

二階段排程法則運用於動態進出彈性製造系統

盧銘勳

逢甲大學工業工程與系統管理學系 副教授

mslu@fcu.edu.tw

嚴蘭貞，林啓文

逢甲大學工業工程與系統管理學系 碩士研究生

摘要

近年來，科技發展迅速以及全球化的競爭下，除了產品趨向多元化之外，其生命週期也大大地縮短，在這高度動態的環境下，使得製造業不得不邁向自動化之機器設備，且還要能因應顧客的需求加以變化。本研究針對彈性製造單元之動態的排程，探討因應動態的環境需求，來解決生產線上動態排程的問題。在研究中，採用物件導向裴氏圖模式，來架構一個階層式之彈性製造系統，其架構包含機器群組主電腦物件、機器電腦物件以及機器手臂電腦物件，以控制理論規劃系統的動態進出排程，績效評估指標為工作總製程時間，並建立 eM-Plant 的模擬系統，從資料庫中建立之工件加工檔，進行動態排程及模擬。因此，本研究的目的即是運用此控制理論之模擬模式，尋找出較適當的派工法則，再以啟發式的方法進而發展出更為此彈性製造系統適用的二階段排程演算法，使製造系統能應付動態以及多元化的市場需求。

關鍵字：彈性製造系統、裴氏圖、控制理論、模擬、啟發式

一、前言

彈性製造系統(Flexible Manufacturing System, FMS)是將自動化的技術融入到生產系統中，為高彈性的生產線，可生產多元化的產品，在反應時效上也較以往的生產業製造系統來得迅速及敏銳，因此能大幅縮短前置時間以及降低因市場變異而衍生出的成本。但因彈性製造系統內存有許多複雜的行為，故想要建立模型是非常不容易的，而裴氏圖為建立控制模型最好的工具之一。裴氏圖不但可以實質表現彈性製造系統模型，描述電腦系統內元件間的通訊行為，顯示系統內運作細節，並且可處理系統內各元件間平行及同步之操作，使模擬結構的邏輯透明化，讓使用者容易明瞭此彈性製造系統的作業程序。

但是，因為傳統的裴氏圖只能表示實體物件，對於管理層面的資訊管控上較少深入探討，所以很難能了解彈性製造系統中工件指派流程之資訊流部分。且因為無法完整分析彈性製造系統的內部行為模式，所以無法達到彈性的特質，也使得再發展較繁雜的彈性製造單元時會發生困難。1990年 Sibertin-Blane 提出應用物件導向程式(Object-Oriented Programming ; OOP)設計中物件及訊息傳遞觀點，發展出物件導向裴氏圖(Object-Oriented Petri Nets ; OPN)，來達到可重複使用、容易延伸發展以及可變性，並增加了裴氏圖模式的模組化、易於維護及重複使用等特性，除了描述系統時容易架構，更可以增加其擴充性，並且簡化了一般裴氏圖龐大且複雜的系統。

此外，由於現在的彈性製造系統缺乏系統整合的概念，只探討實體物件的流程，沒有考

慮內部資訊流與機器產能的限制，而使系統常常發生資源衝突，導致系統鎖死(Dead Locking)。本研究將彈性製造系統之製造單元工件容量設限，以防止製造單元內所有可用資源皆被工件佔滿的鎖死現象發生。因此，持續開立至製造單元之訂單中的各工件，只能一件接一件地被投入製造單元內加工，而所有工件將動態地進出製造單元，而形成有工件出，即有工件入的系統特性。也由於此一製造系統有別於一般批量生產的方式，所以製造單元內工件之排程方法，即因動態地進出而增加複雜度，傳統的靜態批量工件的排程方法，已無法再適用於此一型態之系統使用，因此，本研究將建立一套符合此動態進出彈性製造系統之排程演算法。

本研究首先運用物件導向的觀點建立一彈性製造單元之物件導向裴氏圖，接著以 eM-Plant 模擬軟體依照物件導向裴氏圖所表示的彈性製造系統之生產流程來建構生產系統之模擬平台，以進行所發展之排程演算法生產模擬。模擬工具將被用來實際模擬現場狀況，以儘早發現問題所在，並可藉由模擬得知生產模式的可行性，再將其應用到實際工廠的運作上，以清楚了解是否能處理動態訂單。在物件導向裴氏圖中，彈性製造單元之實體被以物件模型架構出來，如此一來，當系統實體元件因加工需求有所變動時，物件導向裴氏圖只需變動與其相對應之物件，而模擬系統亦只須改變此物件的相關設定即可。物件導向裴氏圖可以將彈性製造系統的生產流程，現場資源狀況表達出來，幫助彈性製造系統模擬模式的建立，且對於初步接觸此彈性製造系統的使用者，可以透過物件導向裴氏圖，清楚地瞭解系統的架

構與運作，所以物件導向裴氏圖在系統傳承與維護上亦有很大的幫助。

對於彈性製造系統而言，排程規劃是一相當複雜的問題，其複雜組合程度已屬 NP-hard 問題，而過去有關彈性製造系統排程方面的研究領域中，已有許多方法被探討，如數學規劃法(Mathematical Programming)、分支界限法(Branch and Bound Method)，且為了尋求最佳解(Optimal Solution)需要耗費大量時間及資源，但在動態環境的生產系統中並無法即時反應工廠需求來訂定排程。在考量動態彈性製造系統排程的適用性、即時性及經濟效益的因素下，本研究以控制理論概念發展出一套適合此製造系統的排程演算法。控制理論為在製造系統中，即時應用一些基本派工規則，如作業時間最短的工作先加工(Shortest Processing Time；SPT)、工件先到先服務(First Come First Serve；FCFS)，來決定現行的排程(Basnet and Mize 1994)。此排程演算法可在動態環境中賦予系統決策的執行，並利用物件導向的觀念結合 eM-Plant 軟體所建立的其模擬平台，進行動態排程及模擬。運用此模擬模式，探討此控制理論演算法成為近似最佳的排程演算法則之控制因子，發展出生產的決策模式，使製造系統能應付動態以及多元化的市場需求，使得決策者在面臨動態環境快速的變化下，能立即且適時適度的做出最佳的決策方案，達到較精確的交期及製程時間，有效掌控產品的製程進度，來提昇製程能力，快速反應顧客需求，以增加企業的競爭力。

二、文獻探討

2.1 彈性製造系統

彈性製造系統具有非常複雜的行為，內部可能包含許多獨立的個體，例如：加工機器(Machines)、機器手臂(Robot)、無人搬運車(Automated Guided Vehicle；AGV)、自動倉儲系統(Automated Storage/Retrieval System；AS/RS)等等(吳社邦 1982)。Buzacott (1995)建議最常用於改善生產率及品質的方法即為工廠自動化，這包含電腦整合製造(Computer Integrated Manufacturing；CIM)、機器人和彈性製造系統等技術。Ranky(1986)定義彈性製造系統為高階資料處理並使用電腦控制機器、組裝單元、工業用機器人、裝配機器以及其他自動化物件流的工具，來整合物件的加工以及儲存系統。

