

國立交通大學
工業工程與管理學系碩士班

碩士論文

多階平行機台工件不允許等待之流程式

生產排程

No-Wait Flowshop Scheduling with
Multi-Stage Parallel Machines

研究生：曾秀文

指導教授：許錫美 博士

中華民國九十九年六月

多階平行機台工件不允許等待之流程式
生產排程

No-Wait Flowshop Scheduling with Multi-Stage Parallel
Machines

研究生：曾秀文

Student：Shiu-Wen Tseng

指導教授：許錫美 博士

Advisor：Dr. Hsi-Mei Hsu



Submitted To Department Engineering and Management College of Management

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master

in

Industrial Engineering

June 2010

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年六月

多階平行機台工件不允許等待之流程式生產排程

研究生：曾秀文

指導教授：許錫美 博士

國立交通大學工業工程與管理學系

摘要

本研究探討在多階段中有多部平行等效機台的生產系統，工件不允許等待之流程式生產排程問題（簡稱 NWF-P）。NWF-P 生產線是指在流程式生產線中，工件一旦進入生產線，不允許有待機的情形發生。本研究根據此問題的特性，以最小化總排程時間為目標，提出三個禁忌搜尋演算法(TS1、TS2 與 TS3)，求解各工件佔用機台的優序。TS1 是以傳統隨機方式挑選工件找出鄰近解，TS2 是依據各工件與前一排序相鄰的工件在各機台的閒置時間，做為工件被挑選的機率，TS3 是針對階段一的平行機台為考量找出鄰近解。TS3 的求解時間較 TS1 與 TS2 小，且能求得較小的總排程時間。權衡總排程時間與機台利用率，本研究提出決定各階段最適機台數量的方法。

關鍵字：No-Wait、流程式生產、平行機台、總排程時間、禁忌搜尋法

No-Wait Flowshop Scheduling with Multi-Stage Parallel Machines

Student : Shiu-Wen Tseng

Advisor : Dr. Hsi-Mei Hsu

Department of Industrial Engineering and Management
National Chiao Tung University

Abstract

This research deals with the problem of N jobs on parallel machines in S successive stages with the constraint that a job after being processed by the first stage's machine is not allowed the waiting time between two consecutive operations. We call this problem as no-wait flowshop with parallel machines scheduling problem (NWF-P). The objective is to find a schedule that would minimize the makespan. First, considered the machine idle times, we propose an initial solution, named Revised MDA1 and Revised MDA2, for jobs schedule and the assignment of jobs to machines in all stages. Then based on the proposed initial solution, three tabu search algorithms, named TS1, TS2 and TS3, are developed. We evaluate the performances of TS1, TS2 and TS3. with 640 scenarios for experiments. It shows that TS3 is superior to TS1 and TS2 in makespan values and computational time. Finally, considered the tradeoff between machine utilization rates and makespan values, we propose a method to determine the machine numbers in each stage.

Keywords : No-Wait 、 Flowshop 、 Parallel Machines 、 Makespan 、 Tabu search

致謝

本論文得以順利完成，首先要感謝我的指導教授許錫美博士不厭其煩的指導與督促。在研究過程中，每當遇到瓶頸，老師總能有效的啟發我的想法，點破思考盲點。老師教導我正確的研究精神，在老師的諄諄教誨下，使我在做研究過程中受益良多。同時也感謝巫木程教授和彭德保教授，在論文口試期間給予我寶貴的意見。向以上各位老師至上最高的敬意。

在研究所兩年中，感謝學長冠宏，時時關心我的論文進度，研究夥伴佩芸、邦豪、曉嚴、浩翰、宗賢、晏生、富驊，研究室學弟妹們。在撰寫論文過程中遇到困難，都能不吝惜的給予幫忙，因為有了你們的陪伴與支持，我才能在撰寫論文的這段期間有充實且溫馨的時光。因為有你們，這兩年將成為我永遠的回憶。

我也要感謝我的爸爸、媽媽、哥哥與姐姐，全力的支持我、鼓勵我，讓我能全心的做研究。特別感謝爸媽在我求學階段的這十幾年來對我的栽培。謹以此論文獻給我最敬愛的家人。



曾秀文 2010.6

于 新竹交大

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
致謝.....	iii
圖目錄.....	vi
表目錄.....	vii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.1.1 No-Wait Flowshop(NWF)生產線	2
1.1.2 No-Wait Flowshop with Identical Parallel(NWF-P)生產線.....	3
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究基本假設.....	4
1.4 論文架構.....	5
第二章 文獻回顧.....	7
2.1 NWF (No-Wait Flowshop)相關文獻	7
2.2 平行機台排程(Identical Parallel Machines Scheduling)相關文獻	10
2.2.1 單階平行機台排程.....	10
2.2.2 多階平行機台排程.....	10
2.3 NWF-P 相關文獻	12
2.4 本研究與過去不同的地方.....	14
第三章 問題描述與求解方法.....	15
3.1 問題定義.....	15
3.2 符號定義.....	16
3.3 問題特性.....	17
3.3.1 問題複雜度.....	17
3.3.2 解的表達方式.....	17
3.4 禁忌搜尋法.....	18
3.4.1 起始解.....	18
3.4.1.1 起始解演算法之設計概念.....	19
3.4.1.2 起始解演算法之執行步驟.....	24
3.4.1.3 範例說明.....	27
3.4.2 鄰近解.....	35
3.4.2.1 TS1 的鄰近解搜尋法	35
3.4.2.2 TS2 的鄰近解搜尋法	37
3.4.2.3 TS3 的鄰近解搜尋法	39
3.4.3 禁忌列表.....	42
3.4.4 終止條件.....	43

3.5 排程結果.....	44
第四章 模擬分析.....	46
4.1 案例說明.....	46
4.2 績效評估.....	50
4.2.1 起始解之績效評估.....	51
4.2.2 禁忌搜尋法之績效評估.....	54
第五章 平行機台績效之評估.....	57
5.1 平行機台績效之評估方法.....	57
5.2 評估平行機台績效之案例說明.....	57
第六章 結論與未來研究方向.....	60
6.1 結論.....	60
6.2 未來研究方向.....	61
參考文獻.....	62
附錄 A.....	65
附錄 B.....	72



圖目錄

圖 1.1 工件在 NWF 的加工甘特圖.....	2
圖 1.2 工件在 NWF-P 的加工甘特圖.....	3
圖 1.3 論文架構.....	5
圖 2.1 遞增與遞減工件圖示.....	7
圖 3.1 NWF-P 總排程時間.....	15
圖 3.2 各階段最早開始加工時間間隔示意圖.....	19
圖 3.3 Revised MDA1 示意圖.....	21
圖 3.4 J_1 為第一個加工優序工件示意圖.....	22
圖 3.5 J_2 為第一個加工優序工件示意圖.....	22
圖 3.6 J_3 為第一個加工優序工件示意圖.....	22
圖 3.7 J_4 為第一個加工優序工件示意圖.....	22
圖 3.8 Revised MDA2 示意圖.....	23
圖 3.9 Modified MDA1 流程圖.....	25
圖 3.10 Modified MDA2 流程圖.....	26
圖 3.11 Revised MDA1 之加工甘特圖.....	31
圖 3.12 Revised MDA2 之加工甘特圖.....	34
圖 3.13 任意兩點交換法移步後示意圖.....	35
圖 3.14 任意三點交換法移步後示意圖.....	36
圖 3.15 任意四點交換法移步後示意圖.....	36
圖 3.16 插入式變動法移步後示意圖.....	37
圖 3.17 兩點間工作互換法示意圖.....	37
圖 3.18 工件之間置時間示意圖.....	39
圖 3.19 機台內工件互換法示意圖.....	39
圖 3.20 機台內工件法示意圖.....	40
圖 3.21 機台間工件互換法示意圖.....	40
圖 3.22 機台間工件插入法示意圖.....	41
圖 3.23 禁忌名單之資料結構示意圖.....	42
圖 3.24 禁忌搜尋法流程圖.....	43
圖 3.25 演算法架構示意圖.....	44
圖 4.1 起始加工優序之甘特圖.....	47
圖 4.2 TS1 之最終加工優序甘特圖.....	47
圖 4.3 TS2、TS3 之最終加工優序甘特圖.....	48

表目錄

表 1.1 NWF 工件加工時間(分).....	2
表 1.2 NWF-P 工件加工時間(分)-1	3
表 2.1 No-Wait Flowshop 相關文獻彙整	9
表 2.2 平行機台排程相關文獻彙整.....	11
表 2.3 No-Wait Flowshop with Parallel Machines 相關文獻彙整	13
表 3.1 NWF-P 工件加工時間(分)-2	18
表 3.2 NWF-P 工件加工時間(分)-3	27
表 3.3 閒置時間對應之工件抽取機率表.....	38
表 3.4 Revised MDA1 工件投料時間表範例	44
表 3.5 Revised MDA1 機台閒置時間表範例	45
表 4.1 NWF-P 加工時間表(分)-4	46
表 4.2 TS1 工件之投料時間表	47
表 4.3 TS1 之機台閒置時間表	48
表 4.4 TS2、TS3 工件之投料時間表	48
表 4.5 TS2、TS3 之機台閒置時間表	49
表 4.6 加工優序之總排程時間對照表.....	49
表 4.7 各種演算法與 Revised MDA 之求解結果(n=50, Class1).....	52
表 4.8 各種演算法與 Revised MDA 之求解結果(n=200, Class1).....	52
表 4.9 演算法於不同工件數之優勢百分比.....	53
表 4.10 演算法於不同工件數之 t 檢定	53
表 4.11 TS1、TS2 與 TS3 之求解結果(n=50, Class1)	54
表 4.12 TS1、TS2 與 TS3 之求解結果(n=200, Class1).....	54
表 4.13 TS 演算法於不同工件數之總排程時間優勢百分比	55
表 4.14 TS 演算法於不同工件數之總排程時間 t 檢定.....	55
表 4.15 TS 演算法於不同工件數之求解時間優勢百分比	56
表 5.1 機台評估資訊表.....	58
表 5.2 $m_1=2, m_2=2, m_3=3, m_4=3$ 平均機台利用率.....	58
表 5.3 $m_1=2, m_2=2, m_3=2, m_4=3$ 平均機台利用率	58
表 5.4 $m_1=2, m_2=2, m_3=3, m_4=2$ 平均機台利用率	58
表 A.1 n=50 之各種演算法結果	65
表 A.2 n=100 之各種演算法結果	67
表 A.3 n=150 之各種演算法結果	68
表 A.4 n=200 之各種演算法結果	70
表 B.1 n=50 之各種演算法結果.....	72
表 B.2 n=100 之各種演算法結果.....	75
表 B.3 n=150 之各種演算法結果.....	77

表 B. 4 n=200 之各種演算法結果.....80



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

排程(Scheduling)是生產管理上重要的課題，因為生產系統的資源有限，好的排程可以提昇資源的利用率及訂單達交率。

排程問題依照工件在生產環境中的加工特性分成不同的形態，其中流程式生產(Flowshop)是生產環境中最常見的加工型態，是指工件經過加工機台的順序皆相同。在現實產業中，此生產型態是存在於以大量製造為主的產業。

流程式生產型態中，有些生產線因為物料特性或品質要求等因素，工件在加工過程中不允許有待機(No-Wait)的情形發生。此種生產型態稱之為「不允許等待之流程式生產」(No-Wait Flowshop, NWF)。

NWF 的範圍存在於食品製造業、鋼鐵業、電子業與半導體業中；以半導體業為例，晶圓製造的蝕刻製程需要將晶圓投入酸槽中作業，以進行蝕刻的化學反應，而酸槽是以流線式排列，作業完畢後再以機器手臂迅速將晶圓移動到下一個酸槽作業，由於酸槽內化學反應的作業時間需要很準確，否則會造成不良品，因此一旦進入酸槽，作業過程中就不能有任何待機的情形發生，為了要確保工件不會有待機的情形，業界會以較長的投料間隔再進行投料，造成機台閒置，浪費產能。

因訂單需求增加，許多加工階段會有多部等效平行機台。以半導體業為例，晶圓製造中，清洗化學光阻常使用濕式清洗設備，某種濕式清洗設備分為三階段，其中在第一階段中設置了三部平行等效機台，其他階段皆為單部機台。此種生產線不僅包含 No-Wait Flowshop 的特性，還包含了平行等效機台的特性，稱之為「平行等效機台不允許等待之流程式生產排程」(No-Wait Flowshop with Identical Parallel Machines, NWF-P)。以下將介紹 NWF 與 NWF-P 生產線的排程特性。

1.1.1 No-Wait Flowshop(NWF)生產線

不允許等待流程式生產(NWF)與流程式生產(Flowshop)不同處在於 NWF 排程問題中，工件在加工過程中不允許有等待的情形，因此加工可能會延遲投料，避免等待的情形發生。

以下舉例說明 NWF 排程問題的生產特性。假設在 NWF 生產線有 4 個工件，依序在 4 部機台上加工，各工件在各機台上的加工時間如表 1.1。

表 1.1 NWF 工件加工時間(分)

加工 時間 工件	機台			
	M_1	M_2	M_3	M_4
J_1	3	6	2	2
J_2	2	2	5	2
J_3	3	3	4	4
J_4	2	2	6	3

假設工件的加工優序為 $J_1 \rightarrow J_2 \rightarrow J_3 \rightarrow J_4$ 時，工件加工的甘特圖如圖 1.1 所示。

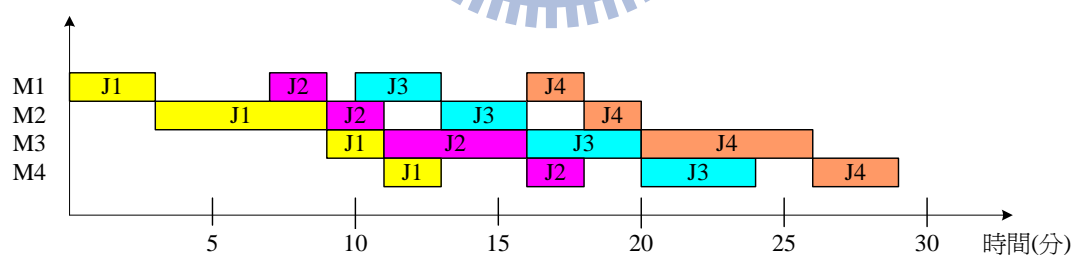


圖 1.1 工件在 NWF 的加工甘特圖

為了確保 J_2 在 M_1 加工完後可馬上到 M_2 加工，因此 J_2 需要延遲 4 分鐘才能於 M_1 投料，才可使 J_2 在第 9 分鐘時於 M_2 加工；同樣的， J_3 也必須延遲 1 分鐘於 M_1 投料，才可使 J_3 能在第 16 分鐘時於 M_3 加工。這種延遲是因為 no-wait 的特性，造成 M_1 機台的閒置。根據 NWF 的特性，工件必須經過所有機台加工，且機台加工工件的順序與工件的投料順序相同，此現象與一般的 flowshop 排程問題相同。

1.1.2 No-Wait Flowshop with Identical Parallel(NWF-P)生產線

前面所介紹的 NWF 生產線中，工件在每階段都只有一部機台可加工，沒有選擇機台加工的問題；然而有些生產線，在某些階段可能因為工件加工特性，所以設置多部平行機台，讓某些機台忙碌時，還有其他機台可進行加工。因此 NWF-P 特性的生產線，是階段中有多部平行等效機台時，讓工件在其中一部機台上加工。因為 NWF-P 特性，所以工件要在有平行機台的階段挑選一部機台加工。工件要在具平行機台階段挑選機台，階段機台數與挑選機台的變化提高了計算各工件在各機台起始時間與結束時間的難度，且總排程時間未必是最後加工工件的完工時間。綜合以上所述，NWF-P 排程問題是具有解題難度與複雜度。

以下舉例說明 NWF-P 排程問題的生產特性。假設在 NWF-P 生產線有 4 個工件，依序在 3 部機台上加工，而第一與第三階段皆有 2 部平行機台，第二階段有 3 平行部機台，各工件在各機台上的加工時間如表 1.2。

表 1.2 NWF-P 工件加工時間(分)-1

加工時間 工件	機台 M_1	M_2	M_3
J_1	2	8	3
J_2	4	12	3
J_3	3	11	9

假設工件的加工優序為 $J_1 \rightarrow J_3 \rightarrow J_2$ 時，工件加工的甘特圖如圖 1.2 所示。

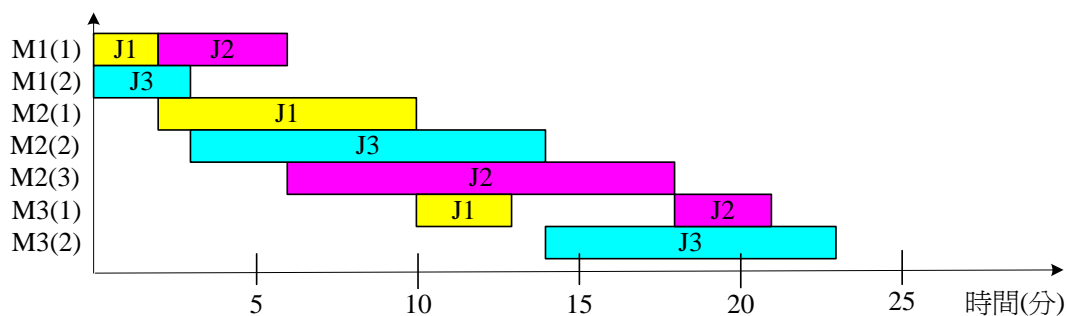


圖 1.2 工件在 NWF-P 的加工甘特圖

平行機台造成解的表達困難，假如工件 J_3 在階段一挑選第一部機台進行加工，則會在第 2 分鐘投料，第 25 分鐘完工；但假如在階段一挑選第二部機台進行加工，則會在第 0 分鐘投料，第 23 分鐘完工，因此挑選不同機台機工會有不同解的產生，且總排程時間為工件 J_3 的完工時間 23 分鐘，因此要隨時更新最後階段每部機台的完工時間。

目前 NWF-P 的相關研究皆在探討兩階段具平行機台的 NWF 排程問題。Sriskandarajah[23]探討二階段問題，其中第一階段是單一機台，第二階段有多部平行機台的情境；Liu 等人[17]探討兩階段皆具有一部以上平行機台的情形；朱馨吟[25]探討三階段中第一階段具有平行機台的情形，第二、第三階段為單一機台。目前欠缺探討一般化多階段且各階段有多階平行等效機台的 NWF-P 排程問題之文獻。本論文針對上述問題，以最小化總排程時間為目標，提出一 NWF-P 排程問題的演算法。



1.2 研究目的

NWF 排程問題之複雜度為 NP-hard、平行機台排程問題之複雜度亦為 NP-hard，因此皆無法在有限時間內求出最佳解，而 NWF-P 問題比 NWF 與單階平行機台排程問題更具一般性，因此本研究亦屬於 NP-hard 問題。

本研究在探討 NWF-P 排程問題，以最小化總排程時間為目標，利用禁忌搜尋法，提出一套適合 NWF-P 排程問題的演算法，以決定工件的加工優序。

1.3 研究基本假設

本研究主要探討 NWF-P 排程問題，基本假設如下：

- (1) 已知工件總數。
- (2) 已知階段總數。
- (3) 已知各階段機台數。
- (4) 平行機台為等效(Identical)設備。

- (5) 所有工件之間彼此獨立，不具任何優先順序的限制。
- (6) 所有工件在一開始即可進行加工。
- (7) 不考慮機台故障的問題。
- (8) 不考慮機台的整備時間。
- (9) 工件在各機台的加工時間皆已知，且為一個常數(稱為確定性排程，Deterministic Scheduling)。
- (10) 同一時間每部機台只能處理一個工件，工件在同一時間也只能在一部機台上加工，各機台加工中的工件加工完後才可下機。

1.4 論文架構

本論文架構如圖 1.3 所示。

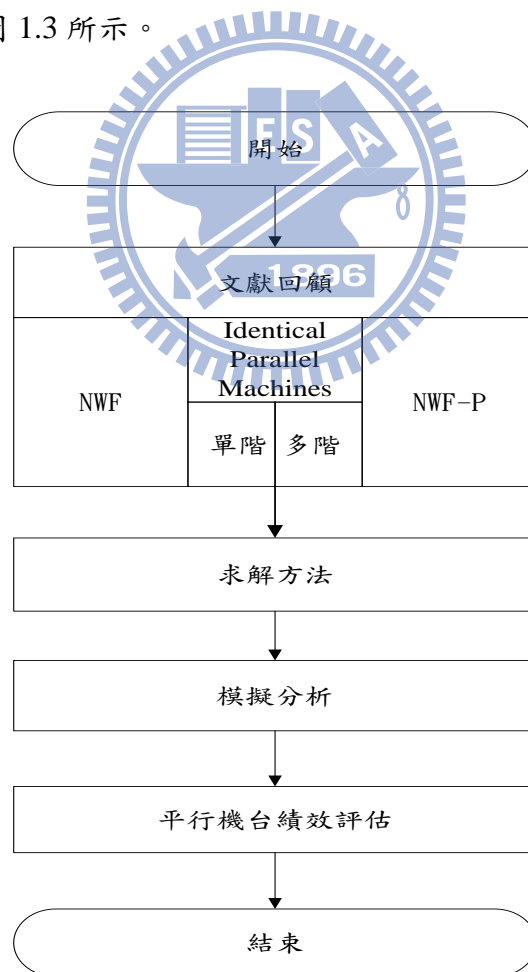


圖 1.3 論文架構

本論文各章內容如下：

第一章 緒論

介紹研究背景、研究動機、研究目的、假設與架構。

第二章 文獻探討

探討過去有關 NWF、平行機台排程與 NWF-P 之相關研究。

第三章 求解方法

說明問題定義、符號定義，並從 NWF-P 問題特性中設計起始解演算法，再以禁忌搜尋法發展兩個鄰近解搜尋法，分別稱為 TS1 與 TS2。

第四章 模擬分析

設計數個 NWF-P 案例，評估演算法績效。

第五章 平行機台績效評估

根據演算法結果，進行平行機台評估，供決策者做參考。

第六章 結論與未來研究方向

討論研究結果，及未來研究方向。



第二章 文獻回顧

本研究目的是發展一套演算方法來解決 NWF-P 排程問題。故本章將依序回顧 NWF、平行機台排程及 NWF-P 排程問題的相關文獻。

2.1 NWF (No-Wait Flowshop)相關文獻

Gilmore 等人[12]將二部機台的 NWF 排程問題轉換成旅行者銷售問題 (Traveling Salesman Problem, TSP)。將工件視為旅行者必須經過的城市，兩兩工件之間的投料間隔時間視為兩兩城市之間的距離，找出最佳的路線(工件加工順序)，以最短路線(最短總排程時間)為目標走過所有城市(加工完所有工件)。而 Reddi 等人[20]與 Goyal[13]延伸 Gilmore 的概念，進一步將 m 部機台， n 個工件的 NWF 轉化成 TSP 問題。其中 Reddi 是從第一部機台來考慮總排程問題，因此以兩兩工件在第一部機台所產生的閒置時間(delay time)視為兩兩城市之間的距離；而 Goyal 則是從最後一部機台來考慮總排程問題，因此是以兩兩工件在最後一部機台所產生的閒置時間視為兩兩城市間的距離。目標同樣是找出 TSP 問題中的最短路徑來達到最短總排程時間。

Gangadharan 等人[10]探討 m 部機台的 NWF 排程問題，目標是最小化總排程時間。方法是先將工件依照各階段的加工時間特性分為遞增與遞減，加工時間有遞增特性的工件放在序列的前半部，特性越明顯的排在越前面，而加工時間有遞減特性的工件則放在序列的後半部，特性越明顯的排在越後面，如圖 2.1。將工件加工時間遞增特性越明顯的排在越前面，工件加工時間遞減特性越明顯的排在越後面，可縮短排程的時間，達到總排程時間最短的目的。

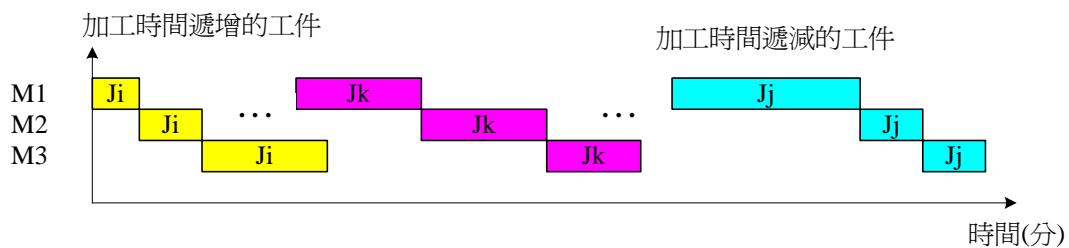


圖 2.1 遞增與遞減工件圖示

Rajendran [19] 探討 m 部機台的 NWF 排程問題，目標是最小化總排程時間。方法是先將工件依照各階段的加工時間特性分成遞增與遞減兩群，先將加工時間有遞增特性的工件依照總流程時間長短排入序列中，總流程時間較短者優先排入加工序列中，之後再以插入的方法，依序將加工時間有遞增特性的工件插入序列中，而工件插入的位置則是以能有最小總排程時間的位置為插入點，依照此方式排完所有工件。

Allahverdi 等人[2]探討 m 部機台的 NWF 排程問題，目標是最小化總排程時間與最小化總完工時間(total completion time)。針對此雙目標問題，將兩個目標值分別給予一個權重： α 與 $1-\alpha$ ($0 < \alpha < 1$)，將目標值與權重相乘後得到一個 W 值，解的優劣就由 W 值決定。而提出的演算法是首先給一個起始序列，再將起始序列中相鄰的兩個工件組成一個 block，假如有剩餘的工件，也視為一個 block。將第一個 block(J_i 、 J_j)排列成 $J_i \rightarrow J_j$ 與 $J_j \rightarrow J_i$ ，並比較此兩種排序，選取 W 值較小者，再將之後的 block 插入序列中，在選擇插入點時，會計算 W 值，找出使 W 值最小的插入點，直到排完所有工件。

Dipak[8]探討 m 部機台的 NWF 排程問題，目標是最小化總排程時間。方法是先計算每個工件的總流程時間，並依遞減予以排序作為起始排序。接著將起始排序中的第一個加工工件依序往後面位置插入，還有將第一個加工工件以後的工件逐一排入第一個加工工件前，並找出此兩種情形中最小總排程時間的序列。將找出的序列中前兩個工件(J_i 、 J_j)排列成 $J_i \rightarrow J_j$ 與 $J_j \rightarrow J_i$ ，並比較此兩種排序的總排程時間，選取總排程時間較小者，之後再將序列中相鄰兩個工件當成一組 block 插入新的序列中，在選擇插入點時，會計算總排程時間，找出能使總排程時間最小的位置為插入點，依照此方式排完所有工件。

許多啟發式演算法是先獲得一個起始解，再利用插入或是交換等方法進行起始解的改善，但是這些方法無法跳出局部解，容易在搜尋最佳解的過程中收斂在局部最佳解(local optimum)中而停止，因此無法找到最佳解。因此之後許多學者

