

東 海 大 學

工業工程與經營資訊研究所

碩士論文

多重代理人系統在有限資源限制下之
多專案排程研究



研 究 生：洪國庭
指 導 教 授：王偉華 博士

中 華 民 國 九 十 六 年 六 月

多重代理人系統在有限資源下的多專案排程研究

研究生：洪國庭

指導教授：王偉華 博士

東海大學工業工程與經營資訊研究所

中文摘要

在現代的工業環境中，生產排程以及有限資源的分配一直是很重要的部份。生產排程問題的特徵是以生產排程中所涉及之限制條件為主，如交期的滿足、作業的先後順序、複雜的資源配置等，而限制條件的複雜度會依不同的排程問題而有不同的考量。基於生產環境的日益複雜且快速變化等因素，求解排程問題時，所必須考慮的因素與限制條件相對複雜許多。但是問題的難度隨著需求的增加，其複雜度是隨著指數分配的型態跟著提高。因此，在資訊技術發達的時代，傳統的生產排程與資源分配的理念已經不符合現代的需求。

生產排程之經營資源分成人、物、金錢、資訊、時間和空間，在眾經營資源之中，會自己主動展開活動的僅有「人」這一項資源，其餘的經營資源都是由人所創造並加以活用而成為資源。因此，人是別樹一格並且尤其重要的資源。所以當生產排程時所考量的眾多限制條件，除了滿足現制條件以及在合理的時間內找出解答之外，還必須考量人力資源的配置。現今解決排程問題的方法中大部分技術使用集中式的運算規則，諸如啟發式演算法的模擬退火法、基因演算法等。但是，此類型的技術在限制問題不多的時候，確實可以解決問題，但是當問題不斷的擴大，限制不斷增多的時候，系統的負荷便逐漸上升，尋得最佳方法的時間便拖長，不具有即時性。因此，分散式人工智慧的方法便成為排程上的另一個研究主軸。

本研究在多重代理人之環境架構下，發展多重代理人協商機制中的合約網路協定(Contract Net Protocol)方法並搭配螞蟻演算法(Ant System)的概念，探討不同類型的人力資源在各工作站上不同的工作效率，不同的成本，各工作所需要的工作負荷也不同之狀況下，針對工廠內部有限資源下的排程問題進行研究並發展一個以人力資源觀點為主的有限資源下之多專案排程機制。並從限制的寬鬆至嚴謹設計不同的情境，以驗證系統的可行性。

關鍵字：有限資源專案排程問題、多重代理人、螞蟻演算法

A Study of Multi-Agent System in Project Scheduling with Limited Resource Constraints

Student : Kuo-Ting Hung

Advisor : Dr. Wei-Hua Andrew Wang

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

Abstract

Production Scheduling with limited resources always is the very important part in the industry environment. The features of production planning and scheduling are representing in the form of constraints such as fulfillment to deadline, priority of assignment, and arrangement of complicated resource. The complicated degree of constraints depends on different scheduling problem. Due to complicated production environment and rapidly change, it is more difficult to solve production scheduling problems. The complexity of scheduling problem will increase when it covers more variables, and the pattern is similar to the exponential curve.

Resource of the production scheduling can be divided into the manpower, the activities, the money, the informations, the time and the space. Manpower is the most important resource because it has closed relationship with other resources. When Schedule with those limited resource constraints, most researches solve by using operation research or heuristic rule. But as variables increasing, it needed to spend more time while used methodologies before mentioned. It is more difficult to solve production scheduling problems in a limited time. Therefore, the methodology of distributed artificial intelligence becomes an important issue in related research field.

In order to find the most suitable best solution, this research combines the contact net protocol of multi-agent system with ant system to design a project scheduling mechanism with resource constraints. These constraints include different working efficiency, different cost of manpower, and different working load. Finally, this research design various experiments form non-strict constraints to strict constraints for proving the feasibility of the mechanism.

Keywords : Project Scheduling with limited Resource Constraint, Multi-Agent, Ant System.

誌謝

本碩士論文的完成，首先必須感謝指導教授王偉華老師這兩年來所給予的耐心指導與教誨，讓學生在課業方面與待人處事上都獲得相當大的幫助，受益匪淺。此外，特別感謝潘忠煜老師以及廖仁傑老師於論文口試期間，對於論文的諸多指正與建議，使得本論文能夠更加完備。

兩年的研究所生涯中，一路走來遇到了不少的挫折與低潮，過程非常的不輕鬆，但卻也為自己的成長感到高興。特別兩年中研究室成員的陪伴與關懷，感謝俊良學長、廖大哥、展哥在學生研究上的眾多指導，好戰友于倫與秉芳在論文撰寫期間不斷的給予打氣、互相的激勵與討論，學弟妹阿昆、偉傑以及韋瑀的幫助。

最後，特別要感謝我的家人與女友，總是默默的付出與陪伴，並且不斷的給予鼓勵與關懷，讓我能順利地完成學業。在此，僅以此小小的成果，獻給所有關心我、支持我的人，謝謝你們。

洪國庭 謹誌於

東海大學工業工程與經營資訊研究所

中華民國九十六年六月

目錄

中文摘要.....	ii
Abstract.....	iii
圖目錄.....	vii
表目錄.....	ix
第一章 緒論.....	10
1.1 研究背景與動機.....	10
1.2 研究目的.....	13
1.3 研究範圍限制與假設.....	14
1.4 研究方法與步驟.....	15
1.5 論文架構.....	16
第二章 文獻探討.....	17
2.1 排程問題.....	17
2.1.1 排程問題分類.....	17
2.1.2 排程問題的研究方法.....	18
2.1.3 有限資源專案排程問題.....	20
2.2 人工智慧(Artificial Intelligence).....	24
2.2.1 代理人概念.....	25
2.2.2 多重代理人系統.....	27
2.3 合約網路協定(Contract Net Protocol).....	30
2.4 螞蟻系統(Ant System).....	31
2.4.1 蟻群系統介紹.....	32
2.4.2 螞蟻群落系統 (Ant Colony System).....	34
2.5 薪資結構.....	34
第三章 多重代理人系統之建構與搜尋方法.....	37
3.1 問題描述.....	37
3.2 多重代理人環境架構設計.....	41
第四章 實例驗證研究.....	54
4.1 測試範例說明.....	54

4.1.1 專案與工作站關係圖	54
4.1.2 資源與工作站資訊表	55
4.2 多重代理人之協商溝通架構以及參數設定	56
4.2.1 多重代理人之協商溝通架構	56
4.2.2 參數設計	58
4.3 實驗結果	62
4.3.1 不同交期的排程狀況	64
4.3.2 不合理工作站負荷狀況之排程	70
4.3.3 不同生產線不同交期狀況下的排程	73
4.3.4 專業限制下不同產線不同交期情況之排程	76
4.3.5 專業限制及不合理工作站負荷下不同交期情況之排程	78
4.3.6 專業限制及不合理負荷在資源限制下之不同交期情況排程	79
4.4 實驗結果	81
第五章 結論與未來研究方向	83
5.1 結論	83
5.2 建議與未來研究方向	83
參考文獻	85
附錄一 不同參數之實驗設計	90

圖目錄

圖 1.1 多重代理人之議題與方法示意圖	12
圖 1.2 問題描述示意圖	13
圖 1.3 研究步驟流程圖	15
圖 1.4 論文架構圖	16
圖 2.1 有限資源的專案排程問題分類圖	21
圖 2.2 分散式問題解決系統之基本示意圖	24
圖 2.3 分散式人工智慧與多重代理人系統概念圖	27
圖 2.4 分散式人工智慧研究之分類圖	29
圖 2.5 螞蟻的行為模式	32
圖 2.6 薪資報償系統之構面組合圖	35
圖 3.1 工作站關係圖	37
圖 3.2 資源分配圖	38
圖 3.3 人力資源分配圖	39
圖 3.4 資源配置問題圖	40
圖 3.5 代理人關係圖	42
圖 3.6 工作站代理人邏輯圖	43
圖 3.7 資源代理人邏輯圖	44
圖 3.8 工作站代理人邏輯圖	45
圖 3.9 資源配置邏輯圖	46
圖 3.10 排程代理人邏輯圖	49
圖 3.11 程式邏輯圖	53
圖 4.1 生產線與工作站之關係圖	54
圖 4.2 交期為 15 天的排程狀況	64
圖 4.3 交期為 17 天的排程狀況	65
圖 4.4 交期為 19 天的排程狀況	66
圖 4.5 交期為 20 天的排程狀況	67
圖 4.6 交期為 15 天的收斂狀況	68
圖 4.7 交期為 17 天的收斂狀況	68
圖 4.8 交期為 19 天的收斂狀況	69

圖 4.9 交期為 20 天的收斂狀況.....	69
圖 4.10 交期為 20 天的狀況二排程.....	71
圖 4.11 交期為 20 天的狀況二排程收斂狀況.....	71
圖 4.12 交期為 15 天的狀況二排程收斂狀況.....	72
圖 4.13 交期為 15 天的狀況二排程收斂狀況.....	73
圖 4.14 交期為 18, 16 的狀況三排程狀況.....	74
圖 4.15 交期為 18, 16 的狀況三排程收斂狀況.....	74
圖 4.16 交期為 19, 17 的狀況三排程狀況.....	75
圖 4.17 交期為 19, 17 的狀況三排程收斂狀況.....	76
圖 4.18 交期為 19, 17 的狀況四排程狀況.....	77
圖 4.19 交期為 19, 17 的狀況四排程收斂狀況.....	77
圖 4.20 交期為 19, 17 的狀況五排程狀況.....	78
圖 4.21 交期為 19, 17 的狀況五排程收斂狀況.....	79
圖 4.22 交期為 19, 17 的狀況六排程狀況.....	80
圖 4.23 交期為 19, 17 的狀況六排程收斂狀況.....	80
圖 A-1.1 參數為 $(\alpha, \beta)=(1, 2)$, $Q_1=1$, $Q_3=1$ 排程收斂狀況.....	90
圖 A-1.2 參數為 $(\alpha, \beta)=(1, 2)$, $Q_1=1$, $Q_3=2$ 排程收斂狀況.....	90
圖 A-1.3 參數為 $(\alpha, \beta)=(1, 2)$, $Q_1=1$, $Q_3=3$ 排程收斂狀況.....	91
圖 A-1.4 參數為 $(\alpha, \beta)=(1, 2)$, $Q_1=1$, $Q_3=4$ 排程收斂狀況.....	91
圖 A-1.5 參數為 $(\alpha, \beta)=(1, 2)$, $Q_1=1$, $Q_3=5$ 排程收斂狀況.....	92
圖 A-1.6 參數為 $(\alpha, \beta)=(2, 3)$, $Q_1=1$, $Q_3=1$ 排程收斂狀況.....	92
圖 A-1.7 參數為 $(\alpha, \beta)=(2, 3)$, $Q_1=1$, $Q_3=2$ 排程收斂狀況.....	93
圖 A-1.8 參數為 $(\alpha, \beta)=(2, 3)$, $Q_1=1$, $Q_3=3$ 排程收斂狀況.....	93
圖 A-1.9 參數為 $(\alpha, \beta)=(2, 3)$, $Q_1=1$, $Q_3=4$ 排程收斂狀況.....	94
圖 A-1.10 參數為 $(\alpha, \beta)=(2, 3)$, $Q_1=1$, $Q_3=5$ 排程收斂狀況.....	94
圖 A-1.11 參數為 $(w_1, w_2, w_3)=(4, 4, 1)$ 排程收斂狀況.....	95
圖 A-1.12 參數為 $(w_1, w_2, w_3)=(4, 4, 2)$ 排程收斂狀況.....	95
圖 A-1.13 參數為 $(w_1, w_2, w_3)=(3, 3, 2)$ 排程收斂狀況.....	96
圖 A-1.14 退化率 $\rho=0.95$ 排程收斂狀況.....	96
圖 A-1.15 退化率 $\rho=0.9$ 排程收斂狀況.....	97
圖 A-1.16 人力資源不足的排程收斂狀況.....	97

表目錄

表 2.1 有限資源專案排程問題文獻整理表	23
表 2.2 代理人系統分類表	26
表 3.1 資源分配表	38
表 3.2 費洛蒙更新範例	48
表 4.1 人力資源對工作站的工作效率以及成本關係表	55
表 4.2 工作站的工作時間以及需求工時負荷表	55
表 4.3 代理人參數設計概況表	60
表 4.4 費洛蒙參數設計概況表	61
表 4.5 資源參數設計概況表	62
表 4.6 特殊狀況之工作站的工作時間以及需求工時負荷表	70
表 4.7 具專業限制之人力資源對工作站的工作效率以及成本關係表	76
表 4.8 狀況一之排程結果列表	81
表 4.9 狀況二之排程結果列表	81
表 4.10 狀況三之排程結果列表	81
表 4.11 狀況四之排程結果列表	81
表 4.12 狀況五之排程結果列表	82
表 4.13 狀況六之排程結果列表	82

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

面臨全球市場的競爭與資源全球化的潮流，企業應思考如何有效地運用多樣化的全球資源，來面對日益激烈的市場競爭與挑戰，以獲取企業生存與競爭的利基。因此，供應商、服務提供者、客戶等，都是供應鏈上的重要環節，有效地協調供應鏈成員之間的合作關係，實際地分享企業營運的資訊，妥善地規劃資訊與資源的分享，合理化的生產，彈性製造，即時回應市場的需求，才能發揮企業合作後最大的綜效。

工業界中最常困擾工廠的就是排程問題。排程的問題會隨著排程的限制以及變數的增加，其複雜度會呈現非線性曲線狀態上升。因此對於製造組裝業的長期規劃，在解決排程的問題上則具有一定的困難處。各個不同的產業皆有其為了特定的需求而必須存在的限制條件，如：加班時間的限制、穩定投料的限制、資源分配的需求...等。在資源的使用，宇角英樹(2002)將經營資源分成人、物、金錢、資訊、時間和空間，並認為在眾經營資源之中，會自己主動展開活動的僅有「人」這一項資源，其餘的經營資源都是由人所創造並加以活用而成為資源。因此，人是別樹一格並且尤其重要的資源。

今日，大部分的製造業仍是透過員工，以人力的方式配合軟體工具來安排生產排程，而這部分通常也必須透過有經驗的管理人員所提供之相關經驗與專業知識的協助，才能快速且正確的排出生產排程，否則，由於現場不確定因素多且無法及時提供正確的資訊，將使得生產規劃與生產排程無法有效且正確的反映現場之實際生產情形，而與現場作業嚴重脫節。本研究基於上述的因素針對人力資源的排程深入探討。

排程理論自 1950 年代發展至今，用以解決排程問題的手法層出不窮，經過多位學者的歸類與探討，方曉嵐(1996)將其主要分為兩個趨勢來進行說明：

1. 作業研究 (Operations Research, OR) 排程法
2. 人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 排程法

現今解決排程問題的方法中大部分技術使用集中式的運算規則，諸如啟發式演算法的模擬退火法、基因演算法等。但是，此類型的技術在限制問題不多的時候，確實可以解決問題，但是當問題不斷的擴大限制與不斷增多的時候，系統的負荷便逐漸上升，尋得最佳方法的時間便拖長以及不具有即時性。

人工智慧的領域中，用分散式人工智慧的方法解決生產排程上的問題也已經有一段歷史。自 1980 年代開始，麻省理工學院設立的分散式人工智慧研究小組所研究的分散式人工智慧技術開始，分散式人工智慧除了研究平行運作的課題之外，探討如何利用代理人自主且快速的共同合作去解決問題的相關研究，也提供了另一類解決排程問題的方法。在分散式人工智慧的發展中，多重代理人系統(Multi-Agent System, MAS)尤其受到重視。Edwin and Michael (2001)提出幾項多重代理人架構的優點，敘述如下：

1. 在 MAS 下，可讓使用者更加明瞭在組織中團隊合作與社會行為。
2. 在規劃多目標問題時，必須處理大量有關資源資訊及目標間的關連性問題。利用集中式系統規劃有其缺失，所以可採用 MAS 的架構。
3. 由於 MAS 架構的平行運算的特性，在相同目標中其求解過程時間比以集中式運算會較為迅速。

在以代理人為基礎的生產排程上有四個主要議題(Weiming, 2002)：

1. 代理人特性(Agent Encapsulation)
2. 協商與溝通(Coordination and Negotiation Protocol)、
3. 系統的建置(System Architecture)、
4. 各代理人間的決策方法(Decision Schemes for Individual Agent)。

在以代理人為基礎的排程資源分配問題的(Resource Allocation Problem)發展上，則多是利用協商與溝通的方法來解決問題。其中比較常被使用的有兩種方法：合約網路協定(Contract Net Protocol)以及市場機制(Market-Base Approach)。整理如下頁圖 1.1 所示。

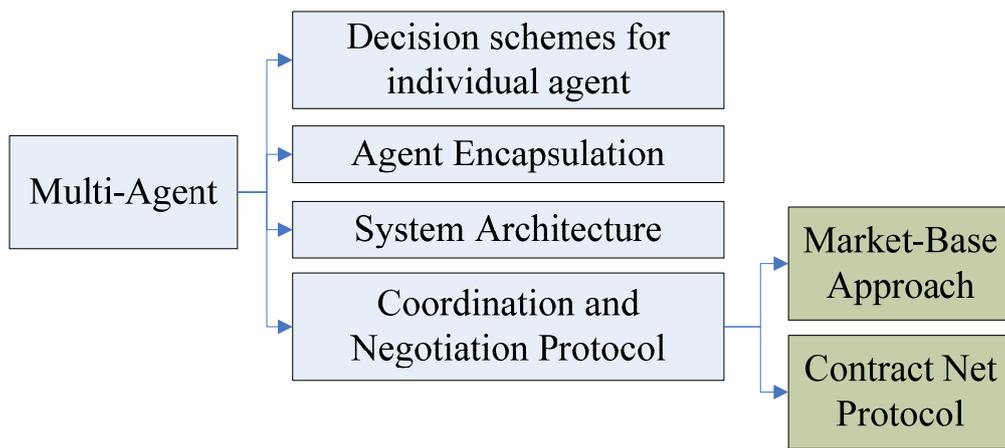


圖 1.1 多重代理人之議題與方法示意圖

許多研究運用代理人的概念，透過代理人之間相互合作、交涉協商的機制，有效的解決生產排程、資源分配等的問題，如Gilles and Alexandru (2004)運用智慧型代理人解決資源分享的問題，Yijun and Zhan (2005)設計多重代理人系統的同步資源共用的裝置解決同步資源共用問題等。而使用多重代理人的黑板架構(blackboard structure)或是行動邏輯(action-like algorithm)來解決分散性資源指派問題也有不錯的成果(Holger, 2006)。運用不同能力代理人之間的組合並共同解決問題的方式逐漸開始取代以往單一集中式的方法。因此本研究著重於基於以人力資源為主的排程架構。

一般排程研究大都將人力資源視為全能工，此亦即每位人力資源在從事生產作業時所做的工作與效率及成本都是相同的。但是工廠的運作在人力使用卻不是這樣的，除了自動化與高科技工廠等相對於其他傳統產業較為不注重人力資源的排程，或是具有完善分工制度的工廠，可以讓每位人力都只做同一件事情之外。不同的人力資源具有不同的工作效率以及其熟悉的工作，相對的成本也會不同。於是排程上不同類型的人力資源的配置勢必要被考量在資源的配置上。

在多專案的工廠生產排程中有多種類型的人力資源，每類型的人力資源被應用在不同的工作機臺上所產生的效率以及成本皆會不同。如下頁圖 1.2所示：

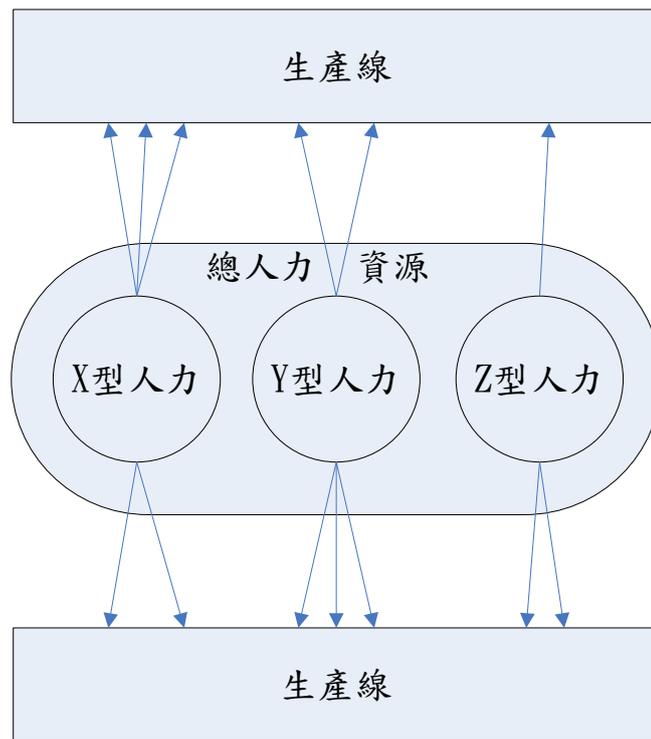


圖 1.2 問題描述示意圖

如何在有限且多類型的資源下找出有效且總生產成本最小，即為本研究所探討的主題。

本研究擬利用 ILOG SCHEDULER 作為平臺以快速解決生產排程內工作站之間的限制問題，並探討分散式人工智慧的方法，運用多重代理人系統的概念有效且快速的分配人力資源。最後找到最小成本下的專案排程。

1.2 研究目的

本研究所探討的問題，是屬於最佳化的排程問題。在傳統使用 OR 技術或是使用單一決策中心的機制來規劃排程必須在時間非常足夠的情況下，理論上是可以解決問題的。但是隨著限制的增多以及專案複雜度的增加所需要的時間是隨著指數函數上升的，換言之必須在有限時間內求得最佳解的難度就變的非常高。因此如何在合理時限內找出近似最佳解，即為本研究的目的。

在資源配置的排程方面，由於不同類型的人力資源在各工作站上的工作效率不同，各工作所需要的工作負荷也不同，在配置人力資源的時候，應以工作負荷為目標，配置合理且高效率的人力資源去完成作業。本研究

將以多重代理人之環境架構下，發展一個以人力資源觀點為主的有限資源下之多專案排程機制。因此本研究發展多重代理人協商機制中的合約網路協定(Contract Net Protocol)方法並搭配螞蟻搜尋法(Ant System)的概念，來解決此一問題。每位工作代理者透過合約網路協定機制與其他工作代理者相互競爭人力資源，再透過螞蟻搜尋法的概念搜尋出近似最低成本的排程。並將資源轉化成有效工作時數，代入 ILOG SCHEDULER 排程軟體做為時間的限制條件。在已知工作時間以及各機台之間的限制後，利用 ILOG SCHEDULER 軟體完成整體排程，最後尋找出近似最佳解。

1.3 研究範圍限制與假設

本研究的目的是在於在排程中有效的分配人力資源以達到專案排程成本最小化的目標。本研究提出一個多重代理人的協同溝通模式搭配啟發式演算法概念，並運用 ILOG SCHEDULER 軟體系統建立以人力資源為主的排程系統。本實驗範圍限制如下：

1. 本研究設計之專案內各活動的前後關係是已知的。
2. 本研究設計之專案內的各類人力資源的工作效率是已知的。
3. 本研究設計之專案內各個工作站的工作負荷以及需求時間是已知的。
4. 各作業開始工作時並沒有前置時間。
5. 專案所配置的人力資源之間不考慮其搭配性，意即人力資源與人力資源之間是互相獨立的。
6. 本研究的實驗設計，只探討小型多專案下的排程。
7. 本研究代理人的設計都是自身利益最大考量的利益代理人。
8. 本研究考量交期時間內的資源需求成本最低，並不考量延遲成本。
9. 本研究並不考量物料的搬運成本及時間。

1.4 研究方法與步驟

本研究主要以實驗的方式進行研究。利用 ILOG SCHEDULER 軟體，並設計多重代理人協商機制以及建立排程系統，再評估排程系統在人力資源排程上的成本效益以找出最低排程成本。其研究步驟如下：

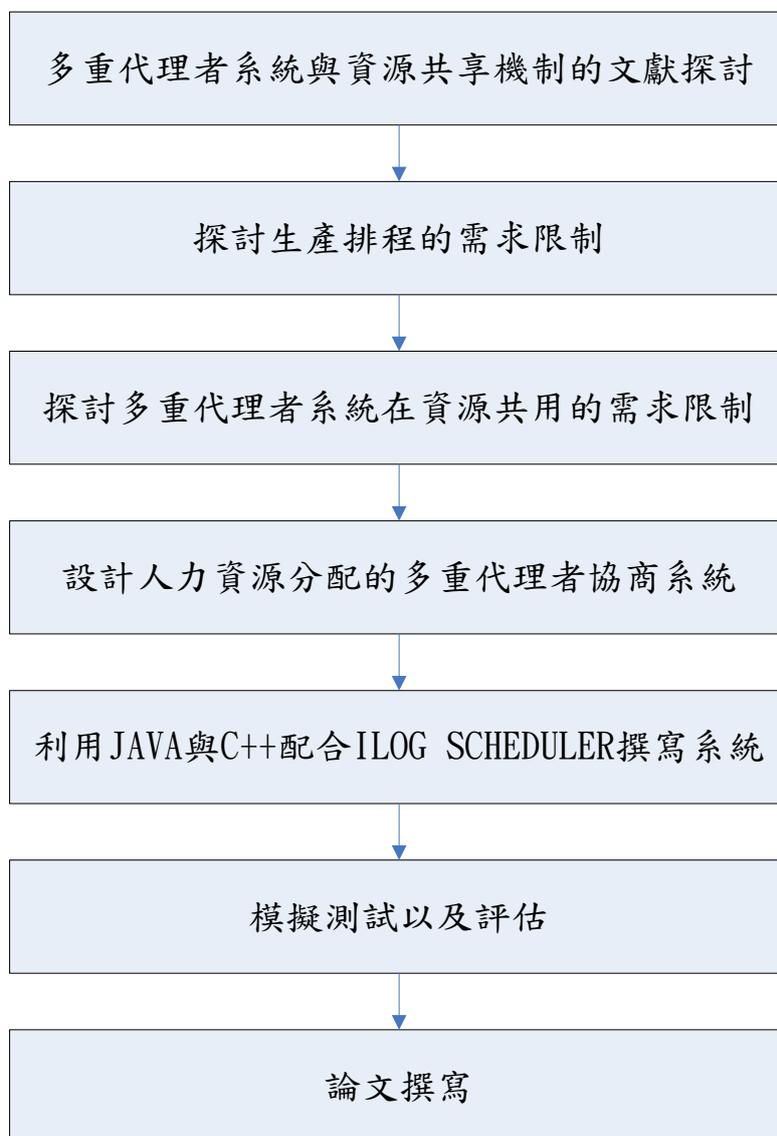


圖 1.3 研究步驟流程圖

1.5 論文架構

本研究共分為五個章節，第一章節說明本研究的背景與動機、研究目的以及研究範圍和研究假設。第二章針對論文所涉及的理論、方法以及工具做相關的文獻探討，包含了多重代理人系統、限制滿足問題、排程與重排程問題等的相關文獻。第三章則為依據文獻探討，設計專案排程的系統機制。第四章根據設計的系統進行模擬以及測試。第五章根據研究的實驗所得說明研究的成果以及未來的發展方向。

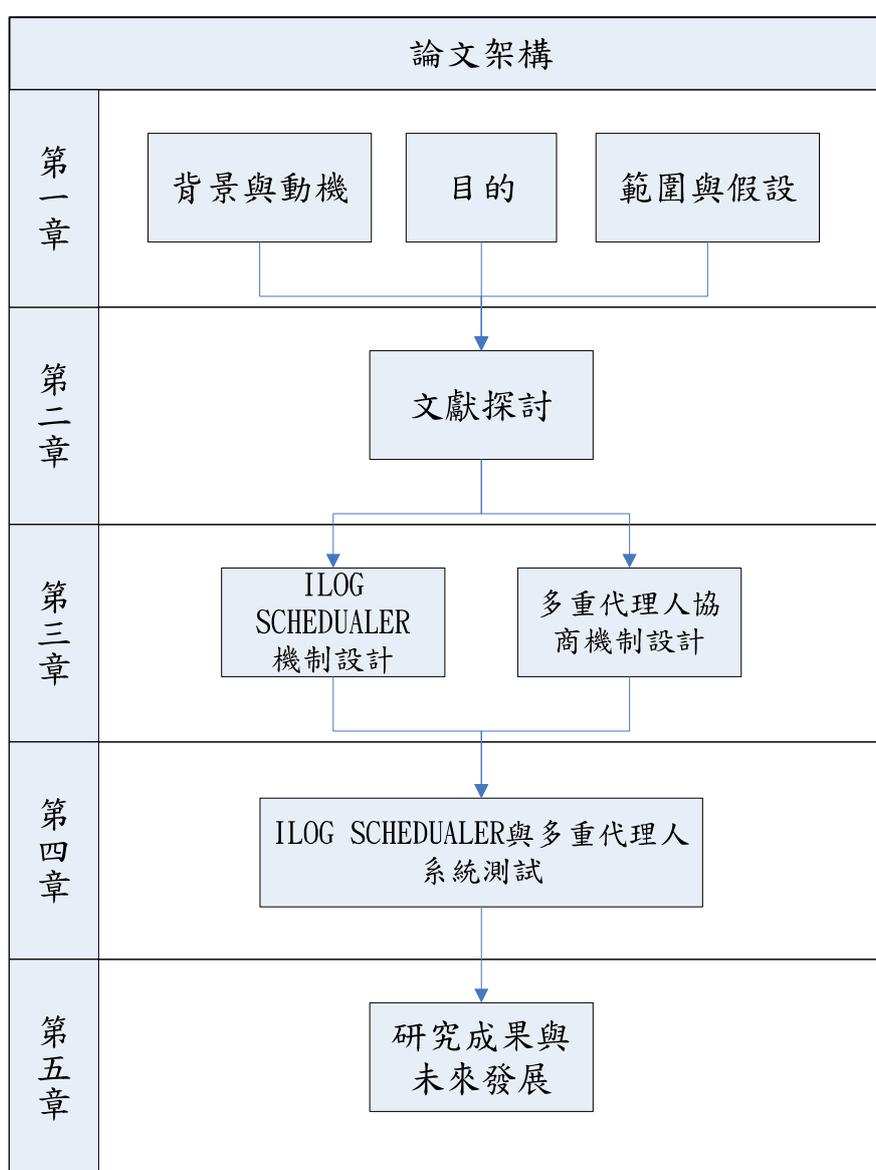


圖 1.4 論文架構圖

第二章 文獻探討

2.1 排程問題

所謂排程問題就是在有限的資源環境下，探討一群集合之工作如何有效率地分配，以滿足組織的需求。在製造系統中，排程安排各種製造資源給不同的工作，這些製造資源包括了機器、操作員、原料、刀具、夾具、物料搬運系統、暫存空間等等。簡單來說，排程方式決定工件何時開始、何時完成、並在那一台機器上進行加工。而生產排程問題主要是在探討工廠現場如何作有限資源的分配（例如機器、作業員、物料等）給一群工作（以工單方式呈現），以滿足組織之需求（如交期、製造時間或資源使用率等）。排程問題所牽涉的領域範圍很廣，從員工的排班、鐵公路時刻表、飛機的起降、電腦程式的執行到工廠的生產排程，都需要用到。

2.1.1 排程問題分類

依據不同的生產型態，工作現場排程上也會有不同的問題產生，而且完成工作現場排程的困難度也不盡相同。一般依兩項分類來探討（湯璟聖, 2003），第一是依工件到達及作業特性分類；第二是依機器數目及路徑型態分類，分別敘述如下：

一、依工件到達及作業特性分類

工件的到達方式可為同時或間歇，其相對應到的作業特性分別為固定且已知的工件資料與推測的資料。再加上，該工件的到達若呈某一機率分配，皆影響著其作業特性，分類如下：（黃維曄, 1994; 周書賢, 2001; Musselman *et al.*, 2002）

