

DT
400.2
4430
100
225209

國立勤益科技大學

工業工程與管理系碩士班

碩士論文

應用代理人技術於混合型裝配線平衡問題



指導教授：黃敬仁 博士

研究生：林祁玄

學 號：49815003

國立勤益科技大學圖書館



225209

中華民國一百年六月二十三日

應用代理人技術於混合型裝配線平衡問題

Applying multi-agent technology for mixed-model assembly line balancing

研究生：林祁玄

指導教授：黃敬仁 博士



A Thesis

Submitted to

Department of Industrial Engineering and Management
National Chin-Yi University of Technology
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Engineering

June 2011

Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇一年六月

國立勤益科技大學

博碩士論文全文上網授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之論文為授權人在國立勤益科技大學
工業工程與管理系 _____ 組 99 學年度第 二 學期取得碩士
學位之論文。

論文題目：應用代理人技術於混合型裝配線平衡問題
指導教授：黃敬仁

■ 同意

本人具有著作權之論文全文資料，非專屬、無償授予本人畢業學校
圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或數位化等各種方
式重製與利用，提供讀者基於著作權法合理使用範圍內之線上檢
索、閱覽、下載及列印。

論文全文上載網路公開之範圍及時間：

校內區域網路	■ 中華民國 102 年 7 月 21 日公開
校外網際網路	■ 中華民國 105 年 7 月 21 日公開

授權人：林祁玄

簽名： 林祁玄

中 華 民 國 100 年 7 月 21 日

國家圖書館 博碩士論文電子檔案上網授權書

本授權書所授權之論文為授權人在國立勤益科技大學工業工程與管理系 99 學年度第 二 學期取得碩士學位之論文。


論文題目：應用代理人技術於混合型裝配線平衡問題
指導教授：黃敬仁

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文（含摘要），非專屬、無償授權國家圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或其他各種數位化方式將上列論文重製，並得將數位化之上列論文及論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

上列論文為授權人向經濟部智慧財產局申請專利之附件或相關文件之一（專利申請案號：_____），請於 _____ 年 _____ 月 _____ 日後再將上列論文公開或上載網路。

上列論文尚未正式對外發表，請於 105 年 7 月 21 日後再將上列論文公開或上載網路。

授權人：林祁玄

親筆簽名及蓋章：林祁玄 

民國 100 年 7 月 21 日

電話：_____ 傳真：_____
聯絡地址：屏東縣屏東市華山街79號
E-Mail：syuan65@gamil.com

國立勤益科技大學
工業工程與管理系碩士班

論文口試委員會審定書

本校 工業工程與管理系 碩士班 林祁玄 君

所提論文 應用代理人技術於混合型裝配線平衡問題

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：楊瑞雯 _____

黃淑仁 _____

廖懷恩 _____

指導教授：黃淑仁 _____

系(所)主任：林水珠 _____

中華民國 100 年 6 月

應用代理人技術於混合型裝配線平衡問題

學生：林祁玄

指導教授：黃敬仁 博士

國立勤益科技大學 工業工程與管理系碩士班

中文摘要

在目前顧客需求快速變化的環境當中，要滿足顧客不同的需求變化，裝配線環境必須從單一裝配線上生產單一產品，轉變成生產多產品樣式，而其產品作業之指派也更趨複雜，裝配線平衡問題成為重要的議題。裝配線平衡讓機器或作業人員的閒置時間降低，減少工作負載過重的情況發生，讓機器或作業人員都可發揮其最大效用，如此不僅可提高整體裝配線生產效率，更讓整體經濟效益提升。

在本研究中與一般求解裝配線問題的啟發式演算法或萬用式演算法不同，運用代理人技術來解決混合型裝配線平衡問題。本研究應用了資訊代理人、交換代理人與機器代理人等三種代理人，透過代理人具互相協商的特性，讓三個代理人間進行反覆溝通協商，改善目前作業指派。應用位置權重法產生初始解後，再結合禁忌搜尋法的鄰域搜尋，提升搜尋解範圍，尋找最佳移步策略，讓不同機器上的作業可以進行轉移或插入，改善目前裝配線作業指派不平衡狀況。

最後以學者提出的問題案例，進行應用代理人技術於裝配線平衡問題之求解方法的效益評估，經實驗比較後，本研究提出之方法在整體機器變異數與閒置時間比率上，有更佳之效果。

關鍵字：代理人、混合型裝配線平衡、位置權重法、禁忌搜尋法

Applying multi-agent technology for mixed-model assembly line balancing

Student: Ci-Syuan Lin

Advisors: Dr. Ching-Jen Huang

**Department of Industrial Engineering and Management
National Chin-Yi University of Technology**

ABSTRACT

In order to satisfy the different requirements of customers, the assembly line model have to change from producing single type production to producing multiple type one simultaneously on the same assembly line. And assigning jobs to stations becomes more complicate than before, this makes the assembly line balancing problem becomes an important issue. The idle time and overload of the labors or machines will be reduced if the assembly lines are balanced and then the production efficiency will be move up and the total synergy of assembly line will be improved.

Differing from the heuristic or hybrid meta-heuristic used before, this study proposes a multi-agent system for mixed-model assembly line balancing. The system consists of planning agent, balancing agent and machine agent. The agents can negotiate between them iteratively to improve jobs assignment. The greatest positional weight is applied to obtain initial solution, and then the neighborhood search of Tabu search is employed to find the best move strategy to insert or swap jobs among machines.

The results show that the proposed agent negotiation approach can minimize the work load variation and idle time of workstation on assembly line and achieve the goal of assembly line balancing.

Keywords: Agent System, Mixed-model Assembly Line, Positional Weight Method,
Tabu Search



致謝

首先要感謝我的家人，讓我可以無後顧之憂的完成我碩士學業，謝謝你們在背後的支持與關心。

歲月如梭研究所兩年時光過的如此快速，記得剛上研究所尋找指導教授時，我其實沒有太多猶豫，就請黃敬仁博士做我的指導教授，問我為什麼只能說是感覺吧！老師做研究及做事態度讓我覺得我不會虛度我這兩年時間，可以學到不僅只課業上的東西，更重要的事做事的態度。而對於要撰寫程式，大家可能會盡量避免，但我想給自己適時的壓力使我有前進的動力，非常感謝老師不厭其煩的教導，協助我完成碩士學位。

505 研究室中夥伴們，要感謝俊誠學長、梓榕學長、于壬學長和郁雯學姐的經驗傳承，建廷、鴻志、鄧絮、保安和嘉宏學弟在課業上的研究討論或閒暇時的聊天玩樂，還有找我一起跑步運動的振璋，讓我不至於往橫向發展，都是這短短兩年時光中最美好的時刻，非常感謝你們，另外，嘉宏學弟研究室以後由你當家了，加油！

林祁玄 謹誌於

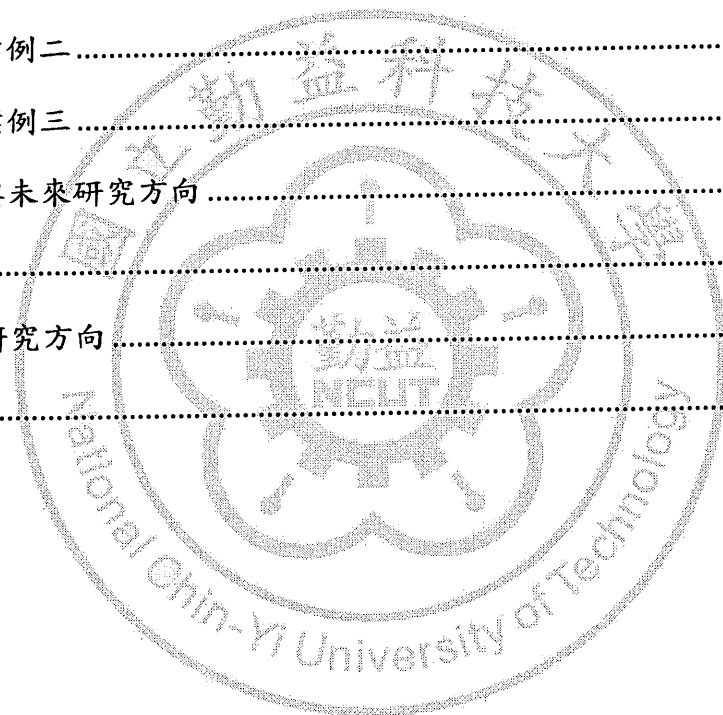
國立勤益科技大學 工業工程與管理系碩士班

中華民國一百年六月二十三日

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
致謝	iv
目錄	v
表目錄	vii
圖目錄	viii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	3
1.3 研究方法與架構	3
第二章 文獻探討	5
2.1 裝配線平衡問題探討	5
2.1.1 裝配線環境發展	6
2.1.2 混合型裝配線平衡問題	8
2.2 代理人技術發展	11
2.2.1 代理人定義	11
2.2.2 FIPA 簡介	14
2.2.3 JADE 開發平台	19
2.3 代理人應用於排程問題之相關研究	20
第三章 研究方法	23
3.1 符號定義	23
3.2 問題假設與目標	24

3.3 先行關係圖	25
3.4 位置權重法	26
3.5 禁忌搜尋法	28
3.6 本研究之代理人架構	30
第四章 系統建置與績效分析	37
4.1 系統建置	37
4.2 問題案例一	40
4.3 問題案例二	41
4.4 問題案例三	45
第五章 結論與未來研究方向	48
5.1 結論	48
5.2 未來研究方向	49
參考文獻	52



表目錄

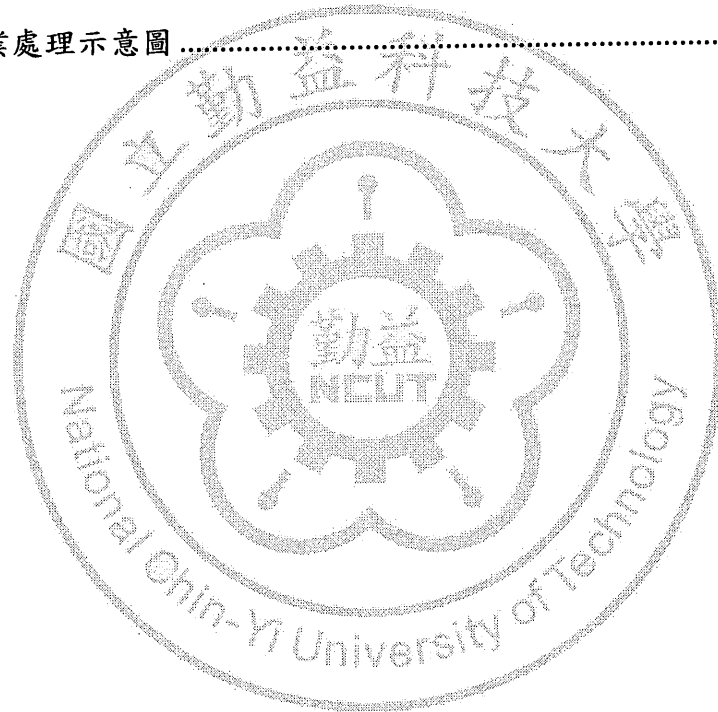
表 1 裝配線環境產品種類分類.....	8
表 2 混合型裝配線平衡相關研究.....	10
表 3 代理人應用於排程問題之相關研究.....	22
表 4 Gökcen 問題績效比較表.....	41
表 5 Thomopoulos 問題各產品工作資訊.....	43
表 6 Thomopoulos 問題四種演算法之結果比較.....	44
表 7 Thomopoulos 問題績效比較表.....	45
表 8 Buxey 問題工作資訊.....	46
表 9 Buxey 問題績效比較表.....	47



圖目錄

圖 1 裝配線佈置圖	1
圖 2 研究架構流程圖	4
圖 3 根據架構進行裝配線平衡分類	5
圖 4 依產品樣式分類之裝配線環境	7
圖 5 代理人行為執行流程	13
圖 6 FIPA 定義之代理人抽象化架構	14
圖 7 FIPA 定義之代理人架構	15
圖 8 FIPA 定義之實體代理人生命週期模型	17
圖 9 代理人訊息傳遞	18
圖 10 JADE 平台執行環境	20
圖 11 先行關係圖合併	26
圖 12 禁忌搜尋法移步方式	28
圖 13 移步位置選擇	29
圖 14 禁忌搜尋法之鄰域搜尋	30
圖 15 代理人類別圖	31
圖 16 本研究之代理人架構圖	32
圖 17 代理人溝通順序圖	33
圖 18 ASMALB 系統流程圖	36
圖 19 ASMALB 系統啟動介面	37
圖 20 ASMALB 系統初始排序	38
圖 21 代理人溝通監控圖	39
圖 22 ASMALB 系統執行結果	39

圖 23 Gökcen 問題先行關係圖.....	40
圖 24 Thomopoulos 問題先行關係圖.....	42
圖 25 Buxey 問題先行關係圖.....	45
圖 26 工作現場發生機器異常.....	49
圖 27 工作現場發生作業瓶頸.....	50
圖 28 工作現場作業瓶頸異常處理.....	50
圖 29 瓶頸作業舉例示意圖.....	51
圖 30 瓶頸作業處理示意圖.....	51



第一章 緒論

1.1 研究背景

產品生產從一開始的手工製造，到後來工業革命進入工廠生產的時代，開始透過機器輔助加速生產效率，最後為了進行單一產品大量生產而有裝配線設計產生，其就是透過輸送設備捨去產品作業要從上游轉移到下游加工的搬運時間，機器或作業人員會依照輸送設備佈置而設立，如圖 1 所示。Boysen, et al. (2008) 將裝配線(assembly line)定義為一個以流程為導向的生產系統，並將執行作業的生產單位視為工作站，並藉由運輸系統，如輸送帶，讓需要裝配的工作件沿著此運輸系統移動，相繼經過工作站，利用高專業和具學習效果的勞工在工作站中進行組裝作業。

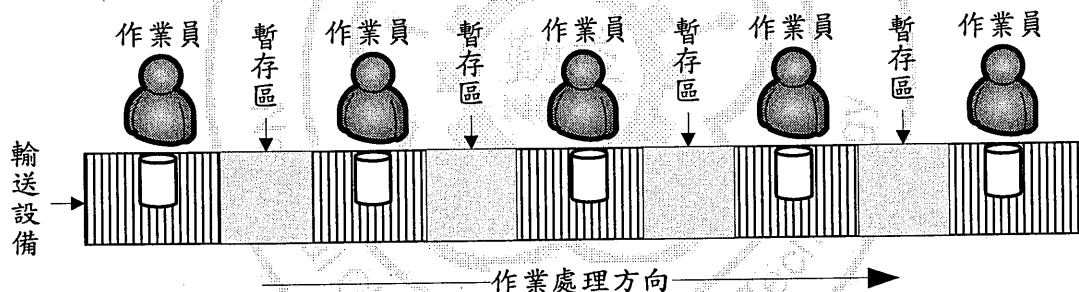


圖 1 裝配線佈置圖

隨著時代的轉變，顧客對於產品樣式需求日益變化，只有單一產品樣式已無法滿足其需求，因此產品生產型態也必須隨之轉變，單一裝配線上必須生產不同產品以應付不同的顧客需求，即為混合型(mixed-model)裝配線模式。在混合型裝配線上已不只單純生產單一產品，不同產品有其不同之產能需求，因此，各個產品作業如何進行指派，讓機器或人員閒置最小或負載過重發生情況較低，使生產效率提高應付不同產品需求，即為裝配線平衡問題就是裝配線設計人員必須面臨到的課題。如國內中華汽車公司，為了因應顧客之不同需求，必須生產不同車

款，但國內車輛需求市場並不大，固必須進行少量多樣的生產，因此導入混合型生產解決上述之彈性生產環境，同一生產線上可生產不同車款，不用再增加生產線，不僅節省公司增加廠房空間和和費用，更能隨時反應顧客之需求。

由上述可知，混合型生產線對目前多變的市場變化有其優勢所在，而讓其生產線平衡能提升生產效能隨時因應市場脈動，因此，本研究將針對混合型裝配線平衡問題(Mixed-model Assembly Line Balancing Problem, MALBP)進行研究。Macaskill (1972)說明混合型裝配線問題所要面臨的問題有作業指派和產品指派兩種，在本研究中，將針對第一種問題進行研究其說明如下：

1. 作業指派：決定將不同作業指派到工作站中進行處理的順序。
2. 產品指派：由於產品不只一種，因此必須解決不同產品的指派順序，其會影響最後產品產出數量與交貨時間。

學術上對於裝配線平衡問題大都透過啟發式演算法(heuristic)與混合萬用式演算法(hybrid meta-heuristic)進行求解，都可得到不錯之效果(Mcmullen, 1998; Bai, et al., 2004; Sun, X. and L. Sun, 2005; Hwang, et al., 2009; Sun, 2010)。但上述之方法對於生產環境有所變化時，無法即時因應，必須根據新的參數重新進行作業指派。且在進行生產規劃時，是根據當時所得到的工作與機器資訊所做出的最佳理想排程，而在面臨工作發生異常狀態，如機器故障或作業人員技術產生作業瓶頸，導致生產環境有所變化時，若依照原本規劃的生產流程繼續進行生產，所需花費的作業時間將會增加，此時若可以透過軟體或電腦系統進行即時監控，調整裝配線產品作業順序，不僅可減少重新進行作業指派時間，對於分秒必爭的生產環境更可大大提升其競爭力，因此本研究提出以多代理人(agent)方法進行裝配線平衡問題求解。

1.2 研究目的

代理人具有互相協商等自主性行為能力，透過這樣的代理人特性讓其反覆協商，以解決動態的排程規劃問題。本研究中將進行不同產品的作業指派，讓機台或人員之整體處理時間變異數最小化，讓整體生產線更加平衡更加有效益。本研究之目的如下：