提出了巨集式演算法(metaheuristic algorithm)來求解 m 部以上機台的 NWF 排程問題，以最小化總排程時間為目標[1,9,22,18,4]。Aldowaisan [1]等人是應用模擬退火法(simulated annealing)與基因演算法(Genetic Algorithm)，Fink 等人[9]則是應用禁忌搜尋法(Tabu Search, TS)，Shyu 等人[22]則是應用螞蟻演算法(Ant Colony Optimization, ACO)，Pan[18]等人則應用離散粒子群演算法(Discrete Particle Swarm Optimization, DPSO)，Liu[4]等人則是應用混合式粒子群最佳化演算法(Hybrid Particle Awarm Optimization, HPSO)。

上述 No-Wait Flowshop 相關文獻彙整如表 2.1。

表 2.1 No-Wait Flowshop 相關文獻彙整

作者	情境	目標	方法	研究結果與貢獻
Gilmore 等人 [12]	二部機台 NWF	最小化總排程時間	轉換成 TSP 網路問題	最先將 NWF 排程問題架構成 TSP 模型
Reddi 等人 [20] & Goyal[13]	多部機台 NWF	最小化總排程時間	TSP 網路問題	將 NWF 排程問題架構成 TSP 模型
Gangadharan 等人[10]	多部機台 NWF	最小化總排程時間	依工件在各階段加工時間遞增遞減特性排序	處理較大型問題時，解的品質較差
Rajendran [19]	多部機台 NWF	最小化總排程時間	依工件在各階段加工時間特性及配合插入法排序	演算法的求解時間過長，穩定性不足
Allahverdi 等人[2]	多部機台 NWF	最小化總排程時間與最小化總完工時間	將起始序列中相鄰兩工件組成一個 block，再將 block 依序插入新序列中	與 Rajendran[19]比較，此演算法有較優的解
Dipak[8]	多部機台 NWF	最小化總排程時間	將工件依總流程時間遞減作為起始序列，再從起始序列中相鄰兩工件組成一個 block，再將 block 依序插入新序列中	與 Rajendran[19]、Allahverdi[2]比較，此演算法有較優的解

2.2 平行機台排程(Identical Parallel Machines Scheduling)相關文獻

2.2.1 單階平行機台排程

由於單階的平行機台排程問題為 NP-hard，所以大多學者都是研究如何找出此問題的近似最佳解，並以最小化總排程時間為目標。此類型問題最早由 Graham[14]提出以 LPT(Longest Processing Time First Rule)演算法求解，方法是將總加工時間最長的工件優先排入加工序列中。

Coffman 等人[6]提出 Multifit 演算法進行問題求解，方法是根據裝箱 (Bin-Packing)問題中的 FFD(First Fit Decreasing)法則，將工件的加工時間依照遞減排序排入加工序列中。

Ghomi 等人[11]提出 PIA(Pairwise Interchange Algorithm，PIA)演算法，方法是在工件的加工序列都排定後，找出最長總加工時間的機台與最短總加工時間的機台，將最長總加工時間機台上的其中一個工件與最短總加工時間機台上的其中一個工件交換，以成對交換的方法改善解。

2.2.2 多階平行機台排程

Johnson[15]探討兩、三階平行機台排程問題。將三階轉化為二階問題，三階方法是將三階段中階段一與階段二的作業時間加總，轉化成兩階段問題中階段一的作業時間；階段二與階段三的作業時間加總，轉化成兩階段問題中階段二的作業時間，接下來選擇最短的作業時間，若最短作業時間是發生在階段一，則優先處理此工件；若最短作業時間是發生在階段二，則最後處理此工件，依此步驟直到所有工件排入加工序列中。

Dannenbring [7]以 Johnson 提出方法為基礎，發展多階段平行機台排程問題的演算法，將多階段平行機台排程問題轉化成兩階段平行機台排程問題。方法是將所有工件依照工件在每階段的加工時間特性分成兩類，分別當成工件在階段一與階段二的作業時間，接下來選擇最短的作業時間，若最短作業時間是發生在階段一，則優先處理此工件；若最短作業時間是發生在階段二，則最後處理此工件，依此步驟直到所有工件排入加工序列中。

有許多學者將平行機台排程問題加入更多條件，例如：機台整備時間、訂單交期時間、搬運時間等，使問題更符合實際情形，但與本研究的議題無關，故在此不進行討論。

上述平行機台排程相關文獻彙整如表 2.2。

表 2.2 平行機台排程相關文獻彙整

作者	情境	目標	方法	研究結果與貢獻
Graham[14]	單階平行機台排程問題	最小化總排程時間	最長總加工時間工件先排	Worst case bound=1.333
Coffman 等人[6]	單階平行機台排程問題	最小化總排程時間	運用裝箱問題的方法(FFD)於平行機台排程問題中	其 Worst case bound 較 Graham[14]好
Ghomi 等人[11]	單階平行機台排程問題	最小化總排程時間	藉著最長完工時間機台上之作業與最短完工時間機台上之作業交換，來減少總排程時間	表現比 Graham[14]與 Coffman 等人[6]好
Johnson[15]	多階平行機台排程問題	最小化總排程時間	最短作業時間發生在階段一，則優先處理此工件；若最短作業時間發生在階段二，則優先處理此工件	將三階段平行機台排程問題轉化成兩階段
Dannenbring [7]	多階平行機台排程問題	最小化總排程時間	以 Johnson 提出方法為基礎，將多階段平行機台排程問題轉化成兩階段平行機台排程問題	將 m 階段平行機台排程問題轉化成兩階段

2.3 NWF-P 相關文獻

雖然具平行機台的 NWF 排程問題逐漸受到重視，但目前 NWF-P 的相關研究都是在探討兩階段具平行機台的 NWF 排程問題，以下文獻目標皆是探討最小化總排程時間。

Sriskandarajah[23]探討階段一是單一機台，階段二有多部平行機台的情境，提出的演算法是先使用隨機的排序方式，之後再將工件依階段二的加工時間以遞減方式排序，決定工件的加工序列。

Liu 等人探討兩階段其中一個階段具有一部以上平行機台的情形，提出「最少誤差演算法(Least Deviation Algorithm, LDA)」[17]，隔年延伸為探討兩階段皆具有一部以上平行機台的情形，並提出「最小誤差演算法(Minimum Deviation Algorithm, MDA)」[24]。兩個演算法的概念都是計算每階段最早可開始加工時間的間隔，方法是在第一個工件開始加工後，由工件在機台上的加工時間計算出階段一與階段二最早可對下一個工件加工的機台，並計算兩個階段的最早可開始加工時間的間隔 t ，如圖 2.2 所示。找出工件在階段一的加工時間與 t 差距最小的工件，指定為下一個加工工件。

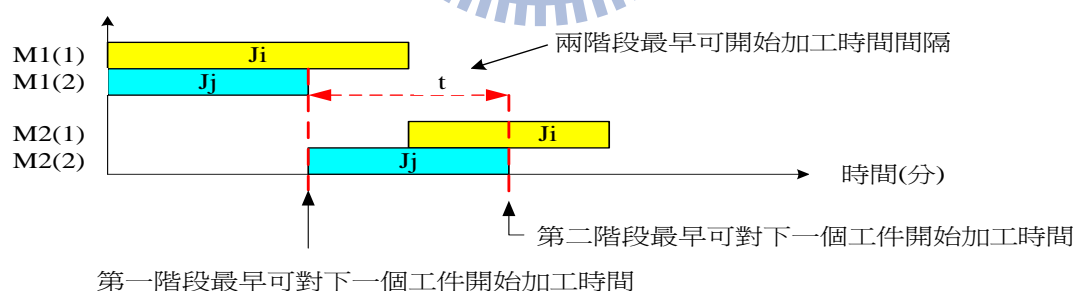


圖 2.2 兩階段之最早加工時間間隔(t)圖示

朱馨吟[25]探討三階段中階段一具有一部以上平行機台的情形，提出 Modified MDA 演算法，演算法是以機台觀點出發，依據各機台的最早開始可對下一個工件開始加工的時間之間隔，尋找可以符合此間隔的工件來產生排程序列。

Chang 等人[5]探討考慮整備與搬運時間的兩階段 NWF-P 排程問題，方法首先是先將此問題視為 NWF，將工件在階段一的加工時間視為工件在階段一的整備時間與加工時間之和減去階段二的整備時間，接下來將工件在階段二的加工時間視為工件在階段二的搬運時間與加工時間之和除以階段二的機台數，再扣掉階段一的搬運時間。利用兩個階段的加工時間特性將工件分成兩群，第一群為階段一加工時間小於階段二加工時間的工件，並依階段一的加工時間遞增排序；第二群為階段一加工時間小於階段二加工時間的工件，並依階段二加工時間遞減排序，再將第一群排在第二群的前面，即可獲得工件的加工序列。

上述 No-Wait Flowshop with Parallel Machines 相關文獻彙整如表 2.3。

表 2.3 No-Wait Flowshop with Parallel Machines 相關文獻彙整

作者	情境	目標	方法	研究結果與貢獻
Sriskandarajah [23]	兩階段 NWF-P	最小化總排程時間	先以隨機的排序方式，再將階段二的加工時間以遞減方式排序	證明 worst case bound 為 $3-1/m$ (m 為機台數)，而方法的 worst case bound 為 2
Liu 等人 [17,24]	兩階段 NWF-P	最小化總排程時間	使加工工件能符合機台間隔之空閒時間	兩階段皆為平行機台的排程問題唯一提出的啟發式演算法
朱馨吟[25]	三階段 NWF-P	最小化總排程時間	使加工工件能符合機台間隔之空閒時間	新的研究領域：考慮三階段中第一階段具有平行機台
Chang 等人[5]	考慮整備時間與搬運時間的兩階段 NWF-P	最小化總排程時間	先將問題視為 NWF 找出工件的加工序列，再將工件指派到機台上	新的研究領域：考慮兩階段 NWF-P 的整備時間與搬運時間

2.4 本研究與過去不同的地方

本研究探討多階段 NWF-P 排程問題，在各階段有單一或多部平行等效機台，是過去文獻中未討論到的議題。由於最小化總排程時間的單階平行機台排程問題為 NP-hard，而本研究將平行機台的階段數增加，複雜度也相對提高。

Liu 等人[17,24]所探討的兩階段 NWF-P 排程問題只考慮到兩階段機台間之閒置區間，此問題只需要考慮到工件在階段一的加工時間與機台閒置區間。但多階段的 NWF-P 排程問題中，需要考慮到所有階段的加工時間與各階段機台間之閒置區間，而且閒置區間會受到工件在上一個階段加工時間的影響，所以增加了本研究問題的困難度。



第三章 問題描述與求解方法

3.1 問題定義

本研究探討的 NWF-P 排程問題定義如下：已知 n 個獨立的工件 $J = \{J_1, J_2, \dots, J_i, \dots, J_N\}$ 需加工，所有工件必須依序在第 $1, 2, \dots, s$ 階段進行加工，且各工件在加工過程中不允許有待機的情形發生。各階段有單一或多部平行等效機台，工件進入有多部平行等效機台的階段時，可選階段中任一部可加工的機台進行加工作業。工件 J_i 在各階段的加工時間為 p_{ij} ， $i=1, 2, \dots, n$ ， $j=1, 2, \dots, s$ 。以總排程時間 (Makespan) 最小化為目標，求解工件最適加工優序 $J_\sigma = \{j_{\sigma(1)}, j_{\sigma(2)}, \dots, j_{\sigma(i)}, \dots, j_{\sigma(n)}\}$ 。

J_σ 是指工件被選入加工的優先順序， $j_{\sigma(i)}$ 表示排在加工優序第 i 個的工件。其中，總排程時間是指工件在階段一之最早開始加工時間到工件在最後一個階段 s 之最大完工時間的總長度。

NWF-P 問題與 NWF 問題不同。NWF 問題中沒有選擇機台加工的問題，而在 NWF-P 問題中，工件要在有平行機台的階段中挑選一部機台加工，挑選機台的變化提高了計算各工件在各機台起始時間與結束時間的難度，可能造成工件在各機台的加工優序與投料順序不一致，且排程完工時間未必是最後投料工件的完工時間。以圖 3.1 為例，加工優序為 $J_1 \rightarrow J_2 \rightarrow J_3$ ，但投料順序是 $J_1 \rightarrow J_3 \rightarrow J_2$ ，且總排程時間是 J_2 的完工時間，而非最後加工優序工件 J_3 的完工時間。因此必須隨時更新並記錄最後一階段每部機台的完工時間，最大者為總排程時間。

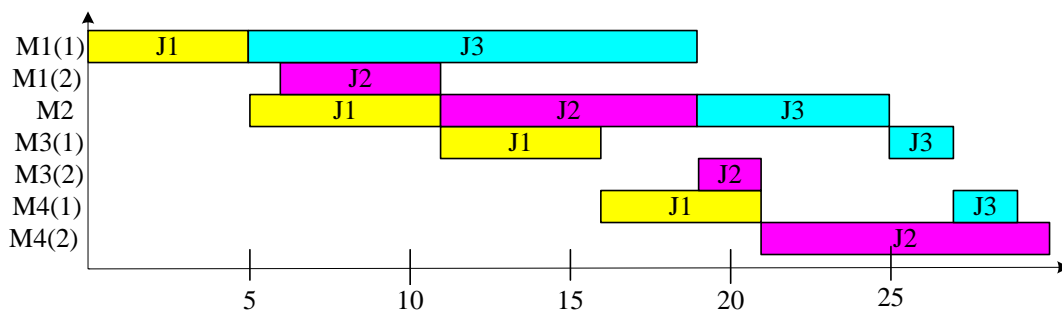


圖 3.1 NWF-P 總排程時間

3.2 符號定義

- s : 階段數。
- n : 工件數。
- J : 所有工件之集合， $J = \{J_1, J_2, \dots, J_i, \dots, J_n\}$ 。
- m_y : 階段 y 的機台數。 $(y=1, 2, \dots, s)$
- $M_{y(h)}$: 階段 y 的第 h 部機台。 $(y=1, 2, \dots, s ; h=1, 2, \dots, m_y)$
- p_{iy} : 工件 i 在階段 y 的加工時間。 $(i=1, 2, \dots, n ; y=1, 2, \dots, s)$
- J_σ : $J_\sigma = \{j_{\sigma(1)}, j_{\sigma(2)}, \dots, j_{\sigma(i)}, \dots, j_{\sigma(n)}\}$: 已排定之工件加工優序。此加工優序不等於工件投料時間，而是指工件被選入加工的優先順序， $j_{\sigma(i)}$ 表示排在加工優序第 i 個的工件。
- $s_{(p)}$: 排入加工優序第 p 個工件後剩餘待排工件之集合。
 $(s_{(0)} = \{J_1, J_2, \dots, J_i, \dots, J_n\} ; s_{(p)} = s_{(p-1)} \setminus j_{\sigma(p)} ; p=1, 2, \dots, n)$
- $a_{yhj_{\sigma(p)}}$: 階段 y 第 h 部機台可對加工優序第 p 個工件開始加工的時間。
 $(y=1, 2, \dots, s ; h=1, 2, \dots, m_y ; p=1, 2, \dots, n)$
- $t_{yj_{\sigma(p)}}$: 階段 y 最早可對加工優序第 p 個工件開始加工的時間。
 $t_{yj_{\sigma(p)}} = \min\{a_{y1j_{\sigma(p)}}, a_{y2j_{\sigma(p)}}, \dots, a_{ym_yj_{\sigma(p)}}\}$, $(y=1, 2, \dots, s ; p=1, 2, \dots, n)$
- $t_{yj_{\sigma(p)}}^i$: 未排序之工件 i 若為加工優序第 p 個工件時，於階段 y 之實際最早開始加工的時間。 $(y=1, 2, \dots, s ; i \in s_{(p-1)} ; p=1, 2, \dots, n)$
- $T_{yj_{\sigma(p)}}^i$: 未排序之工件 i 若為加工優序第 p 個工件時，於階段 y 之實際開始加工時間。 $(y=1, 2, \dots, s ; i \in s_{(p-1)} ; p=1, 2, \dots, n)$
- 排程完工時間 = 階段 s 各機台完工時間最大值。
- d :
 $d = \max\{a_{s1j_{\sigma(p+1)}}, a_{s2j_{\sigma(p+1)}}, \dots, a_{sm_sj_{\sigma(p+1)}}\}$

- w_q : 第 q 個閒置區段權重。 $(q=1,2,\dots,s-1)$
- $C_{j_{\sigma(p)}}^i$: 未排序之工件 i 若為加工優序第 p 個工件之衡量準則。 $(i \in S_{(p)})$
- $ST_{\sigma_k}^i$: 第 k 次迭代的解中，工件 i 的開始加工時間。
- $FT_{\sigma_k}^i$: 第 k 次迭代的解中，工件 i 的完成加工時間。
- $I_{\sigma_k}^i$: 第 k 次迭代的解中，工件 i 於階段一的閒置時間。
($i=1,2,\dots,n-1$)

3.3 問題特性

3.3.1 問題複雜度

本研究是 NWF 排程問題與平行機台的延伸。Rock[21]已證明 NWF 排程問題在二階以上之複雜度為 NP-hard；平行機台排程問題亦為 NP-hard[16]。並且 Liu[17]指出在兩階段的 NWF 排程問題中，其中一階段具有平行機台的排程問題為 NP-hard。因此，本研究的階段數增加，更具一般性，所以複雜度亦屬於 NP-hard。

一般 NWF 排程問題，每階段皆為單一機台，沒有選擇機台加工的問題，而在本研究之 NWF-P 問題中，階段中有單一或是多部平行機台的情形，工件要在有平行機台的階段中挑選一部機台加工，選擇不同加工機台會造成不同的排程結果，因此挑選機台變得很重要，而階段機台數與挑選機台的變化提高了工件在各機台起始時間與結束時間，增加問題的複雜度與困難度。

3.3.2 解的表達方式

本研究所求得的工件加工優序，以 J_{σ_k} 表示， $J_{\sigma_k} = \{j_{\sigma_k(1)}, j_{\sigma_k(2)}, \dots, j_{\sigma_k(n)}\}$ 。其中 J_{σ_k} 表示 TS 演算法中第 k 次迭代所得到的解，稱為工作序列 k 。當 $k=0$ ，則 J_{σ_0} 表示起始序列，即為起始解所排出的加工優序序列。而 $j_{\sigma_k(i)}$ 則表示 J_{σ_k} 中，加工優序為第 i 個的工件。

3.4 禁忌搜尋法

本研究採用禁忌搜尋法(Tabu Search ; TS)來解決 NWF-P 排程問題。禁忌搜尋法是一種解決組合最佳化問題的鄰近搜尋法，是由目前解在鄰域進行搜尋，利用記憶架構，將搜尋過的解紀錄在禁忌名單中，以避免重複性的搜尋，使搜尋效率提高。等到搜尋完整個鄰域後，選擇一個最佳方式逐漸逼近最佳解。禁忌搜尋法由四個主要部份組成：

- (1). 起始解
- (2). 鄰近解
- (3). 禁忌列表
- (4). 終止條件

本研究提出三個禁忌搜尋法，分別命名為 TS1、TS2 與 TS3，並以四階段為例，說明演算法的概念、執行與評估。三個演算法相異部分在「鄰近解的搜尋方式」。以下針對禁忌搜尋法的四大部分說明本研究所提出的演算法。

3.4.1 起始解

本章節依序介紹起始解演算法之設計概念、執行步驟與範例說明。以下舉例說明起始解設計概念，假設生產線有 4 個工件，依序在 4 部機台上加工，而每階段各有二部平行機台，各工件加工時間如表 3.1：

表 3.1 NWF-P 工件加工時間(分)-2

加工 時間 工件	機台			
	M_1	M_2	M_3	M_4
J_1	5	7	4	5
J_2	8	3	6	3
J_3	7	9	6	4
J_4	4	8	8	7

3.4.1.1 起始解演算法之設計概念

好的起始解能讓演算法更快速的搜尋到最佳解，不僅能縮短演算法的計算時間，更能提高解的品質。起始解的設計概念來自 Liu[24]的 MDA 演算法，MDA 僅使用於兩階段的 NWF-P 情形，本研究將其概念延伸至多階段 NWF-P 問題中，並提出兩種起始解演算法，分別稱為 Revised MDA1 與 Revised MDA2。Revised MDA1 是以各階段「理想加工時間差距」為考量依據、Revised MDA2 則是以各階段「閒置時間」為考量依據，以下詳細介紹起始解演算法之構想：

A. Revised MDA1

Revised MDA1 是找出每階段最早開始加工時間間隔，讓工件的加工時間能盡量填滿此間隔時間，如圖 3.2 所示，以達到縮短投料間隔時間為目的。在此研究中將工件在各階段的加工時間與該階段最早可開始加工時間間隔之差距，稱為「理想加工時間差距」，而理想加工時間差距所處位置對總排程時間的影響程度不同，越後面階段的影響越重要，因此本研究對各階段的理想加工時間差距給予不同的權重，將工件在各階段所得到的理想加工時間差距乘上對應權重相加後，以準則最小值的工件為下一個排序之工件。

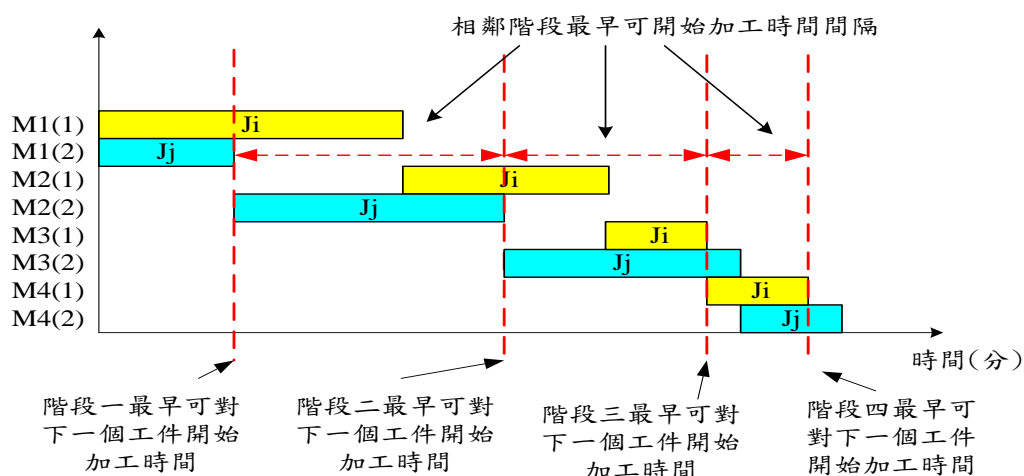


圖 3.2 各階段最早開始加工時間間隔示意圖

(1) 定義不同階段的理想加工時間差距權重：

理想加工時間差距所處位置對總排程時間的影響程度不同，越後面階段的影響越重要，因此本研究對不同階段所產生的理想加工時間差距給予不同的權重，定義階段 q 之理想加工時間差距權重如式子(1)所示：

$$w_q = \frac{q}{1+2+\dots+(s-1)} \quad q=1,2,\dots,s-1 \quad (1)$$

因此在本例中， $w_1 = 0.17$ ， $w_2 = 0.33$ ， $w_3 = 0.5$ 。

(2) 定義各階段對第 p 個加工優序工件最早可開始加工時間：

在排入工件前，必須要找出各階段中各機台開始加工的時間，以決定第 p 個加工優序工件的投料時間。定義 $a_{yhj\sigma(p)}$ 為階段 y 中第 h 部機台可對第 p 個加工優序工件開始加工的時間。 $a_{yhj\sigma(p)}$ ， $h=1,2,\dots,m_y$ 之最小值即為第 y 階段對第 p 個加工優序工件最早可開始加工的時間，如式子(2)所示：

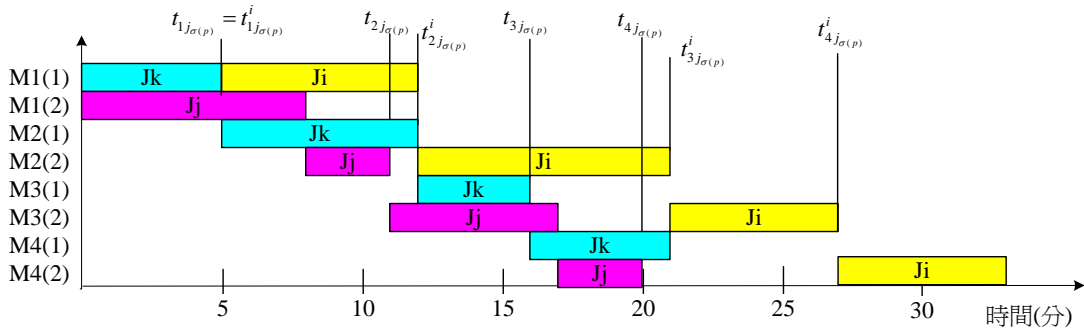
$$t_{y\dot{i}(p)} = \min_h \{ a_{yhj\sigma(p)} \} \quad (2)$$

(3) 未排序之工件 i 若為加工優序第 p 個工件時，於各階段之最早開始加工的時間：

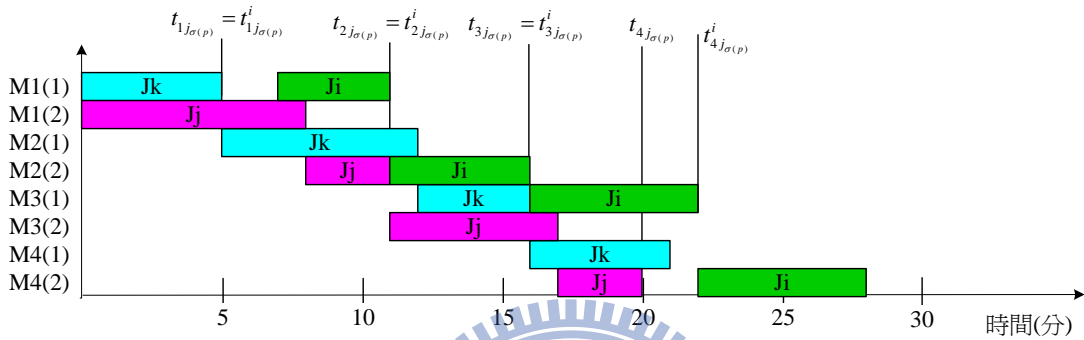
找出各階段最早可開始加工時間後，因為工件最早開始加工時間會受到前階段加工時間的影響，因此在式子(2)中各階段的最早開始加工時間不一定等於工件在各階段實際最早可開始加工時間，因此定義 $t_{yj\sigma(p)}^i$ ，記錄未排序之工件 i 若為加工優序第 p 個工件時，於階段 y 的完工時間(即 $y+1$ 階段實際最早開始加工的時間)。首先定義工件 i 在階段一實際最早開始加工時間為式子(2)所定義的時間，時間如式子(3)；之後各階段的實際最早開始加工時間為前一階段實際最早開始加工時間與此階段作業時間之和，與此階段最早可開始加工時間取最大值，即為此階段之實際最早開始加工時間，如式子(4)、圖 3.3 所示。

$$t_{1j\sigma(p)}^i = t_{1j\sigma(p)} \quad (3)$$

$$t_{yj\sigma(p)}^i = \max \{ t_{y-1j\sigma(p)}^i + p_{iy}, t_{yj\sigma(p)} \} \quad y = 2,3,4 \quad (4)$$



$$a. \quad t_{1j\sigma(p)}^i + p_{i1} \geq t_{2j\sigma(p)}^i$$



$$b. \quad t_{1j\sigma(p)}^i + p_{i1} < t_{2j\sigma(p)}^i$$

圖 3.3 Revised MDA1 示意圖

(4) 計算工件在各階段的理想加工時間差距：

以表 3.1 為例說明：

在排程之初，所有階段的最早開始時間均為 0 ($t_{1j\sigma(1)}=0$ 、 $t_{2j\sigma(1)}=0$ 、 $t_{3j\sigma(1)}=0$ 、 $t_{4j\sigma(1)}=0$)，若 J_1 為加工優序第一個工件，造成階段二差距時間為 5 分鐘，階段三差距時間為 12 分鐘，階段四差距時間為 16 分鐘，如圖 3.4；若 J_2 為加工優序第一個工件，造成階段二差距時間為 8 分鐘，階段三差距時間為 11 分鐘，階段四差距時間為 17 分鐘，如圖 3.5；若 J_3 為加工優序第一個工件，造成階段二差距時間為 7 分鐘，階段三差距時間為 18 分鐘，階段四差距時間為 24 分鐘，如圖 3.6；若 J_4 為加工優序第一個工件，造成階段二差距時間為 4 分鐘，階段三差距時間為 12 分鐘，階段四差距時間為 20 分鐘，如圖 3.7。因此計算階段 y 差距時間為 $|t_{y+1j\sigma(p)} - (t_{yj\sigma(p)}^i + p_{iy})|$ 。