- 1、靜態(Static)模式：在排程中，工件數目及作業內容均為固定且已知。所有工件須同時到達且同時完成作業內容的排程，若下一批新進的工件，須等到前述排程週期被完成，才得以考慮。
- 2、動態(Dynamic)模式：工件數目或作業內容隨時間變動而改變，亦即工件可隨著不同時間點被釋放到工作場所及現行的排程當中。

- 3、 確定性(Deterministic)模式：工件在各機器上之加工時間為固定常數。
- 4、 隨機性(Stochastic)模式：工件在各機器上之加工時間不固定，且可能依循某種機率分配。

二、依機器數目及路徑型態分類

藉由工作現場中所使用機器的數目以及工件流經機器的路徑型態來加以分類：（黃維曄, 1994; 周書賢, 2001; Musselman *et al.*, 2002）

- 1、 單一機器(Single-Machine)：只有一部機器，且每一工件皆由此機器處理完成。
- 2、 平行機器(Parallel-Machine)：具有一部以上機器，機器間彼此獨立且平行運作，而且任一工件可在任一機器上作處理加工。機器間依其處理速度可分為等效(Identical)與不等效(Non-identical)，等效平行機是指所有機器的處理速度一致，而不等效平行機是指機器的處理速度並非一致。
- 3、 流線型工廠(Flow-Shop)：所有工件均有相同的處理程式，即每一工件須經過一部以上的機器加工處理且順序是一致的。
- 4、 零工型工廠(Job-Shop)：在 m 台機器當中，每一工件皆有自己所屬的處理路徑。零工型排程問題與流線型排程問題之相異點在於零工排程中，每一工件會有不同的加工處理路徑。
- 5、 開放型工廠(Open-Shop)：為零工型工廠的一種特例，與一般零工型工廠之相異點在於所有工件經過機器之順序是不固定的。其特點在於排程必須同時考慮每一工件選擇加工機器之順序及每一機器上工件處理順序。

2.1.2 排程問題的研究方法

排程理論自 1950 年代發展至今，用以解決排程問題的手法層出不窮，經過多位學者的歸類與探討；學者將其主要分為兩個趨勢來進行說明(方曉嵐, 1996)：

1. 作業研究 (Operations Research, OR) 排程法，強調數學規劃的方法來建立排程模式，或利用啟發式搜尋法來求得最佳或近似最佳的排程。包含有線性規劃 (Linear Programming)、動態規劃 (Dynamic Programming)、幹支界限法 (Branch and Bound Method)、啟發式方法 (Heuristic Rule) 等方法。
2. 人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 排程法，則模擬人類解決問題的思考方法或人類某部分器官的功能來解決複雜度較高的排程問題。此部分包含有專家系統 (Expert Systems ; ES)、類神經網路 (Artificial Neural Networks ; ANN)、基因演算法 (Genetic Algorithm ; GA)、限制條件滿足技術 (Constraint Satisfaction Techniques ; CST)、多重代理人系統 (Multi-Agent Systems ; MAS) 等方法。

同時，為解決排程的問題，多位學者相繼提出的各種排程的方法及系統架構。將這些理論與系統架構在細分為下列幾種模式：

1. 簡單派工法 (Dispatching Rule)：較適合於簡單的派工問題（如單機或多機單階段的情況）。通常以簡單的準則進行工作的排序，對較複雜的排程問題，無法求得最佳解。但是一些簡單的派工法則常會被併入啟發式解法中，作為啟發法在排序尚有衝突的判斷工具。常見的簡單派工法則，如最短加工時間法 (Shortest Processing Time First ; SPT)、最常加工時間法 (Longest Processing Time First ; LPT)、先進先出法 (First In First Out ; FIFO)、最早到期日 (Earliest Due Date ; EDD) 等。
2. 數學規化方法 (Mathematical Programming)：早期專家、學者大多著重於此法，目前較常使用的數學法 (Mathematical Programming) 有線性規劃 (Linear Programming)、動態規劃 (Dynamic Programming)、幹支界限法 (Branch and Bound Method)、整數規劃 (Integer Programming) 及等候線理論 (Queueing Theory) 等。此方法則根據系統的限制條件和目標，利用作業研究的方法，求得最佳解；而此法較常應用在小型的排程問題。
3. 啟發式方法 (Heuristic Rule)：啟發式方法是利用一些簡單的邏輯判斷法則，來簡化求解過程，它的目的在於減少求解時所需花費的搜尋時間與空間，使用上非常的簡單方便，但是它不能保證求得結果是有效的。因此，啟發式法則的優點在於容易建構且較適用於動態問題，至於其缺點

則在於無法擔保在各種環境下都能找到最佳解，也就是說，每一種啟發式法則有其適用的環境，並非所有的環境都適用。

4. 基因演算法 (Genetic Algorithms, GAs)：基因演算法係於 1975 年，由美國密西根大學學者 John Holland 所提出，主要的目的是在建立一套具有生物自然特性的人工系統，以便模擬與解釋生物系統的進化過程。基因演算法是一種模擬「物競天擇」與「自然遺傳」的搜尋法則，透過複製 (Reproduction)、交配 (crossover)、突變 (mutation)，尋找問題的近似最佳解。
5. 電腦模擬法(Simulation)：電腦模擬法較數理規畫容易控制，此乃由於模擬法較接近真實系統。然而其缺點在無法保證模式能夠求得最佳的排程結果，通常也配合著啟發式方法使用，且建模和模擬測試時間過長，間接形成模擬普遍化的障礙。
6. 人工智慧 (Artificial Intelligence, AI)：人工智慧方法，對於複雜和類似的系統，能夠經由大量的搜索空間和專家知識，有效率的搜尋且得到良好的答案。目前較為專家所採用的方法有專家系統和類神經網路；雖然此類方法所求得的解較近似最佳解，但系統建構上卻十分的困難。優點在於可利用人類的經驗判斷與解題技巧，進行即時性的判斷解題，然而其缺點是無法保證能夠獲得最佳解和知識的取得困難。

2.1.3 有限資源專案排程問題

最早發展出來的專案排程是以計劃評核數(Program Evaluation and Review Technique, PERT)以及要徑法(Critical Path Method, CPM)兩種工具最常被使用。但是此兩種方法皆是處在資源充分供應的假設之下，但是在現實情況中這是不會存在的。因為在整個專案執行的過程中一定會發生資源相互衝突的狀況，進而出現了資源分配(Resource Allocation)的問題。

Boctor (1990)針對有限資源專案問題提出一個詳細的定義：「有限資源專案排程問題，是由一群具有優先順序以及限制的關係活動組合而成，並在已知的作業時間以及資源需求下執行各項作業，當任何一個作業被執行時，在執行期間必須隨時更新資源的使用量，最後達成某些管理目標的最佳化。」

因此在考量有限資源下的專案排程時除了作業優先順序以及時間因素

外，還必須考量到資源的限制問題。此類問題通常具有以下的假設限制(高文慶, 2004)：

1. 無論在單一專案或多專案排程問題中，每個專案都包含了許多項的作業，而每一項的作業時間(Duration)是固定且已知的。
2. 作業存在有優先的順序的關係，在先行作業(Predecessor Activities)未完成之前，此作業不得開始。
3. 不考慮前置時間(Lead Time)或是將其包含在作業時間內。
4. 使用的資源是有限制的，且在專案過程中，不可臨時增加或是減少某些資源。
5. 任何一項作業開始後不得中斷。
6. 各作業在進行的任何一個時間點，所需資源數是固定且已知的。
7. 資源的可用數量、作業時間、資源需求數量為整數且不可分割。
8. 最終目標由管理者決定。

有限資源專案排程問題的發展已經發展了非常多年，主要具有六分類(蔡登茂, 1996)，本研究修改並整理如圖 2.1：

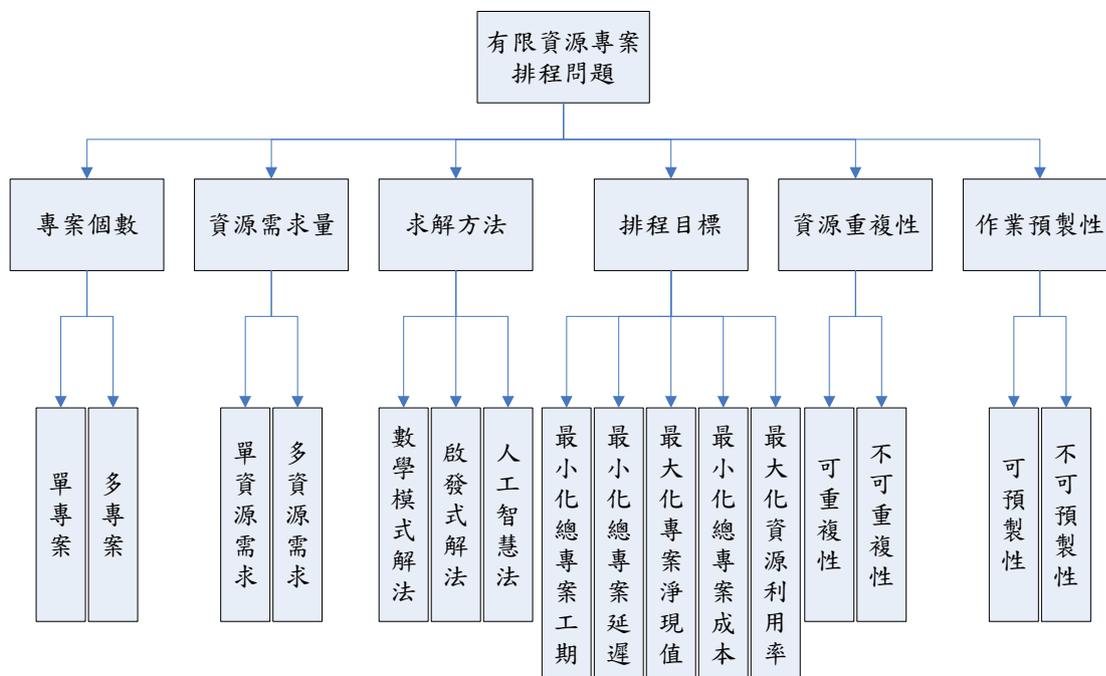


圖 2.1 有限資源的專案排程問題分類圖

1. 專案排程個數分類：分為單一專案排程問題以及多專案排程問題。
2. 使用資源類型分類：單資源或是多資源限制問題。
3. 求解方法：傳統數學模式解法、啟發式解法(Heuristics Method)以及人工智慧法(Artificial Intelligence)。
4. 資源是否可重複使用：資源的使用分為可重複使用的資源，如：人力資源、機器…等。以及不可重複使用的資源，如：金錢、原物料…等。
5. 排程的目標：
 - (1)最小化總專案工期問題(Minimization of Total Project Duration)：此即為在不違反作業先後順序及資源限制的狀況下，使專案完成的工期可以達到最短。
 - (2)最小化專案延遲問題(Minimization of Total Project delay)：此為上述問題的延伸，但是完成工期已經確定會延遲的情況，如何最小化延遲時間。
 - (3)最大化專案淨現值問題(Maximization of Total Project Net Present Value)：主要是將專案完成後的利益折現回到原始起點時，判斷專案的投資效益如何達到最大。
 - (4)最小化專案成本問題(Minimization of Total Project Cost)：在資源有限制時，如何配置合適的資源使專案的總成本可以達到最小，此問題中視情況需要考量到延遲成本或是閒置成本。
 - (5)最大化資源利用率問題(Maximization of Resource Utility Rate)：此即不違反作業先後順序及資源限制的狀況下，擁有資源的使用率(使用資源數/可供使用資源數)能夠達到最高。
6. 作業預製性(Preemptive)：此即作業從開始到結束期間，若不可中斷則稱為不可預製性，若是可以中斷則稱為可預製性。但是現今的研究大多限制在不可預製性的情況下。

現今針對有限資源專案排程問題求解的方法中，數學模式求解的方法由於隨著限制與複雜度的上升在時間上的需求過重，雖然可確定能找到最佳解，但嚴重影響到尋找效率，現今主要是以啟發式解法以及人工智慧方法為主流。文獻整理如表 2.1：

表 2.1 有限資源專案排程問題文獻整理表

時間	作者	研究主題
1963	Kelley	首次提出有限資源專案排程問題，並提出啟發式解法。
1973	Talbot and Patterson	發展整數規劃模式求解有限資源專案排程問題。
1982	Talbot	在多資源的限制下，考量時間與成本間的取捨，並提出啟發式解法建立一排程模式。
1990	Boctor	利用平行法以及串列法的優先規則以 66 個題目測試，並建議選取優先規則的策略。
1997	Boctor	應用模擬退火法求解多資源限制下之資源專案排程問題。
2000	Kim 等人	運用多重代理人協商技術解決有限資源專案排程問題。
2002	Merkel	運用螞蟻演算法並提出另一種新的費洛蒙更新方式求解有限資源專案排程問題。
2003	Kim 等人	運用遺傳演算法結合模糊理論解決有限資源專案排程問題。
2005	Jing Hua 等人	運用多重代理人競標技術解決有限資源多專案限制下的排程問題。
2006	Holger	運用多重代理人市場機制技術解決動態系統下的資源配置問題。
2001	蔡政峰	運用遺傳演算法多目標解決有限資源專案排程問題。
2003	蔡登茂等人	利用模擬多目標線性規劃模式求解有限資源專案排程問題

2004	高文慶	運用螞蟻演算法求解有限混合資源之專案排程問題。
------	-----	-------------------------

運用工作中心為主的啟發式解法，在現今限制式逐漸變多的情況之下越來越需要更多的時間來搜尋近似最佳解，已經漸漸不敷使用，因此使得使用工作分散式技術來求解有限資源專案排程逐漸上升，但是國內運用人工智慧技術求解此類問題的文獻寥寥無幾。

本研究同時考量在交期內多專案、有限多資源、資源可重複使用，並以最小專案成本以及最大資源使用率為目標之多目標專案排程。在眾多限制下，工作中心的方法已經不敷使用，因此本研究採用工作分散式的人工智慧的方法以解決有限資源下的多專案排程。

2.2 人工智慧(Artificial Intelligence)

在分散式人工智慧的研究，分為分散式問題解決(Distributed Problem Solving, DPS)以及多重代理人系統(Multi-agent Systems, MAS)。如圖 2.2 所示。

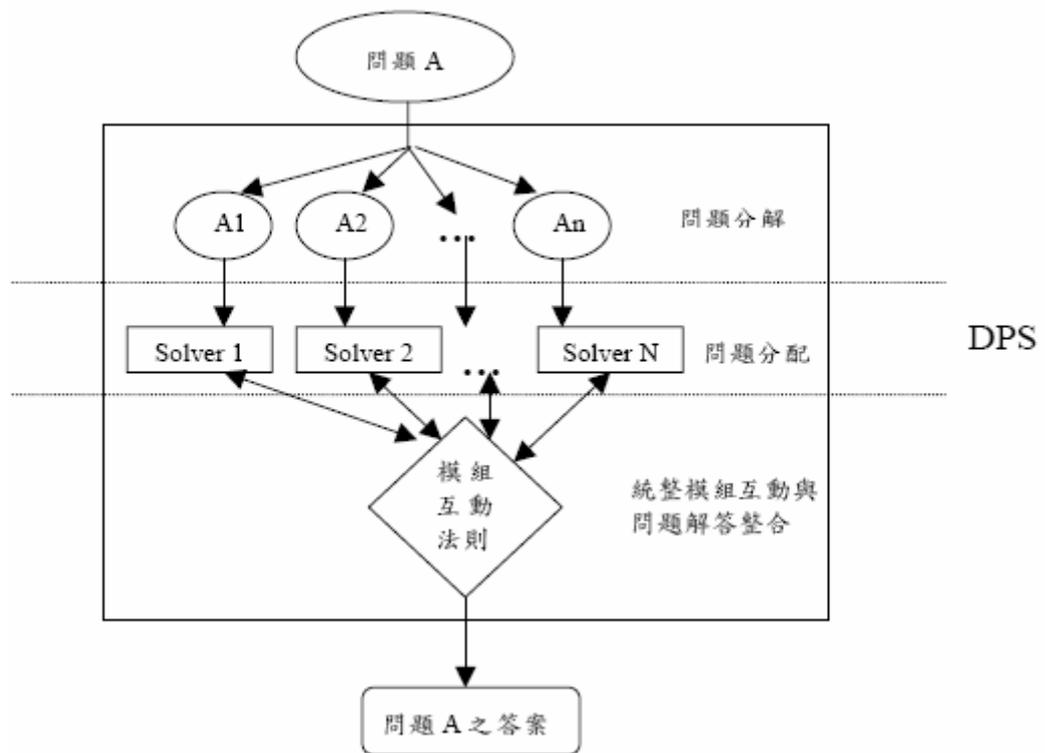


圖 2.2 分散式問題解決系統之基本示意圖

DPS 著重於一群程式模組(modules 或 nodes)如何以劃分及分享有關問題的資訊，來共同解決問題。而這些模組之間要如何合作互動的策略，都已經事先整合在一個完整單一的集中式系統當中。例如：有一問題 A 經 DPS 分解為 A1、A2、...、An 等數個小問題，再經由 DPS 分配至各個問題解決者(solver)。最後再根據 DPS 各模組之間互動的設定，整合各個模組所解決的問題(彭宗傑, 2000)。

2.2.1 代理人概念

在人工智慧的研究領域裡,以代理人為基礎系統的技術已被視為軟體系統在架構、設計以及實行上的全新典範。代理人指的是代替使用者獨立運作的複雜電腦程式,在開放且分散的環境下，處理數量眾多的複雜問題。其中，對於可合作多重代理人的應用，需求量更是與日俱增。多重代理人系統(MAS)是一個結構分散的軟體代理人網路，各種難度遠超過單一代理人知識能力所及的問題，都可以在 MAS 中，藉由眾多代理人之間的互動合作來輕鬆解決。

代理人的觀念是起源於 1960 年代人工智慧的應用發展，其主要任務是替委託人尋求利益。根據日內瓦 FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents, 1997) 組織對代理人所做的定義指出，代理人在各特定領域裡扮演著十分重要的行動者角色；它透過將各模組一致化並加以整合的方式，強化本身提供服務的能力；在此所指的模組則包括對外部系統、使用者進行存取，以及協助通訊的能力等(Harrison and Caglayan, 1997)。若為達成某一特定目標，需要個別完成子任務的時候，便可利用代理人共同運作能力，讓多個代理人各自分工完成子任務，再使用代理人溝通語言來傳遞，將結果整合起來。從代理人系統中代理人的組成數量來看，可區分為單一代理人系統 (Single-Agent System, SAS) 和多重代理系統 (Multi-Agent System, MAS) 兩種，整理如表 2.2 所示(Hayes, 1999)。

代理人的應用在許多領域都有進行探討。研究領域的分散以及目標、功能的不同，以致於對於代理者並無明確且一致的定義。Perrot (1998)將代理者(Agent)定義如下：代理者可以是一個實體或是虛擬個體，且有以下幾個特性：

1. 能夠在環境中採取行動。
2. 能與其他個體(即代理者)直接進行溝通。
3. 是由一連續趨勢來驅使其相關動作。此趨勢可能是個別目標、為達其最佳化的滿足函數或生存函數。
4. 其具有自己所屬的資源。
5. 能夠接收環境中的資訊。
6. 能夠代表部分環境組成因數。
7. 擁有一些技術並提供服務。
8. 對於自己本身個體可以進行自我再生的行為。
9. 在有足夠的資源、能力以及他所呈現的結果與接收溝通資訊下，其本身行為易於趨向滿足其目標。

Peng (1998)等學者對於一個代理者所具備的特性有進一步說明。代理者具備有以下三個重要的特性：

1. 自主性(autonomy)：每一個代理人都具有一個要達到的目標，並行動以達到此目標。而每一個代理人都需要接收其他代理人之需求並依據自己的功能來處理之，相同的也會發送需求給其他代理人並要求處理。
2. 適應性(adaptation)：每一個代理人都需具有適應環境變化之能力，包含與其他代理人和人為使用者之變化，並具有學習機制，才能適應動態環境之改變。
3. 合作關係(cooperation)：代理人之間要合作，需藉著共用資訊與知識來達成系統目標。

表 2.2 代理人系統分類表

系統類別	單一代理人系統	多重代理人系統
代理人數量	一個	兩個或是以上
應用	區域網路或是個人工作環境	多人網路或是分散式網路環境
優點	1.針對特定工作設計，技術較簡單，無須考慮溝通問題。	1.任務切割，可同時處理多個工作，避免產生執行或等待的瓶頸。

	2.內部資料表示方式統一。	2.能整合異質性的資料來源，提供使用者一致的操作環境。
缺點	1.能處理的範圍有限。 2.複雜度高的工作，只靠單一代理人處理，成效不彰。	1.需考量代理人間溝通方式、網路傳輸協定等方面之相容性。 2. 技術複雜度較高。

2.2.2 多重代理人系統

而分散式人工智慧在研究的就是在建構一群合作的企業或是組織的行為模式與知識(Gasser, 1991)。多重代理者系統之研究則著重於一群分散於網路中的問題解決者，如何透過之間的行為互動、本身的能力以及對於周遭環境的認知來解決問題 (Moulin and Chaib-draa, 1996)。多重代理人的領域則是屬於在分散式人工智慧(DAI)底下的一環，整理如圖 2.3 所示(Stone and Veloso, 1997)。

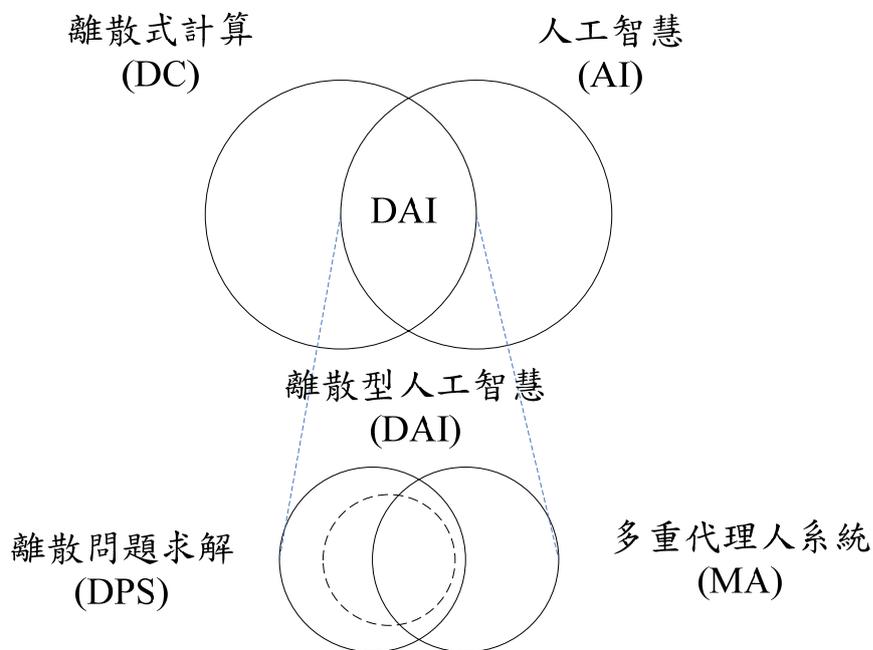


圖 2.3 分散式人工智慧與多重代理人系統概念圖

Jennings(1998)對多代理人系統定義為：「多代理人系統是由數個代理人透過溝通、協調與競爭方式來解決單一問題的系統所組成」。多代理人互動機制，可以依據功能分為下列幾類：

1. 協調整合(Coordination)：代理人需在有限資源的環境中協調整合其自身行為，以符合自身利益或群體目標。相關的文獻有Mintzberg(1979)協調整合三個基本程式：(1) 相互調整(Mutual Adjustment)；(2) 直接監督(Direct Supervision)；(3) 標準化(Standardization)。基於上述程式，多個代理人經由資源分享來達成共同目標，過程中包括資訊的交換及行為的調整，而透過合作建立關係後，產生代表控制權，代理人需聽從具有控制權的代理人。
2. 合作(Cooperation)：Conte et al. (1991)論文中，認為代理人的合作可視為對共同目標(Common Goal)的調整，合作分散地解決問題(Cooperative Distributed Problem-Solving)。由於各代理人皆無足夠能力或資源來獨立解決問題，因此透過彼此的合作機制，將問題分解成數個任務(Task)，再個別加以完成。
3. 交涉協商(Negotiation)：在分散式人工智慧的研究中，交涉協商的過程乃為整合多代理人的行為。許多研究探討的交涉協商機制是為模擬人類組織的社群行為。其中運用在多代理人系統的交涉協商機制中，最具影響力的機制是合約網路協定(Contract Net Protocol)。此機制由Smith(1980)提出，源自於人類企業組織中的外包工程招標程式。其模擬企業的招標程式，透過多代理人的合作協商模式來解決問題與衝突的發生。在此機制上，多代理人透過合約訊息的公佈，針對共同的目標進行資源與行為的整合，包括扮演管理者角色的代理人之子任務(Subtask)分派、各代理人間的訊息溝通、各參與競標代理人的競標評估模式與競爭合作模式的形成等皆是合約網路協定中的重要議題。交涉協商模式亦是本研究所採用的多重代理人技術。

分散式人工智慧包含很大的研究領域，其可以從不同的角度來分類與研究發展。下頁圖 2.4 提供一份分析與分類眾多分散式人工智慧研究之架構圖 (Moulin and Chaib-draa, 1996)，而多重代理者其代理者互動行為之研究在圖 2.4 之分類為群體觀點(group perspective)。

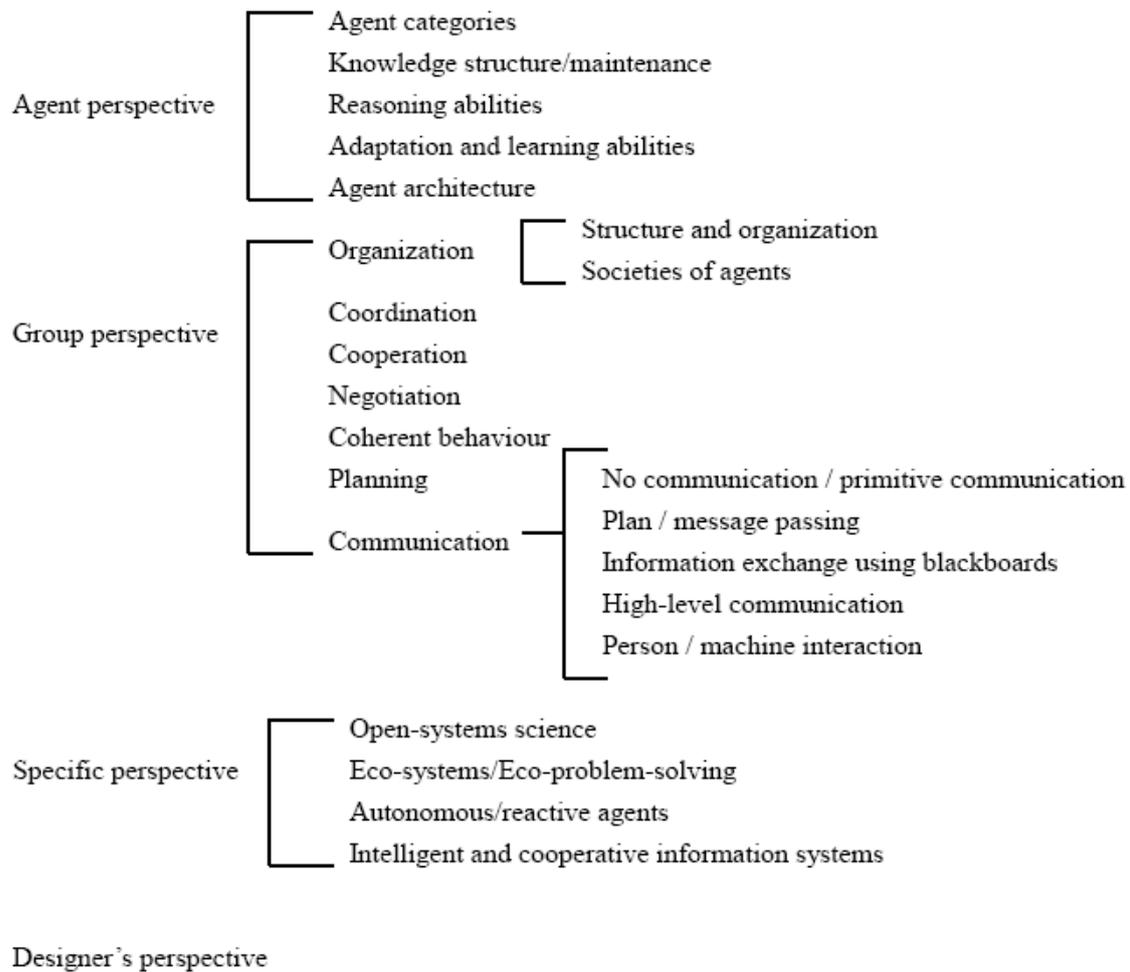


圖 2.4 分散式人工智慧研究之分類圖

MAS 架構有許多優點與理由(Edwin and Michael, 2001)，分述如下：

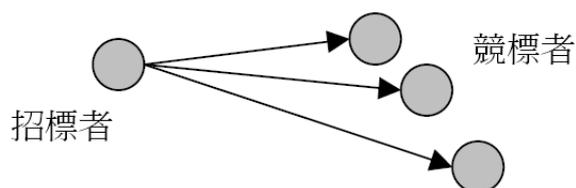
1. 在多重代理者系統下，可讓我們更加明瞭在人類組織中團隊合作與社會行為。
2. 當在進行規劃多目標問題時，需要所有相關資源的資訊以及每個目標間的關連性等。因此有許多大量資訊需被獲得並加以處理。以集中式系統規劃有其缺失，所以可採用 MAS 的架構。
3. 由於 MAS 的架構下其平行運算的特性，所以在相同目標中其求解過程時間可能比以集中式運算會較為迅速。
4. 其他優點如 MAS 具有可擴充性、更具彈性等特質。

在分散式控制架構下的製造系統中，以代理者技術(Agent technology)來進行規劃尤為合適 (Yi-Chi, 2002)。尤其在MAS 架構下，能即時處理資訊交換的問題，更是說明MAS 適用於排程規劃與控制的製造環境中。

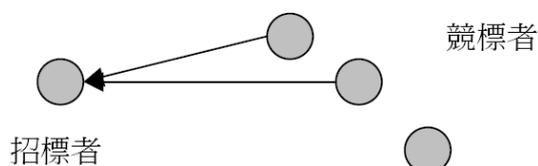
2.3 合約網路協定(Contract Net Protocol)

1980 年 Smith 提出一個重要的交涉協商機制，即 Contract Net Protocol(CNP)。合約網路協定是為求多重代理者合作地解決問題的互動協定。此協定乃是模擬企業的招標機制，而企業以此用來交換商品與服務。其基本型式如下(彭宗傑, 2000)：

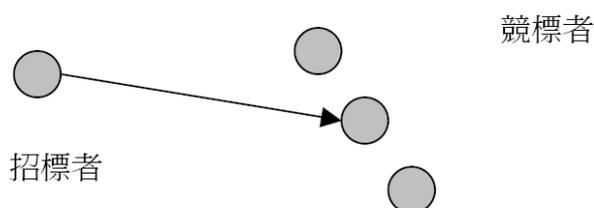
- (1) 由一個訂單招標者向所有的有潛力執行此一訂單之代理者宣告有一訂單需要拍賣。



- (2) 各代理者接收到訂單拍賣之訊息後，評估本身所提供的能力與服務是否符合訂單的需求，以及執行此一訂單能否增進代理者本身的利益。代理者評估此一招標之訂單後，若對其感興趣，即向招標者提出其競爭此一訂單的競標(bid)。