2.2 裴氏圖

裴氏圖(Petri Net)能以簡單且階層式的圖示方式來描述系統的動態和同步行為，適用於製造系統控制模型的建立。裴氏圖是由 Petri, C.A.西元 1962 年所提出的，其基本組成元素分別為一基態(Place)或稱為穩態狀態(Condition)，態變(Transition)或稱為、激發、轉移、事件(Event)，方向弧線(Directed Arc)和標誌(Tokens)。而裴氏圖模式包括基本裴氏圖、時間裴氏圖(Timed Petri Nets)、顏色裴氏圖(Colored Petri Nets)、隨機裴氏圖(Stochastic Petri Nets)，這些裴氏圖皆具有數學理論基礎、分析技術及描述同步行為的能力，過去有不少學者將裴氏圖應用於彈性製造系統上，如：Bruno and Marchetto(1986)、Cecil, Srihari, and

Emerson (1992)、Jafari(1992)、Proth(1992)、Santarek and Buseif(1998)、Venkatesh and Ilyas (1995)、Zhou and DiCesare (1989)和 Zhou, DiCesare and Rudolph(1992)等。

2.3 物件導向裴氏圖

由於先前所發展的裴氏圖，缺乏彈性，導致發展出較繁複之彈性製造系統會遭遇到困難，1990年 Sibertin-Blanc 提出物件導向裴氏圖的觀念，來達到可重複使用、容易延伸發展以及可變性。物件導向裴氏圖的特性乃利用一些基本的物件架構整個複雜的系統，其概念來自於物件導向程式中物件及訊息傳遞的觀點，在描述系統時除了容易架構之外更可以增加其擴充性(Garg 1985)。物件導向裴氏圖可以被用來建構彈性製造系統中的彈性製造單元之電腦控制架構(Ould-Kaddour and Courvoisier 1989)、(Booch 1994)、(Sahraoui and Ould-Kaddour 1992)、(Wang 1996)。2002年林籃琪針對彈性製造系統，利用物件導向裴氏圖的特性，來架構一個階層式彈性製造系統的裴氏圖模型，利用分支界限法(Branch and Bound Method)來發展演算法進而應用於彈性製造系統。

2.4 彈性製造系統的排程

在 Sotskov 和 Shakhlevich(1995)的研究中，對於零工式(Job Shop)、流線式(Flow Shop)及開放式(Open Shop)生產系統，其中工作站皆為三個，以總製程時間(Makespan)和平均流程時間(Mean Flow Time)為績效指標，作者證明此三種系統的排程皆為 NP-Hard 的問題。而動態進出製造系統之複雜程度更勝過於這些生產

系統，使得過去文獻所採用之一般排程方法，都無法被使用來對此種最常見之動態彈性製造單元進行即時反應的排程。

1994年 Basnet 和 Mize 探討有關探討彈性製造系統領域方面的研究，依據方法之不同將其分成六類：數學規劃模式(Mathematical Programming)、多重目標決策(Multi-Decision)、啟發式方法(Heuristics)、控制理論(Control Theoretic)、模擬方式(Simulation Based)、人工智慧(Artificial Intelligence)。

以數學規劃的方式而言，對於此動態進出彈性製造系統，製造單元內的工件進行排程規劃將依照製造單元目前的資訊建構出數學規劃模式，求出製造現場的排程最佳解。但本研究所探討之生產系統有動態進出的特性，當有一工件完工離開製造單元而另一新工件進入製造單元時，則變動了原先製造單元內的排程資訊，此時變動前的解尚未達到，數學規劃模式卻必須重新建立再來求解，如此週而復始而無法得解。由於數學規劃法的求解過程非常耗時，在動態生產環境工件不斷進出系統而排程必須不斷重新規劃的情形下，無法有效率地應用在此動態進出彈性製造系統中。

另外，啟發式的排程方式，最常使用為分支界限法(Branch and Bound)、集束搜尋法(Beam Search)。Zhou 等(1995)利用分支界限演算法來獲得一個可行路徑進而得到最優排程。啟發式排程法是依其系統所產生的可達樹配合下限來搜尋解答，可達樹越大，其列表就成級數增加。但以一大系統而言，所需搜尋時間往往達數小時之久，顯得較無效率。若應用在動態進出彈性製造系統，可達樹將遠比靜態批量

系統更加龐大(因有動態變化,可達樹之分支更成級數增加)。且一般的啟發式解法,通常會依據某一決定優先權的派工法則來規劃排程,但是單一個法則無法適用於各種環境,且在進行排程時並沒有考量當下製造現場中會影響排程結果的相關資訊,所以無法掌握排程的績效品質。而對於本研究之製造系統,也如同數學規劃方式所面臨到的問題,當製造單元內有工件進出時系統中工件不斷的動態變化,需再重新排程,耗費時間及電腦資源,因此這種排程方式亦不適用於動態進出模式。至於其它搜尋法,如塔布搜尋法(Tabu Search)、基因演算法(Genetic Algorithm)、模擬退火法(Simulated Annealing Algorithm)...等,也是面臨上述相同之問題。

多目標決策為一種以多方面考量生產績效的決策方法,解決生產率、品質、成本等在製造環境中所發生的決策衝突,但所需排程時間比數學規劃法來得費時,所以並不適用在此動態彈性製造系統。

控制理論方式為應用一些基本派工規則於製造系統中,如 SPT、FCFS 等,判定工作中心之製令等候區(Queue)所要執行之工作,為以工作中心為主的排程方式,可彈性應用即時控制現場,過去運用此法的文獻有:白明憲(1984)、林我聰(1984)、秦劍雲(1989)、資訊工業策進會(1994)、Dar-EI and Richard (1993)、Conway(1965)。但此法採用之派工規則所訂立之排程不能保證為最佳解。

而模擬方法為用來評估不同法則之比較,需先架構其所採用之排程法則與製造環境,模擬求出其績效值,如製程時間、機台使用率等,

可進行修改排程法則及調整製造環境來得到較好的生產績效。

除了這些方法之外,有些研究則採取混合的方式。雖然以分支界限法似乎可以求得績效較好的解,但是所需之搜尋時間卻很漫長,而一般所採取的混合方式,通常是結合了啟發式的方法和模擬的方式去進行(Chen and Jeng 1992),或是結合了控制理論及模擬方式去進行(Jeong and Kim 1998)。而本研究將先採用結合控制理論及模擬的排程方式,來探討此動態彈性進出製造系統之排程問題,然後再發展一套結合啟發式演算法、控制理論及模擬之二階段排程演算法來提升排程績效。

三、研究方法

3.1 動態進出彈性製造單元

本研究所提出之建構流程,主要觀念來自於物件是由彈性製造單元中的實體設備經過直接對應(Direct Mapping)而產生,因此利用物件的特性來描述彈性製造單元的流程,能以更接近真實環境的方式來描述其行為(如圖 1)。