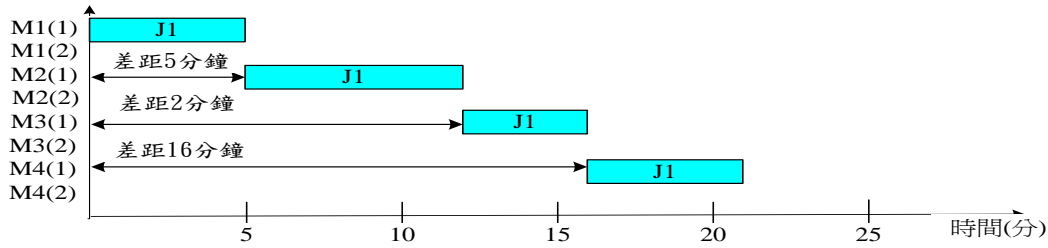


圖 3.4 J_1 為第一個加工優序工件示意圖

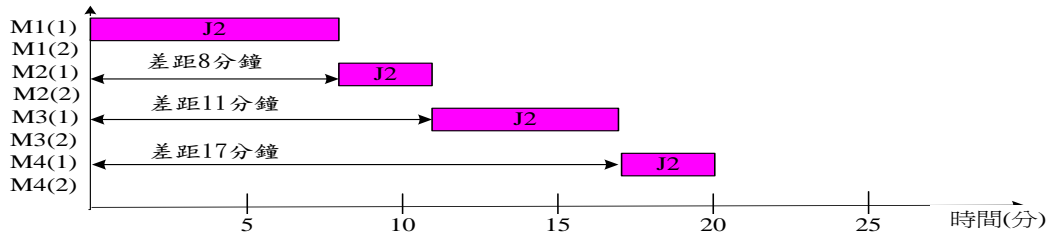


圖 3.5 J_2 為第一個加工優序工件示意圖

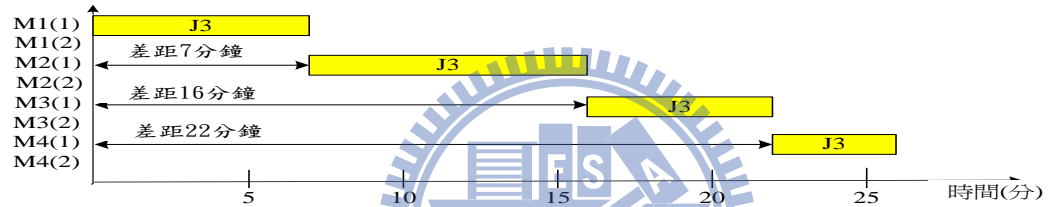


圖 3.6 J_3 為第一個加工優序工件示意圖

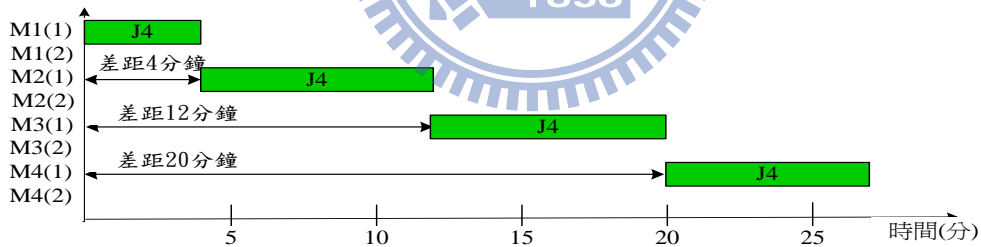


圖 3.7 J_4 為第一個加工優序工件示意圖

(5) 選擇第 p 個加工優序工件的準則：

將工件在各階段理想加工時間差距的權重相加後，以衡量準則 $(C_{j\sigma(p)}^i)$ 最小值的

工件為下一個排序的工件，在此四階段的例子中，定義工件之衡量準則 $C_{j\sigma(p)}^i$ 為：

$$C_{j\sigma(p)}^i = \sum_{y=1}^3 \left| t_{y+1j\sigma(p)} - (t_{yj\sigma(p)}^i + p_{iy}) \right| \times w_y \quad (5)$$

本研究要探討多階段平行機台排程問題，因此具有 s 階段之工件衡量準則

$C_{j\sigma(p)}^i$, $i \in s_{(p-1)}$, $p=1,2,\dots,n$ 為：

$$C_{j\sigma(p)}^i = \sum_{y=1}^{s-1} |t_{y+1j\sigma(p)} - (t_{yj\sigma(p)}^i + p_{iy})| \times w_y \quad (6)$$

其中， $t_{1j\sigma(p)}^i = t_{1j\sigma(p)}$ (3)

$$t_{yj\sigma(p)}^i = \max\{t_{y-1j\sigma(p)}^i + p_{iy}, t_{yj\sigma(p)}\} \quad y=2,3,\dots,s \quad (4)$$

B. Revised MDA2

Revised MDA2 是考慮階段中所有機台的閒置時間，讓工件的加工時間能盡量填滿機台的閒置時間，以達到縮短投料間隔時間為目的。將工件在各階段所得到的閒置時間相加後，以準則最小值的工件為下一個排序之工件。

概念同 Revised MDA1 之(2)、(3)、(4)，並計算各階段實際開始加工時間，如式子(7)、(8)，圖 3.8 所示，紀錄階段一延遲投料的時間點，並更新其餘階段實際開始加工時間點。

$$T_{1\sigma(p)}^i = t_1^i + \sum_{y=2}^s |Min(t_{y-1j\sigma(p)}^i + p_{iy-1} - t_{yj\sigma(p)}, 0)| \quad (7)$$

$$T_{y\sigma(p)}^i = T_{y-1\sigma(p)}^i + p_{ij} \quad y=2,3,\dots,s \quad (8)$$

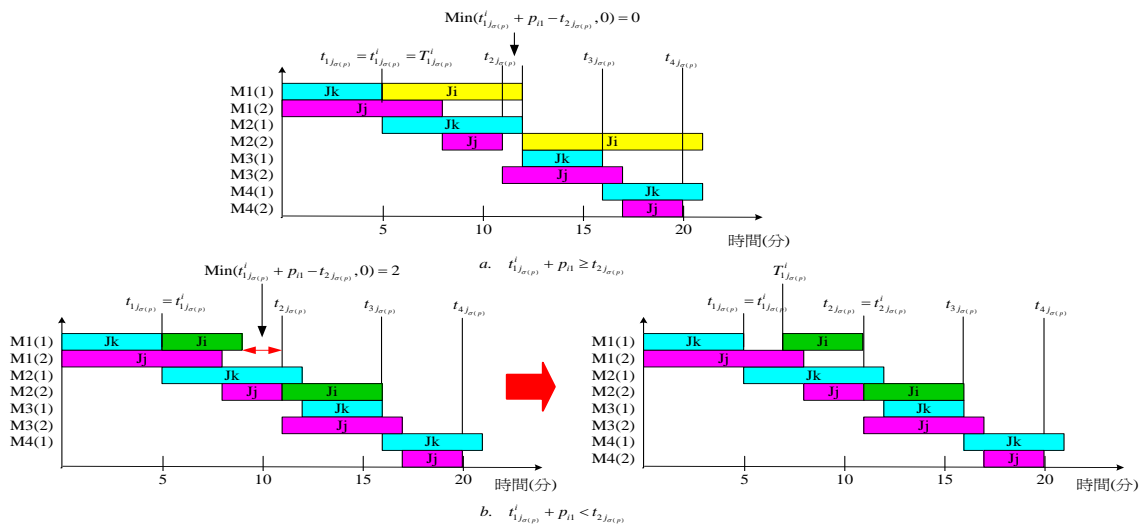


圖 3.8 Revised MDA2 示意圖

挑選選擇第 p 個加工優序工件的準則為：

將工件在各階段閒置時間相加後，以衡量準則($C_{j_{\sigma(p)}}^i$)最小值的工件為下一個排序的工件，因此具有 s 階段之工件衡量準則 $C_{j_{\sigma(p)}}^i$ ， $i \in s_{(p-1)}$ ， $p=1,2,\dots,n$ 為：

$$C_{j_{\sigma(p)}}^i = \sum_{y=1}^{s-1} (T_{yj_{\sigma(p)}}^i - t_{yj_{\sigma(p)}}) \quad (9)$$

3.4.1.2 起始解演算法之執行步驟

A. Revised MDA1

Revised MDA1 的步驟如下、流程如圖 3.9。

Revised MDA1 執行步驟：

初始化：在排程之初，所有機台的最早開始加工時間均為 0 ($a_{ym_y j_{\sigma(p)}} = 0$)、已排定之

加工優序 $J_{\sigma} = \phi$ 、 $p=0$ ，因此剩餘待排工件之集合為 $s_{(0)} = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ 。

步驟 1：加工優序第一個($p=1$)工件 $j_{\sigma(1)}$ 在各階段機台可開始加工時間均為 0，並根據公式(1)，計算權重。

步驟 2：根據公式(2)，找出各階段最早可開始加工的時間。

步驟 3：根據公式(4)、(6)，找出各階段實際最早開始加工時間並計算未排序之工件 i 之衡量準則 $C_{j_{\sigma(p)}}^i$ 。從中找出 $C_{j_{\sigma(p)}}^i$ 值最小的工件，指定其為下一個投料的工件。並選取各階段中最早可開始加工的機台。並更新加工優序與剩餘待排工件之集合。

步驟 4：考慮 No-Wait 的限制，重新計算加工優序下一個($p=p+1$)工件，在各階段機台可開始加工時間。

步驟 5：判斷所有工件是否都已排入加工優序中($s_{(p)} = \phi$)。若尚有未排入加工優序的工件($s_{(p)} \neq \phi$)，則回到步驟 2；若所有工件都已排入加工優序中，則進入到下一個步驟。

步驟 6：總排程時間為 $d = \max\{a_{s1j_{\sigma(p)}}, a_{s2j_{\sigma(p)}}, \dots, a_{sm_sj_{\sigma(p)}}\}$ 。



圖 3.9 Modified MDA1 流程圖

B. Revised MDA2

Revised MDA2 的步驟如下、流程如圖 3.10。

Revised MDA2 執行步驟：

初始化：在排程之初，所有機台的最早開始加工時間均為 0 ($a_{ym_yj_{\sigma(p)}} = 0$)、已排定之

加工優序 $J_{\sigma} = \phi$ 、 $p = 0$ ，因此剩餘待排工件之集合為 $s_{(0)} = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ 。

步驟 1：加工優序第一個 ($p=1$) 工件 $j_{\sigma(1)}$ 在各階段機台可開始加工時間均為 0。

步驟 2：根據公式(2)，找出各階段最早可開始加工的時間。

步驟 3：根據公式(4)、(7)、(8)、(9)，找出各階段實際最早開始加工時間與各階段實

際開始加工時間點並計算未排序之工件 i 之衡量準則 $C_{j_{\sigma(p)}}^i$ 。從中找出 $C_{j_{\sigma(p)}}^i$ 值最小的工件，指定其為下一個投料的工件。並選取各階段中最早可開始加工的機台。並更新加工優序與剩餘待排工件之集合。

步驟 4：考慮 No-Wait 的限制，重新計算加工優序下一個 ($p=p+1$) 工件，在各階段機台可開始加工時間。

步驟 5：判斷所有工件是否都已排入加工優序中 ($s_{(p)} = \phi$)。若尚有未排入加工優序的工件 ($s_{(p)} \neq \phi$)，則回到步驟 2；若所有工件都已排入加工優序中，則進入到下一個步驟。

步驟 6：總排程時間為 $d = \max\{a_{s_1 j_{\sigma(p)}}, a_{s_2 j_{\sigma(p)}}, \dots, a_{s_{m_s} j_{\sigma(p)}}\}$ 。

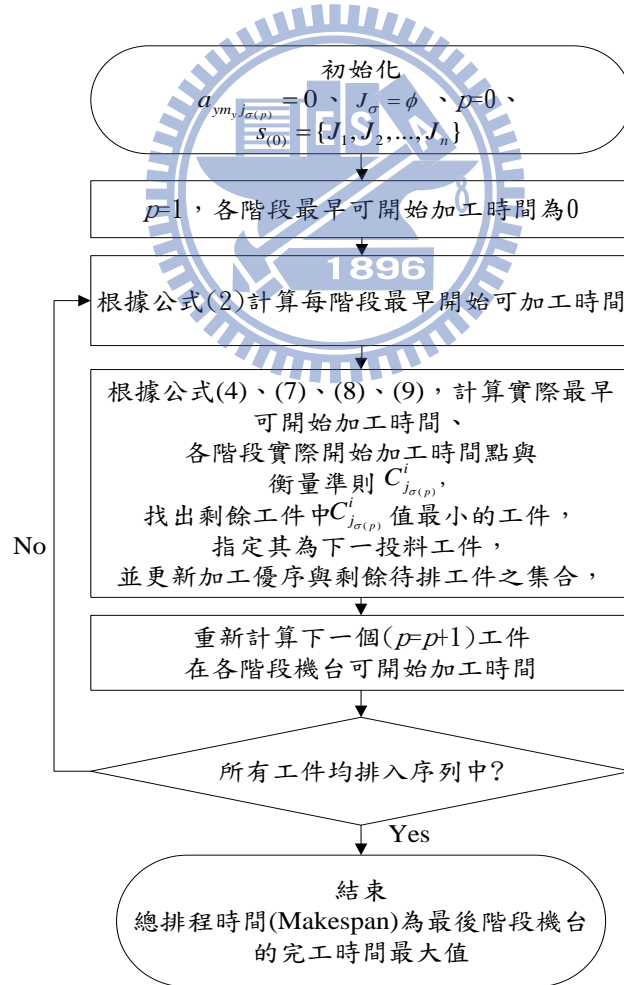


圖 3. 10 Modified MDA2 流程圖

3.4.1.3 範例說明

以下舉例說明兩種起始解演算方法，假設有四個工件需要加工，每個工件都需要經過四個階段，階段一有 3 部平行機台，階段二、階段三與階段四各有 2 部機台，各工件加工時間如表 3.2：

表 3.2 NWF-P 工件加工時間(分)-3

加工 時間 工件	機台			
	M_1	M_2	M_3	M_4
J_1	2	4	6	2
J_2	9	4	2	2
J_3	3	9	3	3
J_4	5	7	3	3

A. Revised MDA1

(I) 選取優序 1 的工件 ($j_{\sigma(1)}$)

初始化. 在排程之初，所有機台的最早開始加工時間均為 0、已排定之加工優序

$$J_{\sigma} = \phi, p=0, \text{ 因此剩餘待排工件之集合為 } s_{(0)} = \{J_1, J_2, J_3, J_4\}。$$

步驟 1. 加工優序第一個($p=1$)工件 $j_{\sigma(1)}$ 在各階段機台可開始加工時間均為 0，並根據

$$\begin{aligned} \text{公式(1), 計算權重, 則 } a_{11j_{\sigma(1)}} = 0, a_{12j_{\sigma(1)}} = 0, a_{13j_{\sigma(1)}} = 0, a_{21j_{\sigma(1)}} = 0, \\ a_{22j_{\sigma(1)}} = 0, a_{31j_{\sigma(1)}} = 0, a_{32j_{\sigma(1)}} = 0, a_{41j_{\sigma(1)}} = 0, a_{42j_{\sigma(1)}} = 0, w_1 = 0.17, \\ w_2 = 0.33, w_3 = 0.5。 \end{aligned}$$

步驟 2. 根據公式(2)計算各階段最早可開始加工時間，則 $t_{1j_{\sigma(1)}} = 0, t_{2j_{\sigma(1)}} = 0,$

$$t_{2j_{\sigma(1)}} = 0, t_{4j_{\sigma(1)}} = 0。$$

步驟 3. 根據公式(4)、(6)找出各階段實際最早開始加工時間並計算 $C_{j_{\sigma(1)}}^i$ 。以 J_1 為例，

計算 $C_{j_{\sigma(1)}}^1$ 的步驟如下：找出各階段實際最早開始加工時間 $t_{1j_{\sigma(1)}}^1 = 0$ ，
 $t_{2j_{\sigma(1)}}^1 = 2$ ， $t_{3j_{\sigma(1)}}^1 = 6$ ，則 $C_{j_{\sigma(1)}}^1 = |0-(0+2)|*0.17+|0-(2+4)|*0.33+|0-(6+6)|*0.5=8.32$ 。依此類推，
 工件 J_2 在各階段實際最早加工時間， $t_{1j_{\sigma(1)}}^2 = 0$ ， $t_{2j_{\sigma(1)}}^2 = 9$ ， $t_{3j_{\sigma(1)}}^2 = 13$ ，則
 $C_{j_{\sigma(1)}}^2 = |0-(0+9)|*0.17+|0-(9+4)|*0.33+|0-(13+2)|*0.5=13.32$ 。工件 J_3 在各階段實際最早加工
 時間， $t_{1j_{\sigma(1)}}^3 = 0$ ， $t_{2j_{\sigma(1)}}^3 = 3$ ， $t_{3j_{\sigma(1)}}^3 = 12$ ，則 $C_{j_{\sigma(1)}}^3 = |0-(0+3)|*0.17+|0-(3+9)|*0.33+|0-(12+3)|*0.5=11.97$ 。
 工件 J_4 在各階段實際最早加工時間， $t_{1j_{\sigma(1)}}^4 = 0$ ， $t_{2j_{\sigma(1)}}^4 = 5$ ， $t_{3j_{\sigma(1)}}^4 = 12$ ，則
 $C_{j_{\sigma(1)}}^4 = |0-(0+5)|*0.17+|0-(5+7)|*0.33+|0-(12+3)|*0.5=12.31$ 。

因此選取 $C_{j_{\sigma(1)}}^i$ 值最小的工件 J_1 為加工優序第一個工件。並指定工件 J_1 在階
 段一以 $M_{1(1)}$ 進行加工，階段二以 $M_{2(1)}$ 進行加工，階段三以 $M_{3(1)}$ 進行加工，
 階段四以 $M_{4(1)}$ 進行加工。更新加工優序為 $J_{\sigma} = \{J_1\}$ 與剩餘待排工件之集合為
 $S_{(1)} = \{J_2, J_3, J_4\}$ 。

步驟 4. 考慮 No-Wait 限制，重新計算下一個加工優序工件在所有機台可開始加工時
 間， $a_{11j_{\sigma(2)}} = 2$ ， $a_{12j_{\sigma(2)}} = 0$ ， $a_{13j_{\sigma(2)}} = 0$ ， $a_{21j_{\sigma(2)}} = 6$ ， $a_{22j_{\sigma(2)}} = 0$ ， $a_{31j_{\sigma(2)}} = 12$ ，
 $a_{32j_{\sigma(2)}} = 0$ ， $a_{41j_{\sigma(2)}} = 14$ ， $a_{42j_{\sigma(2)}} = 0$ 。

步驟 5. 尚有工件未排入加工優序列中，回到步驟 2 選取加工優序第二個工件。

(II) 選取優序 2 的工件 ($J_{\sigma(2)}$)

步驟 2. 根據公式(2)計算各階段最早可開始加工時間，則 $t_{1j_{\sigma(2)}} = 0$ ， $t_{2j_{\sigma(2)}} = 0$ ，

$$t_{3j_{\sigma(2)}} = 0，t_{4j_{\sigma(2)}} = 0。$$

步驟 3. 根據公式(4)、(6)找出各階段實際最早開始加工時間並計算 $C_{j_{\sigma(2)}}^i$ 。以 J_2 為

例，計算 $C_{j_{\sigma(2)}}^2$ 的步驟如下：找出各階段實際最早開始加工時間 $t_{1j_{\sigma(2)}}^2 = 0$ ，

$$t_{2j_{\sigma(2)}}^2 = 9, t_{3j_{\sigma(2)}}^2 = 13, \text{ 則 } C_{j_{\sigma(2)}}^2 = |0-(0+9)|*0.17+|0-(9+4)|*0.33+|0-(13+2)|*0.5=13.32。依此$$

類推，工件 J_3 在各階段實際最早加工時間， $t_{1j_{\sigma(2)}}^3 = 0$ ， $t_{2j_{\sigma(2)}}^3 = 3$ ， $t_{3j_{\sigma(2)}}^3 = 12$ ，則

$$C_{j_{\sigma(2)}}^3 = |0-(0+3)|*0.17+|0-(3+9)|*0.33+|0-(12+3)|*0.5=11.97。工件在各階段實際最早加工時$$

$$\text{間，} t_{1j_{\sigma(2)}}^4 = 0, t_{2j_{\sigma(2)}}^4 = 5, t_{3j_{\sigma(2)}}^4 = 12, \text{ 則 } C_{j_{\sigma(2)}}^4 = |0-(0+5)|*0.17+|0-(5+7)|*0.33+|0-(12+3)|*0.5=12.31。$$

因此選取 $C_{j_{\sigma(2)}}^i$ 值最小的工件 J_3 為加工優序第二個工件。並指定工件 J_3 在階段

一以 $M_{1(2)}$ 進行加工，階段二以 $M_{2(2)}$ ，階段三以 $M_{3(2)}$ ，階段四以 $M_{4(2)}$ 進行

加工。更新加工優序為 $J_{\sigma} = \{J_1, J_3\}$ 與剩餘待排工件之集合為 $S_{(2)} = \{J_2, J_4\}$ 。

步驟 4. 考慮 No-Wait 限制，重新計算下一個加工優序工件在所有機台可開始加工時

$$\text{間，} a_{11j_{\sigma(3)}} = 2, a_{12j_{\sigma(3)}} = 3, a_{13j_{\sigma(3)}} = 0, a_{21j_{\sigma(3)}} = 6, a_{22j_{\sigma(3)}} = 12, a_{31j_{\sigma(3)}} = 12,$$

$$a_{32j_{\sigma(3)}} = 15, a_{41j_{\sigma(3)}} = 14, a_{42j_{\sigma(3)}} = 18。$$

步驟 5. 尚有工件未排入加工優序中，回到步驟 2 選取加工優序第三個工件。

(III)選取優序 3 的工件 ($J_{\sigma(3)}$)

步驟 2. 根據公式(2)計算各階段最早可開始加工時間，則 $t_{1j_{\sigma(3)}} = 0$ ， $t_{2j_{\sigma(3)}} = 6$ ，

$$t_{3j_{\sigma(3)}} = 12, t_{4j_{\sigma(3)}} = 14。$$

步驟 3. 根據公式(4)、(6)找出各階段實際最早開始加工時間並計算 $C_{j_{\sigma(3)}}^i$ 。以 J_2 為例，

計算 $C_{j_{\sigma(3)}}^2$ 的步驟如下：找出各階段實際最早開始加工時間 $t_{1j_{\sigma(3)}}^2 = 0$ ，

$$t_{2j_{\sigma(3)}}^2 = 9, t_{3j_{\sigma(3)}}^2 = 13, \text{ 則 } C_{j_{\sigma(3)}}^2 = |0-(0+9)|*0.17+|0-(9+4)|*0.33+|0-(13+2)|*0.5=13.32。$$

依此類推，工件 J_4 在各階段實際最早加工時間， $t_{1j_{\sigma(3)}}^4 = 0$ ， $t_{2j_{\sigma(3)}}^4 = 6$ ，

$$t_{3j_{\sigma(3)}}^4 = 13, \text{ 則 } C_{j_{\sigma(3)}}^4 = |6-(0+5)|*0.17+|12-(6+7)|*0.33+|14-(13+3)|*0.5=1.5。$$

因此選取 $C_{j_{\sigma(3)}}^i$ 值最小的工件 J_2 為加工優序第三個工件。並指定工件 J_2 在階段一以 $M_{1(3)}$ 進行加工，階段二以 $M_{2(1)}$ 進行加工，階段三以 $M_{3(1)}$ 進行加工，階段四以 $M_{4(1)}$ 進行加工。更新加工優序為 $J_{\sigma} = \{J_1, J_3, J_2\}$ 與剩餘待排工件之集合為 $S_{(3)} = \{J_4\}$ 。

步驟 4. 考慮 No-Wait 限制，重新計算下一個加工優序工件在所有機台可開始加工時間， $a_{11j_{\sigma(4)}} = 2$ ， $a_{12j_{\sigma(4)}} = 3$ ， $a_{13j_{\sigma(4)}} = 9$ ， $a_{21j_{\sigma(4)}} = 13$ ， $a_{22j_{\sigma(4)}} = 12$ ， $a_{31j_{\sigma(4)}} = 15$ ， $a_{32j_{\sigma(4)}} = 15$ ， $a_{41j_{\sigma(4)}} = 17$ ， $a_{42j_{\sigma(4)}} = 18$ 。

步驟 5. 尚有工件未排入加工優序列中，回到步驟 2 選取加工優序第四個工件。

(II) 選取優序 4 的工件 ($J_{\sigma(4)}$)

步驟 2. 根據公式(2)計算各階段最早可開始加工時間，則 $t_{1j_{\sigma(4)}} = 2$ ， $t_{2j_{\sigma(4)}} = 12$ ， $t_{3j_{\sigma(4)}} = 15$ ， $t_{4j_{\sigma(4)}} = 17$ 。