- (3) 由招標者比較各代理者所提競標之價格或者所花費之成本後，選擇最佳者給予此任務之執行權。



在招標者訂單招標方面，其招標內容應包含有合格競標者之標準、招標訂單的執行說明、競標之規格以及受理競標之時間。分別敘述如下：

- (1) 訂單的招標內容必須有其達成訂單的條件，而競爭訂單的代理者所提出的競標(bid)必須符合這些條件，否則代理者就沒有能力提出競標。

- (2) 簡單之訂單執行的說明。
 - (3) 競標(bid)之規格，即招標者希望競標者所提之競標(bid)之統一規格，以方便相互比較之處理。
 - (4) 競標之截止時間，即在這時間之前，競標代理者所提之競標(bid)皆為有效；相反地，超過此一時間所提之競標，招標者一概不受理。
- 而在代理者競標(bid)的規格內容方面，其中應包含競標代理者執行招標訂單時，其能力為何之說明。通常以執行此一訂單所需花費之成本或者需向招標者索取之價錢來設計此競標規格。一旦競標時間截止時，招標者評估其所收到之競標，選擇其中之最佳者。而後通知贏得此訂單之競標代理者，並交付訂單予其處理。

然而透過合約網路協定(CNP)所選擇出之代理者，其所提供的服務以及能力有時並不是對於總體訂單的分配處理是最好的選擇(彭宗傑, 2000)。因為有時具有較好能力的代理者正處於忙碌之狀態，即處理其他訂單。因此本研究將針對合約網路協定此項限制，延伸合約網路協定機制，再訂單選擇與分配的過程中加入搜尋法的概念，使其可以達到最佳解。

Merkel(2002)曾比較 ACO、GA、SA、TS 四種啟發式演算法計算有限資源下之專案排程，並得出以 ACO 所得的解法為較佳。因此本研究結合多重代理人技術以及啟發式方法中的螞蟻演算法，設計一個混合系統以求解研究目標。以下介紹螞蟻演算法之相關文獻。

2.4 螞蟻系統(Ant System)

螞蟻演算法最早的觀念是由Dorigo (1991)所提出，當時的演算法名稱為螞蟻系統 (Ant Systems ; AS)，Dorigo *et al* (1996)提出第一個最佳化模型，且在1997年成功的應用在TSP問題(Dorigo *et al*, 1997)，名為螞蟻群聚系統 (Ant Colony System, ACS)。螞蟻演算法已被廣泛地應用於求解許多組合最佳化問題，如：旅行推銷員問題 (Traveling Salesman Problem, TSP)、排程問題 (Scheduling Problem)、...等。原因是因為AS的搜尋方式很容易映射到最佳組合問題，也就是搜尋一串資料排列組合情形而找出最佳者(劉昌憲, 2003)。螞蟻的行為模式如圖2.5所示。

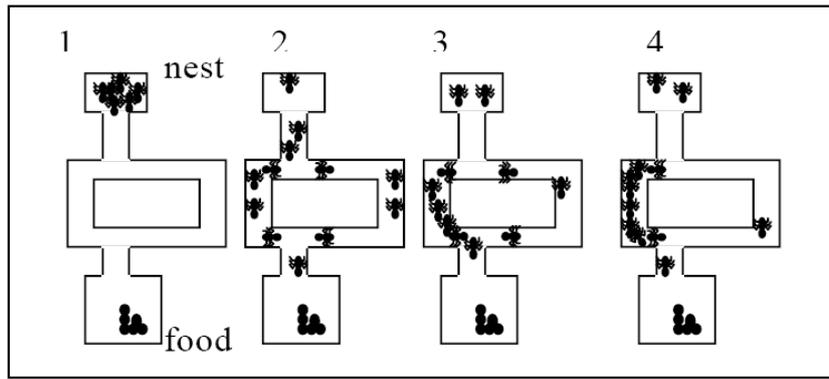


圖 2.5 螞蟻的行為模式

資料來源：蘇純繒、翁瑞聰(2003)

2.4.1 蟻群系統介紹

螞蟻系統的基本概念為自然界的螞蟻在尋找食物時，藉由牠們自己本身所散發出來的特有化學分泌物—費洛蒙（pheromone）來幫助螞蟻在找尋食物時，能夠遺留下某些訊息給其他的螞蟻知道其尋找食物時曾經所走過的路徑，如圖 2.5 所示。而隨著越來越多的螞蟻走過相同的路徑時，此路徑的費洛蒙也隨之增加；相對的，其餘路徑的費洛蒙則會慢慢蒸發。因此當眾多的螞蟻通過後，則會在最短路徑上留下濃度最高的費洛蒙路徑。

螞蟻演算法的步驟歸納如下(Dorigo *et al.*, 1997)：

一. 轉移機率（transition probability）的設定

螞蟻系統基本上是一種機率型尋優方法，在螞蟻進行路徑尋優時，考慮費洛蒙強度及路徑長度所形成的轉移機率進行下一節點的選擇。轉移機率方程式如下所示：

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in allowed_k} [\tau_{ik}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ik}]^\beta} & \text{if } j \in allowed_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1)$$

$\tau_{ij}(t)$ ：在時間點 t 時路徑 (i, j) 上所殘留的費洛蒙數量

η_{ij} ：路徑 (i, j) 的能見度（visibility），等於路徑 (i, j) 長度的倒數

α, β ：控制費洛蒙與能見度間相對重要性的參數

$p_{ij}^k(t)$ ：第 k 隻螞蟻從結點 i 要到結點 j 的轉移機率

二. 費洛蒙更新 (pheromone updating)

螞蟻在行經的路徑上會留下費洛蒙，而留有費洛蒙的路徑，稱為費洛蒙路徑 (pheromone trail)。每當螞蟻經過一個節點越多，費洛蒙就會累積更多，反之費洛蒙則會散失。因而費洛蒙會根據螞蟻經過節點的數量不斷的更新或是散發，如下方程式所示。費洛蒙的更新分為全域更新以及局部更新，全域更新指的是每次費洛蒙會依據目前為止最佳的行走路徑來更新，目的在於讓螞蟻在行走時有更高的機會向最佳解前進。局部更新指的是每次費洛蒙會依據當次的行走路徑的來更新，目的在於讓螞蟻在行走時有機會找到其他更好的解。

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (2.2)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if } (i, j) \in \text{tour described by } tabu_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (2.4)$$

Q ：代表費洛蒙數量的常數

L_k ：第 k 隻螞蟻所走的總路徑長度

$\Delta\tau_{ij}^k$ ：第 k 隻螞蟻殘留在路徑 (i, j) 上的每單位距離費洛蒙數量

ρ ：蒸發係數

螞蟻演算法之特色為(Dorigo *et al.*, 1997)：

- 能確實的回饋：能夠快速的發現新的起始解。
- 分散的計算：就是所謂的多點搜尋，能夠避免過早的收斂。
- 積極的貪心法則：能在發展起始解的時候，較早發現可接受解。

2.4.2 螞蟻群落系統 (Ant Colony System)

Dorigo *et al.* (1997)將螞蟻系統(Ant System)做了改善稱為螞蟻群落系統(Ant Colony System, ACS)。與先前的AS主要在三個方面有所不同：

1. 增加轉移規則：所使用的轉移規則提供了較直接的方式，平衡廣度搜尋新的路徑(exploration)及深度搜尋之前曾找過的路徑(exploitation)。此即在轉移機率的使用上，加上了一個門檻限制，只要隨機指定的值過了此門檻則此次的選擇以完全隨機的方式選擇，或是低於門檻值則必定選擇最佳路徑。
2. 更改費洛蒙更新規則A：ACS允許系統開始執行到目前為止，搜尋到最短路徑的那一隻螞蟻能夠對其尋得的路徑做費洛蒙強度的更新，此即為全域更新。
3. 更改費洛蒙更新規則B：在尋找可行解時，當決定下一個欲走訪的城市並移動後，會依照區域性費洛蒙強度更新規則(local pheromone updating rule)來動態地更新費洛蒙強度，而非如AS只在每一循環結束後才更新路徑上的費洛蒙，此即為局部更新。

2.5 薪資結構

本研究在資源的配置上，各個工作站皆有其需求工時負荷(Load)，而需求工時必須利用人力資源來完成。但是人力資源會隨著工作時間的長短而有不同的工作經驗以及工作效率。一般來說，工作時間較長的在處理各作業時的效率會比經驗少的來的快，但是相對的其薪水卻也是比較高的。本章節介紹薪資結構上的相關文獻探討。

薪資結構訂定的標準很多，但最常用的標準不外乎以工作(Job)、技術(Skill)及績效(Performance)三種不同的基準來制訂薪資，Mahoney 於 1989 年針對此三種基礎作的討論，他認為薪資的設計可分成工作、績效及個人三種不同基準來進行組合，如下頁圖 2.6 所示：

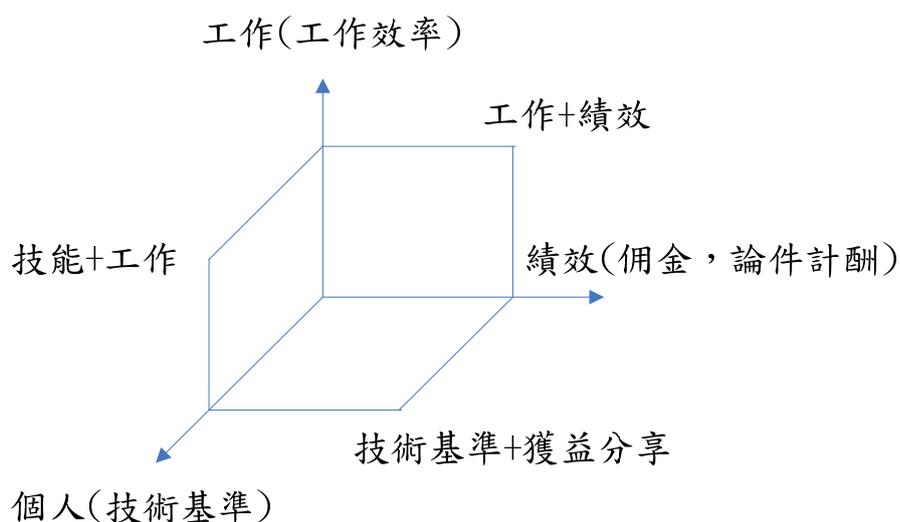


圖 2.6 薪資報償系統之構面組合圖

資料來源：Mahoney (1989)

以下分別針對工作、技能及績效三種薪資制度優缺點進行探討：

一、以工作為基礎(Job-Based)薪資制度

依據公司內各個職位的價值做為給付薪資的基準。此種以工作為基準的計薪方式如薪水制、計時工資制等。現行一般企業對工作基準制的運用非常廣泛，如底薪制度、出差費、危險津貼以及職務加給等等。

Lawler (1987)指出以工作評價為基礎的薪資制度起源於官僚組織的管理觀點，較缺乏彈性，因此在傳統大量生產的公司較適用，不適合在強調變革的現代化組織。此外，Mahoney (1989)也指出工作基準制適用於大量生產、專業分工、工作程式標準化的穩定環境中。由於以工作為基準方式具備上述的缺點，大多數企業在使用上會同時配合以績效為基準的方式共同運用，或經由重新定義工作內容加以補足，甚至以兩階段薪資計劃(Two-Tier Wage Plan)的方式來區分現職員工與新進員工，對其工作設定不同的基準後以不同的方式來計薪。

二、以技術為基準(Skill-Based)

近年來以技術為基礎的薪資制度愈來愈受到大家的重視。其基本觀念乃將員工擁有的技術、年資、教育、能力等視為無形的資產，因此在不同的技術水準下，所給予員工的薪資應不同。例如技能基準薪資、專業層級薪資、年資薪資等。以技術為基準的評估標準包括員工特質

(Characteristic)、員工工作行為(Behavior)、員工技能(Skill)等。評估時不能偏重任何一方，必須要整體考量才可。本法與工作基準制最大的不同在於薪資計算的方式係以個人精通技能作為計薪基準，而非依據員工實際執行的工作內容來決定(Barrett, 1991)。此外，Barrett也提到技術薪資制度有以下四項特性：1.對人不對事；2.員工增加新技術時報酬要增加，如此才會使員工想學習新技術；3.組織必先認定那些技術有價值，並決定其層次，然後再由管理者評定個人技術的價值；4.根據技術評量結果決定薪資報酬。

Barrett(1991)認為當工作的變異性大、工作結果主要決定於員工個人技術高低以及組織為創新或參與型的管理型態時，技術基準制較為適用。而Mahoney(1989)也認為技術基準制適用在工作程式與產出都不穩定，相當依賴技術成份時的複雜變動環境中適用。

三、以績效為基礎(Performance – Based)

以績效基準的薪資制度主要以員工的產出或績效作為衡量的標準，再依此標準之評估結果對員工進行酬償。例如現行企業使用的傭金制、提案獎金制、按件計酬、利潤分享制等制度皆是以此為基礎。這些方式的共同目的皆在設法提高員工更加努力以改善績效的動機。

依照期望理論的觀點，員工工作動機的強弱取決於個體期望的程度。至於期望程度則是由「獎酬吸引力」、「績效與獎酬的連結」以及「努力與績效的連結」三項因素決定。因此，當員工的工作投入與工作執行的結果，有明確而合理的邏輯關係存在時，則適用以績效為基準的薪資制度。此外，Mahoney(1989)則認為績效基準制對產出能明確定義的工作、組織協調及監督要求較少的環境中較為適用。

第三章 多重代理人系統之建構與搜尋方法

3.1 問題描述

本研究將以多重代理人系統之環境架構下，發展一個以人力資源觀點為主的排程機制。並以此分散式人工智慧的方式利用多重代理人資源分配的方法並配合限制條件滿足軟體ILOG SCHEDULER建構一個排程的系統，探討並解決以有限人力資源為主要限制的排程。

假設有兩條生產線，其各有五個工作站(Activity)1、2、3、4、5，以及三種類型的人力資源，工作站關係圖如圖 3.1 所示。每個工作站都有其需求工時(Load)，所放置的人力資源必須滿足需求工時，此工作站才能工作，而工時必須依靠人力資源的組合來完成，其成本的組成也會隨著使用的人而有不同。因此如何在有限人力資源之下找出多重專案排程的最低成本排程，即為本研究的重點。此類型問題即為多重專案之資源分配問題(Resource Allocation Problem)。

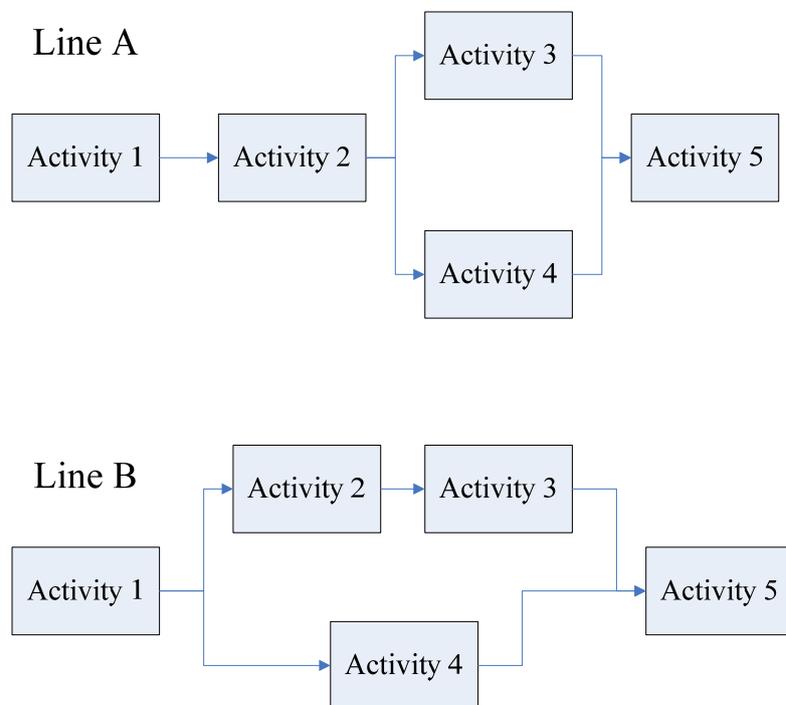


圖 3.1 工作站關係圖

本研究所探討的多類型人力資源在排程上的配置，由於不同類型的人力資源在各個機臺上的工作效率不同，在配置人力資源的時候，如何配置高效率以及合適數量的問題，並最終求得最低成本的專案排程。如圖 3.2 所示：當有 J 種資源(resources)以及 I 個工作站(activities)的時候，如何放置不同類型的資源到工作站上以滿足排程的需求。

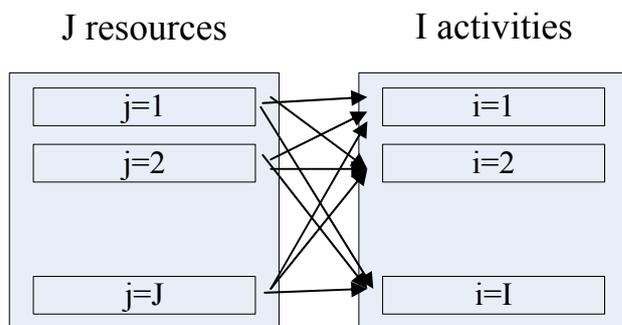


圖 3.2 資源分配圖

在此所研究的資源主要是以人力資源為主，在一個以人力資源為主要資源的工廠首先必須要考慮到不同類型的人力資源其所能產生的效率不同，其次考慮到不同類型的資源其成本也不同，最後再考慮到數量的限制。假設每個工作站其完成一個工作都需要花費一定的工時，這些需求工時必須由人力資源的組合以及累積來完成，如表 3.1 所示：

表 3.1 資源分配表

	Resource 1	Resource 2	Resource 3	Load
Activity 1	100%	75%	62.5	30
Activity 2	100%	75%	50%	40
Activity 3	100%	87.5%	62.5	50
Activity 4	87.5%	75%	50%	40
Cost	41000	35000	28000	
Total	10	20	30	

表中，百分比代表一天工作八小時可以完成的效率，若為 100%則表示此人力資源 j 在工作站 i 每天可以有 8 小時的有效工時產出，反之若為 50%則只有 4 小時的有效工時產出。而其人力資源的成本是根據經驗評比作為主要依據，Resource 1 表示其工作經驗具有 5 年以上，而

Resource 2 則是在 1-5 年之間的工作者，Resource 3 則是新手，其工作經驗在 1 年之內。而要使工作站可以運作，則必須放入足夠的資源，如以 Activity 2 而言其必須要 40 的需求工時，則可以放入 5 個 Resource 1 或是 3 個 Resource 1 以及 3 個 Resource 2，如此 Activity 2 才可以運作。而薪資成本根據此人力資源在各工作站的有效產出效能，若在工作站的有效產出有達到 100%，表示此人在此工作站是為專家等級，若為 87.5% 則為次一等級。其專精的項目越多薪水越高。其成本數學式如下：

$$\text{Cost} = \text{基本底薪}(10000) + \text{有效工時累加} * (4000) / \text{工作站數量}$$

在本研究中將此類型資源分配的問題以如下之數學式表達：

假設有共有 J 種人力資源，工作站 I 個。分配到工作站 i 的資源為一個矩陣 R ， r_{ij} 表示在工作站 i 分配到人力資源 j 的數量， R_i 為工作站 i 所需要的總成本， L_j 表示 j 類型人力資源的總數。如圖 3.3 所示：

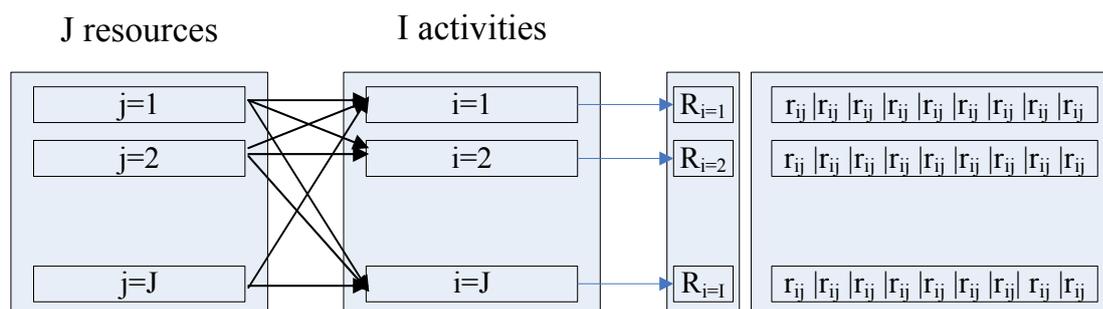


圖 3.3 人力資源分配圖

每個類型的人力資源有其成本 C_j (使用 j 類型人力資源需要 C_j 的成本)，以及在各個工作站每天所能產生的有效工時 n_{ij} (第 j 類型的人力資源在工作站 i 所每天能產生 n_{ij} 的有效工時)，而每個工作站所需要的總工時為 N_i (工作站 i 需要 N_i 有效人工小時才能完成一個工作)。

假設函數 L 為可行的目標函數，其可以判定各工作站使用的各資源所需要的成本 R_i 有一個最佳狀態(解)，則定義資源分配問題如下頁數學式 3.1：

$$\begin{aligned} \min_{\{r_{ij}, \forall i\}} & L(R_1, R_2, \dots, R_n) \\ \text{s.t.} & A \bullet R_i = d_i, R_i > 0, i = 1, 2, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^n r_{ij} \leq J_j, j = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (3.1)$$

式子 $A \bullet R_i = d_i$ 為一拓撲限制(topological constraint)。若不使用中央控制，而使用代理人的概念，利用溝通的方式協調分派，將離散型的資源分配由一群離散型的代理人(agent)來分配資源至各個工作站 i ，則可將目標函數 L 假設成目標函數 $L_i(R_i)$ 以個別測量分配的效率。則可改寫目標函數如下：

$$L = \sum_{i=1}^n L_i(R_i) \quad (3.2)$$

因此最後數學式子如下所示：

$$\begin{aligned} \min_{\{r_i, \forall i\}} & \sum_{i=1}^n L_i(R_i) \\ \text{s.t.} & A \bullet R_i = d_i, \quad R_i > 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^n r_{ij} \leq J_j, \quad j = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (3.3)$$

在此代理人的概念可看成為將一個困難的最佳化任務分派成多個較簡單的字任務，再透過完成各個子任務來達到最佳解。因此本研究之資源配置問題可以如圖 3.4 之方式表示。

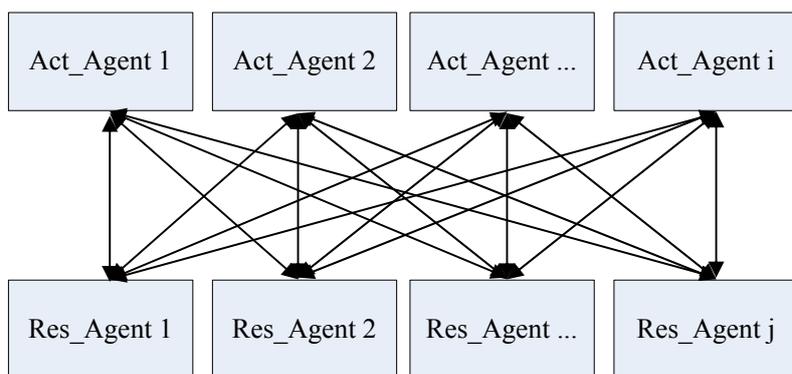


圖 3.4 資源配置問題圖

本研究欲以人工智慧的方法來求解。將每個工作站以及各種人力資源用一個代理人來代表，Act_Agent 代表工作站的代理人，Res_Agent 代表資源的代理人。則問題可解釋為每個工作站代理人為了達到其工作目標，必須在有限資源下向資源代理人拿取所需要的人力資源。此方式就像是一種競標的制度，將每個工作站代理人看成一個招標者，而資源代理人就像是競標者，由各個競標者有效的分配自己本身的資源去滿足招標。在此競標下，每個競標者會互相競爭以得到有利的資源分配，而招標者則是依據成本以及花費的時間來決定使用的資源。

在 1980 年 Smith 提出一個重要的交涉協商機制，即為合約網路協定 (Contract Net Protocol)，簡稱 CNP。此協定是為求多重代理者之間合作解決問題的一互動協定。此協定模擬企業間的招標機制，根據不同的拍賣機制以及拍賣流程設計，作為代理人之間的溝通方式，利用招標的方式完成作業。而本研究所欲求解的資源分配問題即如同一招標的問題，因此本研究欲發展多重代理人協商機制中的合約網路協定(Contract Net Protocol)方法，來解決此一問題。每位元工作站代理者透過此機制與其他工作站代理者相互競爭人力資源，並求得最低成本的排程方式。並將資源轉化成實際完工天數，代入 ILOG SCHEDULER 排程軟體做為時間的限制條件。在已知工作時間以及各機台之間的限制後，利用 ILOG SCHEDULER 軟體完成整體排程。

但是基礎的合約網路協定所選出的代理者，會因為任務分配的先後順序不同，不一定可以尋求出最佳的解(彭宗傑, 2000)。因此本研究欲延伸合約網路協定在拍賣的過程中加上啟發式搜尋法的概念，以一個混合式系統求得最佳成本解。

3.2 多重代理人環境架構設計

本研究主要設計五種代理人：專案代理人、工作站代理人、資源代理人、執行代理人以及排程代理人。代理人的架構圖如下頁圖 3.5 所示。

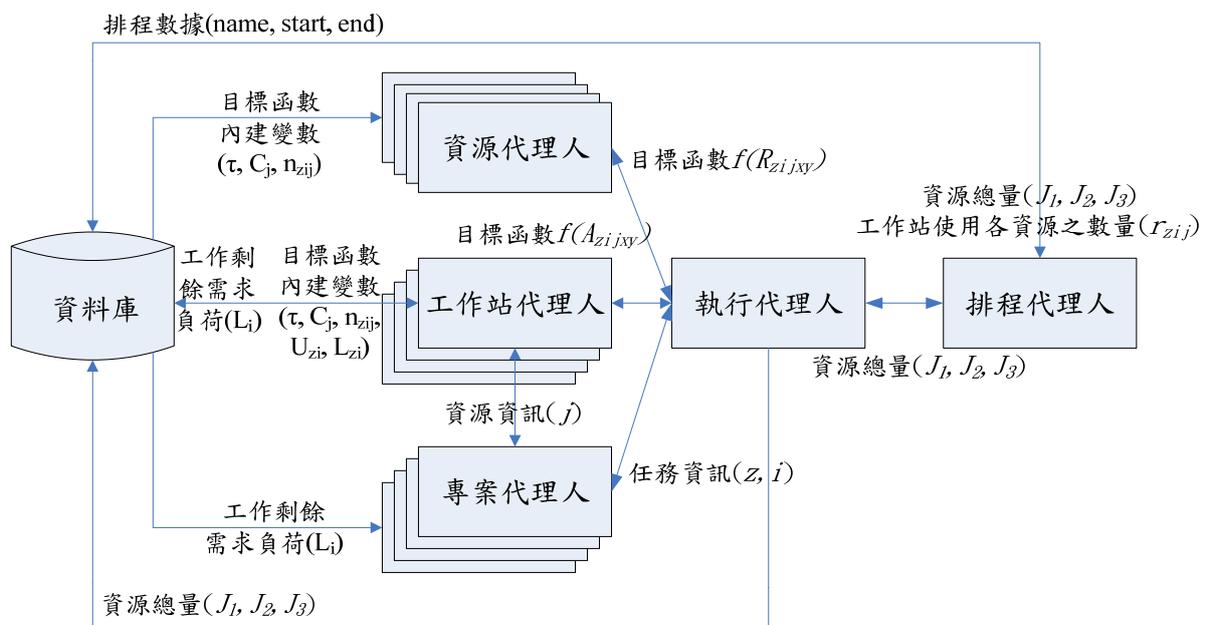


圖 3.5 代理人關係圖

專案代理人也可稱為生產線的代理人，目的在放出招標的資訊，以供競標者可以競標，依據專案的個數即有多少個專案代理人，如圖 3.1 所示，則有 2 個專案代理人。工作站代理人目的在於分配所得到的資源，如圖 3.1 所示在生產線一是由五個工作站組成，則有五個工作站代理人。資源代理人目的在以成本做為競標向執行代理人投出競標資訊，其數量視工廠中擁有的人力資源類型(J)而有 J 個資源代理人。而執行代理人主要的任務即是在接收資源代理人以及工作站代理人的資訊並判斷資源的指派作業以及最低成本搜尋的作業。而最後指派完成的作業經由資料的轉換，使用排程代理人來完成排程作業。

各代理人所傳遞的資訊會在代理人架構中介紹。代理人中的工作站代理人以及資源代理人是根據螞蟻系統(Dorigo, 1996)中的轉移機率公式搭配費洛蒙的更新方式稍作修改後所設計(請參考文獻探討 p.32)。資料庫內涵的資料為各工作站的 1.費洛蒙各時間點的濃度 2.各時間點所選擇的資源 3.各工作站的前後關係工作站。在以下所介紹代理人的架構以及邏輯中會將這些關係詳細解說：

1. 專案代理人(Project_Agent)：簡稱 PA。PA 會根據目前各自專案中所擁有的最高需求工時(Load)的工作站向執行代理人不斷的提出資源需求的任務，直到滿足每個工作站的總需求工時。參考圖 3.1，在圖中有兩

個專案，此即表示有兩個專案代理人負責各自的生產線。以 LineA 來說，如果生產線中的各個工作站其剩餘的工時(Load)需求最高的為 Activity 5，則掌管 LineA 的 PA 就會提出 Activity 5 需求資源的任務，任務資訊包含了兩點：任務的專案(z)以及工作站(i)。相對應的掌管 LineB 的 PA 也會提出任務需求。專案代理人是任務的起始點，也是結束點，當所有的 PA 不再提出任務時(所有工作站的剩餘需求工時都為 0)，代表資源分配的過程已經結束，可以開始排程的任務。邏輯如圖 3.6 所示：

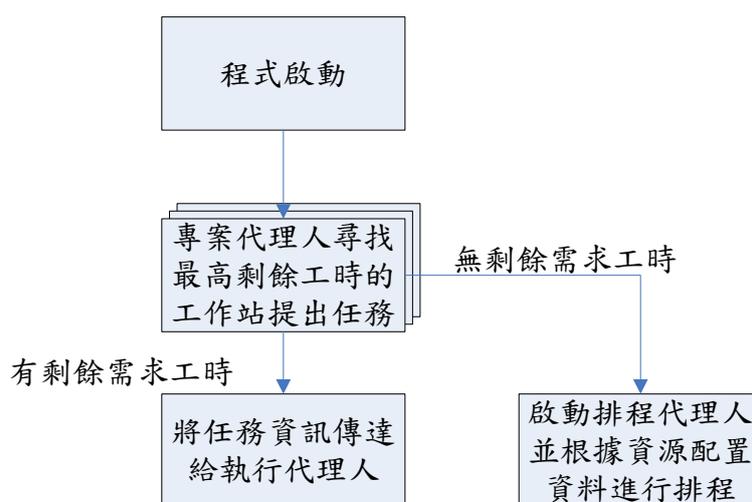


圖 3.6 工作站代理人邏輯圖

執行代理人是所有代理人的資訊傳遞中心，以及判斷中心。在此執行代理人會將收到的任務資訊傳達給資源代理人，並要求資源代理人將其目標函數回傳給執行代理人，讓執行代理人判斷任務所要配置的資源為何。判斷的方式會在第 5 點的執行代理人中敘述。

2. 資源代理人(Resource_Agent)：簡稱 RA，資源代理人的數量依照資源的種類有 J 個資源代理人，並依據 Dorigo (1996) 年所提出的螞蟻系統中的轉移機率的機制所設計(可參考文獻探討中的第四小節，位於 P.32)，而本研究把路徑長短視為成本大小。參考表 3.1，在表中總共有三種不同的資源種類，因為會有三個資源代理人負責各自的資源，資源代理人的主要工作就是在執行代理人公佈出任務後，要將任務完成。因此 RA 會根據任務的資訊(專案(z)、工作站(i))、費洛蒙的強弱、其代表的人力資源成本以及權重，將其目標函數內的每個變數傳遞給執行代理人以供其判斷採用的資源，變數是從資料庫中取得。其目標函數的設計如下：

$$f(R_{zijxy}) = [Q_3'(\tau_{zijxy})]^\alpha \left[Q_1' \left(\frac{C_j}{n_{zij}} \right) \right]^\beta \quad (3.5)$$