1. 代理人技術與排程領域之跨領域結合。
2. 說明代理人與一般啟發式演算法之運行模式與概念的獨特之處。
3. 應用代理人方法進行混合型裝配線平衡，目標為最小化裝配線變異數，讓整體閒置時間降低產能提升，發揮其裝配線最大效率。

1.3 研究方法與架構

本研究之架構流程如圖 2 所示，首先進行裝配線平衡問題定義，蒐集裝配線平衡問題相關文獻，整理與探討不同的裝配線環境分類，並從中確定以何種裝配線環境作為本研究環境方向。接著，針對本研究所應用之代理人方法其相關文獻進行整理與探討，思考透過代理人結合排程問題的方式與其優點，以突顯代理人方法與其他方法獨特之處。最後，擬出本研究之代理人方法架構，透過 Java 程式語言撰寫本研究之系統，並透過問題案例來分析系統的績效和進程式修正，證明代理人方法對於裝配線問題求解有其貢獻。本研究其餘章節介紹如下：第二章為文獻探討，將針對裝配線環境與代理人系統相關研究進行蒐集與整理，第三章為研究方法，說明本研究應用代理人技術來解決裝配線平衡之問題，第四章為系統建置與績效分析，說明本研究之代理人系統介面並透過兩個問題案例進行績效分析，最後第五章為結論與未來研究方向。

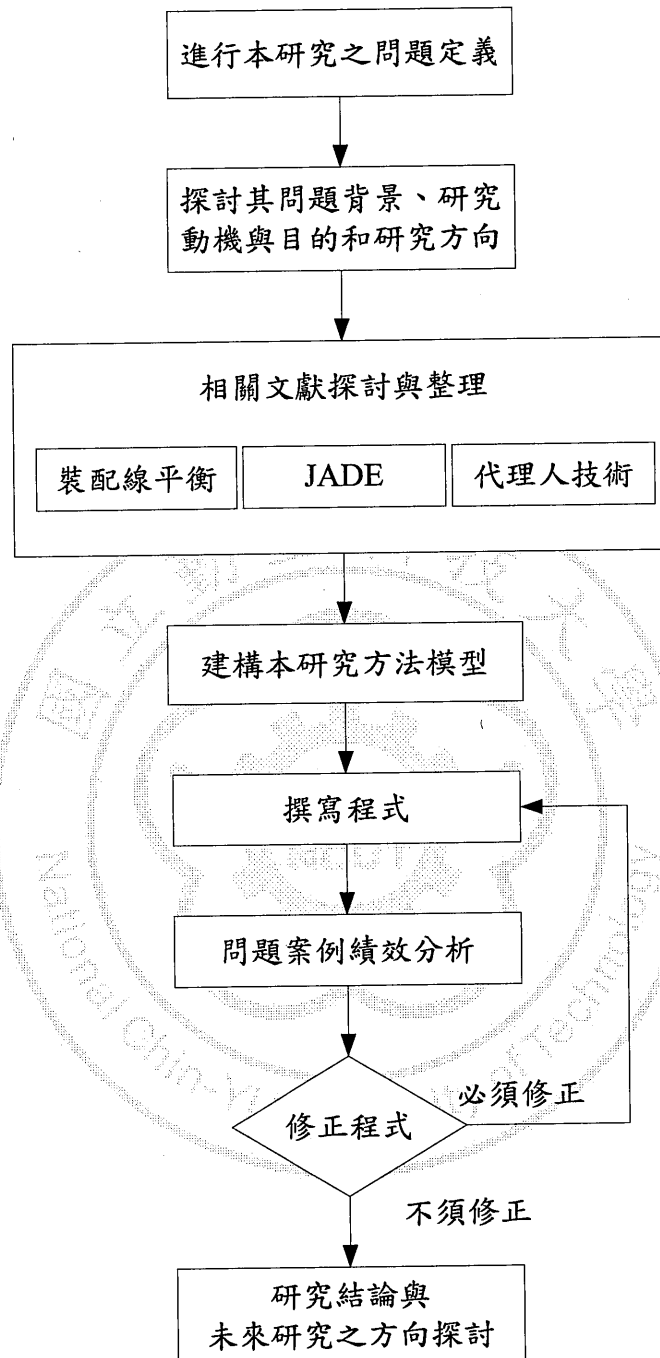


圖 2 研究架構流程圖

第二章 文獻探討

2.1 裝配線平衡問題探討

裝配線平衡問題求解主要有兩個方向，一為週期時間固定求解最小之工作站數；二為工作站數已知求解最小之週期時間。在裝配線平衡問題上最常使用的工具就是描繪先行關係圖(precedence diagram)，透過先行關係圖可以清楚明白各工作間先後順序關係。而在裝配線平衡工作指派最常使用的方法為：

1. 後續工作數量：根據後續作業數量多寡來進行工作指派，數量越多者越先被進行指派。
2. 最大位置權重：將目前作業處理時間與其後續作業處理時間進行加總即為其位置權重值，權重值越大者越先進行指派。

裝配線(Assembly Line Balancing, ALB)分類可以根據裝配線模式或問題架構來進行分類(Gen, et al., 2008)如圖 3 所示，根據裝配線模式可分成，單一樣式裝配線(Single-model ALB, smALB)、多樣式裝配線(Multi-model ALB, muALB)和混合樣式裝配線(Mixed-model ALB, mALB)，根據問題架構即可分成簡單裝配線(Simple ALB, sALB)和一般裝配線(General ALB, gALB)。

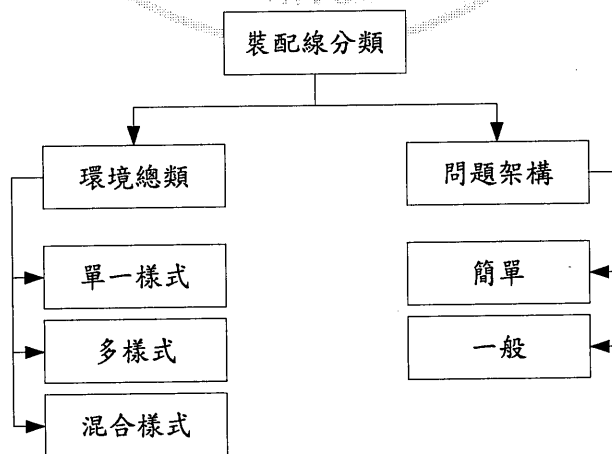


圖 3 根據架構進行裝配線平衡分類

smALB 只有一項產品需進行裝配作業，muALB 則為多項產品需進行批次處理，而 mALB 為其產品相似度高不需進行批次處理。sALB 為問題中只包含一項產品，在固定的條件下進行工作指派且無任何指派限制，如固定週期時間、相同機器設備和流程導向佈置等，而 gALB 與其正好相反，如 muALB、平行機、U 型裝配線等都屬於此分類。

裝配線平衡之相關文獻甚多，其應用之裝配線環境也有所不同，不過其解決問題之方法，大多應用啟發式演算法或混合萬用式演算法來進行研究。因此，在文獻探討當中，本研究先針對裝配線環境的發展簡單介紹，並說明不同之裝配線生產環境。再來，說明本研究之應用方法代理人技術的發展，將代理人進行定義並說明其開發環境。最後，透過代理人相關文獻整理，了解代理人技術目前之應用領域，並針對其在排程領域的相關研究加以說明。

2.1.1 裝配線環境發展

最初，福特汽車公司為了生產其公司之汽車產品 Model-T，欲以最低成本進行單一產品大量生產，因而設計出裝配線。裝配線就是透過某種運輸設備，如輸送帶，而工作站即為加工作業之處，會沿著運輸設備而設置，讓其產品在不需人工搬運的情狀之下，即可進行不同工作站之加工作業。隨著時代的變化，顧客需求已不像從前單一產品即可滿足，開始要求多樣式、甚至客製化的產品。為了因應這樣的需求轉變，裝配線不得不跟著開始轉型，從生產單一產品的裝配線轉而生產多樣式的產品以滿足不同的市場需求，也因此開始有不同的裝配環境產生。Boysen, et al. (2008)根據裝配線上的產品類別將裝配線環境進行分類，如圖 4 所示，其說明如下：

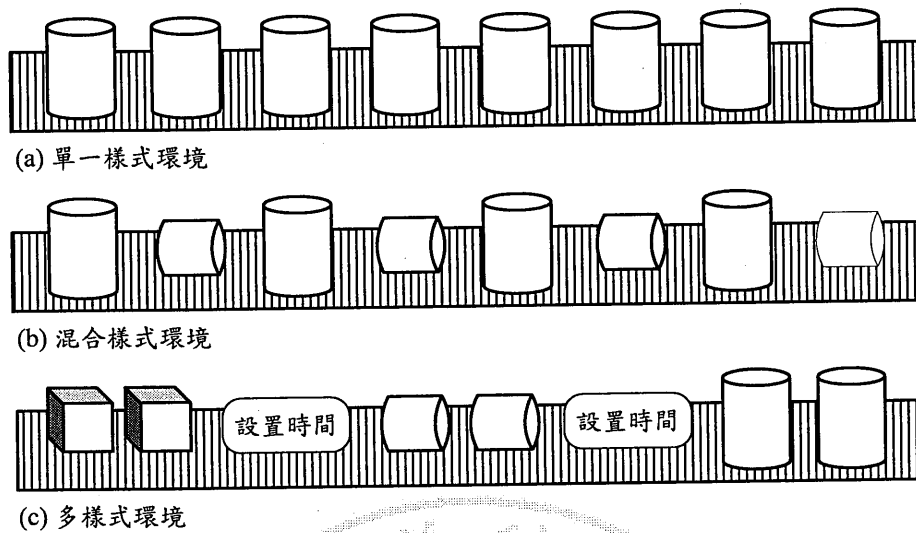


圖 4 依產品樣式分類之裝配線環境

1. 單一模式(single-model)：生產線上都為同一類型的產品，可以進行大量生產，也就是傳統的裝配線模式。在現今先進的生產技術下，假使裝配線上的產品不只一樣，透過裝配線作業上自動化換模設備，幾乎可以忽略其不同產品之間所需的設置時間及成本，如此也可將其視為單一的生產線，如飲料罐生產。
2. 混合型模式(mixed-model)：生產線上有不同種類的產品，其產品零件有其相同部分，因此，裝配線進行時可根據所需的產品來決定是否需要進行零件組裝或不需組裝即可到下一個作業，所以不同樣式的產品可以被安排在同一生產線上，但不同的樣式選擇其會讓製程時間有所不同，例如，在汽車製造中要多加裝電動天窗所花的時間和手動天窗所需的裝配時間就不同。
3. 多樣式模式(multi-model)：裝配產品的同質性及其生產製程不足，因此不同產品間需要設置時間來轉換裝配線設備以生產不同之產品，為了避免設置時間增加及成本的提高通常將其裝配作業進行批量處理，因此批量大小的問題開始被提出討論。

上述說明了以裝配線上產品不同來進行裝配線環境分類，本研究將其分類結果整理成表 1。

表 1 裝配線環境產品種類分類

種類	特性	例子
單一模式	可大量生產同類型的產品	飲料罐
混合型模式	不同種類產品但具有部分零件相同，其設置時間可以減少到足以忽略	汽車製造中加裝電動天窗和手動天窗
多樣式模式	同質性不足且生產製程差異大，須設置時間，因此開始有批量大小問題	

除了上述的裝配線上產品樣式的分類外，另一種分類方式為根據其作業時間來進行分類：

1. 確定性(deterministic)：在現今使用機器加工的環境中，作業時間通常為固定，除非機器發生故障情況下，時間才會變動。
2. 隨機的(stochastic)：在不使用機器的人工生產環境中，作業時間會因為作業人員技術而有所變動，除非其具有高素質的人員的情狀下，作業時間才有可能會固定。

2.1.2 混合型裝配線平衡問題

上述之不同裝配線環境中，為了因應多變顧客需求與市場變化，裝配線從單一模式轉型為混合型裝配線的設計，如國內中華汽車。裝配線設計不僅決定了最後的產品品質也會影響到產品上市或配送等(Rekiek, et al., 2002)，由此可知其重要性不可小覷。在生產型態改變後，單一裝配線上不僅生產單一產品，因此裝配線設計也更加複雜。為降低生產過程中產生機器或人員閒置而使生產效率提高，裝配線平衡問題開始被提出討論，在精實系統中也被當成首要的任務，要求生產

線能平準化，將一特定期間內生產的產品組合平均化，提高生產線效率，更敏捷地因應顧客需求的變化。

混合型裝配線環境較單一樣式及多樣式環境變化程度大，因此若能快速的因應其變化，找出最適的排程就相當的重要，許多學者紛紛欲對其問題找出解決方法，本研究將不同學者之相關研究整理成表 2。

一般裝配線平衡方法大都應用啟發式演算法或混合萬用式演算法來進行求解，其對於在排程規劃階段可以有效的解決問題，在生產環境改變，一般的學術方法需要根據新的工作資訊，將作業重新作指派的動作，若遇到作業數目增加時，其所花費的處理時間也會隨之劇增，因此，本研究因此本研究針對其進行研究提出以多代理人方法，透過代理人之間的溝通協商來解決此複雜的問題。



表 2 混合型裝配線平衡相關研究

作者／年代	目標
Thomopoulos [1967]	首先將先行關係圖結合方式將混合型環境中不同產品簡化成單一產品進行應用的研究，更進一步說明了生產順序的改善會提高裝配線生產效率。
Thomopoulos [1968]	在裝配線週期時間在限定範圍內的組合找出最符合週期時間的工作指派。
Thomopoulos [1970]	提出修正裝配線平衡方法，降低因為裝配線上不同產品所造成的不平衡。
Gökçen [1998]	應用二元整數規劃模式求解混合型裝配線平衡問題。
Mcumullen [1998]	在混合型環境中，應用塔布搜尋法解決具設置時間的 JIT 生產環境排程順序。
Sun, X and L. Sun [2005]	在混合型環境中，應用蟻群演算法解決產品指派問題，與 Toyota 目標追逐法、模擬退火法和基因演算法進行比較最後目標函式是否改善。
Bai, et al. [2009]	在混合型環境中，應用混合式基因演算法使工作站數最小化和最佳化裝配線效率。
Hwang and Katayama [2009]	在混合型流水型裝配線與混合型 U 型裝配線兩種環境中，應用修正架構基因演算法改善裝配線平衡與工作站數。
Sun [2010]	在混合型環境中，結合模擬退火法之粒子演算法與粒子演算法比較其平衡效率和搜索速度等都呈現出較好效果。

2.2 代理人技術發展

2.2.1 代理人定義

代理人指的是自主性物體，如機器人、人類和軟體程式，是一個以軟體為基礎的電腦系統。它可以察覺到其所處環境的資訊，在分散式的環境下不用中央代理人的控制下進行重複動作完成設定的目標，其具有下列特性(Nikraz, et al., 2010)：

1. 自主性(autonomy)：代理人活動不須透過人類直接的干預，且具有某種控制其行為和內部狀態的能力。
2. 社交能力(social ability)：透過代理人溝通語言，代理人之間可以進行互動或協商。
3. 反應能力(reactivity)：代理人可以察覺到所處環境的改變並隨之給予反應。
4. 主動性(pro-activeness)：除了隨環境改變而回應之外，代理人也可主動的表現出目標導向的行為。

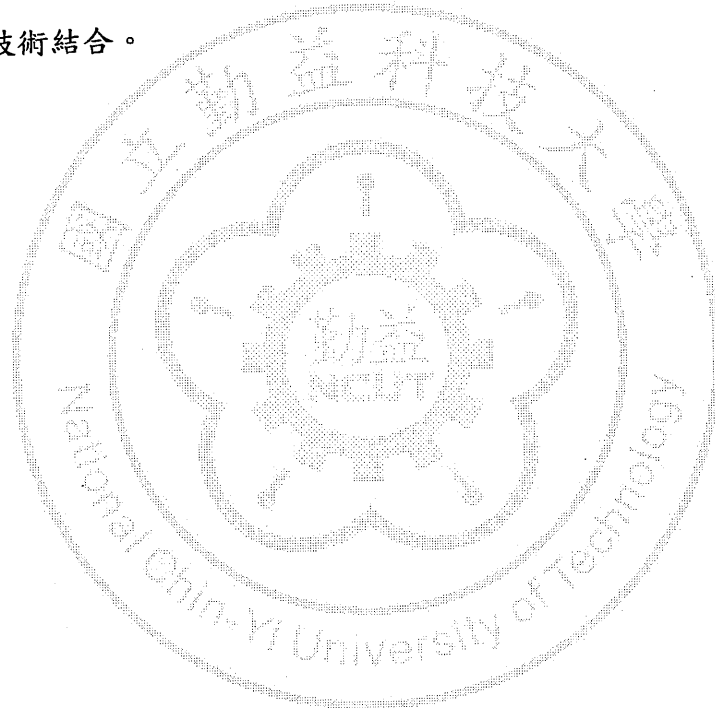
簡而言之，代理人為一個經過封包的問題解決體，其具有人工智慧機制、用於某環境的電腦程式，而在此環境中，能自動地或與其他代理人溝通，來採取某些作為達到設計的目標，隨著應用的環境不同，代理人系統依其設計的目的而有不同的平台架構。代理人其行為具有一定的規範流程，如圖 5 所示(Caire, 2009)，其說明如下：

1. 設置代理人。
2. 檢查刪除動作是否被呼叫，若沒有，執行步驟 3；若有，執行步驟 7。
3. 從代理人活動行為序列中，選取下一個行為。
4. 執行目前選取之行為。
5. 檢查代理人行為是否完成，若否，執行步驟 2；若是，執行步驟 6。