步驟 3. 選取工件 J_4 為加工優序第四個工件。並指定工件 J_4 在階段一以 $M_{1(1)}$ 進行加工，階段二以 $M_{2(2)}$ 進行加工，階段三以 $M_{3(1)}$ 進行加工，階段四以 $M_{4(1)}$ 進行加工。更新加工優序為 $J_{\sigma} = \{J_1, J_3, J_2, J_4\}$ 與剩餘待排工件之集合為 $S_{(4)} = \phi$ 。

步驟 4. 考慮 No-Wait 限制，重新計算下一個加工優序工件在所有機台可開始加工時間， $a_{11j_{\sigma(5)}} = 12$ ， $a_{12j_{\sigma(5)}} = 3$ ， $a_{13j_{\sigma(5)}} = 9$ ， $a_{21j_{\sigma(5)}} = 13$ ， $a_{22j_{\sigma(5)}} = 19$ ， $a_{31j_{\sigma(5)}} = 22$ ， $a_{32j_{\sigma(5)}} = 15$ ， $a_{41j_{\sigma(5)}} = 25$ ， $a_{42j_{\sigma(5)}} = 18$ 。

步驟 5. 所有工件均已排入加工優序中，進入步驟 6。

步驟 6. 最後結果得到工件加工優序為 $J_{\sigma} = \{J_1, J_3, J_2, J_4\}$ ，得到此優序的總排程時間為 25 分鐘。其加工甘特圖如圖 3.11。

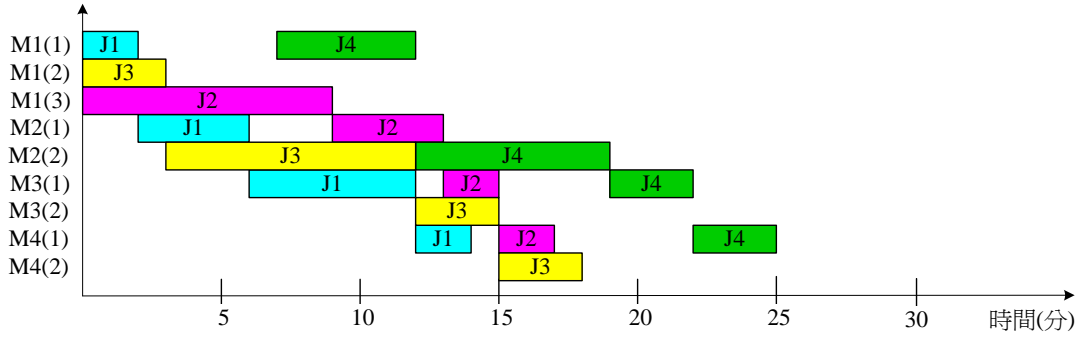


圖 3. 11 Revised MDA1 之加工甘特圖

B. Revised MDA2

(I) 選取優序 1 的工件 ($J_{\sigma(1)}$)

初始化. 在排程之初, 所有機台的最早開始加工時間均為 0、已排定之加工優序

$$J_{\sigma} = \phi, p = 0, \text{ 因此剩餘待排工件之集合為 } s_{(0)} = \{J_1, J_2, J_3, J_4\}。$$

步驟 1. 加工優序第一個 ($p=1$) 工件 $J_{\sigma(1)}$ 在各階段機台可開始加工時間均為 0, 則

$$a_{11j_{\sigma(1)}} = 0, a_{12j_{\sigma(1)}} = 0, a_{13j_{\sigma(1)}} = 0, a_{21j_{\sigma(1)}} = 0, a_{22j_{\sigma(1)}} = 0, a_{31j_{\sigma(1)}} = 0, \\ a_{32j_{\sigma(1)}} = 0, a_{41j_{\sigma(1)}} = 0, a_{42j_{\sigma(1)}} = 0。$$

步驟 2. 根據公式(2)計算各階段最早可開始加工時間, 則 $t_{1j_{\sigma(1)}} = 0, t_{2j_{\sigma(1)}} = 0,$

$$t_{2j_{\sigma(1)}} = 0, t_{4j_{\sigma(1)}} = 0。$$

步驟 3. 根據公式(4)、(7)、(8)、(9)找出各階段實際最早開始加工時間、各階段實際

開始加工時間並計算 $C_{j_{\sigma(1)}}^i$ 。以 J_1 為例, 計算 $C_{j_{\sigma(1)}}^1$ 的步驟如下: 找出各階段

實際開始加工時間 $T_{1j_{\sigma(1)}}^1 = 0, T_{2j_{\sigma(1)}}^1 = 2, T_{3j_{\sigma(1)}}^1 = 6, T_{4j_{\sigma(1)}}^1 = 12,$ 則

$C_{j_{\sigma(1)}}^1 = (0-0)+(2-0)+(6-0)+(12-0)=20$ 。依此類推, 工件 J_2 在各階段實際開始加工時間,

$T_{1j_{\sigma(1)}}^2 = 0, T_{2j_{\sigma(1)}}^2 = 9, T_{3j_{\sigma(1)}}^2 = 13, T_{4j_{\sigma(1)}}^2 = 15,$ 則 $C_{j_{\sigma(1)}}^2 = (0-0)+(9-0)+(13-0)+(15-0)=37$ 。

工件 J_3 在各階段實際開始加工時間, $T_{1j_{\sigma(1)}}^3 = 0, T_{2j_{\sigma(1)}}^3 = 3, T_{3j_{\sigma(1)}}^3 = 12, T_{4j_{\sigma(1)}}^3 = 15,$

則 $C_{j_{\sigma(1)}}^3 = (0-0)+(3-0)+(12-0)+(15-0)=30$ 。工件 J_4 在各階段實際開始加工時間，

$$T_{1j_{\sigma(1)}}^4 = 0, T_{2j_{\sigma(1)}}^4 = 5, T_{3j_{\sigma(1)}}^4 = 12, T_{4j_{\sigma(1)}}^4 = 15, \text{ 則 } C_{j_{\sigma(1)}}^4 = (0-0)+(5-0)+(12-0)+(15-0)=32。$$

因此選取 $C_{j_{\sigma(1)}}^i$ 值最小的工件 J_1 為加工優序第一個工件。並指定工件 J_1 在階

段一以 $M_{1(1)}$ 進行加工，階段二以 $M_{2(1)}$ 進行加工，階段三以 $M_{3(1)}$ 進行加工，

階段四以 $M_{4(1)}$ 進行加工。更新加工優序為 $J_{\sigma} = \{J_1\}$ 與剩餘待排工件之集合為

$$S_{(1)} = \{J_2, J_3, J_4\}。$$

步驟 4. 考慮 No-Wait 限制，重新計算下一個加工優序工件在所有機台可開始加工時

$$\text{間， } a_{11j_{\sigma(2)}} = 2, a_{12j_{\sigma(2)}} = 0, a_{13j_{\sigma(2)}} = 0, a_{21j_{\sigma(2)}} = 6, a_{22j_{\sigma(2)}} = 0, a_{31j_{\sigma(2)}} = 12,$$

$$a_{32j_{\sigma(2)}} = 0, a_{41j_{\sigma(2)}} = 14, a_{42j_{\sigma(2)}} = 0。$$

步驟 5. 尚有工件未排入加工優序列中，回到步驟 2 選取加工優序第二個工件。

(II) 選取優序 2 的工件 ($J_{\sigma(2)}$)

步驟 2. 根據公式(2)計算各階段最早可開始加工時間，則 $t_{1j_{\sigma(2)}} = 0, t_{2j_{\sigma(2)}} = 0,$

$$t_{3j_{\sigma(2)}} = 0, t_{4j_{\sigma(2)}} = 0。$$

步驟 3. 根據公式(4)、(7)、(8)、(9)找出各階段實際最早開始加工時間、各階段實際

開始加工時間並計算 $C_{j_{\sigma(2)}}^i$ 。以 J_2 為例，計算 $C_{j_{\sigma(2)}}^2$ 的步驟如下：找出各階段

實際開始加工時間， $T_{1j_{\sigma(2)}}^2 = 0, T_{2j_{\sigma(2)}}^2 = 9, T_{3j_{\sigma(2)}}^2 = 13, T_{4j_{\sigma(2)}}^2 = 15,$ 則

$C_{j_{\sigma(2)}}^2 = (0-0)+(9-0)+(13-0)+(15-0)=37$ 。工件 J_3 在各階段實際開始加工時間，

$T_{1j_{\sigma(2)}}^3 = 0, T_{2j_{\sigma(2)}}^3 = 3, T_{3j_{\sigma(2)}}^3 = 12, T_{4j_{\sigma(2)}}^3 = 15,$ 則 $C_{j_{\sigma(2)}}^3 = (0-0)+(3-0)+(12-0)+(15-0)=30$ 。工件 J_4

在各階段實際開始加工時間， $T_{1j_{\sigma(2)}}^4 = 0, T_{2j_{\sigma(2)}}^4 = 5, T_{3j_{\sigma(2)}}^4 = 12, T_{4j_{\sigma(2)}}^4 = 15,$

則 $C_{j_{\sigma(2)}}^4 = (0-0) + (5-0) + (12-0) + (15-0) = 32$ 。因此選取 $C_{j_{\sigma(2)}}^i$ 值最小的工件 J_3 為加工優序第二個工件。並指定工件 J_3 在階段一以 $M_{1(2)}$ 進行加工，階段二以 $M_{2(2)}$ ，階段三以 $M_{3(2)}$ ，階段四以 $M_{4(2)}$ 進行加工。更新加工優序為 $J_{\sigma} = \{J_1, J_3\}$ 與剩餘待排工件之集合為 $S_{(2)} = \{J_2, J_4\}$ 。

步驟 4. 考慮 No-Wait 限制，重新計算下一個加工優序工件在所有機台可開始加工時間， $a_{11j_{\sigma(3)}} = 2$ ， $a_{12j_{\sigma(3)}} = 3$ ， $a_{13j_{\sigma(3)}} = 0$ ， $a_{21j_{\sigma(3)}} = 6$ ， $a_{22j_{\sigma(3)}} = 12$ ， $a_{31j_{\sigma(3)}} = 12$ ， $a_{32j_{\sigma(3)}} = 15$ ， $a_{41j_{\sigma(3)}} = 14$ ， $a_{42j_{\sigma(3)}} = 18$ 。

步驟 5. 尚有工件未排入加工優序中，回到步驟 2 選取加工優序第三個工件。

(III) 選取優序 3 的工件 ($J_{\sigma(3)}$)

步驟 2. 根據公式(2)計算各階段最早可開始加工時間，則 $t_{1j_{\sigma(3)}} = 0$ ， $t_{2j_{\sigma(3)}} = 6$ ， $t_{3j_{\sigma(3)}} = 12$ ， $t_{4j_{\sigma(3)}} = 14$ 。

步驟 3. 根據公式(4)、(7)、(8)、(9)找出各階段實際最早開始加工時間、各階段實際開始加工時間並計算 $C_{j_{\sigma(3)}}^i$ 。工件 J_2 在各階段實際開始加工時間， $T_{1j_{\sigma(3)}}^2 = 0$ ， $T_{2j_{\sigma(3)}}^2 = 9$ ， $T_{3j_{\sigma(3)}}^2 = 13$ ， $T_{4j_{\sigma(3)}}^2 = 15$ ，則 $C_{j_{\sigma(3)}}^2 = (0-0) + (9-6) + (13-12) + (15-14) = 5$ 。工件 J_4 在各階段實際開始加工時間， $T_{1j_{\sigma(3)}}^4 = 1$ ， $T_{2j_{\sigma(3)}}^4 = 6$ ， $T_{3j_{\sigma(3)}}^4 = 13$ ， $T_{4j_{\sigma(3)}}^4 = 16$ ，則 $C_{j_{\sigma(3)}}^4 = (1-0) + (6-6) + (13-12) + (16-14) = 4$ 。因此選取 $C_{j_{\sigma(3)}}^i$ 值最小的工件 J_4 為加工優序第三個工件。並指定工件 J_4 在階段一以 $M_{1(3)}$ 進行加工，階段二以 $M_{2(1)}$ 進行加工，階段三以 $M_{3(1)}$ 進行加工，階段四以 $M_{4(1)}$ 進行加工。更新加工優序為 $J_{\sigma} = \{J_1, J_3, J_4\}$ 與剩餘待排工件之集合為 $S_{(3)} = \{J_2\}$ 。

步驟 4. 考慮 No-Wait 限制，重新計算下一個加工優序工件在所有機台可開始加工時間，

$$a_{11j_{\sigma(4)}} = 2, a_{12j_{\sigma(4)}} = 3, a_{13j_{\sigma(4)}} = 6, a_{21j_{\sigma(4)}} = 13, a_{22j_{\sigma(4)}} = 12, a_{31j_{\sigma(4)}} = 16, \\ a_{32j_{\sigma(4)}} = 15, a_{41j_{\sigma(4)}} = 19, a_{42j_{\sigma(4)}} = 18。$$

步驟 5. 尚有工件未排入加工優序列中，回到步驟 2 選取加工優序第四個工件。

(II)選取優序 4 的工件 ($j_{\sigma(4)}$)

步驟 2. 根據公式(2)計算各階段最早可開始加工時間，則 $t_{1j_{\sigma(4)}} = 2, t_{2j_{\sigma(4)}} = 12,$

$$t_{3j_{\sigma(4)}} = 15, t_{4j_{\sigma(4)}} = 18。$$

步驟 3. 選取工件 J_2 為加工優序第四個工件。並指定工件 J_2 在階段一以 $M_{1(1)}$ 進行加工，

階段二以 $M_{2(2)}$ 進行加工，階段三以 $M_{3(1)}$ 進行加工，階段四以 $M_{4(1)}$ 進行

加工。更新加工優序為 $J_{\sigma} = \{J_1, J_3, J_4, J_2\}$ 與剩餘待排工件之集合為 $S_{(4)} = \phi。$

步驟 4. 考慮 No-Wait 限制，重新計算下一個加工優序工件在所有機台可開始加工時間，

$$a_{11j_{\sigma(5)}} = 12, a_{12j_{\sigma(5)}} = 3, a_{13j_{\sigma(5)}} = 6, a_{21j_{\sigma(5)}} = 13, a_{22j_{\sigma(5)}} = 16, a_{31j_{\sigma(5)}} = 16, \\ a_{32j_{\sigma(5)}} = 18, a_{41j_{\sigma(5)}} = 19, a_{42j_{\sigma(5)}} = 20。$$

步驟 5. 所有工件均已排入加工優序中，進入步驟 6。

步驟 6. 最後結果得到工件加工優序為 $J_{\sigma} = \{J_1, J_3, J_4, J_2\}$ ，得到此優序的總排程時間為

20 分鐘。其加工甘特圖如圖 3.12。

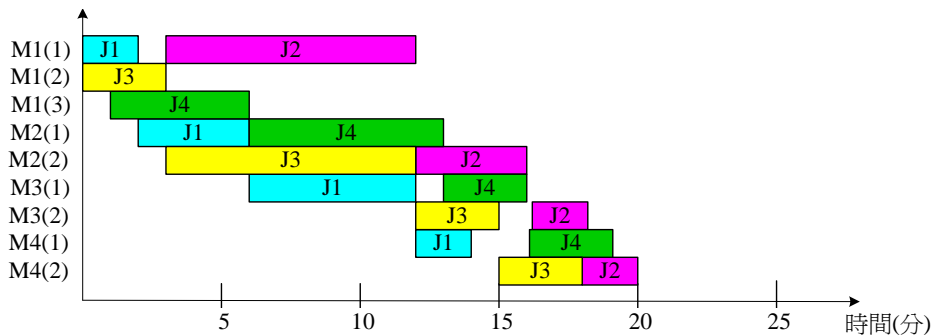


圖 3.12 Revised MDA2 之加工甘特圖

3.4.2 鄰近解

禁忌搜尋法在每次迭代過程中，都會搜尋數個現行解的鄰近解，作為移步的候選名單。本研究採用一般禁忌搜尋法中鄰近解的方法作為 TS1 的候選名單；因為每個工件第一個加工階段均為階段一，故針對階段一的閒置時間來著手，採用閒置時間方式尋求鄰近解，作為 TS2 的候選名單；此外，針對階段一平行機台挑選尋求鄰近解，做為 TS3 的候選名單。

3.4.2.1 TS1 的鄰近解搜尋法

TS1 所採用的鄰近解搜尋法分別為：(1)任意兩點交換法，(2)任意三點交換法，(3)任意四點交換法，(4)插入式變動法，(5)兩點間工作互換法。此五種鄰近解的搜尋方向說明如下：

(1). 任意兩點交換法

任意兩點交換法與之後的任意三點交換法和任意四點交換法，又稱為交換式變動法(Swap move)，其方法為任意選取現行解的兩個工件，並將此兩工件交換其優先順序來產生新的鄰近解。

舉例來說，假設原本的加工優序為 $\{J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, J_6, J_7, J_8\}$ ，隨機選取兩個工件 J_3 與 J_6 ，則將 J_3 與 J_6 交換，得到新的加工優序為 $\{J_1, J_2, J_6, J_4, J_5, J_3, J_7, J_8\}$ ，如圖 3.13：

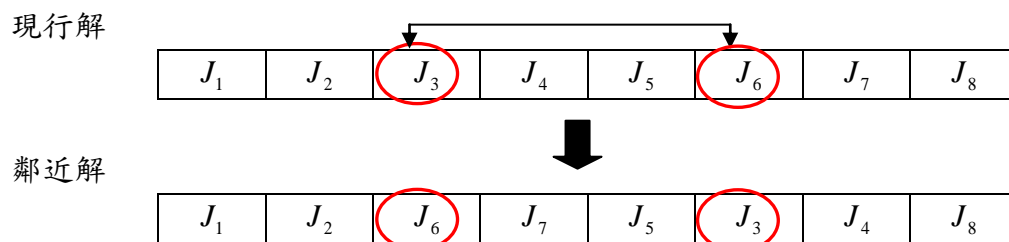


圖 3.13 任意兩點交換法移步後示意圖

(2).任意三點交換法

任意三點交換法為隨機選取三個工件，並互相交換其加工優序來產生新的鄰近解。

舉例來說，假設原本的加工優序為 $\{J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, J_6, J_7, J_8\}$ ，隨機選取三個工件 J_2 、 J_4 與 J_7 ，則將 J_2 移至 J_4 的排序位置，再將 J_4 移至 J_7 的排序位置，最後將 J_7 移至 J_2 原先排序位置，產生新的優先序列為 $\{J_1, J_7, J_3, J_2, J_5, J_6, J_4, J_8\}$ ，如圖 3.14：

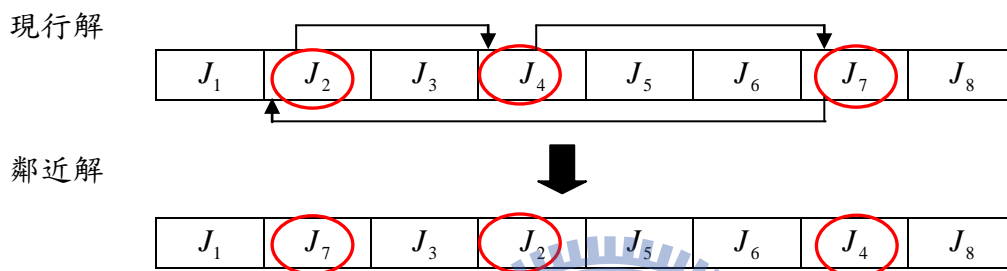


圖 3.14 任意三點交換法移步後示意圖

(3).任意四點交換法

任意四點交換法為隨機選取四個工件，並互相交換其優先順序來產生新的鄰近解。

舉例來說，假設原本的加工優序為 $\{J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, J_6, J_7, J_8\}$ ，隨機選取四個工件 J_1 、 J_4 、 J_5 與 J_8 ，則 J_1 移至 J_4 的排序位置，將 J_4 移至 J_5 的排序位置，再將 J_5 移至 J_8 的排序位置，最後將 J_8 移至 J_1 原先排序位置，產生新的優先序列為 $\{J_8, J_2, J_3, J_1, J_4, J_6, J_7, J_5\}$ ，如圖 3.15：

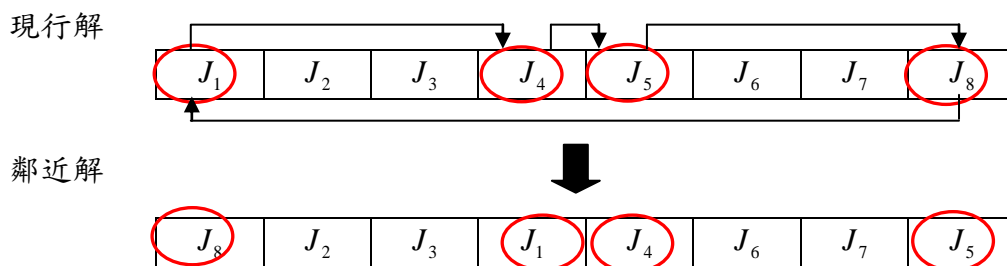


圖 3.15 任意四點交換法移步後示意圖

(4). 插入式變動法

插入式變動是從現行解中隨機選取二個不同的工件，並將此兩工件中排序較後面的工件移至排序較前的工件之前，得到一個新的鄰近解。

舉例來說，假設原本的加工優序為 $\{J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, J_6, J_7, J_8\}$ ，隨機選取兩個工件 J_3 與 J_7 ，接著將排序後面的 J_7 移至 J_3 前面，產生新的優先序列為 $\{J_1, J_2, J_7, J_3, J_4, J_5, J_6, J_8\}$ ，如圖 3.16：

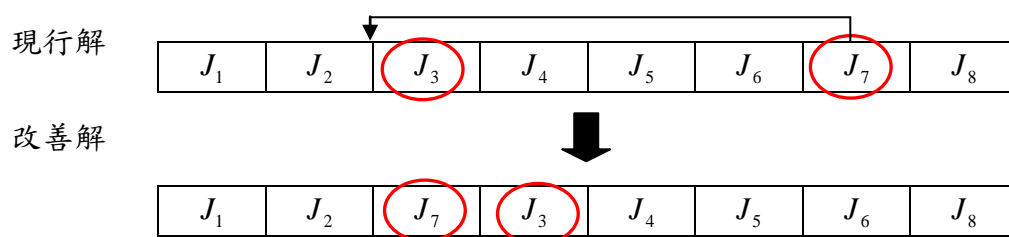


圖 3.16 插入式變動法移步後示意圖

(5). 兩點間工作互換法

選取任意兩個工件，將這兩工件之間的所有工件，優序顛倒產生新的鄰近解。

舉例來說，假設原本的加工優序為 $\{J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, J_6, J_7, J_8\}$ ，隨機選取兩個工件 J_3 與 J_7 ，則 J_3 與 J_7 兩工件之間的所有工件優序顛倒，產生新的優先序列為 $\{J_1, J_2, J_7, J_6, J_5, J_4, J_3, J_8\}$ ，如圖 3.17：

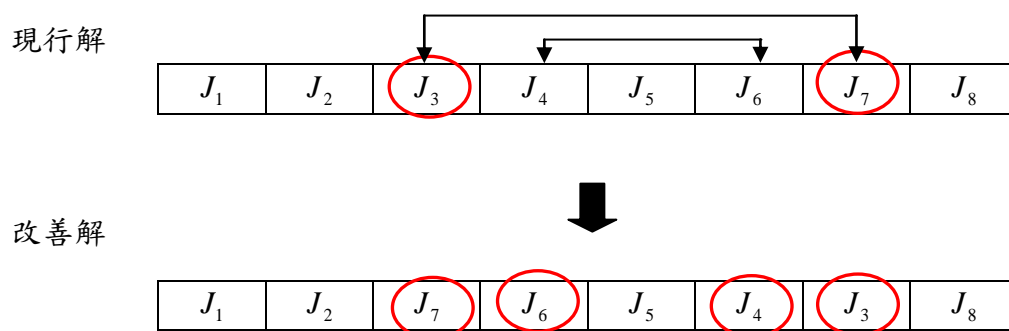


圖 3.17 兩點間工作互換法示意圖

3.4.2.2 TS2 的鄰近解搜尋法

TS2 針對階段一的閒置時間來著手，拆散閒置時間長的相鄰工件。TS2 使用與 TS1 相同的五種移步方法尋求鄰近解，不同處在於搜尋方向，以下就搜尋方向的概

念進行說明：

假設目前的加工優序為 J_{σ_k}

步驟 1：計算階段一所有機台上之工件閒置時間

$$I_{\sigma_k}^i = (ST_{\sigma_k}^x - FT_{\sigma_k}^z) + 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

其中 x 與 z 代表同部機台之前後相鄰工件。

步驟 2：由加工優序 J_{σ_k} 中依照不同移步方法所需抽取的數量，抽取閒置時間，並指

派到對應工件上。其中被抽取的機率為：

$$P_{\pi_{\sigma_k}}^i = \frac{I_{\sigma_k}^i}{\sum_{i=1}^n I_{\sigma_k}^i} \quad (11)$$

步驟 3：將抽取到的工件依照不同移步方法產生鄰近解。

以下就「任意兩點交換法」舉例說明：

以表 3.1 為例，起始解為已知 $\{J_1, J_3, J_2, J_4\}$ ，其對應的閒置時間表與甘特圖，如表 3.3 與圖 3.18。假設抽取到閒置時間 $I_{\sigma_k}^2$ 與 $I_{\sigma_k}^4$ ，得知抽取到的工件為 J_2 與 J_4 ，故以工件 J_2 與 J_4 做交換，得到鄰近解為 $\{J_1, J_3, J_4, J_2\}$ 。

表 3.3 閒置時間對應之工件抽取機率表

工件	$I_{\sigma_k}^i$	$P_{\pi_{\sigma_k}}^i$
J_1	$0-0+1=1$	$\frac{1}{1+1+1+6} = 0.11$
J_2	$0-0+1=1$	$\frac{1}{1+1+1+6} = 0.11$
J_3	$0-0+1=1$	$\frac{1}{1+1+1+6} = 0.11$
J_4	$7-2+1=6$	$\frac{6}{1+1+1+6} = 0.67$