τ_{zijxy} 表示專案 z 在工作站 i 使用資源 j 在進度 x 到 y 的費洛蒙量， C_j 代表使用 j 型人力資源的成本， n_{zij} 代表專案 z 在工作站 i 使用 j 型人力資源所能達到的有效工時。而 Q_1' 、 Q_3' 表示權重， α 、 β 也表示權重， $f(R_{zijxy})$ 代表資源代理人對專案 z 工作站 i 資源 j 的在進度為 $x \rightarrow y$ 時的目標函數。資源代理人在傳遞資訊時並非只傳遞目標函數，而是傳遞上述所提及的所有變數，以供執行代理人可以正規化並判斷資源的供給。正規化的方式在敘述執行代理人時介紹。邏輯如圖 3.7 所示：

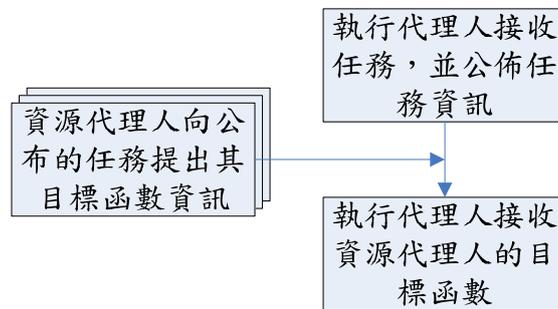


圖 3.7 資源代理人邏輯圖

執行代理人在接收到任務的目標函數並判斷要供給任務的資源之後，就將此資源放入任務資訊中的工作站。當工作站感應到有資源放入工作站後，則會啟動工作站代理人。

3. 工作站代理人(Activity_Agent)：簡稱 AA，工作站代理人的數量依照專案 z 以及工作站的數目 i 而有 $z*i$ 個工作站代理人。參考圖 3.1 種共有十個工作站代理人。AA 的主要功能在於資源的傳遞，由於工作站的前後關係有串聯以及並聯的關係，在圖 3.1 中 LineA 的 Activity 2 前置工作站則串連一個工作站 Activity1，而後置工作站則並聯了兩個工作站 Activity 3 以及 Activity 4。工作站在接收到資源(j)後，則會將此資源傳遞至相關的前後工作站，在串聯方面，則會直接傳遞資源給工作站，而接收到的工作站，則會再傳遞至下一個工作站直到沒有關聯的工作站為止。而並聯的方面，工作站之間就會互相競爭資源，如同上述的 Activity 3 以及 Activity 4。因此兩工作站的 AA 就會傳遞其目標函數資訊給執行代理人，資訊包含如下：

專案、工作站、資源成本、剩餘工時需求負荷以及權重，以供執行代理人判斷此兩工作站誰可以得到資源，變數是從資料庫中取得。其目標函數的設計如下。

$$f(A_{zijxy}) = w_1' \left(\frac{C_j}{n_{zij}} \right) + w_2' \left(\frac{U_{zi}}{L_{zi}} \right) + w_3' (\tau_{zijxy}) \quad (3.4)$$

C_j 代表使用 j 型人力資源的成本， n_{zij} 代表專案 z 在工作站 i 使用 j 型人力資源所能達到的有效工時。 U_{zi} 代表專案 z 在工作站 i 之剩餘人力資源需求量， L_{zi} 代表專案 z 在工作站 i 的總需求工時(Load)， τ_{zijxy} 表示專案 z 在工作站 i 使用資源 j 在進度 x 到 y 的費洛蒙量，而 w_1' 、 w_2' 、 w_3' 表示權重。 $f(A_{zijxy})$ 表示此工作代理人對專案 z 工作站 i 資源 j 的在進度為 $x \rightarrow y$ 時的目標函數。工作站代理人在協商溝通時傳遞資訊時並非只傳遞目標函數，而是傳遞所有變數，以供執行代理人執行正規化並判斷資源的供給。正規化的方式在敘述執行代理人時介紹。當工作站前後關係的資源傳遞都已經結束之後，工作站代理人則傳訊給專案代理人任務已經結束，讓專案代理人重新啟動任務的傳遞。邏輯圖如下所示：

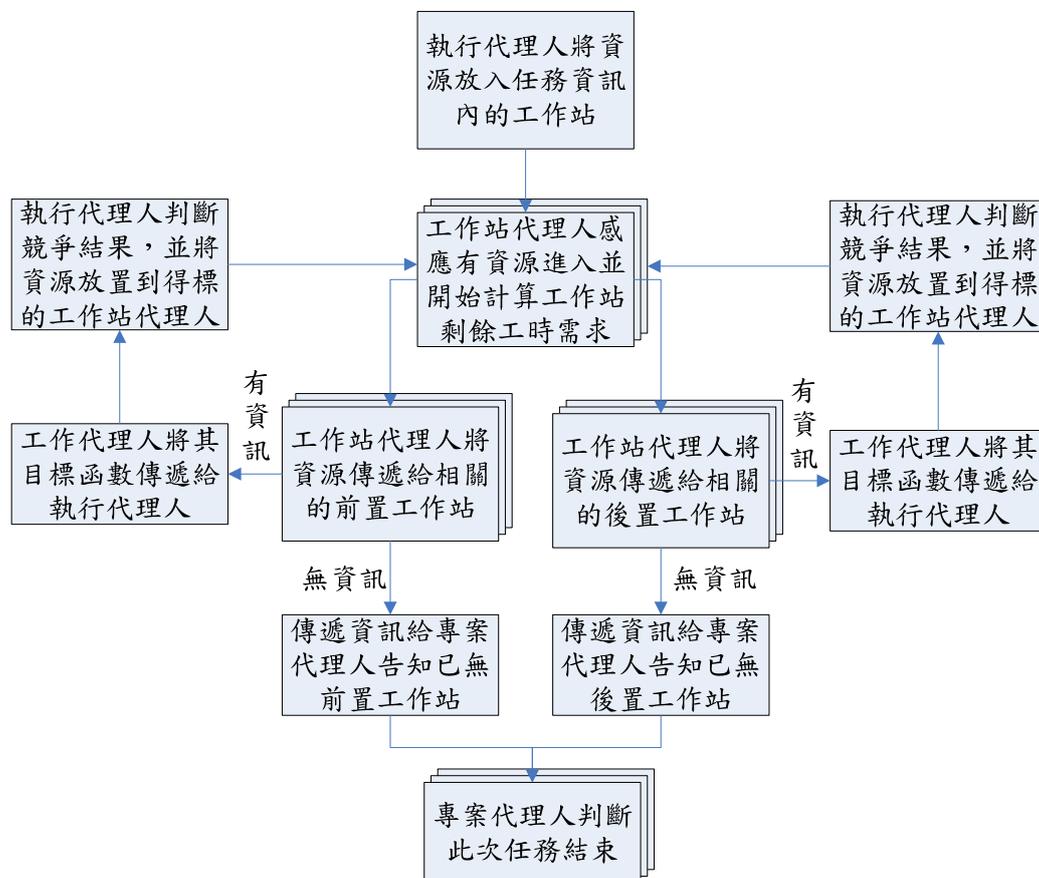


圖 3.8 工作站代理人邏輯圖

在上述中的三個代理人配合執行代理人，即成為一個多重代理人的資源配置的過程。統整如圖 3.9 所示：

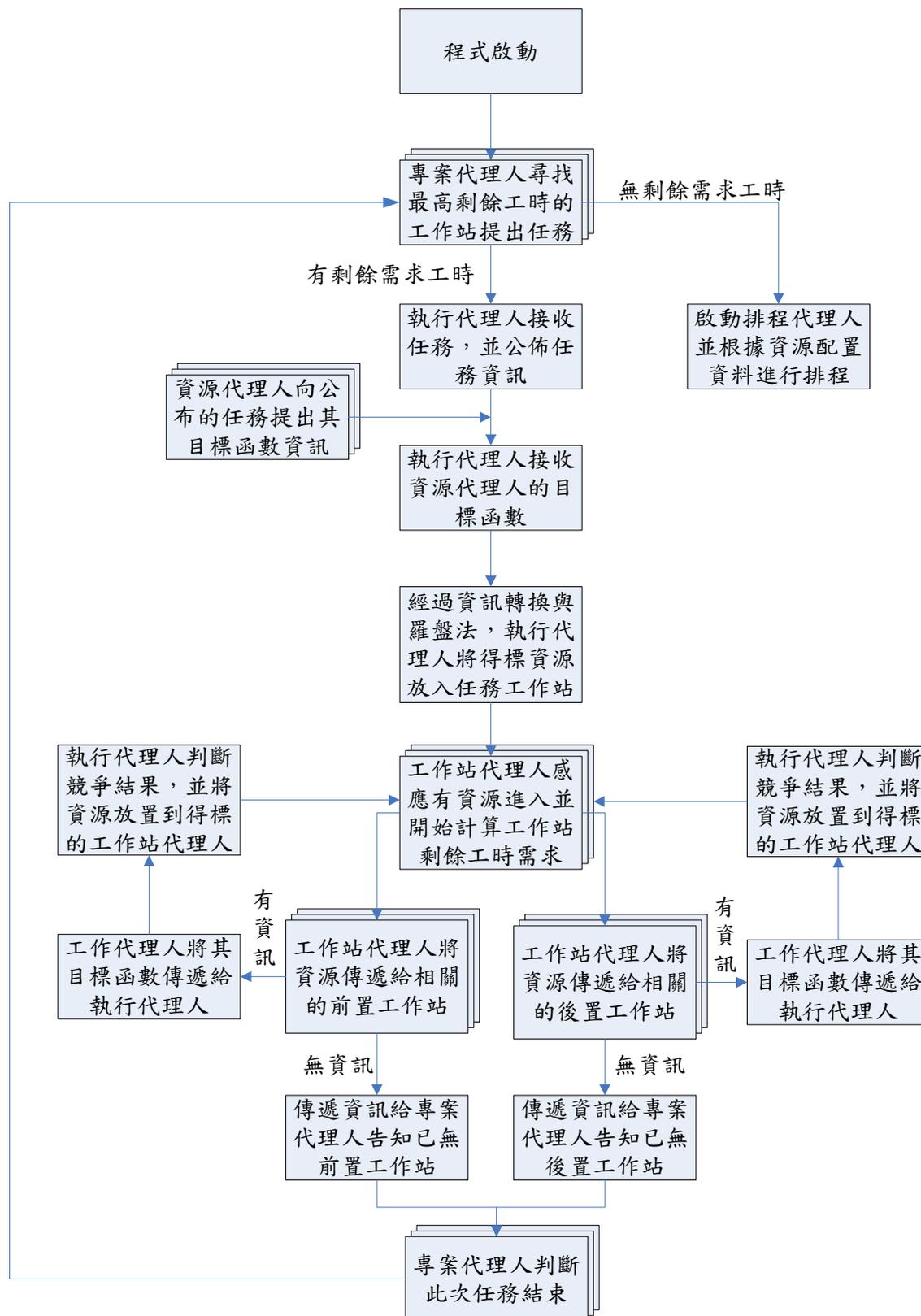


圖 3.9 資源配置邏輯圖

在資源配置完成之後會產生兩類型的資料：1.各專案內之工作站的資源需求(r_{zij})，表示專案 z 在工作站 i 使用 j 資源的數量。2.所有資源的總量(J_1, J_2, J_3)，表示整個排程中，使用了資源 1 的總量為 J_1 ，使用了資源 2 的總量為 J_2 ，使用了資源 3 的總量為 J_3 。專案代理人則會啟動排程代理人根據資源配置的資訊展開排程，並完成排程甘特圖。

4. 排程代理人(Schedule_Agent)：簡稱 SA，排程代理人只有一個。排程代理人的設計主要依照 ILOG SCHEDULER 軟體的設計方式仿效工廠的生產作業開始排程作業。排程代理人的執行必須要有輸入兩類型的數據：

1.工作站的工作時間(天數)以及工作站之間的關係。

2.工作站的各資源需求量(r_{zij})，以及各資源的總資源數量(J_1, J_2, J_3)。

其中第一點的數據是已知的，而第二點的數據是根據資源配置後的資訊所提供的，皆從資料庫中取得。本研究所使用的幾項 ILOG Functions 的限制式如下：

(1) IloActivity A(env, Duration, "name_A")：此 function 任命一個工作 A 其名字為 name_A，工作時間為 Duration。

(2) A.startsAfterEnd(B)：此 function 任命 A 工作必須在 B 工作結束之後才會開始工作。

(3) IloDiscreteResource Work1(env, num)：此 function 任命一個類型的工作資源其名稱為 Work1，其數量有 num 個。

(4) A.require(Worker1)：此 function 任命 A 工作需要資源(在此表示人力 Work1)才會開始運作。

(5) C.endsBefore(DueDate)：此 function 任命 C 工作必須要在某個時間內完成，此時間及為我們的交期。

(6) IloSetTimeForward：此 function 任命所設計的排程為前推式排程。

本研究所設計的排程代理人，基本上以上述的主要功能組成。先利用(1)以及(2)兩 function 的功能，排列出排程內各個機台的先後順序以及時間(順序以及時間是已知的)。再從資源配置後的資訊，讀入(3)、(4)以及(5)做為排程的人力需求限制，最後使用(6)讓 ILOG 排程出結果。而所排程出的結果再利用下頁(6)、(7)、(8)、(9)的 ILOG Function 把所需要的結果資料拿出

來儲存至資料庫，並完成排程甘特圖。

(6) act.getName()：取得工作的名稱。

(7) act.getStartMin()：取得工作的開始時間。

(8) act.getEndMin()：取得工作的結尾時間。

(9) act.getProcessingTimeMin()：取得工作的時數。

排程代理人在排程中，需於交期內完成是本研究所考慮的重點，若是排程的交期如果比較充裕，工作站的浮動餘時就會增大，相對的如果比較吃緊則浮動餘時就會減少。因此交期的時間對人力資源配置的數量是個很重要的因素之一。在此排程代理人會與執行代理人互相協調，藉由執行代理人不斷的減少配置資源的總量，來測試排程在交期內是否可以完成。在確定出最小配置資源的總量時，則執行代理人開始根據此次的排程結果，更新費洛蒙值，更新費洛蒙的目的在於讓每次的排程會有機會往更最佳解(全域更新)前進以及有機會選擇其他的路徑(局部更新)。(請參考文獻探討 p.33)。

費洛蒙更新有兩個步驟，局部更新以及全域更新。局部更新則是根據此次排程的結果中，所有工作站配置資源的時間點以及順序將費洛蒙更新。每個工作站皆有一個費洛蒙表內有四個資料(時間點，資源 1 的費洛蒙，資源 2 的費洛蒙，資源 3 的費洛蒙)。假設一開始費洛蒙在各時間點的濃度都為 1。此工作站在配置資源的順序為 1→1→3→2→2。則依據更新公式(參考文獻探討 p.33 公式 2.2、2.3、2.4)，會依序更新。如表 3.2 所示(假設每次更新的費洛蒙量為 0.12)：

表 3.2 費洛蒙更新範例

時間	資源 1 之費洛蒙	資源 2 之費洛蒙	資源 3 之費洛蒙
1	1.12	1	1
2	1.12	1	1
3	1	1	1.12
4	1	1.12	1
5	1	1.12	1

其次是全域更新，全域更新與局部更新的方法相同，只是更新的工作站是至目前為止最佳成本解的工作站配置順序。在更新完成之後會進行費洛蒙

的消除。費洛蒙的消除及為將所有工作站所有時間點的各個費洛蒙都依照刪除率(ρ)減少。及為將上表 3.2 中個的所有值都乘以 ρ 。假設 $\rho=0.95$ ，若是值為 1.12 則會變成 $1.12 * \rho = 1.064$ 。若值為 1 則變成 $1 * \rho = 0.95$ 。在更新完成後會判斷是否已經達到收斂條件(此條件於第四章會說明)。若沒有則還原工作站的需求剩餘工時資料，重新啟動專案代理人。

邏輯圖如下圖 3.10 所示：

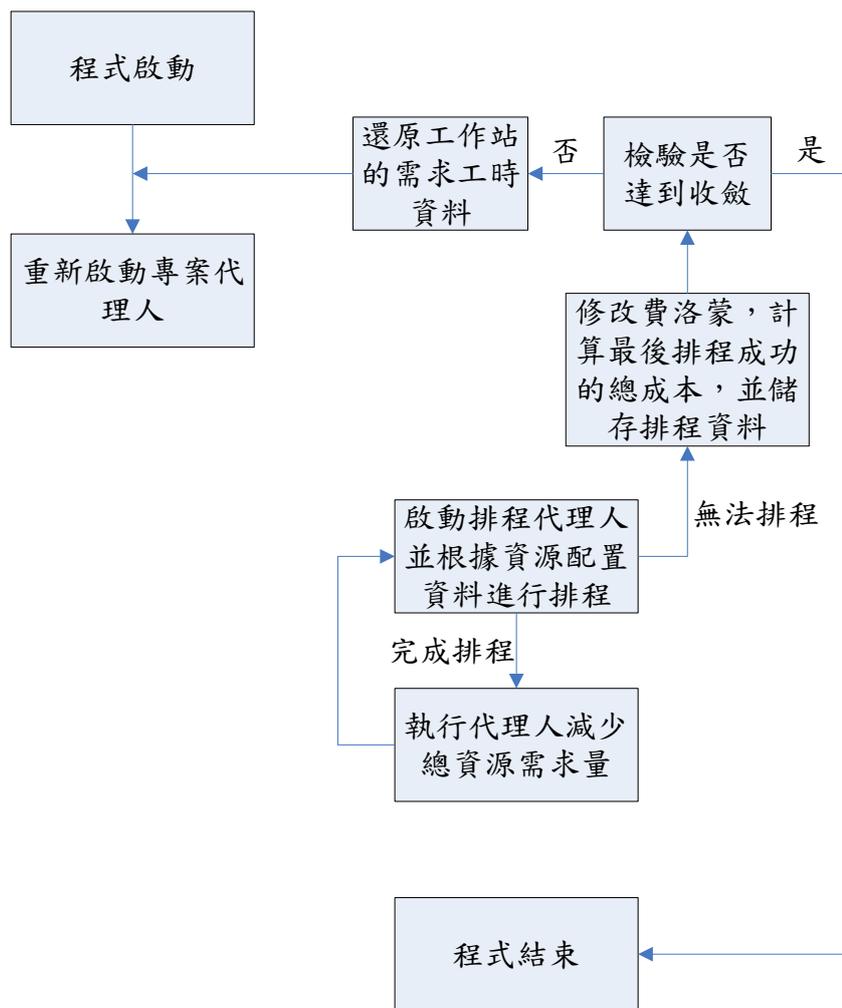


圖 3.10 排程代理人邏輯圖

在排程代理人完成排程後，即表示此次的排程已經完成。藉由不斷重新排程以及更新費洛蒙，會讓費洛蒙值達到一個很大的值或是小至很小的值，此代表每次執行代理人在判斷資源的給予以及資源的爭奪時，會有很大的機會取選擇費洛蒙較大的值，即表示解答會到一個穩定態。根據 Dorigo (1996)此穩定狀況是一個近似最佳解的值。

5. 執行代理人(Operation_Agent)：簡稱 OA，執行代理人只有一個。此代理人是本研究中，最為重要的核心代理人。其主要功能有八個，分述如下：

(1) 公佈招標資訊功能：招標資訊的來源取自於專案代理人對資源的需求。OA 在這會接收此資訊，並將資訊傳遞給資源代理人，資訊包含了(專案 z , 專案 z 下的工作站 I)。

(2) 收集競標資訊功能：競標的資訊是在公佈招標資訊之後，由資源代理人給予的競爭值 $f(R_{zijxy})$ 。 $f(R_{zijxy})$ 越大表示此項競標使用此資源的機會越高。資源代理人所傳遞的 $f(R_{zijxy})$ ，包含了其內建的所有變數 τ_{zijxy} 、 C_j 、 n_{zij} 以及權重 α 、 β 、 Q_1 、 Q_3 。然而 OA 在接收此資訊時，並不是直接根據此資訊判斷要給的資源，而是透過啟發式搜尋方法中的螞蟻演算法作為基礎，會先經過正規化過程轉化為競爭機率，才會與其他的資源代理人傳遞的 $f(R_{zijxy})$ 來比較，而各個正規化後的 $f(R_{zijxy})$ 則轉變為一個競爭機率值 $p_{zij}^k(t)$ 。邏輯如下：

1. 令 $F(R_{zijxy})$ 為 $f(R_{zijxy})$ 正規化後之值，數學式如下：

$$F(R_{zijxy}) = \left[Q_3'(\tau_{zijxy}) \right]^\alpha \left[Q_1' \frac{\left(\frac{C_j}{n_{zij}} \right)}{\sum_{j=0}^J \left(\frac{C_j}{n_{zij}} \right)} \right]^\beta \quad (3.5)$$

2. OA 會根據資源代理人所給的資訊 $F(R_{zijxy})$ 轉換成偏好機率，其方程式設計依據 Dorigo(1996) 所設計的轉移機率修改，原始數學式如下：

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in allowed_k} [\tau_{ik}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ik}]^\beta} & \text{if } j \in allowed_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.6)$$

本研究探討的是多專案排程問題，考量的是不同專案(z)下工作站(i)選擇資源(j)的成本以及費洛蒙量。因此數學式修改如下所示：

$$p_{zij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{zij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{zij}]^\beta}{\sum_{k \in allowed_k} [\tau_{zik}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{zik}]^\beta} & \text{if } j \in allowed_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.7)$$

$\tau_{zij}(t)$ 代表專案(z)在工作站(i)使用資源(j)在時間點(t)的費洛蒙濃度。

η_{zij} 代表專案(z)在工作站(i)使用資源(j)的成本。

$\tau_{zij}(t)$ 所代表的費洛蒙濃度及為本研究 $F(R_{zijxy})$ 函數的費洛蒙變數變數，其中時間點 t 與本研究進度為第 $x \rightarrow y$ 次是相同的意思。數學式如下：

$$\tau_{zij}(t) = Q_3'(\tau_{zijxy}) \quad (3.8)$$

η_{zij} 所代表的成本及為本研究中 $F(R_{zijxy})$ 函數的成本變數。數學式如下：

$$\eta_{zij} = Q_1' \frac{\left(\frac{C_j}{n_{zij}}\right)}{\sum_{j=0}^J \left(\frac{C_j}{n_{zij}}\right)} \quad (3.9)$$

根據機率轉換公式，本研究之 $F(R_{zijxy})$ 函數可轉換成如下數學式：

$$F(R_{zijxy}) = [\tau_{zij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{zij}]^\beta \quad (3.10)$$

因此將所要探討的所有目標函數 $f(R_{zijxy})$ 可經正規化後可轉變為一個競爭機率值 $p_{zij}^k(t)$ 。

2. 經過資訊的轉換之後，資源的需求對工作站 i 產生一個競爭機率，此機率表示 OA 在配置資源到工作站 i 時，會根據機率的大小來決定分配的資源。而機率越高在分配資源的時候則有一較高的機會優先分配此資源到工作站上。於是根據羅盤法，機率判斷配置的資源種類，並增加此資源的資源總量。

(3) 回覆競標結果：在確定要配置的資源後，就將回覆專案代理人任務結果。

(4) 傳送資源資訊：專案代理人會將此類型的資源放置到工作站上，並啟動工作站代理人。

(5) 工作站代理人的協商溝通：工作站代理人會因為資源在傳遞時互相爭奪資源，因此在發生爭奪資源的情況時會根據工作站所傳遞的資訊，其包含了 C_j 、 n_{zij} 、 U_{zi} 、 L_{zi} 、 τ_{zijxy} 以及權重 w_1 、 w_2 、 w_3 。令 $f(A_{zijxy})$ 函數經過正規化後的目標函數為 $F(A_{zijxy})$ ，並以此判斷競爭的結果。正規化過程如下所示：

$$w_1 = w_1' \frac{\left(\frac{C_j}{n_{zij}}\right)}{\sum_{i=0}^i \left(\frac{C_j}{n_{zij}}\right)} \quad (3.11)$$

$$w_2 = w_2' \frac{\left(\frac{U_{zi}}{L_{zi}}\right)}{\sum_{i=0}^{i'} \left(\frac{U_{zi}}{L_{zi}}\right)} \quad (3.12)$$

w_1' 以及 w_2' 代表權重， i' 代表競爭的工作站總數。

因此數學式3.4則變成如下：

$$F(A_{zijxy}) = w_1 \left[\sum_{i=0}^{i'} \left(\frac{C_j}{n_{zij}} \right) \right] + w_2 \left[\sum_{i=0}^{i'} \left(\frac{U_{zi}}{L_{zi}} \right) \right] + w_3 (\tau_{zijxy}) \quad (3.13)$$

根據正規化之後的 $f(A_{zijxy})$ ，執行代理人會直接判斷大小與爭奪的獲勝者。

(6) 傳送排程資訊：若專案代理人不再傳遞任務需求時，OA會傳遞資訊給SA，讓SA根據所分佈的資源來做排程。並將排程的結果做為費洛蒙的調整依據，進行全域與局部更新。其原理如下：螞蟻在選擇資源的路徑上會留下費洛蒙，而殘留費洛蒙的路徑，稱為費洛蒙路徑 (pheromone trail)，以與沒有螞蟻走過或費洛蒙已揮發完畢的路徑作為區分。在排程代理人時已經介紹過費洛蒙的更新，以下只簡介各個資源選擇後的費洛蒙濃度更新方式(Dorigo, 1996)：

$$\tau_{zij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{zij}(t) + \sum_{k=1}^K \Delta\tau_{zij}^k \quad (3.14)$$

其中， $\tau_{zij}(t)$ 及 $\tau_{zij}(t+1)$ 為資源 j 在專案 z 工作站 i 時間 t 及 $t+1$ 時間的費洛蒙濃度。

$$\Delta\tau_{zij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{S^k} & , \text{ if } x, y \in S^k \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad (3.15)$$

S^k ：代表螞蟻 k 所完成的成本總大小。

Q ：為一參數值，一般設為100，但是本研究因為總成本過高將於實驗驗證時提出另一比較合適的值。

ρ ：為費洛蒙衰退參數， $0 < \rho < 1$ 。

(7)排程搜尋：不斷進行上述六步驟直到專案代理人不再傳遞任務為止，即將此次的配置數據交給排程代理人進行排程。在排程中交期越是寬裕，排程工作站的浮時就越大，可以配置的人力就可以越是密集，因此執行代理人會不斷的減少配置資源的總量直到排程代理人傳回資訊無法繼續排程為止。

(8) 搜尋最小總成本：不斷的重複上述進行的 1 到 7 的步驟，每次都會產生一個成本，並搭上費洛蒙的改善讓搜尋可以收斂到一個最小的總成本。直到系統收斂到一個最小的作業成本，方才停止整個系統的搜尋。

各種不同類型的代理人在運作上，都是以自身利益為最大考量的個體，因此在系統運作時，需要執行代理人做最後的判斷準則。全部代理人之間的運作關係統整如圖 3.11 所示：

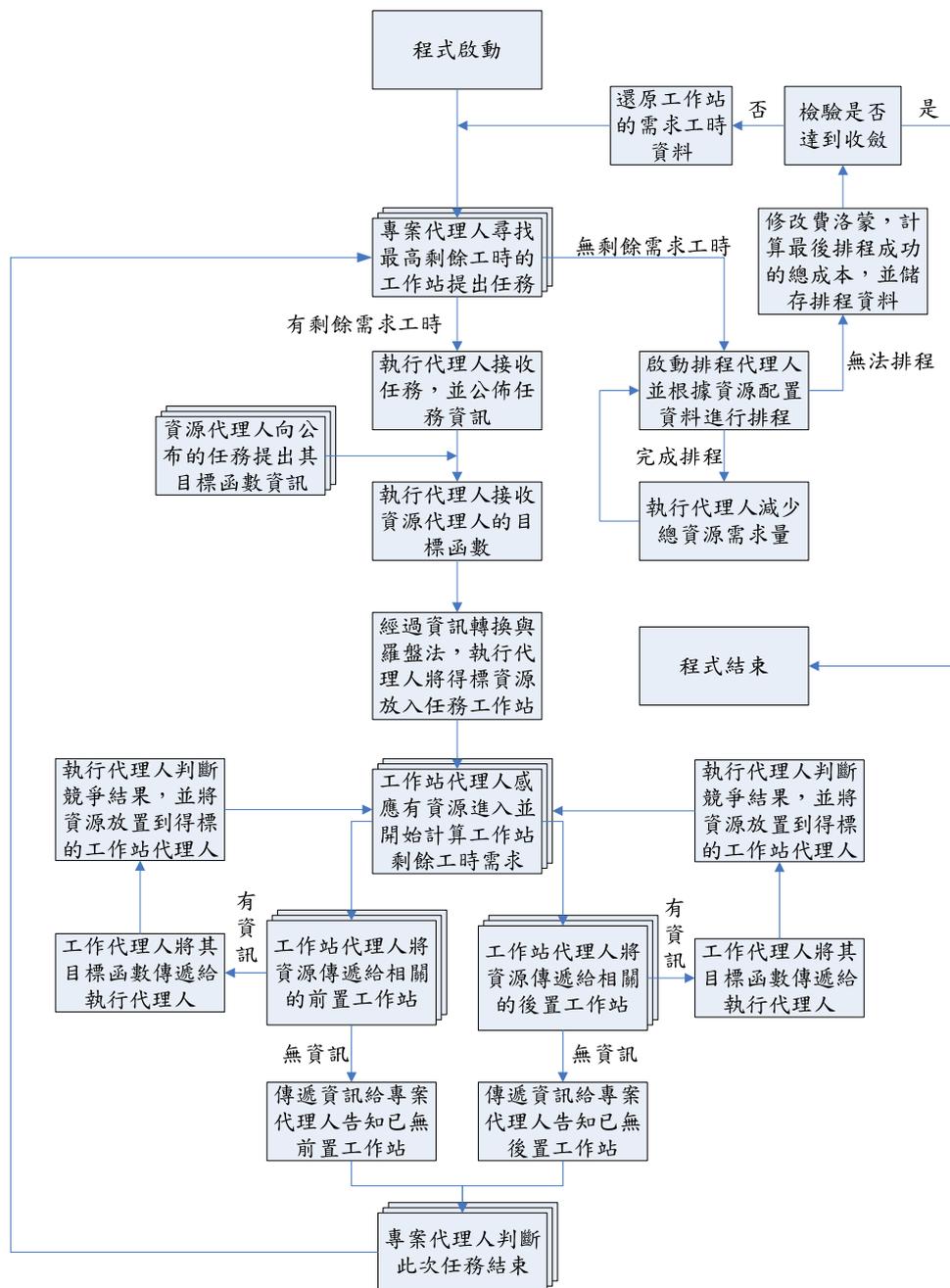


圖 3.11 程式邏輯圖

第四章 實例驗證研究

本研究設計一個兩條生產線的專案排程，並使用 Visual C++ 2003，ILOG SCHEDULER 以及 JAVA 作為設計的平臺，電腦的執行環境為 Pentium 1.6GHz，記憶體為 1G。

4.1 測試範例說明

本研究所研究的多資源限制下的多專案排程問題主要變數包含了四項：1.工作站之間的順序關係；2.各工作站所需求的工時負荷(Load)；3.各類人力資源對工作站的工作效率；4.各生產線的交期(Due Date)。而本研究的測試的範例中主要根據不同的交期對生產線的資源分配影響做比較。收斂目標訂定為最小成本下的專案排程。系統是以尋找近似最佳解的方式搜尋，但本研究以是否到有效的人力使用率作為判斷是否有找到近似最佳解的依據。根據 Lewis(2004)所著作的專案管理一書內容，訂定人力使用率的目標為 85%。