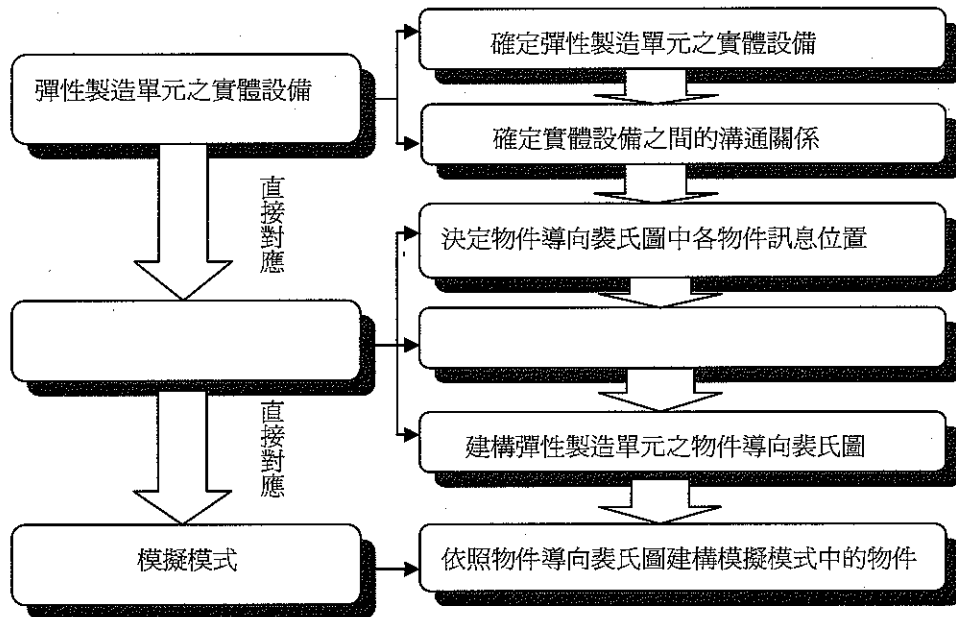


圖 1: 彈性製造單元之建構流程圖

本研究的彈性製造單元，工件為 Job Shop 的生產方式，利用機器手臂來運送工件，而為了避免工件在彈性製造單元內的加工機台或機器手臂上發生鎖死現象，將會在彈性製造單元內設置在製品暫存區，並配合工件進出此製造單元，設置輸入暫存區和輸出暫存區。此系統主要是要利用物件導向裴氏圖來建構彈性製造單元的分析模式，所以其基本架構分為六種主要物件，分別為一機器設備物件、輸入暫存區物件、輸出暫存區物件、在製品暫存區物件、機器手臂物件以及虛擬機器群組物件(Pseudo System)。為了防止系統產生鎖死現象，設置在製品暫存區。在製品暫存區的功能在於一若工件在機台加工完，而下一個作業的加工機台被其他工件佔據，此時則需將無法馬上繼續加工的工件搬到在製品暫存區，等待下一個作業的加工機台有空再繼續加工。由於在製品暫存區

的容量有限，若此時在製品暫存區容量已飽和，無法再讓需要到在製品暫存區的工件進入，工件停留在原機台上，其他工件也無法使用此機台，則產生鎖死狀態。因此，本研究除了設置在製品暫存區，亦設置製造單元的允許進入之容量限制，當製造單元工件允許進入容量已飽和之後，若有工件到達系統必須在輸入暫存區等待，要等待有工件完工離開製造單元，下一工件才可進入。例如：限制製造單元容量為 5 件，且已達飽和，當製造單元中有一個工件加工完後離開系統，製造單元內工件成為 4 件，則下一個工件才能允許進入製造單元。

工件動態進入系統，首先必須檢查輸入暫存區是否有容量，才能進入輸入暫存區來等待加工機台，而當工件等待到第一個作業的加工機台有空時，由於機器手臂只有一具，而同時可能有許多工件等著需要搬運，必須經由排程

法則判斷出機器手臂要搬運哪一個工件，若當下排程法則判斷出機器手臂要搬運的工件為由輸入暫存區進入加工機台的工件，這時此工件才能算是進入到製造單元，而佔據製造單元容量、加工機台、機器手臂等資源。由於工件佔有搬運及加工資源是在於排程法則的判斷，所以工件到達輸入暫存區，不可馬上佔有資源，而裴氏圖難以表示排程法則的判斷過程，此為在設計裴氏圖容易犯錯之處。因此，本研究將裴氏圖無法表達的排程法則，以 SimTalk 程式撰寫在 eM-Plant 模擬模式物件相對應之 Method 中。

3.2 建立彈性製造的控制理論排程法則

在 Job Shop 製造系統中，工件加工必會發生資源衝突的情形，所以必須有解決衝突且不浪費製程時間的排程法則。本研究將結合控制理論與模擬方式來架構一動態彈性製造系統之排程模式，綜合了控制理論的即時排程和模擬方式可檢驗並修正排程法則之優點，將在控制理論中建立多種派工法則來進行模擬，找出在控制理論中最適合此系統之派工法則。

本研究以控制理論所採用之一般排程中最常使用的六種派工法則，分別為作業時間最短的工作先加工 (Shortest Processing Time ; SPT)、工件先到先服務 (First Come First Serve ; FCFS)、剩餘作業時間最短的工作先加工 (Shortest Remaining Processing Time ; SRPT)、剩餘作業時間最長的工作先加工 (Longest Remaining Processing Time ; LRPT)、剩餘作業數最少的工作先加工 (Fewest Operations

Remaining of each Part ; FORP)和剩餘作業數最多的工作先加工 (Largest Operations Remaining of each Part ; LORP)等。本系統之限制資源為機器手臂，當工件發出搬運需求，且搬運目的地有容量可被放置(如：下一加工機台為閒置，製造單元、在製品暫存區有剩餘容量等)，由控制理論方式運用其派工法則來判斷機器手臂要搬運哪一個工件。其排程法則所使用的變數如下列所示：

Job_i : 進入系統加工之工件 $i, i=1, \dots, n$ 。

O_{ij} : 工件 i 第 j 作業的加工時間, $j=1, \dots, m$ 。

D_i : 工件 i 到達時間

C_i : 工件 i 完工時間

F_i : 工件 i 完成作業數

T_{ij} : 工件 i 完成第 j 作業的累積加工時間,
 $T_{ij} = T_{i(j-1)} + O_{ij}$ 。

R_i : 工件 i 剩餘作業加工時間，

$$R_i = \sum_{j=1}^m O_{ij} - T_{ij}。$$

Job_t : 發出搬運需求之工件, $Job_t \in Job_i, t \in i$ 。

Job_w : 發出搬運需求且允許搬運之工件 $w, Job_w \in Job_t, w \in t$ 。

製造單元內，工件所在位置表示符號如下所示：

M_k : 加工機台, $k=1, \dots, m$ 。

M_a : M_k 其中一加工機台 $a, M_a \in M_k$

M_b : M_k 其中一加工機台 $b, M_b \in M_k$

IN : 輸入暫存區

OUT : 輸出暫存區

WIP : 在製品暫存區

當有工件發出搬運需求時，進入以下排程

步驟。

Step1: 檢查 Job_i 之搬運目的地是否允許工件放置。

- (1) 若 Job_i 搬運途徑從 IN 到 M_k ，先檢查製造單元是否有剩餘可進入容量，再檢查其欲運往之機台 M_k 是否為閒置。
- (2) 若 Job_i 搬運途徑從 M_a 到 $M_b (M_a \neq M_b, \text{且 } M_a, M_b \in M_k)$ ，檢查 M_b 是否為閒置。
- (3) 若 Job_i 搬運途徑從 WIP 到 M_k ，檢查其欲運往之機台 M_k 是否為閒置。
- (4) 若 Job_i 搬運途徑從 M_k 到 WIP，工件搬運目的地為在製品暫存區，檢查在製品暫存區是否有剩餘容量。