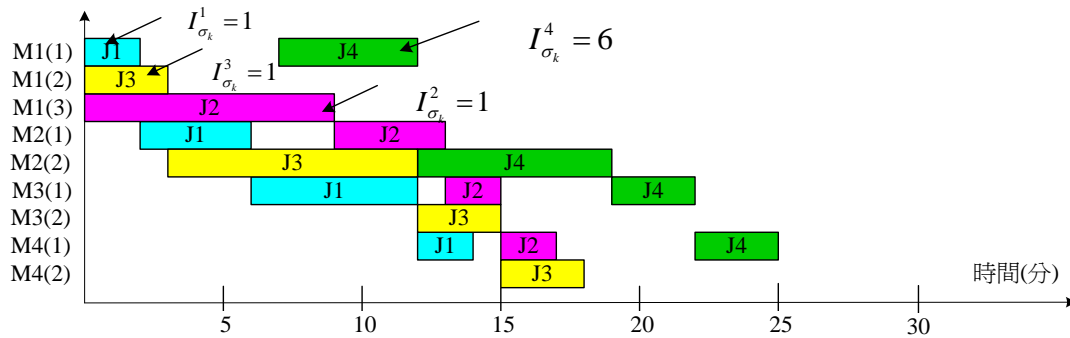


圖 3.18 工件之間置時間示意圖

3.4.2.3 TS3 的鄰近解搜尋法

TS3 針對階段一的平行機台來著手，由朱氏[25]提出。以四種搜尋方法產生鄰近解，此四種鄰近解的搜尋方向說明如下：

(1) 機台內工件互換法

在階段一的平行機台中，隨機挑選一部機台，並在此機台上任選兩個工件，將兩個工件位置進行交換。假如階段一有三部平行機台，現行解為 $\{J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, J_6, J_7\}$ ，其中 J_1, J_4, J_7 在 M1(1) 機台上加工， J_2, J_6 在 M1(2) 機台上加工， J_3, J_5, J_8 在 M1(3) 機台上加工，如圖 3.19 所示。首先隨機挑選一部平行機台，假設挑選 M1(3)，接著隨機選取 M1(3) 上之任兩工件 J_5 與 J_8 ，最後將 J_5 與 J_8 的位置互換，產生新的序列。

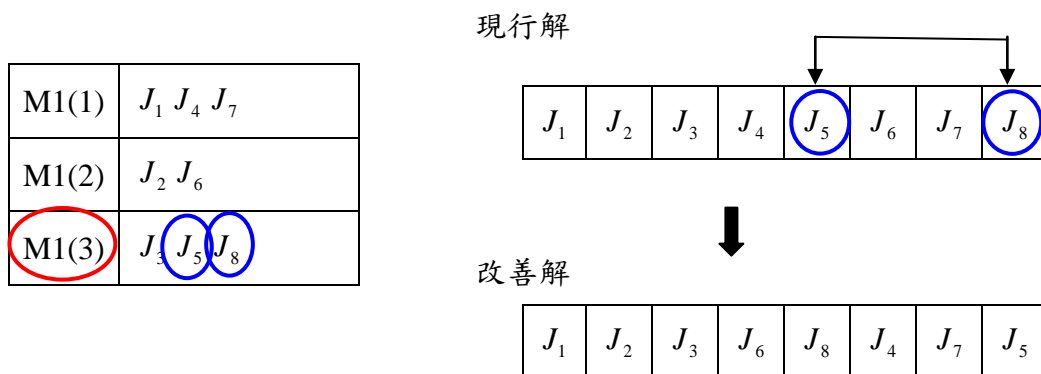


圖 3.19 機台內工件互換法示意圖

(2) 機台內工件插入法

在階段一的平行機台中，隨機挑選一部機台，並在此機台上任選兩個工件，將兩個工件位置進行交換。假如階段一有三部平行機台，現行解為

$\{J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, J_6, J_7, J_8\}$ ，其中 J_1, J_4, J_7 在 M1(1) 機台上加工， J_2, J_6 在 M1(2) 機台上加工， J_3, J_5, J_8 在 M1(3) 機台上加工，如圖 3.20 所示。首先隨機挑選一部平行機台，假設挑選 M1(3)，接著隨機選取 M1(3) 上之任兩工件 J_5 與 J_8 ，最後將 J_8 位置插入 J_5 之前，產生新的序列。

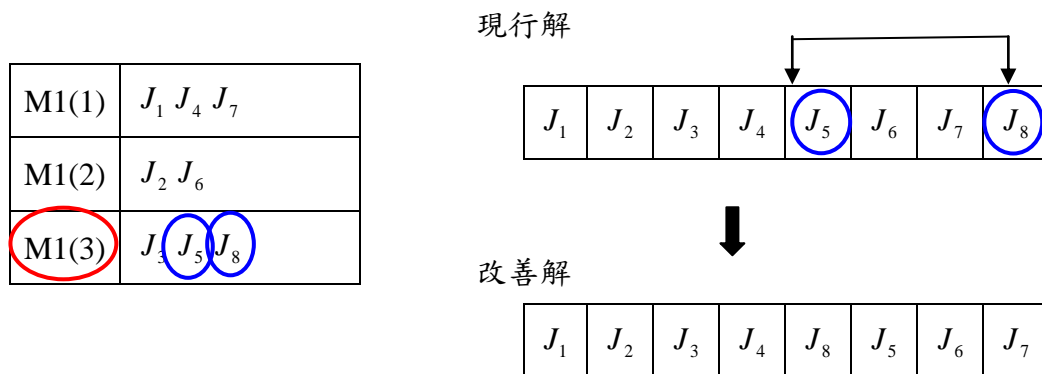


圖 3.20 機台內工件法示意圖

(3) 機台間工件互換法

在階段一的平行機台中，隨機挑選二部機台，並在此兩部機台上各任選一個工件，將兩個工件位置進行交換。假如階段一有三部平行機台，現行解為 $\{J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, J_6, J_7, J_8\}$ ，其中 J_1, J_4, J_7 在 M1(1) 機台上加工， J_2, J_6 在 M1(2) 機台上加工， J_3, J_5, J_8 在 M1(3) 機台上加工，如圖 3.21 所示。首先隨機挑選二部平行機台，假設挑選 M1(1) 與 M1(3)，接著隨機選取 M1(1) 上工件 J_7 、M1(3) 上之工件 J_5 ，最後將 J_7 與 J_5 位置進行交換，產生新的序列。

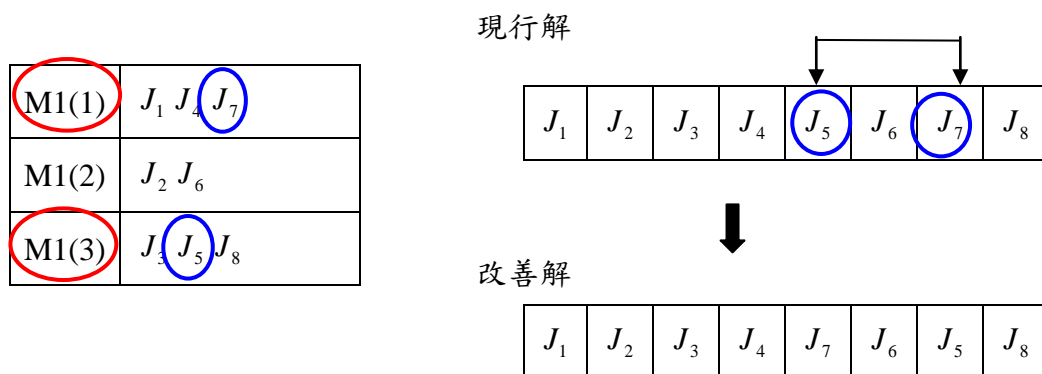


圖 3.21 機台間工件互換法示意圖

(4) 機台間工件插入法

在階段一的平行機台中，隨機挑選二部機台，並在此兩部機台上各任選一個工件，將兩個工件位置進行交換。假如階段一有三部平行機台，現行解為 $\{J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, J_6, J_7, J_8\}$ ，其中 J_1, J_4, J_7 在 M1(1) 機台上加工， J_2, J_6 在 M1(2) 機台上加工， J_3, J_5, J_8 在 M1(3) 機台上加工，如圖 3.22 所示。首先隨機挑選二部平行機台，假設挑選 M1(1) 與 M1(3)，接著隨機選取 M1(1) 上工件 J_7 、M1(3) 上之工件 J_5 ，最後將 J_7 的位置插入到 J_5 之前，產生新的序列。

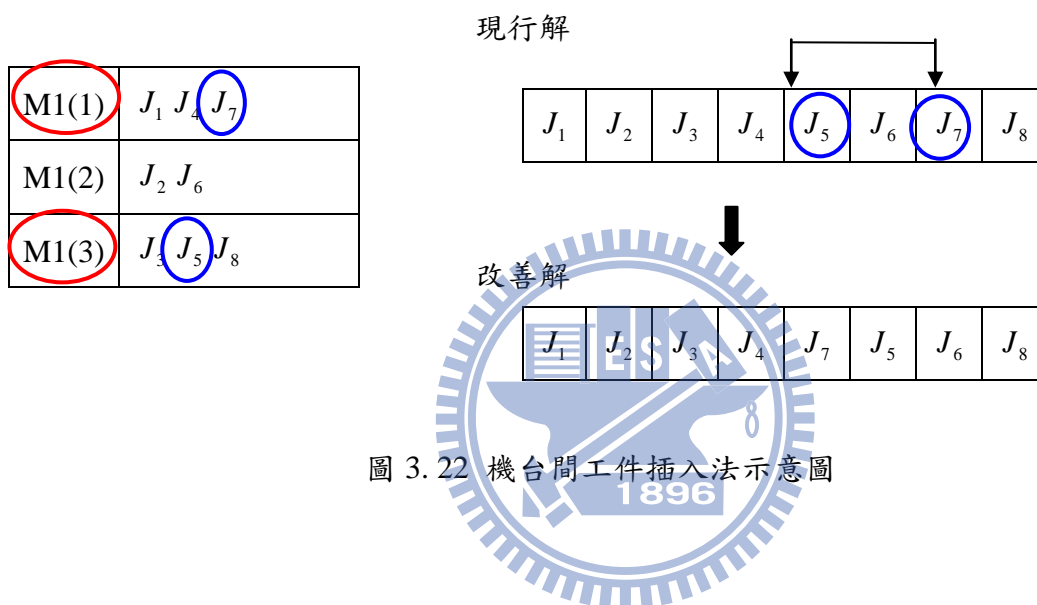


圖 3.22 機台間工件插入法示意圖

3.4.3 禁忌列表

禁忌列表是紀錄迭代過程中所產生的解，利用記憶架構，紀錄搜尋過的解，以避免重複的搜尋，而每次迭代所產生的鄰近解，都會檢視是否存在禁忌列表中，若已存在於名單中，則會重新搜尋新的鄰近解。

本研究設定禁忌列表的大小為三倍總工件數，因此列表大小會隨著工件數變化，而更新禁忌列表中的禁忌名單是採用先進先出法則(FIFO)，將每次迭代中取代現行解的最佳鄰近解紀錄在禁忌列表中，當禁忌名單數達到上線時，根據先進先出法則更新名單。而禁忌列表的資料結構如圖 3.23：

	$j_{\sigma_k(1)}$	$j_{\sigma_k(2)}$	$j_{\sigma_k(3)}$	$j_{\sigma_k(4)}$	$j_{\sigma_k(5)}$	$j_{\sigma_k(6)}$...
禁忌 名單 (3*n)	J_2	J_3	J_1	J_6	J_5	J_4	...
	J_2	J_3	J_4	J_1	J_5	J_6	...
	n 個工件						

圖 3.23 禁忌名單之資料結構示意圖

3.4.4 終止條件

本研究所設定的禁忌列表搜尋法終止條件為「當新的排程解無法取代舊的最佳解的連續次數」，即目前最佳解無法改善次數連續達到設定的 Epoch length 時，則終止演算法，並以目前最佳解為此次演算法的最終解。禁忌搜尋法應用於 NWF-P 排程問題的流程图如圖 3.24：

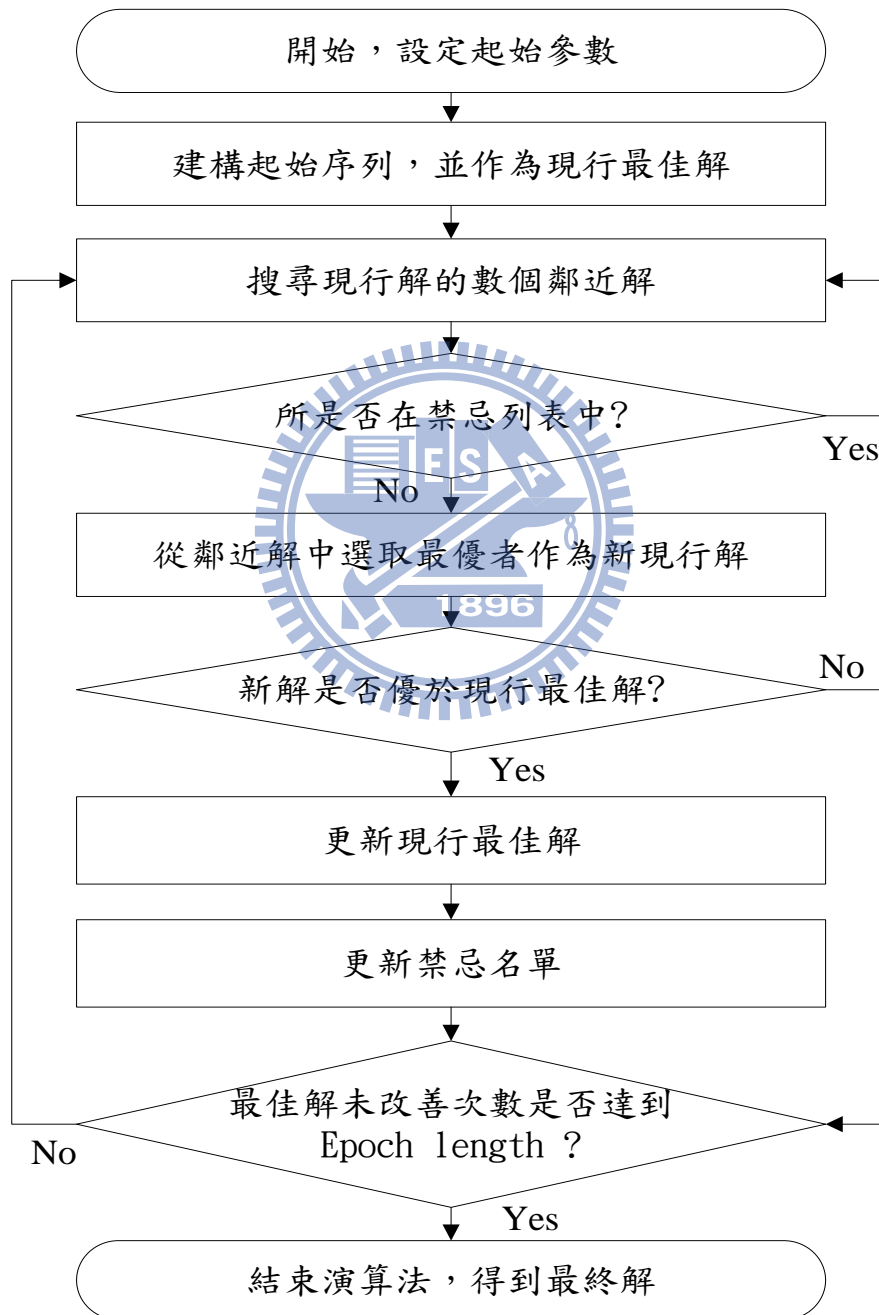


圖 3.24 禁忌搜尋法流程图

3.5 排程結果

本研究所提出的演算法是以最小化總排程時間為目標，找出工件最適加工優序。排程結果除了輸出加工優序外，還包含了工件加工甘特圖、工件投料時間表、機台閒置時間表等資訊，如圖 3.25。以表 3.2 為例，工件投料時間表是將工件在各機台的加工開始時間與結束時間記錄下來，如表 3.4，由表中可知工件在各階段指派到哪些機台上加工，而總排程時間為四個工件在階段四最大完工時間，以 Revised MDA1 為例，完工時間即 $\text{Max}\{14,17,18,25\}=25$ 。機台閒置時間表則是記錄各工件的開始加工時間、結束時間與閒置時間，如表 3.5。

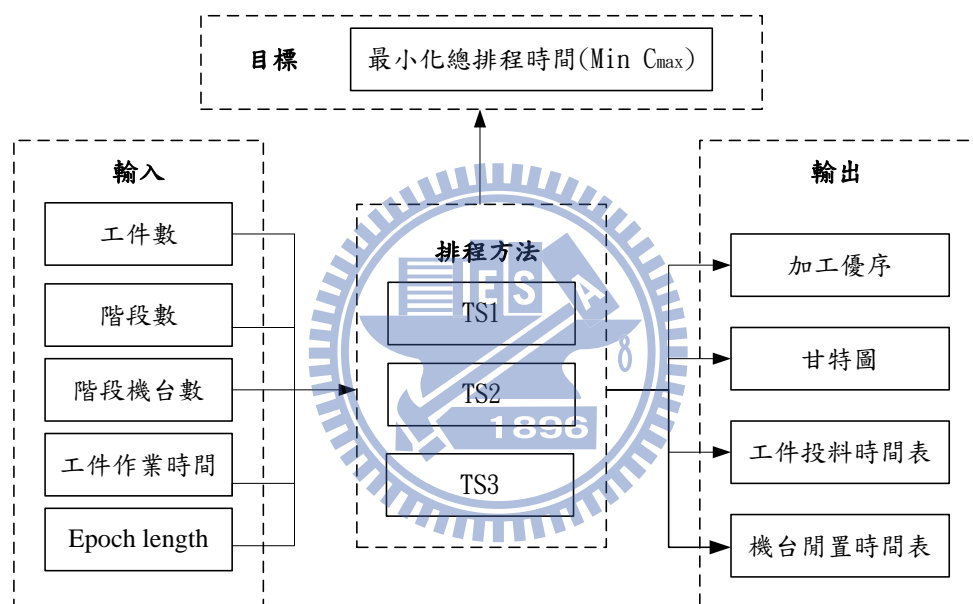


圖 3.25 演算法架構示意圖

表 3.4 Revised MDA1 工件投料時間表範例

時 機台 工件	M1(1)		M1(2)		M1(3)		M2(1)		M2(2)		M3(1)		M3(2)		M4(1)		M4(2)	
	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish
J1	0	2	-	-	-	-	2	6	-	-	6	12	-	-	12	14	-	-
J2	-	-	-	-	0	9	9	13	-	-	13	15	-	-	15	17	-	-
J3	-	-	0	3	-	-	-	-	3	12	-	-	12	15	-	-	15	18
J4	7	12	-	-	-	-	-	-	12	19	19	22	-	-	22	25	-	-

註：

1. 「Start」：表示工件在所加工之機台上的開始加工時間點
2. 「Finish」：表示工件在所加工之機台上的結束加工時間點
3. 工件在 M4 機台上的「Finish」欄位表示各工件完成加工的時間

表 3.5 Revised MDA1 機台閒置時間表範例

M1(1)			M1(2)			M1(3)		
Start	End	Interval	Start	End	Interval	Start	End	Interval
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	7	5	3	25	22	9	25	16
12	25	13	-	-	-	-	-	-

M2(1)			M2(2)		
Start	End	Interval	Start	End	Interval
0	2	2	0	3	3
6	9	3	12	12	0
13	25	12	19	25	6

M3(1)			M3(2)		
Start	End	Interval	Start	End	Interval
0	6	6	0	12	12
12	13	1	15	25	10
15	19	4	-	-	-
22	25	3	-	-	-

M4(1)			M4(2)		
Start	End	Interval	Start	End	Interval
0	12	12	0	15	15
14	15	1	18	25	7
17	22	5	-	-	-
25	25	0	-	-	-

註：

1. 「Start」：表示機台上閒置區段的開始時間點。
2. 「Finish」：表示機台上閒置區段的結束時間點。
3. 「Interval」：表示機台上閒置區段的間隔時間。

第四章 模擬分析

本章節針對四階段的 NWF-P 排程問題設計案例，並以禁忌搜尋法 TS1 與 TS2 分別進行測試分析。此兩種方法均採用 C++ 語言程式撰寫與執行，以 Microsoft Visual C++ 6.0 作為編譯軟體，並利用 Microsoft Excel 2003 做數據的整理與分析。所有測試皆在 Core Duo 2.83GHz，記憶體 2GB RAM 以及 Windows XP 作業系統平台上執行。

本章先以一個案例說明 TS1、TS2 與 TS3 的演算結果。

4.1 案例說明

以下舉例說明 TS1、TS2 與 TS3 的演算過程，假設生產線有 4 個工件，依序在 4 部機台上加工，階段一與階段二各有三部平行機台，階段三與階段四各有兩部平行機台，各工件加工時間如表 4.1：

表 4.1 NWF-P 加工時間表(分)-4

加工 時間 工件	機台			
	M_1	M_2	M_3	M_4
J_1	11	7	5	5
J_2	9	10	5	6
J_3	8	7	6	5
J_4	9	7	7	5

求得之起始解 $J_{\sigma_0} = \{J_3, J_4, J_2, J_1\}$ ，總排程時間為 36 分鐘，甘特圖如圖 4.1。

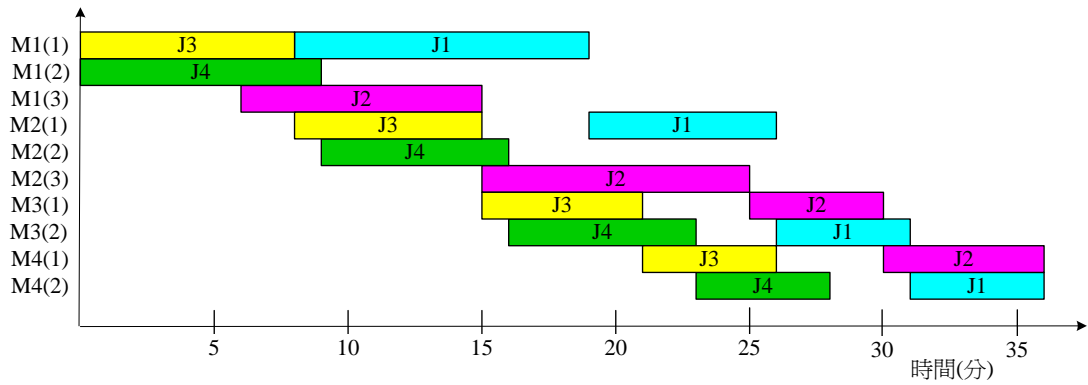


圖 4.1 起始加工優序之甘特圖

接著利用 TS1、TS2 與 TS3 進行此排程問題之求解，並以 Epoch length=5 為終止條件，求得之最終解分別為： $TS1: \{J_1, J_4, J_2, J_3\}$ ，總排程時間為 35 分鐘，甘特圖如圖 4.2，排程結果之投料時間表如表 4.2、機台閒置時間表如表 4.3；TS2 與 TS3 最終解皆為 $\{J_2, J_4, J_1, J_3\}$ ，總排程時間為 35 分鐘，甘特圖如圖 4.3，排程結果之投料時間表如表 4.4、機台閒置時間表如表 4.5。由表 4.6 可知此排程時間 (35 分鐘) 為最佳解。

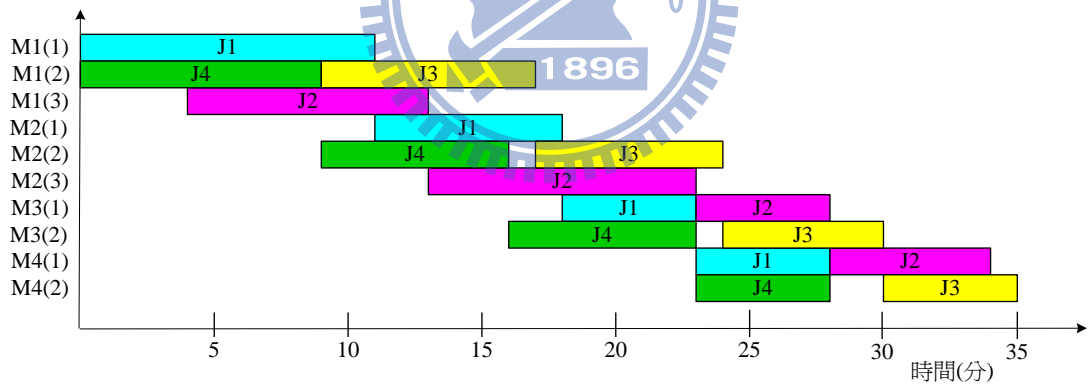


圖 4.2 TS1 之最終加工優序甘特圖

表 4.2 TS1 工件之投料時間表

工件	M1(1)		M1(2)		M1(3)		M2(1)		M2(2)		M2(3)		M3(1)		M3(2)		M4(1)		M4(2)	
	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish
J1	0	11	-	-	-	-	11	18	-	-	-	-	18	23	-	-	23	28	-	-
J2	-	-	-	-	4	13	-	-	-	-	13	23	23	28	-	-	28	34	-	-
J3	-	-	9	17	-	-	-	-	17	24	-	-	-	-	24	30	-	-	30	35
J4	-	-	0	9	-	-	-	-	9	16	-	-	-	-	16	23	-	-	23	28

表 4.3 TS1 之機台閒置時間表

M1(1)			M1(2)			M1(3)			M2(1)			M2(2)			M2(3)		
Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval
0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	11	11	0	9	9	0	13	13
11	35	24	9	9	0	13	35	22	18	35	17	16	17	1	23	35	12
-	-	-	17	35	18	-	-	-	-	-	-	24	35	11	-	-	-

M3(1)			M3(2)			M4(1)			M4(2)		
Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval
0	18	18	0	16	16	0	23	23	0	23	23
23	23	0	23	24	1	28	28	0	28	30	2
28	35	7	30	35	5	34	35	1	35	35	0

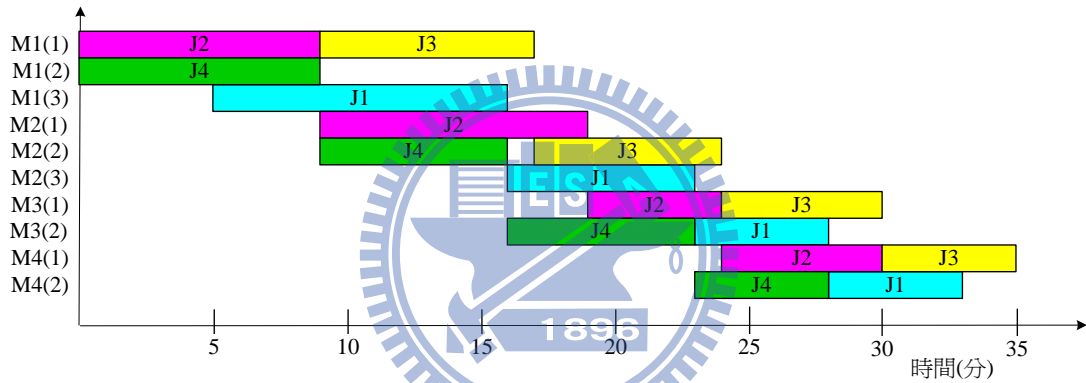


圖 4.3 TS2、TS3 之最終加工優序甘特圖

表 4.4 TS2、TS3 工件之投料時間表

序號 工件	M1(1)		M1(2)		M1(3)		M2(1)		M2(2)		M2(3)		M3(1)		M3(2)		M4(1)		M4(2)	
	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish
J1	-	-	-	-	5	16	-	-	-	-	16	23	-	-	23	28	-	-	28	33
J2	0	9	-	-	-	-	9	19	-	-	-	-	19	24	-	-	24	30	-	-
J3	9	17	-	-	-	-	-	-	17	24	-	-	24	30	-	-	30	35	-	-
J4	0	9	-	-	-	-	-	-	9	16	-	-	-	-	16	23	-	-	23	28