4.1.1 專案與工作站關係圖

本研究以生產排程概念中不同的工作先後順序之概念設計兩條專案下其生產線與工作站之間的關係圖，如圖 4.1 所示：

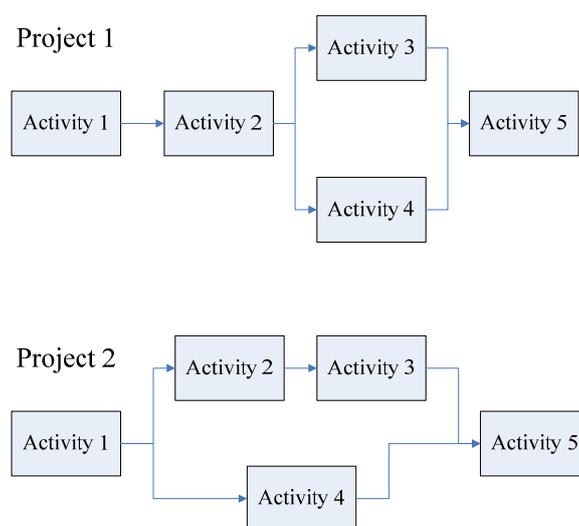


圖 4.1 生產線與工作站之關係圖

4.1.2 資源與工作站資訊表

本研究設計之人力資源對工作站的工作效率表以及成本關係表 4.1 以及工作站的工作時間及需求工時負荷表 4.2，其中各類資源在工作站的工作效率、各工作站的工作時間以及需求工時負荷是在不同隨機範圍內隨機產生。

表 4.1 人力資源對工作站的工作效率以及成本關係表

Project	Activity	Resource 1	Resource 2	Resource 3
1	1	100%	100%	62.5%
	2	87.5%	87.5%	50%
	3	100%	87.5%	62.5%
	4	100%	75%	50%
	5	100%	87.5%	62.5%
2	1	100%	100%	50%
	2	100%	87.5%	50%
	3	100%	75%	62.5%
	4	87.5%	87.5%	50%
	5	87.5%	100%	75%
Cost		40800	38400	28400

表 4.2 工作站的工作時間以及需求工時負荷表

Project	Activity	predecessor activity	successor activity	Duration	Load
1	1	0	2	3	30
	2	1	3、4	4	35
	3	2	5	3	20
	4	2	5	2	25
	5	3、4	0	5	40
2	1	0	2、4	4	30
	2	1	3	4	20
	3	3	5	2	20
	4	1	5	4	15
	5	3、4	0	3	30

4.2 多重代理人之協商溝通架構以及參數設定

本研究所設計的多重代理人系統由五種代理人所形成，分別為資源代理人、專案代理人、工作站代理人、執行代理人以及排程代理人。以下各別介紹代理人之間協商溝通的方式，以及內部參數設定。

4.2.1 多重代理人之協商溝通架構

一. 專案代理人與執行代理人：

專案代理人負責任務的傳遞，每次任務是根據資料庫中各個剩餘需求工時(Load)最大的工作站所產生。並將產生的任務資訊傳遞給執行代理人。

二. 資源代理人與執行代理人

執行代理人在接到任務後，會傳遞訊息給各個資源代理人並要求資源代理人傳遞其目標函數傳給執行代理人，並依此數據判斷任務的資源分配。其資源代理人的目標函數如下所示：

$$f(R_{zijxy}) = [Q_3'(\tau_{zijxy})]^\alpha \left[Q_1' \left(\frac{C_j}{n_{zij}} \right) \right]^\beta \quad (4.1)$$

參數介紹如下：

1. 費洛蒙起始濃度(τ_{zijxy})

每隻螞蟻的搜尋過程，會存在於各個工作站中的變動值。由於在自然的過程中，螞蟻尚未走過工作站時，並沒有費洛蒙存在，應該設初始值為 0，在相關的文獻中，為了避免程式計算的過程有錯誤，本研究在設計費洛蒙濃度的初始值為 1。

2. 費洛蒙的權重變數(Q_3')

本研究中權重變數的設計除了考量判斷過程中變數的重要性，並包含了正規化的過程。然而費洛蒙並不需要正規化，在此只考量變數的重要性。

3. 單位有效工時之成本的權重變數(Q_1')

單位有效工時之成本受到人力資源的工作效率以及人力成本的考量，在判斷的過程中，必須先經過成本之正規化再乘上重要性的比例。

4. 費洛蒙之參數(α)以及成本之參數(β)

兩參數的設計會影響在搜尋的過程中，收斂的速度。但在本研究中，影響目標值的變數不止這兩項，因此在參數的設計組合中假設範圍只設計三種測試水準 $(\alpha, \beta) \in (1, 2, 3)$ 。

三. 工作站代理人與執行代理人

執行代理人在判斷資源的分配後，會將資源分配至任務需求的工作站，而工作站代理人在其負責的工作站接收到資源後，會根據此工作站的前置與後置工作站關係，將資源不斷的傳遞至關聯的工作站，直到沒有相關聯的工作站為止。然而在相關連的工作站中，如果有資源會互相衝突則會將其經過正規化後的目標函數傳遞給執行代理人根據目標函數之大小做為資源給予的判斷基礎。原目標函數如下：

$$f(A_{zjxy}) = w_1' \left(\frac{C_j}{n_{zj}} \right) + w_2' \left(\frac{U_{zi}}{L_{zi}} \right) + w_3' (\tau_{zjxy}) \quad (4.2)$$

參數介紹如下：

1. 費洛蒙起始濃度 (τ_{zjxy})
費洛蒙的起始濃度，同上頁之介紹。
2. 單位有效工時之成本的權重變數 (w_1')
權重變數的設計在正規化的過程中與上頁之變數 Q_1' 相同，但是重要性的比例由於考量到三種不同的變數，因此在數值的設計上會與 Q_1' 有所不同。
3. 工作站工時需求之權重變數 (w_2')
工作站的工時需求會隨著資源的配置而不斷的降低直到 0 為止。但是各工作站的總需求(Load)不同，在評判時也會依據已放置的資源而不同，因此 w_2' 的設計包含了正規化以及重要性的考量。
4. 費洛蒙的權重變數 (w_3')
同上頁 (Q_1') 之介紹，但是其權重的設計考量到三種不同的變數，因此在數值的設計上會與 Q_3' 有所不同。

四. 執行代理人以及排程代理人

專案代理人若是不再提出任務給予執行代理人，則執行代理人會傳遞

資訊給排程代理人開始根據資訊排程。因為排程的浮動餘時影響，不同的交期對排程的結果有很大的影響，因此執行代理人會不斷縮減人力資源的總量給排程代理人執行排程，直到排程代理人傳回訊息各資源的總量都已經無法縮減為止。此時執行代理人則會執行費洛蒙的消退、局部更新以及全域更新。

1. 局部更新

費洛蒙的局部更新會根據此次螞蟻所經過的路線，做費洛蒙的更新。主要是希望藉由費洛蒙濃度改變，來增加其他螞蟻發現其他可行解的機會。

2. 全域更新

全域更新即為選出所有螞蟻所經過的路線中最佳的路線做費洛蒙的更新。主要是希望藉由費洛蒙濃度的改變，增加其他螞蟻都可以找到最佳解機會。更新的函數如下：

$$\tau_{xy}^k(t+1) = (1-\rho)\tau_{xy}^k(t) + \sum_{k=1}^K \Delta\tau_{xy}^k \quad (4.3)$$

$$\Delta\tau_{xy}^k = \begin{cases} \frac{Q}{S^k} & , \text{ if } x, y \in S^k \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad (4.4)$$

參數介紹

1. 消退率(ρ)

消退率影響搜尋過程中的收斂速度，消退率越大，收斂的速度就會越慢。對此參數設計的組合本研究考量 $\rho \in (0.99, 0.95, 0.90)$ 此三組數據。

2. 常數 Q 值

根據文獻，一般 Q 值設計為 100。由於本研究的成本比重過高，因此根據實驗的數據，以人力資源成本的平均值做為 Q 值的取代。

4.2.2 參數設計

本研究所探討的參數有五項，其個別為：1. 權重(α, β) 2. 權重(w_1, w_2, w_3) 3. 權重(Q_1, Q_3) 4. 消退率(ρ) 5. 常數 Q 值。參數的設計與範圍整理於下頁：

1. 權重(α, β)與權重權重(Q_1, Q_3)：

Q_3' 與 α 是為費洛蒙相關的權重，而 Q_1' 與 β 是成本相關的權重，兩兩皆有相互關係。而 α 以及 β 是控制費洛蒙與成本何者較為重要的比例。而 Q_1' 與 Q_3' 則是在正規化後，必須要控制搜尋的初期不能有過大的目標函數差異存在，造成在多方後差異變的太大所設定。而是 Q_1' 費洛蒙相關的權重並不需要正規化，因此在此設 Q_1' 為1，而 Q_3' 受到成本需要正規化的影響本研究測定為1, 2, 3, 4 以及 5 五種值在收斂狀況的數據。

2. 權重(w_1', w_2', w_3'):

w_1' 是成本相關的權重， w_2' 是工作站需求工時負荷的權重， w_3' 是費洛蒙的權重。其中 w_1' 與 w_2' 需要經過正規化，而 w_3' 則不需要。但是根據目標函數的設計並不能如同 Q_3' 設定 w_3' 為1，因為搜尋過程中必須確定費洛蒙的權重到後期是否具有決定性的優勢。本研究測定 $(w_1, w_2, w_3) \in (1, 2, 3, 4, 5)$ 五種值的收斂狀況。

3. 消退率(ρ)與常數 Q 值:

消退率代表費洛蒙在更新的過程中代表費洛蒙在每次搜尋過程的減少量，而常數 Q 值代表的是增加量。因此兩者的搭配上 ρ 越低則需要搭配越高的 Q 值，相對的 ρ 越高則需要搭配越低的 Q 值。為了防止搜尋過程過早收斂至穩定態(容易掉進局部最佳解)， ρ 值不會設到0.9以下。本研究在實驗過程中分別測試三種數據0.99, 0.95 以及 0.9，並搭配不同的 Q 值，而 Q 值以平均成本為最低的增加量，依造 ρ 減少的比率增加 Q 值分別為36000, 38000, 40000。

上述所探討的三項參數設計與範圍，其中1,3項與2,3項有相互關係存在，而1,2項並沒有明顯的關係存在。因此本研究互相搭配1,3項的參數關係，以及2,3項的參數關係做比對。

1. 第1項及第3項相互比對的收斂狀況:

此實驗設計 (w_1', w_2', w_3') 權重取平均值(3,3,2)， w_3' 權重較小因為本研究是以成本為主要目標，因此選擇差異最小的2。在研究的過程中，首先探討 α, β 的關係。本研究的目標在於尋找成本的最小值，因此權重的設計方面成本的權重會比較大，因此設計 $(\alpha, \beta)=(1,2)$ 或是(2,3)，在不同 Q_3' 值的

變動下的變動狀況。而(1,3)的設計差異過大，並不考量。

在 $(\alpha, \beta)=(1,2)$ ， ρ 為 0.99， Q_3' 值為 1 時皆會收斂過於快速(在 300 代內則具有穩定狀況)。而在 Q_3' 值為 3、4 或是 5 時皆容易進入局部最佳解。在 Q_3' 值為 2，收斂的速度平均皆在 200-400 左右會出現收斂的狀況，不會在初期就陷入局部最佳解(實驗數據可參考附錄一)。

在 $(\alpha, \beta)=(2,3)$ ， ρ 為 0.99 時，除了 Q_3' 值為 1 以及 Q_3' 值為 2 時皆會收斂快速，且容易進入局部最佳解。 Q_3' 值為 3、4 或是 5 皆很快進入局部最佳解，收斂狀況極端(實驗數據可參考附錄一)。依照數據本研究認為參數在 $(\alpha, \beta)=(2,3)$ 的設計，對整體收斂狀況並不好。整理如下表 4.3 所示：

表 4.3 代理人參數設計概況表

(α, β)	(Q_1', Q_3')	收斂狀況
$(1,2)$ $\rho=0.99$	(1,1)	收斂過於快速
	(2,1)	收斂的速度平均皆在 200-400 左右會出現收斂的狀況，不會在初期就陷入局部最佳解
	(3,1)	容易進入局部最佳解
	(4,1)	容易進入局部最佳解
	(5,1)	容易進入局部最佳解
$(2,3)$ $\rho=0.99$	(1,1)	收斂過於快速
	(2,1)	收斂過於快速
	(3,1)	收斂狀況極端
	(4,1)	收斂狀況極端
	(5,1)	收斂狀況極端

因此在設計權重時建議設定 $(\alpha, \beta)=(1,2)$ ， Q_1' 值為 1， Q_3' 值為 2， ρ 為 0.99 的狀況。本研究以 $(\alpha, \beta)=(1,2)$ ， Q_1' 值為 1， Q_3' 值為 2 在針對 ρ 為 0.99、0.95 以及 0.9 作比對。結果如表 4.4 所示(實驗數據可參考附錄一)：

表 4.4 費洛蒙參數設計概況表

消退率(ρ)	常數 Q 值	收斂狀況
0.99	36000	在初期跳動幅度較大，直到約 200-400 代的費洛蒙更新之後開始進入收斂的狀態，約在 400-600 左右可以達到穩定狀況。
0.95	38000	在初期跳動幅度較大，在收斂過程中，在中期約 200-300 代左右會進入穩定狀況，但是若是在初期就找到不錯的局部最佳解，並不容易跳開此解。
0.9	40000	收斂的過程非常不理想，太快進入穩定狀況。除非在初期就找到最佳解，否則難以跳脫局部最佳解。

根據收斂的狀況，本研究以尋找最適成本解為主要任務，因此建議選擇初期跳動狀況較為大者，以不陷入局部最佳解為優先，因此建議選擇消退率(ρ)為 0.99 以及常數 Q 值為 36000， $(\alpha, \beta)=(1,2)$ ， Q_1' 值為 1， Q_3' 值為 2。

2. 第 2 項及第 3 項相互比對的收斂狀況：

此實驗根據上述之結果，取消退率(ρ)為 0.99 以及常數 Q 值為 36000， $(\alpha, \beta)=(1,2)$ ， Q_1' 值為 1， Q_3' 值為 2，探討 (w_1', w_2', w_3') 的權重設計。本研究以最低成本為主要考量，因此相對於成本的權重 w_1' 會比費洛蒙的權重 w_3' 來的高，而成本權重 w_1' 與工作站對資源需求的權重 w_2' 卻是反比關係，在工作站對資源的需求度不高的時候，則以成本為優先考量，但是在需求度高的時候，則會以需求度為優先考量。因此本研究定 w_1', w_2' 兩權重為相同值。本研究以差異量為主要測定的考量，分別在在 w_1' 與 w_3' 差異為 3,2,1 三種狀態時，探討收斂的狀況。在差異為 1 的時候在收斂上並沒有明顯的變動維持在 200-400 之間會有開始有收斂的狀態，在差異為 2 的時候開始收斂狀況有微微快速的情況，在差異為 3 的時候，收斂快速狀況增大，大約要至 300 代以後就出現穩定的狀況。由於 w_1', w_2' 兩權重會經過正規化過程，並根據實驗的結果 w_1', w_2' 兩權重可設為 3 或是 4，而 w_3' 的差異以不少於 2 為基準(實驗數據可參考附錄一)。而本研究建議可以 w_1', w_2' 為 3， w_3'

為 2 的權重來設定。整理如下表 4.5 所示：

表 4.5 資源參數設計概況表

差異量	收斂狀況
1	差異為 1 的時候在收斂上並沒有明顯的變動維持在 200-400 之間會開始有收斂的狀態
2	差異為 2 的時候開始收斂狀況有微微快速的情況
3	差異為 3 的時候，收斂快速狀況增大，大約要至 300 代以後就出現穩定的狀況。

4.3 實驗結果

本研究根據 4.1.2 的數據資料，依據不同的參數設計檢驗其收斂的狀況。並判斷其所收斂的最小成本值下所分配的人力資源，是否有達到 85% 的使用率。本研究所探討的狀況有以下六點。

第一，依據四組不同生產線但是共同交期的狀況來排程，目的在找出在不同交期狀況下人力資源的使用是否可以減免，由於測試的數據中，工作站的工作時間(duration)最小為 2，專案 1 的最少需求 15 才能完成專案，因此測試的交期數據以 15 為起始每次增加 2 為下次測試的數據。因此測試交期為 15、17 以及 19 三種緊與寬的交期狀況。並測試若只增加交期為 1 的時後，對成本的減少狀況，因此多測試交期為 20 的情況。結果參照 4.3.1 小節。

第二，假設工作站的負荷有不合理的瓶頸存在狀況下，是否還可以找到不錯的人力資源分配，測試的數據根據在兩生產線的交期為有寬裕時間的 20 以及緊急狀況下的 15，兩種狀況對成本的改變狀況。結果參照 4.3.2 小節。

以下會連續測試 4 種由限制寬鬆至限制嚴謹下，成本以及平均人力使用率的狀況，以驗證本系統在各種限制下，的實用性。

第三，依據不同的兩條生產線以及不同交期的狀況下，測試人力資源使用率是否還是可以達到目標，測試的狀況在生產線一的交期為 18 生產線二的交期為 16 天，以及生產線一的交期為 19 生產線二的交期為 17 天兩種

狀況下。結果參照 4.3.3 小節。

第四，假設人力資源有專業性存在，意即部份的工作站必須達到某種程度的等級才可派遣人力至此工作站，並測試在生產線一的交期為 19 而生產線二的交期為 17 天的狀況。結果參照 4.3.4 小節。

第五，假設人力資源有專業性存在，並且工作站的負荷有不合理的瓶頸存在狀況下，測試在生產線一的交期為 19 而生產線二的交期為 17 天的狀況。結果參照 4.3.5 小節。

第六，在第五點的限制情況下，並加上有資源限制的情況，及資源 1 最多只有 6 個人的情況。

以上六組實驗的參數依據實驗設計所找出的參數為基礎，參數如下：

$$\alpha=1, \beta=2, \rho=0.99。$$

$$(Q_1, Q_3) \text{ 權重部分} = (2, 1)。$$

$$(w_1, w_2, w_3) \text{ 權重部分} = (3, 3, 2)。$$

$$Q = 36000。$$

收斂的停止條件設為當最佳解連續 200 次都相同時，並且達到 30% 的機率在每次的搜尋都是出現最適解，則停止排程。

4.3.1 不同交期的排程狀況

下圖 4.2、4.3、4.4、4.5 是排程各個工作站的配置結果以及人力資源的使用狀況，方格表示工作站的代號，如為(2-1)表示此工作站為專案 2 工作站 1 的配置，在方格下方的(1,2,2)，表示使用(資源 1,資源 2,資源 3)的數量。在圖中資源 A 代表及為資源 1，資源 B 代表資源 2，資源 C 代表資源 3。

1. 交期為 15 天

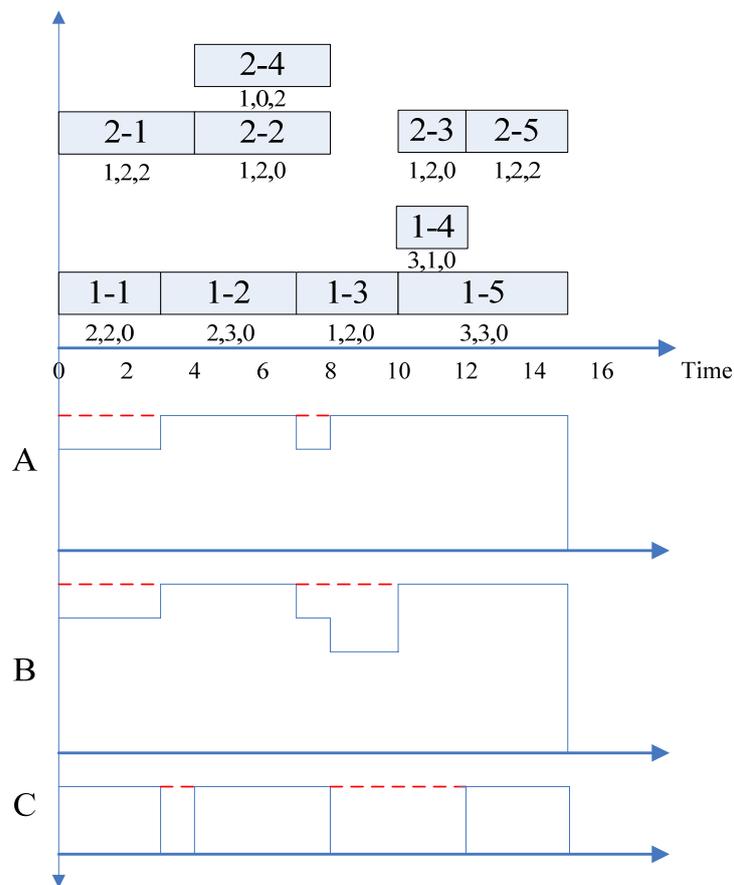


圖 4.2 交期為 15 天的排程狀況

人力資源的使用狀況如下：

資源 1 總共使用 4 人，使用率為 $56/60 = 0.933$ 。

資源 2 總共使用 5 人，使用率為 $67/75 = 0.893$ 。

資源 3 總共使用 2 人，使用率為 $20/30 = 0.776$

平均人力使用率為 0.8664。

總成本為 412000。

2. 交期為 17 天

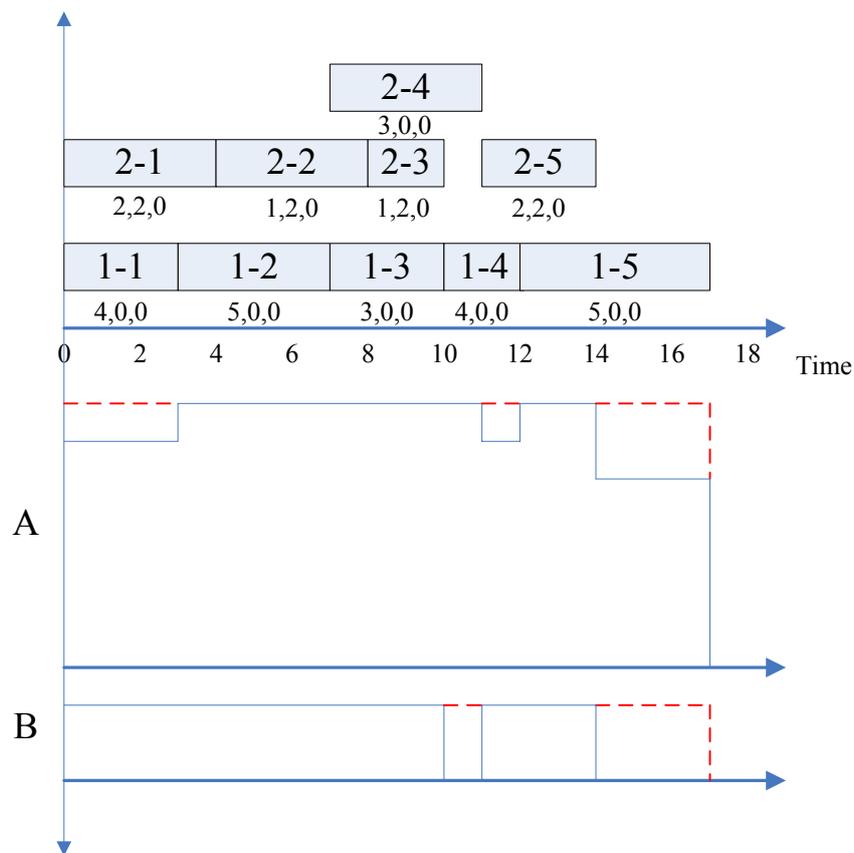


圖 4.3 交期為 17 天的排程狀況

人力資源的使用狀況如下：

資源 1 總共使用 7 人，使用率為 $109/119 = 0.916$ 。

資源 2 總共使用 2 人，使用率為 $26/34 = 0.765$ 。

資源 3 總共使用 0 人，使用率為 0。

平均人力使用率為 0.8824。

總成本為 362400。

3. 交期為 19 天

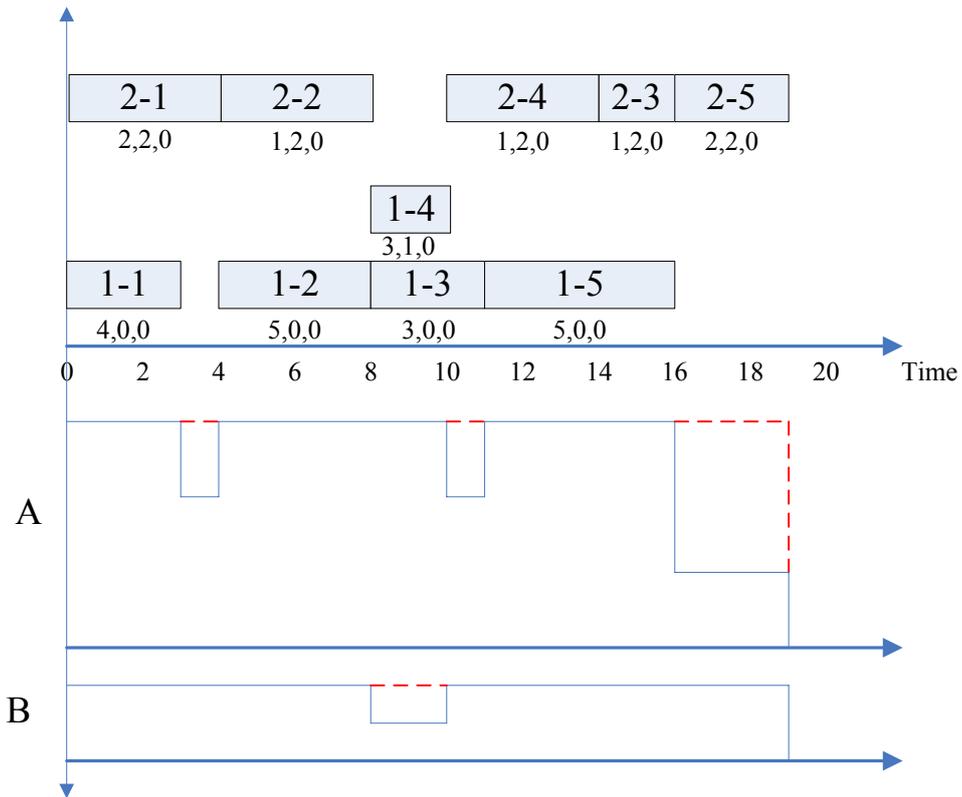


圖 4.4 交期為 19 天的排程狀況

人力資源的使用狀況如下：

資源 1 總共使用 6 人，使用率為 $100/114 = 0.877$ 。

資源 2 總共使用 2 人，使用率為 $36/38 = 0.974$ 。

資源 3 總共使用 0 人，使用率為 0。

平均人力使用率為 0.8945。

總成本為 321600。

4. 交期為 20 天

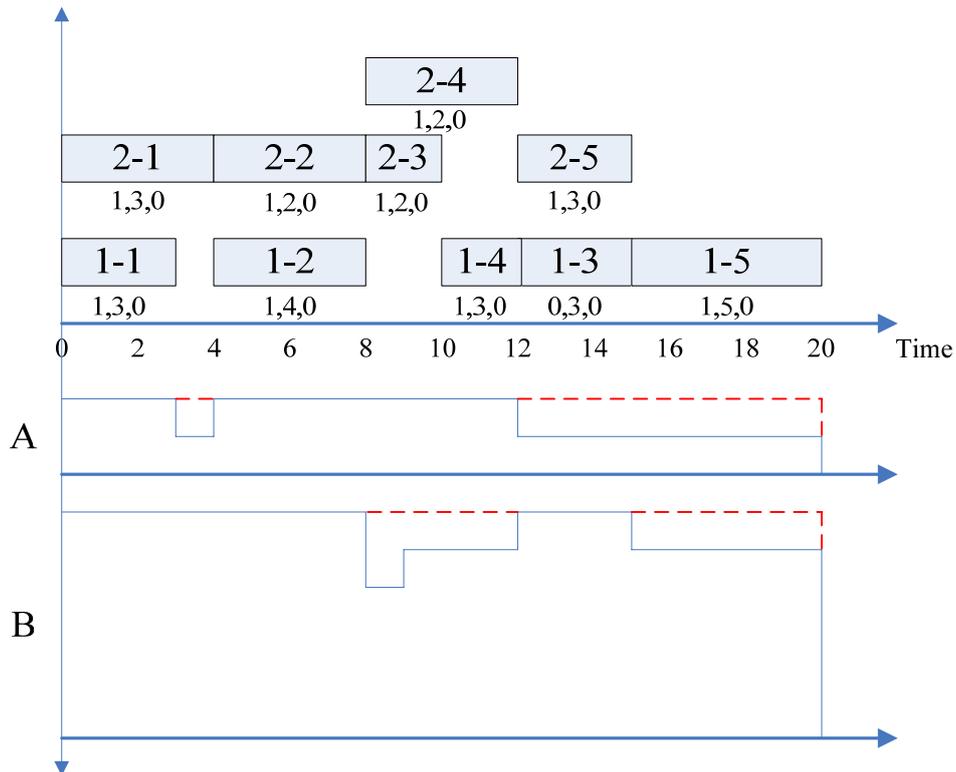


圖 4.5 交期為 20 天的排程狀況

人力資源的使用狀況如下：

資源 1 總共使用 2 人，使用率為 $31/40 = 0.775$ 。

資源 2 總共使用 6 人，使用率為 $110/120 = 0.9167$ 。

資源 3 總共使用 0 人，使用率為 0。

平均人力使用率為 0.8812。

總成本為 312000。

以下四圖 4.6、4.7、4.8、4.9 為在四種不同交期的狀況下，所產生的收斂狀況。Y 軸代表總成本，X 軸代表螞蟻的增量。數列一代表各螞蟻所形成的各組解(Local)，數列二代表最佳解(Global)。