若以上任一狀況為肯定，則 Job_i 轉為 Job_w ，進入 Step2；否則停止所有步驟。

Step2: Job_w 不論搬運路徑為何，皆依指定的派工法則選擇機器手臂將服務之工件。

- (1) 派工法則為 SPT，工件 w 中下一作業時間為 $\min\{O_{w(i+1)} | w \in i\}$ 之工件為機器手臂將服務的工件。
- (2) 派工法則為 FCFS，工件 w 中到達時間為 $\min\{D_w | w \in i\}$ 之工件為機器手臂將服務的工件。
- (3) 派工法則為 SRPT，工件 w 中剩餘作業時間為 $\min\{R_w | w \in i\}$ 之工件為機器手臂將服務的工件。
- (4) 派工法則為 LRPT，工件 w 中剩餘作業時間為 $\max\{R_w | w \in i\}$ 之工件為機器手臂將服務的工件。
- (5) 派工法則為 FORP，工件 w 中以加工作業數為 $\max\{F_w | w \in i\}$ 之工件為機器手臂將服務的工件。
- (6) 派工法則為 LORP，工件 w 中以加工作業數為 $\min\{F_w | w \in i\}$ 之工件為機器手臂將服務的工件。

Step3: 機器手臂服務完所選擇之工件後，回到 Step1。

以下將針對彈性製造的控制理論演算法，以一選擇 LRPT 之派工法則之範例做說明，在 Job Shop 製造系統中，如圖 2 所示，Job1 在 M2 加工完畢，等待機器手臂服務送至 WIP Buffer，Job2 在 M3 加工完畢，等待機器手臂服務送至 WIP Buffer，Job3 及 Job4 則在 WIP Buffer 等待機器手臂服務送至 M1，其中各工件剩餘加工時間分別為 Job1=17 min、Job2=10 min、Job3=20 min、Job4=15 min，此時依控制理論演算法及 LRPT 之派工法則，則選定 Job3 為被服務之工件。

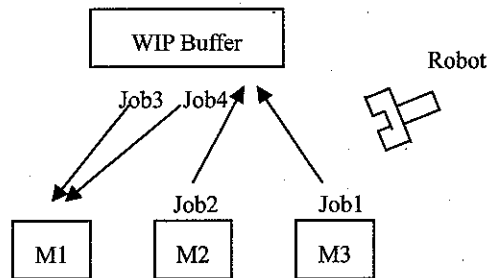


圖 2 Job Shop 製造系統示意圖-使用控制理論演算法

3.3 建構彈性製造單元之物件導向裴氏圖

以物件導向裴氏圖建立彈性製造單元之系統模型，主要觀點取自於物件是由彈性製造單元中的實體設備經過直接對應(Direct Mapping)而產生，利用物件的特性來描述彈性製造單元之作業程序，得以更接近真實環境的方式來描述其行為。依照本研究之彈性製造單元基本架構，將實體系統內的每一部控制電腦視為一個物件，依物件導向的概念，將實體對照於物件導向裴氏圖中，建構物件導向裴氏圖以表示彈性製造單元之工件詳細作業流程。在物件導向裴氏圖之物件分為：虛擬系統物件(Pseudo

System)、暫存區(包括輸入、輸出、在製品暫存區)物件(In Buffer、Out Buffer、WIP Buffer)、機器設備物件(Machine)、機器手臂物件(Robot)、機器群組物件(Machine Cell)。對於物件導向裴氏圖模式中物件間訊息的傳遞，每個物件皆有接收與發送訊息的基態(Places)，位於物件右邊的狀態是屬於發送訊息，而左邊的狀態則為接收訊息。物件間訊息的流動情形為由位於物件左邊發送訊息的基態(Place)激發態變(Transition)，傳到其下一接收訊息位於物件右邊的基態(Place)，而達成傳遞訊息的任務。圖3的物件導向裴氏圖表示彈性製造單元所有物件之資訊流。

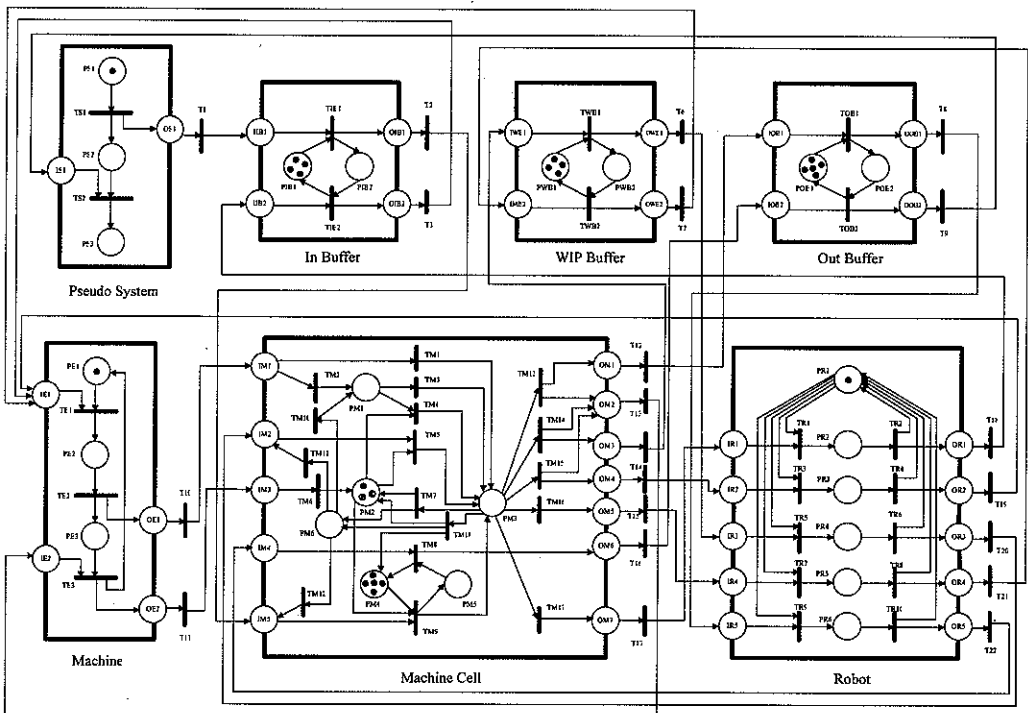


圖 3: 彈性製造單元之物件導向裴氏圖

以下說明物件導向裴氏圖所包含之各個物件：

(一) 虛擬系統物件(Pseudo System)

虛擬系統物件主要為代表彈性製造單元工件進出之過程，當有工件進入時將訊息傳送於其他相關物件(OS1)，即傳遞至輸入暫存區；最後當工件加工完畢時，由輸出暫存區將物件欲離開的訊息傳回虛擬系統物件(IS1)，並且完成離開彈性製造單元之步驟。

(二) 輸入暫存區(In Buffer)

