的任一狀態 m' 可達零狀態(系統中沒有人和標誌數存在)，則稱該系統為可歸零。

- 活性(Liveness)：

若對於系統任何狀態 m 均能找到一組激發序列，使得系統中任一激態 $t \in T$ 在該序列中被激發，則稱系統具有活性；若系統中有一狀態 m' 沒有任何激態能夠激發，此狀態 m' 為一個死鎖(Deadlock)標誌狀態(Dead marking)，則此系統發生死鎖且不具有活性。

- 安全性(Safeness)：

裴氏圖系統中任一穩態內所儲存的標誌數目小於或等於1，則稱該穩態是安全的。若裴氏圖中所有穩態皆為安全的，則可稱整個裴氏圖是安全的。

- 有界性(Boundedness)：

當裴氏圖系統中任一穩態內所儲存的標誌數目小於或等於 k ，則稱該穩態是 k -safe或 k -bounded。若裴氏圖中所有穩態皆為 k -safe，則我們稱整個裴氏圖是 k -safe。而我們分析裴氏圖時，通常只關心任一穩態的 k 值是否有限，對於 k 值大小則為其次，因為確立 k 值有限的同時，亦保證了該穩態的穩定性。

- 守恆性(Conservativeness)：

裴氏圖系統中所有穩態內的標誌數總和若為固定常數，則該裴氏圖具有守恆性。有時候為了避免系統中流動時會有複製或消失錯覺，我們會要求系統的守恆性。例如對一個非消耗性的封閉系統塑模時，具守恆性的裴氏圖系統將提供一個模式驗證的良好特性。

- 可逆性(Reversibility)：

裴氏圖中任一狀態 m 均能到達 m_0 ，則稱此裴氏圖符合反覆性。許多系統中需要從錯誤的狀態回復到正確的狀態，因此可逆性對製造系統的錯誤回復就相當重要。若裴氏圖具有鎖死現象發生，則裴氏圖不具有可逆性。

- 一貫性(Consistence)：

若裴氏圖存在一個初始狀態 m_0 及一個可以由 m' 回到 m_0 的激發序列 S ，且此激發序列 S 中對每個激態至少激發一次，則稱裴氏圖具有一貫性。

- 重覆性(Repetitiveness)：

若裴氏圖存在一個初始狀態 m_0 及一個激發序列 S ，且此激發序列 S 中對每個激態無限次數地激發，則稱裴氏圖具重覆性。

本研究採用彩色裴氏圖(Colored Petri Net, CPN)為知識、經驗分析、建構模型的工具，對同一時間有數個元件彼此間會有交互作用的同步系統，如彈性製造系統而言，它能夠清楚地表達其間的關係，其考量的因素如下：

- 以數學形式精確地表示邏輯關係

彈性製造系統其系統內部作用元件不僅同時執行，而且因為採用分散式電腦架構，邏輯關係十分複雜。裴氏圖的數學模式，可以系統化建模並轉換成計算機模擬程式，有效地處理即時排程相關統計數據，便於評估系統效能及改良的依據[劉睦雄、傅立成，1991][Chen *et al.*, 2006]。

- 裴氏圖族各自擁有不同的特點

每一成員除基本裴氏圖特性外各自擁有不同的特點。在考量系統各階層特性後，可選擇不同的裴氏圖族(Petri Net Family)成員，作最適當的運用。因為使用同一族的觀念，對系統整合有很大的幫助。

- 有自然的階層架構

從單元階層設計到機器運作有太多參數同時變動，不採用階層架構根本不可能在同一時間內對必要的參數作運算。因此適合建立彈性製造系統階層式模型，如無人搬運車系統(Automated Guided Vehicle System, AGVS)的模式[謝淑華，1991]。

- 圖形化的表示方法

藉由裴氏圖能清楚地描述系統內的事件和狀態，使系統的動態行為明白易懂。在對彈性製造系統的派工法則模型作分析時，有直接的助益。

而且彩色裴氏圖是傳統裴氏圖的延伸，屬於高階裴氏圖。在龐大複雜系統的模式中，時常包含許多相似但不完全相同的部分，這些部分在裴氏圖分析中均由多個裴氏圖來分開表示，因此所建構出的裴氏圖模式將變得很大且複雜。而使用彩色裴氏圖來塑模可將龐大的裴氏圖模式，透過顏色集合(color set)的定義來簡化其裴氏圖模式，並且可從簡化的彩色裴氏圖模式中，看出複雜系統之相同與不同的裴氏圖部分，更容易進行系統的分析與描述。而彩色裴氏圖更將系統內類似的動作或狀態集合在一起，只用一個穩態或激態符號來代表，再賦予不同屬性符號，以區別這些類似的動作，達到簡化圖形，又不致影響對系統的描述。這種屬性符號稱之為彩色符號(color)。每一穩態和激態均有自己的彩色集(color set)，每一個穩態狀態均由內含的所有彩色標誌(color tokens)表示，激態的激發由各輸入

穩態的彩色決定。以下為使用彩色裴氏圖的好處[林怡仁，2005]：

- 彩色裴氏圖是一個建模語言，在溝通、同步及資源分享系統裡擔任重要角色。彩色裴氏圖結合典型裴氏圖的延伸與高階程式語言於一體，裴氏圖提供系統交互行為的描述；程式語言提供資料種類的定義與資料值的運算處理。
- 彩色裴氏圖具有直覺、圖形化的呈現。一個複雜的彩色裴氏圖由許多子彩色裴氏圖模型組成，每一個子模型又由(Place)、激態(Transition)與方向弧(Arc)組成。各個子模型透過已經定義好的穩態進行溝通，圖形化的呈現使人容易了解複雜的彩色裴氏圖模型，例如：了解各個獨立模型間如何進行溝通。
- 彩色裴氏圖也具有數學論遵循的一些法則，這些法則讓我們可以定義彩色裴氏圖不同的行為屬性分析方法，彩色裴氏圖網路與其程式語言即使對一個不熟悉其理論定義的使用者都能很容易的了解。
- 彩色裴氏圖可以具有時間性，沒有時間性的彩色裴氏圖通常用於系統的功能及邏輯修正；具有時間性的彩色裴氏圖用於系統的績效評估，有許多模擬語言具有功能及邏輯修正或系統的績效評估。然而，很少有語言像彩色裴氏圖同時具備兩種分析功能。
- 彩色裴氏圖可以直接的模擬，直接模擬是由使用者控制。直接模擬與程式語言的單一步驟的除錯十分相似，因此，我們可以直接地看出各個獨立步驟的影響，也就是，使用者能探討不同的狀態及選擇能夠激發的激態。使用者在檢查驗證模擬模型時，能同時了解系統的運作，這與最終結果的重要性一樣重要。
- 自動模擬與程式的執行十分相似，其目的是為了讓彩色裴氏圖以快且有效率的方式進行，沒有人員的直接控制與檢查。然而，使用者仍然需要解釋模擬結果，為了這個目的它經常使用動態與圖形化呈現，提供整體運作與當時狀態與系統活動的監看。
- 彩色裴氏圖也提供許多驗證方法，如狀態空間分析(State Space Analysis)與不變性分析(Invariant Analysis)。用此方法可以分析出系統的某些行為屬性。然而，工業系統經常是非常複雜的，全系統分析相當困難且昂貴。所以，對於複雜的系統，彩色裴氏圖的分析方法一般當作輔助工具，而以模擬當成驗證方法。分析方法驗證經常被限制用於系統最重要的地方。
- 彩色裴氏圖與它的工具已經用於許多複雜且多樣的專案上，在丹麥的

University of Aarhus的彩色裴氏圖團體已經發展出兩個電腦軟體，支援彩色裴氏圖繪製。

2.2 決策支援系統

決策支援系統(Decision Support System, DSS)能擴大決策者知識，增加決策能力，協助決策者解決他們單獨可能需長時間或根本無法解決的複雜問題，有時問題可能並不能馬上解決，但決策支援系統可以激發決策者的思考角度與深度，在決策支援系統建構過程中，透過決策活動的分析，可能產生新的思考方向。

決策支援系統是針對特定的決策來制定工作，提供分析與計算的工具與模式，使決策者可以透過對話方式來利用資料庫與模式庫，提高決策的效能。它著眼於組織的更高階層，而且強調針對高階決策者複雜決策的需求提供支援。任何支援決策制定的系統都是決策支援系統，包括資訊存取、模式分析及工具支援。決策支援系統為互動式電腦系統，運用資料、模式分析、專家知識及其他資源，透過友善的人機互動，協助個人或團體決策者提昇半結構化決策的績效。而且決策支援系統是建構在公司既有資訊系統之上的加值系統，以增加資訊投資的附加價值，提高決策績效。關於決策支援系統的相關文獻繁多，茲將過去學者對決策支援系統的定義彙整如表 2 [吳俊逸，2007]：

表 2. 決策支援系統的定義[吳俊逸，2007]

學者	DSS 定義
Morton (1971)	於半結構與非結構的決策狀況中，支援管理決策的系統。
Alter (1977)	任何支援決策制定的系統都是決策支援系統。
Keen and Morton (1978)	於半結構性任務之決策過程中，運用電腦化系統支援管理階層以加強判斷力，提高決策制定的效能。
Moore and Chang (1980)	可擴張的系統、具有支援特殊性資料分析及建立決策模式的能力、前瞻性規劃導向、應用於不規則或尚未完成規劃區域。
Turban (1995)	支援非結構性管理議題的決策制定，提供友善親和的介

	面，幫助決策者擷取資料及洞察情勢，以改善其決策品質而開發的交談式彈性電腦系統。
Turban and Aronson (1998)	決策支援系統是一套互動式的、彈性的、調適的電腦資訊系統，其特別為了支援非結構化管理問題的解答而被發展以改善決策的制定，它使用資料、提供簡單的使用者介面以及能夠整合決策制定者的洞察力。
Sprague and Carlson (1982)	決策支援系統是以電腦為基礎，透過交談的方式，以協助決策者使用資料及模式，以解決非結構化問題。

決策支援系統的應用範疇，在複雜又需要計量分析的決策問題上，其重點在於決策分析與支援，所使用資料庫的資料量較小，主要是與特定決策有關的資料為主；而在決策能力方面，則整合作業研究及其他數學模式，以達到提供狀況分析及目標達成分析的目的，並將資訊量化，且輸出狀況分析等決策性資訊，其服務組織層級主要為中高階主管，常應用在生產排程系統，投資決策系統等。表 3 說明不同電腦化系統的比較[Sprague and Carlson, 1983][梁定澎，1991]。

決策支援系統粗略可分為電腦模擬模式(Computer Simulation Model)和專家系統(Expert System)兩方面：

- 電腦模擬模式：建立的目的，不在於要模擬出完全一樣的數據，也並非用來取代經營者的管理功能，而是提供各種條件下的可能趨勢，作為經營者的決策輔助工具。
- 專家系統：是一種決策者用來解決問題的電腦軟體，它是屬於人工智慧領域的分支。在功能上係為了特定的需求，而透過知識與推理過程，來解決以相當專業的人類知識才能解決的問題的智慧型程式。此外，專家系統是特別被建立作為一種決策支援輔助工具，並且最終給予使用者參考，它是一個強化知識庫的程式，而所要解決的問題通常是由人類的專家來做的，在特定領域上，必須透過知識與推論方法，才能解決特定領域的問題，適當的表現出智慧的行為。

表 3. 不同電腦化系統的比較[Sprague and Carlson, 1983][梁定澎, 1991]

比較的構面	交易處理系統(TPS)	管理資訊系統(MIS)	決策支援系統(DSS)	專家系統(ES)	高階主管資訊系統(EIS)
應用範疇	大量作業性日常交易資料的記錄處理	企業內各功能領域經常與異常狀況的報告	複雜又需要計量分析的決策問題	人類專家昂貴又稀少的特定重要領域	支援高階管理決策及整體環境的掌握
重點	資料儲存記錄	資訊監督與報告	決策分析與支援	知識歸納與推理	關鍵經營資訊的掌握
資料庫	大量初級交易性資料，資料收集	資料量大，包括初級及次級分析彙總資料	資料量較小，與特定決策有關的資料為主	知識庫(事實、法則)含程序性與事實性的知識	外部(即時)與公司內部的關鍵經營資訊
決策能力	沒有決策能力或僅有簡單的資料存取能力	使用傳統的查詢工具作結構化的資料查詢與報告產生，及簡單分析	整合作業研究(OR)及其他數學模式作分析，提供狀況分析及目標達成分析的能力	用經驗法則對判斷性問題加以推理，並提出最佳建議	用彙總性資訊、下挖、線上分析，及多構面分析協助決策
資訊性質	量化	量化	量化	質化	量化與質化
輸出資訊	作業性報告	定期及例外管理報告	狀況分析的決策性資訊	解決問題的建議與解釋	狀況報告、例外報告、績效指標監督

決策支援系統架構可分資料管理、模型管理、知識管理、用戶介面等四部份：

- 資料管理系統：決策支援系統的資料庫通常包括在資料倉儲中。資料倉儲的資料可以從內部和外部資料源中獲得。內部資料來自於組織的交易

處理系統。外部資料包括行業資料、市場調查資料、人口普查資料、國家經濟資料等。

- 模型管理系統：包含統計、運籌和其他定量模型的套裝軟體，能夠提供系統的分析能力和合適的軟體管理能力。
- 知識管理系統：對於許多非結構化和半結構化的複雜問題，除了需要通常的決策支援系統能力外，還需要特別的專業知識，這些知識可以由專家系統或者其他智慧型系統提供。
- 用戶介面系統：用戶與決策支援系統應用之間的交流。例如互動式介面、報表列印。為了實現組織內的資訊共用，還應包括企業內網路與國際網路(Intranet/Internet)的發佈方式。
- 決策者：用戶可看作系統的一部分。決策支援系統的用戶主要是企業各層次的管理者和商業分析人員甚至是銷售員。

2.2.1 決策支援系統與專家系統的關係

運用專家概念的決策支援系統又稱為專家型支援系統(Expert Support System, ESS)或是管理型專家系統(Expert System for Management, ESM) [曾憲雄等，2002]。其最大目標為應付複雜多變的外在環境。系統內包含各種專業知識及管理決策工具所組合而成。除了傳統的模式庫、資料庫外，也包含了領域知識的知識庫。此種基本架構，即模式庫、資料庫與知識庫，所形成的專家型支援系統，配合統計模型、模擬技術及數學模型等管理工具，就能發揮幕僚的功能，提供較好的決策支援能力[李俊民，1999]。

2.2.2 知識的表示

知識表示的形式及方法是建構專家系統非常重要的環節之一。不同的知識表示法(Knowledge Representation)，會影響到後續知識推論方法的應用，而問題領域的特性及不同知識應用方式，則會影響到要用什麼樣的知識表示法來描述及建構整體知識庫(Knowledge Base)。

知識呈現(Knowledge Representation)可回溯至Feigenbaum所提出的專家系統觀念[Feigenbaum, 1977] [Feigenbaum, 1979]，他認為系統效能是來自於專家對知識呈現的精確程度，因此，推論的成效，依賴於不同的呈現方式。為使推論能具

有邏輯推理的能力，必須建立知識之間的關係，因此也有不同的知識呈現方式。依據Minsky的研究[Minsky, 1975] [Minsky, 1995]，常用的知識呈現方法，有本體論(Ontology)、邏輯式(Logical)、語意網路(Semantic Nets)、規則式(Rule base)及框架式(Frame base)等。本研究係運用規則式推論，故針對規則式知識(Rule-based Knowledge)作一詳細說明：

規則式知識，其基本假設知識都是由一條條的規則所組成的。通常用於淺層的知識表達，並以IF-THEN的通式表達。在規則表示中，將「狀態」視為事情判斷時的「前提」(Antecedent)或「假設」(Hypothesis)，依據前提，進行知識推論，最後取得「結果」(Consequent)。一般說來，規則的「前提」也稱為規則左端(Left-hand Side, LHS)，而結果稱為規則右端(Right-hand Side, RHS)。當然，規則並非獨立存在的，對於特定領域的知識而言，用來表示其知識的規則集合彼此之間可能會有些關聯。例如，IF 前提(Antecedent) THEN 結論(Consequent)、IF 狀態(Situation) THEN 動作(Action)。

- 優點：容易擴充及修改資料庫。
- 缺點：不易表達較複雜或完整的知識。



2.2.3 知識的擷取

透過系統自動與專家互動而截取知識，其目的是將專業領域的知識轉換成知識庫或是其他電腦化的表達形式。而藉由有經驗的知識工程師對專家進行晤談，此方法較耗費時間，因為知識工程師通常並不通曉領域智識(Domain Knowledge)，同樣地，專家很可能對電腦科學並不具任何概念，所以需要一段時間了解彼此之間的想法。但是建立知識庫是建立專家系統重要的一環，知識庫的格式內容必須包含專家系統建構工具所必備的推理過程，即專家系統運作的交談方式與解釋推理能力，以提供使用者足夠的訊息與清晰的觀念，讓使用者得以充分瞭解專家系統的功能及運作情形。因此知識庫的架構與組成關係，需耗費較長時間來仔細構思，方能有實用的專家系統。

而知識庫的知識來源主要源自學者專家及相關文獻、專利與研究技術報告...等，是由領域知識、經驗法則、決策策略、基本科學理論、常識與特徵所組成。知識擷取與整理需要設計適當的表格予以記錄，做為知識庫建立的依據，其格式主要應包含：

- What：問題描述、標的特徵與狀況。
- How：量測方法、分析流程與步驟與解決方法。
- Why：原因查證、釐清因果關係。

因此將各領域專家的知識、經驗及推理判斷匯入電腦，以構成保有專業技術的知識庫。例如：轉動機械異常診斷專家系統知識庫建立[呂銘宏，周永樂，1990]。

知識擷取方式可大致分為下列兩種：

- 機器學習(Machine Learning): 直接從專家提供的訓練範例(Training cases)中歸納出推論規則。此方法在有充分的訓練範例時能有效率的建構知識庫；然而領域中只有少量或甚至缺乏範例，則機器學習法並不適用。
- 知識擷取系統：專家在接受短時間(通常15-30分鐘)的說明後，即可透過知識擷取系統對專家進行晤談，不需要知識工程師從旁協助(圖8)。

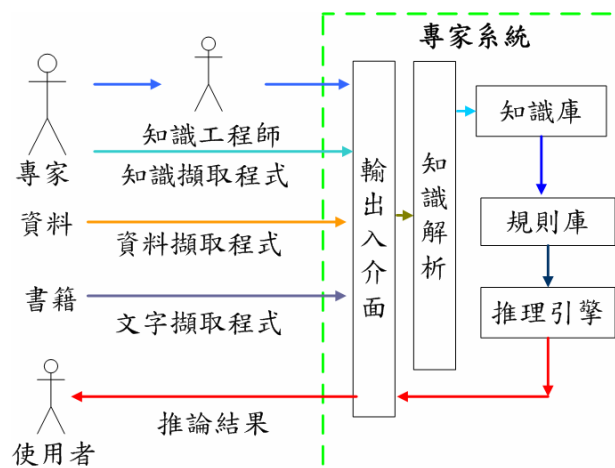


圖 8. 專家系統獲得知識之模式

2.2.4 專家系統的建構

專家系統，其建構的工具及步驟[Frederick, 1992] (圖 9)：首先要確認欲解決的問題是那些問題，根據這些特定問題的需求找出相關的知識並將其概念化，並將這些概念加以組織整理成一個有系統的知識結構，接下來就必須訂定一些涵蓋上述知識的規則，這其中包含了推論技術與演算法的選擇、轉譯、推演等程序。而在發展的過程中，需求、概念、組織結構與規則都是常常變動的，因此必須不斷地重新組織，並加以精鍊化。最困難的部分就在於知識工程的層面，包括知識取得(Knowledge Acquisition)及知識表示(Knowledge Representation)。而將專家知

識有系統地轉化成可以電腦化、有結構的知識的過程。而協助這項轉換的步驟則稱為「知識工程程序」，包含確認、概念化、成型化、實施、測試與修訂，以下將針對上述步驟一一說明：

- 確認階段(Identification Stage)：選擇知識工程師及專家，並且分別定義系統解決問題之類別，包含系統所運作之資料，以及滿足標準的解答；並能提供給這個計畫的資源，包含專門知識、人力、時間限制、計算能力及經費。
- 概念化階段(Conceptualization Stage)：讓知識工程師和專家充分溝通，找出各種關鍵觀念及它們之間的關係並建立共識。這項工作應包含不同類別的資料，資訊的流動及專門領域的結構，將它們以因果關係、時空關係、或是部分--整體關係等來表示。
- 成型化階段(Formalization Stage)：把上一個階段定義完成的核心概念、問題及相關知識以正式的方式表達出來(如：法則)，並建立知識的模式，以方便瞭解及在電腦上執行。重要項目包含資訊的確定性及完整性，對於資料的邏輯解釋之其它限制，諸如時間相依性及不同資料來源可靠性及一致性。
- 實施階段(Implementation Stage)：將上一個階段中所定義出來的正式知識，以軟體工具來建置成為雛形系統。而在轉變一種知識成為一種可執行程式的過程中，最需關心的是控制的詳細計畫，以及資訊流動的細節。在某一個控制規定下，各種規則將必須被表示成某些可執行的形式，而有關資料結構及程式中各模組間依賴程度則須訂下決策。
- 測試階段(Testing Stage)：主要是評估雛形系統中知識的正確性，以及系統表現方式是否可以正確地提供有用的資訊。藉以發現規則的疏漏、不完全或完全錯誤。
- 修訂階段(Revision to Complete the System)：針對測試所發現的問題，加以修正並測試，直到結果可以接受為止。