6. 結束目前代理人行為，並將行為從序列中移除，並執行步驟 2。

7. 結束代理人。

代理人因具有自主性、反應能力和主動的特性，且可被應用於分散式的環境當中，因此代理人技術可應用之範圍相當廣泛。Huang, et al. (2003)應用多代理人技術於商品協同設計之流程管理，Böhlein, et al. (2008)應用代理人技術於運輸規劃問題，並以報社為例進行模擬，Chatzidimitriou, et al. (2008)將代理人應用於供應鏈管理當中，在動態且競爭激烈的環境中提升效益，Symeonidis (2007)將代理人與資料探勘技術結合。



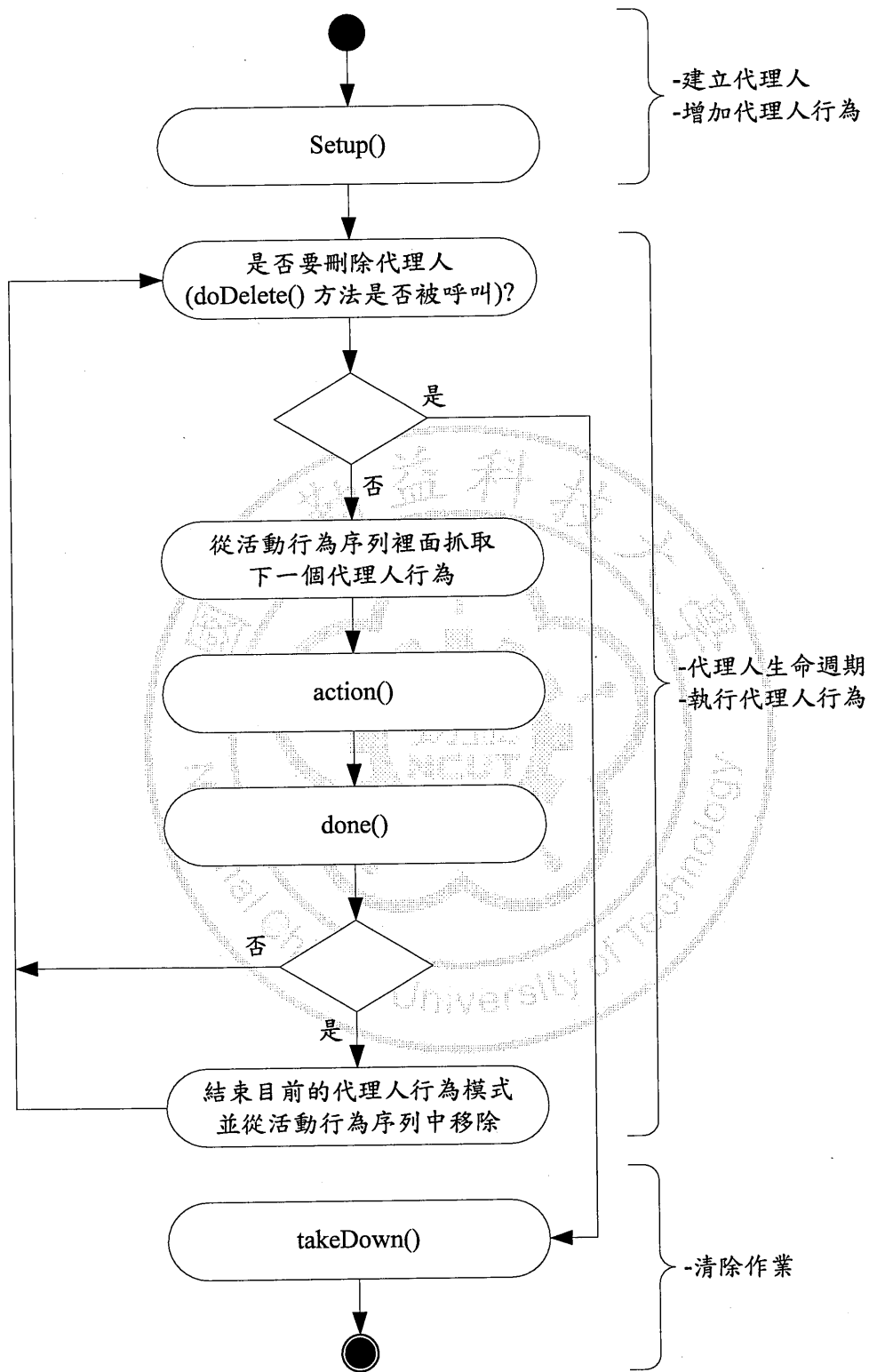


圖 5 代理人行為執行流程

2.2.2 FIPA 簡介

Foundation for Intelligent Physical Agent (FIPA) (FIPA, 2010) 是一個非營利組織，於 2005 年 6 月 8 日成為 IEEE 的第 11 個標準會員，目的是提供異質性代理人間溝通協商的標準，FIPA 提供了許多的標準規範文件並不斷的對其進行修正與更新。

FIPA 將代理人抽象化架構給具體化，如圖 6 所示(FIPA [SC00001L])，主要說明了必須透過建立一個平台讓代理人能夠提供服務，而代理人平台的可由不同之程式語言環境來建構，如 Java 或 C++，且代理人有訊息傳遞功能可以與不同代理人透過代理人溝通語言進行溝通，而代理人所提供之服務可透過目錄系統讓其他代理人發現並使用。

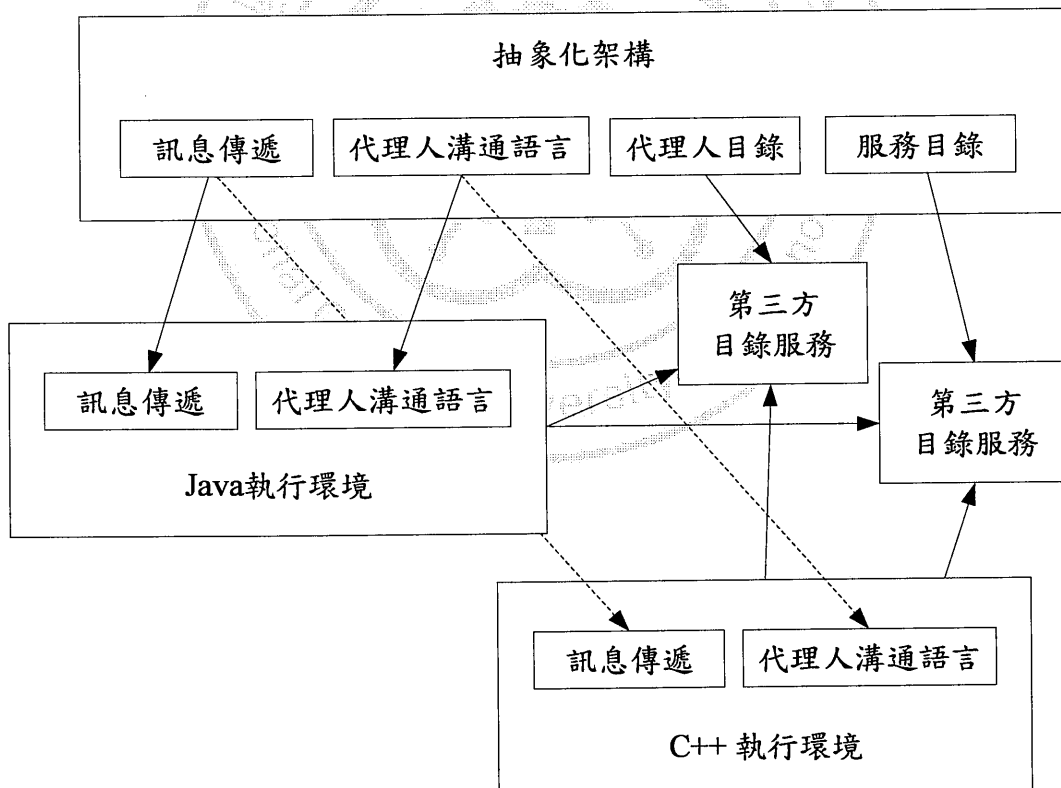


圖 6 FIPA 定義之代理人抽象化架構

FIPA 定義了代理人管理參考模型，主要由代理人(agent)、訊息交換系統(Message Transport System, MTS)、代理人管理系統(Agent Management System, AMS)、目錄系統(Directory Facilitator, DF)和軟體(Software)所組成，如圖 7 所示，其各項功能說明如下(FIPA [SC00023K])：

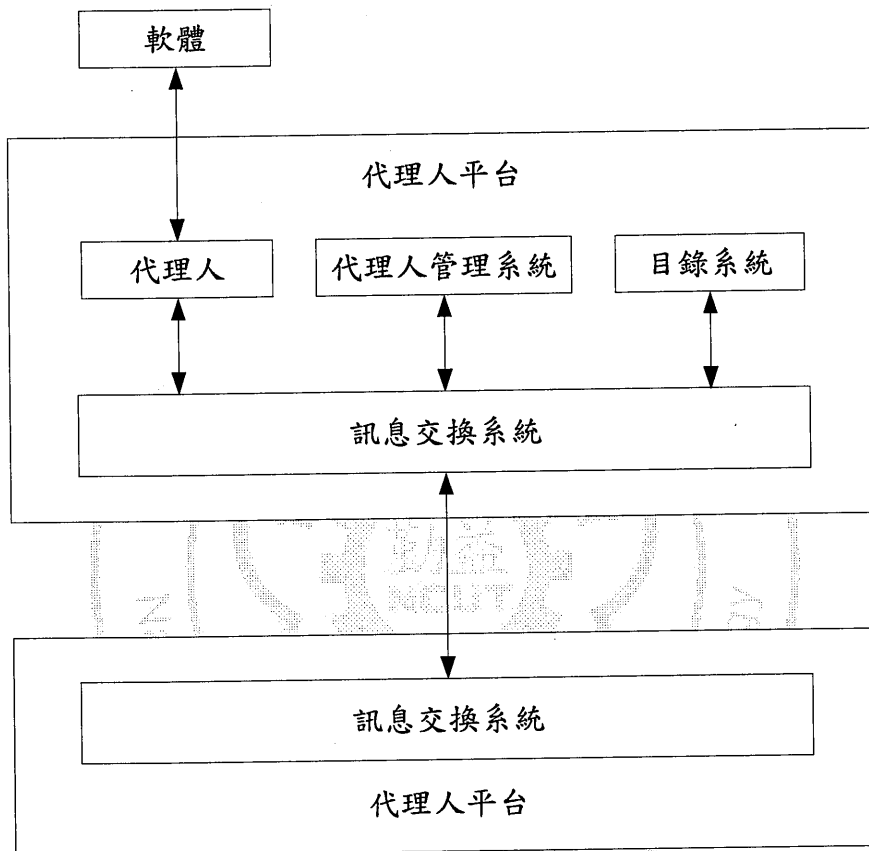


圖 7 FIPA 定義之代理人架構

1. 代理人：代理人是代理人平台中最基本的角色，具有提供服務的能力，能經由標準化的描述（描述其能提供的服務及接受的訊息等）部署到代理人平台上執行任務。每一個代理人必須擁有一個唯一的識別碼(Agent Identifier, AID)，以與其他的代理人區隔。
2. 訊息交換系統：也可以稱為代理人溝通管道(Agent Communication Channel, ACC)，為一個軟體控制元件，針對提供不同平台代理人間的溝通訊息進行管理控制。

3. 代理人管理系統：代理人管理系統負責進行代理人平台的存取及使用的管理控制，在一個代理人平台之中只允許一個代理人管理系統存在。代理人管理系統也必須維護一個代理人的識別碼目錄，在目錄中的每一個代理人均擁有一個唯一的識別碼及其註冊的所在位址（識別碼加上位址合起來稱為 GUID，Global Unified ID）。每一個代理人必須跟代理人管理系統註冊，以獲得合法的代理人識別碼，如此才能被其他代理人找到，進行互動，也就是說代理人管理系統操控了一個代理人的生命週期。
4. 目錄系統：DF 系統提供了根據 FIFA 規範的黃頁(yellow pages)服務，其紀錄了代理人所提供的服務，代理人啟動時必須向 DF 進行註冊，以便於其他代理人找尋到它，進行呼叫並要求提供服務。一個代理人平台內允許存在多個獨立的目錄系統，這些獨立的目錄系統也可以進行串連結盟。
5. 軟體：泛指非代理人，但可透過代理人執行的指令。例如，代理人可以透過軟體增加新的服務、取得新的通訊協定或協商協定等。

FIPA 也對實體代理人定義其生命週期模型，代理人必須限制在初始其生命週期的代理人平台上，並接受其管理控制，並具有唯一的名字。且代理人之生命週期獨立於外在應用程式，生命週期模型會對定義代理人的生命週期狀態，在同一時間點，只會存在一個生命週期狀態。實體代理人生命週期模型如圖 8 所示，其說明如下(FIPA [SC00023K])：

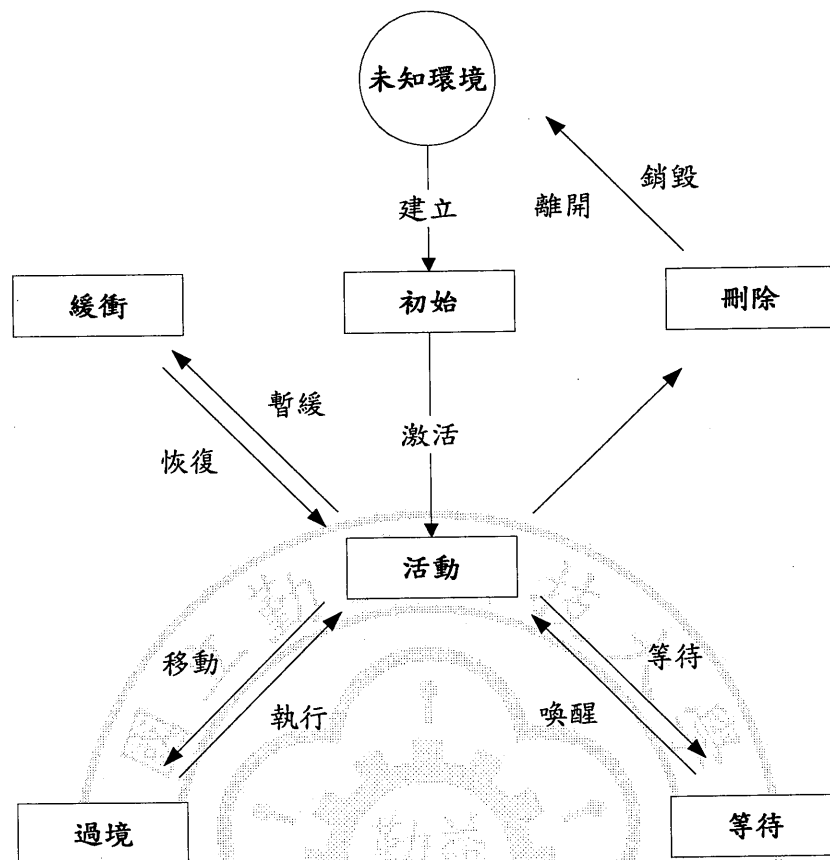


圖 8 FIPA 定義之實體代理人生命週期模型

1. 未知環境：可能因為代理人已不存在、尚未建立完成或不是處於活動狀態之下，代理人就會進入未知狀態。
2. 初始：剛建立一個代理人，但其尚未向 AMS 進行登記註冊識別碼，所以無法透過 MTS 與其他代理人進行訊息上的溝通。
3. 活動：代理人已向 AMS 進行登記註冊，有了唯一的識別碼，可以開始使用 JADE 所提供的相關功能，並透過 MTS 發送訊息給其他代理人或接收其他代理人所傳遞之訊息。
4. 緩衝：將代理人物件暫時停止，其所有代理人行為將不會被執行。
5. 等待：代理人在沒有活動的情況下都是處於等待狀態，等特殊情況發生時才會被喚醒開始活動，例如某代理人傳送來的訊息要進行接收時。

6. 過境：代理人在轉移到一個新的位址時也就是新的代理人平台時，會進入此狀態，其所收到之訊息會滯留於訊息佇列區，若轉移成功其所收到的訊息皆會傳送到代理人目前所在的新位址。
7. 刪除：將代理人刪除，其在 AMS 上所登記註冊資料也會消失。

FIPA 提供了為了提供代理人溝通協商標準，規範了代理人之間的溝通語言 (Agent Communication Language, ACL)，讓代理人間透過非同步的訊息傳遞方式依此標準進行訊息溝通。非同步的訊息傳遞方式猶如電子郵件寄送模式，可將每條訊息當作一封郵件，其中必須包含有收件者(receiver)、寄件者(sender)、言語行動(performative)、訊息內容(content)等資訊，每一個代理人會具備有訊息佇列區，其功能猶如由信箱，當其他代理人發送訊息後透過 MTS 傳遞後會存放在此，並告知代理人來收取訊息，代理人收到告知後便可至訊息佇列區收取訊息，再進行訊息處理和解讀，如圖 9 所示(Caire, 2009)。