輸入暫存區用於工件因加工機台無法使用，或允許進入彈性製造單元的工件數已滿而無法進入製造單元。輸入暫存區設有容量之限制，以基態 PIB1 與 PIB2 互為標示輸入暫存區資源使用情形，基態 PIB1 內的 Token 個數即為表示輸入暫存區仍可允許工件進入之數量，在圖 2 此輸入暫存區之容量設限為四件。

(三) 在製品暫存區(WIP Buffer)

在製品暫存區設有容量之限制，用於控管工件於彈性製造單元中，暫時無法繼續於下一機台加工之工件個數。當工件在於下一加工機台無法順利取得加工權，而工件移至在製品暫存區等待加工。

(四) 輸出暫存區(Out Buffer)

輸出暫存區設有容量之限制，用於控管物件可進入輸出暫存區的數目。當工件已於彈性製造單元中加工完成時，工件即移至輸出暫存區，等待無人搬運車將工件搬離此製造單元。

(五) 機器設備物件(Machine)

當機器設備接收到其他物件所傳遞之加工

訊息(IE1)，就會開始加工(TE1)，加工完成後將訊息傳遞至機器群組物件(T10)，以準備進行下一步驟之動作；並等待機器手臂將工件移走之訊息(IE2)，當接收到此訊息，將釋放機台訊息傳遞至機器群組物件(T11)，機器的狀態又回復到空閒狀態(PE1)。

(六) 機器手臂物件(Robot)

當彈性製造單元中的機器或暫存區內有工件需要機器手臂搬移時，則機器手臂物件會接收到由機器群組物件或工件目的地之暫存區所傳來的訊息(IR1~IR5)。機器手臂物件根據接收的訊息內容，執行所要求之搬運動作。機器手臂搬運動作分成五種：從輸入暫存區至加工機台(PR2)、從已加工機台至下一加工機台(PR3)、從已加工機台至在製品暫存區(PR4)、從在製品暫存區至下一加工機台(PR5)，以及從已加工機台至輸出暫存區(PR6)。

(七) 機器群組物件(Machine Cell)

機器群組為一虛擬物件，主要是與機器手臂、各暫存區以及機器設備互傳訊息。其主要功能為：控制製造單元內可允許進入之工件數量(PM4)、瞭解機器群組內機器設備的使用狀況(PM2)、判斷工件加工動作以及工件是否已完工要離開彈性製造單元等，依照製造單元內部資源狀況決定系統之下一步進行動作。當工件發生資源衝突(多個工件同時需要機器手臂資源)，而需要經排程來處理工作之優先順序，機器群組物件裴氏圖之基態 PM3 為解決機器手臂資源衝突問題。當工件產生搬運需求時，會傳遞訊息到 PM3，在 PM3 中將目前所有需要使用機器手臂之工件經過此系統所訂立的排程演算法進行排程，選出機器手臂將優先服務

的工件，為系統之下一步進行動作。

本研究之物件導向裴氏圖的架構，控管生產排程的機制為一獨立物件—機器群組物件 (Machine Cell)，而系統排程之判斷動作為進入基態 PM3 來進行處理，當彈性製造系統運用不同的排程法則，被影響的只有 PM3 內部之判斷動作，此一判斷動作會在模擬系統中進行處理，物件導向裴氏圖並不會因不同排程法則的變動而有所改變，此為物件導向裴氏圖具有方便系統排程調整的優點。

3.4 彈性製造單元之動態模擬系統製作

本研究利用 eM-Plant 6.0 模擬軟體建構彈性製造單元之模擬模式，eM-Plant 具有物件導向的特性和許多內建物件，可快速達成彈性製造單元的實體佈置。

3.4.1 對應至彈性製造單元的 eM-Plant 物件

虛擬系統物件主要功用是控制工件於彈性製造系統中的進出，故以 Source 與 Drain 來表示本一模擬系統中工件的產生與離開。Buffer 代表暫存區，屬性可用於設定暫存區可容納的數量。機器設備 SingleProc 一次處理一個工件，須設定處理時間，將可視為機器設備的代表物件。虛擬的機器群組用於控制彈性製造單元內部的資訊流，以 Frame 代表，而其控制方法以 Method 物件表示。機器手臂為固定設備，故以 SingleProc 來代表，屬性設定加工(搬運)時間。

3.4.2 建構彈性製造單元之模擬系統

決定了模擬系統所使用代表物件之後，本研究即將模擬系統分為三個模組：

(一)使用者介面(User_Interface)

使用者介面為使用者與本模擬系統溝通的唯一管道，負責系統初始值設定與系統執行之流程控制。

(二)彈性製造單元模擬畫面(FMC_mainFrame)

本模擬系統即運用 eM-Plant 中之 Frame 物件來代表機器群組，而物件裴氏圖中機器群組的各個穩態與態變則運用 eM-Plant 中之 Method 物件，以 SimTalk 程式的撰寫來達到控管彈性製造單元之目的。機器群組的各種態與態變於 Machine_Cell 中所擺設之位置亦與物件裴氏圖所繪製的位置相同，其目的是為了避免修改時找尋 Method 所耗費的時間。

(三)機器手臂動作控制(Move_Control)

從導入工件加工相關資訊與解決作業衝突點的機器手臂控制法則，都撰寫於 Move_Control 模組中。此模組所撰寫之機器手臂控制法則為本研究所運用的控制理論派工排程法則，當系統遇到機器手臂資源衝突時，即至 Move_Control 模組內執行排程法則，判斷機器手臂要服務哪一工件。

3.5 模擬環境設定

彈性製造模擬系統為 Job shop 的生產環境，每一個工件的加工程序與加工時間皆不相同，機台每次進行加工必須依當時工件所需之加工時間來加工，由於彈性製造系統有生產多

樣化工件的彈性，因此本研究以 30 個不同種類工件來進行模擬以顯示此系統之彈性。假設此 30 個不同種類之工件，每個工件要經由三個台不同機器加工，加工順序隨機產生，工件依指數分配($\beta=300$ 秒)動態到達系統。為了使每個工件之加工時間有所差異，採用均勻分配，且設定工件間與作業途程間加工時間的變異係數(Coefficient of Variation; CV)各為 50%，工件在每一機台的平均加工時間為 600 秒，經由換算均勻分配之範圍為 80 秒~1120 秒($\alpha=80, \beta=1120$)。假設機器手臂之搬運時間遠比機台加工時間還短，所以尚且不考量機器手臂搬運時間對系統排程之影響，故機器手臂之搬運時間不分搬運路徑，設定搬運一趟均為 5 秒。其他系統內之參數設定如下：輸入、在製品暫存區之容量分別設為 10 個工件，彈性製造單元允許工件進入之容量為 11 個工件，彈性製造單元的設定為在製品暫存區之容量加一，因製造單元內會至少有一個工件正在機台上加工，而在製品暫存區需要有容納製造單元內其他所有可能為等待加工機台之工件的容量，故限制彈性製造單元允許工件進入之容量比在製品暫存區容量多一個將不會使系統產生鎖死。並假設輸出暫存區上之完成品可被迅速移出製造單元，而參數設定對系統模擬之影響，將在未來研究中探討。排程法則以控制理論使用 SPT、FCFS、SRPE、LRPT、FORP 和 LORP 等六種派工法則各模擬 30 次，模擬績效以「總製程時間最小化」為指標，檢驗何種派工法則在此系統有較佳解。