表 4.5 TS2、TS3 之機台閒置時間表

M1(1)			M1(2)			M1(3)			M2(1)			M2(2)			M2(3)		
Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval
0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	9	9	0	9	9	0	16	16
9	9	0	9	35	26	16	35	19	19	35	16	16	17	1	23	35	12
17	35	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	35	11	-	-	-

M3(1)			M3(2)			M4(1)			M4(2)		
Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval	Start	Finish	Interval
0	19	19	0	16	16	0	24	24	0	23	23
24	24	0	23	23	0	30	30	0	28	28	0
30	35	5	28	35	7	35	35	0	33	35	2

表 4.6 加工優序之總排程時間對照表

Sequence	Makespan	Sequence	Makespan
1234	37	3124	36
1243	36	3142	38
1324	36	3214	36
1342	38	3241	36
1423	35	3412	38
1432	39	3421	36
2134	37	4123	35
2143	36	4132	39
2314	36	4213	35
2341	36	4231	37
2413	35	4312	38
2431	37	4321	36
Min = 35			

4.2 績效評估

本研究設計數個 NWF-P 排程問題來進行測試，因為禁忌搜尋法分成起始解與鄰近解搜尋，因此本研究分成兩部分評估演算法：Revised MDA1、Revised MDA2 演算法之評估與三個禁忌搜尋法之績效評估。其中起始解之績效評估是與過去在 NWF 與平行排程相關領域的三種排程方法(LPT、RAJ、SPT)進行比較，評估 Revised MDA1 與 Revised MDA2 演算法的結果，而 TS1、TS2 與 TS3 之績效評估則是評估三套搜尋法之結果。

本研究探討多階平行機台排程問題，而具平行機台的流程式生產排程問題中，「階段之機台負荷是否平衡」是個重要議題，因此在設計數據時，分成五種類型(Class)，各類型工件的作業時間，分別服從以下分配：

- Class 1 : $p_{i1}, p_{i2}, p_{i3}, p_{i4} \sim U(1,100)$; 四階段機台負荷平衡
- Class 2 : $p_{i1} \sim U(1,20)$ $p_{i2}, p_{i3}, p_{i4} \sim U(1,100)$; 階段一機台負荷小於階段二、三、四
- Class 3 : $p_{i2} \sim U(1,20)$ $p_{i1}, p_{i3}, p_{i4} \sim U(1,100)$; 階段二機台負荷小於階段一、三、四
- Class 4 : $p_{i3} \sim U(1,20)$ $p_{i1}, p_{i2}, p_{i4} \sim U(1,100)$; 階段三機台負荷小於階段一、二、四
- Class 5 : $p_{i4} \sim U(1,20)$ $p_{i1}, p_{i2}, p_{i3} \sim U(1,100)$; 階段四負荷小於階段一、二、三

在模擬實驗中，工件數 n 分別為 50、100、150、200；各階段機台數為 $m_i \in 2, 3 (i = 1, 2, 3, 4)$ ；工件作業時間服從上述五種類型，因此總共有 $320(4 \times 2^4 \times 5)$ 種情境，每種情境隨機產生 30 次實驗，故產生 9600 次實驗。針對每種情境所產生的 30 個執行結果，計算出總排程時間平均值(Mean)、總排程時間平均標準差(Std.)與優勢百分比平均值(Improve)進行探討與分析。

$$\text{優勢百分比(\%)} = \frac{\text{Makespan}_{\text{other algorithm}} - \text{Makespan}_{\text{Revised MDA}}}{\text{Makespan}_{\text{other algorithm}}} \times 100\%$$

4.2.1 起始解之績效評估

為了驗證起始解的績效，與下列三種演算法：由 Hochbaum 提出 LPT 排序法(最長加工時間)，由 Rajendran 提出 RAJ 排序法，SPT 排序法(最短加工時間)進行比較。該績效比較是以上節所述 $320(4 \times 2^4 \times 5)$ 的生產情境，每一情境進行 30 次實驗。三種演算法執行步驟與符號定義如下說明：

π ：起始序列

t_{ij} ：工件 i 於機台 j 之作業時間

m ：機台數

T_i ：工件 i 總加工時間 $T_i = \sum_{j=1}^m t_{ij}$

LPT

步驟 1：計算每一工件 i 的總加工時間。

步驟 2：依總加工時間遞減排序。

RAJ

步驟 1：計算 $P_i = \frac{\sum_{j=1}^m j \times t_{ij}}{\sum_{j=1}^m t_{ij}}, \forall i \in J$ 。

$$\text{令 } A = \{i \mid P_i \geq \frac{1+m}{2}, i \in J\} \text{ and } B = \{i \mid P_i < \frac{1+m}{2}, i \in J\}$$

步驟 2：計算工件總加工時間，將群組 A 依總加工時間遞增的順序為工件排列；

群組 B 依總加工時間遞減的順序為工件排列。若排序中有相同的情況，

則再利用 $T_i' = \sum_{j=1}^m (m-j+1) \times t_{ij}$ 來決定。

步驟 3：令 π 為起始序列，則 $\pi = AB$ 。

SPT

步驟 1：計算工件 i 總加工時間。

步驟 2：依總加工時間遞增排序。

五種演算法所產生的加工優序，在各階段均指派工件到最早可開始加工的機台上加工。各演算法之總排程時間平均值(Mean)、總排程時間平均標準差(Std.)與優勢百分比平均值(Improve)比較如下，表 4.7 與表 4.8 分別代表 Class1 在工件數為 50、200 時之情形。此外，由於 Revised MDA 為貪婪式解法，因此可以很快求出解，故在評估時不將時間納入考量，而是考慮解的品質。

表 4.7 各種演算法與 Revised MDA 之求解結果(n=50, Class1)

m1	m2	m3	m4	Makespan																
				Revise MDA1			Revise MDA2			LPT			RAI			SPT				
				Mean	Std.	Impro	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve		
2	2	2	2	1751.87	71.45	0.0%	1788.03	61.67	2.0%	2054.07	71.46	14.7%	1951.53	78.30	10.2%	2056.63	80.00	14.8%		
			3	1713.90	70.67	0.0%	1735.70	59.73	1.3%	1937.57	68.56	11.5%	1856.73	72.22	7.7%	1988.17	79.08	13.8%		
		3	2	1723.20	60.75	0.0%	1787.57	69.78	3.6%	1939.10	77.78	11.1%	1835.73	86.14	6.1%	1958.60	83.86	12.0%		
			3	1669.80	68.15	0.0%	1697.53	74.49	1.6%	1779.00	74.23	6.1%	1709.63	76.86	2.3%	1857.97	76.82	10.1%		
		3	2	2	1695.10	91.97	0.0%	1725.43	88.75	1.8%	1959.93	70.06	13.5%	1873.00	79.13	9.5%	1948.47	83.45	13.0%	
				3	1619.10	94.86	0.0%	1635.53	80.00	1.0%	1818.23	79.43	11.0%	1750.50	81.14	7.5%	1865.83	82.98	13.2%	
	3		2	1661.80	94.72	0.0%	1700.13	86.16	2.3%	1792.97	69.28	7.3%	1715.77	85.49	3.1%	1804.53	79.36	7.9%		
			3	1553.50	91.86	0.0%	1552.13	87.86	-0.1%	1598.97	67.75	2.8%	1554.37	74.10	0.1%	1678.70	73.03	7.5%		
	3		2	2	2	1664.53	84.80	0.0%	1692.47	90.60	1.7%	1976.33	75.21	15.8%	1867.27	79.35	10.9%	1954.70	89.49	14.8%
					3	1639.67	85.71	0.0%	1657.83	86.77	1.1%	1828.20	74.65	10.3%	1747.00	76.34	6.1%	1847.67	84.76	11.3%
		3		2	1618.57	93.31	0.0%	1674.40	83.23	3.3%	1850.07	81.26	12.5%	1728.73	89.49	6.4%	1837.17	93.07	11.9%	
				3	1563.93	107.48	0.0%	1590.83	101.41	1.7%	1641.20	76.15	4.7%	1592.87	84.08	1.8%	1682.13	89.85	7.0%	
3		2		2	1557.87	78.14	0.0%	1551.23	80.50	-0.4%	1839.70	66.63	15.3%	1756.57	85.19	11.3%	1791.90	84.52	13.1%	
				3	1515.63	92.55	0.0%	1530.03	88.41	0.9%	1662.13	77.28	8.8%	1595.33	84.23	5.0%	1662.53	85.08	8.8%	
		3	2	1408.17	83.79	0.0%	1425.03	81.30	1.2%	1661.67	60.87	15.3%	1535.80	75.03	8.3%	1614.60	70.70	12.8%		
			3	1244.17	56.28	0.0%	1265.80	56.36	1.7%	1401.67	46.81	11.2%	1314.03	53.74	5.3%	1430.50	60.29	13.0%		

表 4.8 各種演算法與 Revised MDA 之求解結果(n=200, Class1)

m1	m2	m3	m4	Makespan																
				Revise MDA1			Revise MDA2			LPT			RAI			SPT				
				Mean	Std.	Impro	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve		
2	2	2	2	6113.93	143.73	0.0%	6253.23	134.45	2.2%	7725.13	124.33	20.9%	8241.47	140.63	25.8%	7760.17	147.93	21.2%		
			3	5969.43	143.94	0.0%	6064.57	147.37	1.6%	7273.07	154.20	17.9%	7675.43	137.52	22.2%	7380.53	175.87	19.1%		
		3	2	6018.00	145.31	0.0%	6284.10	139.34	4.2%	7315.93	135.22	17.7%	7811.10	171.02	23.0%	7336.90	145.25	18.0%		
			3	5818.50	187.65	0.0%	5954.37	173.94	2.3%	6683.50	144.45	12.9%	7027.00	172.54	17.2%	6805.27	157.84	14.5%		
		3	2	2	6047.10	143.88	0.0%	6059.10	151.51	0.2%	7323.03	125.36	17.4%	7934.00	159.44	23.8%	7321.10	130.65	17.4%	
				3	5711.77	161.76	0.0%	5717.10	161.43	0.1%	6788.50	143.13	15.9%	7297.00	150.55	21.7%	6870.77	161.71	16.9%	
	3		2	5909.30	127.49	0.0%	6079.10	143.34	2.8%	6728.27	129.48	12.2%	7344.13	160.11	19.5%	6749.60	122.10	12.4%		
			3	5488.67	174.45	0.0%	5505.27	171.15	0.3%	5991.40	132.14	8.4%	6389.00	148.83	14.1%	6099.63	131.48	10.0%		
	3		2	2	2	5935.80	120.74	0.0%	5972.90	159.02	0.6%	7352.53	131.61	19.3%	7639.50	142.19	22.3%	7319.47	141.16	18.9%
					3	5812.93	128.24	0.0%	5827.10	137.44	0.2%	6759.60	147.22	14.0%	6989.00	136.55	16.8%	6800.53	162.16	14.5%
		3		2	5718.67	180.96	0.0%	5947.17	204.38	3.8%	6870.63	144.69	16.8%	7144.70	153.13	20.0%	6837.03	159.74	16.4%	
				3	5522.93	221.17	0.0%	5612.53	219.92	1.6%	6054.17	148.83	8.8%	6259.77	154.81	11.8%	6108.93	160.83	9.6%	
3		2		2	5659.20	138.04	0.0%	5595.67	167.33	-1.1%	6776.40	137.98	16.5%	7149.50	142.58	20.8%	6725.70	135.90	15.9%	
				3	5470.43	191.60	0.0%	5553.37	186.75	1.5%	6075.30	150.57	10.0%	6415.10	127.67	14.7%	6085.47	155.74	10.1%	
		3	2	5231.30	151.06	0.0%	5188.80	147.44	-0.8%	6099.23	125.77	14.2%	6407.67	140.14	18.4%	6028.77	139.03	13.2%		
			3	4171.37	104.96	0.0%	4264.90	104.05	2.2%	5114.57	98.64	18.4%	5421.43	93.89	23.1%	5143.63	110.75	18.9%		

以下分析 Revised MDA 與其他演算法解的品質：

- (1).全部 320 種情境中，Revised MDA1 求得的總排程時間表現全部都優於 LPT、RAJ 與 SPT；Revised MDA2 求得的總排程時間表現 99.1%(317/320)優於 LPT、RAJ 與 SPT。
- (2).由表 4.9 中所示，當工件數增加時，Revised MDA1、Revised MDA2 與 LPT、RAJ、SPT 的優勢百分比平均值數值越高，且 Revised MDA2 的優勢百分比值較 Revised MDA1 高。
- (3).由表 4.10 所示，在不同工件數下，不同演算法的平均總排程時間有顯著差異 (p-value=0.05)。

因此從以上幾點說明，可以判斷在 NWF-P 排程問題中，本研究所提出的 Revised MDA1 與 Revised MDA2 較其他演算法來得好，且 Revised MDA2 較 Revised MDA1 好。

表 4.9 演算法於不同工件數之優勢百分比

工件數	各演算法資訊(平均值)																	
	Revised MDA1			Revised MDA2			LPT				RAJ				SPT			
	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Improve1	Mean	Std.	Improve	Improve1	Mean	Std.	Improve	Improve1
n=50	1500.75	84.71	0.0%	1525.79	86.13	0.0%	1654.58	72.51	9.2%	7.6%	1614.14	76.64	6.9%	5.3%	1675.82	76.57	10.4%	8.9%
n=100	2803.51	110.06	0.0%	2861.17	114.36	0.0%	3172.44	109.19	11.4%	9.6%	3158.85	108.71	11.0%	9.2%	3190.91	104.65	11.9%	10.2%
n=150	4092.64	136.23	0.0%	4169.78	136.37	0.0%	4679.91	121.90	12.3%	10.7%	4353.17	124.31	15.4%	13.9%	4696.55	119.89	12.6%	11.1%
n=200	5389.31	162.70	0.0%	5480.18	167.81	0.0%	6187.54	145.25	12.6%	11.3%	6534.00	146.27	17.2%	15.9%	6209.09	148.06	13.0%	11.6%

註：16 種機台組合及五種類型(Class1、Class2、Class3、Class4、Class5)所組成的 80 種生產情境。

- (1).Mean：每種生產情境各進行 30 次實驗，2400 次實驗所得到之總排程時間平均值
- (2).Std：80 種生產情境標準差的平均值。
- (3).Improve：每種生產情境各進行 30 次實驗，2400 次實驗與 Revised MDA1 比較所得到之優勢百分比平均值。
- (4).Improve1：每種生產情境各進行 30 次實驗，2400 次實驗與 Revised MDA2 比較所得到之優勢百分比平均值。

表 4.10 演算法於不同工件數之 t 檢定

工件數	p-value					
	LPT		RAJ		SPT	
	Revised MDA1	Revised MDA2	Revised MDA1	Revised MDA2	Revised MDA1	Revised MDA2
n=50	0.020955	0.005236	0.044461	0.008704	0.000088	0.002877
n=100	0.003480	0.001334	0.001979	0.000704	0.002983	0.001189
n=150	0.001699	0.000716	0.000261	0.000127	0.001511	0.000649
n=200	0.001099	0.000488	0.000129	0.000070	0.000972	0.000439

4.2.2 禁忌搜尋法之績效評估

在禁忌搜尋法績效評估中，分別進行TS1、TS2與TS3的測試，Epoch length(ep)分別為50、100，因此TS1、TS2與TS3各進行 $2 \times 9600 = 19200$ 次實驗。依據前述情境，進行模擬分析，表4.11與表4.12分別代表Class1在工件數為50、200時之情形。

表 4.11 TS1、TS2 與 TS3 之求解結果(n=50，Class1)

M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)							
					TS1			TS2			TS3			TS1		TS2		TS3			
					Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.		
2	2	2	2	50	1715.67	60.11	4.8%	1725.37	68.48	5.4%	1632.87	162.13	0.0%	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.02		
				100	1703.87	63.92	4.9%	1716.37	67.32	5.6%	1619.77	161.37	0.0%	0.13	0.07	0.10	0.07	0.10	0.06		
			3	2	50	1650.20	73.35	7.5%	1649.67	66.92	7.4%	1527.23	200.81	0.0%	0.08	0.04	0.07	0.04	0.06	0.03	
					100	1629.13	74.48	6.9%	1639.20	67.11	7.5%	1516.03	194.13	0.0%	0.20	0.09	0.15	0.07	0.10	0.05	
				3	2	50	1669.83	59.73	5.4%	1680.67	75.05	6.0%	1579.50	152.19	0.0%	0.07	0.03	0.06	0.03	0.06	0.03
						100	1652.23	66.67	5.0%	1670.20	74.25	6.0%	1569.70	148.22	0.0%	0.15	0.07	0.12	0.06	0.10	0.06
		3			50	1564.27	58.94	6.2%	1585.60	66.79	7.5%	1467.10	188.88	0.0%	0.10	0.04	0.08	0.04	0.07	0.04	
					100	1547.73	63.04	6.4%	1571.17	59.28	7.8%	1448.67	179.98	0.0%	0.21	0.07	0.16	0.07	0.13	0.07	
		3	2	2	50	1644.80	82.47	5.6%	1659.30	87.76	6.5%	1552.00	166.17	0.0%	0.06	0.03	0.06	0.03	0.04	0.03	
					100	1628.23	77.98	5.5%	1641.90	80.16	6.3%	1538.47	156.85	0.0%	0.15	0.09	0.13	0.07	0.10	0.05	
				3	2	50	1564.83	87.89	8.8%	1577.70	92.35	9.5%	1427.80	189.60	0.0%	0.08	0.04	0.08	0.04	0.06	0.03
						100	1551.10	88.01	8.3%	1567.10	90.31	9.3%	1422.10	186.28	0.0%	0.16	0.07	0.15	0.07	0.10	0.04
	3				50	1567.07	78.44	5.0%	1600.57	93.96	7.0%	1487.97	160.15	0.0%	0.09	0.03	0.08	0.04	0.06	0.03	
					100	1545.97	74.36	4.9%	1582.83	89.49	7.1%	1470.87	154.63	0.0%	0.20	0.09	0.15	0.08	0.13	0.08	
	3		3	50	1431.70	88.52	6.2%	1470.90	93.89	8.7%	1342.43	155.17	0.0%	0.10	0.04	0.09	0.05	0.07	0.04		
				100	1420.83	86.69	6.3%	1442.53	83.04	7.7%	1331.20	155.10	0.0%	0.21	0.10	0.19	0.07	0.12	0.06		
			2	2	50	1634.53	75.82	5.3%	1624.83	82.09	4.8%	1547.17	146.52	0.0%	0.07	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	
					100	1623.73	74.72	5.5%	1617.93	79.00	5.1%	1534.77	138.26	0.0%	0.13	0.06	0.12	0.06	0.10	0.06	
				3	50	1576.27	83.67	9.0%	1558.20	74.00	8.0%	1434.23	185.82	0.0%	0.08	0.05	0.08	0.03	0.06	0.03	
					100	1563.60	83.79	8.9%	1551.63	73.87	8.2%	1425.17	181.89	0.0%	0.17	0.09	0.15	0.05	0.11	0.06	
	3	2	2	50	1572.03	86.10	6.5%	1570.17	80.96	6.4%	1469.30	166.29	0.0%	0.07	0.04	0.06	0.03	0.06	0.02		
				100	1562.10	86.32	6.4%	1553.77	81.21	5.9%	1461.97	163.91	0.0%	0.14	0.05	0.16	0.08	0.11	0.05		
			3	2	50	1451.70	91.49	7.8%	1460.10	86.22	8.3%	1338.43	173.99	0.0%	0.10	0.04	0.09	0.03	0.06	0.04	
					100	1434.73	88.90	7.5%	1445.93	85.33	8.2%	1327.50	169.49	0.0%	0.21	0.08	0.19	0.08	0.12	0.06	
3				50	1529.80	81.07	6.9%	1524.20	76.66	6.5%	1425.00	150.34	0.0%	0.08	0.04	0.07	0.06	0.05	0.02		
				100	1516.10	74.62	6.5%	1511.80	76.14	6.3%	1416.83	143.60	0.0%	0.18	0.10	0.17	0.07	0.10	0.06		
3		2	50	1425.97	79.07	9.2%	1432.47	87.80	9.6%	1295.33	164.16	0.0%	0.10	0.04	0.10	0.04	0.05	0.03			
			100	1414.40	81.13	9.5%	1425.00	90.05	10.1%	1280.67	159.55	0.0%	0.20	0.10	0.18	0.08	0.12	0.08			
		3	2	50	1387.27	75.01	6.1%	1382.83	77.35	5.8%	1302.37	136.11	0.0%	0.07	0.03	0.06	0.03	0.05	0.02		
				100	1379.33	72.43	5.8%	1379.13	76.41	5.8%	1299.47	135.10	0.0%	0.15	0.12	0.13	0.05	0.09	0.04		
			3	50	1202.70	46.33	4.9%	1205.00	47.62	5.0%	1144.27	110.20	0.0%	0.08	0.03	0.06	0.03	0.05	0.03		
				100	1194.23	48.68	5.0%	1200.73	47.73	5.5%	1134.87	106.74	0.0%	0.13	0.07	0.13	0.06	0.10	0.05		

表 4.12 TS1、TS2 與 TS3 之求解結果(n=200，Class1)

M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)								
					TS1			TS2			TS3			TS1		TS2		TS3				
					Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.			
2	2	2	2	50	6094.53	135.15	2.9%	6089.13	130.07	2.9%	5915.50	460.42	0.0%	0.11	0.04	0.07	0.02	0.07	0.03			
				100	6092.10	135.97	3.0%	6082.43	132.89	2.9%	5906.47	464.11	0.0%	0.20	0.09	0.14	0.06	0.11	0.05			
			3	2	50	5945.47	148.20	6.3%	5912.50	133.41	5.7%	5573.53	660.62	0.0%	0.17	0.08	0.09	0.05	0.09	0.03		
					100	5939.13	147.38	6.4%	5898.50	132.09	5.7%	5560.03	670.17	0.0%	0.63	0.53	0.18	0.10	0.16	0.05		
				3	2	50	5995.73	142.89	3.6%	6000.30	137.73	3.7%	5779.93	466.71	0.0%	0.09	0.03	0.08	0.02	0.07	0.02	
						100	5989.87	144.82	4.0%	5990.97	132.62	4.1%	5747.87	485.88	0.0%	0.50	0.23	0.16	0.07	0.15	0.05	
					3	50	5761.23	166.39	7.1%	5742.50	173.83	6.8%	5354.33	663.83	0.0%	0.17	0.10	0.14	0.10	0.12	0.06	
						100	5739.70	157.94	7.1%	5723.60	159.79	6.9%	5331.03	652.62	0.0%	1.06	0.71	0.82	0.55	0.58	0.46	
			3	2	2	50	6016.30	149.47	4.5%	6035.43	143.77	4.8%	5743.13	538.97	0.0%	0.09	0.04	0.09	0.03	0.08	0.03	
						100	6012.77	146.72	4.9%	6020.97	144.62	5.0%	5719.87	540.55	0.0%	0.50	0.24	0.63	0.34	0.57	0.28	
					3	2	50	5691.13	165.06	7.7%	5679.60	160.72	7.5%	5252.53	618.58	0.0%	0.12	0.06	0.08	0.02	0.09	0.03
							100	5685.63	166.47	8.1%	5669.13	159.03	7.8%	5225.40	607.00	0.0%	0.71	0.32	0.48	0.20	0.52	0.21
		3				50	5865.17	130.12	6.1%	5882.73	133.02	6.4%	5506.40	524.92	0.0%	0.12	0.06	0.12	0.05	0.12	0.06	
						100	5841.57	127.37	6.3%	5869.57	140.34	6.7%	5475.67	525.73	0.0%	0.94	0.50	0.73	0.43	0.76	0.39	
		3		3	50	5418.27	173.99	8.3%	5446.70	171.73	8.8%	4969.77	558.24	0.0%	0.15	0.10	0.14	0.06	0.14	0.08		
					100	5375.50	166.43	7.9%	5414.33	172.46	8.6%	4951.30	549.66	0.0%	1.29	0.66	1.09	0.72	0.73	0.45		
				2	2	50	5923.50	119.56	3.6%	5913.20	125.43	3.4%	5711.27	436.42	0.0%	0.11	0.04	0.07	0.02	0.08	0.03	
						100	5917.43	117.66	3.7%	5904.00	124.91	3.5%	5696.00	429.64	0.0%	0.57	0.26	0.70	0.31	0.53	0.30	
					3	50	5766.23	137.65	8.6%	5731.10	133.82	8.0%	5270.13	612.54	0.0%	0.20	0.09	0.11	0.05	0.10	0.05	
						100	5742.57	146.34	8.5%	5710.77	134.12	8.0%	5255.87	603.76	0.0%	1.18	0.55	0.87	0.46	0.65	0.48	
		3	2	2	50	5696.23	174.27	4.4%	5686.03	167.75	4.2%	5446.37	548.30	0.0%	0.14	0.07	0.08	0.03	0.10	0.05		
					100	5690.97	171.84	4.6%	5676.33	168.86	4.3%	5431.43	546.85	0.0%	0.78	0.38	0.49	0.24	0.56	0.23		
				3	2	50	5453.33	202.01	10.0%	5416.40	222.72	9.4%	4908.73	621.85	0.0%	0.21	0.09	0.14	0.06	0.13	0.08	
						100	5425.33	197.78	9.9%	5396.97	219.18	9.4%	4888.83	618.95	0.0%	1.15	0.62	1.14	0.72	0.78	0.53	
	3				50	5644.43	140.88	5.3%	5640.43	145.66	5.2%	5344.57	496.40	0.0%	0.13	0.07	0.10	0.04	0.08	0.04		
					100	5638.30	141.99	5.4%	5630.70	148.69	5.2%	5336.33	494.70	0.0%	0.85	0.53	0.64	0.39	0.46	0.20		
	3		2	50	5402.17	182.57	10.4%	5392.47	195.16	10.3%	4838.67	643.22	0.0%	0.23	0.10	0.19	0.10	0.10	0.05			
				100	5363.33	179.54	10.1%	5364.63	198.28	10.2%	4819.50	644.54	0.0%	1.49	0.91	1.43	0.87	0.64	0.52			
			3	2	50	5215.83	152.06	4.9%	5215.43	153.31	4.9%	4960.67	476.05	0.0%	0.12	0.05	0.09	0.03	0.09	0.05		
					100	5212.33	151.44	5.2%	5211.67	153.71	5.1%	4943.37	466.42	0.0%	0.69	0.37	0.57	0.28	0.58	0.37		
				3	50	4158.33	101.29	3.2%	4152.80	102.07	3.0%	4026.43	320.05	0.0%	0.11	0.04	0.08	0.02	0.07	0.02		
					100	4155.27	100.90	3.6%	4144.47	102.60	3.4%	4004.63	326.92	0.0%	0.61	0.36	0.43	0.17	0.52	0.26		