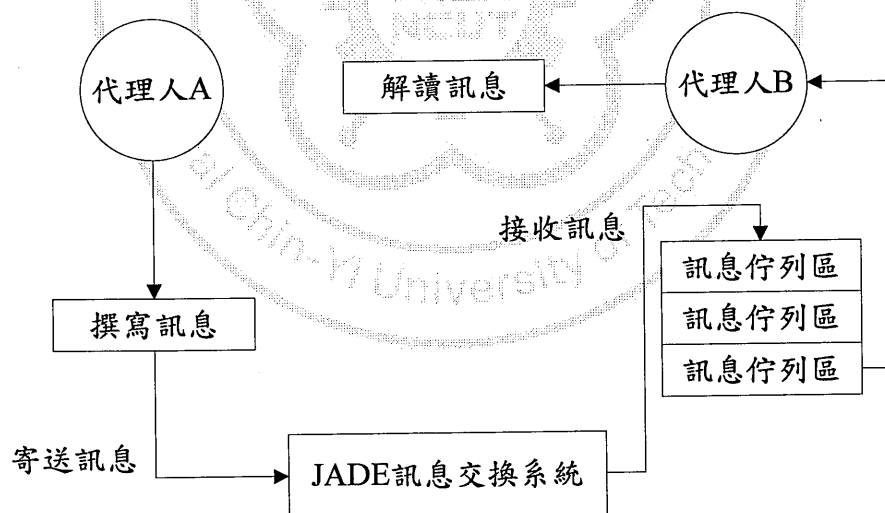


圖 9 代理人訊息傳遞

代理人在傳遞訊息，在訊息所包含的資訊當中，收件者與寄件者是一定要明確告知，而訊息內容可以接受是空的值，此時接收者就會無法解讀此訊息之意義何在。因此，在 FIPA 規範當中制定了言語行動解決此問題的發生，它可讓接收

者即使在沒有訊息內容的情況下，也可以判讀出寄件者所要表達之意思，簡單來說，言語行動當中已隱含了此訊息語傳達的目的。FIPA 規範了 22 種言語行動，如 AGREE、CONFIRM 和 REQUEST，其各自表達出同意、確認和要求的目的，如此可讓接收訊息者清楚明白此訊息寄送的主要目的為何。

2.2.3 JADE 開發平台

在本研究中，代理人系統是透過 JADE(Java Agent DEvelopment Framework)(JADE, 2011)平台來運行，JADE 是為了發展可互相協作的智慧型代理人系統而發展出的以代理人為基礎軟體架構，是由義大利電信研究室(Telecom Italia Lab, TILAB)根據 FIPA 規範開發而成，其目的是簡化程式開發的過程並制定一套標準。它是應用 Java 語言所撰寫的中介程式，因此可以用 Java 語言設計程式進行代理人溝通與函式呼叫。

在目前資訊發達網路如此普及的環境之下，代理人更可被應用於分散式的環境當中，如圖 10 所示，代理人建立於同一平台不同電腦之上。JADE 的執行環境中，是由一個或多個容器(container)所組成的，且在每台主機上最多只允許一個 JADE 平台存在，其中必須包含一個唯一的主容器(main container)具有 AMS 與 DF，而容器上之代理人個數並無限制，當其他容器(peripheral container)啟動時就必須告知其主容器的位置所在，以便其他容器找到主容器進行登記註冊，如此容器上之代理人才能使用代理人行為，並透過網路與其他代理人進行訊息的交換。

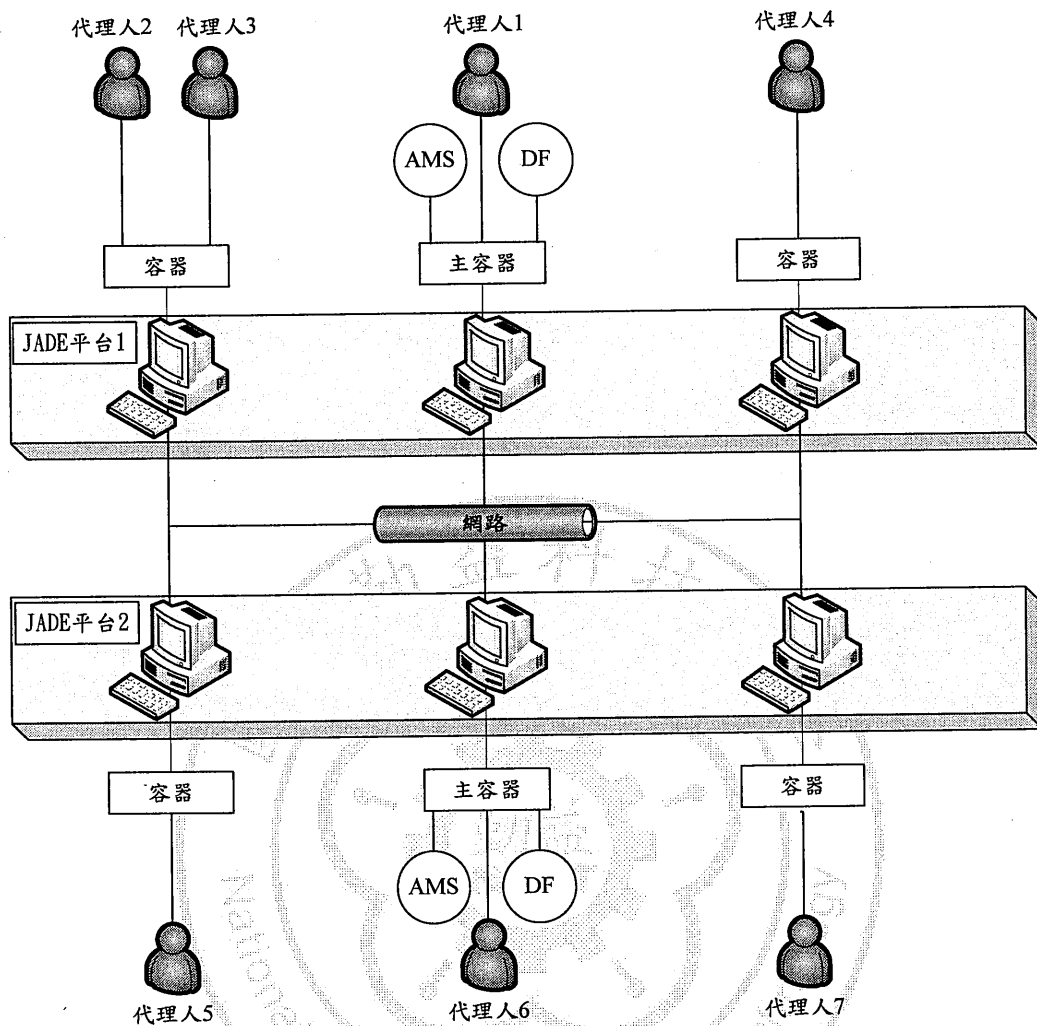


圖 10 JADE 平台執行環境

2.3 代理人應用於排程問題之相關研究

代理人技術運用於解決排程上的問題是屬於跨領域的結合，結合了人工智慧與生產管理兩大領域的專業知識，因此目前之相關研究並不多，如表 3 所示，下面將對其相關研究簡短說明。

Wong, et al. (2006)在零工式生產(job shop)類型的彈性製造環境下，整合製程規劃與排程，增加生產的可行性且得到最佳解。透過新的代理人協商機制，其可處理多任務的多對多協商，來進行製程規劃和排程以應付現今製造系統的不確定的彈性需求。

Babayana and He (2004)將代理人結合賽局理論(games theory)來解決 n 個工作三階段彈性流程型生產(flow shop)排程問題，在每一個階段中工作可以在任何相同的機器上被處理，目標為進行 n 個工作排程將完工時間最小化。最後，將以代理人為基礎的方法和其他啟發式方法進行績效評估，在測試的問題中，以代理人為基礎的排程方法績效大都超過現存的啟發法。

Huang, et al. (2010)則應用代理人於平行機台的生產環境中進行工作指派，透過多代理人協商方法讓機器代理人與工作代理人在不違反各自的目標下合作，完成所設定的多目標條件。

代理人技術也應用於分散式裝配線平衡問題上，Yokoyama, et al. (2007)假定產品的先後順序關係為已知的狀況下，把作業員視為代理人，且相鄰的代理人可以交換任務和負荷時間的訊息，負載輕的代理人會發送訊息給相鄰負載較重的代理人來交換彼此之間的任務。其中使用最佳解方法中的列舉法和啟發法中的位置權重排序法，來減輕計算的負擔，並且為了避免交換的計畫陷入循環解或局部解，使用禁忌搜尋法中的禁忌名單(tabu list)、模擬退火法中的冷卻，和改變可能交換任務次數，三個機制來決定交換計劃。爾後，將此方法進一步被應用在兩種產品的混合型裝配線環境中，以求解裝配線平衡問題(Yokoyama, et al., 2008)。

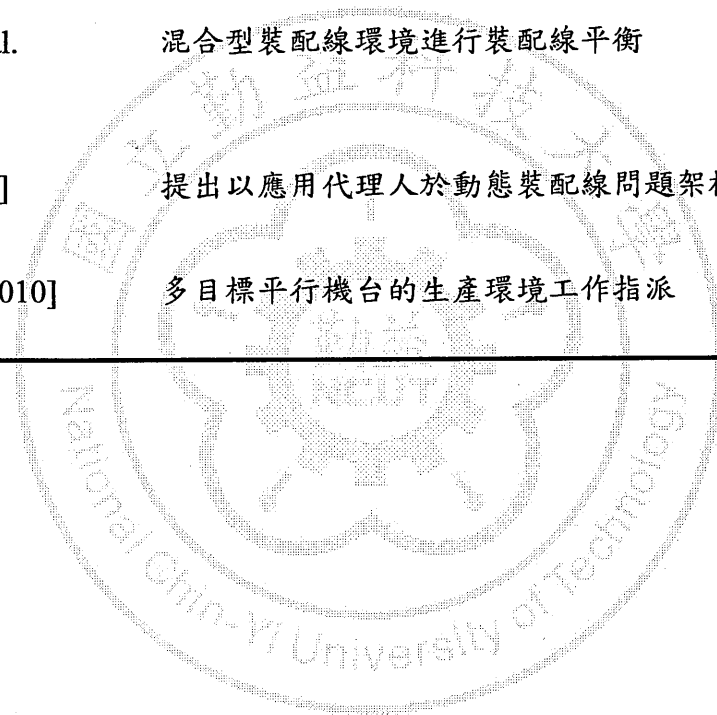
Xie, et al. (2010)提出以代理人技術求解動態裝配線平衡問題架構，其可以根據現場狀況調整生產排程，將系統分成兩個階段，系統層級與元件層級，元件層級功能為監控工作現場的執行狀況，元件層級內各元件會將資料傳送至系統層級，讓系統層級可進行規劃已完成所訂定的多目標條件。

在工作現場若發生異常，如裝配線上機器故障時，原先已排好工作就必須轉移到其他機器上，或發生瓶頸作業時，此屬於動態裝配線平衡方面的問題，應用一般學理方法來處理是比較困難的，必須根據新的工作資訊，全部重新進行工作

指派規劃，因此本研究透過代理人重新協商的機制，將作業重新調整指派，此為應用代理人方法進行裝配線平衡問題規劃與監控之目的。

表 3 代理人應用於排程問題之相關研究

作者／年代	應用領域
Babayan and He [2004]	三階段彈性流程型生產排程問題
Wong, et al. [2006]	使用新的代理人協商機制於整合製程規劃與排程問題
Yokoyama, et al. [2007, 2008]	混合型裝配線環境進行裝配線平衡
Xie, et al.[2010]	提出以應用代理人於動態裝配線問題架構
Huang, et al. [2010]	多目標平行機台的生產環境工作指派



第三章 研究方法

3.1 符號定義

本研究所使用之符號定義如下：

n ：產品編號， $n=1,2,\dots,N$

k ：機器編號， $k=1,2,\dots,K$

j ：工作編號， $j=1,2,\dots,J$

d_n ：產品 n 的需求量

t_{nj} ：工作 j 在產品 n 的處理時間

\hat{p}_j ：合併作業後工作 j 處理時間

OT ：每天作業時間

T ：系統週期時間

O_k ：機器 k 的總處理時間

W_j ：工作 j 的位置權重值

V_k ：機器代理人 $k-1, k, k+1$ 的變異數

V ：裝配線上所有機器之變異數

V'_k ：交換後機器代理人 $k-1, k, k+1$ 的變異數

V' ：交換後的裝配線上所有機器變異數

I ：閒置時間比率

Opt_K ：理想工作站數

3.2 問題假設與目標

在本研究中，使用多代理人技術來解決混合型裝配線平衡，問題假設如下：

1. 裝配線上之機器或人員可以處理裝配線上任何作業。
2. 裝配線上負荷量最重的機器代理人會向交換代理人提出平衡動作請求，交換代理人會與其他機器代理人協商，進行工作交換和插入移步動作，以平衡裝配線上的機器負荷量。
3. 裝配線上作業具有先行關係的限制，工作在移步過程中不可違反此限制。
4. 可進行相鄰機器或跨機台機器之工作交換和插入的移步動作。

本研究主要目標為使裝配線上整體機器之變異數(V)最小化，變異數計算方法如公式(1)，透過變異數可知道裝配線上的人員或機器，其工作負荷平衡狀況，是否有負荷過重，如此會導致機器過度使用維修次數因此提高，或人員負荷過重體能不堪負荷。而裝配線平衡也可計算閒置時間比率(I)來衡量，如公式(2)，其中 \bar{O} 為所有工作站平均處理時間， O_{\max} 為所有工作站上最大的處理時間，閒置時間比率可以得知人員或機器是否發揮其最大效用，透過上述兩項指標，即可得知目前裝配線的平衡狀態是否必須加以調整。

$$V = \frac{\sum_{k=1}^K (o_k - \bar{o})^2}{K} \quad (1)$$

$$I = \frac{\sum_{k=1}^K (o_{\max} - o_k)}{K \times CT} \times 100\% \quad (2)$$

3.3 先行關係圖

單一樣式裝配線與混合型裝配線最大不同點在於其先行關係圖，混合型裝配線中，各個產品有各自的先行關係圖而在單一樣式中僅只有一個先行關係圖，在進行作業指派時，不允許違反其先行限制。在大部份的文獻當中，大都採取將多個先行關係圖整合成單一的先行關係圖，而其轉換方式主要有以下兩種(Zantede Fokkert, 1997)：

1. 合併先行關係圖：將不同之產品之先行關係圖合併成單一先行關係圖，如圖 11 所示。將產品 n 的先行關係圖以 $G_n = (S_n, L_n)$ 表示， $S_n = \{s_{n1}, s_{n2}, \dots\}$ ，其中 S_n 是節點，代表產品 n 的所有作業； $L_n = \{l_{n1}, l_{n2}, \dots\}$ ，其中 L_n 是弧，代表著其作業的先後關係，假使，一個弧 l_{nh} 其初始節點為 s_i ，且終止節點為 s_j ，那就表示作業 s_j 必須在 s_i 之前完成。先行關係圖結合方式為 $S_M = \{S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_N\}$ 且 $L_M = \{L_1 \cup L_2 \cup L_N\}$ ，其中 $M = \{1, 2, \dots, N\}$ ，表示為所有產品先行關係圖集合(Macaskill, 1972)。此方法在作業複雜度小的時候適用，但當複雜度提高要使用此方法合併先行關係圖，要應用弧和節點表示出產品先後關係也相對困難許多。
2. 修正作業時間：將產品的作業時間合併，其如公式(3)，其中， \hat{P}_j 表示合併後工作 j 之處理時間。

$$\hat{P}_j = \sum_{n=1}^N d_n \times t_{nj} \quad (3)$$

Thomopoulos (1967)最早在研究中整合不同產品先行關係(Macaskill, 1972)，其為使用第二種修正作業時間的方法，將不同的產品先行關係給予合併，如此可將問題簡化為單一產品生產環境，而在本研究中也同樣使用此方法，將不同產品之作業進行合併的動作。

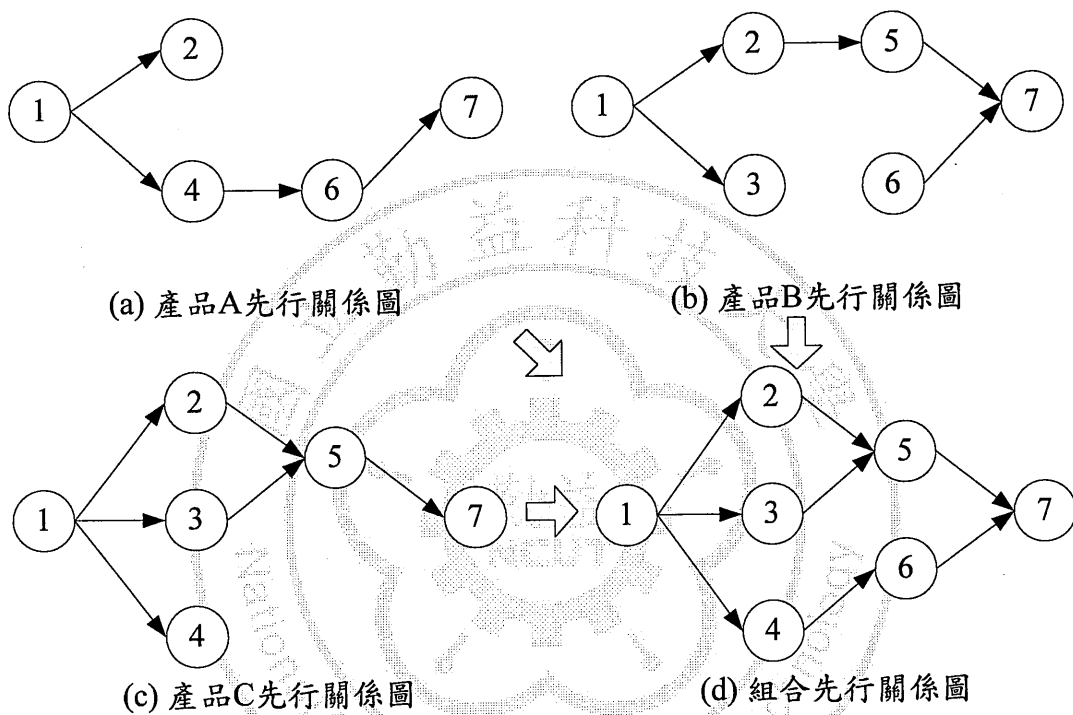


圖 11 先行關係圖合併

3.4 位置權重法

位置權重法為裝配線平衡中，進行工作指派較快速的方法，位置權重法必須先計算各工作之權重值，其計算方式是目前工作的處理時間加上後續作業的處理時間加總。因此，具有較多後續作業的工作其權重就會越大必須優先處理，才不會導致後續工作有先行作業尚未處理，而無法排入工作站的情況發生，因此權重值大者會先被排入工作站中，直到工作站超出生產週期時間才會增加工作站繼續