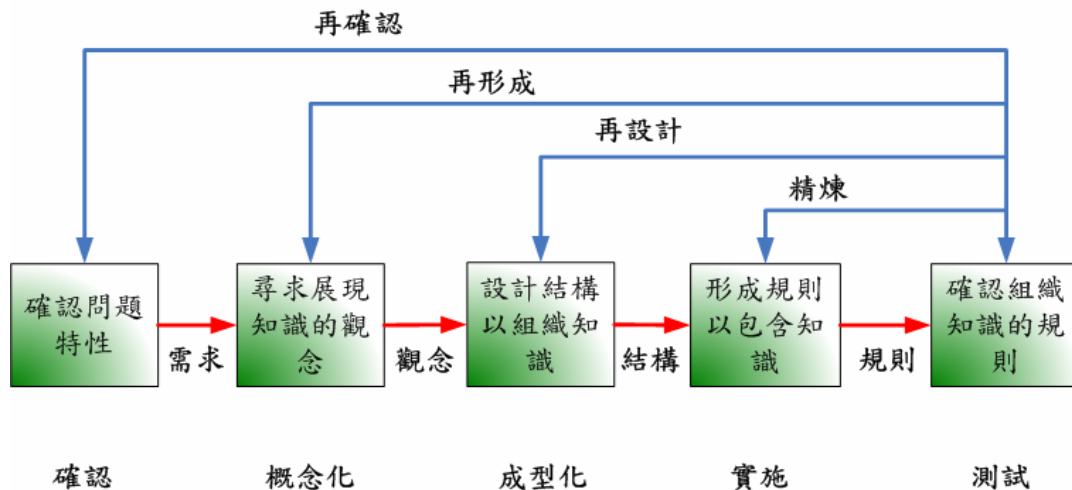


圖 9. 專家系統建構過程[Frederick, 1992]

而一般構建專家系統的語言，多以 LISP (LISt Processor) 語言為主，美國航空太空總署(NASA)有鑒於 LISP 語言無法在一般機器上執行，且於其他語言的整合性又差，乃以 C 語言另外發展一套專家系統規則庫的構件工具，即 CLIPS (C Language Integrated Production System)，而其核心為 C.L.Forgy 在 1970 年代中期發展的快速模式相配法則(Fast Pattern Matching Algorithm)-Rete Algorithm，也就是其推論引擎，如 CLIPS 原始碼解析技術[周政璋、林光甫，1991]，此也是本研究所使用 IDSS 的 JESS 推論引擎所用的演算法。

實際上，已有不少專家系統已建構並應用於實際生產管理上，應用一些分析方法，如分析層級程序法(Analytical Hierarchical Process, AHP)與規則式(Rule-based)知識庫來建立的物流專家系統[梁高榮，1990]或結合訊號特徵與知識庫的轉動機械異常診斷專家系統[周永樂，1990]。

2.3 彈性製造系統

彈性製造系統 (Flexible Manufacturing System, FMS)，就是利用電腦來安排機器設備自動加工，自動更換模具、夾具、刀具、加工物件及加工程式...等工作。其最大的特色在於產品種類、加工器具及生產型態改變時，只需要變更電腦軟體程式的設定參數，而無須更換機械設備或生產線佈置。因此彈性製造系統能適應產品市場的快速變化，從事少量多樣的生產方式，以滿足市場的不同需求。一個完整的彈性製造系統主要是由以下的元件所組成[Groover, 2001][Song *et al.*, 2006][Maleki, 2000]：

- 工作站或加工中心
- 物料處理系統
- 自動檢驗設備
- 無線射頻辨識系統
- 工件暫存區
- 托板與夾治具。
- 人力資源
- FMS 階層電腦網路與控制

而一個電腦整合製造 (Computer Integrated Manufacturing, CIM) 工廠之基本階層區分如圖 10 所示。

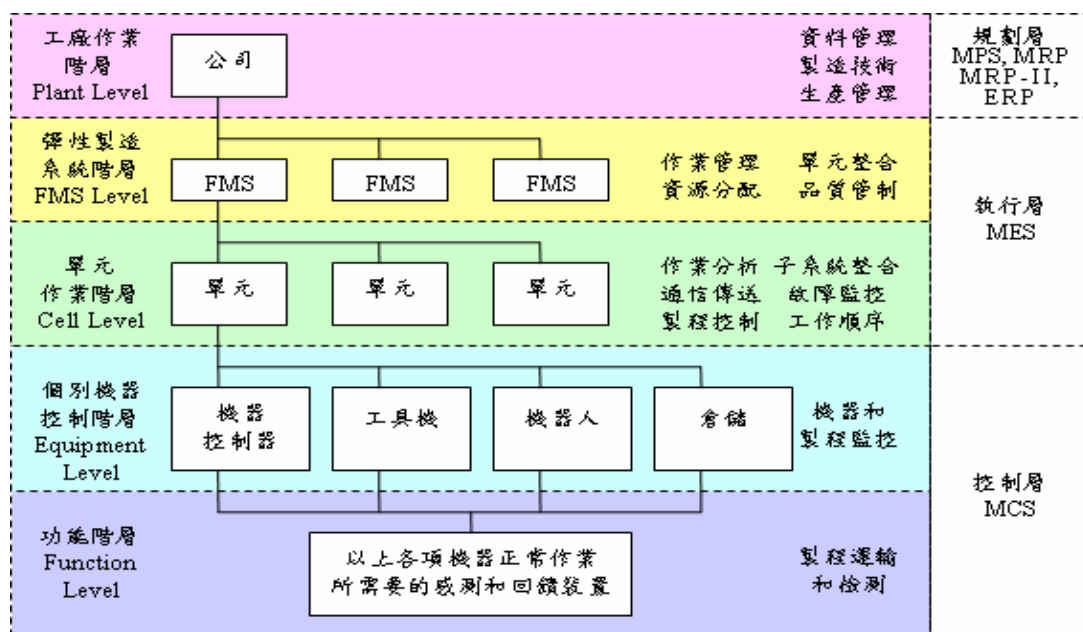


圖 10. CIM 工廠不同階層的系統結構[Maleki, 2000]

彈性製造系統是一個結合複雜的資料處理、自動化物料流動以及整合式物料流動與物料儲存系統的生產系統。將彈性製造系統的各项技術輔以管理資訊系統成功地應用於工業生產上，可大幅降低生產成本，提高生產力，有人稱之為低成本自動化製造系統，亦有人稱為彈性製造系統，並被喻為未來無人化生產工廠的發展必要趨勢。關於彈性製造系統的相關文獻繁多，茲將過去學者對彈性製造系統的定義彙整如表 4。

表 4. 彈性製造系統的定義

學者	FMS 定義
Ranky (1983)	為高階資料處理並使用電腦控制機器、組裝單元、工業用機器人、裝配機器以及其他自動化物件流的工具，來整合物件的加工以及儲存系統。
Ranky (1986)	整合了倉儲系統、機器加工機組、自動組裝系統、自動測試及包裝等領域，並靈活地運用資源及全面品管檢測，已逐漸取代了許多的製造方式。
張育仁 (1992)	彈性製造系統具有非常複雜的行為，結合複雜的資料處理、自動化物料流動以及整合式物料流動與物料儲存系統的生產系統。
Maccarthy and Liu (1993)	彈性製造系統是一個有能力生產不同零件之生產系統，包含一些由自動化搬運系統相連的 CNC (Computer Numerical Control)與 NC (Numerical Control)機器工具，整個系統的作業皆受到電腦的控制。
Buzacott (1995)	提出常用於改善生產率及品質的建議即為工廠自動化。
Rau <i>et al.</i> , (1996)	除採用彈性製造系統為生產方式外，並生產標準化零件，最後再組裝成顧客所要的產品。
Spathopoulos and Ridder (1999)	要做到設計與製造平行作業，則機器之間必須有良好的協調能力。
Wong <i>et al.</i> ,(1999)	利用高彈性製造系統來加強作業及組織，以應付未來以顧客導向的市場所不可避免之高頻率產品修改現象。
Kim <i>et al.</i> , (2001)	在製造生產前，彈性製造系統必須對工件的分類與選

	擇(Part type selection)，加工群組(Machine grouping)及裝載方式>Loading problem)作決定，之後再對製造程序作規劃。
--	---

由於彈性製造系統組成元件之不同，可以達到或多或少的彈性程度，然而儘管有這麼多不同程度的彈性，但是它們都具有以下的共通點[Graham and Rosenthal, 1986]：

- 整合性(Integration)：系統元件根據一套系統整合規則，彼此共依共存，使其能在協調的環境當中共同工作。
- 智慧性(Intelligence)：能解析輸入的資料，並且製造出使用者預期的產品。
- 立即性(Immediacy)：系統能快速地針對變動有所反應。

FMS 可分為以下四類[McCarthy and Liu, 1993]：

- 單一彈性機器(Single Flexible Machine, SFM)：一個由電腦控制的生產單元，包含了一個單一的 CNC 或 NC 機器，具備工具轉換能力、物料搬運裝置與零件儲存緩衝區。
- 彈性製造單元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)：一群 SFM 共享一個共用的物料搬運裝置，利用群組技術(Group Technology, GT)將相似的零件在相關的加工設備上，集中完成製造；亦即這些相關的加工設備和相似的零件，配合操作員與管理作業，就形成「製造單元」[黃漢邦, 1991]。
- 多機器彈性製造系統(Multi-Machine Flexible Manufacturing System, MMFMS)：包含許多由物料搬運系統連結的 SFM，其中物料搬運系統包括兩個或多個物料搬運裝置，可以同時服務 2 個或 2 個以上的機器。
- 多單元彈性製造系統(Multi-Cell Flexible Manufacturing System, MCFMS)：包括許多的 FMC，也可能包括許多的 SFM，這些機器全部都由一個自動化物料搬運系統連結。

彈性製造系統排程，其目的在使總完工時間、物質的處理時間和總流程時間最小化，並使在製品極小化和系統的利用率最大化。對於彈性製造系統而言，排程是一相當複雜的問題，有關彈性製造系統排程方面的研究領域中，已有許多方

法被探討，茲將過去學者對彈性製造系統排程的研究彙整如表 5。

表 5. 彈性製造系統排程

學者	FMS 排程
Maimon and Gershwin (1988)	針對在 FMS 之中，機器偶而故障情況下做及時排程與物料流程規劃。在機器偶而故障或維修的情況下，可以計算新的及時排程與物料流程。主要是透過動態規劃法(Dynamic Programming Method)與回饋控制來找出最佳的成本。但此法卻不適用於機器的臨時故障。
Montazeri and Van Wassenhove (1990)	利用 FMS 的各種派工法則來比較平均機器利用率、平均暫存區利用率與完成時間(Make Span)。
Kwasi <i>et al.</i> , (1992)	模擬具自動化的工具處理系統之模擬五台機台的 FMS，在三種排程法則之下(多數的工具數量、少數的工具數量、和最早的到期日)，比較四種工具的指派和 FMS 的排程程序，使用平均流程時間、平均延遲時間、和工作延遲的百分比和機器的利用率，來比較這些方法。
Kim, M. H. and Kim, Y. D. (1994)	發展出一種排程機制，以用於 job 的動態變化派遣法則上，此一及時控制系統可定期監控現場情況並檢核系統的效能。
Atmani (1995)	調查最佳的選擇和操作的指派使得加工時間和設置成本極小化。
Chen and Chung (1996)	FMS 的規劃問題必須搭配排程方案的重要性。設計一個模式來估計每一批工作的總製程，使每一批的總流程和工具的更換時間之間能極小化。
Kashyap and Khator (1996)	研究工具的共用性，和工具運送利用率對製程的影響。

Rau and Chetty (1996)	發展動態規劃演算法來解決 FMS 的生產計畫問題。就是選擇零件的種類、估計產品率、指派棧板、工作到機器上加工。此法是用來將機器之不平衡的工作量減至最低，並成功的應用於中小型 FMS 之上。
Langevin <i>et al.</i> , (1996)	以最佳動態規劃法，同時規劃任務運送派遣與車輛的路徑與排程。此法利用局部運輸計畫的 state-space，來解決途程派遣問題。同時也提供了非常有效的最小完成時間(Minimum Make Span) or lateness。
Roh and Kim (1997)	考慮零件指派、零件裝載和工具運動策略之下的工具裝載問題。他們建議三個啟發式方法，從所獲得的零件列，將總延遲時間最小化。
Peng and Chen (1998)	利用標準鐘點模擬來評估短期排程的績效，再利用序列式最佳化觀念來快速選出最有意義的排程策略。
Gamila <i>et al.</i> , (2003)	強調彈性製造系統的負載、路徑和排程方面的議題。提出零件裝載、工具裝載和零件排程的問題，假設工具和機器可以生產不同的零件。

有關探討彈性製造系統領域方面的研究探討，依據方法之不同將其加以歸類為六類[Basnet and Mize, 1994]，：

- 數學規劃模式 (Mathematical Programming)
數學模式可視為最佳化問題，使用作業研究工具求解。但有學者認為以此類方法求解沒有效率[Lin and Lee, 1995]。
- 多重目標決策 (Multi-Decision)
在衡量最小總延遲的排程方面，利用裴氏圖和啟發式搜尋法以多重目標作為考量下解決多目標的排程問題[Yim and Lee,1996]。但多目標決策則需相當長之計算時間。
- 啟發式的方法 (Heuristics)
以裴氏圖狀態方程式為基礎，提出一啟發式經驗搜尋方法來解決排程問

題[Jeng and Chen, 1995]。典型的衡量排程績效指標包含最小總完工時間(Minimal Make Span)、最小總延遲(Minimal Tardiness or Minimal Lateness)或最小流程時間(Flow Time)等。而且啟發式演算法較簡單並經常運用在排程問題上[Sarin and Lefoka, 1993]。也可以裴氏圖的狀態方程式為基礎來發展出一啟發式的搜尋方式以獲得最小總製程時間值為目標[Laftit and Proth, 1990]。但是利用啟發式排程法，有以下的缺點，一為做決策時並沒有考慮當時會影響排程結果的生產現場相關資訊。另一缺點則是單一法則無法適用於各種環境，且無法掌握排程的績效品質。

- 控制理論 (Control Theoretic)

派工法則(Dispatching Rule)，如 FIFO (First In First Out)、LIFO (Last In First Out)、SPT (Shortest Process Time)等，用以判定在工作中心之製令等候區(Queue)，那一製令之製程應先被執行。而適用於工作中心為主的排程，可彈性適用於即時的控制環境，但此規則不能保證為最佳解 [林我聰，1984][白明憲，1984][林宏澤，1989][秦劍雲，1989][資策會，1994]。

- 模擬方式 (Simulation Based)

模擬為經常使用的解決問題之工具，基本上是用來評估不同法則之比較。可採取較簡單且單一的指派規則[Jeong and Kim, 1998]，例如最早到達的先操作(First Come First Served, FCFS)、最短操作製程時間(Shortest Operation Processing Time, SOPT)、最早到期日(Earliest Due Date, EDD)等，以模擬的方式來處理彈性製造系統即時(Real-Time)排程問題；又將模擬分為靜態(Static)--不包括未來未知的干擾，如緊急插單和動態(Dynamic)--包括不確定的未來干擾，如緊急插單等等來討論，其重要指標為平均流程時間和平均延遲時間。不過，一般的績效衡量都只著重在其中一個績效指標，因此往往可能導致其他衡量績效指標受到影響。

- 人工智慧 (Artificial Intelligence)

以衡量最小總完工時間(Make Span)的排程方法中，根據裴氏圖架構彈性製造系統模組，討論階層式製造現場控制架構，此架構的特點為各階層有規劃、排程、執行三種功能，其中排程功能結合裴氏圖可達樹的特

性和傳統 AI (Artificial Intelligence)的啟發式搜尋法則搜尋方式尋一可行解(最小總製程時間) [Lee and DiCesare, 1994]。

除了以上六類之外，有些研究則採取混合的方式，例如:利用分支界限演算法(Branch and Bound Method)來獲得一個可行路徑進而得到最優排程，首先建構裴氏圖 MODEL，再以延伸可達圖從最初標誌到最後標誌來得到激發路徑的順序 [Zhou *et al.*, 1995]。

而本研究所使用的彈性製造系統(FMS)[陳凱瀛，1997][Chen *et al.*, 2006][張文琦，2006]測試平台包括一套自動存取系統(Automated Storage / Retrieval System, AS/RS)、一台軌道式搬運車(Rail Guided Vehicles, RGV)、多個電腦數值控制(Computer Numerical Control, CNC)加工機、機械手臂(Robot)及一主控電腦(Central Controller)，共同組成一完整的生產製造系統。針對各種的製造程序來說，生產系統的彈性和可靠度是主要的關鍵因素。而有了彈性製造系統的幫助，製造者能夠比以前更快調整生產製程以更符合市場需求，提高整體的生產力。並藉由電腦輔助，結合複雜、多樣的加工機器、軌道自動搬運車、輸送設備、機械手臂及自動倉儲系統等重要設備技術，使各種不同製程、生產條件下的加工件可以共同生產製造，以達到少量多樣、彈性快速生產的目標。

第三章 分析方法

本研究希望一般使用者或學者專家能依循某些簡單的程序或步驟來清楚地描述、表達自己的知識、經驗與想法，因而提出一完整的知識分析方法與程序，以決策樹、決策表、IPO 模型與彩色斐氏圖等工具，來界定問題、分析、建置、模擬及驗證推論規則的設計，如圖 11 所示。整個分析步驟如下：

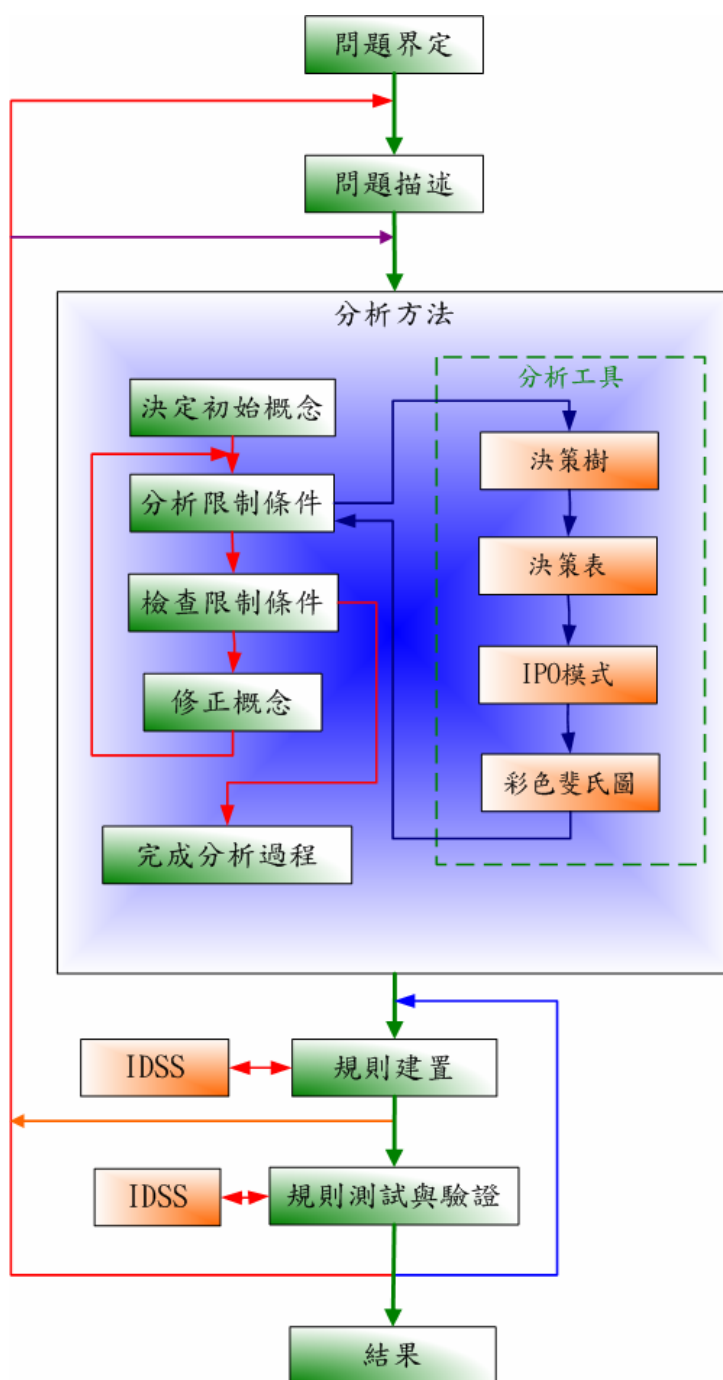


圖 11. 分析設計程序圖

3.1 問題界定

首先界定問題，由於傳統式的程式皆以循序式的方式來撰寫程式碼，由前面的程式逐行逐行往下執行，並以迴圈、槽狀式結構來控制程式執行的順序，所以程式撰寫者可以很輕易地控制程式執行方式如圖 12 所示。但因此也衍生出另一問題，即其他人需花一番功夫才能了解原設計者的想法及設計理念，對於後續程式的維護造成很大的困難。

```
'如果 Value 為 0，從「號碼少的」開始派工；如果 Value 為 1，從「號碼多的」開始派工
If Value = 1 Then
  'RGV的 storage 派工
  For m = iNoOfPal To 1 Step -1 '從「號碼多的」開始遞減派工
    If Buf(m).ynUsed = YES And Buf(m).ynLs = HaPal And Buf(m).iPalNo > 0 Then
      If Pal(Buf(m).iPalNo).ynMovCmd = YES Then '暫存站是否有托板與此托板是否有
        If Pal(Buf(m).iPalNo).iCurOpSeq < Pal(Buf(m).iPalNo).iNoOfOp Then '此托板現在OP數<此托板總OP
          For k = 1 To iNoOfPrc '製程種類數 = 9
            If Pal(Buf(m).iPalNo).iPrcNo = Prc(k).iPrcNo Then
              For n = 1 To 4
                Select Case Prc(k).iProcess(Pal(Buf(m).iPalNo).iCurOpSeq + 1, n)
                  Case "ST1"
                    If Buf(t1ST(1).iIOQBuf).ynLs = NoPal Then
                      Pal(Buf(m).iPalNo).iNewBuf = t1ST(1).iIOQBuf
                      Call GetNewCmd(i, m)
                      Exit Sub
                    End If
                  Case "CNC1"
                    If Buf(t2CNC(1).iMQBuf).ynLs = NoPal Then
                      Pal(Buf(m).iPalNo).iNewBuf = t2CNC(1).iMQBuf
                      Call GetNewCmd(i, m)
                      Exit Sub
                    End If
                  Case "CNC2"
                    If Buf(t2CNC(2).iMQBuf).ynLs = NoPal Then
                      Pal(Buf(m).iPalNo).iNewBuf = t2CNC(2).iMQBuf
                      Call GetNewCmd(i, m)
                      Exit Sub
                End Select
              End For
            End If
          End For
        End If
      End If
    End For
  End If
End If
```