以下就解的品質與演算法的求解時間進行 TS1、TS2 與 TS3 的分析：

(1). 解的品質

- a. 全部 640 種情境中，TS3 所求得的總排程時間都優於 TS1 與 TS2 演算法。
- b. 從表 4.13 中所示，在小型案例(n=50、n=100)終止條件使用 ep=50 所得到的優勢百分比比較高；在大型案例(n=150、n=200)終止條件使用 ep=100 所得到的優勢百分比比較高。
- c. 從表 4.14 檢定中，TS3 與其餘法則有顯著差異(p-value=0.05)。
- d. 當 Epoch length 越大時，所求得的總排程時間越小，且變異也降低。

表 4. 13 TS 演算法於不同工件數之總排程時間優勢百分比

工件數	ep	Makespan						優勢百分比平均值		
		TS1		TS2		TS3		TS1	TS2	TS3
		Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std			
n=50	50	1436.07	77.19	1443.40	80.04	1314.92	182.95	8.46%	8.92%	0.00%
	100	1423.64	77.52	1432.95	79.38	1304.97	179.14	8.37%	8.96%	0.00%
n=100	50	2765.92	105.63	2762.08	106.69	2534.45	343.45	8.39%	8.26%	0.00%
	100	2747.96	104.68	2747.88	106.81	2518.90	339.80	8.35%	8.35%	0.00%
n=150	50	4063.19	128.04	4058.48	130.41	3728.13	489.84	8.24%	8.14%	0.00%
	100	4046.12	126.38	4042.61	129.71	3709.36	485.79	8.33%	8.25%	0.00%
n=200	50	5360.85	158.14	5357.43	159.03	4925.88	642.78	8.11%	8.05%	0.00%
	100	5344.95	157.44	5341.93	157.55	4905.28	638.25	8.23%	8.18%	0.00%

註：16 種機台組合、五種類型(Class1、Class2、Class3、Class4、Class5)及兩種 ep 所組成的 160 種生產情境。

- (1).Mean：每種生產情境各進行 30 次實驗，4800 次實驗所得到之總排程時間平均值
- (2).Std：160 種生產情境標準差的平均值。
- (3).優勢百分比：每種生產情境各進行 30 次實驗，4800 次實驗所得到之優勢百分比平均值。

$$(4). \text{總排程時間優勢百分比}(\%) = \frac{\text{Makespan}_{\text{TS1}} - \text{Makespan}_{\text{TS2}}}{\text{Makespan}_{\text{TS1}}} \times 100\%$$

表 4. 14 TS 演算法於不同工件數之總排程時間 t 檢定

工件數	ep	p-value	
		TS1	TS2
n=50	50	0.016422	0.012572
	100	0.001708	0.001213
n=100	50	0.008422	0.008750
	100	0.008603	0.008407
n=150	50	0.006348	0.006546
	100	0.006154	0.006297
n=200	50	0.005350	0.005450
	100	0.005129	0.005140

(2). 求解時間

- a. 全部 640 種情境中，求解時間 $TS1 > TS2 > TS3$ 。
- b. 從表 4.15 中所示，TS3 的求解時間均小於 TS1 與 TS2 的求解時間。

表 4.15 TS 演算法於不同工件數之求解時間優勢百分比

工件數	ep	Time(sec.)					
		TS1		TS2		TS3	
		Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std
n=50	50	0.08	0.04	0.07	0.03	0.06	0.03
	100	0.17	0.08	0.16	0.07	0.11	0.06
n=100	50	0.16	0.08	0.13	0.07	0.11	0.06
	100	0.37	0.18	0.33	0.16	0.24	0.15
n=150	50	0.25	0.13	0.19	0.10	0.15	0.08
	100	0.66	0.34	0.55	0.28	0.42	0.26
n=200	50	0.30	0.15	0.17	0.08	0.13	0.07
	100	1.01	0.52	0.81	0.43	0.63	0.41

註：16 種機台組合、五種類型(Class1、Class2、Class3、Class4、Class5)及兩種 ep 所組成的 160 種生產情境。

(1).Mean：每種生產情境各進行 30 次實驗，4800 次實驗所得到之總排程時間平均值

(2).Std：160 種生產情境標準差的平均值。

(3). 小結

- a. TS3 求得的總排程時間優於 TS1 與 TS2。
- b. TS3 的求解時間顯著短於 TS1 與 TS2。
- c. 當 Epoch length 越大時，所求得的總排程時間越小，且變異也降低。但 Epoch length 越大，使得求解時間越大。

從以上幾點可知 TS3 方法較好，因此考量平行機台最為鄰近解搜尋準則能更有效率的求解問題。

第五章 平行機台績效之評估

本章說明平行機台績效評估的方法，並以一個例子進行說明。

5.1 平行機台績效之評估方法

由於本研究不考慮機台整備時間與故障等因素，因此不考慮不良品的問題。本研究利用「總排程時間」與「機台利用率」對平行機台進行績效評估，而機台利用率即考慮機台閒置而造成浪費的時間與總排程時間的比率，如式子(10)所示：

$$\text{機台利用率} = \frac{\text{機台作業時間}}{\text{總排程時間}} \times 100\% = \left(1 - \frac{\text{機台閒置時間}}{\text{總排程時間}}\right) \times 100\% \quad (10)$$

決策者可以利用機台利用率此資訊，配合機台成本等各項資訊，決定各階段所應設置的最佳平行機台數。假設對公司而言，降低總排程時間的單位獲利為 R ，各階段機台利用率減少(增加)的單位成本(獲利)分別為 C_1 、 C_2 、 C_3 與 C_4 ，則不同機台數組合的總效益為：

$$TR_{i,k} = (MS_i - MS_k) \times R + \sum_{j=1}^s (U_{k,j} - U_{i,j}) \times C_j \quad (11)$$

其中

$TR_{i,k}$ ：機台組合 i 相對於機台組合 k 的總效益

MS_i ：機台組合 i 的總排程時間

$U_{i,j}$ ：機台組合 i 於階段 j 的利用率

R ：總排程時間每降低 1 單位的獲利

C_j ：階段 j 機台利用率每增加 1% 的獲利

5.2 評估平行機台績效之案例說明

本節以 4.2 節所設計的情境 Class1 說明評估平行機台相關指標之計算。工件在四階段的 NWF-P 中加工，各階段的作業時間服從以下分配，隨機產生 100 個工件：

$$P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, P_{i4} \sim U(1, (\text{單位：分}))$$

假設目前已知各階段機台數為 $m_i \in 2, 3 (i=1, 2, 3, 4)$ ，利用禁忌搜尋法排程，根據排程結果推算機台利用率，而機台利用率為執行 30 次實驗的平均值，機台資訊如表 5.1 所示。

表 5.1 機台評估資訊表

機台組合	機台數				總排程時間		機台利用率					
	m1	m2	m3	m4	Avg.	Std.	M1	M2	M3	M4		
1	2	2	2	2	3078.23	271.18	82.00%	83.07%	80.97%	78.68%		
2				3	2900.00	354.05	85.97%	86.78%	83.92%	54.54%		
3			3	2	3022.80	267.43	84.75%	85.13%	55.73%	79.78%		
4				3	2789.63	353.02	88.88%	89.55%	58.36%	56.47%		
5		3	2	2	2976.27	296.23	84.25%	58.51%	82.62%	80.13%		
6				3	2741.40	353.12	90.08%	62.38%	87.60%	57.33%		
7			3	2	2862.33	294.28	87.75%	60.14%	58.02%	82.35%		
8				3	2553.80	296.95	95.83%	65.83%	63.07%	60.89%		
9			3	2	2	2940.43	258.86	61.71%	85.75%	83.82%	81.08%	
10					3	2717.67	332.36	61.71%	89.85%	86.53%	56.74%	
11					3	2	2837.20	286.40	61.81%	90.18%	59.23%	84.67%
12						3	2571.73	352.50	65.43%	95.02%	62.04%	60.10%
13		3		2	2	2739.47	275.94	59.88%	61.27%	88.25%	85.55%	
14					3	2473.90	324.83	65.44%	66.54%	93.55%	61.12%	
15				3	2	2523.07	251.94	64.96%	66.27%	65.39%	93.13%	
16					3	2121.37	187.04	81.93%	82.20%	79.50%	76.54%	

假設目前生產線中各階段機台數為 $m_1=2, m_2=2, m_3=3, m_4=3$ ，從表 5.2 得知，階段三與階段四的機台利用率低，因此將階段三機台數減少一台去看總排程時間與機台利用率的變化，如表 5.3 所示；階段四機台數減少一台總排程時間與利用率的情形如表 5.4 所示。

表 5.2 $m_1=2, m_2=2, m_3=3, m_4=3$ 平均機台利用率

機台數				總排程時間		機台利用率			
m1	m2	m3	m4	Avg.	Std.	M1	M2	M3	M4
2	2	3	3	2789.63	353.02	88.88	89.55	58.36	56.47

表 5.3 $m_1=2, m_2=2, m_3=2, m_4=3$ 平均機台利用率

機台數				總排程時間		機台利用率			
m1	m2	m3	m4	Avg.	Std.	M1	M2	M3	M4
2	2	2	3	2900.00	354.05	85.97	86.78	83.92	54.54

表 5.4 $m_1=2, m_2=2, m_3=3, m_4=2$ 平均機台利用率

機台數				總排程時間		機台利用率			
m1	m2	m3	m4	Avg.	Std.	M1	M2	M3	M4
2	2	3	2	3022.80	267.43	84.75	85.13	55.73	79.78

假設 $R=1$ ， $C_1=6$ 、 $C_2=7$ 、 $C_3=10$ 與 $C_4=5$ ，則根據公式(10)計算各機台組合之總效益，以 $m_1=2, m_2=2, m_3=3, m_4=3$ (機台組合 4) 為比較基準，比較 $m_1=2, m_2=2, m_3=2, m_4=3$ (機台組合 2) 與 $m_1=2, m_2=2, m_3=3, m_4=2$ (機台組合 3)：

$$TR_{4,2} = (2900 - 2789.63) \times 1 + (85.97 - 88.88) \times 6 + (86.78 - 89.55) \times 7 + (83.92 - 58.36) \times 10 + (54.54 - 56.47) \times 5 = 98.73$$

$$TR_{4,3} = (3022.8 - 2789.63) \times 1 + (84.75 - 88.88) \times 6 + (85.13 - 89.55) \times 7 + (55.73 - 58.36) \times 10 + (79.78 - 56.47) \times 5 = -198.64$$

總效益為望大特性，因此在本例中，將目前各階段機台數 $m_1=2, m_2=2, m_3=3, m_4=3$ 修改為 $m_1=2, m_2=2, m_3=2, m_4=3$ 。



第六章 結論與未來研究方向

本研究是在 NWF-P 生產線情境下，以最小化總排程時間為目標，探討如何決定工件的加工優序，最後並以排程結果來對平行機台做績效評估。此種排程問題的複雜度屬於 NP-hard，無法在 polynomial time 之內求出最佳解，因此需要以啟發式演算法來處理。

故本研究提出三套適用於 NWF-P 的演算法，分別為 TS1、TS2 與 TS3。並設計了數個 NWF-P 排程問題的案例，首先以 Revised MDA1、Revised MDA2、LPT、RAJ 與 SPT 進行起始解的模擬分析，接著再進行 TS1、TS2 與 TS3 的模擬分析。最後再根據演算法的排程結果進行平行機台績效評估，提供決策者作為參考。

6.1 結論

- (1). 本研究所討論的情境為多階段 NWF-P 排程問題，在各階段有單一或多部平行等效機台，是過去文獻中未討論到的議題。文章中以四階段的 NWF-P 為例，說明演算法執行過程與績效衡量。
- (2). 本研究所提出的起始解演算法 Revised MDA1、Revised MDA2 與 LPT、RAJ、SPT 比較，求出的解明顯優於其他三種方法，表示 Revised MDA1 與 Revised MDA2 適用於 NWF-P 排程問題，其中又以 Revised MDA2 求出的解較佳。
- (3). 本研究提出三套演算法 TS1、TS2 與 TS3，在解的品質方面 TS3 優於其餘演算法(TS1、TS2)，且在求解時間方面 TS3 也能較快的時間搜尋到好的解，因此可知 TS3 方法較好。
- (4). 本研究考慮總排程時間、各階段機台數與機台利用率的關係，構建不同機台組合的總效益公式，提供決策者作為參考。

6.2 未來研究方向

未來研究可考慮以下議題：

- (1). 本研究在機台效率評估方面，考慮了「總排程時間」與「機台利用率」，未來可以加入更多考量因素(ex：交期)。
- (2). 本研究啟發式演算法是採用禁忌搜尋法，未來可發展其他啟發式演算法，例如模擬退火法(Simulated Annealing)、螞蟻演算法(Ant Colony Optimization, ACO)、基因演算法(Genetic Algorithm)、離散粒子群演算法(Discrete Particle Swarm Optimization, DPSO)、混合式粒子群最佳化演算法(Hybrid Particle Awarm Optimization, HPSO)等。



参考文献

- [1] T. Aldowaisan, and A. Allahverdi(2003), “New heuristic for no-wait flowshops to minimize makespan,” *Computers and Operations Research* Vol. 30, pp.1219-1231.
- [2] A. Allahverdi, and T. Aldowaisan(2002), “No-wait flowshops with bicriteria of makespan and total completion time,” *Computers & Operations Research* Vol. 30, pp.1219-1231.
- [3] E. Bertolissi(2000), “Heuristic algorithm for scheduling in the no-wait flow-shop,” *Journal of Materials Proceeding Technology* Vol.107, pp.459-465.
- [4] Bo Liu, Ling Wang, and Yi-Hui Jin(2007), “An effective hybrid particle swarm optimization for no-wait flow shop scheduling,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Vol.31, pp.1001-1011.
- [5] J. Chang, W. Yan, and H. Shao(2004), “Scheduling a two-stage no-wait hybrid Flowshop with separated setup and removal times,” *Proceeding of the 2004 American Control Conference* Vol.216, pp.1412-1416.
- [6] E.G. Coffman, M.R. Garey, and D.S. Johnson(1978), “An application of bin-packing to multiprocessor scheduling,” *SIAM Journal On Computing* Vol.7 pp.1-17.
- [7] D.G. Dannenbring(1977) “An Evaluation of Flow Shop Sequencing Heuristics,” *Management Science* Vol. 23, pp.1174-1182.
- [8] Dipak Laha and Uday K. Chakraborty(2009), “A constructive heuristic for minimizing makespan in no-wait flow shop scheduling,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Vol.41, pp.97-110.
- [9] A. Fink, and S. Voss(2003), “Solving the continuous flow-shop scheduling problem by metaheuristics,” *European Journal of Operational Research* Vol.151, pp.400-414.

- [10] R. Gangadharan, and C. Rajendran(1993), "Heuristic algorithms for scheduling in the no-wait flowshop," *International Journal of Production Economics* Vol.32, pp.285-290.
- [11] S.M.T.F. Ghomi, and F.J. Ghazvini(1998), "A pairwise interchange algorithm for parallel machine scheduling," *Production Planning & Control* Vol. 9, pp.685-689.
- [12] P.C. Gilmore, and R.E. Gomory(1964), "Sequencing a one state variable machine: a solvable case of the travelling salesman problem," *Operations Research* Vol.12, pp.655-679.
- [13] S. K. Goyal(1972), "On the Flow-Shop Sequencing Problem with No Wait in Process," *Operational Research Quarterly* Vol. 24, pp.130-133.
- [14] R. L. Graham(1969), "Bounds on Multiprocessing Timing Anomalies," *SIAM Journal on Applied Mathematics* Vol. 17, pp.416-429.
- [15] S.M. Johnson(1953) "Optimal Two- and Three-Stage Production Schedules with Setup Times Included," *Naval Research Logistics Quarterly* Vol.1, pp.61-68
- [16] W. Lee, C. Wu, and P. Chen(2006), "A simulated annealing approach to Makespan minimization on identical parallel machines," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Vol. 31, pp.328-334.
- [17] Z. Liu, J. Xie, J. Li, and J. Dong(2003), "Heuristic for Two-Stage No-Wait Hybrid Flowshop Scheduling with a Single Machine in Either Stage," *Tsinghua Science and Technology* Vol. 8, pp.43-48.
- [18] Quan-Ke Pan, M.F. Tasgetiren, and Yun-Chia Liang(2008) "A discrete particle swarm optimization algorithm for the no-wait flowshop scheduling problem," *Computers and Operations Research* Vol.35, pp.2807-2839.
- [19] C. Rajendran(1994), "A No-Wait Flowshop Scheduling Heuristic to Minimize Makespan," *The Journal of the Operational Research Society* Vol. 45, pp.472-478.

- [20] S.S. Reddi, and C.V. Ramamoorthy(1972), “On the Flow-Shop Sequencing Problem with No Wait in Process,” *Operational Research Quarterly* Vol. 33, pp.323-331.
- [21] H. Rock(1984), ”The three-machine no-wait flowshop problem is NP-complete,” *Journal of the Association for Computing Machinery* Vol.31, pp.336–345.
- [22] S.J Shyu, B.M.T. Lin, and P.Y. Yin(2004), “Application of ant colony optimization for no-wait flowshop scheduling problem to minimize the total completion time,” *Computers & Industrial Engineering* Vol.47, pp.181-193.
- [23] C. Sriskandarajah(1993), “Performance of scheduling algorithms for no-wait flowshops with parallel machine,” *European Journal of Operational Research* Vol.70, pp.365-378.
- [24] J. Xie, W. Xing, Z. Liu, and J. Dong(2004), ”Minimum Deviation Algorithm for Two-Stage No-Wait Flowshops with Parallel Machines,” *Computer and Mathematics with Applications* Vol.47, pp.1857-1863.
- [25] 朱馨吟 (2008)：工件不允許等待之平行機台流程式生產排程。國立交通大學工業工程與管理學研究所碩士論文。

附錄 A

以下表格為 Revise MDA1、Revise MDA2、LPT、RAJ 與 SPT 在各種不同的 n、Class、 $m_i(i \in 1, 2, 3, 4)$ 組合下的數據整理表，包含了總排程時間平均值(Mean)、總排程時間標準差(Std.)與優勢百分比平均值(Improve)。

表 A. 1 n=50 之各種演算法結果

n	Class	m1	m2	m3	m4	Makespan														
						Revise MDA1			Revise MDA2			LPT			RAJ			SPT		
						Mean	Std.	Impro.	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve
50	1	2	2	2	2	1751.87	71.45	0.0%	1788.03	61.67	2.0%	2054.07	71.46	14.7%	1951.53	78.30	10.2%	2056.63	80.00	14.8%
				3	3	1713.90	70.67	0.0%	1735.70	59.73	1.3%	1937.57	68.56	11.5%	1856.73	72.22	7.7%	1988.17	79.08	13.8%
			3	2	2	1723.20	60.75	0.0%	1787.57	69.78	3.6%	1939.10	77.78	11.1%	1835.73	86.14	6.1%	1958.60	83.86	12.0%
				3	3	1669.80	68.15	0.0%	1697.53	74.49	1.6%	1779.00	74.23	6.1%	1709.63	76.86	2.3%	1857.97	76.82	10.1%
			3	2	2	1695.10	91.97	0.0%	1725.43	88.75	1.8%	1959.93	70.06	13.5%	1873.00	79.13	9.5%	1948.47	83.45	13.0%
				3	3	1619.10	94.86	0.0%	1635.53	80.00	1.0%	1818.23	79.43	11.0%	1750.50	81.14	7.5%	1865.83	82.98	13.2%
		3	2	2	2	1661.80	94.72	0.0%	1700.13	86.16	2.3%	1792.97	69.28	7.3%	1715.77	85.49	3.1%	1804.53	79.36	7.9%
				3	3	1553.50	91.86	0.0%	1552.13	87.86	-0.1%	1598.97	67.75	2.8%	1554.37	74.10	0.1%	1678.70	73.03	7.5%
			3	2	2	1664.53	84.80	0.0%	1692.47	90.60	1.7%	1976.33	75.21	15.8%	1867.27	79.35	10.9%	1954.70	89.49	14.8%
				3	3	1639.67	85.71	0.0%	1657.83	86.77	1.1%	1828.20	74.65	10.3%	1747.00	76.34	6.1%	1847.67	84.76	11.3%
			3	2	2	1618.57	93.31	0.0%	1674.40	83.23	3.3%	1850.07	81.26	12.5%	1728.73	89.49	6.4%	1837.17	93.07	11.9%
				3	3	1563.93	107.48	0.0%	1590.83	101.41	1.7%	1641.20	76.15	4.7%	1592.87	84.08	1.8%	1682.13	89.85	7.0%
	3	2	2	2	1557.87	78.14	0.0%	1551.23	80.50	-0.4%	1839.70	66.63	15.3%	1756.57	85.19	11.3%	1791.90	84.52	13.1%	
			3	3	1515.63	92.55	0.0%	1530.03	88.41	0.9%	1662.13	77.28	8.8%	1595.33	84.23	5.0%	1662.53	85.08	8.8%	
		3	2	2	1408.17	83.79	0.0%	1425.03	81.30	1.2%	1661.67	60.87	15.3%	1535.80	75.03	8.3%	1614.60	70.70	12.8%	
			3	3	1244.17	56.28	0.0%	1265.80	56.36	1.7%	1401.67	46.81	11.2%	1314.03	53.74	5.3%	1430.50	60.29	13.0%	

(續)

n	Class	m1	m2	m3	m4	Makespan														
						Revise MDA1			Revise MDA2			LPT			RAI			SPT		
						Mean	Std	Improve	Mean	Std	Improve	Mean	Std	Improve	Mean	Std	Improve	Mean	Std	Improve
50	2	2	2	2	2	1623.53	78.07	0.0%	1639.87	82.12	1.0%	1860.23	73.55	12.7%	1848.17	72.98	12.2%	1878.53	69.80	13.6%
					3	1586.23	90.57	0.0%	1603.67	90.41	1.1%	1729.47	79.93	8.3%	1696.07	76.18	6.5%	1788.60	83.93	11.3%
					3	1553.97	99.41	0.0%	1614.30	99.89	3.7%	1729.03	75.65	10.1%	1713.00	79.32	9.3%	1745.10	76.04	11.0%
			3	1506.40	119.87	0.0%	1521.73	115.27	1.0%	1538.47	77.93	2.1%	1530.07	85.86	1.5%	1605.07	86.48	6.1%		
			3	1524.53	74.99	0.0%	1519.37	88.14	-0.3%	1742.47	76.76	12.5%	1716.30	75.42	11.2%	1723.10	76.60	11.5%		
			3	1468.83	96.51	0.0%	1492.57	96.57	1.6%	1556.57	79.95	5.6%	1522.73	84.76	3.5%	1580.53	84.41	7.1%		
			3	1362.17	74.54	0.0%	1347.47	72.10	-1.1%	1563.23	73.45	12.9%	1497.70	52.63	9.0%	1519.13	65.66	10.3%		
			3	1143.00	56.66	0.0%	1170.03	60.31	2.3%	1287.37	49.72	11.2%	1252.30	54.48	8.7%	1319.13	49.67	13.4%		
			3	1617.90	75.26	0.0%	1633.73	81.86	1.0%	1860.20	73.54	13.0%	1848.17	72.98	12.5%	1875.97	69.54	13.8%		
			3	1582.47	89.59	0.0%	1601.23	90.44	1.2%	1727.83	80.85	8.4%	1695.00	75.70	6.6%	1785.50	83.49	11.4%		
			3	1561.07	96.23	0.0%	1618.63	106.38	3.6%	1728.70	75.68	9.7%	1712.20	79.07	8.8%	1742.87	76.17	10.4%		
			3	1498.13	119.78	0.0%	1514.27	114.62	1.1%	1536.90	78.40	2.5%	1527.87	84.78	1.9%	1600.97	86.65	6.4%		
		3	1522.00	81.40	0.0%	1513.03	86.15	-0.6%	1741.87	76.76	12.6%	1715.80	75.48	11.3%	1718.57	76.47	11.4%			
		3	1468.23	92.98	0.0%	1479.90	89.47	0.8%	1549.10	80.90	5.2%	1520.73	84.46	3.5%	1567.57	84.49	6.3%			
		3	1362.47	75.58	0.0%	1344.00	76.83	-1.4%	1562.70	73.37	12.8%	1495.17	51.84	8.9%	1513.20	66.01	10.0%			
		3	1137.97	56.71	0.0%	1149.40	63.59	1.0%	1275.63	48.40	10.8%	1246.30	53.85	8.7%	1307.10	51.25	12.9%			
		3	1606.07	88.46	0.0%	1627.63	91.65	1.3%	1836.63	74.37	12.6%	1854.57	74.66	13.4%	1869.07	68.10	14.1%			
		3	1534.97	93.10	0.0%	1552.97	87.42	1.2%	1688.43	91.56	9.1%	1730.00	81.92	11.3%	1770.03	76.20	13.3%			
		3	1572.83	102.39	0.0%	1633.87	99.99	3.7%	1701.90	80.18	7.6%	1685.27	81.21	6.7%	1743.00	67.76	9.8%			
		3	1484.87	100.16	0.0%	1488.47	97.65	0.2%	1493.33	76.20	0.6%	1517.37	85.41	2.1%	1610.50	89.32	7.8%			
		3	1607.00	87.64	0.0%	1629.40	95.03	1.4%	1836.07	74.61	12.5%	1854.53	74.69	13.3%	1867.77	67.67	14.0%			
		3	1535.40	94.54	0.0%	1557.03	86.23	1.4%	1688.23	91.65	9.1%	1730.00	81.92	11.2%	1769.53	76.31	13.2%			
		3	1585.57	107.29	0.0%	1630.37	101.70	2.7%	1700.37	79.85	6.8%	1684.27	81.27	5.9%	1740.50	68.08	8.9%			
		3	1484.40	95.90	0.0%	1493.80	95.17	0.6%	1495.43	75.48	0.7%	1516.30	86.13	2.1%	1606.63	88.75	7.6%			
	3	1509.97	82.98	0.0%	1500.83	87.14	-0.6%	1732.20	67.58	12.8%	1728.67	70.58	12.7%	1684.73	73.22	10.4%				
	3	1436.27	111.84	0.0%	1455.23	105.73	1.3%	1546.07	74.02	7.1%	1557.80	79.37	7.8%	1540.93	69.19	6.8%				
	3	1369.23	79.45	0.0%	1344.53	86.79	-1.8%	1547.03	78.29	11.5%	1480.20	63.60	7.5%	1509.83	66.89	9.3%				
	3	1123.03	67.05	0.0%	1150.90	66.91	2.4%	1271.67	47.66	11.7%	1243.27	52.56	9.7%	1306.80	57.08	14.1%				
	3	1506.10	82.53	0.0%	1493.87	94.44	-0.8%	1729.87	68.04	12.9%	1728.23	70.45	12.9%	1681.93	73.48	10.5%				
	3	1430.63	110.02	0.0%	1450.37	110.92	1.4%	1543.67	74.51	7.3%	1557.47	79.54	8.1%	1538.13	69.00	7.0%				
	3	1365.83	82.64	0.0%	1353.40	91.20	-0.9%	1535.67	76.53	11.1%	1477.93	62.95	7.6%	1499.87	63.77	8.9%				
	3	1125.67	64.80	0.0%	1148.27	72.14	2.0%	1257.87	49.15	10.5%	1237.93	53.26	9.1%	1295.77	55.91	13.1%				
	3	1628.97	70.42	0.0%	1702.60	83.35	4.3%	1873.43	70.50	13.0%	1836.90	79.32	11.3%	1887.53	79.47	13.7%				
	3	1598.10	70.03	0.0%	1636.13	86.02	2.3%	1729.43	75.39	7.6%	1692.67	81.19	5.6%	1787.50	84.16	10.6%				
	3	1628.37	71.64	0.0%	1700.50	83.79	4.2%	1872.80	70.38	13.1%	1836.90	79.32	11.4%	1886.87	80.21	13.7%				
	3	1596.07	68.22	0.0%	1636.73	89.42	2.5%	1726.77	75.15	7.6%	1692.27	81.47	5.7%	1784.77	85.98	10.6%				
	3	1565.03	88.40	0.0%	1669.00	78.66	6.2%	1740.53	73.30	10.1%	1705.03	79.91	8.2%	1762.27	82.48	11.2%				
	3	1466.60	97.09	0.0%	1539.10	101.97	4.7%	1546.53	76.76	5.2%	1543.13	91.09	5.0%	1626.33	89.82	9.8%				
	3	1564.60	95.47	0.0%	1666.97	82.57	6.1%	1738.80	73.40	10.0%	1704.73	79.94	8.2%	1760.50	82.95	11.1%				
	3	1467.17	96.88	0.0%	1540.20	105.31	4.7%	1541.37	79.16	4.8%	1543.67	92.54	5.0%	1615.73	93.19	9.2%				
	3	1524.63	83.20	0.0%	1564.47	97.98	2.5%	1747.63	84.10	12.8%	1729.70	92.47	11.9%	1719.70	78.08	11.3%				
	3	1504.17	97.09	0.0%	1511.07	99.05	0.5%	1553.00	73.41	3.1%	1539.20	88.23	2.3%	1575.80	85.84	4.5%				
	3	1525.73	87.14	0.0%	1567.73	95.14	2.7%	1746.63	84.84	12.6%	1729.50	92.80	11.8%	1719.03	78.73	11.2%				
	3	1504.63	100.28	0.0%	1510.77	99.89	0.4%	1549.47	74.05	2.9%	1538.67	88.40	2.2%	1573.33	86.55	4.4%				
	3	1335.83	86.04	0.0%	1368.37	72.63	2.4%	1560.87	76.20	14.4%	1501.67	79.83	11.0%	1528.13	71.32	12.6%				
	3	1141.83	51.84	0.0%	1191.30	59.86	4.2%	1291.17	54.28	11.6%	1253.40	62.84	8.9%	1324.00	58.83	13.8%				
	3	1332.47	87.40	0.0%	1353.43	73.60	1.5%	1558.27	76.50	14.5%	1499.87	80.30	11.2%	1526.20	71.49	12.7%				
	3	1145.73	54.52	0.0%	1198.57	59.17	4.4%	1272.07	54.34	9.9%	1248.63	61.95	8.2%	1312.67	57.39	12.7%				
3	1663.77	71.36	0.0%	1685.77	80.25	1.3%	1860.93	68.73	10.6%	1793.37	76.58	7.2%	1896.80	74.28	12.3%					
3	1665.10	67.34	0.0%	1684.80	78.16	1.2%	1859.17	69.31	10.4%	1792.80	77.26	7.1%	1896.80	74.28	12.2%					
3	1622.07	73.52	0.0%	1642.60	94.61	1.3%	1730.80	73.28	6.3%	1660.00	80.05	2.3%	1789.57	83.77	9.4%					
3	1616.47	70.91	0.0%	1642.33	95.70	1.6%	1723.77	73.78	6.2%	1659.57	80.41	2.6%	1789.10	83.70	9.6%					
3	1561.47	87.26	0.0%	1602.87	82.64	2.6%	1726.73	77.21	9.6%	1681.67	71.29	7.1%	1763.53	79.29	11.5%					
3	1597.70	91.00	0.0%	1605.70	80.34	2.9%	1724.17	77.30	9.5%	1680.47	72.27	7.2%	1763.27	79.39	11.5%					
3	1474.60	104.16	0.0%	1523.97	111.49	3.2%	1534.40	80.09	3.9%	1531.03	94.89	3.7%	1620.30	89.10	9.0%					
3	1466.87	99.81	0.0%	1520.53	111.94	3.5%	1528.07	83.19	4.0%	1525.17	91.51	3.8%	1619.97	89.20	9.5%					
3	1599.87	85.52	0.0%	1584.60	84.50	-1.0%	1748.17	74.50	8.0%	1647.73	76.27	2.9%	1713.67	77.92	6.9%					
3	1599.27	82.22	0.0%	1576.97	85.60	-1.4%	1744.80	74.18	8.3%	1647.03	77.25	2.9%	1717.10	78.41	6.9%					
3	1516.80	105.40	0.0%	1524.60	104.10	0.5%	1566.97	72.57	3.2%	1536.40	102.04	1.3%	1569.80	91.88	3.4%					
3	1512.23	105.60	0.0%	1522.17	102.38	0.7%	1547.40	74.20	2.3%	1525.73	91.06	0.9%	1565.80	92.11	3.4%					
3	1471.20	94.24	0.0%	1461.70	68.35	-0.6%	1563.07	73.22	5.9%	1475.03	68.16	0.3%	1527.37	72.12	3.7%					
3	1463.73	93.87	0.0%	1458.53	69.91	-0.4%	1557.87	72.28	6.0%	1473.33	68.50	0.7%	1526.50	72.44	4.1%					
3	1173.67	40.10	0.0%	1191.93	55.24	1.5%	1296.07	46.57	9.4%	1204.83	44.17	2.6%	1316.17	53.94	10.8%					
3	1166.00	43.07	0.0%	1193.03	54.31	2.3%	1270.47	46.67	8.2%	1194.77	47.87	2.4%	1308.43	53.39	10.9%					