進行指派，希望在較少的工作站數下完成工作指派，且在指派過程中也必須符合先行作業關係，因此本研究應用其作為初始解，位置權重法其步驟說明如下：

1. 設初始機器數(K)為 1，應用公式(4)計算出各個工作的權重(W_j)，並將其由大到小存至陣列 $W_{[j]}$ ，其中 $W_{[1]} > W_{[2]} > \dots > W_{[j]}$ 。

$$W_j = \hat{P}_j + \sum_{l \in \text{successive of } j} \hat{P}_l \quad (4)$$

2. 尋找是否有未指派作業，若有，由權重最大者開始進行工作指派，執行步驟 3；若無，執行步驟 5。
3. 若目前指派工作作業時間加上目前機器處理時間不超出系統週期時間即可將其指派至工作站中 ($\hat{P}_j + O_k \leq CT$)，執行步驟 2。若超出週期時間，則執行步驟 4。
4. 尋找後續工作是否有符合之工作 ($\hat{P}_j + O_k \leq CT$)，若有則將其進行工作指派，執行步驟 2；若無，將工作站數加 1 ($K = K + 1$)，執行步驟 2。
5. 結束。

本研究中為求得較少之工作站數完成工作指派，因此會將位置權重法之指派工作站數縮減至理想工作站數，理想工作站數計算方式如公式(5)所示。

$$Opt_K = \frac{\sum_{j=1}^J \hat{P}_j}{T} \quad (5)$$

研究中縮減工作站中處理之作業會轉移到最後一個沒被縮減的工作站當中，因此若縮減工作站數較多，會導致最後一個工作站其作業時間大幅提升，整體裝備線在初始就陷入極度的不平衡狀態中。為避免此情況發生，本研究中，在進行位置權重法時會適當的給予寬放週期時間，讓工作站週期時間暫時超出預設的範

圍，工作站可容許的作業時間放寬了其可處理作業因此增加，如此工作站進行縮減和轉移時，作業就不會堵塞在最後一個工作站中，裝配線在較平衡的狀態下進行微調程序，讓調整效率提升。

3.5 禁忌搜尋法

禁忌搜尋法(Tabu search, TS)是 Glover(1989)所提出解決組合最佳化問題的策略性的演算法，主要應用移步(move)來改善其目標值，移步過程中會透過一個短期記憶的禁忌名單(Tabu list, TL)來記錄每次移步的過程。移步的動作可透過插入或交換兩種方法來進行，如圖 12 所示，圖中(a)為插入移步，挑選作業 2 進行插入移步，其可插入作業 4 之前或之後；(b)為交換移步，將兩個作業進行交換。

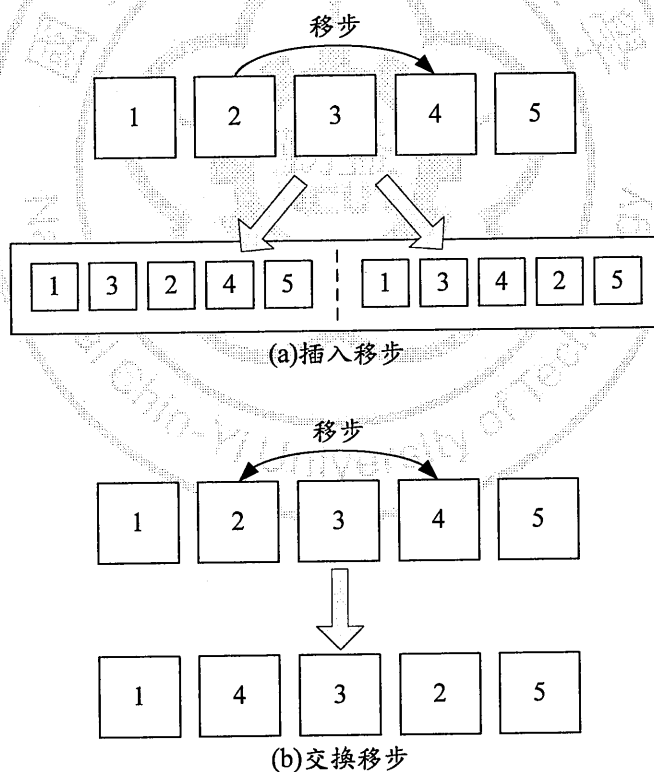


圖 12 禁忌搜尋法移步方式

在本研究中，會將每種可能的移步動作產生出來，且移步過程中必須符合先行作業關係，為找出最適合之移步，移步的位置是從第一個位置開始嘗試，找出最先符合先行作業關係的移步位置，如此可以增加可行之移步，如圖 13 所示，機器 1 的工作 4 要移步至機器 2 中，其就有三種不同的移步位置可以選擇，透過上述方法，可以避免某些可改善目標值的移步因為移步位置選擇關係而被限制。

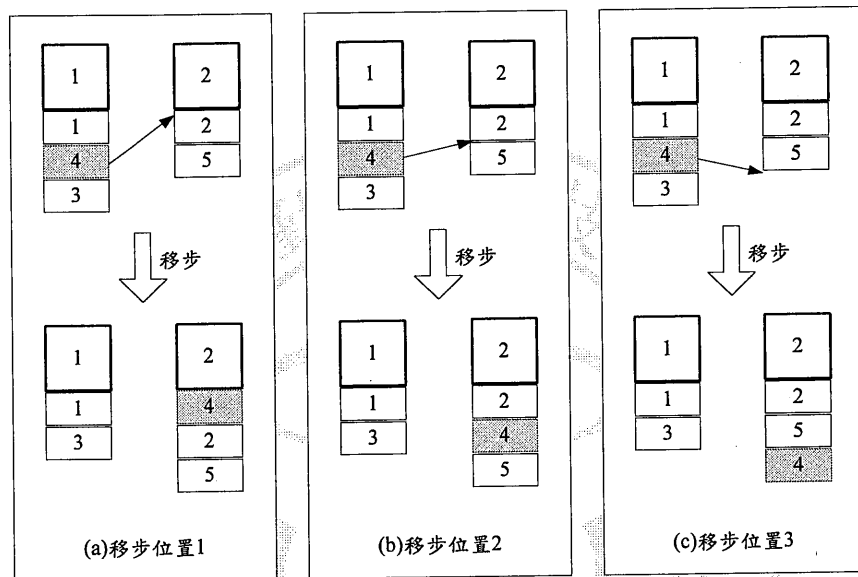


圖 13 移步位置選擇

本研究所使用之移步方法為鄰域搜尋，以增加搜尋範圍與搜尋效率，如圖 14 所示。圖中，變異數為一台機器與左右相鄰機器計算平均變異數得知，例如機器 4 與機器 3 和 5 求得變異數最大，因此將機器 4 視為候選者，而其相鄰範圍二步以內之機器也都納入為候選者，增加可行移步。圖中虛線部分機器(機器 2, 機器 4 和機器 6)會進行相鄰相鄰機器的移步，而實線部分機器(機器 3, 機器 4 和機器 5)會進行跨機台之移步動作，而為了避免陷入局部最佳解，讓目標值變差移步是可以被接受的，讓其有機會跳脫至新的搜尋範圍。

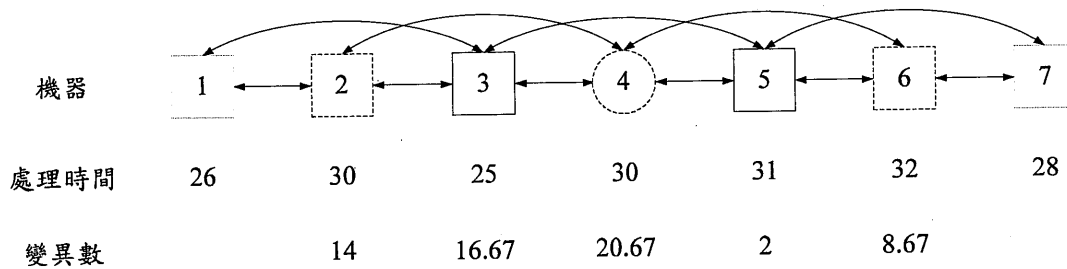


圖 14 禁忌搜尋法之鄰域搜尋

在移步過程中也要避免陷入循環搜尋狀態，因此要透過禁忌名單來記錄最近幾次的移步，讓其短時間內不會有相同移步動作產生，即為短期記憶禁忌名單。

禁忌名單的長度會影響搜尋效率，因此禁忌名單一般建議長度為 7(Glover, 1990)。而本研究設定每一個機器代理人擁有各自的禁忌名單(TL_k)， $TL_k = (k, j)$ ，長度為 7。記錄方法為，當有工作離開時，機器代理人就會將其工作編號及移步到哪台機器記錄至名單當中，例如，機器 3 轉移工作 2 至機器 1，機器 3 的禁忌名單就會紀錄 21 至名單當中($TL_3 = (2, 1)$)，也就是放寬禁忌名單約束，若相同工作但由不同機器移步進來，是可被接受的，以增加可行之移步計畫，且若移步計畫的整體平均變異優於目前最佳解的話，則不受禁忌名單的限制。

3.6 本研究之代理人架構

本研究提出以代理人為基之裝配線平衡方法(Agent-based Scheduling System for Mixed-Model Assembly Balancing, ASMALB)，ASMALB 系統中包含三種類別代理人：資訊代理人、交換代理人和機器代理人，如圖 15 所示，其各代理人說明如下：

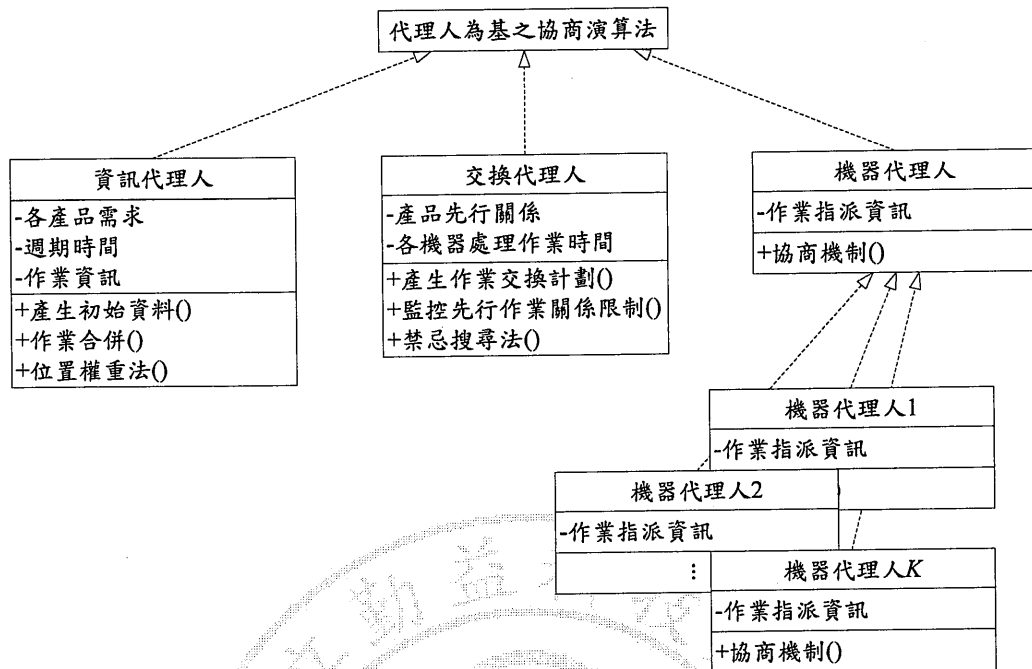


圖 15 代理人類別圖

1. 資訊代理人：根據各產品需求數量和作業時間，計算出系統週期時間，並應用位置權重法產生初始排序。
2. 交換代理人：交換代理人會接收各機器代理人所傳遞的工作資訊，並應用禁忌搜尋法產生出工作的交換計劃，交換代理人也具有監督交換計畫的功能，交換計劃不可違背先行關係的限制。
3. 機器代理人：本研究將每一個工作站上之機器或作業人員視為一個機器代理人，接收初始排序所產生的工作資訊後，傳送工作資訊至交換代理人產生交換計劃，接收交換計劃後必須更新各自所必須處理作業的工作資訊。

ASMALB 系統代理人架構如圖 16 所示，產品資訊和作業先行關係限制資訊會先傳遞給資訊代理人，資訊代理人會根據作業資訊與先行關係限制應用位置權重法產生初始解，完成後將初始解指派工作資訊傳遞給機器代理人，並通知交換代理人開始進行與不同機器代理人之間的溝通協商，反覆進行進而改善目前作業指派順序，最後輸出裝配線平衡結果。

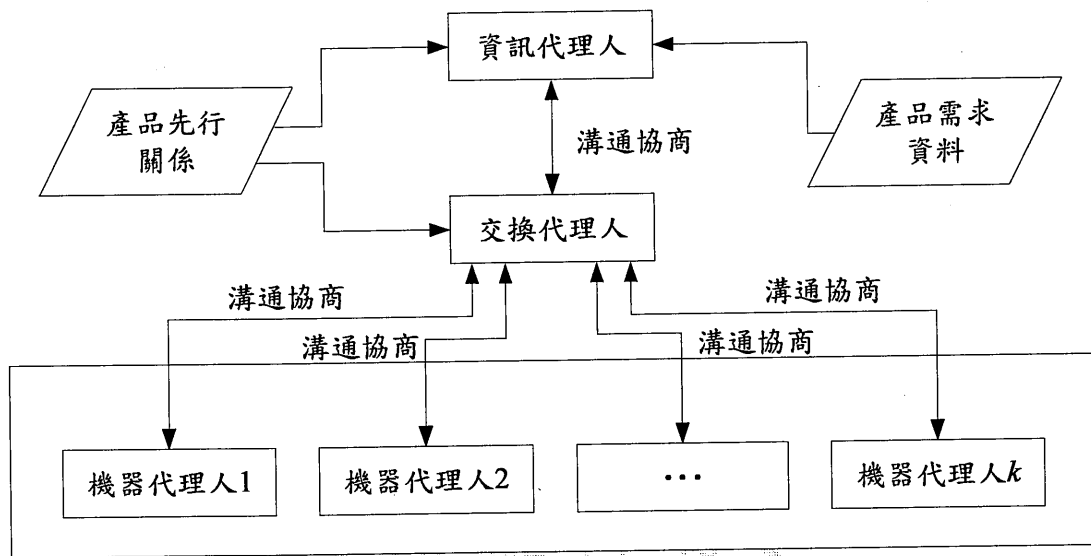


圖 16 本研究之代理人架構圖

圖 17 為本研究所提出之 ASMALB 系統代理人溝通順序圖，其說明如下：

1. ASMALB 系統啟動時，資訊代理人會被建立並根據初始資料使用位置權重法產生初始解，隨後會建立交換代理人和機器代理人準備裝配線平衡作業。
2. 裝配線平衡作業開始時，資訊代理人會將初始解的工作資訊使用 INFORM 訊息傳送給機器代理人，機器代理人接收到訊息後會回覆 CONFIRM 訊息給資訊代理人，確認已收到訊息。資訊代理人若確認已收到所有機器代理人的回覆，就會發送 REQUEST 訊息要求交換代理人開始進行裝配線平衡的動作，第一輪的交換開始。
3. 交換代理人接收到機器代理人傳的來的工作資訊後，先計算所有機器變異數 (V) 後決定候選代理人，而目標代理人則為與候選代理人進行移步之機器代理人。
4. 產生並選擇交換或插入的移步計畫，移步計畫決定後，移步動作會被記錄並更新禁忌名單。
5. 計算移步後裝配線變異數 (V')，若 $V' < V$ 記錄目前工作排序為暫時最佳解。