圖 12. 傳統程式撰寫方式示意圖

有鑑於此，本研究希望發展出一套分析知識、轉換規則的方法與程序，並藉由一知識規則編輯工具(IDSS)，如圖 13 所示，能讓使用者透過此工具使用結合自然語言語法「IF...Then」概念與圖示拖曳方式的圖形化人機介面來建構、編輯知識規則，並經由內建推論引擎推論出結果。但是將循序式結構的程式撰寫方式轉換成非循序式知識規則的圖形化編輯的轉譯設計人機介面，則知識規則編輯前的知識分析、擷取方法與程序將是一大考驗。傳統程式撰寫方式主要以迴圈、槽狀結構的方式來撰寫程式，修改程式有一定難度及需耗費時間來瞭解程式；至於以 IDSS 知識規則編輯器來編輯規則，只要圖形化人機介面轉譯設計功能完善，在編輯知識規則的難度及時間上均佔有優勢。

所以，本研究將先鎖定一特定目標，例如：彈性製造系統的派工法則，做為解析知識規則的分析方法與程序的標的，以縮小範圍，便於投注全部心力來詳細分析，解構原有的設計，重新建構新的結構方式。

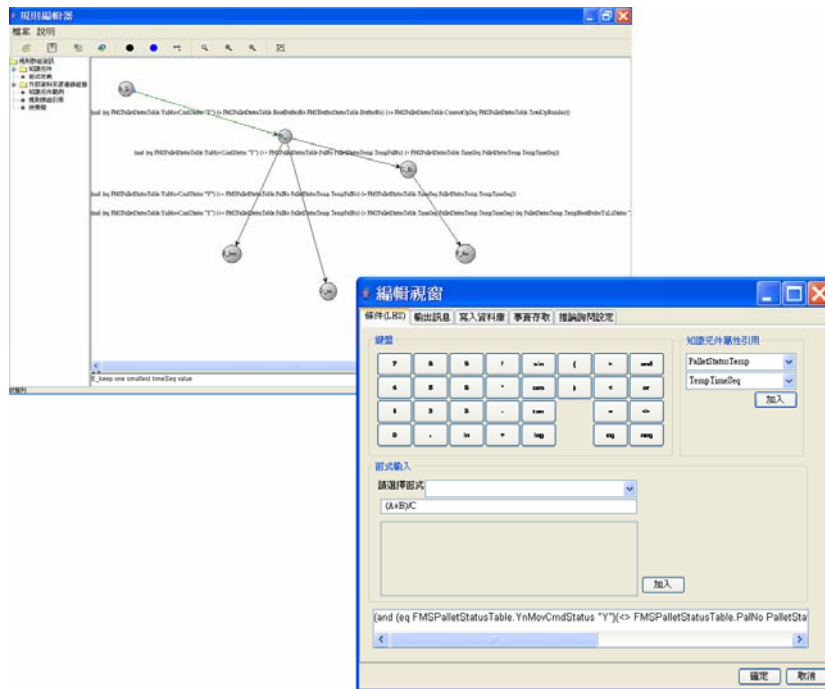


圖 13. IDSS 知識規則編輯器示意圖

3.2 問題描述

針對鎖定的標的，首要的是釐清標的整個的流程、輸出輸入參數、相關條件、因果關係、決策法則及影響層面...等等。例如：彈性製造系統的派工法則，藉由解讀原有程式設計理念或經由需求分析來完整描述問題。此步驟可經由原設計者的系統分析、設計的文件或原始程式碼來完成呈現整個問題。或者經由使用者需求分析、應用目的，重新釐清整個問題的限制及因果關係。

3.3 問題分析

針對問題，以一些輔助方法與工具來釐清並產出相關設計文件及解決方案。並以彈性製造系統的派工問題為例，逐一蒐集並分析生產線上各托板、加工暫存區的狀態，畫出相關決策樹、決策表、流程圖、實體關聯模式圖(E-R model)及資料庫設計，以更一進步描述問題，釐清相關關鍵因素及參數值。

首先，列出所有相關因素，並以決策樹(圖14)方式來建構各個因素彼此間的因果關係及決策判斷條件，並考量每一決策點的考量因素、決策法則及慣例。

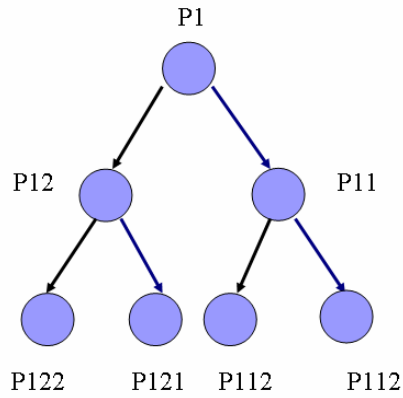


圖 14. 基本決策樹圖

其次透過決策表(表6)來釐清各個參數彼此間的關係和影響。例如：原因一和原因二兩者之間就有四種關係存在，根據要解決的問題，哪些關係是符合需求或必須考慮的因素；而哪些關係是不可能發生或無意義。在此方法中可以鉅細靡遺表現出來，作為決策判斷的參考依據。

表6. 基本決策表

原因一	原因二	結果	涵義
True	True	True	
True	False	False	
False	True	False	
False	False	False	

再者，應用IPO模型(圖15)，找出每個因素的輸入、輸出條件及處理程序，並釐清各個參數的來源、處理程序及產出，以澄清每個因素的作用和影響層面。

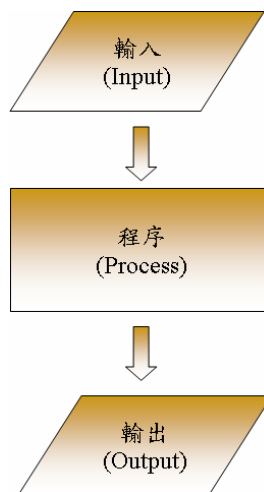


圖 15. IPO 模式基本架構圖

最後運用彩色裴氏圖(圖16)作為問題解決的建模模式的設計及模擬工具，利用彩色裴氏圖具有的圖形化介面與程式語言之特性，其以物件圖形方式來呈現，包含穩態(Place)、激態(Transition)、方向弧線(Arc)及標誌(Token)等圖形化物件，且由於物件標誌擁有可攜帶資料的特性，所以可由設計者賦予某些資料參數值，再輔以程式語言做資料的運算與邏輯判斷。

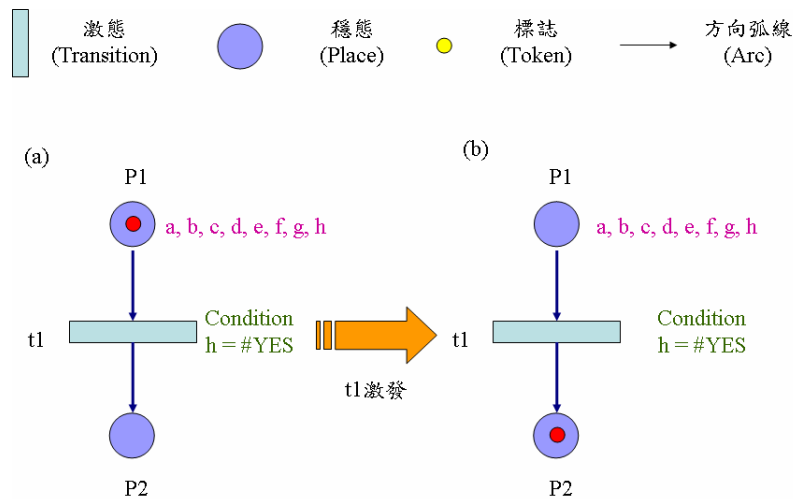


圖 16. 彩色裴氏圖激發範例

例如以彩色裴氏圖建構派工模式而言，標誌通常代表工作暫存站、托板及交握狀態，為分辨標誌所代表的是什麼，會賦予標誌一些資料值，來辨識它及它的相關資訊，如圖 16 (a)，此標誌代表著一個加工托板的相關資訊，分別為 a (托板編號)、 b (工件料號)、 c (所需製程)、 d (已加工製程數)、 e (製程選擇位數)、 f (現在所在位置)、 g (派工新位置)、 h (是否要搬運)等訊息，圖 16 (a)若要激發，P1 的標誌資料值會對應到(a, b, c, d, e, f, g, h)變數內，之後若(a, b, c, d, e, f, g, h)之 h 值滿足 t1 的限制條件(Condition) $h = \#YES$ 判斷式，激發成為圖 14 (b)的狀態。

3.4 規則建置

經過分析過程反覆檢查、修正相關條件後，即可根據分析結果所產出的相關參數及限制條件，透過智慧型決策支援系統的圖形化知識規則編輯器來編輯相關知識規則。每個因素輸入條件、輸出結果即為規則的「限制條件」(IF)與規則的「動作」(Then)，至於處理程序則可能由一條或一條以上的規則所組成。

而知識規則的格式為「如果(IF) xx 條件 成立 則(Then) 執行 yy 動作」。

- xx 條件：可以為數值、文字與日期的比對，算式的四則運算、大小比較。至於 xx 則可以透過建立知識元件的屬性來設定其值。
- yy 動作：則是新增、修改或刪除 xx 的屬性值，或者將 xx、圖片顯示在終端機螢幕上、儲存進資料庫、透過 mail server 發送信件、驅動另一應用程式，以及顯示互動對話視窗供使用者決策之用。

首先逐步建立知識類別，藉以識別不同的應用領域或解決手段。將相關參數予以分類並建成知識元件。若需要運用到相關數學算式、物理公式、定理則建立函式資料。至於參數值的資料來源或推論結果的參數值的資料目的地若需從外部資料庫取得或轉出，則需建立資料庫連線組態，以與外界交換訊息及存取資料。當完成這些設定後，則進入知識規則編輯介面(圖 17)開始建構規則。一開始先拖曳一節點(圖 18)，並在此節點編輯介面中命名此節點名稱，並引用此節點所需的知識元件、知識元件屬性，以作為規則起始條件(IF)所需的參數；依此類推，然後再拖曳並設定第二個節點。

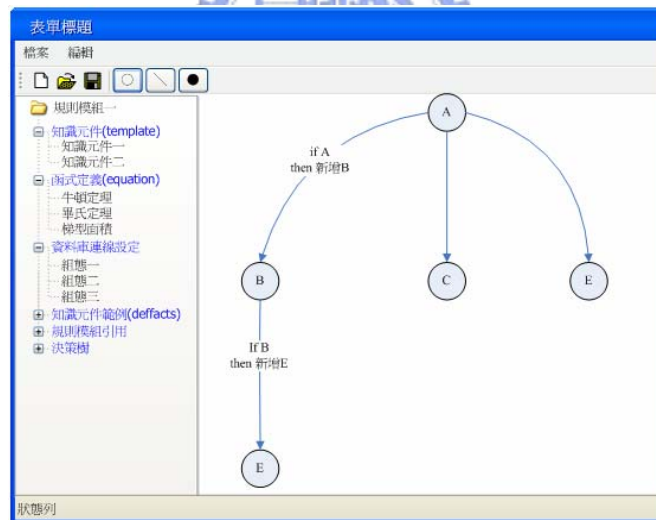


圖 17. 知識規則編輯介面

圖 17 畫面左方為已引用的知識元件、函式、資料庫連線、知識元件範例、規則模組及決策樹資訊顯示區；圖 17 畫面右方為知識規則決策樹的編輯區；圖 17 畫面上方的工具列則是決策樹的圖示按鈕及功能鍵。圖 18 為節點內容編輯畫面，可做引用知識元件、參數值的編輯、輸出訊息、及寫入資料庫...等設定功能。圖 18 左方畫面為此節點知識元件引用設定編輯畫面；圖 18 畫面右方為下一節點屬性設定編輯畫面。

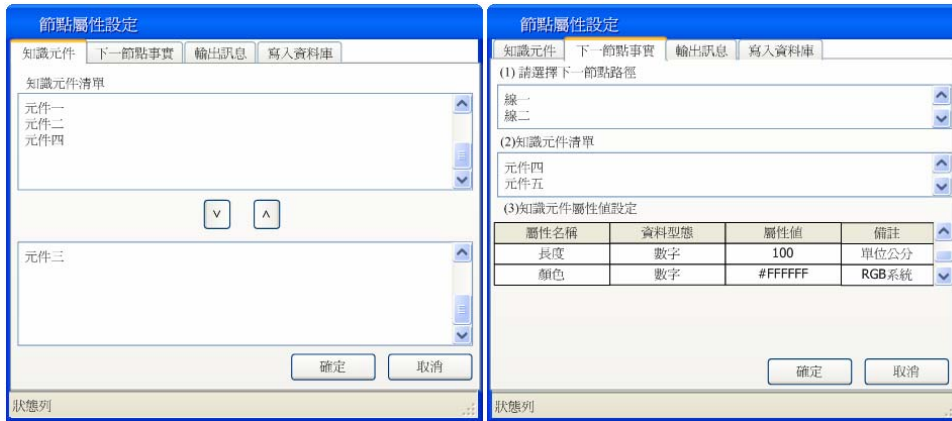


圖 18. 知識規則節點編輯介面

其次，在兩節點之間，拖曳一直線連結，表示此兩節點的關係，點選此直線即可開始編輯知識規則。在知識規則 LHS 編輯介面(圖 19)設定規則的「限制條件」(IF)，又稱為 LHS (Left Hand Side, LHS)，例如：IF $A_1 > 10$ ， A_1 即為之前引用的知識元件的參數， $A_1 > 10$ 即為「限制條件」。「限制條件」可以做參數值的四則運算、大小比對、文字比對... 等等。



圖 19. 知識規則 LHS 編輯介面

圖 19 左上方畫面為「限制條件」比對設定編輯畫面；圖 19 畫面左下方為參數設定編輯畫面；圖 19 右方畫面則是函式引用設定編輯畫面。當 LHS 設定完成之後，然後開始在知識規則 RHS 編輯介面(圖 20)設定規則的「動作」(Then)，又稱為 RHS (Right Hand Side, RHS)。

例如：Then $C_1 = 10$ ， C_1 即為之前引用的知識元件的參數， $C_1 = 10$ 即為「動作」，意為將 C_1 的值設為 10。「動作」可以做參數值的增修及刪除、顯示在網頁、存

入外部資料庫...等等。圖 20 左上方畫面為寫入資料庫設定編輯畫面；圖 20 畫面右上方為輸出顯示訊息編輯畫面；圖 20 下方畫面則是資料庫欄位資料與知識元件屬性對照設定編輯畫面。

最後當所有規則建置完成後，則可在推論驗證模組中進行模擬推論測試，以檢驗知識規則的推論邏輯正確性，而逐步調整修正知識規則。



圖 20. 知識規則 RHS 編輯介面

3.5 規則測試與驗證

智慧型決策支援系統提供知識規則推論模擬驗證模組，如圖 21 所示，讓使用者可即時透過網頁瀏覽器進行模擬推論以測試驗證知識規則的正確性。

除了提供推論結果讓使用者確認推論結果正確與否外，並提供「偵錯資訊」，讓使用者按圖索驥來檢查規則的合理性與正確性。圖 21 畫面上方顯示即為推論的結果；圖 21 畫面下方「反白文字」為偵錯資訊顯示訊息畫面，將推論過程中的所有資訊顯示出來，以供使用者偵錯之用。



圖 21. 知識規則推論驗證執行畫面



第四章 實作與驗證

本研究的實作與驗證係針對彈性製造系統的派工法則逐步以決策樹、決策表、IPO 模型及彩色斐氏圖的概念，作為知識分析、擷取與建模模擬的工具，釐清相關參數的因果關係與限制條件，並運用 PACE 軟體[PACE, 2003]建構 CPN 模式予以模擬，來驗證整個分析過程中所用方法與程序的正確性。確認整個分析方法與程序及分析結果無誤後，再將分析得到的結果運用智慧型決策支援系統的「圖形化知識規則編輯器」來建構知識規則(亦即派工法則加上一些外在影響的因素)，並在「推論驗證模組」上進行模擬推論驗證，以檢視推論的結果正確與否，以便調整知識規則。

其次，應用智慧型決策支援系統的「外部資料存取模組」與彈性製造系統整合。以彈性製造系統為載具，從 PLC、RFID 讀取訊號資料，寫入資料庫並驅動智慧型決策支援系統推論，然後將推論結果寫回資料庫並驅動 FMS 命令實體軌道式自動搬運車(Rail Guide Vehicle, RGV)運動，實際移動托板至新的工作暫存區。並驗證外部資料存取模組的匯出資料功能[Kuo *et al.*, 2006]。

最後，應用統一化模型語言(Unified Modeling Language, UML)[Albir, 1999]、實體關聯模式圖(E-R model)，作為系統分析、設計工具，運用 Java servlet、JSP、Java web start 及 JESS 的 API 等工具來設計開發「決策支援元件封裝嵌入機制」。將透過知識規則編輯器所建構的知識、規則所組成的決策支援模型封裝成決策支援元件並嵌入 FMS 系統，來測試驗證整個分析方法與程序、知識規則編輯器、決策元件封裝嵌入機制及外部資料存取模組的整合測試。

至於彈性製造系統透過可程式邏輯控制器(PLC)實際控制 FMS 線上感測器(Sensor)及軌道式搬運車(RGV)這部份，還是需熟悉 PLC 程式的工程師撰寫相關程式，只是將感測器(Sensor)接收到的訊號及指示軌道式搬運車(RGV)移動的訊號透過資料表或參數與智慧型決策支援系統整合，從而達到以規則式推論同樣達到派工的效果。

4.1 概念架構

傳統上彈性製造系統的派工法則，一般來說，皆是經過系統分析、設計後，由資訊工程師撰寫相關程式直接驅動 RGV 來移動生產線上的托板。此次做為實

機測試驗證載具的 FMS 派工的決策概念，如圖 22 所示，會逐一檢查生產線的工作暫存區(Buffer)、托板(Pallet)的狀態及是否發出需要搬運的訊息，然後根據派工法則(FIFO、SPT 或 EDD)來決定哪一暫存區上的托板移動至哪一暫存區。

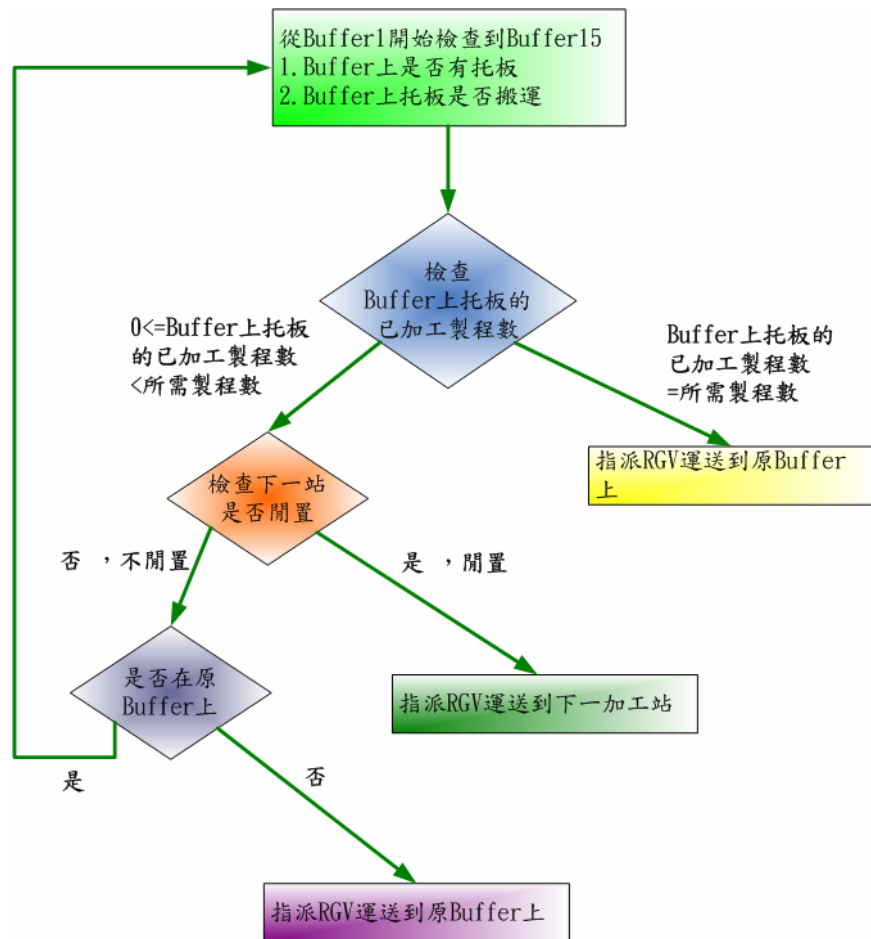


圖 22. FMS 派工的決策概念

而本研究主要的概念則是運用決策樹、決策表、IPO 模型及彩色斐氏圖等工具來分析派工法則與生產線上實際狀態，然後再藉由智慧型決策支援系統的「知識規則編輯器」，其友善的圖形化人機介面的協助而讓使用者能簡單地以圖示拖曳方式形成樹狀圖及結合「IF...Then」簡易語法概念的編輯畫面來編輯相關知識規則來取代傳統上直接撰寫程式碼的派工法則程式。