交期為 15 天

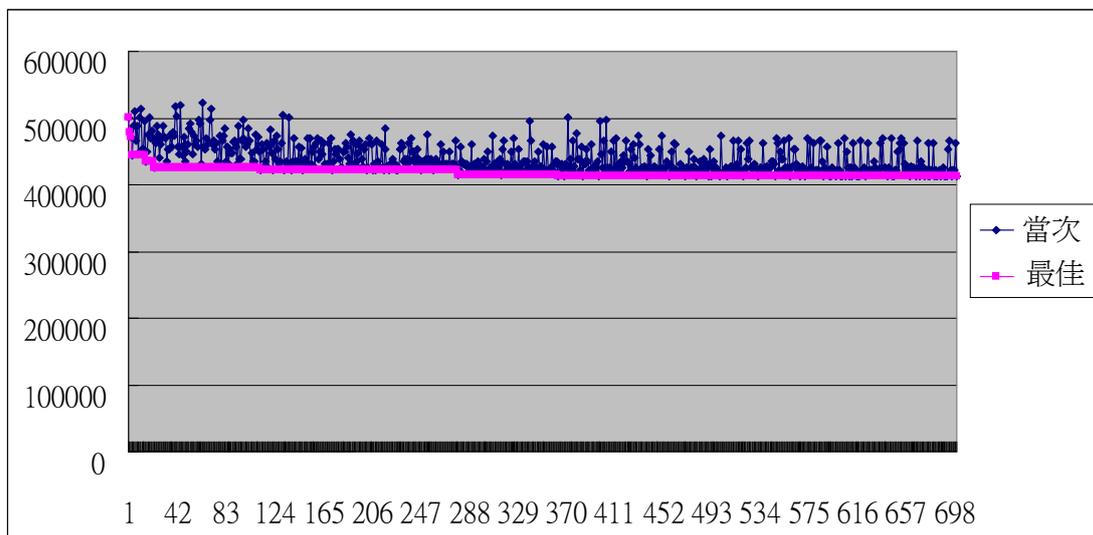


圖 4.6 交期為 15 天的收斂狀況

交期為 17 天

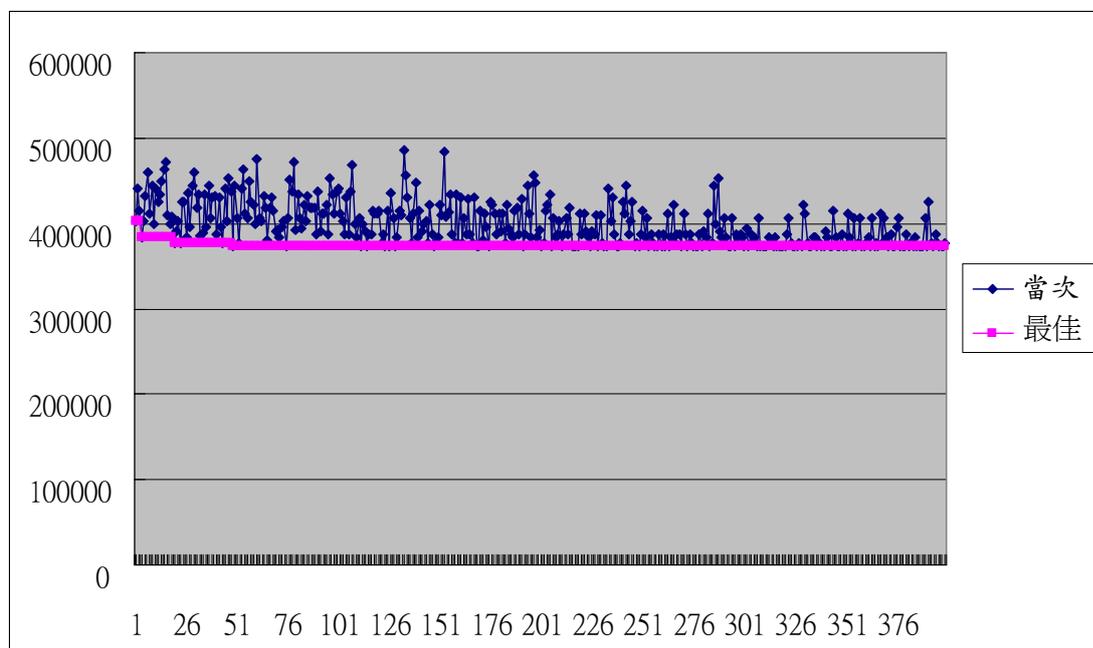


圖 4.7 交期為 17 天的收斂狀況

交期為 19 天

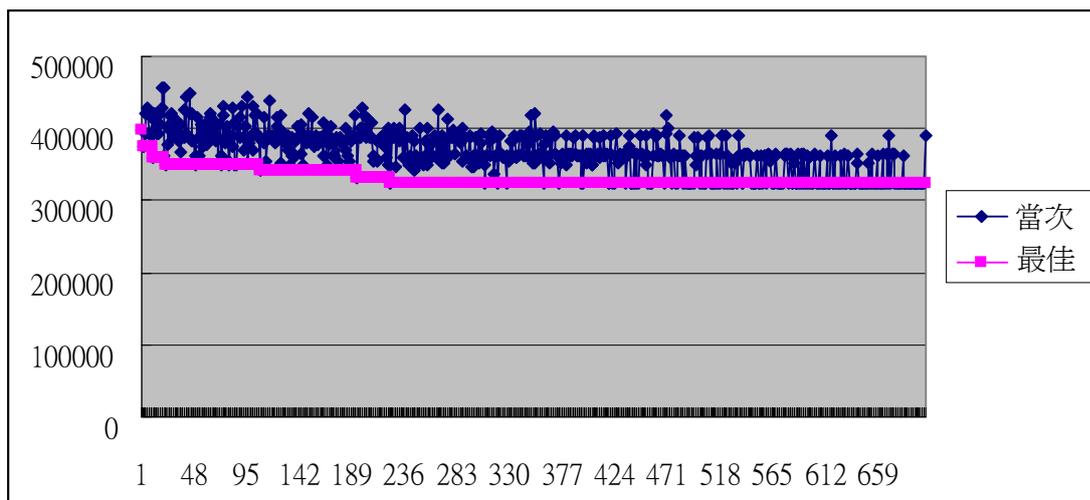


圖 4.8 交期為 19 天的收斂狀況

交期為 20 天

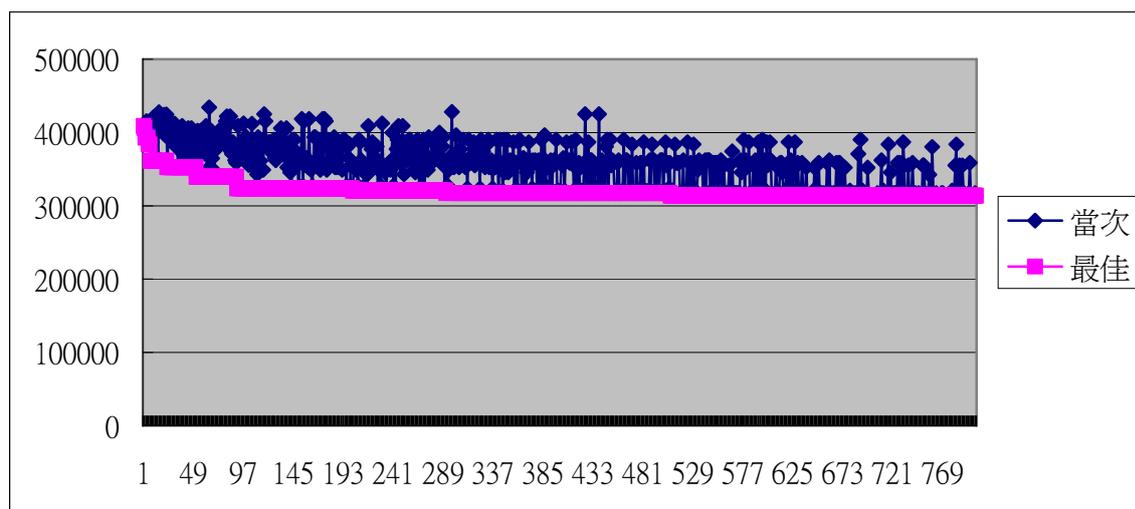


圖 4.9 交期為 20 天的收斂狀況

4.3.2 不合理工作站負荷狀況之排程

在 4.3.1 小節，所討論的狀況，是假設在一般環境下生產線內的工作站其負荷是正常分佈的狀況。在此小節本研究欲以兩種情境來探討較為特殊狀況下的排程是否還可收斂到一個不錯的解。此兩種情況分別為 1. 不合理的工作站負荷(Load)狀況在有寬裕時間下的排程；2. 不合理的工作站負荷(Load)狀況在時間緊迫下的排程。此意即探討兩種極端交期的狀況，分別是交期 20 天以及交期 15 天的狀況。

在 4.3.1 所做的實驗是根據表 4.1 以及 4.2 的負荷表所做的排程。在此探討若是出現瓶頸負荷是在可能需要平行工作的狀況，是否還可以排程出不錯的解。因此將表 4.2(p.54)修正如表 4.6 所示。

表 4.6 特殊狀況之工作站的工作時間以及需求工時負荷表

Project	Activity	predecessor activity	successor activity	Duration	Load
1	1	0	2	3	30
	2	1	3、4	4	35
	3	2	5	3	45
	4	2	5	2	25
	5	3、4	0	5	40
2	1	0	2、4	4	30
	2	1	3	4	20
	3	3	5	2	20
	4	1	5	4	40
	5	3、4	0	3	30

1. 不合理的工作站負荷(Load)狀況在有寬裕時間下的排程

本研究在探討交期為 20 天的狀況，圖的設計如同 4.3.1 所展示的圖一樣，結果如下頁圖 4.10 所示，圖 4.11 為收斂狀況。

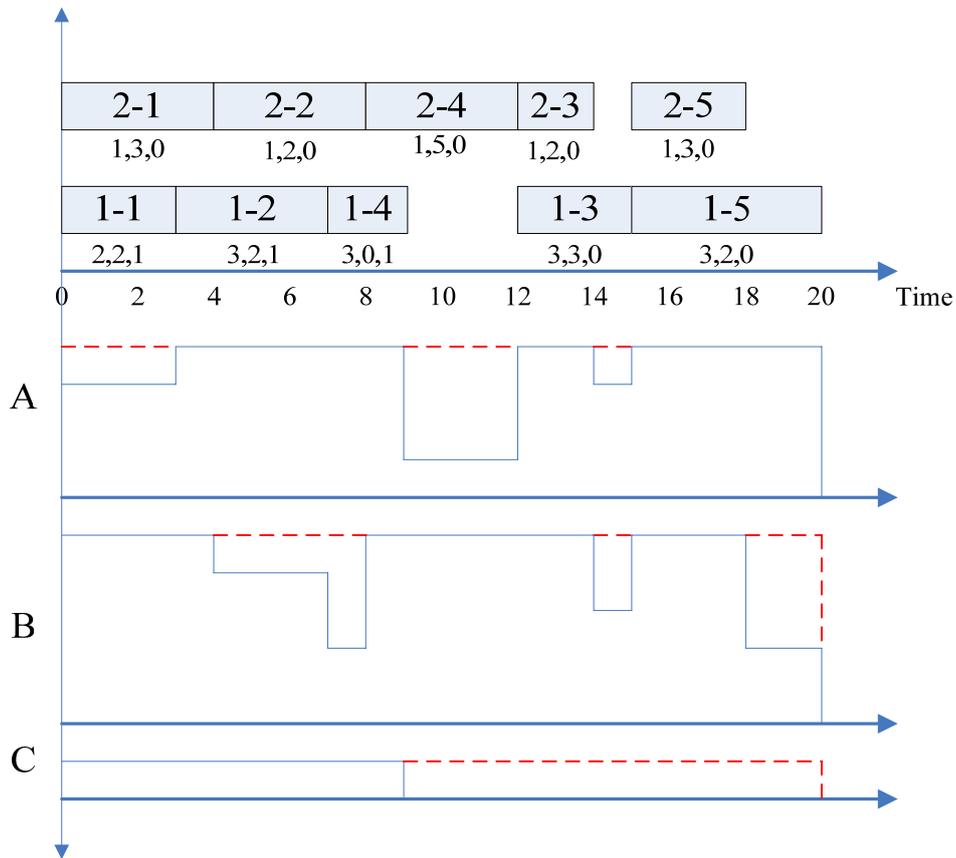


圖 4.10 交期為 20 天的狀況二排程

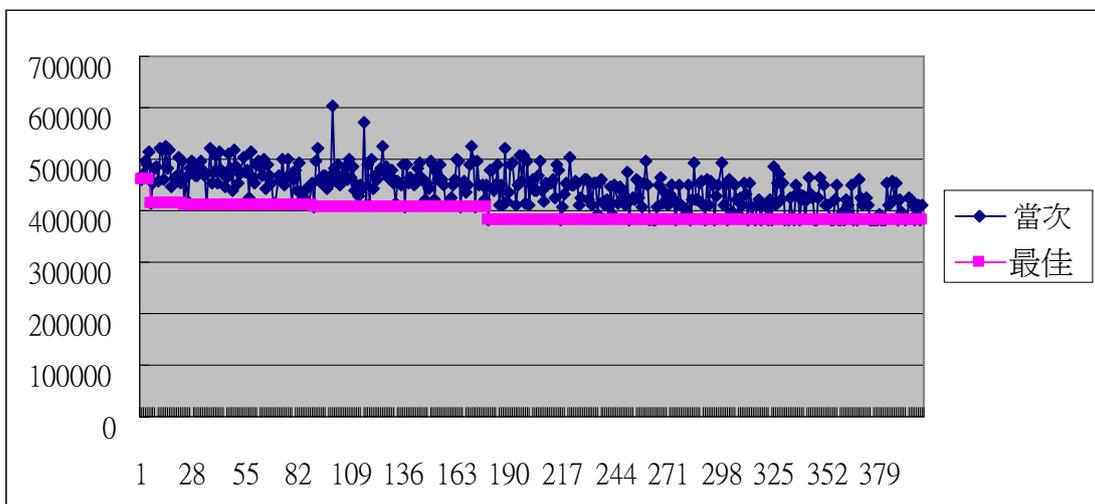


圖 4.11 交期為 20 天的狀況二排程收斂狀況

人力資源的使用狀況如下

資源 1 總共使用 4 人，使用率為 $65/80 = 0.8125$ 。

資源 2 總共使用 5 人，使用率為 $86/100 = 0.86$ 。

資源 3 總共使用 1 人，使用率為 $9/20 = 0.45$ 。

平均人力使用率為 0.8。

總成本為 383600。

2. 不合理的工作站負荷(Load)狀況在時間緊迫下的排程

交期 15 天的狀況如下圖 4.12 所示，收斂狀況如圖 4.13 所示：

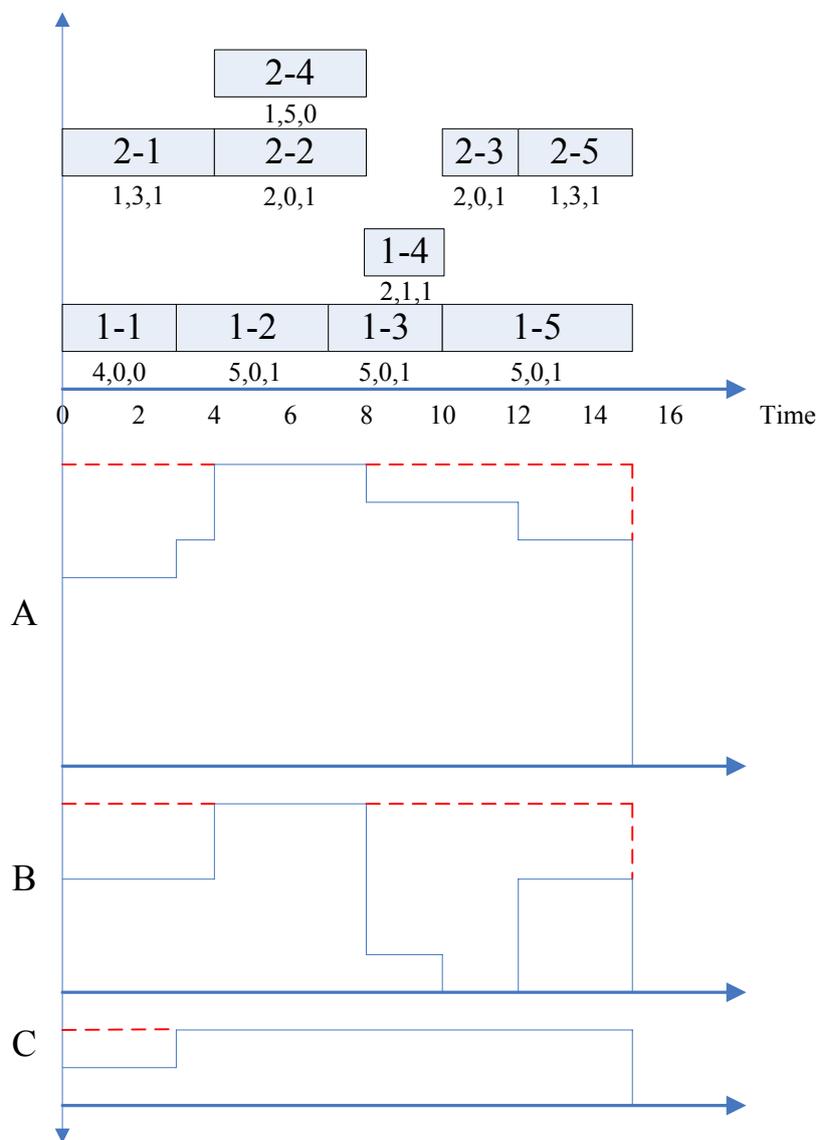


圖 4.12 交期為 15 天的狀況二排程收斂狀況

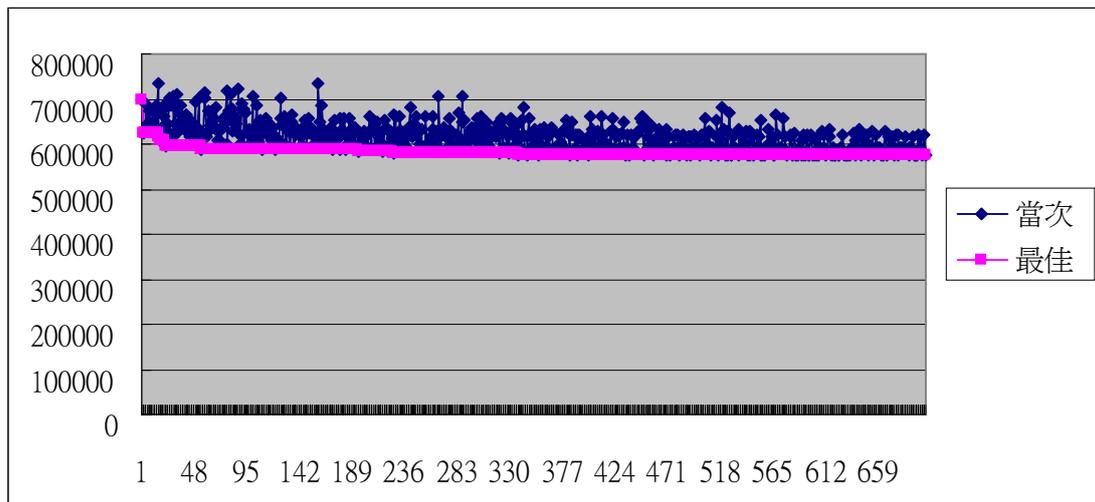


圖 4.13 交期為 15 天的狀況二排程收斂狀況

人力資源的使用狀況如下；

資源 1 總共使用 8 人，使用率為 $99/120 = 0.825$ 。

資源 2 總共使用 5 人，使用率為 $43/75 = 0.5733$ 。

資源 3 總共使用 2 人，使用率為 $27/30 = 0.9$ 。

平均人力使用率為 0.751。

總成本為 575200。

4.3.3 不同生產線不同交期狀況下的排程

本研究在此小節探討兩條生產線的交期分別 18,16 以及 19,17 兩種狀況下的排程狀況。

1. 生產線一交期為 18 生產線二交期為 16 的狀況如圖 4.14 所示，收斂狀況如 4.15 所示：

人力資源的使用狀況如下：

資源 1 總共使用 6 人，使用率為 $96/108 = 0.889$ 。

資源 2 總共使用 3 人，使用率為 $40/54 = 0.741$ 。

資源 3 總共使用 0 人，使用率為 0。

平均人力使用率為 0.8397。

總成本為 360000。

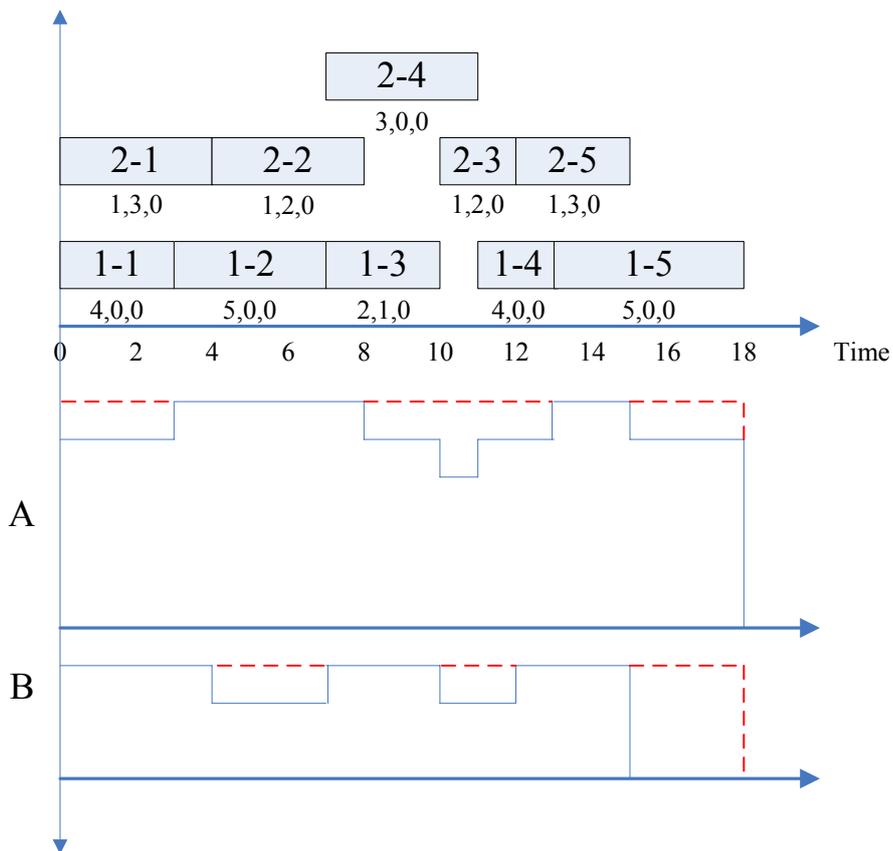


圖 4.14 交期為 18, 16 的狀況三排程狀況

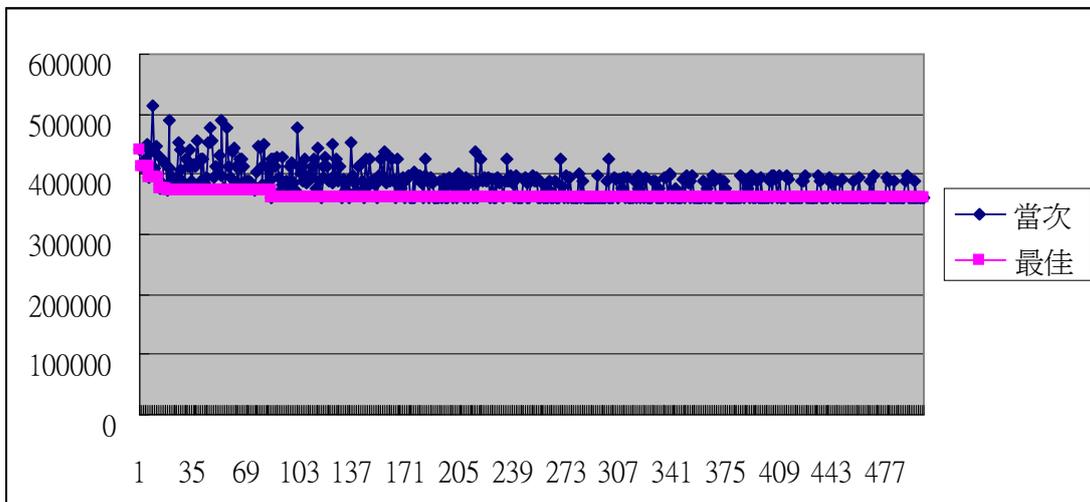


圖 4.15 交期為 18, 16 的狀況三排程收斂狀況

2.生產線一交期為 19 生產線二交期為 17 的狀況如圖 4.16 所示，收斂狀況如圖 4.17 所示：

人力資源的使用狀況如下：

資源 1 總共使用 3 人，使用率為 $53/57 = 0.93$ 。

資源 2 總共使用 6 人，使用率為 $92/114 = 0.807$ 。

資源 3 總共使用 0 人，使用率為 0。

平均人力使用率為 0.848。

總成本為 352800。

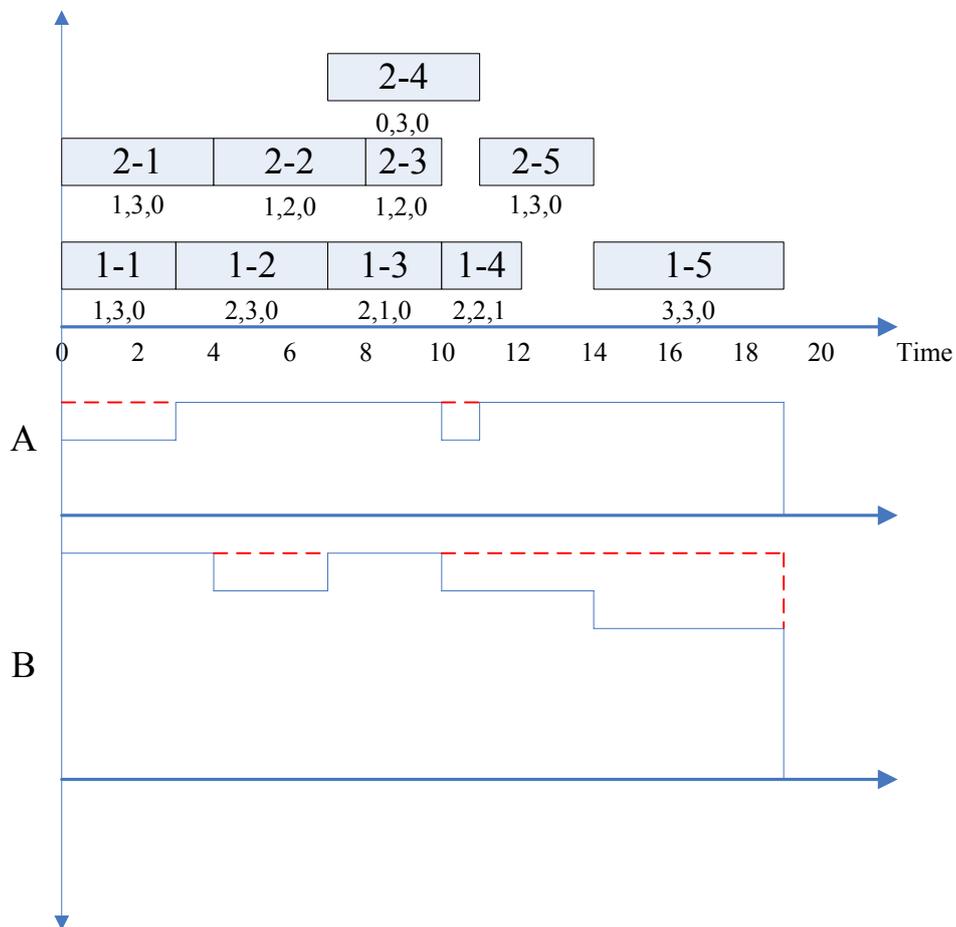


圖 4.16 交期為 19, 17 的狀況三排程狀況

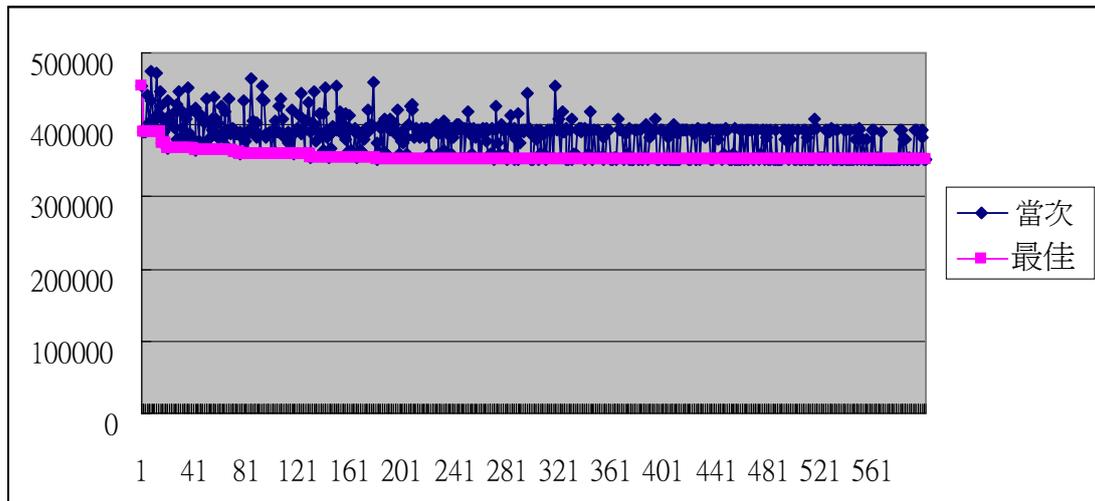


圖 4.17 交期為 19, 17 的狀況三排程收斂狀況

4.3.4 專業限制下不同產線不同交期情況之排程

本研究在此小節探討第一條生產線的交期為 19，第二條生產線交期為 17，結果如圖 4.18，收斂狀況如圖 4.19。在具有資源的專業限制下的排程狀況。具專業限制下之人力資源對工作站的工作效率以及成本關係表如表 4.7 所示，而工作站的工作時間以及需求工時負荷表則依據表 4.2(p.54)。

表 4.7 具專業限制之人力資源對工作站的工作效率以及成本關係表

Project	Activity	Resource 1	Resource 2	Resource 3
1	1	100%	100%	62.5%
	2	87.5%	87.5%	50%
	3	100%	87.5%	0%
	4	100%	75%	50%
	5	100%	87.5%	62.5%
2	1	100%	100%	50%
	2	100%	87.5%	50%
	3	100%	75%	62.5%
	4	87.5%	0%	0%
	5	87.5%	100%	0%
Cost		40800	38444	27714

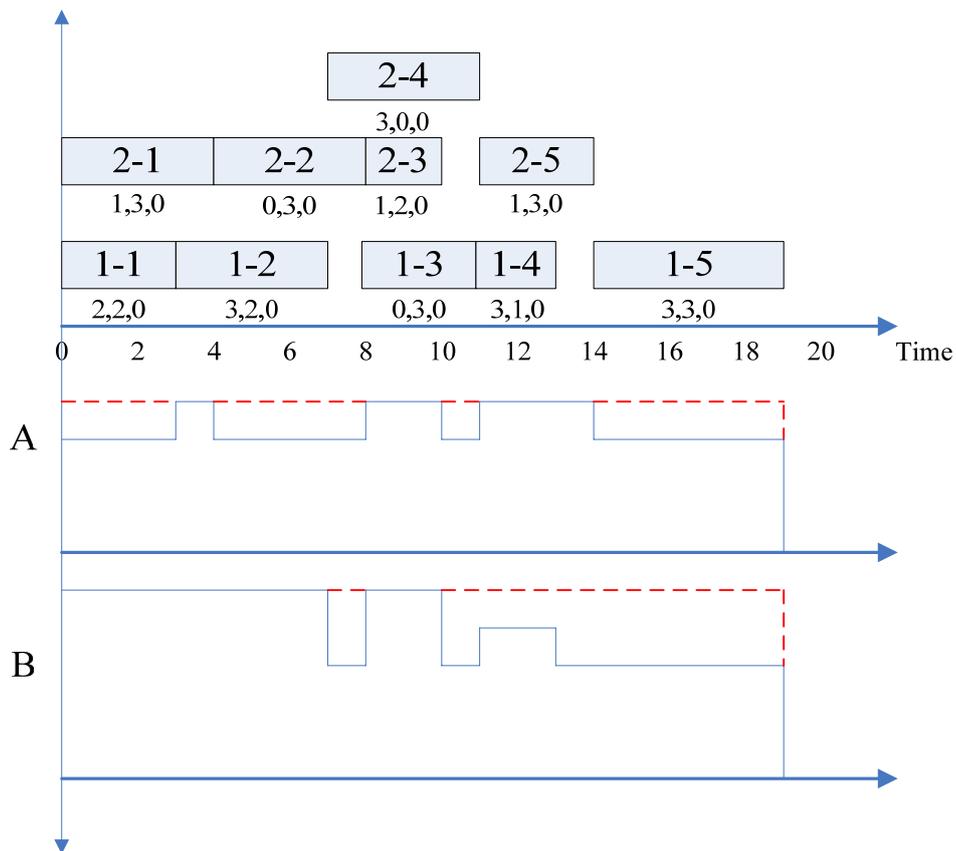


圖 4.18 交期為 19, 17 的狀況四排程狀況

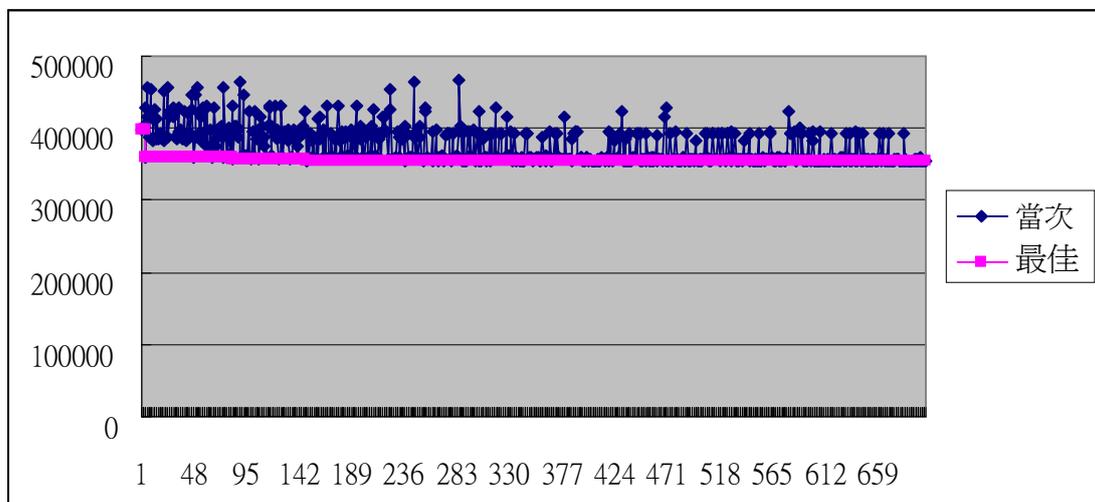


圖 4.19 交期為 19, 17 的狀況四排程收斂狀況

人力資源的使用狀況如下：

資源 1 總共使用 3 人，使用率為 $63/76 = 0.829$ 。

資源 2 總共使用 6 人，使用率為 $77/95 = 0.811$ 。

資源 3 總共使用 0 人，使用率為 0。

平均人力使用率為 0.819。

總成本為 355420。

4.3.5 專業限制及不合理工作站負荷下不同交期情況之排程

本研究在此小節探討第一條生產線的交期為 19，第二條生產線交期為 17，且具有資源的專業限制以及不合理工作站負荷的情況。資料方面，工作站的工作時間以及需求工時負荷表依照表 4.3(p.58)，而人力資源對工作站的工作效率以及成本關係表依照表 4.4(p.68)，實驗結果如圖 4.20 所示，收斂狀況如圖 4.21 所示。