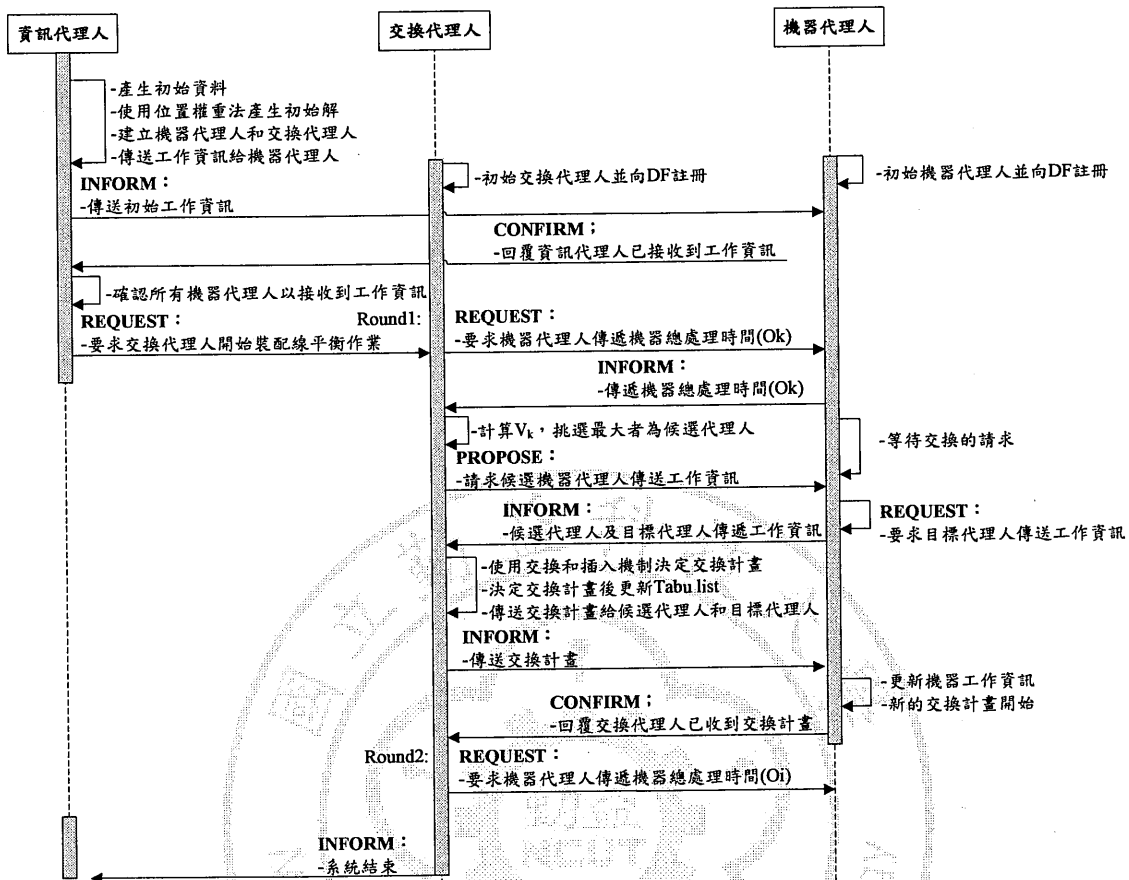


圖 17 代理人溝通順序圖

透過上述的動作，作業即可在機器之間進行插入或交換的裝配線平衡動作，其動作會一直進行直到滿足下列條件才會停止：

1. 交換工作執行次數大於預設的搜尋終止次數。
2. 所有的候選代理人因週期時間或先行作業的限制無法產生交換計畫。

系統終止時，暫時最佳解為 ASMALB 系統所產生的最佳解結果。本文透過上述協商過程交換和插入不同機器之間的工作，並在不違反先行作業的規範下使裝配線更加的平衡，提高其生產效率和機器利用率。

ASMALB 系統流程如圖 18 所示，其步驟說明如下：

1. ASMALB 系統啟動產生資訊代理人，並根據每天作業時間(OT)和各產品處理時間使用公式(5)計算出系統理想週期時間(T^*)，其中 J 為總工作數。若問題環境為給定機器數，使用公式(6)即可計算出真實週期時間。

$$T^* = \frac{OT}{\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J d_n \times t_{nj}} \quad (6)$$

$$T = \frac{\sum_{j=1}^J \hat{p}_j}{K} \quad (7)$$

2. 資訊代理人使用位置權重法產生初始解，並將其所需之工作站數暫定為目前工作站數(K)。
3. 使用公式(5)計算最佳之工作站數(Opt_K)。
4. 若目前所需之工作站數大於最佳之工作站數($K > Opt_K$)，則將多餘之工作站刪減，並將其工作併入前台機器之中。
5. 資訊代理人建立交換代理人和建立機器代理人，且資訊代理人將初始排序結果傳給機器代理人。
6. 資訊代理人向交換代理人發送開始裝配線平衡的訊息，交換代理人向機器代理人要求工作資訊。
7. 交換代理人使用公式(1)計算所有機器變異數(V)，並且計算機器代理人變異數(V_k)，如公式(8)。

$$V_k = \frac{(O_{k-1})^2 + (O_{k-1} - O_{k+1})^2 + (O_k - O_{k+1})^2}{3}, 2 \leq k \leq K-1 \quad (8)$$

8. 選擇 V_k 較大且未被挑選過者做為候選代理人，若有，執行步驟 9；若無，挑選之前產生最小 V'_k 的機器代理人最為候選代理人，並接受其計畫，執行步驟 13，若紀錄中無 V'_k ，則執行步驟 15。
9. 使用列舉法的方式，根據禁忌搜尋法的交換和插入的機制產生交換計畫，若有計畫建立執行步驟 10；若無，執行步驟 11。
10. 檢查交換計畫是否違反先行作業關係。若否，將交換計畫儲存，執行步驟 9；若是，直接執行步驟 11
11. 查看是否有交換計畫產生，若否，執行步驟 8；若有，計算各計畫執行後的機器代理人變異數(V'_k)執行步驟 12。
12. 挑選 $V'_k < V_k$ 並且不在禁忌名單當中的計畫做為此輪的交換計畫，若有，挑選 V'_k 為交換計畫，執行步驟 13；若否，紀錄 V'_k ，執行步驟 8。
13. 更新交換計畫受影響的機器代理人工作資訊，記錄至禁忌名單中，並計算交換後裝配線所有機器變異數(V')，檢查是否 $V' > V$ 。若否，則將執行次數加 1，並將目前的工作排序作為暫時最佳解。
14. 是否達到終止條件，若否，進行步驟 7，若是，則執行步驟 15。
15. ASMALB 系統停止工作交換，檢查位置權重所使用之週期時間是否超出預設值，若否，增加週期時間範圍，執行步驟 2；若是，執行步驟 16。
16. 檢查目前的暫時最佳解是否符合週期時間限制，若否，將機器數加 1，即 $K = K + 1$ ，執行步驟 4；若是，目前的暫時最佳解即為最佳解。

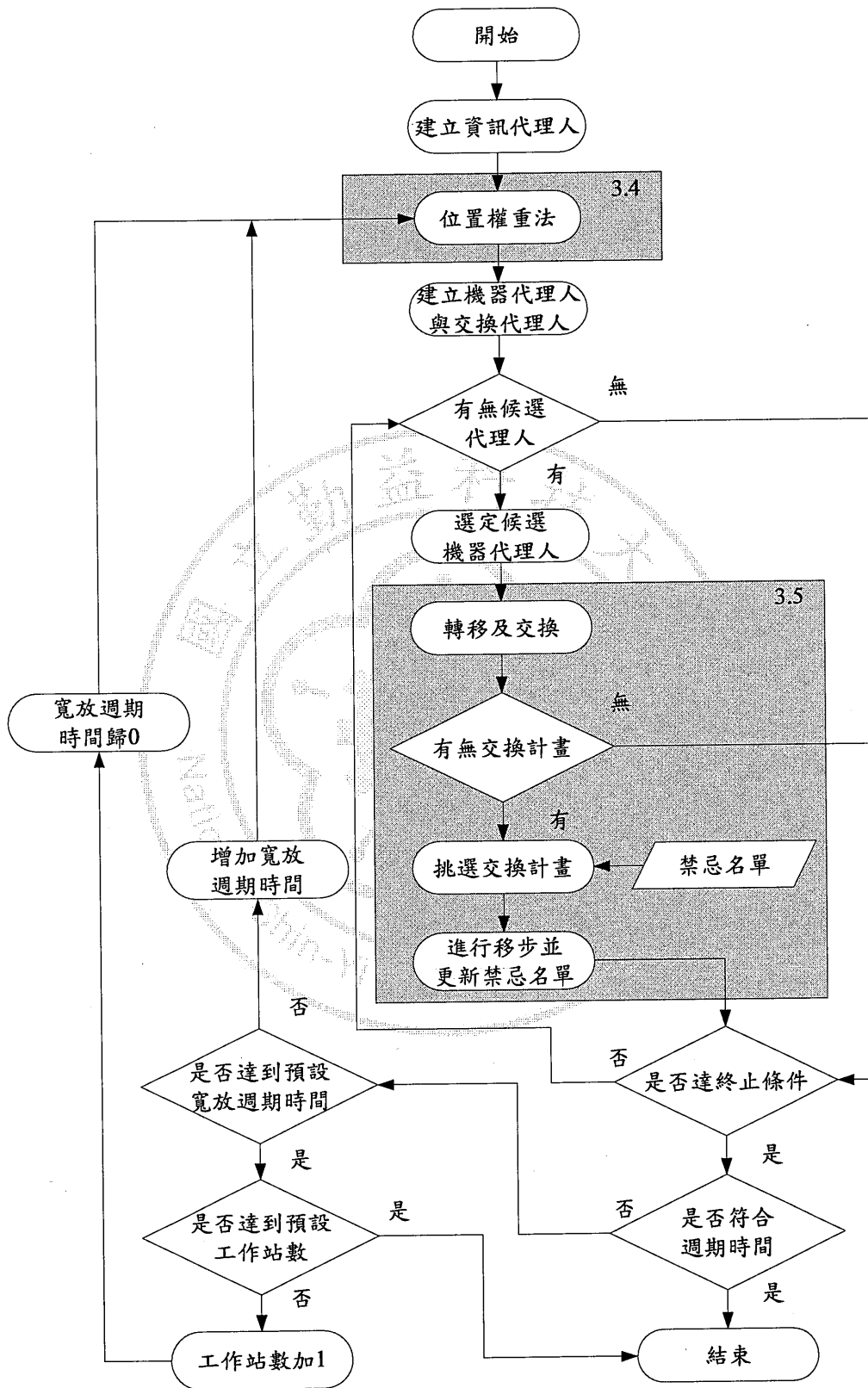


圖 18 ASMALB 系統流程圖

第四章 系統建置與績效分析

4.1 系統建置

本研究 ASMALB 系統啟動時，會開啟代理人圖形管理介面與本系統之介面，如圖 19 所示。

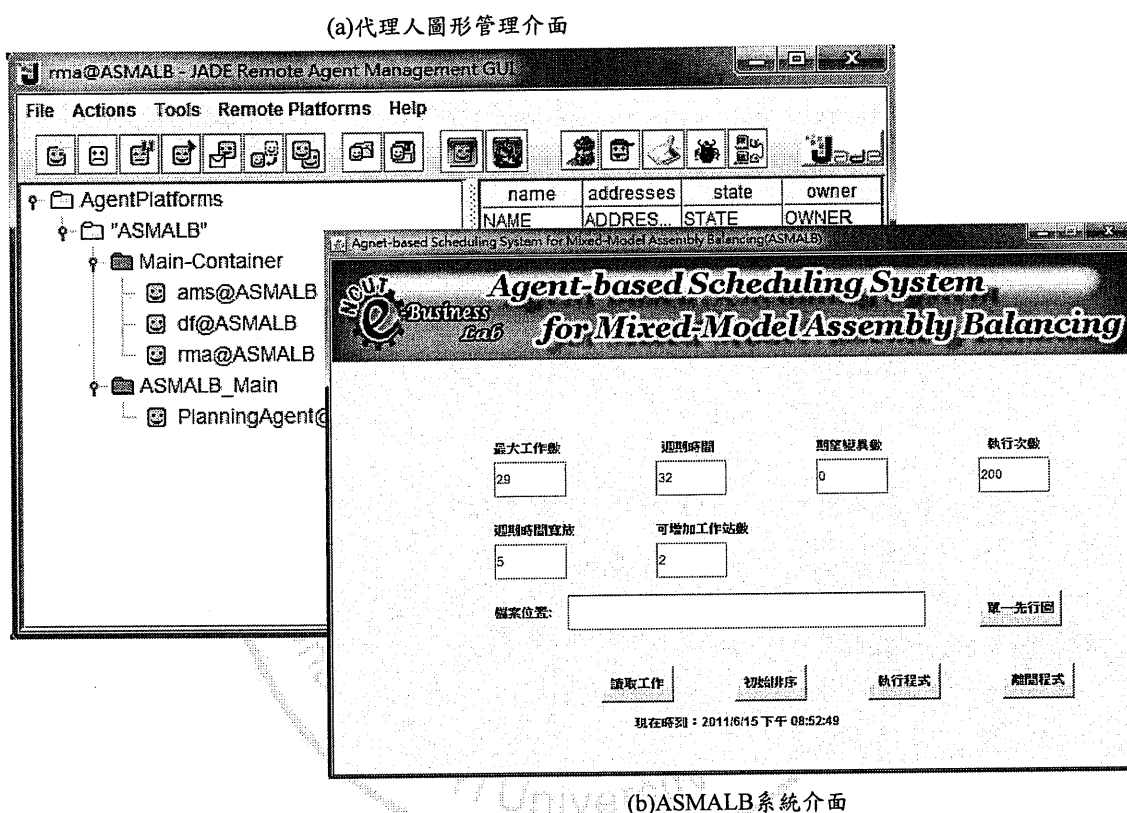


圖 19 ASMALB 系統啟動介面

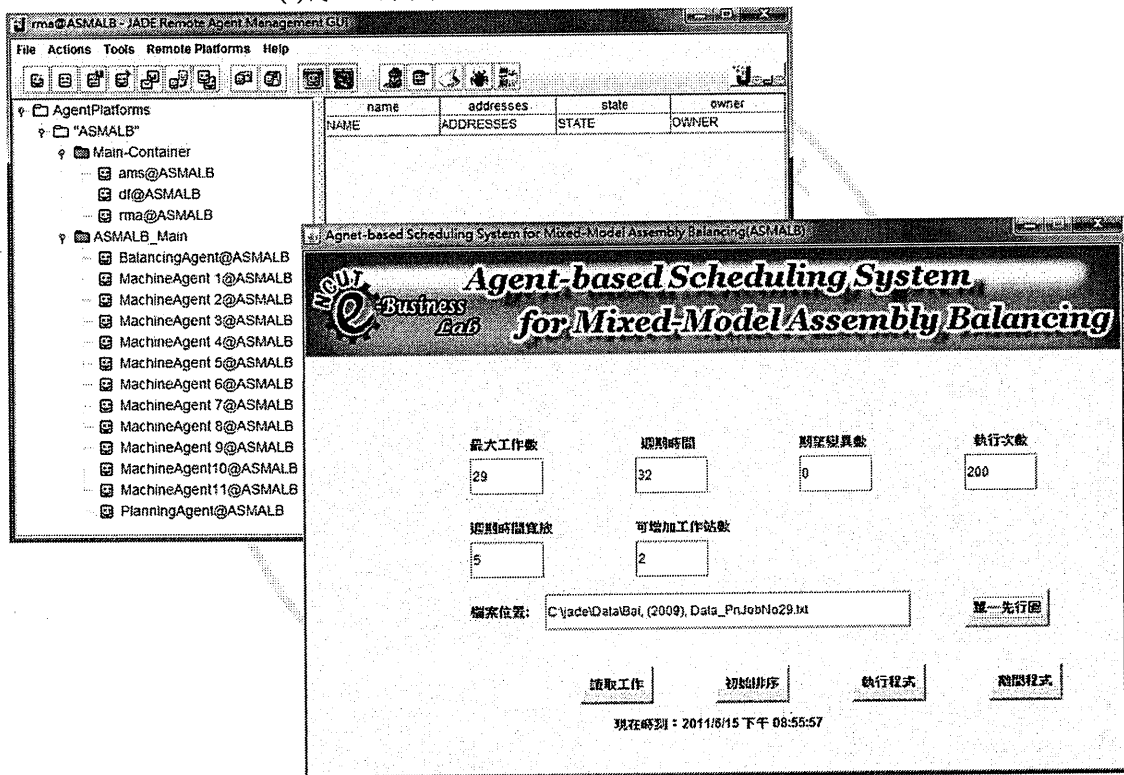
圖 19(a)為代理人圖形管理介面，當系統一啟動時，會先建立 Main-Container 主容器，裡面包含執行代理人平台所需之代理人管理系統(AMS)和目錄系統 (DF)，而 ASMALB_Main 容器，裡面包含資訊代理人(PlanningAgent)，以便接收工作資訊與進行初始排序。

圖 19(b)為系統介面，可輸入問題之週期時間、最大工作數、期望系統變異數與寬放週期時間值、執行次數和可增加工作站數等，而單一先行圖按鈕可以將已

合併先行關係之問題直接開始進行裝配線平衡，若尚未合併可透過讀取工作按鈕，將不同產品給予合併後，透過初始排序按鈕進行初始解，再透過執行程式按鈕進行裝配線平衡作業。

當系統讀取到工作資訊，系統介面便會顯示目前工作資訊檔案的位置，資訊代理人也開始進行初始排序建立交換代理人與機器代理人，代理人圖形管理介面中也可以看出已被建立的代理人，如圖 20 所示。

(a)代理人圖形管理介面



(b)ASMALB系統介面

圖 20 ASMALB 系統初始排序

代理人圖形管理介面也提供了代理人監控系統，可以得知目前代理人之間其訊息溝通情況，每一條橫向箭頭即為一個訊息傳遞，由發送者指向接收者，如圖 21 所示，而最後之裝配線平衡結果如圖 22 所示，過程中會顯示每一次協商後之裝配線變異數，結束後會將各工作站之工作指派及處理時間列出。

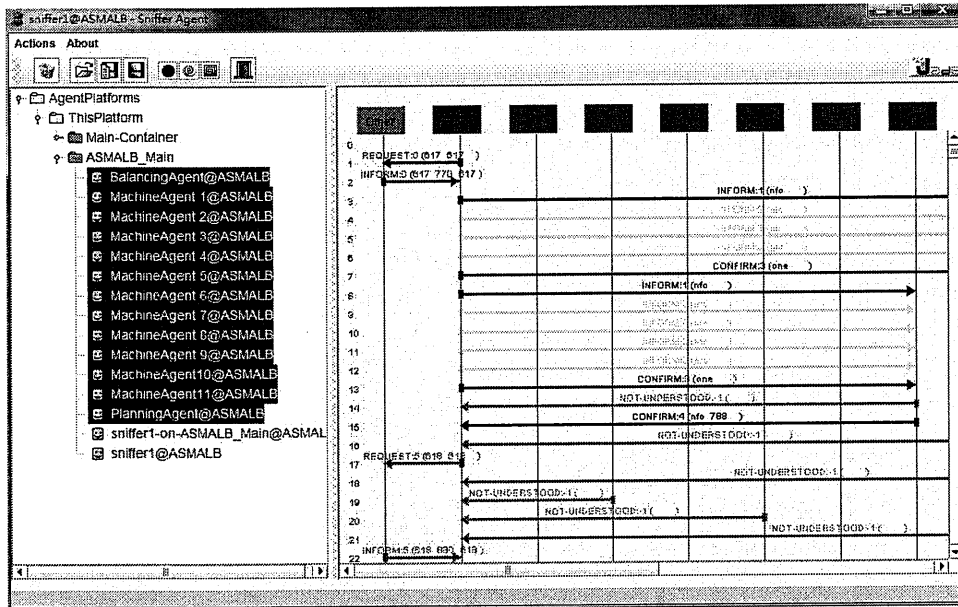


圖 21 代理人溝通監控圖

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
No.03_Job22 PT = 9.00 U = 75.00
-----
CT: 27.00