至於與彈性製造系統間的資訊交換則可藉由外部資料存取模組設定串接中介資料庫，形成彈性製造系統的派工功能是由智慧型決策支援系統來運作。經實際上線運行測試後，驗證整合方式可行。最後，再透過知識決策元件封裝嵌入機

制將所建知識規則予以封裝成知識決策元件以便嵌入彈性製造系統中。並結合自己撰寫定時掃描功能的程式來整合智慧型決策支援系統和彈性製造系統，以便在製造環境下來支援工作派工的決策推論。

此測試驗證平台由四台電腦數值控制加工機(CNC)、兩台機械手臂(Robot)、一檢驗站、一自動存取系統(AS/RS)、一運輸用軌道式自動搬運車(RGV)和工件裝卸裝置>Loading/Unloading)[陳凱瀛，1997]所構成。此彈性製造系統測試平台是用來說明、測試及驗證此假設解決方案的分析方法與程序、知識規則編輯、驗證及整個測試平台建置架構過程的可行性。整個彈性製造系統與智慧型決策支援系統的整合規劃如圖 23 所示。

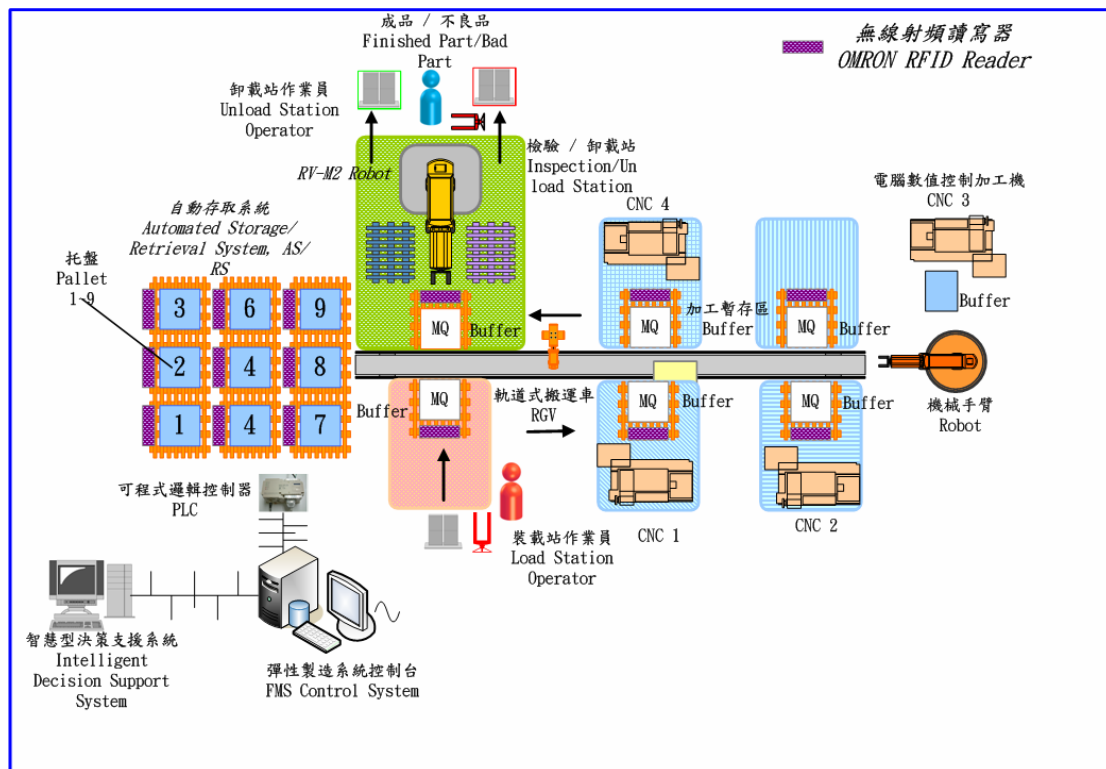


圖 23. 彈性製造系統與智慧型決策支援系統的規劃示意圖

4.2 派工問題界定

首先針對派工問題，作一釐清與界定，關於彈性製造系統的派工法則，大致有下列幾種：

- SPT (Shortest Processing Time)：作業時間最短的工作先加工。
- WSPT (Weighted Shortest Processing Time)：對不同的工作給定加權值，

最短加權作業時間的工作先加工。

- FIFO (First In First Out)或 FCFS (First Come First Serve)：以最先到達的工作先加工。
- EDD (Earliest Due Day)：以最早交期日的工作先加工。
- SRPT (Shortest Remaining Processing Time)：以剩餘作業時間最短的工作先加工。
- LRPT (Longest Remaining Processing Time)：以剩餘作業時間最長的工作先加工。
- FORP (Fewest Operations Remaining of each Part)：以剩餘作業數最少的工作先加工。
- LORP (Largest Operations Remaining of each Part)：以剩餘作業數最多的工作先加工。

各種方法各有其獨到之處，本研究將先就 FIFO、SPT 及 EDD 三種派工法則為主要對象，這些派工法則其共通點皆是在同一時點時，找出某一個托板其時間的值為最小值的作業先加工。如此一來則限定派工法則的範圍，有利於測試驗證實作，日後再逐步擴充至其他派工法則。

4.3 派工問題描述

彈性製造系統的派工法則，傳統上是先分析生產線上各托板(Pallet)、加工暫存區(Buffer)的狀態(Status)，畫出相關流程圖(Flow chart)、實體關聯模式圖(E-R model)及設計資料庫，然後直接以程式語言撰寫成派工模組。此模組的程式碼一般為槽狀及迴圈結構，亦即外層條件符合後，再進入內層執行，逐層反覆執行，直到所有條件執行後，找出派工的結果。因此條件便有先後順序之分，一旦外界環境有所更動，則整個模組需重新設計並重寫程式，異常耗工費時。

因此，若是有一知識規則編輯工具，提供一結合自然語言語法(IF...Then)概念的簡易介面，將相關托板、加工暫存區狀態及派工法則以 IF...Then 語法方式的編輯介面來建構規則，讓推論引擎推論出派工結果，而一旦外界環境改變，只要透過人機介面修改規則即可，不必勞師動眾地改寫原始程式碼，便可解決前述產生的問題。但是，因為推論規則不像一般程式，是沒有先後順序，所以整個想

法及思考邏輯需要重新整理，從頭開始分析其相關參數與限制條件，編輯知識規則，再整合 JESS 推論引擎與資料庫，藉由推論來進行實際派工。

FMS 的派工模組可以根據收集到的現場資源(包括設備、暫存站、人員、物料與訂單)的狀態，即時產生相關的加工或物料搬運之指令，並交由相關設備來完成該動作，以達成設備資源之最佳使用效能。所以除了托板(Pallet)目前位置、其上工件的製程、已完成製程數、最早要求服務的時間(以 FIFO 為例)，以及工作暫存區(Buffer)的狀態等資訊之外，因整合 IDSS 及 FMS 兩者的緣故，交握的狀態也是必須要考慮的重要因素。而 IDSS 產生之資料(From-to)將是工件從目前所在位置及將去的下一位置(也就是 RGV 移動托板的起始地與目的地)。兩者整合所需訊息交換之生產資訊如下(表 7)：

表 7. 系統間訊息交換之生產資訊

項目	交握	加工暫存站狀態(Buffer Status)	托板狀態(Pallet Status)
	交握訊號	暫存站編號 托板編號 暫存站是否被佔用	托板編號 現在暫存站編號 下一暫存站編號 現在加工作業順序 全部作業數量 是否搬運 時間順序 派工法則 (FIFO, SPT, EDD)

彈性製造系統測試平台的實作驗證運作說明如下：

步驟 1：自動存取系統總共有 9 個托板，待加工的加工件放置於每一托板(Pallet)上。

步驟 2：彈性製造系統控制器會定時、定期偵測掃描每一加工站暫存區(Buffer)及托板的狀態，並根據托板上加工件的資料、生產製程(Process)及現在所在加工站暫存區與下一加工站暫存區的資料及交握信號資料...等寫入中介資料庫中的整合資料表。

步驟 3：智慧型決策支援系統會定時從中介資料庫中的整合資料表讀取特定的交

握信號、加工件的製程資料和生產線線上各加工站暫存區、托板及機台的即時狀態之後，IDSS 的規則庫推論引擎則立即開始推論並推論得出派工的結果，然後將此推論得來的派工結果存入中介資料庫中的整合資料表中。

步驟 4：隨後彈性製造系統控制器一從中介資料庫整合資料表中讀到推論結果，立即驅動軌道式自動搬運車(RGV)根據派工結果(推論結果)將特定待搬運的托板從現在所在的加工暫存區移動至下一加工暫存區。假如下一加工暫存區已被其他托板佔用，則軌道式自動搬運車將根據托板的編號將此托板搬回自動存取倉儲系統中相同編號的暫存區，等待被佔用的加工暫存區空出來。

步驟 5：當托板被移動至加工暫存區後，托板上的加工件將由機械手臂夾取進入電腦數值控制加工機或它種加工機中進行加工；而加工件加工完成後，則由機械手臂從加工機台中夾取至加工暫存區的托板上，並發出「加工完成，等待搬運」訊號，等待軌道式自動搬運車將其搬至此加工件下一製程所在的加工暫存區。

最後步驟，當托板上的加工件完成所有的製程後，此加工件將在檢驗/卸載站由機械手臂夾取以進行檢驗並卸載離開生產線，而托板則搬回自動存取系統中裝載新的加工件。

重複步驟 1~6 的動作，根據加工件的種類、製程及生產條件持續不斷的生產。其中在每個加工作業站(例如：CNC 1~ CNC 4，裝/卸站)皆有一或以上加工暫存區來等候加工作業的等候區，等待機械手臂夾取以便加工。完整的智慧型決策支援系統(IDSS)與彈性製造系統(FMS)的整合概念構想顯示在(圖 24)。而且透過可程式邏輯控制器(PLC)或無線射頻辨識讀寫器(RFID)來收集生產線上的資訊。

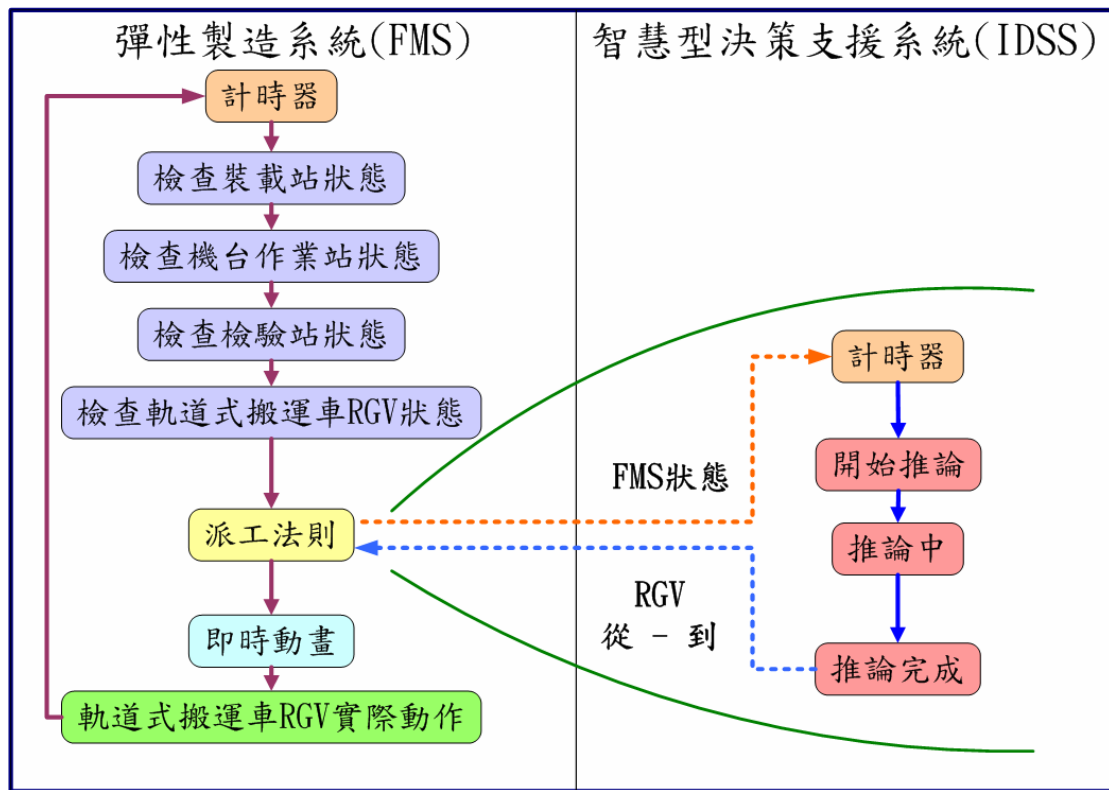


圖 24. 彈性製造系統與智慧型決策支援系統的整合構想

4.4 派工問題分析

當派工問題界定及描述清楚後，就進入分析階段，以釐清相關影響派工問題因素的關係，例如生產線上托板、機台、RGV...等的即時狀態，整個分析法與程序，如圖 25 所示。

首先，決定初始概念，初始概念即為將彈性製造系統原有的派工功能擬以「智慧型決策支援系統」的推論功能來替代，同樣地達到派工的效果。亦即利用 IDSS 工具所提供的知識規則編輯器介面，使用者只要具有清晰的邏輯概念並以結合「IF...Then」語法概念的圖形化人機介面來建構知識規則，即可藉由知識規則的推理而將派工結果推論出來，即使當外界環境改變而影響到一些參數時，只要修改知識規則即可，而不用翻天覆地地重新撰寫或改寫原有程式碼。而此概念最大的優點在於另闢一條途徑提供不懂程式的使用者也能將自己的想法、知識建構成知識規則，而不需處處仰賴或侷限於資訊工程師，才能調整或修改系統。

一旦概念確定後，即開始來分析相關限制條件，將藉由運用決策樹、決策表、IPO 模式及彩色斐氏圖來協助分析相關參數的關係，以便作為派工規則建置的基礎資訊。這些方法除將巨細靡遺地分析工廠生產線上的生產與物流資訊，並針對

整合智慧型決策支援系統與彈性製造系統兩者間聯繫、溝通及傳輸相關資訊的中介資料庫資料表和資訊予以分類、分析和設計。

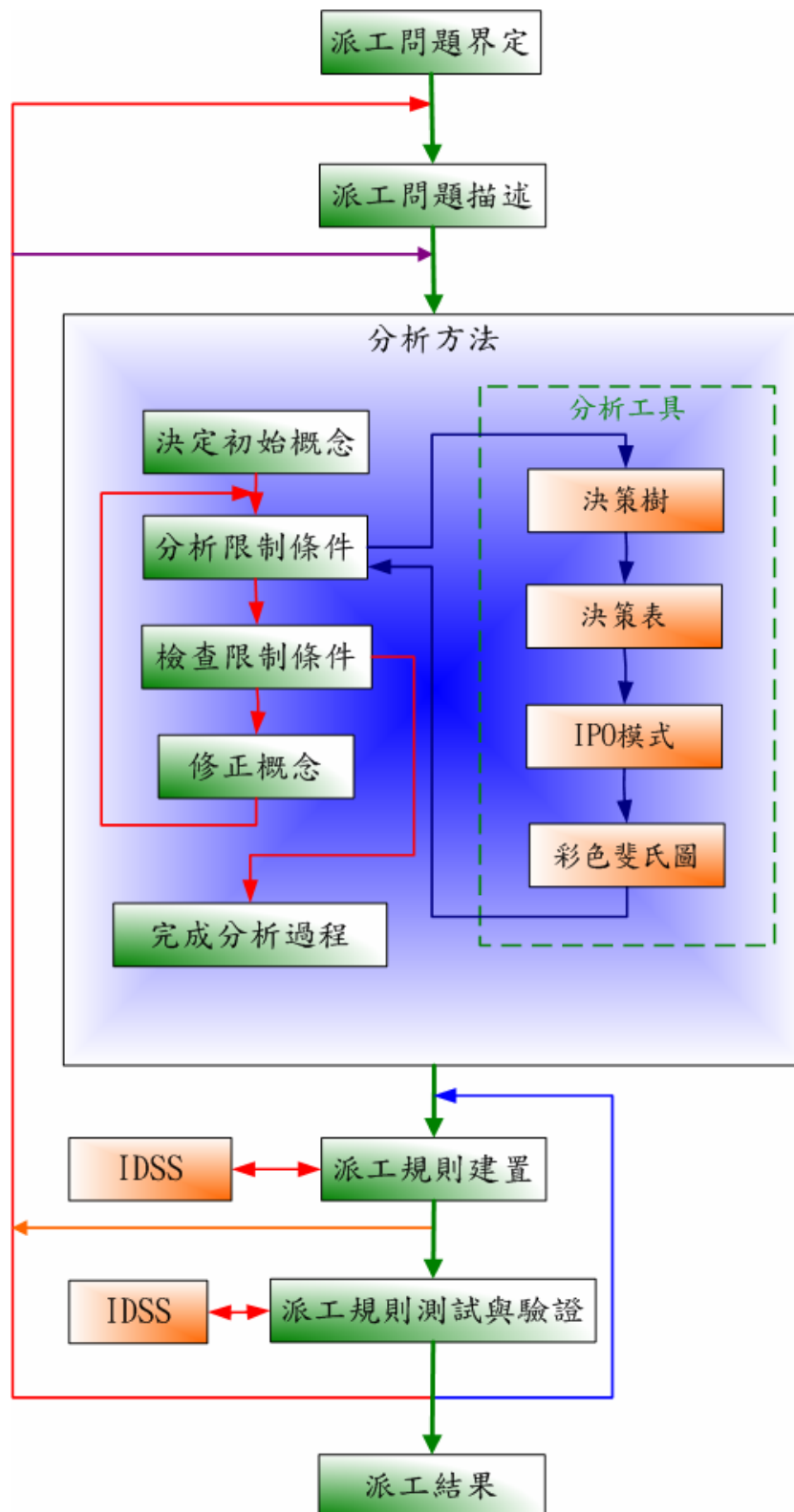


圖 25. FMS 派工規則分析設計程序圖

然後逐一檢查分析得來的限制條件，直到條理分明並模擬測試完成為止，若無問題則完成分析過程，否則就重新修正、調整初始概念，重複整個分析過程，此一分析過程會一再循環，直到合乎需求期望的分析結果出現為止。所以，根據界定和描述派工問題來列出所有相關因素，以決策樹分析(圖 26)來釐清各參數彼此間的因果關係及條件。

透過決策樹分析，可以逐一檢查相關參數與條件並且可以很清楚明瞭其因果關係及變化，例如：暫存站(Buffer)的狀態、托板(Pallet)的狀態及下一暫存站(Next Buffer)的狀態，若已有托板(Pallet)佔用，則是停留現有暫存站(Current Buffer)或者先暫時搬回 Home(AS/RS)。

而實際編輯知識規則過程中，決策樹分析圖也隨之不斷修正，最終實際建置知識規則之決策樹分析圖，如圖 27 所示。是以排除法的觀點來重繪決策樹分析圖，即將同樣的托板狀態資料複製一份，再兩兩比較其時間值的大小，將較大的那一個值排除，留下較小的那一個值再繼續比對，直到找出最小值為止。

而其主要的決策法則為：

- 當指定的托板已完成所有工序，則此托板則移回 AS/RS 中與托板同一編號的位置上。
- 當指定的托板還未完成所有工序，但下一加工暫存區(Buffer)已被佔用，則此托板則移回 AS/RS 中與托板同一編號的位置上。
- 當指定的托板還未完成所有工序，但下一加工暫存區(Buffer)已被佔用，且此托板已在 AS/RS 中，則此托板將不再動作。
- 經比較每個托板請求搬運的時間，有一個以上托板時，則系統以隨機方式擇一進行搬運。
- 彈性製造系統與智慧型決策支援系統間以「0」：FMS Ready、「1」：執行推論、「2」：Inferring (推論中)、「3」： FMS Read (推論完成)作為溝通協調。

關於 IDSS 與 FMS 兩系統間交握溝通詳細說明如下：

- 當智慧型決策支援系統讀到交握訊號為「1」時，則開始推論並同時將交握訊號覆寫成「2」。
- 推論完成，將結果寫入 Inference Result Table，並同時將交握訊號覆寫成「3」。

- 彈性製造系統讀到交握訊號為「0」時，則開始掃描(Scan)現場資訊並寫入 FMS Buffer Status Table 及 FMS Pallet Status Table，同時將交握訊號覆寫成「1」。
- 彈性製造系統讀到交握訊號為「3」時，則開始讀取 Inference Result Table，並實際移動 RGV 動作，動作完成後，同時將交握訊號覆寫成「0」。