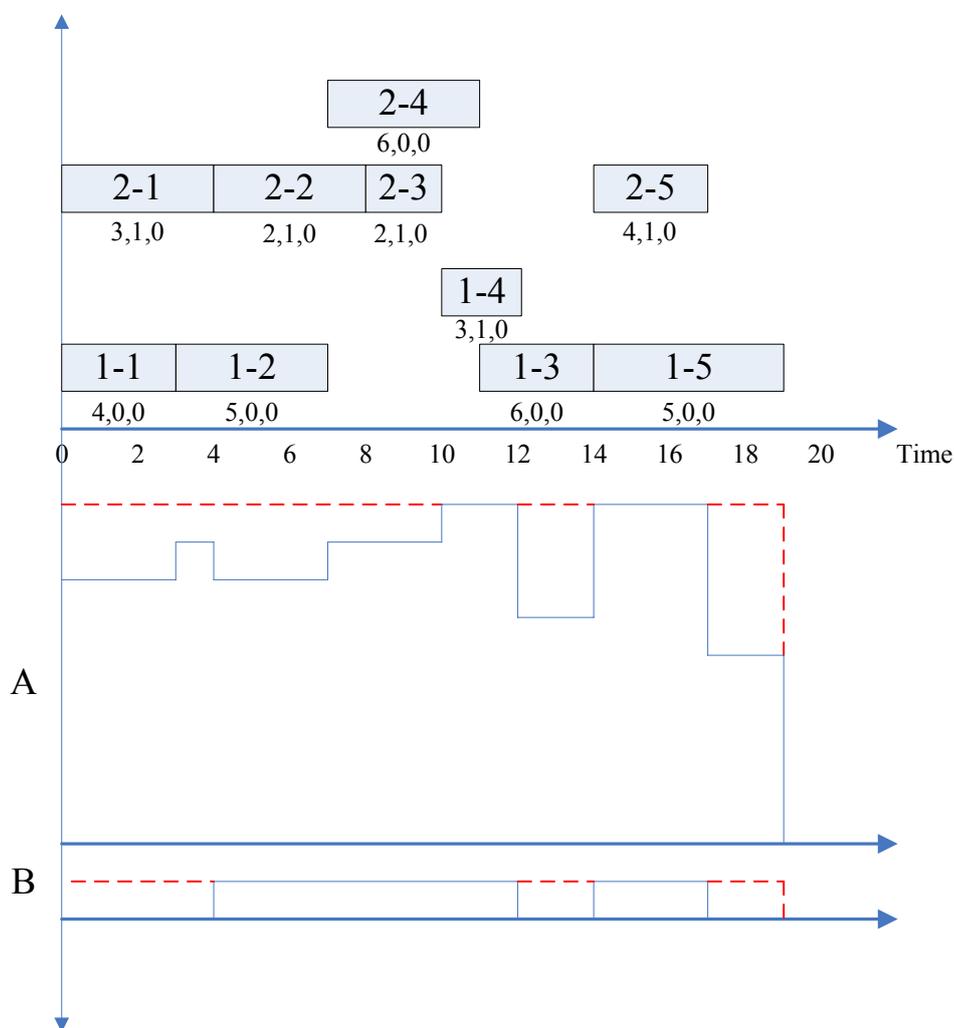


圖 4.20 交期為 19, 17 的狀況五排程狀況

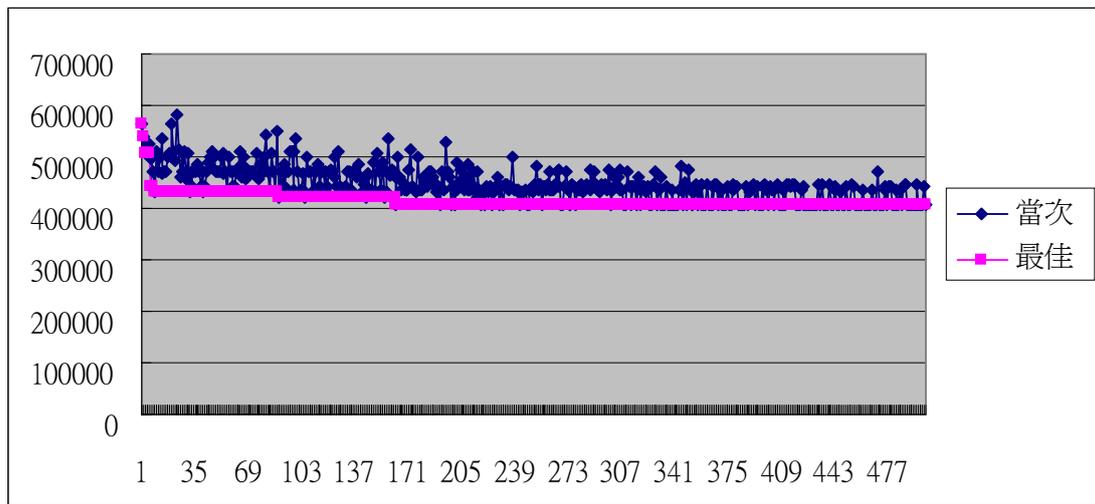


圖 4.21 交期為 19, 17 的狀況五排程收斂狀況

人力資源的使用狀況如下：

資源 1 總共使用 9 人，使用率為 $141/171 = 0.825$ 。

資源 2 總共使用 1 人，使用率為 $11/19 = 0.579$ 。

資源 3 總共使用 0 人，使用率為 0。

平均人力使用率為 0.8004。

總成本為 405644。

4.3.6 專業限制及不合理負荷在資源限制下之不同交期情況排程

本研究在此小節探討第一條生產線的交期為 19，第二條生產線交期為 17，具有資源的專業限制以及不合理工作站負荷的情況以及資源限制，資源 1 的總共使用人數最多只能有 6 個人的狀況。資料方面，工作站的工作時間以及需求工時負荷表依照表 4.3，而人力資源對工作站的工作效率以及成本關係表依照表 4.4，實驗結果如下頁圖 4.22 所示，收斂狀況如圖 4.23 所示。

人力資源的使用狀況如下：

資源 1 總共使用 6 人，使用率為 $91/114 = 0.798$ 。

資源 2 總共使用 4 人，使用率為 $68/76 = 0.895$ 。

資源 3 總共使用 1 人，使用率為 $7/19 = 0.368$ 。

平均人力使用率為 0.794。

總成本為 426976。

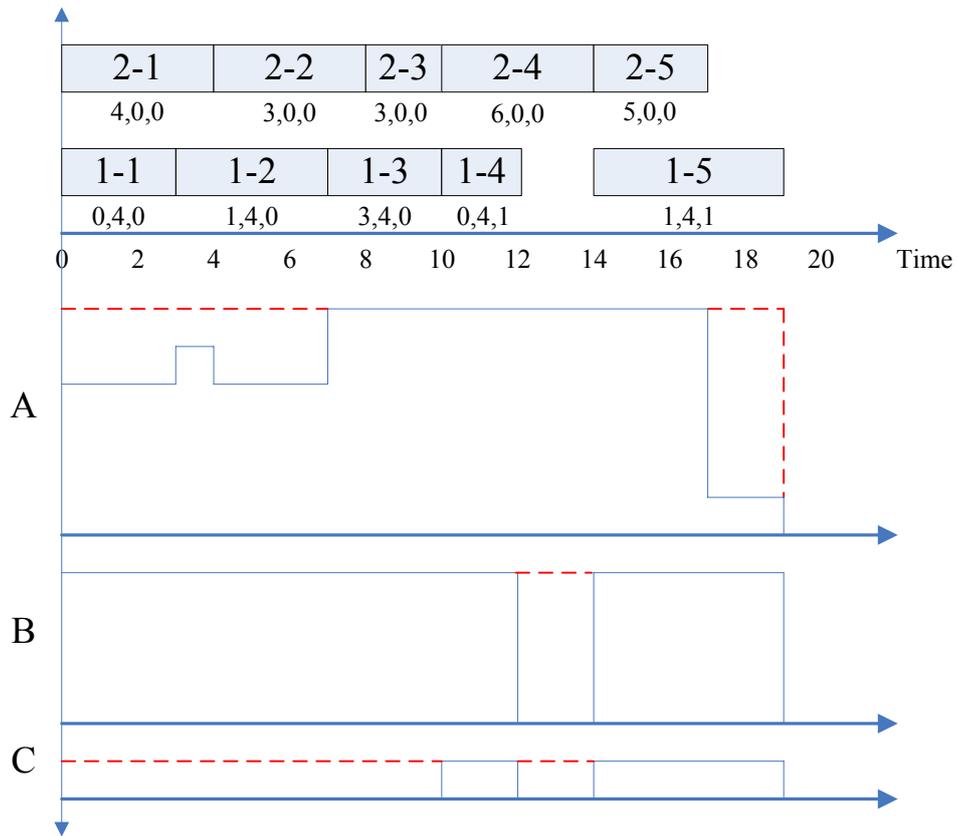


圖 4.22 交期為 19, 17 的狀況六排程狀況

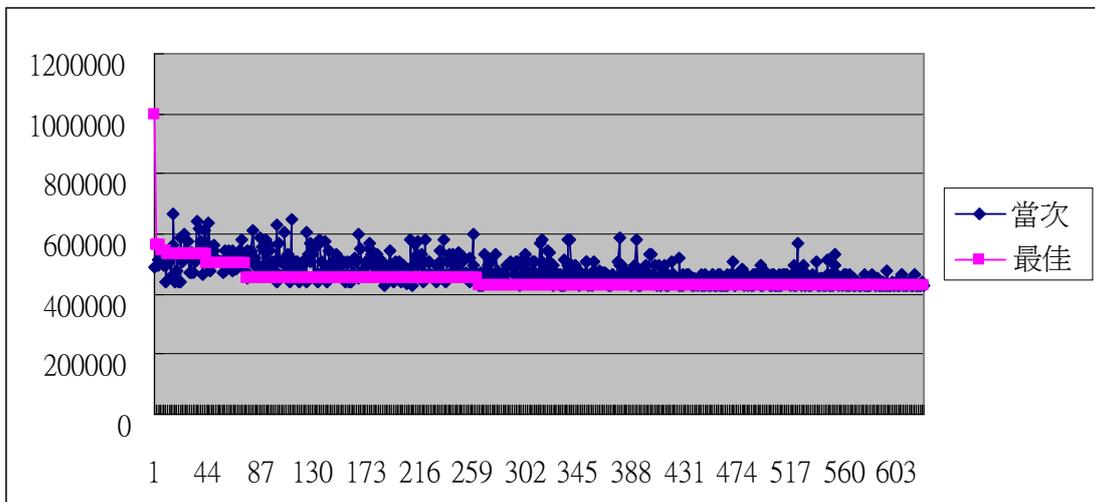


圖 4.23 交期為 19, 17 的狀況六排程收斂狀況

4.4 實驗結果

本章從限制較少的狀況開始尋找近似最佳解直到限制不合理的狀況，總共驗證五種狀況。統整如表4.8、4.8、4.10、4.11、4.12、.4.13所示：

一. 不同生產線相同交期的排程狀況

表 4.8 狀況一之排程結果列表

交期	成本	平均人力使用率
15	412000	0.8664
17	362400	0.8824
19	321600	0.8945
20	312000	0.8812

二. 不合理工作站負荷狀況，相同交期之排程

表 4.9 狀況二之排程結果列表

交期	成本	平均人力使用率
15	575200	0.751
20	383600	0.8

三. 不同生產線不同交期狀況下之排程

表 4.10 狀況三之排程結果列表

交期	成本	平均人力使用率
18, 16	367440	0.8397
19, 17	352800	0.848

四. 具專業限制下不同產線不同交期之排程

表 4.11 狀況四之排程結果列表

交期	成本	平均人力使用率
19, 17	355420	0.819

五. 具專業限制以及不合理工作站負荷下之不同交期的排程

表 4.12 狀況五之排程結果列表

交期	成本	平均人力使用率
19, 17	405644	0.8004

六. 專業限制及不合理負荷並在資源限制下之不同交期情況排程

表 4.13 狀況六之排程結果列表

交期	成本	平均人力使用率
19, 17	426976	0.794

本章節藉由各種不同限制狀況下的排程，判定本研究所設計的系統在各種限制下尋找近似最佳解的狀況。並證實經由本系統在合理限制的狀況下(參考表4.6)確實可以找到使用率大於85%的解答。其次判斷不合理的工作狀況(參考表4.7)，由於工作本身就有嚴重的工作瓶頸，因此在人力的使用狀況下就無法達到預期的目標，但是若是有足夠的時間可以緩衝，人力使用率還是可上升達到80%。接下來本研究於狀況3, 4, 5, 6，四種狀況以探討限制條件的嚴謹程度對人力使用率的情況(參考表4.8, 4.9, 4.10, 4.11)。本研究發現在狀況三限制寬鬆時人力使用率可以達到0.837以及0.848，接近目標的0.85。若限制越來越嚴謹的狀況，在人力資源的使用會出現微幅的下降，平均每多一種類的限制約下降0.01-0.02的人力使用率。限制嚴謹對人力的使用率以及成本本來就是一種負擔，下降幅度相對於整體人力使用率為85%的情況下，下降在1%到2%之間是可接受的狀況。

總和上述不同狀況下的數據結果，可以得到以下結論：在限制條件寬鬆的時候使用本系統可以確實的找到不錯的解答，而在限制越來越嚴謹時，所減少的人力資源使用率也在合理的範圍內。因此可說明本系統在面臨有限多資源的多專案排程狀況時，確實可以找到不錯的解答。

第五章 結論與未來研究方向

5.1 結論

在現實的生產環境中，排程問題一直是相當複雜的問題，如何在充滿了許多影響因素與不同的限制條件下快速的找到最佳解一直是排程研究的重要議題。在排程研究上，各種的計算技術或是搜尋技術都有其優點以及缺點存在。而其中以人工智慧為核心的多重代理人系統，依照人類的分工思考模式，所建立的多重代理人系統，藉著快速搜尋的本質，以及接近人類思考模式的概念，很快的就被應用在生產排程的研究上。

本研究基於上述理由，提出以一個以多重代理人協商機制為核心配合啟發式演算法以及排程軟體的機制，建構以多重代理人為基礎的有限資源之多專案排程系統。依據前面第三章所提出模式建構與第四章的實驗驗證後，確實得到良好的排程結果。因此透過本論文可得到以下的結論：

1. 本研究提供一分散式環境下，以多重代理人系統為核心配合結合啟發式演算法以及限制條件滿足排程軟體，設計出一有限資源限制下的多專案排程系統。
2. 透過以多重代理人為核心所建置的排程系統，對於可以處理的形式並沒有特別限制，這一點不同於傳統在線性規劃中，限制條件必須為線性等式或是線性不等式的形式。也不同啟發式演算法在搜尋上隨著限制的增加，系統就必須要重新建置。因此本研究藉此優點提出的方法可容易應用於更多限制的排程環境。

5.2 建議與未來研究方向

本研究所建構的多重代理人專案排程系統，對於未來的研究方向與建議條列如下：

1. 本研究只考慮到正常狀況下的排程因素，例如工作的先後關係，各類資源在各工作站的需求。並未考慮到不確定因素所形成的限制條件，例如緊急插單、抽單、機器故障、原物料備料不及、作業進度落後或

超前等。因此，未來可加入不確定因素所引起之限制條件為考量，進而探討重排程（Re-scheduling）時所必須考慮的限制條件。

2. 本研究使用多重代理人之協商模式作為搜尋基礎，在多重代理人的領域上還有許多溝通模式，在未來的研究上，可以探討不同的溝通模式之間的使用，是否可發展出更有效率的系統。
3. 本研究主要是透過各種實驗設計之驗證。未來可透過在不同產業上的實際應用狀況，進一步調整系統，以更接近實際狀況。

參考文獻

- James P. Lewis,「專案管理三部曲」,博頓策略顧問股份有限公司,2005,臺北。
- 方曉嵐,「排程研究方法」,技術與訓練期刊,21,pp.149-155,1996。
- 宇角英樹,「經營分析」,小知堂文化事業有限公司出版,2002,臺北。
- 周書賢,「開放型工廠派工法則之模擬研究」,朝陽科技大學工業工程與管理學系,碩士論文,2001。
- 高文慶,「螞蟻演算法於有限資源專案排程最佳化之研究」,私立元智大學工業工程與管理研究所,碩士論文,2004。。
- 陳俊維,「多重代理者協同架構之研究—利用拍賣機制應用於吊臂排程為例」,碩士論文,東海大學工業工程研究所,2003。
- 彭宗傑,「整合性企業環境下多重代理者拍賣機制之研究」,碩士論文,東海大學工業工程研究所,2000。
- 湯璟聖,「動態彈性平行機群排程的探討」,中原大學工業工程研究所,碩士論文,2003。
- 黃維擘,「彈性製造系統中考慮運輸時間之排程探討」,中原大學工業工程系,碩士論文,1994。
- 劉昌憲,「蟻拓物件分群尋優法及系統開發架構」,國立台灣大學工業工程學研究所,碩士論文,2003。
- 蔡政峰,「求解有限資源專案排程問題最佳化之研究-以基因演算法求解」,國立成功大學,碩士論文,2001。
- 蔡登茂,「有限資源多專案排程問題之文獻回顧研究」,正修學報,第19卷,第57-74頁,1996。
- 蘇純繒、翁瑞聰,「以螞蟻群聚最佳化整合噪音擾動法求解 TSP 問題」,國立雲林科技大學工業工程與管理研究所,商管科技季刊,第四卷,第四期,2003。
- Alexandru, S., and k. Gilles, “Using mobile agents for resource sharing”, *Proceedings of the IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology*, 2004.
- Barrett, G.V. (1991), Compensation of skill-base pay with traditional job evaluation. *Human Resource Management Review*, 11, 97-105.
- Boctor, F. F., “Some efficient multi-heuristic procedures for resource-constrained project scheduling,” *European Journal of Operation Research*, Vol.49, pp.3-13, 1990.
- Boctor, F.F., “An adaptation of the simulated annealing algorithm for solving resource-constrained project scheduling problems,” *International Journal of Production Research*, inpress, 1997.
- Bond, A.H., and L. Gasser, “A analysis of problems and research in DAI”, *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, Gerhard Weiss(ed.), The MIT, 1-9, 1999.

- Dorigo, M., V. Maniezzo, and A. Colomi, "Positive Feedback as a Search Strategy," *Technical Report No.91-016 Revised*, Politecnico di Milano, Italy, 1991.
- Dorigo, M., V. Maniezzo, and A. Colomi, "Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agent," *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, Vol.26, No.1, pp.29-41, 1996.
- Dorigo, M. and L.M. Gambardella., "Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1), pp 53-66, 1997.
- Edwin, G., and M.T. Cox, "Resource Coordination in Single Agent and Multiagent Systems", *Proceedings of the 13th International Conference on*, November 2001.
- Hayes, C., "Agents in a Nutshell - A Very Brief Introduction," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol.11, No.1, 1999.
- Holger, V., "Agent-Based Distributed Resource Allocation in Technical Dynamic Systems", *Proceedings of the IEEE Workshop on Distributed Intelligent Systems: Collective Intelligence and Its Applications*, 2006.
- Kim, K., B. C. Paulson, Jr. C. J. Petrie, Jr. V. R. Lesser "Compensatory Negotiation for Agent-Based Project Schedule Optimizaiton and Coordination" CIFE Working Paper #55, , Stanford University, January ,2000.
- Kelly, J. E., "The Critical Path Method: Resources Planning and Scheduling", in *Industrial Scheduling*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp.347-365, 1963.
- Kim, K. W., M. Gen, and G. Yamazaki, "Hybrid Genetic Algorithm with Fuzzy Logic for Resource-Constraint Project Scheduling", *Applied Soft Computing*, Vol.2, No.3, pp.174-188, 2003.
- Lawler, E. E. , "The Design of Effective Reward Systems," In J. W. Lorsch (Eds.), *Handbook of Organizational Behavior*, N. J. : Prentice Hall, pp.255-271, 1987.
- Mahoney, T.A., multiple pay contingencies: Strategic design of compensation. *Human Resource Management*, 28, 337-347, 1989.
- Merkel, D., M. Middendorf and H. Schmeck, "Ant Colony for Resource-Constraint Project Scheduling," *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, Vol.6, No.4, pp333-346, 2002.
- Moulin, B. and B. Chaib-draa, "An Overview of Distributed Artificial Intelligence", *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, G. M. P. O'Hare and N. R. Jennings(ed.), John Wiley and Sons, pp. 211-219, 1996.
- Musselman, K., J. O'Reilly and S. Duket, "The role of simulation in advanced planning and scheduling," *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, 2, 1825 -1830, 2002.
- Peng, Y., T. Finin, Y. Labrou, B. Chu, J. Long, W.J. Tolone, and A. Boughannam, "A Multi-Agent System for Enterprise Integration," <http://www.csee.umbc.edu/~finin/papers/agile98.pdf> ", 1998.
- Peter, S. and V. Manuela, "Multiagent Systems: A Survey from a Machine Learning Perspective", *Computer Science Department Carnegie Mellon University*, 1996.
- Smith, R., "The contract net protocol : High-level communication and control in a distributed

- problem solver”, *IEEE Trans. Computer* 29, 1980.
- Tablot, F. B. and Patterson, J. H., “An efficient integer programming algorithm with network cut for solving resource-constrained scheduling problems,” *Management Science*, 1973.
- Tablot, F. B., “Resource constrained project scheduling with time-resource trade offs: The non-preemptive case,” *Management Science*, Vol. 28, No.10, pp.1197-1210, 1982.
- Wang, Yi-Chi, and J. M. Usher, “An Agent-Based Approach for Flexible Routing in Dynamic Job Shop Scheduling”, Proc. Of Industrial Engineering Research Conference, May 2002.
- Weiming, S., “Distributed Manufacturing Scheduling Using Intelligent Agents”, *IEEE Intelligent System*, 2002.
- Yijun, S., and Z.Zhan, “A synchronization Device for Resource sharing in multi-agent Syatem”, The 9th Conference on computer Supported Cooperative Work in Design Proceedings, 2005.

口試委員之建議與問題

1. 廖仁傑老師：

【Q1】本研究在參數設計的結果分析時，收斂狀況的容易進入局部最佳解與收斂狀況極端的定義為何？

答：容易進入局部最佳解表示結果容易因為不錯的區域最佳解造成系統不容易跳脫，而收斂狀況極端表示收斂的結果幾乎在前期剛開始就出現了穩定狀況。

【建議 1】本研究使用的數據多為情境設計的資料，可將系統實際套用到工廠，實際運作，是否也可找出不錯的排程狀況？

2. 潘忠煜老師：

【Q1】在本研究的並沒有設計前置時間，若是有前置時間該如何？

答：本研究的設計是以航太產業的生產概念為生產排程的依據，依據航太業的生產狀態是屬於批次生產，因此沒有考量到前置時間的設計。

【Q2】在實例驗證中，薪資的結構與多重代理人的架構關聯性為何，成本的考量因素為何？

答：薪資的結構在本研究所設計的多重代理人架構上屬於一個需要輸入的數值。成本的設計是以技術為主要依據，依照技術的高低給予不同高低薪資的設計，其中基本底薪的設計是為了防止等比率分配後，低效率的人力資源的薪資總和相等於高效率的人力資源薪資總和所設計。

【Q3】如何說明系統是收斂的，是否有文獻來證明其收斂狀況？

答：本研究所設計的多重代理人系統是以 Dorigo(1997)的螞蟻演算法為基礎設計，當收斂的條件成立之後，其費洛蒙量的差距會成為一個極端的狀況，代理人在判斷資源的供給或是配置時，則會幾乎依據費洛蒙的大小來做判定，在往後的每次判斷則都會相同，因此即達到一收斂狀況。

【建議 1】 本研究在論文的撰寫上，部分圖表的使用與定義並沒有非常的清晰。建議在圖表的使用上，多加著些參考或是文獻依據。

答：已修正。

3. 王偉華老師：

【Q1】 根據實驗所得的結果，如何去說明實驗結果的合理性？

答：本研究的實驗設計依據限制的嚴謹至寬鬆從不同狀況去驗證排程的合理性。本研究的結果在限制的寬鬆時的成本與人力平均使用率是較低的，隨著限制的嚴謹成本逐漸的上昇，人力平均使用率也微幅的下降，可說明系統所排程的結果是符合預期的。

【Q2】 本研究在實驗的不同狀況的設計上，並沒有無解的狀況發生，何時系統會出現無解的狀況？

答：本研究的系統在人力資源不足或是交期無法滿足的狀況發生時就產生無解的情況發生。其中，交期無法滿足的情況，系統會直接出現無法解答的狀況。而人力資源不足的狀況，會造成系統無法收斂的狀況發生。實驗結果已補於附錄一上(p.96)。