3.6 控制理論排程法之模擬結果

控制理論排程方式分別以六種派工法則進

行反覆模擬 30 次，其反覆模擬所得之 Makespan 平均值(單位為秒)，如圖 4 所示。圖中顯示控制理論運用 LRPT 派工法則所得之 Makespan 會比其他派工法則低，再進一步以單因子變異數分析檢定控制理論運用不同派工法則所得的 Makespan 是否有顯著差異。

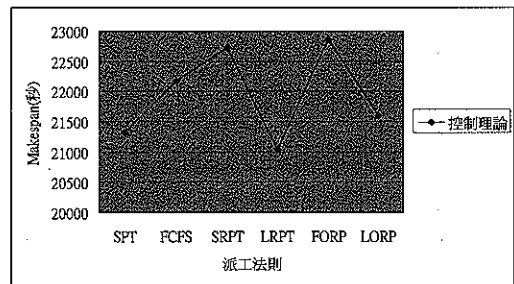


圖 4: 控制理論六種派工法則之 Makespan

檢定結果由表 1 所示，得知 P 值 = 0.016657 < 0.05，故控制理論之派工法則有顯著差異。接著以 Tukey 多重比較法探討各派工法則彼此的顯著差異性，藉由兩兩相比較找出其中績效較佳之派工法則。比較結果，如表 2 所示，將彼此不為顯著差異之派工法則歸屬於同質子集，其結果同質子集分為二群，其中群一績效較佳，而 LRPT 為群一 Makespan 最短的派工法則，且為群一中唯一不落入群二的派工法則。

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	84276152	5	16855230	2.855748	0.016657	2.266063
組內	1.03E+09	174	5902213			
總和	1.11E+09	179				

表 1: 控制理論派工法則之單因子變異數分析

MAKESPAN			
Tukey HSD ^{a,b}			
派工法則	N	Subset	
		1	2
LRPT	30	21043.82	
SPT	30	21312.75	21312.75
LORP	30	21614.35	21614.35
FCFS	30	22172.88	22172.88
SRPT	30	22719.07	22719.07
FORP	30		22860.07
Sig.		.081	.134

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 5902213.022.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

表 2: 控制理論派工法則之同質子集分群

在控制理論的排程模擬結果中，派工法則 LRPT(Makespan=21043.82)優於 SRPT(Makespan=22172.88)，LORP(Makespan=21614.35)優於 FORP(Makespan=22860.07)，由此訊息得知，將「剩餘加工作業最多」的工件優先加工會得到較低的 Makespan。為了使排程可以得到更短的 Makespan，本研究在此動態進出彈性製造單元重新建立一套啓發式的排程演算法，依照「剩餘作業最多」工件優先加工的原則，設立製造單元機器手臂服務工件之「解決資源衝突法則」。當工件發出機器手臂搬運需求，在進行控

制理論派工法則之前，以「工件剩餘作業最多」的搬運路徑建立機器手臂服務工件之優先權值，而在等待機器手臂服務之工件有相同優先權值的情況下(即為有多個相同搬運路徑的工件)，再進行派工法則來選擇所要進行服務之工件。此啓發式的排程方式，第一階段為搬運路徑優先抉擇，第二階段為相同搬運路徑中工件的優先抉擇，故稱此排程法為「二階段排程演算法」。

3.7 二階段排程演算法

二階段排程演算法以「工件剩餘作業最多」的搬運路徑建立機器手臂服務工件之優先權值，將從輸入暫存區要搬運到機台加工的工件設為第一優先權，而即將完工之工件一從機台搬運至輸出暫存區一優先權為最後。而其他搬運路徑距離完工位置相當，以邏輯推測方式設立其優先權：在機台上加工完畢要搬到下一加工機台，將此設為第二優先權可以快速讓出機台讓其他工件使用，且下一機台可加工的情況可節省來回搬運至在製品暫存區之時間；而其次設立從機台搬運至在製品暫存區為第三優先權，其理由同樣為可以快速讓出機台讓其他工件加工；最後第四優先權為工件從在製品暫存

區搬運至機台。

以下將敘述二階段排程演算法之各項步驟，其較控制理論派工法則所增加的變數如下所示：

PR_i : Job_i 依搬運路徑訂立的機器手臂服務優先權值

PR_w : Job_w 的機器手臂服務優先權值

PR_u : Job_w 中之最高優先權值, $PR_u = \text{Max}\{PR_w | w \in t\}$

Job_u : Job_w 中搬運路徑為最高優先權值之工件 u 。

$n(Job_u)$: Job_u 中具有相同 PR_u 的個數, 亦即 Job_u 的個數。

二階段排程演算法步驟如下所示：

Step1: 依 Job_i 發出搬運需求之搬運路徑，設定其機器手臂服務之優先權值。

- (1) 若 Job_i 搬運途徑從 IN 到 M_k ，令 $PR_i=5$ 。
- (2) 若 Job_i 搬運途徑從 M_a 到 M_b ，令 $PR_i=4$ 。
- (3) 若 Job_i 搬運途徑從 M_k 到 WIP，令 $PR_i=3$ 。
- (4) 若 Job_i 搬運途徑從 WIP 到 M_k ，令 $PR_i=2$ 。
- (5) 若 Job_i 搬運途徑從 M_k 到 OUT，令 $PR_i=1$ 。

Step2: 檢查 Job_i 之搬運目的地是否允許工件放置。

- (1) 若 Job_i 搬運途徑從 IN 到 M_k ，先檢查製造單元是否有剩餘可進入容量，再檢查其欲運往之機台 M_k 是否為閒置。
- (2) 若 Job_i 搬運途徑從 M_a 到 M_b ，檢查其欲運往之機台 M_b 是否為閒置。

(3) 若 Job_i 搬運途徑從 WIP 到 M_k ，檢查其欲運往之機台 M_k 是否為閒置。

(4) 若 Job_i 搬運途徑從 M_k 到 WIP，工件搬運目的地為在製品暫存區，檢查在製品暫存區是否有剩餘容量。

若以上任一狀況為肯定，則 Job_i 轉為 Job_w ， PR_i 轉為 PR_w ，進入 Step3；否則停止所有步驟。

Step3: 令 $PR_u = \text{Max}\{PR_w | w \in i\}$ ，若 $n(Job_u)=1$ ， Job_u 為機器手臂將服務的工件，進入 Step5；否則進入 Step4。

Step4: 在搬運路徑皆為最高優先權值 PR_u 之 Job_u 中，依指定的派工法則選擇工件。

- (1) 派工法則為 SPT，工件 u 中下一作業時間為 $\text{Min}\{O_{u(i+1)} | u \in i\}$ 之工件為機器手臂將服務的工件。
- (2) 派工法則為 FCFS，工件 u 中到達時間為 $\text{Min}\{D_u | u \in i\}$ 之工件為機器手臂將服務的工件。
- (3) 派工法則為 SRPT，工件 u 中剩餘作業時間為 $\text{Min}\{R_u | u \in i\}$ 之工件為機器手臂將服務的工件。
- (4) 派工法則為 LRPT，工件 u 中剩餘作業時間為 $\text{Max}\{R_u | u \in i\}$ 之工件為機器手臂將服務的工件。
- (5) 派工法則為 FORP，工件 u 中以加工作業數為 $\text{Max}\{F_u | u \in i\}$ 之工件為機器手臂將服務的工件。
- (6) 派工法則為 LORP，工件 u 中以加工作業數為 $\text{Min}\{F_u | u \in i\}$ 之工件為機器手臂將服務的工件。