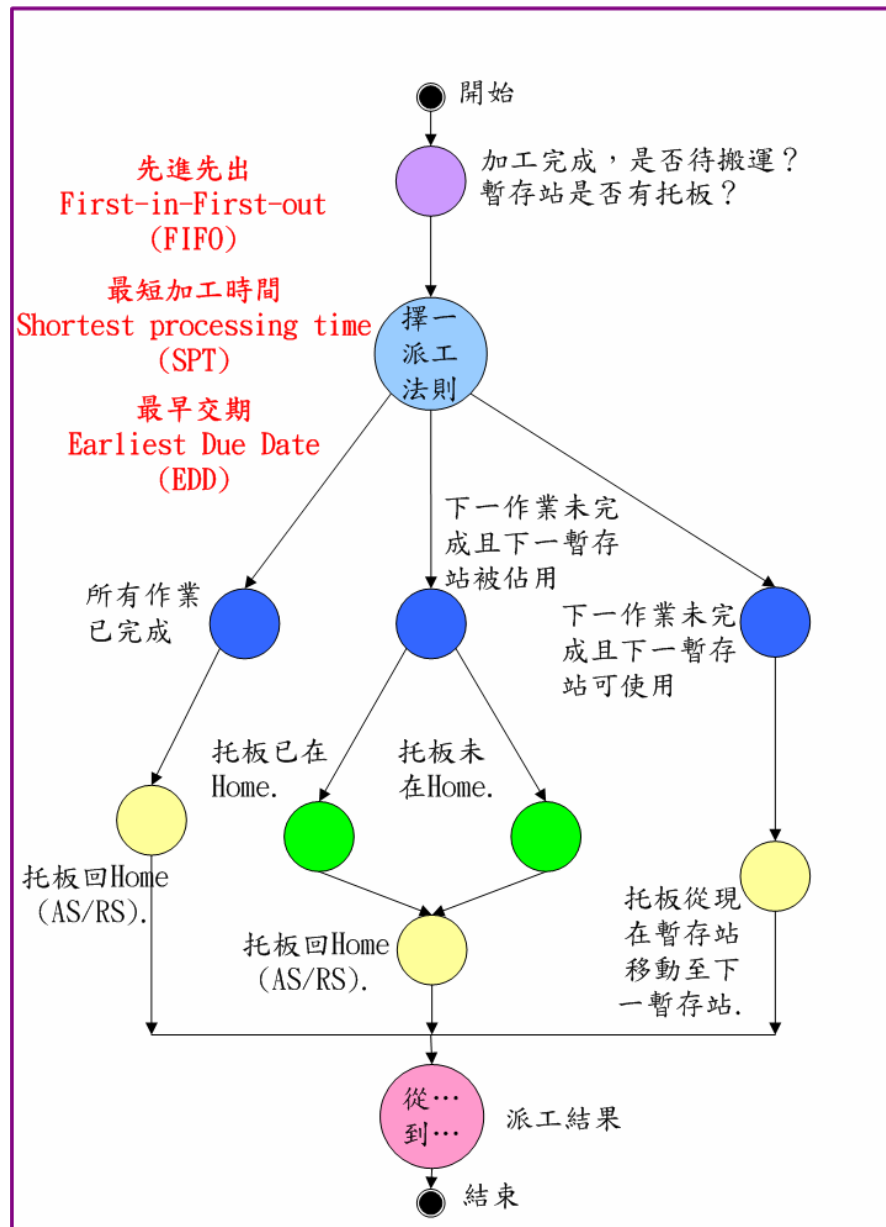


圖 26. FMS 派工規則之決策樹分析圖

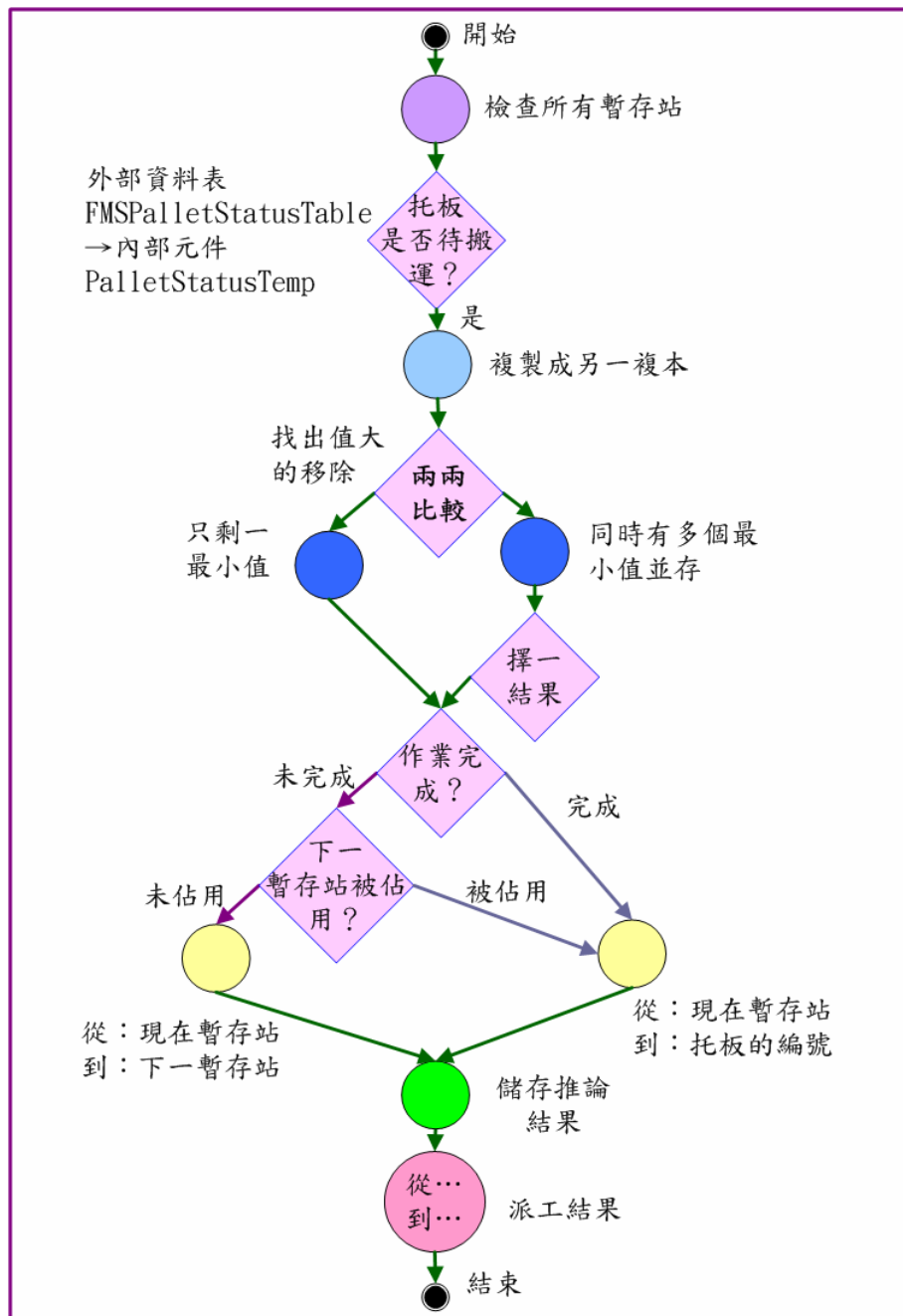


圖 27. FMS 派工規則實際建置知識規則之決策樹分析圖

關於各限制條件彼此間的關係，則運用決策表(表 8)來釐清，例如暫存站上有
否托板(YnLs=HaPal)及托板是否待搬運(YnMovCmd=Yes)兩條件成立與否及其代表
涵義，可藉由決策表來釐清，並排除一些不可能或不合理的狀況。

表 8. 彈性製造系統派工決策表分析，其中一例說明

暫存站上有否托板 (YnLs=HaPal)	托板是否待搬運 (YnMovCmd=Yes)	結果	說明
--------------------------	---------------------------	----	----

T	T	T	暫存站上有托板，待搬運
T	F	F	暫存站上有托板，不搬運 (工件加工中).
F	T	F	暫存站上無托板，待搬運 (不可行)
F	F	F	暫存站上無托板，不搬運 (不可行)

當各參數和各限制條件彼此間關係釐清之後，對於決策樹中的每一決策節點其處理程序及輸入與輸出則以 IPO 模式來詳細描述，例如：以檢查線上狀態這個節點為例，首先它有三個輸入，即交握信號、暫存站狀態及托板待搬運訊號，交握信號(TwinStatus = 1)表示推論程序的開始，暫存站狀態(YnLs = HaPal)將說明哪些暫存站上有托板存在，托板待搬運訊號(YnMovCmd = Yes)則是哪些托板待搬運；處理程序將收到交握信號、暫存站狀態及托板待搬運訊號等三個輸入後，則開始比對程序，找出哪些暫存站上的托板待搬運，這即為輸出，藉由 IPO 模式，可以非常清楚每個處理程序及其輸入及輸出參數，如圖 28 所示。

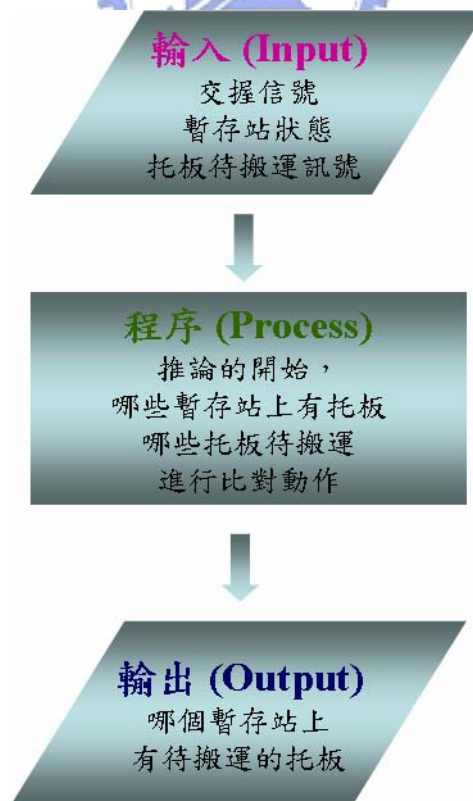


圖 28. IPO 模式實例圖

經由 IPO 模式將所有處理程序及輸出入參數分析完成後，應用彩色斐氏圖 (CPN)進行事件(Event)間因果關係的描述。並運用 PACE 軟體[PACE, 2003]建構彩色裴氏圖模式。使用 PACE 套裝軟體為 CPN 模式建構工具，以 Smalltalk 為其程式語言，藉由 Smalltalk 程式語言，可以對彩色裴氏圖的圖形賦予以下功能：

- 標誌(Token)內資料值的設定。
- 激態(Transition)激發條件(Condition)設定。
- 激態(Transition)延遲時間(Delay)設定。
- 激態(Transition)激發後活動(Action)設定。

而在智慧型決策支援系統(IDSS)部分，藉由彩色裴氏圖逐一檢視推論過程中各事件的因果關係，從已加工完成且在暫存站待搬運的托板中，找到最合乎搬運的托板，如圖 29 所示。從交握訊號、暫存站及托板狀態的確認，檢查現有加工順序，然後檢視托板下一站暫存站的狀態(閒置 Idle 或佔用 Occupy)，最後決定此次要搬運的托板並更改交握訊號。如此一來即完成一推論循環。

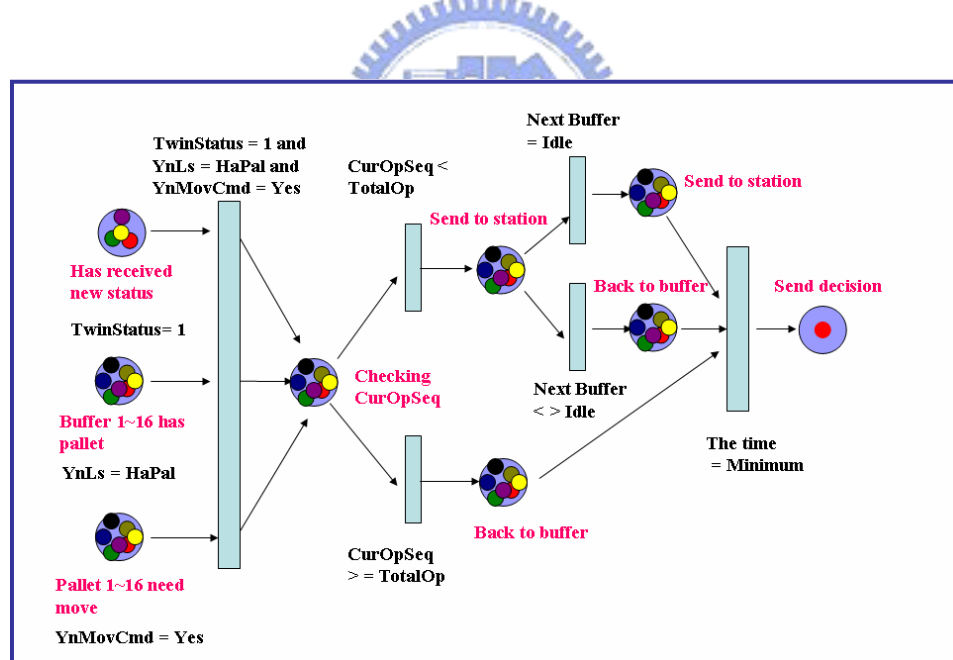


圖 29. 推論過程的彩色斐氏圖(CPN)實例圖

至於在彈性製造系統(FMS)部分，藉由彩色裴氏圖逐一檢視 RGV 實際搬運托板過程中各事件的因果關係，從已決定待搬運的托板從現有暫存站(Current Buffer)準確無誤地搬運至下一暫存站(Next Buffer)加工，如圖 30 所示。當交握訊號轉變成「已推論完畢」時，彈性製造系統收到派工結果並檢視 RGV 的狀態，當 RGV 的狀態是空閒時(RGV Status = Idle)，則將托板從現有暫存站搬移至 RGV

上，然後檢視托板下一站暫存站的狀態(閒置 Idle 或佔用 Occupy)及機台狀態，最後 RGV 將托板搬運至下一站暫存站開始加工並更改交握訊號。如此一來即完成一托板搬運循環。

總之，推論循環與托板搬運循環分別藉由交握訊號相互溝通，彼此交互運作，即可維持 IDSS 與 FMS 兩者間不間斷地輪流執行派工與實際搬運的作業。

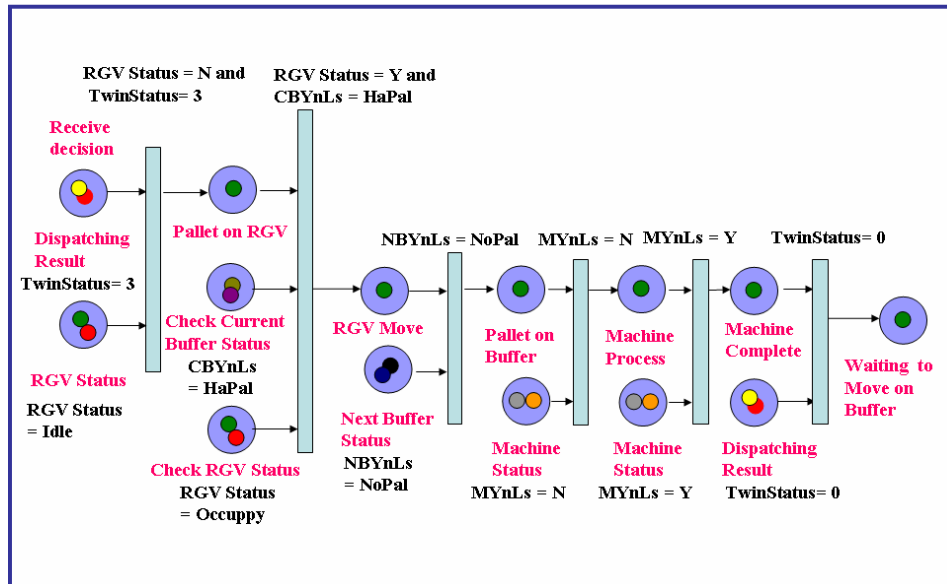


圖 30. FMS 驅動 RGV 搬運過程的彩色斐氏圖(CPN)實例圖

當然透過彩色斐氏圖可以很清楚地檢視及模擬整個概念、想法，並予以修正調整，有助於完成整個分析過程。而且從分析過程中也一併將相關影響的參數、參數值一一釐清臚列出來，如表 9 所示。

表 9. 所需收集之生產資訊

項目	參數	值	說明
交握狀態 (Handshaking Status)	TwinStatus	0, 1, 2, 3	0: 閒置 1: 執行推論 2: 推論中 3: 推論完成
工作暫存區狀態 (Buffer Statue)	BufferNo	1~16	暫存區編號 Buffer Number
	PalNo	1~9 or 0 (0 表無 Pallet)	托板編號 Pallet Number
	YnLsStatus	HaPal (H), NoPal (N)	極限開關狀態 H: 托板在暫存區 N: 托板不在暫存區

托板狀態 (Pallet Status)	PalNo	1~9	托板編號 Pallet Number
	CurrentBufferNo	1~16	托板現在所在暫存區
	NextBufferNo	1~16	托板將移至的暫存區.
	CurrentOpSeq	0~5	現在完成製程數
	TotalOpNumber	0~5	總製程數
	YnMovCmdStatus	Yes (Y), No (N)	工件已加工完成，待搬運 Y: 待搬運 N: 加工中
	TimeSeq	Time	時間序列
	YnMovCmdTime (FIFO)		發出待搬運的時間 (先進先出)
	NextOpOperateTime (SPT)		下一作業站預估加工時間 (最短加工時間)
DueDate (EDD)	交期 (最早交期)		

4.5 推論規則建置

當分析過程結束後，即進入以智慧型決策支援系統(IDSS)工具建置知識規則階段。智慧型決策支援系統提供完善的使用者介面和工具讓使用者根據生產線資訊和所需派工法則，簡易地使用結合「IF...Then...」語法概念的知識規則編輯器來建構整個派工推論的知識規則。而建構的派工法則包括先進先出(First In First Out, FIFO)、最短加工時間(Shortest Process Time, SPT)及最早交期(Early Due Date, EDD)。藉由知識規則編輯人機介面逐步建立知識類別，如圖 32 所示，藉以識別應用領域及解決手段。圖 31 畫面為智慧型決策支援系統各功能的樹狀圖，顯示在此系統所有畫面的左方，使用者可根據需求點選功能來設定；圖 32 畫面左方為顯示智慧型決策支援系統各功能的樹狀圖；圖 32 畫面右方則為知識類別設定操作介面。再來將相關參數予以分類並建成知識元件，如圖 33 所示。圖 33 畫面右方為知識元件設定操作介面。

若需要運用到相關數學算式、物理公式，則在「知識管理」模組中建構彈性製造系統與派工法則等專業知識的相關知識函式、公式、圖片及說明文件，圖 34 畫面右方為推論結果顯示圖片及文字。



圖 31. IDSS 各功能的樹狀圖



圖 32. IDSS 中知識類別建置實例圖

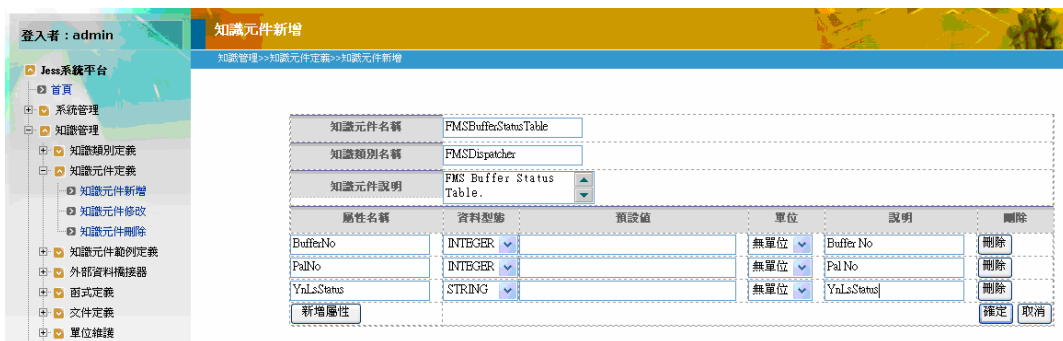


圖 33. IDSS 中知識元件建置實例圖



圖 34. IDSS 中圖片說明建置實例圖

至於資料來源若需從外部資料庫取得或者資料輸出若需寫入外部資料庫，則需建立資料庫連線組態，如圖 35 所示，及資料庫資料匯入設定，如圖 36 所示，設定和外部資料庫間的連線及資料的匯入、匯出，以作為推論內部參數與外部資料庫資料對應之用，以與外界交換訊息。圖 35 畫面右方為資料庫連線組態設定操作介面；圖 36 畫面右方為資料庫資料匯入設定操作介面，知識元件參數與外部資料庫資料欄位對應設定。



圖 35. IDSS 中資料庫連線組態建置實例圖



圖 36. IDSS 中資料庫資料匯入設定實例圖

當完成這些設定後，則進入知識規則群組設定引用介面，如圖 37 所示。首先在「規則群組管理」模組中開始引用建構知識規則所需相關知識元件、函式、資料庫連線組態、資料庫資料匯入設定及知識元件範例...等。圖 37 畫面右方為知識規則群組設定引用設定操作介面，將此規則群組所需知識元件、函式、資料庫連線組態、外部資料匯入、知識元件範例及其他規則群組的引用設定以及決策

樹的設定、推論(模擬推論驗證)、匯出功能。



圖 37. IDSS 中知識規則群組設定引用介面實例圖

然後在「決策樹」的點選「設定」，開啟知識規則編輯器，如圖 38 所示，開始逐步建構知識規則。圖 38 畫面左方為已引用的知識元件、函式、資料庫連線、知識元件範例、規則模組及決策樹資訊顯示區；圖 38 畫面右方為知識規則決策樹的編輯區；圖 38 畫面上方的工具列則是決策樹的圖示按鈕及功能鍵。