【建議 1】 本研究在目標的撰寫上，會出現模擬兩可的形況，如:最適或是最佳。建議在撰寫上修改，以防止讀者誤判的狀況發生。

答：已修正於論文中有關目標的撰寫。

附錄一 不同參數之實驗設計

$(\alpha, \beta)=(1,2), Q_1=1, Q_3=1$

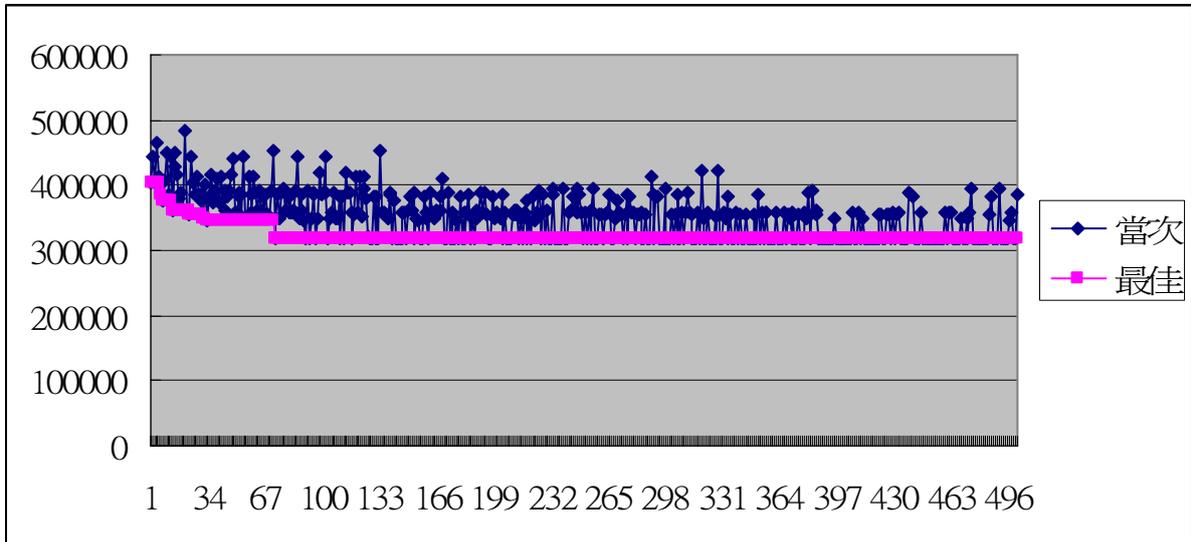


圖 A-1.1 參數為 $(\alpha, \beta)=(1,2), Q_1=1, Q_3=1$ 排程收斂狀況

$(\alpha, \beta)=(1,2), Q_1=1, Q_3=2$

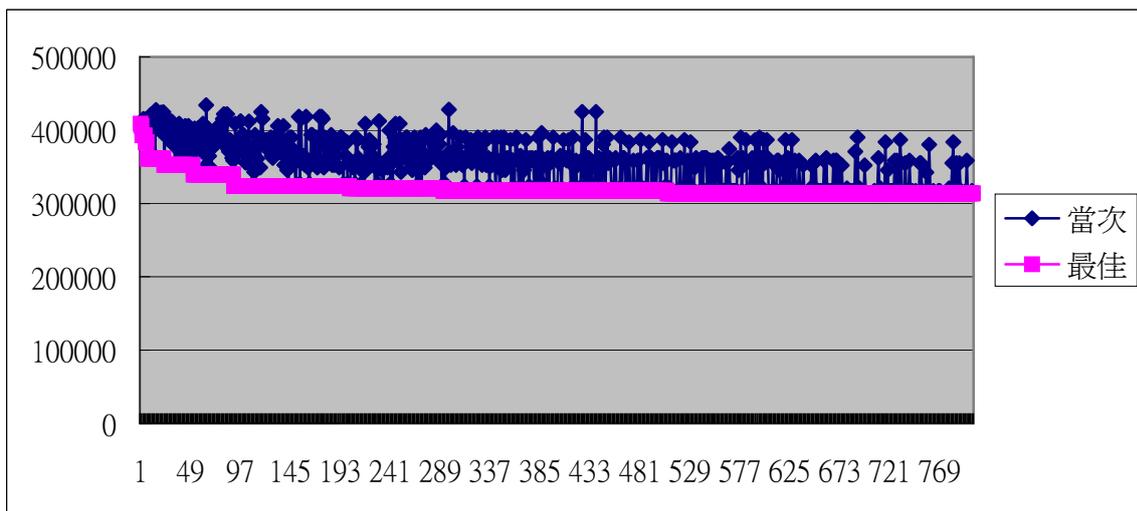


圖 A-1.2 參數為 $(\alpha, \beta)=(1,2), Q_1=1, Q_3=2$ 排程收斂狀況

$(\alpha, \beta)=(1,2)$, $Q_1=1$, $Q_3=3$

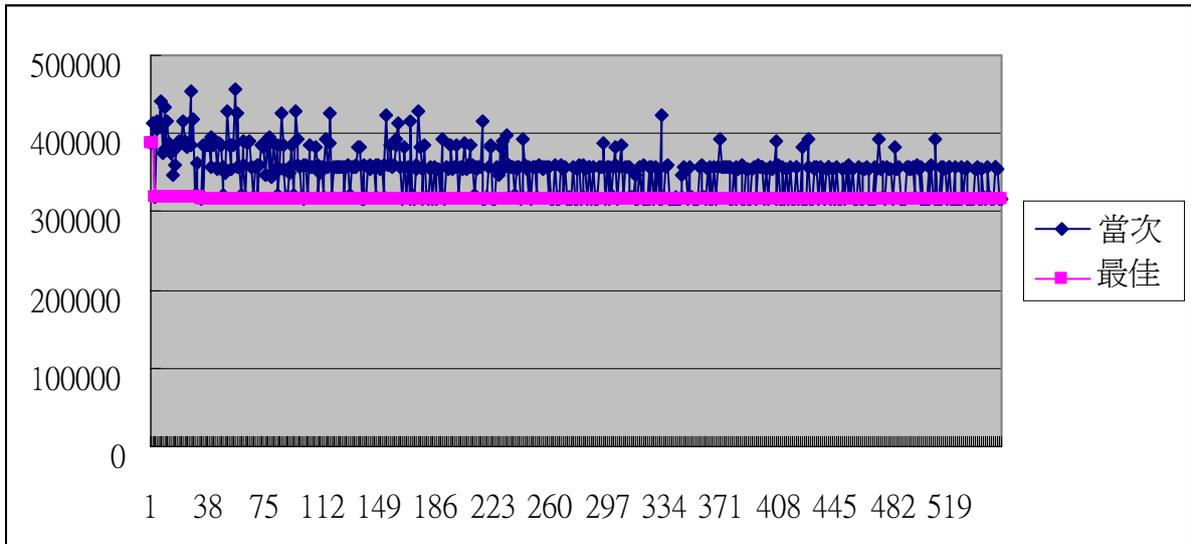


圖 A-1.3 參數為 $(\alpha, \beta)=(1,2)$, $Q_1=1$, $Q_3=3$ 排程收斂狀況

$(\alpha, \beta)=(1,2)$, $Q_1=1$, $Q_3=4$

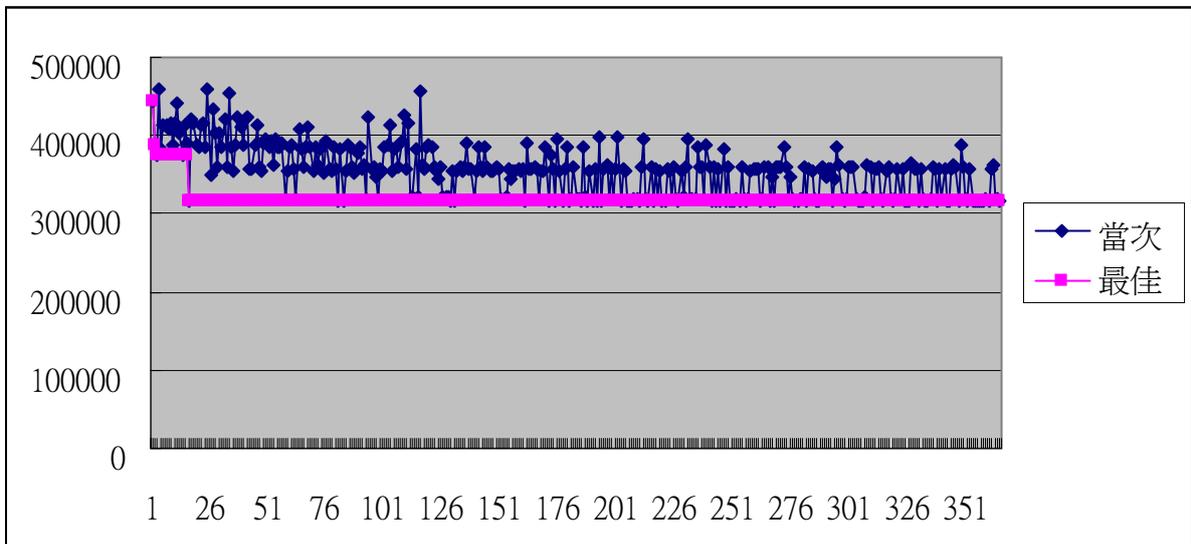


圖 A-1.4 參數為 $(\alpha, \beta)=(1,2)$, $Q_1=1$, $Q_3=4$ 排程收斂狀況

$(\alpha, \beta)=(1,2)$, $Q_1=1$, $Q_3=5$

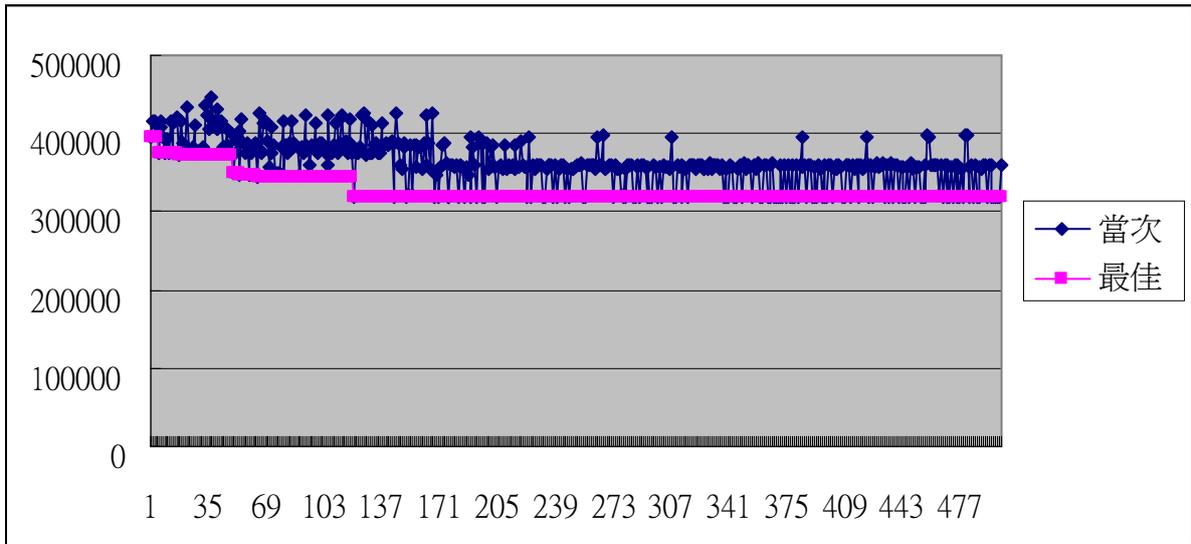


圖 A-1.5 參數為 $(\alpha, \beta)=(1,2)$, $Q_1=1$, $Q_3=5$ 排程收斂狀況

$(\alpha, \beta)=(2,3)$, $Q_1=1$, $Q_3=1$

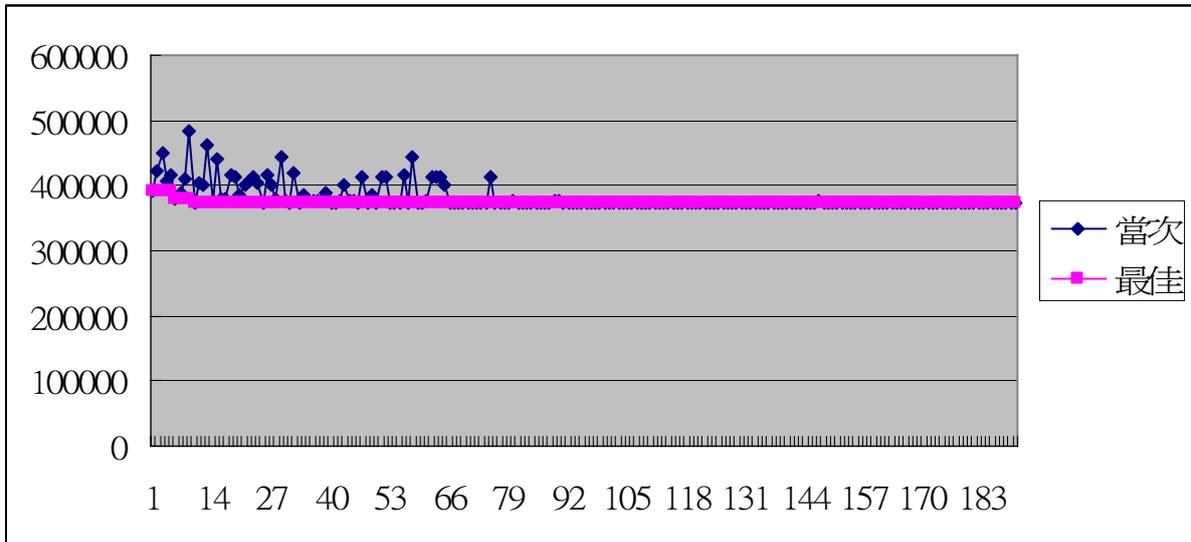


圖 A-1.6 參數為 $(\alpha, \beta)=(2,3)$, $Q_1=1$, $Q_3=1$ 排程收斂狀況

$(\alpha, \beta)=(2,3)$, $Q_1=1$, $Q_3=2$

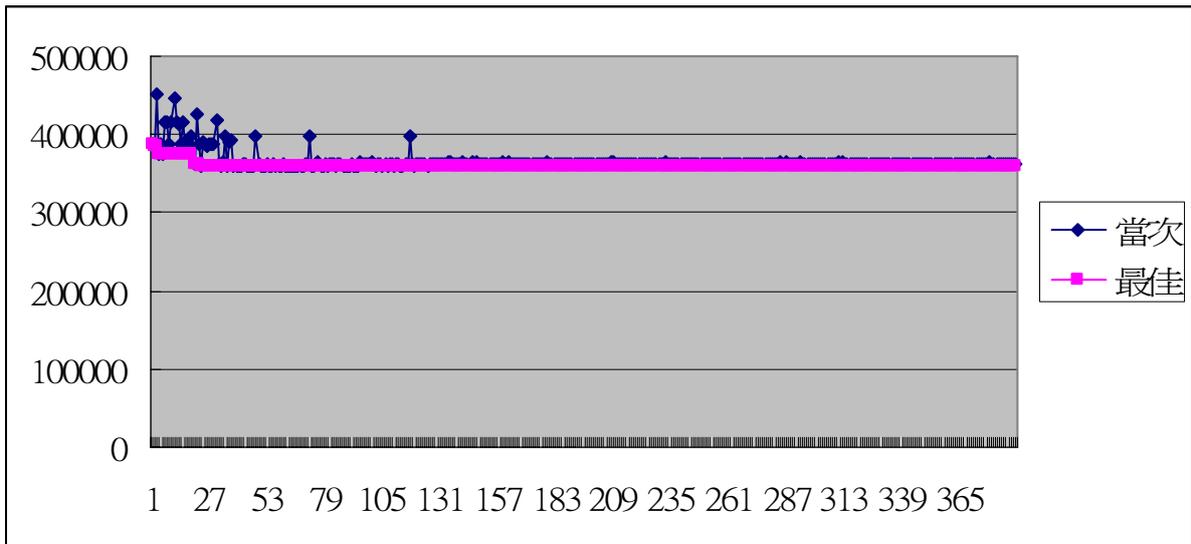


圖 A-1.7 參數為 $(\alpha, \beta)=(2,3)$, $Q_1=1$, $Q_3=2$ 排程收斂狀況

$(\alpha, \beta)=(2,3)$, $Q_1=1$, $Q_3=3$

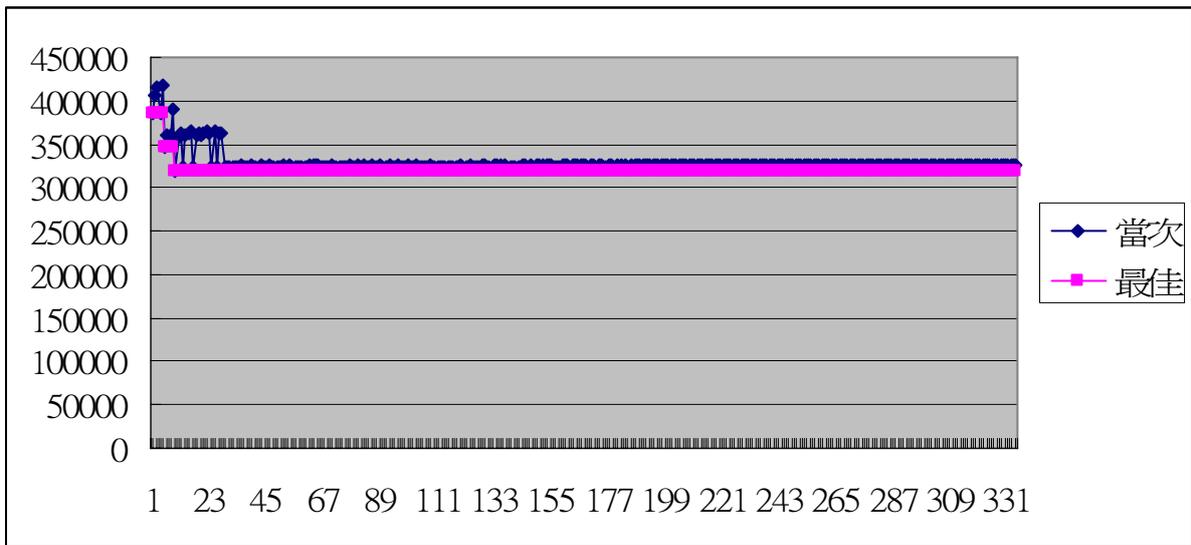


圖 A-1.8 參數為 $(\alpha, \beta)=(2,3)$, $Q_1=1$, $Q_3=3$ 排程收斂狀況

$(\alpha, \beta)=(2,3)$, $Q_1=1$, $Q_3=4$

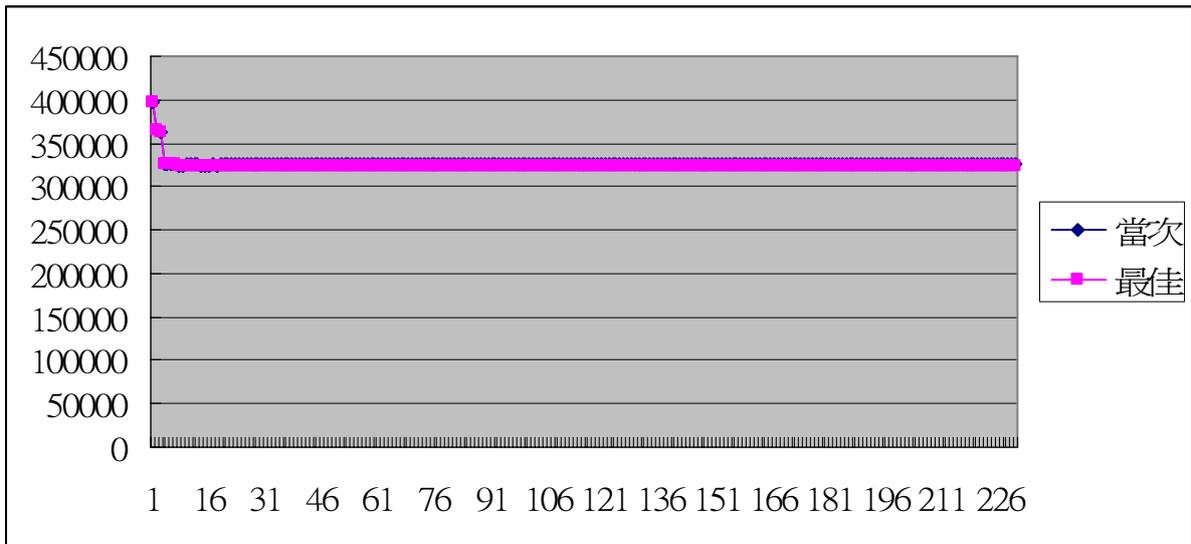


圖 A-1.9 參數為 $(\alpha, \beta)=(2,3)$, $Q_1=1$, $Q_3=4$ 排程收斂狀況

$(\alpha, \beta)=(2,3)$, $Q_1=1$, $Q_3=5$

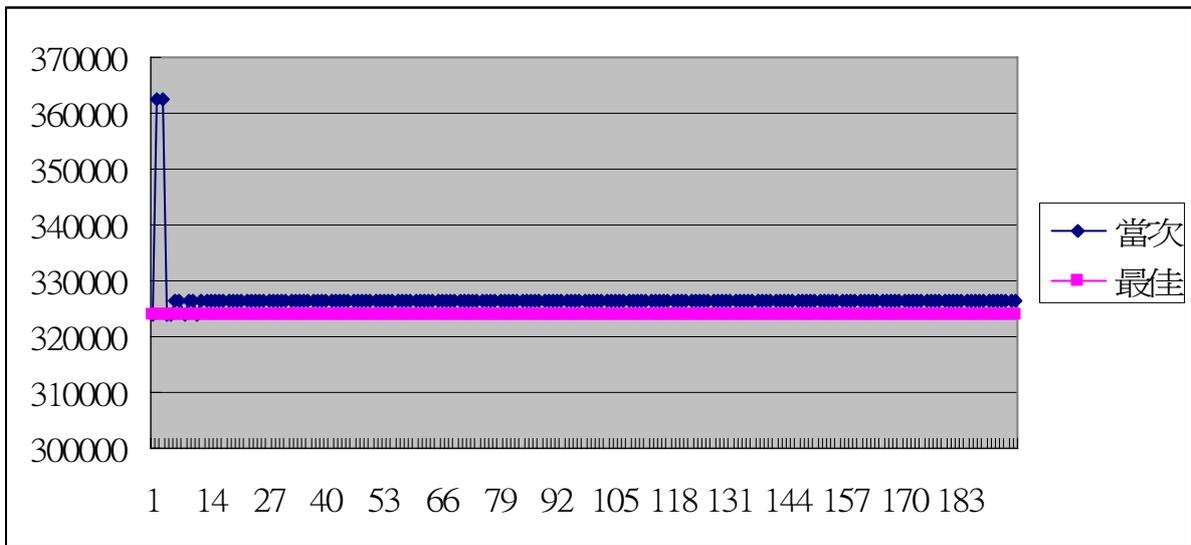


圖 A-1.10 參數為 $(\alpha, \beta)=(2,3)$, $Q_1=1$, $Q_3=5$ 排程收斂狀況

$(w_1, w_2, w_3) = (4, 4, 1)$ ，差異量為 3 的時候

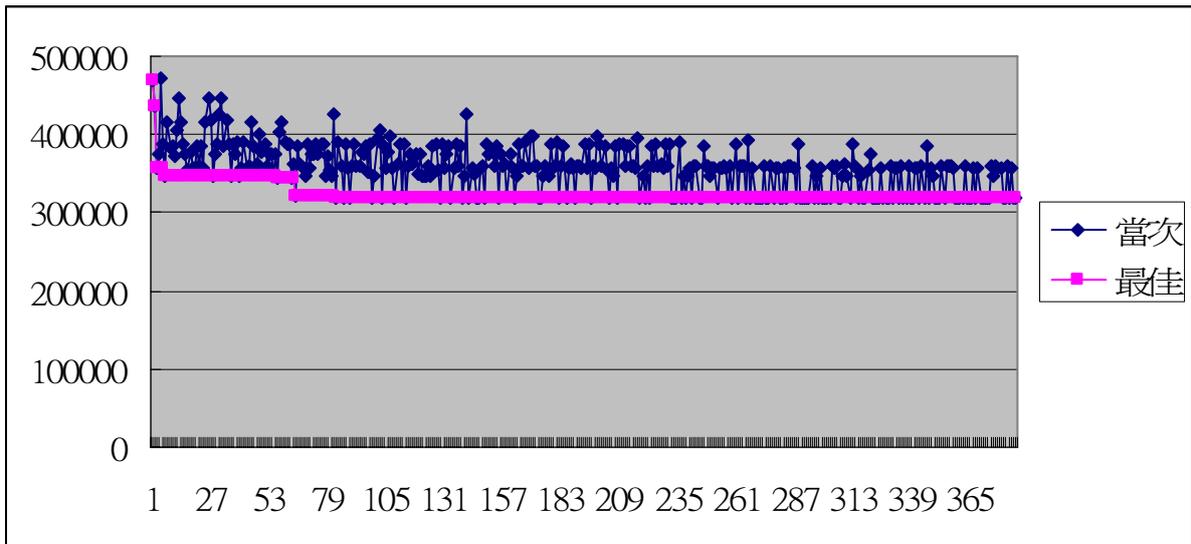


圖 A-1.11 參數為 $(w_1, w_2, w_3) = (4, 4, 1)$ 排程收斂狀況

$(w_1, w_2, w_3) = (4, 4, 2)$ ，差異量為 2 的時候

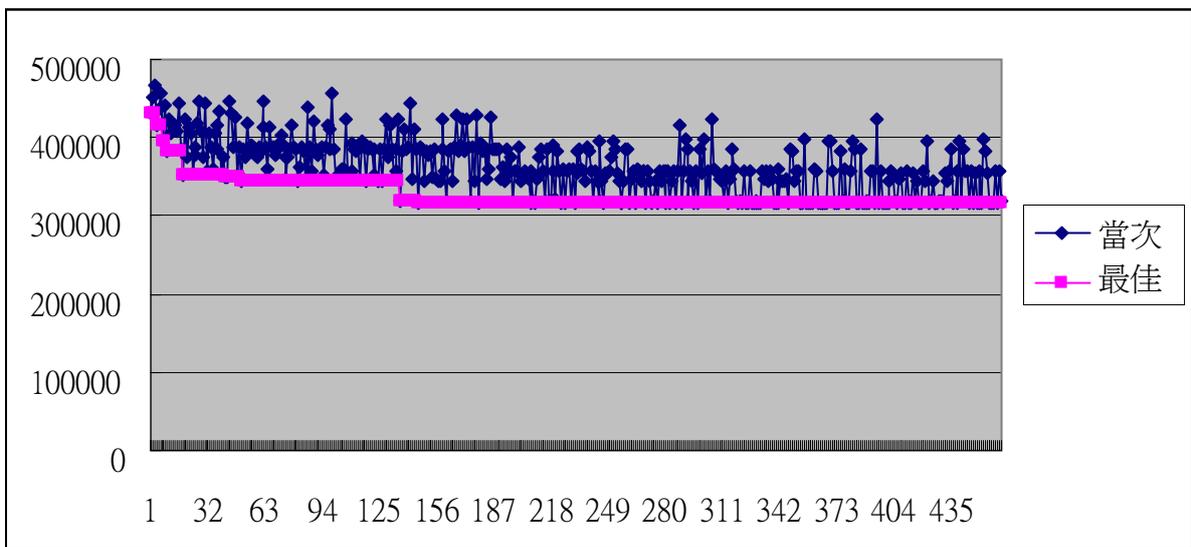


圖 A-1.12 參數為 $(w_1, w_2, w_3) = (4, 4, 2)$ 排程收斂狀況

$(w_1, w_2, w_3) = (3, 3, 2)$ ，差異量為 1 的時候

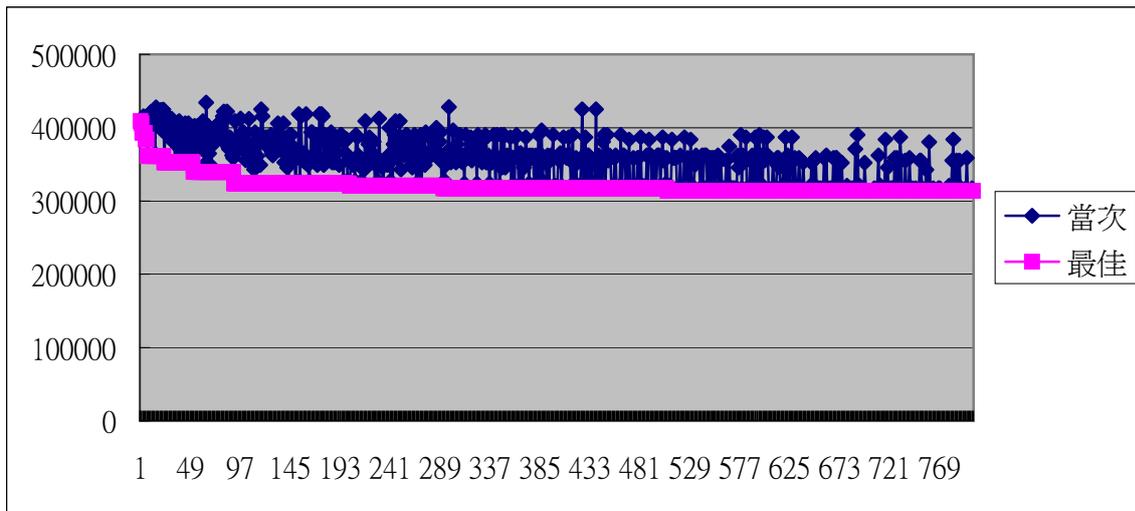


圖 A-1.13 參數為 $(w_1, w_2, w_3) = (3, 3, 2)$ 排程收斂狀況

退化率 $\rho = 0.95$ 時

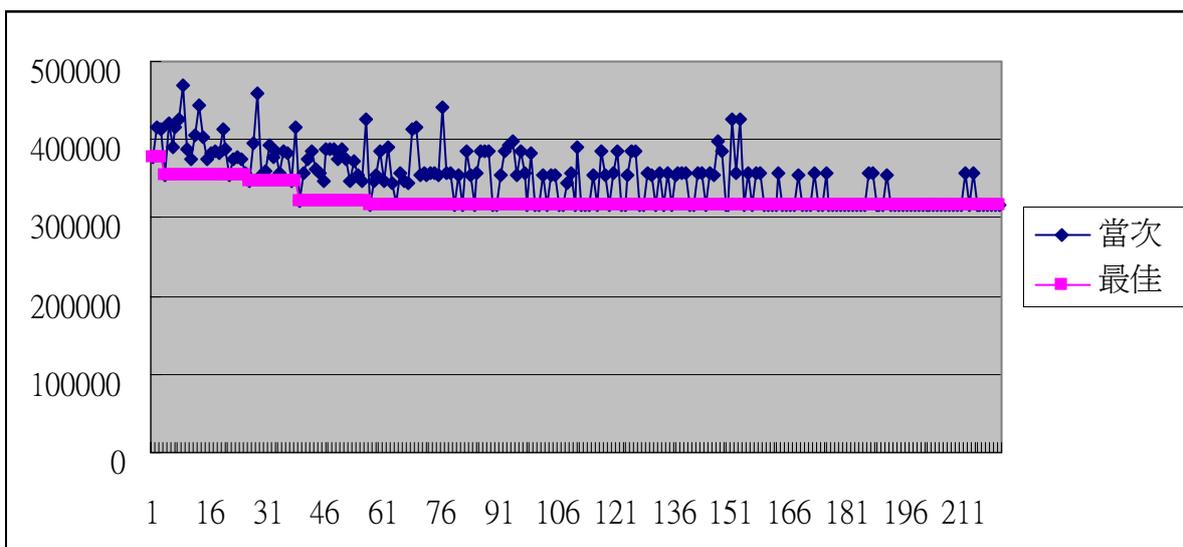


圖 A-1.14 退化率 $\rho = 0.95$ 排程收斂狀況

退化率 $\rho=0.9$ 時

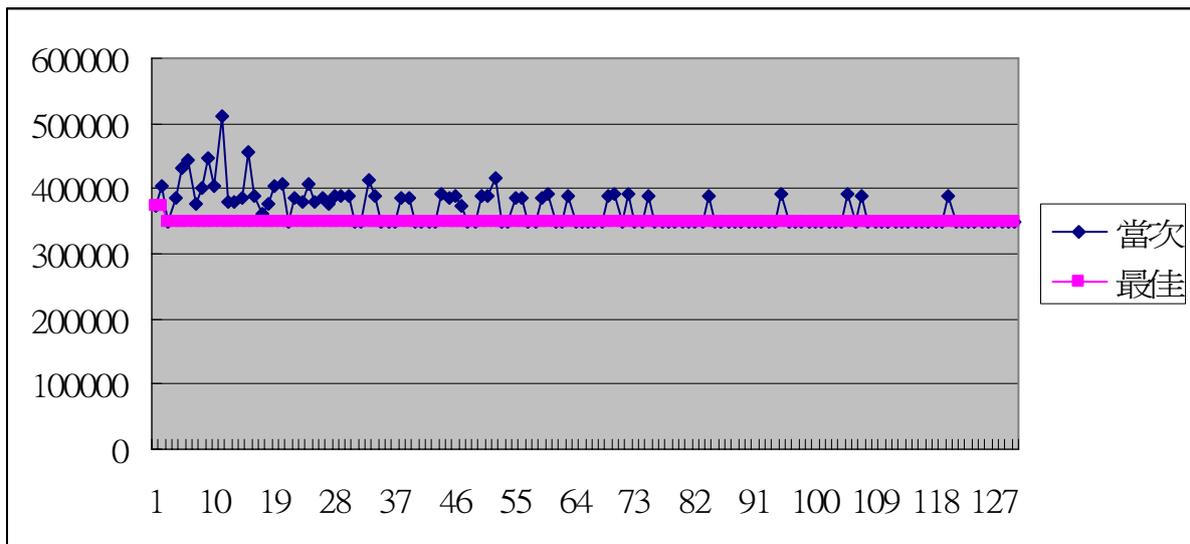


圖 A-1.15 退化率 $\rho=0.9$ 排程收斂狀況

系統人力資源不足時

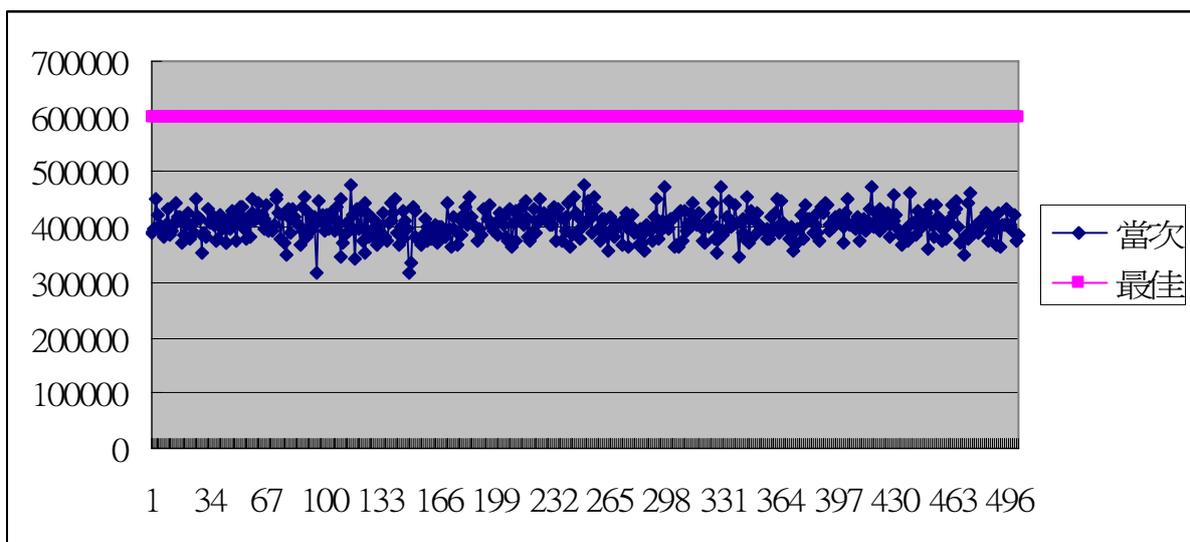


圖 A-1.16 人力資源不足的排程收斂狀況

訂定人力資源 1 只有 2 人、人力資源 2 只有 3 人、人力資源 3 只有 3 人，交期同為 15 天。由於並沒有解存在，因此在排程過程中不會有最佳解產生，也不會進行收斂。圖中最佳解的線段為系統方便所設計的一個極高的值。