Station 9:
No.01_Job23 PT = 25.00 U = 66.00
No.02_Job28 PT = 7.00 U = 27.00
-----
CT: 32.00

Station 10:
No.01_Job24 PT = 14.00 U = 34.00
No.02_Job25 PT = 14.00 U = 34.00
-----
CT: 28.00

Station 11:
No.01_Job27 PT = 10.00 U = 30.00
No.02_Job29 PT = 20.00 U = 20.00
-----
CT: 30.00

MachineAgent 1, PT is 29.00
MachineAgent 2, PT is 29.00
MachineAgent 3, PT is 28.00
MachineAgent 4, PT is 30.00
MachineAgent 5, PT is 30.00
MachineAgent 6, PT is 31.00
MachineAgent 7, PT is 30.00
MachineAgent 8, PT is 27.00
MachineAgent 9, PT is 32.00
MachineAgent 10, PT is 28.00
MachineAgent 11, PT is 30.00
The line's Var is 1.88
Exchanging_Done!

```

圖 22 ASMALB 系統執行結果

4.2 問題案例一

在問題一中先使用問題規模較小的 Gökçen 問題(Gökçen, 1998)來進行績效分析，此問題中包含兩項產品，最大工作數為 11，其工作資訊及先行關係如圖 23 所示。

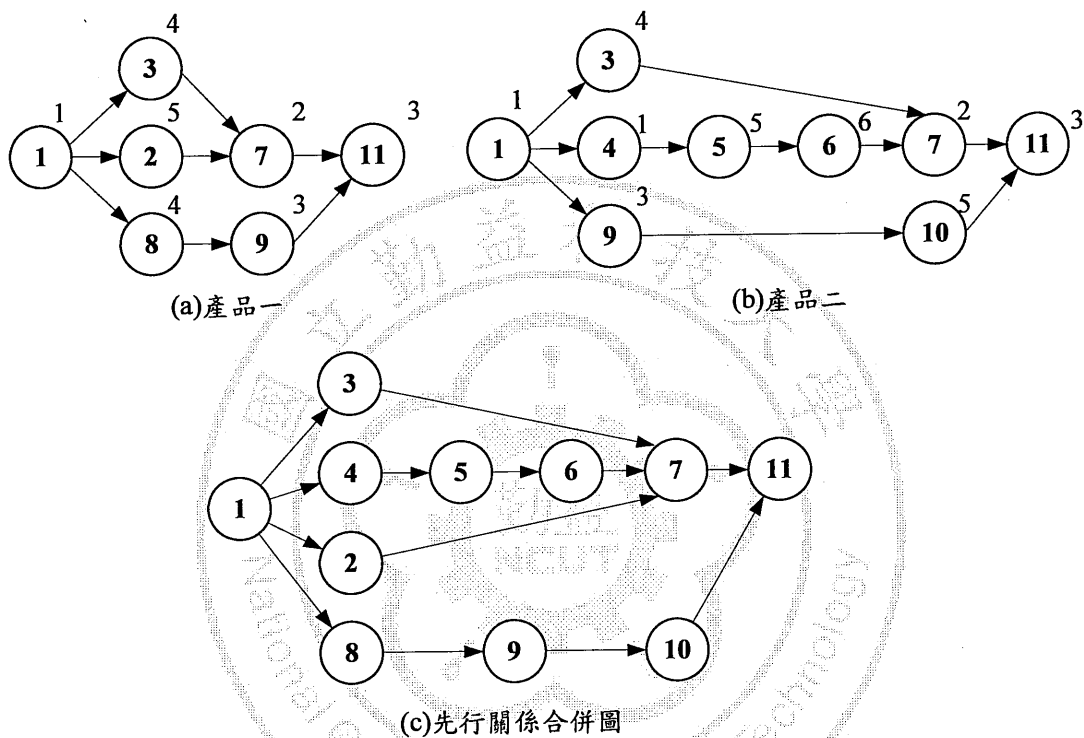


圖 23 Gökçen 問題先行關係圖

Gökçen 使用二元整數規劃來進行此問題的求解，其結果與本研究之 ASMALB 方法之結果如表 4 所示，可以看到在變異數或閒置時間比率方面，本研究之方法皆有較佳之效果。

表 4 Gökcen 問題績效比較表

工作站	Gökcen 演算法		ABH 演算法	
	工作	處理時間	工作	處理時間
1	1	2	1	2
	4	1	4	1
	5	5	5	5
	8	4	6	6
	9	6	8	4
工作站處理時間		18	18	
2	3	8	3	8
	6	6	2	5
			7	4
工作站處理時間		14	17	
3	2	5	9	6
	7	4	10	5
	10	5	11	6
	11	6		
工作站處理時間		20	17	
V		6.22		0.22
$I\%$		13.33%		3.33%

4.3 問題案例二

案例二以 Thomopoulos 問題(Thomopoulos, 1967)來與本系統進行裝配線平衡績效分析。在 Thomopoulos 問題中產品數為 3，包含了 19 個工作，先行關係圖如圖 24 所示，並假設機器數為 3，各產品需求量分別為 120、60 和 40，即 $d_1=120$ 、 $d_2=60$ 、 $d_3=40$ ，其於工作資訊如表 5，其中 $t_{nj}=0.0$ 表示產品 n 沒有處理工作 j 的需求。

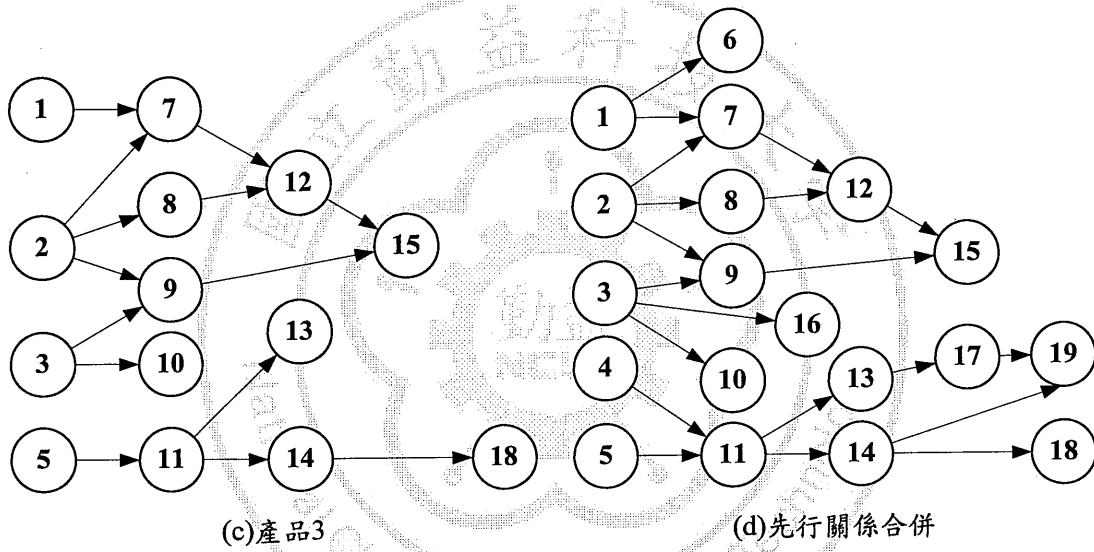
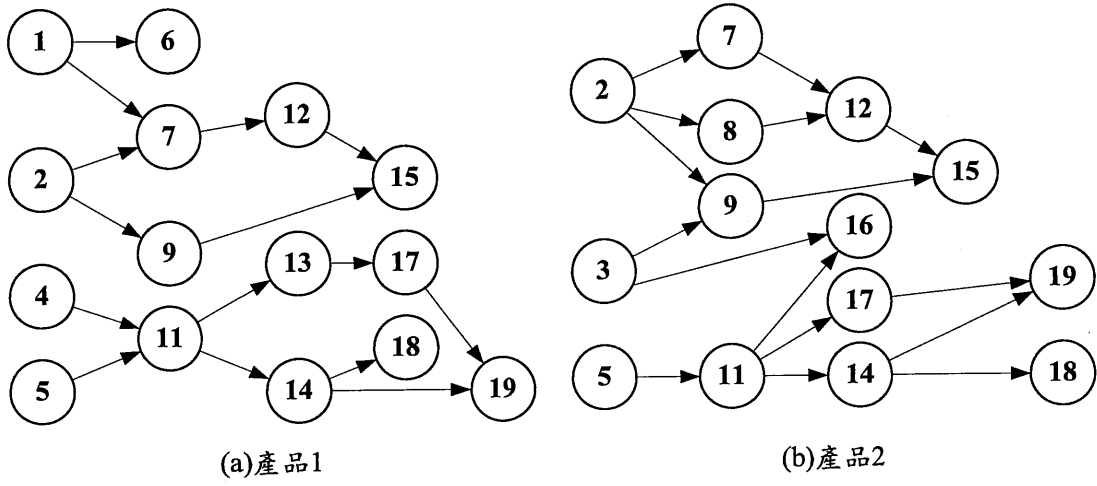


圖 24 Thomopoulos 問題先行關係圖

表 5 Thomopoulos 問題各產品工作資訊

工作 j	產品 n 先行作業			產品 n 在工作 j 的作業時間(t_{nj})			\hat{P}_j
	$n=1$	$n=2$	$n=3$	t_{1j}	t_{2j}	t_{3j}	
1	-	-	-	0.5	0.0	1.0	100
2	-	-	-	0.4	0.8	1.2	144
3	-	-	-	1.0	0.2	0.4	28
4	-	-	-	0.4	0.0	0.0	48
5	-	-	-	0.2	0.2	0.2	44
6	1	-	-	0.2	0.0	0.0	24
7	1, 2	1	1, 2	0.4	0.5	0.6	102
8	-	2	2	0.0	0.5	0.5	50
9	2	2, 3	2, 3	0.4	0.3	0.2	74
10	-	-	-	0.0	0.0	0.2	8
11	4, 5	5	5	0.3	0.3	0.3	66
12	7	7, 8	7, 8	0.1	0.3	0.5	50
13	11	-	11	0.1	0.0	0.1	16
14	11	11	11	0.2	0.2	0.2	44
15	9, 12	9, 12	9, 12	0.4	1.0	1.5	204
16	-	3	-	0.0	0.1	0.0	6
17	13	11	-	0.5	0.5	0.0	90
18	14	14	14	0.3	0.5	0.3	78
19	14, 17	14, 17	-	0.4	0.3	0.0	66

為表示 ASMALB 系統執行效果優於與其他一般演算法，本研究與應用此案例的其他三種演算法進行績效比較，其說明如下：

1. TH 演算法：Thomopoulos 於 1968 所提出的演算法，讓工作站週期時間有上下界範圍，在其範圍內進行各作業的指派組合，找出最接近週期時間的指派組合。
2. TH'演算法：Thomopoulos 於 1970 年所提出的演算法，透過修正程序進行個別產品作業微調。

3. ANT 演算法：張則強等於 2009 年提出的蟻群演算法，透過模擬螞蟻行走的路徑的搜尋機制進行裝配線問題求解。

上述三種方法與本研究之 ASMALB 方法結果比較如表 6 所示，表中顯示了不同裝配線平衡方法指派結果，再使用公式(1)計算出所有機器之變異數；公式(2)計算出所有機器之閒置時間百分比，根據此兩項衡量指標進行績效評估，各方法衡量指標整理如表 7。

表 6 Thomopoulos 問題四種演算法之結果比較

工作站	TH 演算法		TH' 演算法		ANT 演算法		ASMALB	
	工作	處理時間	工作	處理時間	工作	處理時間	工作	處理時間
1	1	100	2	144	1	100	3	28
	2	144	4	48	3	28	2	144
	3	28	5	44	4	48	8	50
	4	48	8	50	5	44	1	100
	5	44	11	66	10	8	4	48
	8	50	13	16	11	66	5	44
	-	-	14	44	14	44	-	-
	-	-	-	-	18	78	-	-
工作站 處理時間 O_1	414		412		416		414	
2	6	24	1	100	2	144	6	24
	7	102	3	28	6	24	11	66
	9	74	7	102	7	102	16	6
	10	8	10	8	8	50	14	44
	11	66	16	6	9	74	13	16
	13	16	17	90	13	16	17	90
	14	44	18	78	16	6	19	66
	18	78	-	-	-	-	7	102
工作站 2 處理時間 O_2	412		412		416		414	
3	12	50	6	24	12	50	9	74
	15	204	9	74	15	204	12	50
	16	6	12	50	17	90	18	78
	17	90	15	204	19	66	10	8
	19	66	19	66	-	-	15	204
工作站 3 處理時間 O_3	416		418		410		414	

表 7 Thomopoulos 問題績效比較表

	TH 演算法	TH'演算法	ANT 演算法	ASMALB
V	2.7	8	8	0
I	0.5%	1.0%	0.5%	0.0%

由表 7 可得知，在所有機器之變異數(V)指標上，TNT、TNT'和ANT方法所計算出之結果分別為 2.7、8 和 8，而本研究所提出之 ASMALB 方法為 0。另一項指標閒置時間比率(I)，TH、TH'與ANT演算法計算出之結果分別為 0.5%、1.0%和 0.5%，而本研究所提出之 ABH 演算法為 0.0%，表示此生產線完全平衡，故在機器之變異數和閒置時間比率上，皆比 TH、TH'與ANT演算法優異。

4.4 問題案例三

在 Thomopoulos 問題中，工作站數為 3，工作數為 19，其複雜度較低問題規模較小的問題類型，為說明機器數增加或工作數增加時本系統也可有較佳之裝配線平衡效果，因此進行案例三的績效評估。案例三中以 Buxey 問題(Buxey, 1974)為例，其包含了 29 個工作，並給定不同之系統週期時間，進行裝配線平衡，比起案例二，工作站數和工作數都大為提升，問題也複雜許多，先行關係圖如圖 25 所示，其他工作資訊如表 8 所示。

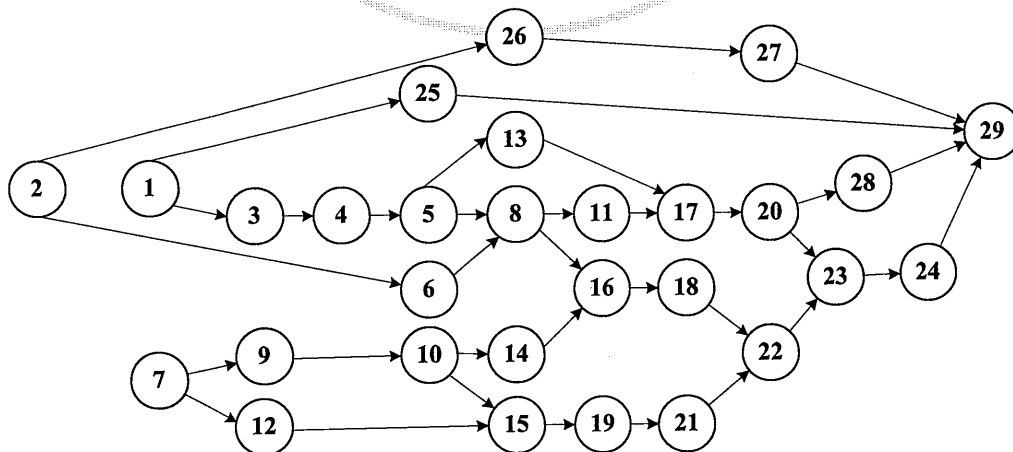


圖 25 Buxey 問題先行關係圖

表 8 Buxey 問題工作資訊

工作	先行作業	工作 j 的作業時間
1	0	7
2	0	19
3	1	15
4	3	5
5	4	12
6	2	10
7	0	8
8	5, 6	16
9	7	2
10	9	6
11	8	21
12	7	10
13	5	9
14	10	4
15	10, 12	14
16	8, 14	7
17	11, 13	14
18	16	17
19	15	10
20	17	16
21	19	1
22	18, 21	9
23	20, 22	25
24	23	14
25	1	14
26	2	2
27	26	10
28	23	7
29	24, 25, 27, 28	20

本問題中，與將同樣應用此案例的 Bai (2009)進行績效評估，其應用混合式基因演算法結合模擬退火法進行裝配線平衡作業，在不同之週期時間分別為 32、28、27 和 25 下，求最小之工作站數，標準差在不同週期時間下皆優於 Buxey (1974)的原始標準差，本研究將與 Bai (2009)之結果進行比較，其績效比較結果如表 9 所示。

表 9 Buxey 問題績效比較表

週期 時間	工作 站數	Bai 演算法				ASMALB			
		<i>V</i>	<i>I</i> (%)	各工作站處理時間		<i>V</i>	<i>I</i> (%)	各工作站處理時間	
32	11	1.34	7.95	29, 28, 29, 30, 29, 31, 32, 28, 29, 30, 29		1.16	7.95	30, 29, 29, 29, 30, 28, 30, 29, 32, 28, 30	
28	12	0.83	3.57	28, 27, 28, 27, 27, 28, 26, 26, 28, 27, 27, 25		0.83	3.57	27, 27, 28, 28, 27, 26, 28, 27, 26, 25, 28, 27	
27	13	2.07	7.69	26, 25, 22, 26, 27, 24, 25, 24, 23, 26, 25, 24, 27		0.99	7.69	26, 25, 24, 23, 25, 24, 25, 26, 25, 25, 25, 24, 27	
25	14	2.41	7.43	23, 24, 23, 21, 22, 23, 25, 22, 20, 25, 24, 25, 25, 22		2.12	7.43	22, 24, 22, 24, 22, 24, 23, 24, 24, 25, 24, 25, 21, 20	

由表 9 說明了 Bai 演算法與本研究 ASMALB 系統裝配線平衡後各工作站處理時間，再使用公式(1)計算出所有機器之變異數；公式(2)計算出所有機器之閒置時間百分比，根據此兩項衡量指標進行績效評估。由表中可以看出，兩種方法之閒置時間比率(*I*)指標上，不分上下。但在機器之變異數(*V*)指標上，本研究所提出之 ASMALB 方法，在週期時間為 32，27 和 25 下所得之變異數分別為 1.16、0.99 和 2.12，其結果都優於 Bai 演算法的 1.34、2.07 和 2.41。

由問題案例一與案例二可以得知，在不同機器數與工作數下，本研究之 ASMALB 裝配線平衡系統，在閒置時間比率(*I*)與機器之變異數(*V*)兩項指標上，皆可得到不錯之效果。

第五章 結論與未來研究方向

5.1 結論

代理人技術與排程排程跨領域結合之研究目前並不多，而本研究提出了以代理人為基之裝配線平衡系統(ASMALB)，來解決混合樣式裝配線平衡問題，並透過不同問題來測試本系統的可行性與績效分析。

本系統架構中包含了資訊代理人、交換代理人和機器代理人三種類型代理人，資訊代理人負責產生初始資料和使用位置權重法產生初始解；機器代理人表示裝配線上的每個工作站，透過代理人協商特性可以知道機器代理人間的工作資訊；交換代理人利用禁忌搜尋法中移步技術產生交換計劃，讓不同機器上的作業，進行重新排序，並在過程中的監控此交換計畫是否違反先行作業關係。利用代理人的社交能力和自主特性，可以簡單地建構起工作站之間的溝通管道，利於相鄰機器代理人之間交換和插入實行，並透過短期記憶禁忌名單來增加其移步效率，避免陷入循環移步。最後，透過兩個不同案例問題，來證明在裝配線所有機器之變異數和閒置時間比率兩項績效分析指標上，本研究提出之 ASMALB 系統架構績效都有不錯之效果。

本研究是用代理人技術，其各代理人皆為獨立存在，如各機器代理人皆為獨立存在，因此當某機器代理人發生異常，並不影響其他存在之機器代理人，只要將發生問題機器代理人工作重新協商指派即可，不需將程式重新輸入新的數據次執行，在問題環境複雜較高的情況下中，代理人可以更快速因應環境的變化，此為代理人技術優越之處。

5.2 未來研究方向

本研究之 ASMALB 系統績效結果顯示其對於裝配線線平衡是可行的，未來可進行裝配線現場的即時監控更深入研究。生產計劃人員將排程規劃完成後，會將生產計劃交至工作現場開始進行作業的處理，在生產過程中若發生異常狀況則交付現場人員進行處理，在工作現場執行作業中，可能會發生下面異常狀況：

1. 工作站機器臨時故障，而導致原本規劃在工作站上生產之作業必須轉至相鄰工作站機台上進行處理。如圖 26 所示，工作站 2 機器發生異常狀況須立即維修處理，此時工作站 2 等待處理之作業 2、4 和 6 就必須轉移至其他鄰近工作站進行處理，等待工作站 2 機台修復完畢後，再依照當時作業情況進行作業指派，此問題可透過平時機台定期保養來降低其發生率。

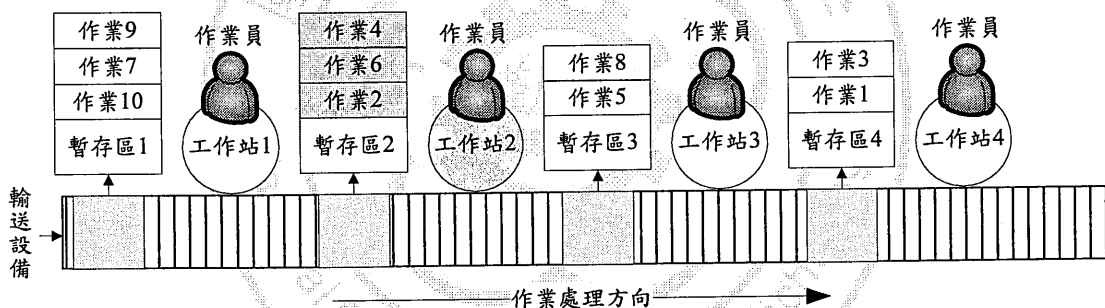


圖 26 工作現場發生機器異常