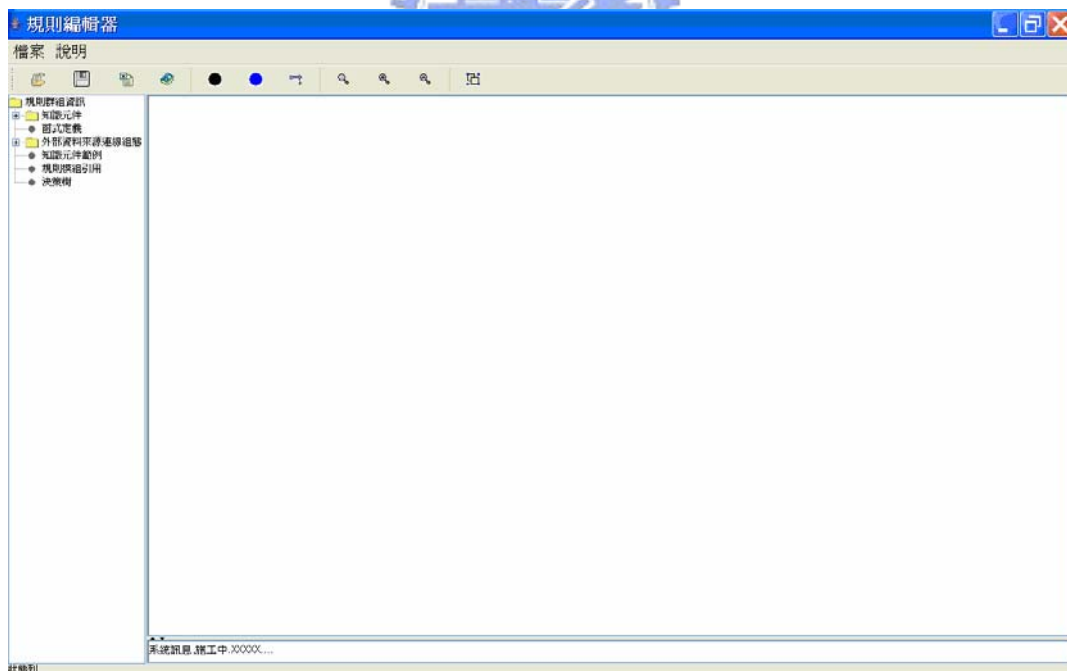


圖 38. IDSS 中知識規則編輯介面實例圖

試以其中一條知識規則為例，如下所示，予以詳細說明：

- 知識規則說明：找出所有待搬運的托板(YnMovCmd=Yes)。
- 引用的知識元件：節點 A 引用「暫存站狀態(Buffer Status)」、「托板狀態

(Pallet Status)」兩個知識元件，其分別代表所有暫存站及托板所有詳細資料及狀態。而節點 B 引用「暫時性托板狀態(Pallet Status Temp)」知識元件，代表所有托板所有詳細資料及狀態另複製一份暫時性資料備用。

- 知識規則內容：

如果(IF)

托板的搬運狀態(YnMovCmdStatus)等於(=)「待搬運」(="Y")。

(意謂：找出發出要搬運訊號的托板。)

和(And)

托板的下一暫存站編號(Next Buffer No)等於(=)暫存站的暫存站編號。

(意謂：檢查每個托板下一暫存站編號是屬於 1~15 編號內合法的編號，暫存站共編號 1~15 號。)

和(And)

托板的現有加工順序(CurrentOpSeq)小於或等於(<=)托板的總共須加工的數量(TotalOpNumber)。

(意謂：檢查每個托板是否還有待完成加工的製程。)

則(Then)

將所有托板所有詳細資料及狀態另複製一份暫時性資料。

(新增事實 PalletStatusTemp 元件)

其操作程序：如圖 39 所示

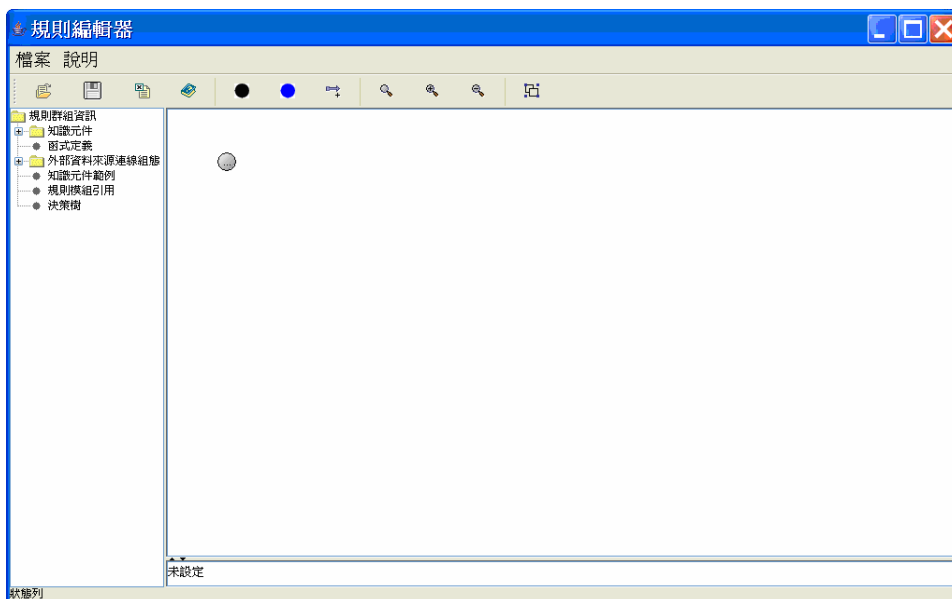


圖 39. IDSS 中知識規則編輯介面拖曳節 A 點實例圖

一開始先拖曳一節點，將此節點命名為「A_Load Buffer and Pallet information」，簡稱節點 A。並在此節點 A 編輯介面中引用此節點所需的知識元件、知識元件屬性，如圖 40 所示，以作為規則起始條件(IF)所需的參數。圖 40 左方畫面為此節點知識元件引用設定編輯畫面；圖 40 右方畫面為此節點知識元件屬性引用設定編輯畫面。

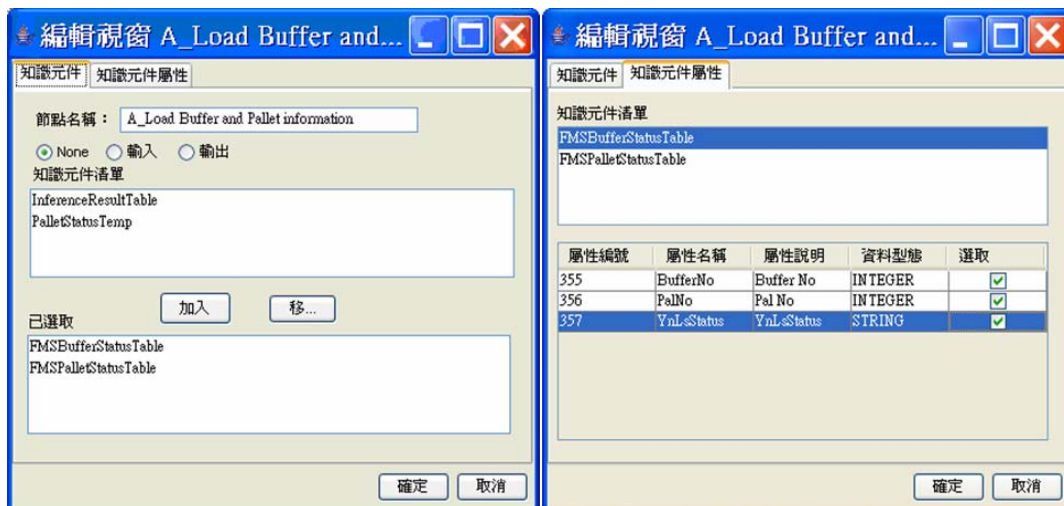


圖 40. 知識規則節點 A 之知識元件、屬性引用實例圖

然後再拖曳另一節點，將此節點命名為「B_Copy Buffer and Pallet information to PalletStatusTemp」，簡稱節點 B，並拖曳一連線，來表示兩節點 A、B 的關係，如圖 41 所示。

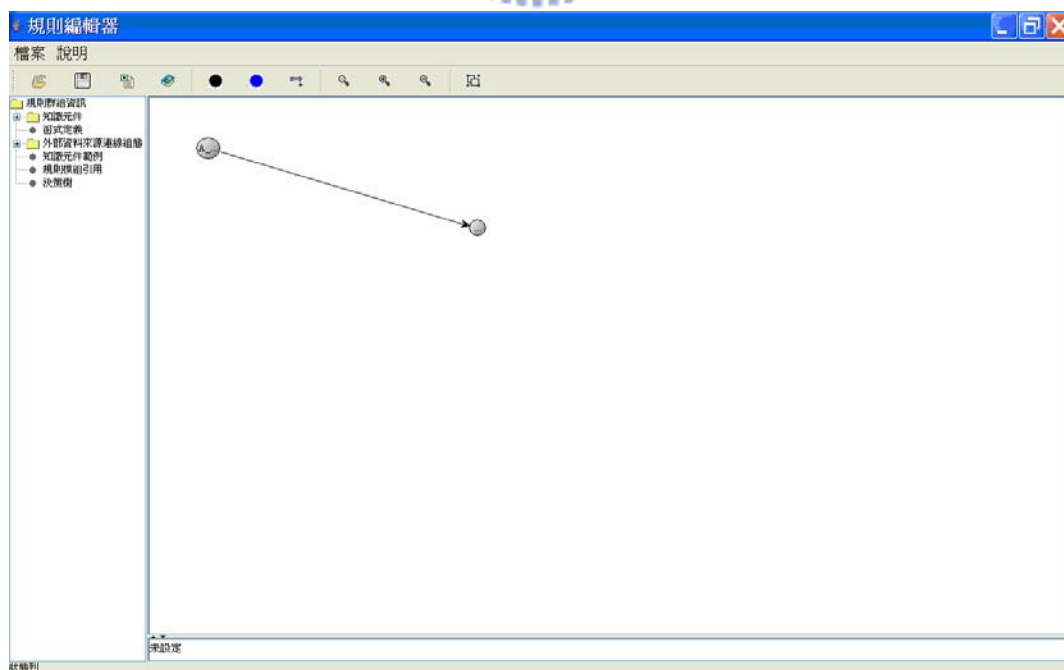


圖 41. IDSS 中知識規則編輯介面拖曳節點 B 及連線實例圖

在此節點 B 編輯介面中引用此節點所需的知識元件、知識元件屬性，如圖 42 所示，以作為規則動作條件(Then)所需的參數。



圖 42. 知識規則節點 B 之知識元件、屬性引用實例圖

這時即可點選連線，來設定條件(IF)，如圖 43 所示，及動作(Then)，如圖 44 所示。在條件(IF)依次分別設定如下三條條件：

FMSPalletStatusTable.YnMovCmdStatus eq “Y”

And

FMSPalletStatusTable.NextBufferNo = FMSBufferStatusTable.BufferNo

And

FMSPalletStatusTable.CurrentOpSeq <= FMSPalletStatusTable.TotalOpNumber

因為以“And”連接，表示此三條件同時成立時，此規則才會觸發動作。而其涵義為「找出發出要搬運訊號的托板並檢查每個托板下一暫存站編號是屬於 1~15 編號內合法的編號，以及檢查每個托板是否還有待完成加工的製程」，以確保找到的托板皆是符合需要待搬運的條件。

當條件吻合時，則動作(Then)將進行何種動作，可根據需求將知識規則推論結果依「輸出訊息」、「寫入資料庫」、「事實存取」及「推論詢問設定」等不同的功能設定推論結果的目的地。而此規則主要是將所有托板的所有詳細資料及狀態另複製一份暫時性資料，以備其他規則使用。所以此動作(Then)將會新增一事實，其涵義為「將條件比對吻合的托板詳細資料複製至知識元件 PalletStatusTemp 的屬性中暫存」，如圖 44 所示。

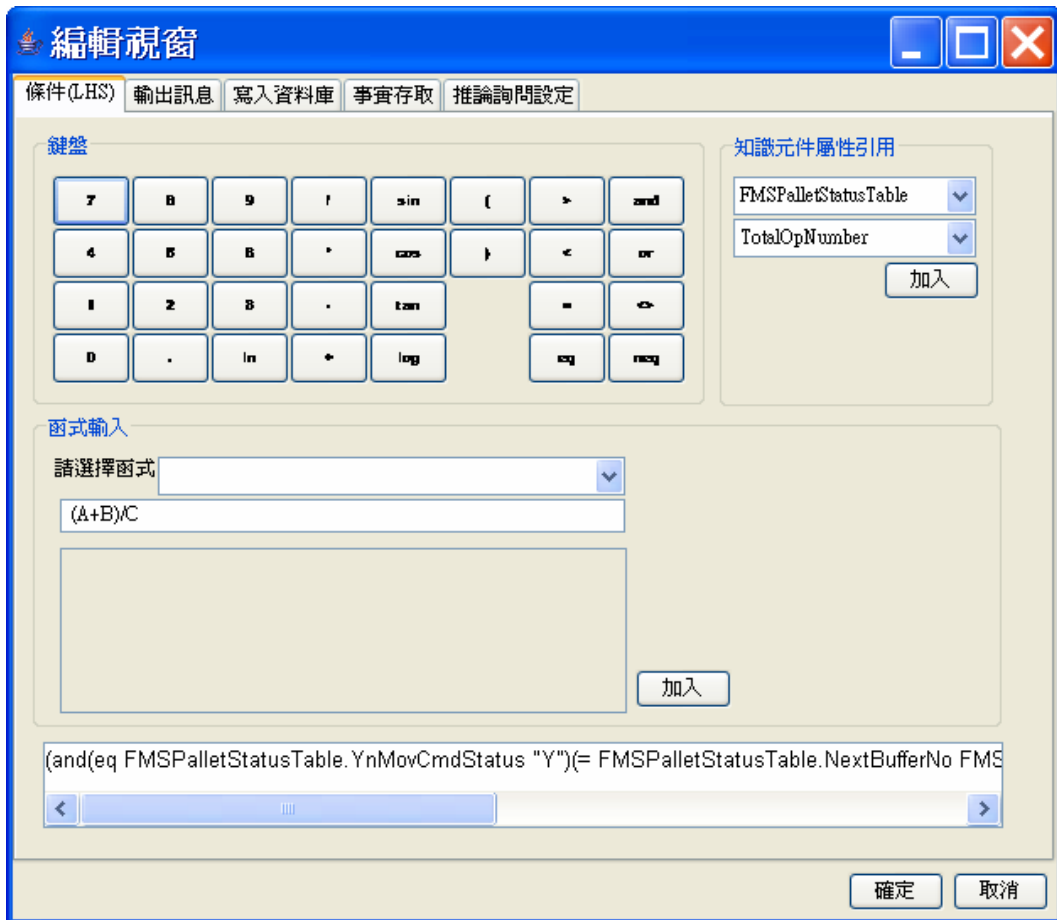


圖 43. 知識規則之連線條件(IF)設定實例圖

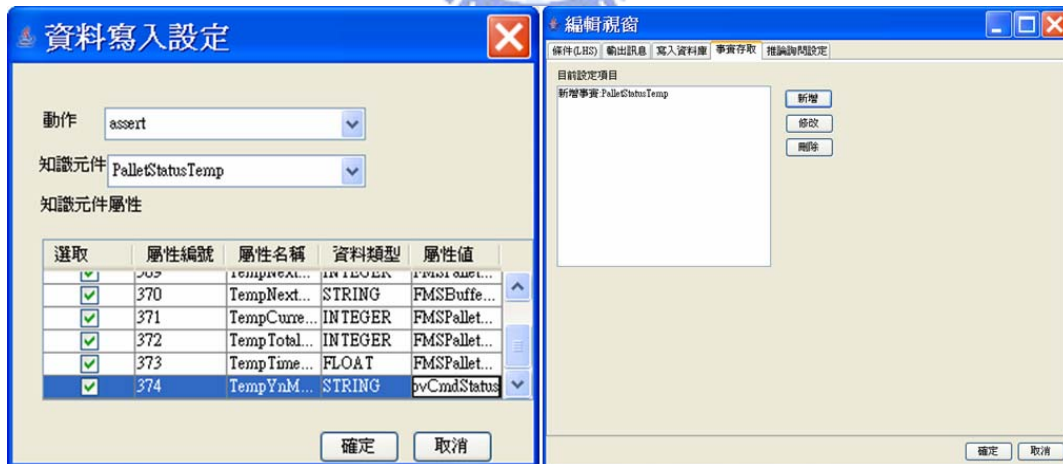


圖 44. 知識規則連線之動作(Then)設定實例圖

以上動作皆完成後，即表示已建好一條知識規則，如圖 45 所示，這時即可進入驗證階段進行驗證，以檢驗知識規則正確與否，以便調整修正。

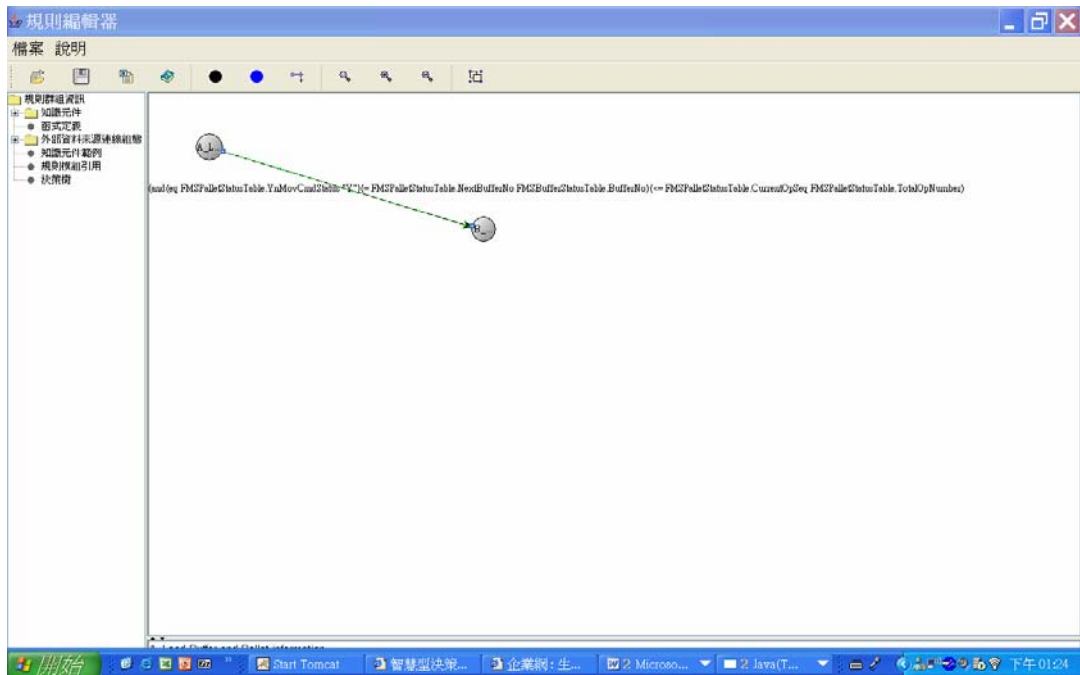


圖 45. 知識規則建置完成實例圖

4.6 推論規則測試與驗證

當知識規則建構完成之後，可逐條驗證無誤後，再整個規則群組一起驗證，如此較容易發現錯誤，避免多條知識規則交互作用，混淆了問題點。因此在驗證模組中提供了錯誤偵測介面供使用者更方便地偵錯，以驗證所建規則正確與否，逐步修正，使規則趨於完備。使用者可以從 Tomcat Console，如圖 46 所示及 IDSS 工具所提供的偵測介面來偵錯，如圖 47 所示。圖 46 畫面的「反白文字」即為 Tomcat Console 偵錯資訊顯示訊息畫面；圖 47 為 IDSS 工具所提供的偵測畫面，畫面下方「反白文字」為偵錯資訊顯示訊息畫面。兩者顯示方式雖有所不同，但是皆將推論過程中的所有資訊顯示出來，以供使用者偵錯之用。

```

Start Tomcat
dPipeline.java:643)
    at org.apache.catalina.core.StandardPipeline.invoke(StandardPipeline.java:480)
    at org.apache.catalina.core.ContainerBase.invoke(ContainerBase.java:995)
    at org.apache.catalina.core.StandardContextValue.invoke(StandardContextValue.java:191)
    at org.apache.catalina.core.StandardPipeline$StandardPipelineValueContext.invokeNext(Standar
dPipeline.java:643)
    at org.apache.catalina.core.StandardPipeline.invoke(StandardPipeline.java:480)
    at org.apache.catalina.core.ContainerBase.invoke(ContainerBase.java:995)
    at org.apache.catalina.core.StandardContext.invoke(StandardContext.java:2416)
    at org.apache.catalina.core.StandardHostValue.invoke(StandardHostValue.java:180)
    at org.apache.catalina.core.StandardPipeline$StandardPipelineValueContext.invokeNext(Standar
dPipeline.java:643)
    at org.apache.catalina.valves.ErrorDispatcherValue.invoke(ErrorDispatcherValue.java:171)
    at org.apache.catalina.core.StandardPipeline$StandardPipelineValueContext.invokeNext(Standar
dPipeline.java:641)
    at org.apache.catalina.valves.ErrorReportValue.invoke(ErrorReportValue.java:172)
    at org.apache.catalina.core.StandardPipeline$StandardPipelineValueContext.invokeNext(Standar
dPipeline.java:641)
    at org.apache.catalina.core.StandardPipeline.invoke(StandardPipeline.java:480)
    at org.apache.catalina.core.ContainerBase.invoke(ContainerBase.java:995)
    at org.apache.catalina.core.StandardEngineValue.invoke(StandardEngineValue.java:174)
    at org.apache.catalina.core.StandardPipeline$StandardPipelineValueContext.invokeNext(Standar
dPipeline.java:643)
    at org.apache.catalina.core.StandardPipeline.invoke(StandardPipeline.java:480)
    at org.apache.catalina.core.ContainerBase.invoke(ContainerBase.java:995)
    at org.apache.coyote.tomcat4.CoyoteAdapter.service(CoyoteAdapter.java:223)
    at org.apache.coyote.http11.Http11Processor.process(Http11Processor.java:601)
    at org.apache.coyote.http11.Http11Protocol$Http11ConnectionHandler.processConnection(Http11P
rotocol.java:392)
    at org.apache.tomcat.util.net.TcpWorkerThread.runIt(PoolTcpEndpoint.java:565)
    at org.apache.tomcat.util.threads.ThreadPool$ControlRunnable.run(ThreadPool.java:619)
    at java.lang.Thread.run(Thread.java:534)
<= Focus MAIN
f-0 (MAIN::initial-fact)
For a total of 1 facts.