Step5: 機器手臂服務完所選擇之工件後，回到 Step2。

延續 3.2 的範例條件，針對彈性製造的二階段排程演算法，選擇 LRPT 之派工法則做說

明，在 Job Shop 製造系統中，如圖 5 所示，Job1 在 M2 加工完畢，等待機器手臂服務送至 WIP Buffer，其 $PR_i=3$ ，Job2 在 M3 加工完畢，等待機器手臂服務送至 WIP Buffer，其 $PR_i=3$ ，Job3 及 Job4 則在 WIP Buffer 等待機器手臂服務送至 M1，其 $PR_i=2$ ，其中各工件剩餘加工時間與 3.2 之範例條件一樣，分別為 Job1=17 min、Job2=10 min、Job3=20 min、Job4=15 min，此時依二階段排程演算法選定依搬運路徑訂立的機器手臂服務優先權值 $PR_i=3$ ，及 LRPT 之派工法則，則選定 Job1 為被服務之工件。

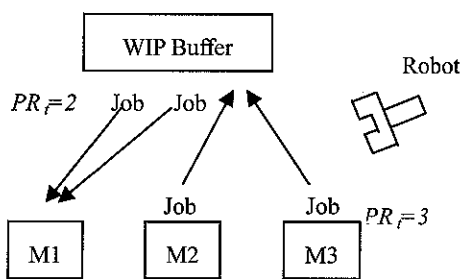


圖 5 Job Shop 製造系統示意圖-使用二階段排程演算法

四、結果與討論

4.1 二階段排程演算法之模擬結果

二階段排程演算法經由各法則反覆 30 次的模擬，模擬結果所得之 Makespan 如圖 6 所示，圖中並將其結果與無搬運路徑優先權之控制理論排程結果做比較。圖中顯示，在任何派工法則二階段排程演算法皆優於控制理論排程法，故二階段排程演算法對於 Makespan 的績效是有改善的。接著，再以雙因子變異數分析檢定排程法與其所運用之派工法則這兩項因

子對於所得之 Makespan 是否有顯著差異。

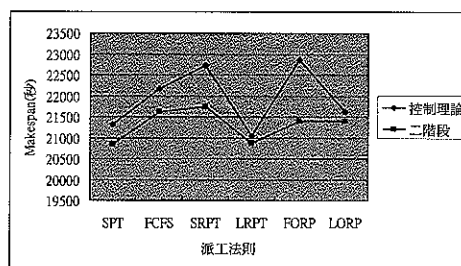


圖 6: 兩種排程法的 Makespan

檢定結果如表 3 所示，排程法 P 值 $=0.0095 < 0.05$ ，派工法則之 P 值 $=0.007949 < 0.05$ ，交互作用 P 值 $=0.63956$ ，故二階段排程演算法所得到的 Makespan 與控制理論排程有顯著差異，且派工法則也有顯著差異，而兩因子並無交互作用。從兩種排程法中，即可判斷二階段排程演算法優於控制理論排程，接著再進一步以 Tukey 多重比較法探討各派工法則彼此的顯著差異性，找出何種派工法則為較佳，其結果將同質子集的分為二群(如表 4 所示)，群一的績效較佳，而 LRPT 為群一 Makespan 最短的派工法則，且為群一中唯一不落入群二的派工法則。總合以上結果，二階段排程演算法之 LRPT 為較佳的排程演算法，且排程法與其所運用之派工法則沒有交互作用，故二階段排程演算法在任何派工法則皆優於控制理論排程法。

ANOVA						
變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
排程法	36928905	1	36928905	6.801581	0.0095	3.868323
派工法則	86477199	5	17295440	3.185481	0.007949	2.239929
交互作用	18435349	5	3687070	0.679086	0.63956	2.239929
組內	1.89E+09	348	5429459			
總和	2.03E+09	359				

表 3: 控制理論排程與二階段排程演算法雙因子變異數分析

MAKESPAN			
Tukey HSD ^{a,b}			
派工法則	N	Subset	
		1	2
LRPT	60	20957.85	
SPT	60	21084.22	21084.22
LORP	60	21508.12	21508.12
FCFS	60	21892.70	21892.70
FORP	60	22130.99	22130.99
SRPT	60		22227.36
Sig.		.064	.078

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 5429458.705.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60.000.
b. Alpha = .05.

表 4: 二階段排程演算法派工法則之同質子集分群

4.2 討論

總結以上結果得知，彈性製造系統以啓發式方式發展的二階段排程演算法—機器手臂服務之優先權值為由輸入暫存區等待進入製造單元的工件移至製造單元內之機台上為第一優先、工件從在製品暫存區搬運到可加工機台為第二優先、從機台搬運到在製品暫存區為第三優先、從機台搬運到下一加工機台為第四優先、需移至輸出暫存區為第五優先，而當工件有相同機器手臂服務優先權(即相同搬運路徑)產生衝突之派工法則為 LRPT，會得到最低的 Makespan。推測原因在於在製品暫存區和製造

單元容量夠大(不產生死鎖)的情況下，先將輸入暫存區等待進入彈性製造單元的工件移至彈性製造單元內，系統內有較多的工件來讓機器手臂選擇可加工之工件，使機台不會被閒置，而以 Makespan 為績效指標其機台閒置時間最少可達到較佳解。從二階段排程演算法其依發出搬運需求工件之搬運路徑所訂定機器手臂服務優先順序，所獲致之概念如下所示：

(一) 輸入暫存區工件剩餘作業最多，優先進入系統中，系統內有較多的工件來讓機器手臂選擇可加工之工件，使機台不會被閒置，而以 Makespan 為績效指標其機台閒置時間最少可達到較佳解，得以提高績效。

(二) 機台中工件可移入下一機台為第二優先，可以先空出加工完之機台，讓其他工件得以加工，提高機台使用率，且當下一機台有空馬上去加工，減少工件進出在製品暫存區的搬運時間。

(三) 機台中工件之下一機台仍為使用中，將其先移入在製品暫存區，讓其他工件得以進入此機台，因此為第三優先權，同樣為讓出機

台使其他工件使用，提高機台使用率，減少工件等待機台的時間。

(四) 等待機台被空出後，在製品暫存區中工件才有機會進入此機台，所以在製品暫存區的工件要移入機台被定為第三優先權之後的第四優先權，避免在製品暫存區之工件先將機台佔滿，使得加工完之工件又得進入在製品暫存區，增加來回搬運的時間。