2. 因機器生產之可靠度或作業人員技術因素，導致工作站目前處理作業所需花費時間增加，發生作業瓶頸，導致後續作業無法進行，生產完工時間因此增加，此時，相鄰之工作站可給予幫忙，以降低整體生產作業時間提高生產效率。如圖 27 所示，工作站中發生作業瓶頸，其目前處理作業 2 與當初規劃時所需要的時間產生落差，可能因為機器或是作業人員的因素所導致的，其所作業處理所花費時間增加，導致工作站 1 已完成之產品作業停滯在暫存區等待處理，如此將會導致工作站 3 和 4 發生閒置狀況，此時工作站 2 就必須請求鄰近工作站進行幫忙。

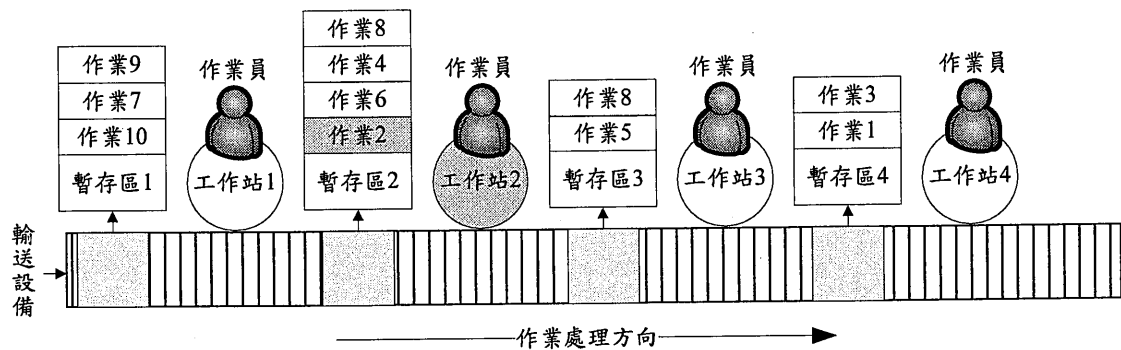


圖 27 工作現場發生作業瓶頸

其解決方法如圖 28 所示，工作站 2 之作業 2 轉移部份產量給工作站 3 協助處理，如此便可解決原本陷入瓶頸的工作站 2，讓完成作業 2 總處理時間降低，也讓整體裝配線完工時間降低。本研究將每一個暫存區設置一個代理人，暫存區內的某作業數量超出原先規劃處理作業過多時，即會發出異常訊息給相鄰之代理人請求協助幫忙，以分散異常工作站所導致的完工時間增加。

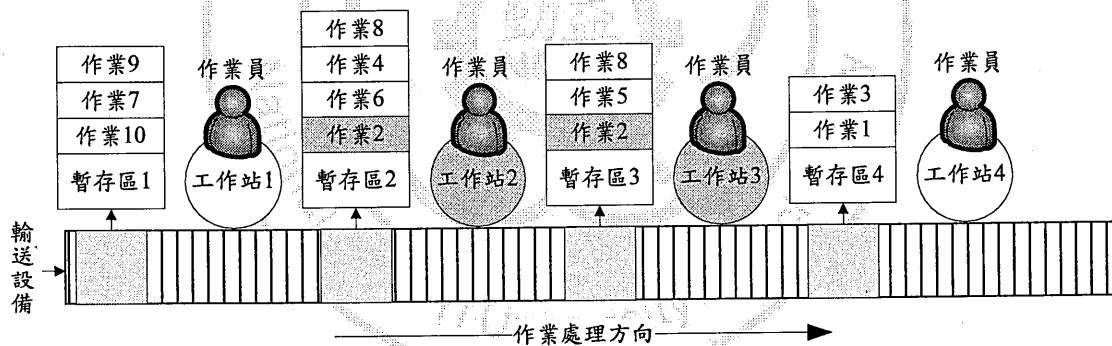


圖 28 工作現場作業瓶頸異常處理

舉例來說，圖 29 中為某裝配線生產資料，括號中數字表示各作業處理時間單位，各作業需求為 2，因此最大工作站處理時間為 $\max O_k = \{O_1=14, O_2=20, O_3=20\} = 20$ 。若作業 2 處理時間變成 20， $\max O_k = \{O_1=14, O_2=40, O_3=20\} = 40$ ，因此作業 2 即為瓶頸作業。

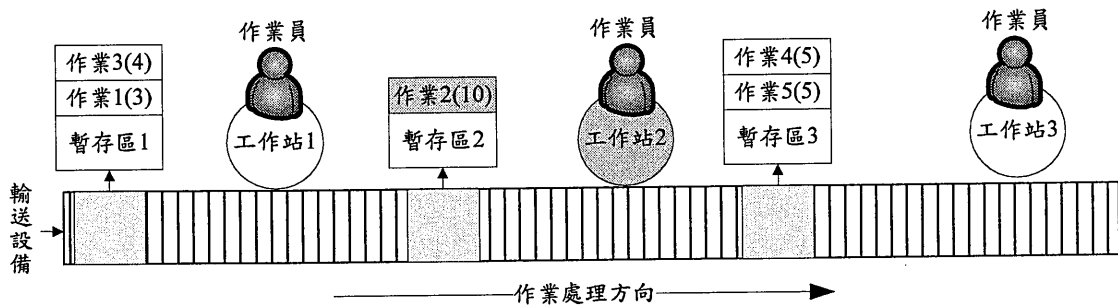


圖 29 瓶頸作業舉例示意圖

若將作業 2 部分產量轉移至鄰近機器處理，如圖 30 所示，請工作站 1 幫忙處理一單位的作業 2，如此 $\max O_k = \{O_1 = 24, O_2 = 20, O_3 = 20\} = 24$ ，讓原本工作站要花費 40 時間單位降低為 20。

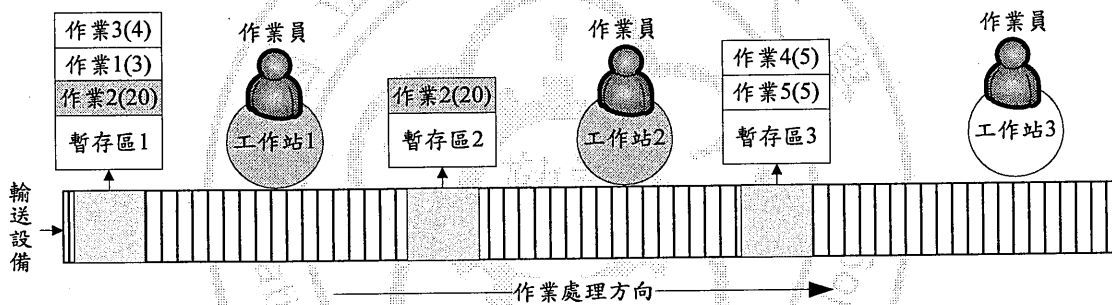


圖 30 瓶頸作業處理示意圖

上述之現場監控問題必須考量之問題甚多，例如，物料搬運問題、作業員協助作業行走距離等等，都必須再進一步的深入探討研究。

參考文獻

1. Babayana, A. and D. He, "Solving the n-job 3-stage flexible flowshop scheduling problem using an agent-based approach", *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No. 4, pp. 777-799, 2004.
2. Bai, Y., H. Zhao and L. Zhu, "Mixed-model assembly line balancing using the hybrid genetic algorithm", *Proceedings of 2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, Vol. 3, pp. 242-245, 2009.
3. Böhnlein, D, K. Schweiger and A. Tuma, "Multi-agent-based transport planning in the newspaper industry", *International Journal of Production Economics*, Vol. 131, No. 1, pp. 146-157, 2011.
4. Boysen, N., M. Flidner and A. Scholl, "Assembly line balancing: Which model to use when?", *International Journal of Production Economics*, Vol. 111, No.2, pp. 509-528, 2008.
5. Buxey, G. M., "Assembly line balancing with multiple stations", *Management Science*, Vol. 20, No. 6, pp. 1010-1021, 1974.
6. Caire, G., JADE tutorial: JADE programming for beginners usage restricted according to license agreement. Available at: <http://jade.tilab.com/doc/tutorials/JADEProgramming-Tutorial-for-beginners.pdf>. Cited Jan. 2011.
7. Chatzidimitriou, K. C., A. L Symeonidis., I. Kontogounisa and P. A. Mitkas, "Agent Mercator: A robust design for dealing with uncertainty and variation in SCM environments", *International Journal of Production Economics*, Vol. 35, No. 3, pp. 591-603, 2008.
8. FIPA, Available at: <http://www.fipa.org/>. Cited Jun. 2011.

9. Gen, M., R., Cheng and L., Lin, "Network models and optimization: Multi-objective genetic algorithm approach", Springer, Heidelberg, 2008.
10. Glover, F., "Artificial intelligence heuristic frameworks and tabu search", *Managerial and Decision Economics*, Vol. 11, No. 5, pp. 365-375, 1990.
11. Glover, F., "Tabu search part I", *ORSA Journal on Computing*, Vol. 1, No. 3, pp. 190-206, 1989.
12. Gökcen, H. and E. Erel, "Binary integer formulation for mixed-model assembly line balancing problem", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 34, No. 2, 1998.
13. Huang, C. J., A. J. C. Trappey and Y. H. Yao, "Developing an agent-based workflow management system for collaborative product design", *Journal of Chinese Institute of Industrial Engineer*, Vol. 20, No. 4, pp. 422-434, 2003.
14. Huang, C. J., L. M. Liao, P. A. Lin, "Multi-agent-based negotiation approach for scheduling jobs on parallel machines with ready times and machine preference", *2010 International Conference on Manufacturing Automation*, pp. 196-202, 2010.
15. Hwang, R. and H. Katayama, "Integrated procedure of balancing and sequencing for mixed-model assembly lines: a multi-objective evolutionary approach", *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 21, pp. 6417-6441, 2009.
16. JADE, Available at: <http://jade.tilab.com/>. Cited Jan. 2011.
17. Macaskill, J.L.C., "Production-line balances for mixed model lines", *Management Science*, Vol. 19, No. 4, pp. 423-434, 1972.

18. McMullen, P. R., "JIT sequencing for mixed-model assembly lines with setups using tabu search", *Production Planning & Control*, Vol. 9, No. 5, pp. 504-510, 1998.
19. Nikraz, M., G. Caire and P. A. Bahri, A methodology for the analysis and design of multi-agent systems using JADE. Available at: http://jade.tilab.com/doc/tutorials/JADE_methodology_website_version.pdf. Cited Jan. 2011.
20. Sun, Q., "Mixed-model assembly line balancing based on PSO-SA alternate algorithm", *Proceedings of 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, Vol. 2, pp. 687-690, 2010
21. Sun, X. and L. Sun, "Ant colony optimization algorithms for scheduling the mixed model assembly lines", *Advances in Natural Computation*, Vol. 3612, pp. 911-914, 2005
22. Symeonidis A. L., K. C. Chatzidimitriou, I. N. Athanasiadis and P. A. Mitkas, "Data mining for agent reasoning: A synergy for training intelligent agents", Vol. 20, No. 8, pp. 1097-1111, 2007.
23. Thomopoulos, N. T., "Line balancing—Sequencing for mixed-model assembly", *Management Science*, Vol. 14, No. 2, pp. B59-B75, 1967.
24. Thomopoulos, N. T., "Mixed model line balancing with smoothed station assignments", *Management Science*, Vol. 16, No. 9, pp. 593-603, 1970.
25. Thomopoulos, N. T., "Some analytical approaches to assembly line problems", *The Production Engineer*, Vol. 47, No. 7, pp. 345-351, 1968.

26. Wong, T. N., C. W. Leung, K. L. Mak and R. Y. K. Fung, "An agent-based negotiation approach to integrate process planning and scheduling", *International journal of production research*, Vol. 44, No. 7, pp. 1331-1351, 2006.
27. Xie, H., W. Shen, J. Neelamkavil and Q. Hao, "Simulation and optimization of mixed-model assembly lines using software agents", *Proceedings of the 2nd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production(CARV 2007)*, pp. 1-8, 2010.
28. Yokoyama, K., K. Morikawa and K. Takahashi, "A multi agent system for stochastic assembly line balancing", *Proceedings of the 8th Asia Pacific Industrial Engineering & Management System Conference*, pp. 251-260, 2007.
29. Yokoyama, K., K. Morikawa and K. Takahashi, "A multi-agent system for mixed-model assembly line balancing", *Proceedings of the 9th Asia Pacific Industrial Engineering & Management System Conference*, pp. 2597-2605, 2008.
30. Zante-de Fokkert, J. I. van and T. G. ,de Kok, "The mixed and multi model line balancing problem a comparison", *European Journal of Operational Research*, Vol. 100, No. 3, pp. 399-412, 1997.