```

圖 46. Tomcat Console 偵錯介面實例圖

圖 47. IDSS 偵錯介面實例圖

當所有知識規則皆測試無誤後，即可進行整合測試，實際在測試平台上測試以推論來派工的可行性。此時在智慧型決策支援系統先以 Java servlet 所撰寫成的定時應用程式而彈性製造系統也同樣有一定時應用程式，這兩支應用程式會定時且週期性地掃描在中介資料庫中特定資料表中特定的交握訊號。首先，彈性製

造系統的定時程式一讀到資料庫中交握資料表中的指定訊號，則彈性製造系統控制軟體將會透過單元控制器(Cell Controller)開始逐一掃描生產線上相關設備，並透過單元控制器收集生產線的狀態資訊並寫入中介資料庫中的整合資料表中的「加工暫存區(Buffer)狀態資料表」、「托板(Pallet)狀態資料表」並更改其中的「交握(Handshaking)資料表」的指定訊號。而當智慧型決策支援系統定時程式一讀到「交握資料表」的特定訊號時，推論機制開始被驅動，並從整合資料表中(暫存站、托板狀態資料表)讀取生產線狀態相關資訊等作為規則觸發的事實(fact)，同時載入先前所建知識元件、公式及規則，然後開始進行推論，隨後將推論得出的結果寫入整合資料表中「推論結果(Inference Result)資料表」，並再一次改寫「交握(Handshaking)資料表」的指定訊號。此時彈性製造系統定時程式一讀到此「交握資料表」的特定訊號時，接著觸發彈性製造系統從整合資料表中(推論結果資料表)中讀取推論結果，同時自動地驅動彈性製造系統中的軌道自動搬運車(RGV)依據推論結果來搬運托板從現今所在的加工暫存站移到下一個加工暫存站繼續下一作業的加工程序。(圖 48)顯示整合彈性製造系統與智慧型決策支援系統間的資料傳輸交換。

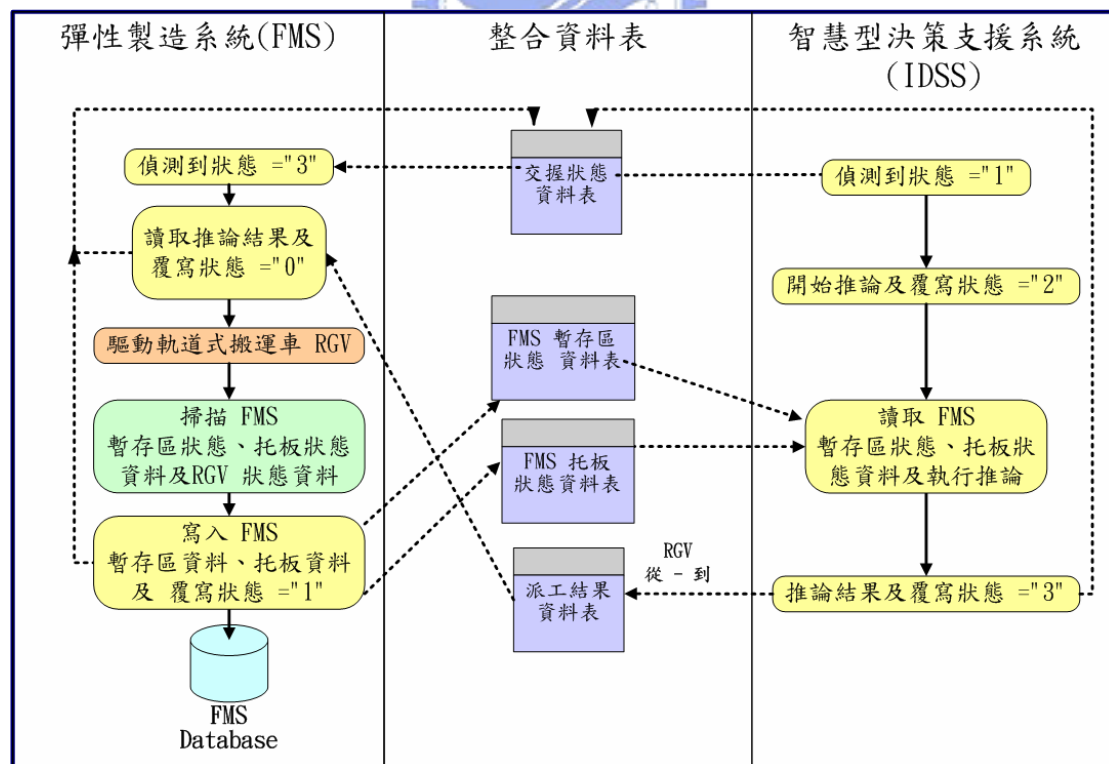


圖 48. 整合智慧型決策支援系統與彈性製造系統的資料傳輸交換

當推論結果一出來，智慧型決策支援系統會同步將推論結果顯示在螢幕上，

如圖 49 所示，並寫入整合資料表中「推論結果(Inference Result)資料表」，同時再一次改寫「交握(Handshaking)資料表」的指定訊號。整個循環會一直週而復始執行，直到人為終止為止。

此外彈性製造系統控制軟體還提供動畫，即時同步呈現軌道自動搬運車 (RGV) 實際搬運托板的過程，如圖 50 所示。整個過程完全在系統的監控之下，此整合測試平台實景如下圖，如圖 51 所示。

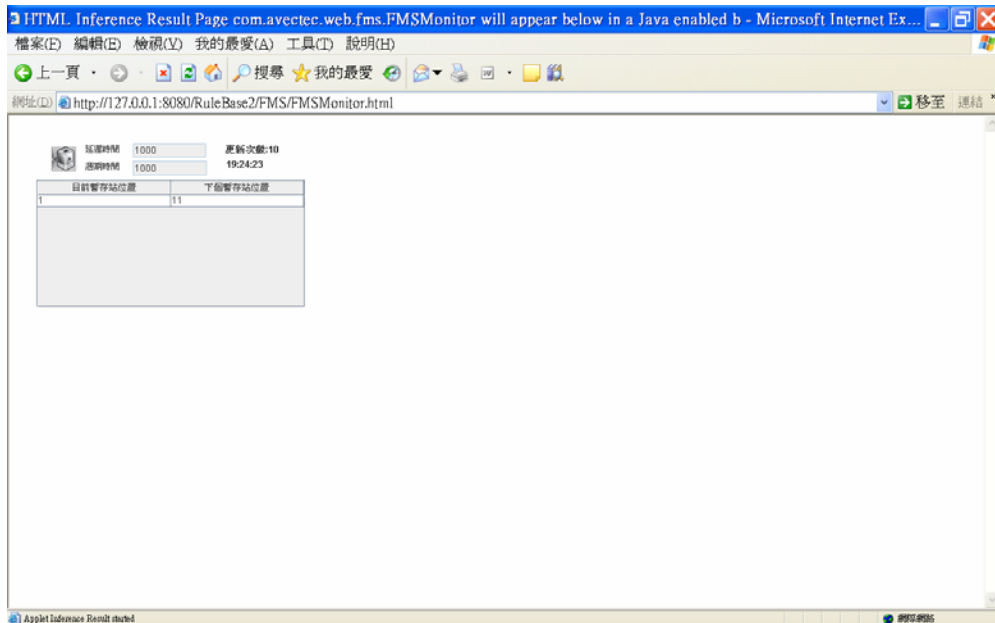


圖 49. 智慧型決策支援系統推論出的派工結果

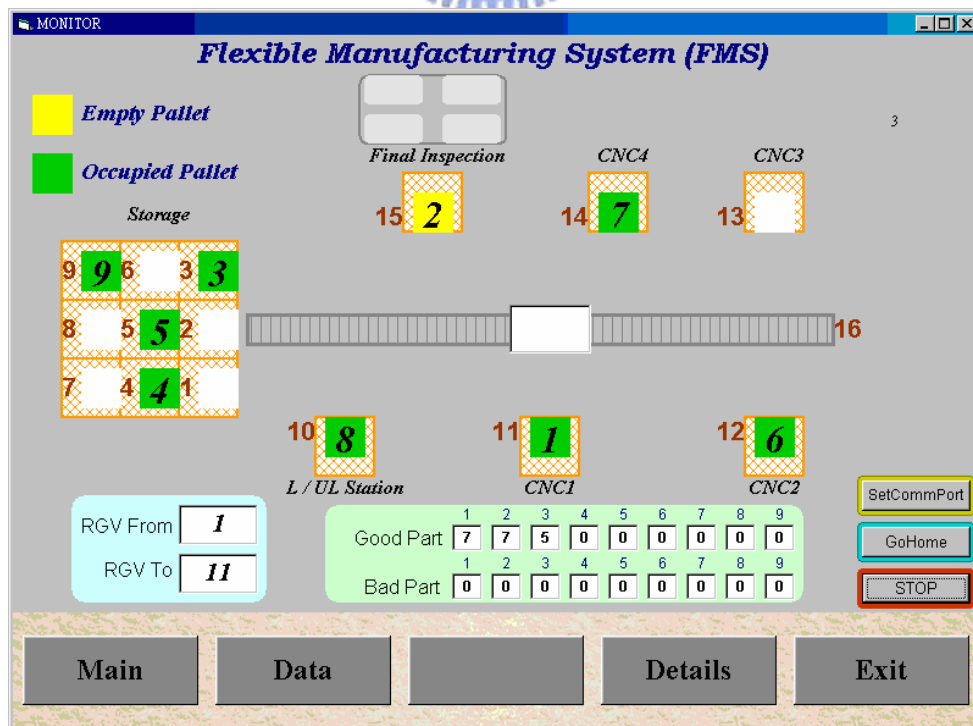


圖 50. 彈性製造系統運作中的即時動畫



圖 51. 彈性製造系統運作中實景

4.7 推論式 IDSS 派工與撰寫單元 CELL 程式的派工比較

經實際測試驗證後，證明以推論方式同樣也能達到派工的結果，雖然 IDSS 提供較簡便的方式，讓不懂程式撰寫的使用者，也能透過 IDSS 的圖形化介面建置相關知識規則，而免於撰寫程式的困擾。但是，兩者的實際派工執行效果究竟孰優孰劣，則需透過實際派工成效來相互比較，才能有一較明確的結論，如表 10 所示。

所以，在彈性製造系統部分新增了績效(Performance)模組，來紀錄兩者的績效表現。績效模組主要為以下三種績效表現：

- 機台利用率(Utilization)：紀錄機台有托板存在的各個時間間隔，以機台時間間隔的總和為分子，系統實際操作總時間為分母，算出各加工機台的利用率。
- 良率(Yield Rate)：產出的良品數為分子，產出數為分母，即良品數/產出數。
- 平均交付時間(Mean Lead Time, MLT)：工件(Part)從開始加工的時間到

最後一站機台的加工完成的時間所得到的平均交付時間(Mean Lead Time)。

在機台利用率的比較中，機台利用率的高低分佈與工件的製程順序有絕大的關係，可以看出來的是瓶頸作業站的機台利用率會較高，例如各工件必經的加工機台，如 ST1，CNC1，INS1。

另外，在相同的製程條件下，以推論方式的派工與撰寫程式的單元(CELL)派工，在 RGV 的利用率上，差異在於 IDSS 系統在推論決策的過程，會判斷出 From-To 的位置是相同的狀況，表示已經完成一次成功的推論，但是 RGV 並沒有實際搬運的動作，系統並持續作即時的狀態更新與時間更新，直到下一次出現 From-To 為不同值時，RGV 才會依照 From-To 的指令動作，所以相對於單元(CELL)派工的模式，每次 From-To 值皆會不同，RGV 被呼叫來執行搬運的次數也會明顯提高，所以會看到 RGV 利用率，以單元(CELL)的派工方式跟以 IDSS 的派工方式，會有一段的差距，以單元(CELL)為較高。而平均交付時間(MLT)也是以單元(CELL)為較短。

若以兩種不同派工方式的相同機台的利用率及平均交付時間來看，可能存在的差異在於 IDSS 系統係持續更新加工暫存區、托板、交握資料表的狀態，對於資料庫的存取次數過於頻繁，系統的操作時間過多浪費在等待資料的更新，或是等待規則的推論結果，使得能被搬走到下個工作站的托板，多停留在已加工完成的機台上，所以造成機台利用率較高的現象。但是綜合比較單元(CELL)的派工與 IDSS 的派工，可以發現就相同的工件製程加工下，機台利用率的呈現趨勢大致上是相似的，證明此兩種的派工方式是可行的。至於良率則取決於加工的良窳，對於派工的效率較無直接關係。

究其原因，可能是單元(CELL)派工在先到先服務(FCFS 或 FIFO)的派工模式下，其 EventCmd 的資料表會依照已經記錄在此資料表的事件時間紀錄以時間的先後順序有小到大遞增作編排，在每一筆資料都有事件表示的判斷旗標(index)，旗標(index)的意義是指該事件是否已經指派給 RGV 搬運，若是被指派，則 IsAssigned 的資料表欄位呈現勾選狀態，若是 IsAssigned 的資料表欄位為空白未勾選狀態，表示這些事件都列為候選事件且需要被指派搬運。所以，在先到先服務的派工模組下。單元(CELL)派工系統會先挑出一個暫存站的位置編號，只要符合在此暫存站的托板尚未被指派的條件下，且事件時間是最優先的狀況，接下

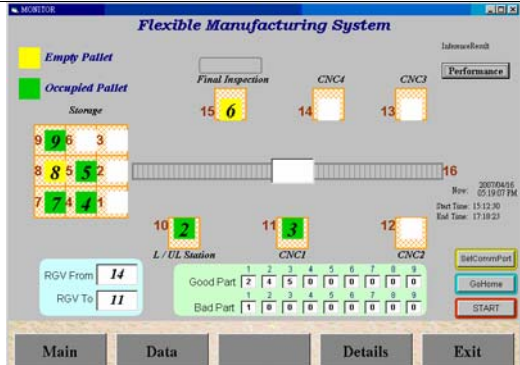
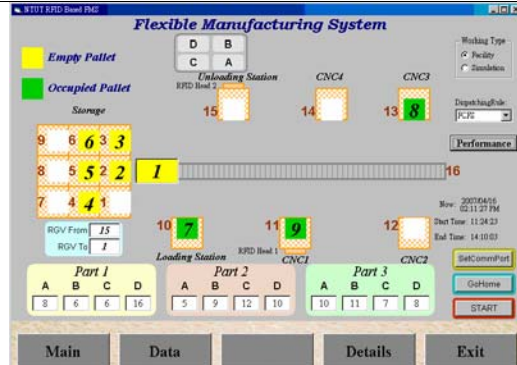
來判斷此候選的暫存站是否可以被使用，該候選的暫存站上是否有托板存在，且托板編號大於 0 (即為合法的托板，因為托板編號為 1~9)等條件。此時，再判斷在此候選的暫存站上的托板是不是可以被搬運，若判斷可以被搬運。再來比較這個候選暫存站上的托板，現階段的製造程序是不是未完成總共需要的製造程序，若尚未完成製造程序，則可以接受已設定好的製造流程繼續派工，若是已完成該工件的總製造程序，則把該托板搬回 AS/RS 等待下一次派工。

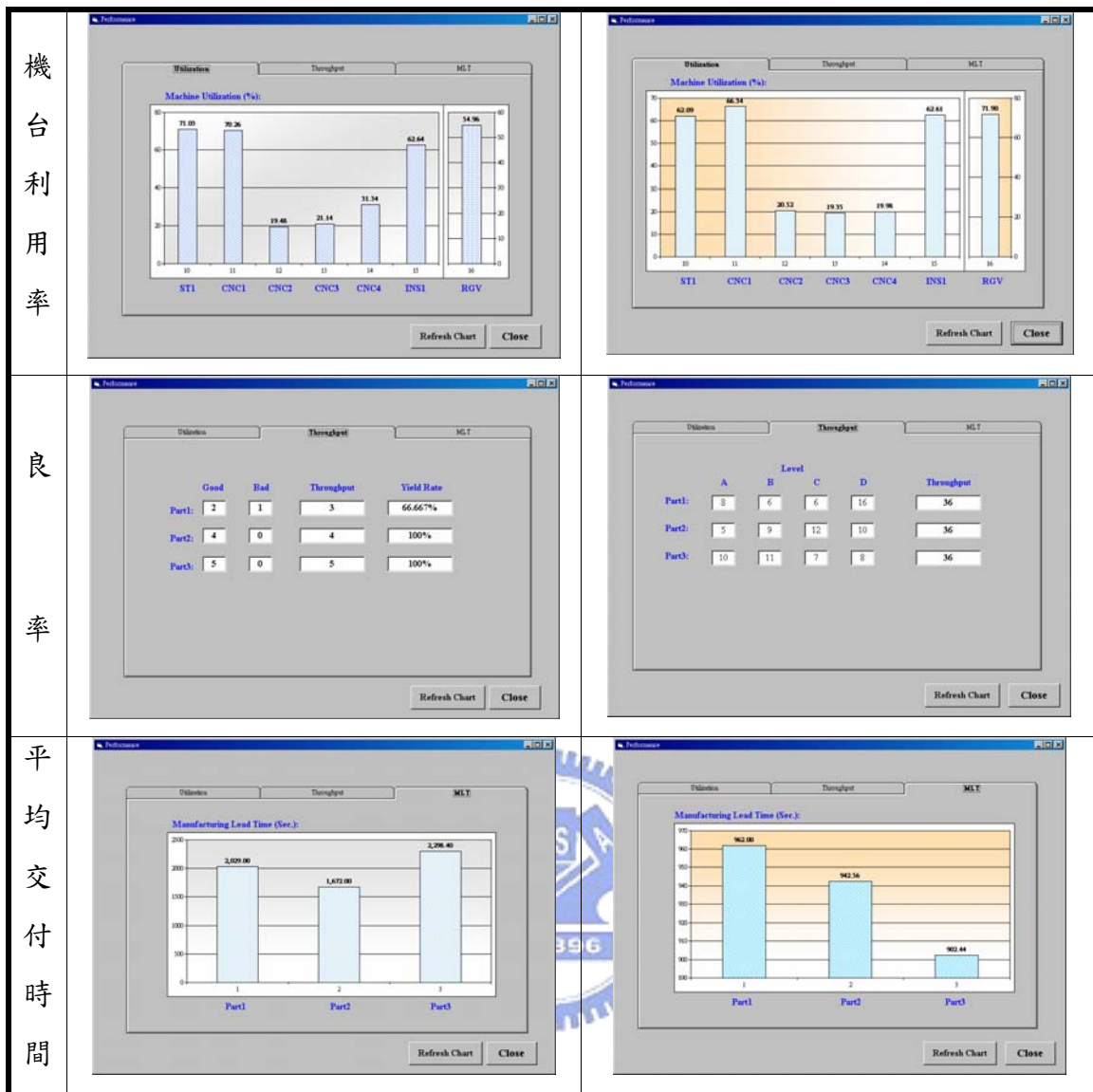
所以，若符合上述的所有條件則會驅動 RGV 實際運作搬運托板移動，而且在每次搬運完成的事件中，都要去修改該筆資料的指派狀態，更新 EventCmd 的資料表欄位，確保派工模組的判斷正確性。

但是，若是此候選暫存站未符合上述的任一條件下，則此候選暫存站不能被指派搬運，將改由下一個事件時間優先的暫存站作為候選，逐一檢查上述的所有條件，如此循環判斷條件下，皆符合條件者接受搬運，先到先服務的派工以此條件判斷模式持續運作。

反觀 IDSS 推論式派工在先到先服務(FCFS 或 FIFO)的派工模式下，每一循環，皆會檢視每一發出待搬運訊號的托板，而且 IDSS 系統還是透過資料庫來接收及傳出訊號給感測器，多一層中介傳輸，所以在時間上將會比單元(CELL)派工多耗費一些時間。

表 10. 推論式 IDSS 派工與撰寫單元 CELL 程式的派工比較

動畫顯示畫面	以推論方式 IDSS 派工	以撰寫單元 CELL 程式方式派工
		



總之，本文所提供智慧型支援系統與彈性製造系統完整整合分析方法與架構成為另一個合適的製造決策解決方案。透過友善的使用者介面、合宜的資訊技術和工具，再藉由生管、製程工程師建構知識元件、公式、規則來代替撰寫相關程式碼的程式，對一些中小型公司來說，不啻為一大福音。而且，生產或製程工程師可藉由執行「規則模擬驗證模組」來發現最佳解決方案以驗證所指定的派工法則實際運作的績效，作為規則後續修改、調整的依據。而且所有相關生產知識皆彙集於公司的生產資訊知識庫(生產製造的知識、技巧和經驗)，公司相關人等皆因而可以擷取、篩選、儲存、分享、累積、呈現和再利用，縮短培訓時間，有益於人員調度。這對於為吻合變動中市場需求而尋求彈性、快速及方便的生產製程是一大利基。

第五章 結論與建議

本章就本研究內容與所獲得的結果加以總結，並對本研究未來之發展性以及後續改善作一建議。

5.1 結論

本研究所使用 IDSS 工具，讓使用者免於撰寫程式即可建構相關知識規則，經證明為一可行作法，但建構知識規則因牽涉到人的因素，所以很難有一套標準可循，就像是人人都是藝術家一般，有其各自揮灑的想像空間。