(五) 在其他皆可加速工件完成時間之工件被服務過後，工件完工移至輸出暫存區才得到第五優先權。

五、結論

本研究先由控制理論之六種派工法則中，應用所建立的彈性製造單元模擬系統，經模擬結果發現之 LRPT 為 Makespan 績效較佳的派工法則，進而以啟發式加以發展出二階段排程演算法，而物件導向式的模擬模式可以快速建立出另一套排程法則的模擬模式，再經模擬結果證實此二階段排程演算法優於一般控制理論派工排程法。而後可將此彈性製造單元模擬系統視為快速建構彈性製造單元之模仿器 (Emulator)，運用於其後研究發展所使用之彈性製造單元發展平台。

由於動態的彈性製造系統會影響排程結果的因素眾多，採用模擬方式可以針對某些因子做不同水準的探討及敏感度分析，以瞭解這些因素對系統的影響程度。本研究未來可以對於輸入、輸出、在製品暫存區和製造單元的容量及工件加工時間的變異等參數設定做探討，研究其容量大小及加工時間變異對於 Makespan 有何影響，找出最佳的參數設定與生產排程之

組合，使製造系統能應付動態以及多元化的市場需求，提供決策者快速又正確的生產資訊。

参考文献

- Basnet, C. and Mize, J.H.
1994 "Scheduling and control of flexible manufacturing systems: a critical review," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 7(6), pp. 340-355.
- Booch, G.
1994 *Object-oriented Analysis and Design with Applications*, The Benjamin Cummings Publishing Company Inc.
- Bruno, G. and Marchetto, G.
1986 "Process Translatable Petri Nets for the Rapid Prototyping of Process Control System," *IEEE Transactions on Software Engineering*, 12(2), pp.346-356.
- Buzacott, J. A.
1995 "A Perspective on New Paradigms in Manufacturing," *Journal of Manufacturing Systems*, 14(2), pp.118-125.
- Cecil, J.A.; Srihari, K. and Emerson, E.R.
1992 "A Review of Petri-net Applications in Manufacturing," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 7(3), pp.168-177.
- Chen, C. and Jeng, M.D.
1992 "A Heuristic Approach Based on The State Equations of Petri Net for FMS Scheduling," *Proceedings of the 1995 International IEEE/IAS Conference on Industrial Automation and Control*, pp.275-281.
- Conway, R.W.
1965 "Priority Dispatching and Work-in-process Inventory in a Job Shop," *Journal Engineering*, 16(2), pp.122-130.
- Dar-EI, E.M. and Richard, A.W.
1993 "Job Shop Scheduling Problems Minimizing Mean Tardiness," *Journal of the Operational Research Society*, 44(1), pp.19-28.
- Garg, K.
1985 "An Approach to Performance Specification of Communication Protocols Using Timed Petri nets," *IEEE Transactions on Software Engineering*, 11(10), pp.1216-1255.
- Jafari, M.A.
1992 "An Architecture for a Shop-Floor Controller Using Colored Petri Nets," *Journal of Manufacturing Systems*, 4(4), pp.159-181.
- Jeong, K.C. and Kim, Y.D.
1998 "A real-time scheduling mechanism for a flexible manufacturing system: using simulation and dispatching rules," *International Journal of Production Research*, 36(9), pp.2609-2626.
- Ould-Kaddour, N. and Courvoisier, M.
1989 "A Multi-tasking Environment Based on Petri nets With Objects and Modula-2," *Proc. of the 15th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society*, Philadelphia, PA, pp.799-804.
- Proth, J.M.
1992 "Discrete Manufacturing Systems: From Specification to Evaluation," *The Second International Conference on Automation Technology*, Taipei, Taiwan, pp.7-8.
- Ranky, P.G.
1986 "The Design and Operation of FMS: Flexible Manufacturing System," *IFS PUBLICATIONS Ltd.*, UK.
- Sahraoui, A.E.K. and Ould-Kaddour, N.
1992 "Control Software Prototyping," *Computers and Industry*, 20(3), pp. 327-334.
- Santarek, K. and Buseif, I.M.
1998 "Modelling and design of flexible manufacturing systems using SADT and Petri nets tools," *Journal of Materials Processing Technology*, 76, pp.212-218.

- Sibertin-Blane
1990 *Object-oriented Petri Net for System Modeling*.
- Sotskov, Y.N. and Shakhlevich, N.V.
1995 "NP-hardness of shop-scheduling problems with three jobs," *Discrete Applied Mathematics*, 59(3), pp.237-266.
- Venkatesh, K. and Ilyas, M.
1995 "Real-time Petri Nets for Modeling, Controlling, and Simulation of Local Area Networks in Flexible Manufacturing Systems," *Computers and Industrial Engineering*, 28(1), pp.147-162.
- Wang, L.C.
1996 "The Development of an Object-oriented Petri net Cell Control Model," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 11, pp.59-69.
- Zhou, M.C.; Chiu, H.S. and Xiong, H.H.
1995 "Petri Net Scheduling of FMS Using Branch and Bound Method", *Proceedings of the 1995 IEEE IECON 21st International Conference*, 1(6), pp.211-216.
- Zhou, M.C. and DiCesare, F.
1989 "Adaptive Design of Petri net Controllers for Error Recovery in Automated Manufacturing Systems," *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, 19(5), pp.963-973.
- Zhou, M.C.; DiCesare, F. and Rudolph, D.
1992 "Design and Implementation of a Petri net Based Supervisor for a Flexible Manufacturing System," *Automatica*, 28(6), pp.1999-2008.
- 白明憲
1984 〈生產排程—單機模式之研究〉，
《政治大學企管研究所碩士論文》。
- 吳社邦
1982 〈彈性製造系統—批量製造工廠的新突破〉，
《新新季刊》，第十卷，第一期， pp.65-77。
- 林我聰
1984 〈現場排程專家系統〉，
《資訊與電腦叢書》。
- 林籃琪
2002 〈應用階層式裴氏圖於彈性製造單元下之排程演算法與動態模式之模擬系統建構〉，
《逢甲大學碩士論文》，台中。
- 秦劍雲
1989 〈知識庫支持之訂貨生產排程系統〉，
《台灣工業技術學院碩士論文》。

A Two-Stage Dispatching Rule For A Dynamic Push-pop Flexible Manufacturing System

Ming-Shiun Lu, Associate professor

Department of Industrial Engineering and System Management, Feng Chia University

Lan-Chen Yen, Chi-Wen Lin

Department of Industrial Engineering and System Management, Feng Chia University

Abstract

Recently, technology evolves rapidly and global competition highly increases. The variety of product levels up and the life cycle of product levels down. Thus, the manufacturer is inclined to utilize more and more automation equipments. This research will deal with dynamic scheduling problems for a dynamic push-pop flexible manufacturing cell. An object-oriented Petri Net will be built to model a flexible manufacturing cell. This cell includes a robot, three machines and a WIP buffer. The job enters the cell once the job volume is under capacity limit, therefore a dynamic scheduling system is required to schedule operations for jobs in the cell. In addition to applying conventional dispatching rule to the dynamic system, an algorithm containing two-stage dispatching rules will also be developed for the scheduling system, which considers job's makespan as criteria. A database containing machining information is built and a simulation tool - eM-Plant will be utilized to built the simulation system for our model. Finally the algorithm developed in this research will be evaluated by this simulation system.

Keywords: *FMS, Scheduling, Object-Oriented, Petri Net, Simulation*