因此本研究提出透過決策樹、決策表、IPO 模式及彩色裴氏圖為分析工具的一套分析方法與程序，並引入模組化概念及 IDSS 工具來建構出相關知識規則並整合至實際案例中執行。其中有些分析方法及工具業已經過「協同設計」[Chiang *et al.*, 2004] [Chiang *et al.*, 2006]、「設備診斷維護」[Yao *et al.*, 2005][Trappey *et al.*, 2006]及「彈性製造系統派工」[Kuo *et al.*, 2006]等案例實際測試驗證，並已證明其可行性。且能有效縮短建構知識規則的時間及增加建構知識規則的效率。

本研究之具體成果如下：

- 經實證證明此分析知識規則步驟與程序，能有效縮短知識規則建置的時間及增加應用彈性，在未來能作為日後業界快速導入與應用之參考。
- 結合已有的分析方法與建模、模擬工具，並利用 IDSS 工具，迅速建置、模擬與驗證知識規則。
- 藉由一系列分析方法與視覺化規則編輯器，可以新增、編輯、修改及刪除知識規則，並以推論激發規則方式結合動態條件式及機台參數傳遞機制，來迅速進行生產系統的模擬推論驗證；確實能節省生產系統規劃工程師繁雜的系統程式撰寫工作。
- 驗證智慧型決策元件封裝、嵌入技術的高可行性，可因應不同需求，快速封裝成智慧型決策元件以嵌入其他軟、硬體，以提升其智慧化/智能化。
- 提供更方便的知識服務的方法與程序，提昇研發設計及決策效率。
- 有效保存寶貴知識、技術及經驗，降低技術傳承中斷及經驗豐富員工異動之風險。
- Web 化 IDSS 系統，跨越知識應用的時空界線，提升協同研發設計工作

效率，創造網上知識加值服務新模式。

5.2 未來發展方向

雖然透過一系列的分析方法與程序，可以有效縮短知識規則建構時間，但仍有許多空間有待努力突破，所以本研究未來方向，將朝著知識自動擷取、知識自動解析與轉換及推論結果自動回饋並學習...等方向發展，希望能更有效地簡化知識、知識規則的擷取、分析、轉換、建構與程序，尋求更好的解決之道。

重點課題包括，如圖 52 所示：

- 如何讓專家更簡易的提供知識？希望透過圖形化介面讓學者專家能簡易描繪自己的知識、經驗與想法並自動轉換成特定格式，即知識自動擷取、解析與轉換成電腦系統能解讀的機制，如圖 52 ①所示。
- 如何直接轉譯成決策系統可以解讀的資料，省卻知識工程師來建構知識、規則？即知識自動轉換成知識規則的機制，如圖 52 ②所示。
- 結合理人技術(Agent)，自動學習決策推論的經驗？即每次推論結果等決策經驗自動累積與學習的機制，如圖 52 ③所示。

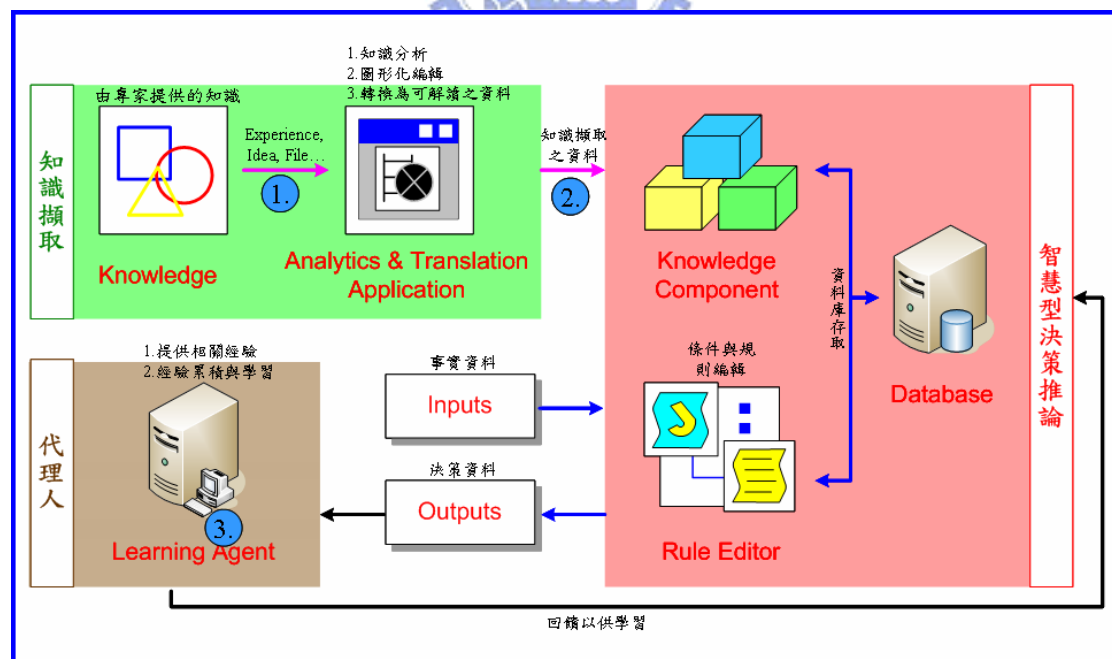


圖 52. 智慧型決策支援系統今後發展方向架構圖

參考文獻

1. Alter, Steven, “A Taxonomy of Decision Support Systems”, Sloan Management Review, 19, pp. 39, Fall 1977.
2. Atmani A. “A production planning for flexible manufacturing systems with set up cost consideration,” Computers and Industrial Engineering, Volume 29, Iss. 1, pp. 723-727, Elsevier, September 1995.
3. Basnet, C. and Mize, J. H. “Scheduling and control of flexible manufacturing systems: a critical review”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Volume 7, Number 6, pp. 340–355, November 1, 1994.
4. Buzacott, John A. “A Perspective on New Paradigms in Manufacturing”, Journal of Manufacturing Systems, Volume 14, Iss. 2, pp. 118-125, Dearborn, 1995.
5. Chen, Injazz J. and Chung, Chia-Shin. “Sequential modeling of the planning and Scheduling Problems of flexible manufacturing systems”, Journal of the Operational Research Society, Volume 47, Number 10, pp. 1216–1227, Oct., 1996.
6. Chen, Kai Ying, Chang, Wen Chi, Tien, Fan Chih and Kuo, Chun Liang, “Development of A Testbed for RFID Based Flexible Manufacturing System”, The 11th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice, Nagoya, Japan, October 24-27, 2006.
7. Chen, Kai Ying, Luo, Peter Yi Fei and Tseng, Wei Rung, “Modular PAC Software Design Based on Color Petri Net”, 2006 Institute of Industrial Engineer Annual Conference and Exposition, Orlando, U.S.A., May 20-23, 2006.
8. Chiang, Tzu An, Trappey, Amy Jui Fen Chang and Ku, Chung

- Chao, "Using knowledge-based intelligent reasoning to support dynamic collaborative design", Proceedings, APIEMS, Gold Coast, Queensland, Australia, December 12-15, 2004.
9. Chiang, Tzu An, Trappey, Amy Jui Fen Chang and Ku, Chung Chao, "Using a knowledge-based intelligent system to support dynamic design reasoning for a collaborative design community", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 31, Number 5, pp. 421-433 (SCI), 2006.
 10. Feigenbaum, Edward A. "The Art of Artificial Intelligence: I. Themes and Case Studies of Knowledge Engineering," Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 1014-1029, Cambridge, MA., 1977.
 11. Feigenbaum, Edward A. "Themes and case studies of knowledge engineering", Expert Systems in the Micro-Electronic Age, pp. 3-25, Editor, D. Michie, Edinburg Univ. Press, Edinburgh, 1979.
 12. Frederick, Hayes Roth, "Knowledge Systems: An Introduction", Library Hi Tech, Volume 10, Issue 1-2, pp. 15-16, 25, MCB University Press UK, 1992.
 13. Gamila, Mansour Abou and Motavalli, Saeid, "A modeling technique for loading and scheduling problems in FMS", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 19, Number 1, pp. 45-54, Elsevier, February 2003.
 14. Graham, Margaret B. W. and Rosenthal, Stephen R. Institutional Aspects of Process Procurement for Flexible Machining Systems, pp. 11, 38 and 40-43, Boston University, School of Management, Boston, MA, September 1986.
 15. Groover, Mikell P. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, Second Edition, pp. 460-513, Prentice-Hall Inc., U.S.A., 2001.

16. Jeng, Mu Der and Chen, Shih Chang, “A Heuristic Approach Based on The State Equations of Petri Net for FMS Scheduling”, Proceedings of the 1995 International IEEE/IAS Conference on Industrial Automation and Control Industrial Automation and Control: Emerging Technologies, pp. 275-281, Taipei, Taiwan, May 22-27, 1995.
17. Jensen, Kurt. “An Introduction to the Theoretical Aspects of Coloured Petri Nets”, *A Decade of Concurrency, Lecture Notes in Computer Science*, Volume 803, pp. 230-272, Springer-Verlag, 1994.
18. Jeong, K. C. and Kim, Y. D. “A real-time scheduling mechanism for a flexible manufacturing system: using simulation and dispatching rules” , *International Journal of Production Research*, Volume 36, Iss. 9, pp. 2609–2626, Taylor and Francis Ltd, September 1, 1998.
19. JESS. The Rule Engine for the Java Platform. (2006) Retrieved January 5, 2006, from <http://www.jessrules.com/jess/docs/index.shtml>
20. Kashyap, Arun S. and Khator, Suresh K. “Analysis of tool sharing in an FMS: a simulation study”, *Computers and Industrial Engineering*, Volume 30, Number 1, pp. 137–145, Elsevier, January 1996.
21. Keen, Peter G. W. and Morton, Michael S. Scott, *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*, Addison-Wesley, MA, August 1978.
22. Kim, M. H., Kim, Y. D. “Simulation-based real-time scheduling in a flexible manufacturing system”, *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 13, Number 2, pp. 85-93, 1994.
23. Kim, Yeong Dae, Lee, Dong Ho and Yoon, Chi Moon,

- “Two-stage heuristic algorithms for part input sequencing in flexible manufacturing systems”, European Journal of Operational Research, Volume 133, Number 3, pp. 624-634, September 16, 2001.
24. Kuo, Chun Liang, Ku, Chung Chao, Tsai, Jui Pin, Hung, Benson Chia Wei, Chang, Wen Chi and Chen, Kai Ying, “Development of Rule Base Inference Oriented FMS Dispatcher Using the JESS Platform”, The 36th International Conference on Computers and Industrial Engineering, Taipei, ROC, June 20-23, 2006.
25. Kwasi, Amoako Gyampah, Meredith, J. R. and Raturi, A. “A comparison of tool management strategies and part selection rules for a flexible manufacturing system”, International Journal of Production Research, Volume 30, Number 4, pp. 733–748, April 1, 1992.
26. Laftit, Sai'd and Proth, Jean Marie, “Evaluation of Job Shop with Random Manufacturing time: A Petri Net Approach”, 1990 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1064-1069, Cincinnati, Ohio, USA, May 13-18, 1990.
27. Langevin, A., Lauzon, D., Riopel, D., Langevin, André, Lauzon, Daniel and Riopel, Diane, “Dispatching, routing, and scheduling of two automated guided vehicles in a FMS”, International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Volume 8, Number 3, pp. 247-262, Springer Netherlands, July 1996.
28. Lee, Doo Yong and DiCesare, Frank, “Scheduling Flexible Manufacturing Systems Using Petri Nets and Heuristic Search”, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Volume 10, Number 2, pp.123-132, 1994.
29. Looney, Carl G. “Fuzzy Petri Net for Rule-Based Decision making”, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,

Volume 18, Iss. 1, pp. 178-183, February, 1988.

30. MacCarthy, B. L. and Liu, J. “A new classification scheme for flexible manufacturing systems”, International Journal of Production Research, Volume 31, Number 2, pp. 299-309, Maffei, February 1993.
31. Maimon, Oded Z. and Gershwin, Stanley B. “Dynamic scheduling and routing for flexible manufacturing systems that have unreliable machines”, Operations Research, Volume 36, Iss. 2, pp. 279–292, Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS), Linthicum, Maryland, USA, March 1988.
32. Minsky, Marvin, A Framework for Representing Knowledge, Psychology of Computer Vision, pp. 211-217, Editor, P. H. Winston, Patrick Winston, McGraw-Hill, New York, 1975.
33. Minsky, Marvin, “A framework for representing knowledge”, Computation & intelligence: collected readings, pp. 163-189, American Association for Artificial Intelligence Menlo Park, CA, USA, 1995.
34. Montazeri, M. and Van Wassenhove, L. N. “Analysis of scheduling rules for an FMS”, International Journal of Production Research, Volume 28, Number 4, pp. 785–802, 1990.
35. Moore, Jeffery H. and Chang, Michael G. “Design of decision support systems”, ACM SIGMIS Database, Volume 12, Iss. 1-2, pp. 8-14, ACM Press New York, NY, USA, Fall 1980.
36. Morton, Michael S. Scott. “Management Decision Systems: Computer Based Support for Decision Making”, Division of Research, Harvard University, Cambridge, Mass., 1971.
37. PACE Version 5.0 Cookbook and Tutorial, IBE Simulation Engineering GmbH, pp. 1-1~7-32, 2003.

38. PACE Version5.0 Smalltalk Primer and Reference, IBE Simulation Engineering GmbH, pp.1-1~7-4, 2003.
39. Peng, Chong and Chen, F. Frank, “Real-time control and scheduling of flexible manufacturing systems: an ordinal optimization based approach”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 14, Number 10, pp. 775-786, Springer London, October 1998.
40. Ranky, Paul. G. The Design and Operation of FMS: Flexible Manufacturing System, IFS Publications Ltd., Bedford,UK, 1983.
41. Ranky, Paul G. Computer Integrated Manufacturing, Prentice Hall Int., UK, Ltd., G. Britain, 1986.
42. Rau, K. Raghava and Chetty, O. V. Krishnaiah, “Production planning of FMS under tool magazine constraints: a dynamic programming approach”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 11, Number 5, pp. 366–371, Springer London, September 1996.
43. Roh, H. K. and Kim, Y. D. “Due date based loading and scheduling methods for a flexible manufacturing system with an automatic tool transporter”, International Journal of Production Research, Volume 35, Iss. 11, pp. 2989 - 3004, November 1997.
44. Sarin, S. and Lefoka, M. “Scheduling heuristic for the n-jobs m-machines flow shop”, Omega, The International Journal of Management Science, Volume 21, Number 2, pp. 229-234, ROYAUME-UNI, 1993.
45. Song, Jongchul, Haas, Carl T., Caldas, Carlos, Ergen, Esin and Akinci, Burcu, “Automating the task of tracking the delivery and receipt of fabricated pipe spools in industrial projects”, Automation in Construction, Volume 15, Iss. 2, 2006, pp.166-177,

March 2006.

46. Spathopoulos, M. P. and Ridder, M. “Modeling and distributive control design of a flexible manufacturing system”, Computers in Industry, Volume 38, pp.115-130, 1999.
47. Sprague, Ralph H. Jr. and Carlson, Eric D. Building Effective Decision Support Systems, Englewood Cliffs, Prentice Hall, New Jeersey, 1982.
48. Turban, Efraim, Decision support and expert systems: management support systems, 4 ed., Engelwood Cliffs, N. J., Prentice Hall Inc. 1995.
49. Turban, Efraim and Aronson, Jay E. Decision Support Systems and Intelligent systems, Upper Saddle River, N.J. Prentice Hall, 1998.
50. Trappey, Amy Jui Fen Chang, Trappey, C., Lin, Gilbert Yen Po, Ho, Pei Shun, Ku, Chung Chao and Kuo, Chun Liang, “Design an Integrated Intelligent Equipment Maintenance and Production Dispatching System Using the JESS Platform”, Proceedings, International Conference on WECAM 2006, Gold Coast, Australia, July 11-14, 2006.
51. Wong, S. T. W., Mak, K. L. and Lau, H. Y. K. “An object-oriented model for the specification of manufacturing systems”, Computers and Industrial Engineering, Volume 36, Iss. 3, pp. 655-671, Elsevier, July 1999.
52. Yao, Yin Ho, Trappey, Amy Jui Fen Chang, Ku, Chung Chao, Lin, Gilbert Yen Po, Tsai, Jui Pin, Ho, Pei Shun and Hung, Benson Chia Wei, “Develop an intelligent equipment maintenance system using cyber-enabled JESS technology”, Proceedings, International Conference on Hands-on Intelligent Mechatronics and Automation (HIMA2005), IEEE, pp. 927-932,

Taipei, Taiwan., July 10-12, 2005.

53. Yim, Seong Jin and Lee, Doo Yong, “Multiple Objective Scheduling for Flexible Manufacturing Systems Using Petri Nets and Heuristic Search”, Proceedings IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 2984- 2989, 1996.
54. Zhou, Meng Chu, Chiu, Hua Sheng and Xiong, H. Henry, “Petri Net Scheduling of FMS Using Branch and Bound Method”, Proceedings of the 1995 IEEE IECON 21st International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, Volume 1, Iss. 6-10, pp. 211-216, November 1995.
55. Zhou, Meng Chu and Venkatesh, Kurapati, Modeling, simulation, and control of flexible manufacturing systems: a Petri Net approach, Series in Intelligent Control and Intelligent Automation, Volume 6, pp. 64-73, World Scientific Publishing Company, Singapore, 1998.
56. 白明憲，「生產排程—單機模式之研究」，政治大學企管研究所，碩士論文，民國 73 年。
57. 谷中昭、蔡瑞彬、郭俊良，「生產系統快速動態規劃建置技術計畫」，工業技術研究院，2006 年。
58. 李俊民譯，決策支援系統，華泰文化公司，1999 年。
59. 呂銘宏、周永樂，「電腦輔助機械性能監視診斷系統實用化轉動機械異常診斷專家系統知識庫 異常診斷知識庫之建立技術報告」，工業技術研究院，1990。
60. 吳俊逸，「智慧型製造系統技術 工程決策支援系統本體論知識庫設計建置技術研究 委託學界研究計畫書」，工業技術研

究院，2007。

61. 林我聰，現場排成專家系統，資訊與電腦叢書，民國 73 年。
62. 林宏澤，「分支界線法在流程工廠排程之應用」，台灣工業技術學院，碩士論文，民國 78 年。
63. 林怡仁，「以彩色裴氏網為主之模組化單元控制器之設計」，國立臺北科技大學工業工程與管理系，碩士論文，2005。
64. 秦劍雲，「知識庫支持之訂貨生產排程系統」，台灣工業技術學院，碩士論文，民國 78 年。
65. 周永樂，「電腦輔助機械性能監視診斷系統實用化轉動機械異常診斷專家系統技術先期研究 專家系統可行性研究技術報告」，工業技術研究院，1990。
66. 周政璋、林光甫，「專家系統在電腦整合製造系統(CIMS)之應用技術 CLIPS 原始碼解析技術報告」，工業技術研究院，1991。
67. 陳凱瀛，「生產單元控制器設計報告書」，工業技術研究院，1997。
68. 陳凱瀛 「監控系統規劃與設計(Design of shop floor control systems)」，機械工業雜誌 177 期，頁 151~頁 160，1997/12。
69. 郭俊良，吳美珍，「工程智庫應用(The application of Engineering Knowledge base)」，機械工業雜誌 261 期，頁 173~頁 191，2004/12。
70. 郭俊良，谷中昭、蔡瑞彬，「規則庫(Rule-Based)推論應用於生產派工(Rule-Based Inference apply to Production Dispatching)」，機械工業雜誌 291 期，頁 52~頁 66，2007/6。
71. 梁高榮，「分析層級程序法為基礎之物流專家系統研究報告」，工業技術研究院，1990。

72. 梁定澎，決策支援系統與企業智慧，松崗電腦圖書有限公司，1991年。
73. 曾憲雄、黃國楨、江孟峰、蔡昌均、林耀聰 編著，專家系統導論/工具/應用，文魁資訊股份有限公司，2002年。
74. 黃漢邦，「製造單元控制技術研究期末報告」，工業技術研究院，1991。
75. 資訊工業策進會，「現場排程法則庫建立」，現場排程技術計劃報告，民國83年。
76. 張文琦，「RFID為基之模組化彈性製造系統單元控制器之設計與發展」，國立台北科技大學工工程與管理系，碩士論文，2006年。
77. 張育仁，「應用於製造系統控制的階層式物件導向裴氏圖模式的發展」，東海大學工業工程研究所，碩士論文，民國81年。
78. 張光復、宮大川，「裴氏網基本理論探討」，工業工程學刊，第11期，No.1，第63-83頁，1999。
79. 劉睦雄、傅立成，「彈性製造系統 HDSS 排程能力之分析、評估及動態模擬期末研究報告」，工業技術研究院，1991。
80. 劉興煙、陳嘉璋、林光甫、林榮璋、徐逸輝、謝岳勳、張進群、谷中昭、侯俊傑，「專家系統在電腦整合製造系統(CIMS)之應用技術 CLIPS 原始碼解析技術報告」，工業技術研究院，1991。
81. 謝淑華，「無人搬運車系統模式及設施規劃研究報告」，工業技術研究院，1991。
82. Lin, J. T. and Lee, C. C., "A CTPN-based Scheduler for an FMC

” ， 中國工程學刊 ， ch2, 1995 。

83. Albir, Sinan Si 著 ， UML 技術手冊 ， 陳志昌 譯 ， 美商歐萊禮
台灣分公司 ， 台北 ， 1999 年 。

84. Maleki, Rezaa; 著 ， 彈性製造系統 ， 高進鎰、葛自祥譯 ， 高立
圖書有限公司 ， 台北 ， 頁 1-35、頁 121 ， 2000 年 。

85. Sprague, Ralph H., Carlson, Eric D. 著； 決策支援系統 ， 梁定澎
譯 ， 松崗圖書有限公司 ， 台北 ， 1983 年 。