表 A. 2 n=100 之各種演算法結果

n	Class	m1	m2	m3	m4	Makespan														
						Revise MDA1			Revise MDA2			LPT			RAI			SPT		
						Mean	Std	Improve	Mean	Std	Improve	Mean	Std	Improve	Mean	Std	Improve	Mean	Std	Improve
100	1	2	2	2	2	3219.77	90.75	0.0%	3323.67	85.59	3.1%	3941.67	110.83	18.3%	3853.30	92.97	16.4%	3968.20	118.51	18.9%
					3	3141.27	102.55	0.0%	3201.30	101.75	1.9%	3723.67	109.15	15.6%	3654.17	105.21	14.0%	3795.70	122.71	17.2%
					3	3178.37	74.07	0.0%	3303.97	105.38	3.8%	3744.23	122.29	15.1%	3626.63	111.23	12.4%	3781.63	105.02	16.0%
					3	3062.27	92.06	0.0%	3131.93	100.32	2.2%	3442.93	116.50	11.1%	3372.60	114.04	9.2%	3521.03	102.87	13.0%
					3	3173.93	96.36	0.0%	3196.13	100.61	0.7%	3741.73	94.57	15.2%	3715.03	103.41	14.6%	3754.83	111.84	15.5%
		3	2	2996.60	130.87	0.0%	2997.17	119.37	0.0%	3483.87	115.71	14.0%	3478.20	117.94	13.8%	3535.80	120.34	15.2%		
			3	3093.70	98.03	0.0%	3169.10	106.37	2.4%	3461.23	89.60	10.6%	3397.80	101.95	8.9%	3465.50	88.30	10.7%		
			3	2869.07	108.66	0.0%	2867.67	103.77	0.0%	3097.90	98.89	7.4%	3082.57	109.47	6.9%	3158.00	86.81	9.1%		
			2	3120.57	80.01	0.0%	3134.63	109.40	0.4%	3759.07	107.72	17.0%	3652.83	89.87	14.6%	3760.63	120.66	17.0%		
			3	3052.50	99.95	0.0%	3073.13	96.63	0.7%	3457.90	108.41	11.7%	3388.03	96.52	9.9%	3506.30	124.89	12.9%		
	2	2	2	3003.50	96.86	0.0%	3141.17	117.11	4.3%	3517.70	128.83	14.6%	3369.23	116.42	10.8%	3537.67	120.28	15.0%		
			3	2911.30	131.64	0.0%	2956.73	132.91	1.5%	3115.27	114.77	6.5%	3026.77	110.85	3.8%	3178.13	103.07	8.4%		
			2	2953.27	105.31	0.0%	2911.73	129.70	-1.4%	3475.23	99.14	15.0%	3435.10	88.16	14.0%	3447.27	116.36	14.3%		
			3	2826.87	135.06	0.0%	2883.87	126.56	2.0%	3114.80	101.84	9.2%	3100.13	99.09	8.8%	3136.60	123.10	9.9%		
			2	2705.43	124.81	0.0%	2692.87	123.48	-0.5%	3137.87	91.98	13.8%	2993.20	94.97	9.6%	3103.63	101.11	12.8%		
		3	2	2231.83	54.46	0.0%	2280.17	74.18	2.1%	2641.73	65.14	15.5%	2553.73	64.27	12.6%	2677.23	77.91	16.6%		
			3	3051.90	115.12	0.0%	3075.07	106.30	0.8%	3596.23	109.52	15.1%	3617.37	101.38	15.6%	3613.97	89.77	15.6%		
			2	2930.93	125.52	0.0%	2953.93	115.43	0.8%	3309.30	123.17	11.4%	3296.23	107.01	11.1%	3373.60	108.88	13.1%		
			3	2931.03	107.12	0.0%	3037.77	119.96	3.5%	3327.13	121.05	11.9%	3339.40	113.40	12.2%	3345.57	101.33	12.4%		
			2	2806.70	143.01	0.0%	2846.70	131.14	1.4%	2939.93	104.51	4.5%	2940.07	98.35	4.5%	3022.57	103.03	7.1%		
	3	2	2	2916.73	106.09	0.0%	2876.83	124.95	-1.4%	3349.47	102.55	12.9%	3383.87	111.07	13.8%	3319.00	100.26	12.1%		
			3	2781.93	152.91	0.0%	2807.33	139.16	0.9%	2980.37	126.73	6.7%	2967.63	126.20	6.3%	2993.97	118.56	7.1%		
			2	2654.60	130.37	0.0%	2604.60	141.99	-1.9%	2982.47	116.11	11.0%	2924.23	103.52	9.2%	2941.23	104.39	9.7%		
			3	2093.60	80.02	0.0%	2130.23	73.77	1.7%	2440.93	81.98	14.2%	2401.07	64.95	12.8%	2464.07	72.65	15.0%		
			3	3028.23	101.56	0.0%	3068.20	109.40	1.3%	3595.30	109.11	15.8%	3617.27	101.52	16.3%	3611.27	89.94	16.1%		
		3	2	2930.00	126.86	0.0%	2948.17	123.76	0.6%	3306.13	121.95	11.4%	3295.77	106.99	11.1%	3367.57	110.66	13.0%		
			3	2915.73	111.52	0.0%	3038.87	133.31	4.1%	3325.70	121.02	12.3%	3338.57	113.70	12.7%	3341.67	102.78	12.7%		
			2	2793.77	136.87	0.0%	2837.43	138.86	1.5%	2956.77	103.63	4.9%	2938.23	99.14	4.9%	3015.53	105.35	7.4%		
			3	2916.50	115.31	0.0%	2875.20	125.78	-1.4%	3245.93	103.74	12.8%	3383.73	111.17	13.8%	3310.03	100.25	11.9%		
			2	2775.47	144.91	0.0%	2800.63	145.01	0.9%	2962.23	127.51	6.3%	2966.33	125.70	6.4%	2968.53	110.68	6.5%		
	4	2	2	2648.77	130.08	0.0%	2600.33	140.00	-1.9%	2978.23	115.90	11.1%	2921.83	103.54	9.3%	2931.27	108.89	9.6%		
			3	2077.77	65.85	0.0%	2117.33	75.92	1.9%	2413.33	80.80	13.9%	2394.43	63.39	13.2%	2439.53	70.61	14.8%		
			2	3031.73	110.93	0.0%	3100.77	95.17	2.2%	3588.37	106.66	15.5%	3688.60	109.62	17.8%	3595.23	105.75	15.7%		
			3	2862.87	123.87	0.0%	2946.23	104.73	2.8%	3305.77	116.03	13.4%	3439.43	126.76	16.8%	3359.30	109.20	14.8%		
			2	2994.23	117.15	0.0%	3156.30	117.29	5.1%	3320.83	104.07	9.8%	3369.30	106.75	11.1%	3339.27	95.81	10.3%		
		3	2	2800.17	134.09	0.0%	2900.93	121.43	3.5%	2933.37	105.58	4.5%	3038.00	115.41	7.8%	3016.83	107.80	7.2%		
			3	3029.33	104.65	0.0%	3115.17	84.18	2.8%	3587.13	106.33	15.6%	3688.60	109.62	17.9%	3593.40	106.13	15.7%		
			2	2859.33	124.26	0.0%	2942.00	107.06	2.8%	3304.97	116.34	13.5%	3439.40	126.75	16.9%	3358.10	109.48	14.9%		
			3	2991.67	115.78	0.0%	3153.03	114.03	5.1%	3315.97	105.29	9.8%	3368.53	107.10	11.2%	3334.47	95.30	10.3%		
			2	2789.10	126.52	0.0%	2894.20	127.50	3.6%	2926.93	107.451	4.7%	3036.53	116.03	8.1%	3011.07	107.82	7.4%		
	5	2	2	2885.93	119.98	0.0%	2813.50	99.64	-2.6%	3338.13	110.97	13.5%	3388.53	104.12	14.8%	3281.33	103.15	12.0%		
			3	2719.17	147.97	0.0%	2734.37	137.93	0.6%	2937.23	114.16	7.4%	3049.17	115.71	10.8%	2957.83	115.63	8.1%		
			2	2649.90	137.27	0.0%	2585.87	110.71	-2.5%	2976.17	95.16	11.0%	2919.63	89.14	9.2%	2915.50	84.90	9.1%		
			3	2092.10	80.93	0.0%	2155.37	58.99	2.9%	2422.20	73.20	13.6%	2452.43	77.45	14.7%	2450.60	66.80	14.6%		
			2	2882.57	105.38	0.0%	2809.97	101.20	-2.6%	3333.50	110.95	13.5%	3387.87	104.24	14.9%	3277.10	103.31	12.0%		
		3	2	2712.57	151.91	0.0%	2723.80	134.74	0.4%	2932.33	113.76	7.5%	3047.03	117.10	11.0%	2953.10	116.22	8.1%		
			2	2654.20	130.15	0.0%	2592.07	109.45	-2.4%	2952.77	92.60	10.1%	2913.80	90.94	8.9%	2893.10	84.21	8.3%		
			3	2092.47	76.18	0.0%	2154.57	57.24	2.9%	2391.97	70.06	12.5%	2443.60	78.86	14.4%	2425.30	65.55	13.7%		
			2	3041.30	83.82	0.0%	3186.33	107.94	4.6%	3595.00	122.56	15.4%	3587.63	125.88	15.2%	3611.90	122.13	15.8%		
			3	2962.53	98.22	0.0%	3061.50	115.51	3.2%	3323.03	121.09	10.8%	3285.37	128.72	9.8%	3384.33	111.99	12.5%		
	6	2	2	3040.57	84.97	0.0%	3189.30	107.53	4.7%	3593.60	122.70	15.4%	3587.40	125.88	15.2%	3610.43	122.76	15.8%		
			3	2962.73	98.07	0.0%	3059.73	111.28	3.2%	3317.07	122.84	10.7%	3285.03	128.77	9.8%	3378.10	113.10	12.3%		
			2	2948.07	113.26	0.0%	3120.87	125.35	5.5%	3319.40	109.99	11.2%	3307.47	113.87	10.9%	3338.13	96.80	11.7%		
			3	2755.33	104.05	0.0%	2861.07	136.84	3.7%	2958.17	110.10	6.9%	2936.93	113.78	6.2%	3037.73	99.35	9.3%		
			2	2946.73	103.00	0.0%	3120.57	141.65	5.6%	3314.17	110.57	11.1%	3307.00	113.98	10.9%	3332.57	99.68	11.6%		
		3	2	2748.60	117.26	0.0%	2869.73	139.95	4.2%	2929.37	106.94	6.2%	2936.17	114.29	6.4%	3009.77	104.42	8.7%		
			3	2871.50	113.79	0.0%	2975.37	151.54	3.5%	3322.50	125.33	13.8%	3369.03	140.44	14.8%	3304.07	135.25	13.1%		
			2	2826.37	125.69	0.0%	2880.60	147.87	1.9%	2966.13	135.80	4.7%	2965.03	142.86	4.7%	2987.87	125.23	5.4%		
			3	2868.03	110.45	0.0%	2969.60	141.84	3.4%	3311.53	135.84	13.9%	3368.60	140.63	14.9%	3302.23	136.18	13.1%		
			2	2823.33	119.40	0.0%	2877.87	147.35	1.9%	2959.80	138.32	4.6%	2964.03	142.48	4.7%	2982.00	126.72	5.3%		
	7	2	2	2608.93	150.04	0.0%	2569.63	111.11	-1.5%	2959.53	106.94	11.8%	2877.90	109.18	9.3%	2904.63	110.06	10.2%		
			3	2112.20	60.45	0.0%	2195.60	73.86	3.8%	2442.00	74.49	13.5%	2377.37	86.88	11.2%	2460.17	77.10	14.1%		
			2	2603.43	153.76	0.0%	2569.80	114.48	-1.3%	2955.17	107.01	11.9%	2876.60	109.23	9.5%	2896.83	109.42	10.1%		
			3	2099.30	55.27	0.0%	2183.23	77.16	3.8%	2407.83	78.18	12.8%	2372.27	86.94	11.5%	2430.33	77.29	13.6%		

(續)

n	Class	m1	m2	m3	m4	Makespan															
						Revise MDA1			Revise MDA2			LPT			RAJ			SPT			
						Mean	Std.	Impro	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	
100	5	2	2	2	2	3041.30	83.82	0.0%	3142.83	95.62	3.2%	3608.60	120.35	15.7%	3559.30	111.32	14.6%	3625.30	99.14	16.1%	
					3	2962.53	98.22	0.0%	3146.50	97.65	5.8%	3605.27	121.29	17.8%	3558.50	111.63	16.7%	3624.67	99.36	18.3%	
				3	2	3040.57	84.97	0.0%	3055.63	131.17	0.5%	3323.00	122.04	8.5%	3263.67	121.77	6.8%	3370.30	110.59	9.8%	
					3	2962.73	98.07	0.0%	3048.17	127.79	2.8%	3311.47	123.84	10.5%	3262.23	122.11	9.2%	3368.57	110.62	12.0%	
				3	2	2	2948.07	113.26	0.0%	2968.70	109.90	0.7%	3346.40	114.84	11.9%	3366.33	129.08	12.4%	3355.70	110.76	12.1%
						3	2755.33	104.05	0.0%	2959.60	108.18	6.9%	3341.80	116.41	17.5%	3365.17	129.23	18.1%	3354.90	111.07	17.9%
			3		2	2946.73	103.00	0.0%	2822.83	128.87	-4.4%	2949.20	98.14	0.1%	2953.87	116.65	0.2%	3025.63	106.31	2.6%	
					3	2748.60	117.26	0.0%	2807.30	131.02	2.1%	2938.03	100.70	6.4%	2951.30	116.23	6.9%	3023.33	107.01	9.1%	
					2	2	2871.50	113.79	0.0%	2975.40	104.58	3.5%	3355.80	120.35	14.4%	3268.37	109.21	12.1%	3330.83	103.85	13.8%
						3	2826.37	125.69	0.0%	2980.57	107.33	5.2%	3348.67	120.22	15.6%	3265.57	108.35	13.4%	3328.33	104.69	15.1%
			3	2	2	2868.03	110.45	0.0%	2836.97	152.47	-1.1%	2983.40	121.13	3.9%	2881.73	124.05	0.5%	2986.33	113.72	4.0%	
					3	2823.33	119.40	0.0%	2832.60	145.14	0.3%	2950.43	124.60	4.3%	2876.63	123.51	1.9%	2971.57	113.26	5.0%	
		3		2	2608.93	150.04	0.0%	2820.37	127.78	7.5%	2984.20	120.60	12.6%	2952.97	115.69	11.7%	2936.93	115.44	11.2%		
				3	2112.20	60.45	0.0%	2816.17	130.35	25.0%	2976.70	121.53	29.0%	2950.00	116.81	28.4%	2934.03	117.14	28.0%		
				2	2	2603.43	153.76	0.0%	2169.60	76.82	-20.0%	2448.40	78.24	-6.3%	2373.57	76.53	-9.7%	2466.83	83.78	-5.5%	
					3	2099.30	55.27	0.0%	2158.20	63.90	2.7%	2405.03	78.91	12.7%	2359.47	77.47	11.0%	2449.30	82.83	14.3%	

表 A. 3 n=150 之各種演算法結果

n	Class	m1	m2	m3	m4	Makespan															
						Revise MDA1			Revise MDA2			LPT			RAJ			SPT			
						Mean	Std.	Impro	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	
150	1	2	2	2	2	4666.37	120.28	0.0%	4795.93	121.06	2.7%	5839.83	116.40	20.1%	6052.73	103.82	22.9%	5856.83	115.23	20.3%	
					3	4554.23	103.72	0.0%	4640.80	109.99	1.9%	5496.30	116.28	17.1%	5676.33	119.83	19.8%	5580.33	129.97	18.4%	
				3	2	4628.57	118.40	0.0%	4803.80	118.20	3.6%	5531.60	129.70	16.3%	5714.57	126.05	19.0%	5558.90	119.38	16.7%	
					3	4447.00	127.15	0.0%	4544.47	141.95	2.1%	5055.60	120.63	12.0%	5192.87	114.55	14.4%	5159.93	115.73	13.8%	
				3	2	2	4604.93	135.04	0.0%	4620.60	134.34	0.3%	5528.30	115.43	16.7%	5854.60	122.32	21.3%	5537.63	99.74	16.8%
						3	4357.20	144.47	0.0%	4371.00	133.71	0.3%	5132.40	115.45	15.1%	5416.57	131.35	19.6%	5212.73	123.98	16.4%
			3		2	4517.93	108.63	0.0%	4614.53	110.86	2.1%	5086.87	110.16	11.2%	5377.50	141.83	16.0%	5105.57	107.09	11.5%	
					3	4182.33	149.87	0.0%	4181.53	143.31	0.0%	4527.03	108.03	7.6%	4745.40	117.70	11.9%	4629.07	117.62	9.7%	
					2	2	4522.13	121.72	0.0%	4551.63	126.70	0.6%	5574.03	120.63	18.9%	5655.13	112.84	20.0%	5534.57	105.52	18.3%
						3	4430.83	117.62	0.0%	4448.83	108.60	0.4%	5120.70	114.99	13.5%	5199.13	107.89	14.8%	5144.87	132.91	13.9%
			3	2	2	4345.90	159.75	0.0%	4552.57	164.28	4.5%	5216.40	144.98	16.7%	5268.20	137.81	17.5%	5182.77	135.61	16.1%	
					3	4213.30	175.56	0.0%	4282.67	165.84	1.6%	4594.30	124.48	8.3%	4646.77	117.99	9.3%	4637.20	132.36	9.1%	
		3		2	4298.07	120.31	0.0%	4260.67	136.37	-0.9%	5142.03	110.61	16.4%	5301.10	122.64	18.9%	5085.33	96.85	15.5%		
				3	4162.67	150.23	0.0%	4213.27	154.95	1.2%	4598.57	108.40	9.5%	4777.27	116.17	12.9%	4613.20	118.50	9.8%		
				2	2	3968.80	139.60	0.0%	3946.20	132.15	-0.6%	4629.00	115.57	14.3%	4713.83	125.69	15.8%	4563.70	114.09	13.0%	
					3	3203.07	85.14	0.0%	3283.53	87.01	2.5%	3873.67	70.37	17.3%	4007.10	76.56	20.1%	3905.57	91.38	18.0%	

表 A. 4 n=200 之各種演算法結果

n	Class	m1	m2	m3	m4	Makespan														
						Revise MDA1			Revise MDA2			LPT			RAJ			SPT		
						Mean	Std	Impro	Mean	Std	Improve	Mean	Std	Improve	Mean	Std	Improve	Mean	Std	Improve
200	1	2	2	2	2	6113.93	143.73	0.0%	6253.23	134.45	2.2%	7725.13	124.33	20.9%	8241.47	140.63	25.8%	7760.17	147.93	21.2%
						5969.43	143.94	0.0%	6064.57	147.37	1.6%	7273.07	154.20	17.9%	7675.43	137.52	22.2%	7380.53	175.87	19.1%
						6018.00	145.31	0.0%	6284.10	139.34	4.2%	7315.93	135.22	17.7%	7811.10	171.02	23.0%	7336.90	145.25	18.0%
						5818.50	187.65	0.0%	5954.37	173.94	2.3%	6683.50	144.45	12.9%	7027.00	172.54	17.2%	6805.27	157.84	14.5%
						6047.10	143.88	0.0%	6059.10	151.51	0.2%	7323.03	125.36	17.4%	7934.00	159.44	23.8%	7321.10	130.65	17.4%
						5711.77	161.76	0.0%	5717.10	161.43	0.1%	6788.50	143.13	15.9%	7297.00	150.55	21.7%	6870.77	161.71	16.9%
						5909.30	127.49	0.0%	6079.10	143.34	2.8%	6728.27	129.48	12.2%	7344.13	160.11	19.5%	6749.60	122.10	12.4%
						5488.67	174.45	0.0%	5505.27	171.15	0.3%	5991.40	132.14	8.4%	6389.00	148.83	14.1%	6099.63	131.48	10.0%
						5935.80	120.74	0.0%	5972.90	159.02	0.6%	7352.53	131.61	19.3%	7639.50	142.19	22.3%	7319.47	141.16	18.9%
						5812.93	128.24	0.0%	5827.10	137.44	0.2%	6759.60	147.22	14.0%	6989.00	136.55	16.8%	6800.53	162.16	14.5%
						5718.67	180.96	0.0%	5947.17	204.38	3.8%	6870.63	144.69	16.8%	7144.70	153.13	20.0%	6837.03	159.74	16.4%
						5522.93	221.17	0.0%	5612.53	219.92	1.6%	6054.17	148.83	8.8%	6259.77	154.81	11.8%	6108.93	160.83	9.6%
						5659.20	138.04	0.0%	5595.67	167.33	-1.1%	6776.40	137.98	16.5%	7149.50	142.58	20.8%	6725.70	135.90	15.9%
						5470.43	191.60	0.0%	5553.37	186.75	1.5%	6075.30	150.57	10.0%	6415.10	127.67	14.7%	6085.47	155.74	10.1%
						5231.30	151.06	0.0%	5188.80	147.44	-0.8%	6099.23	125.77	14.2%	6407.67	140.14	18.4%	6028.77	139.03	13.2%
						4171.37	104.96	0.0%	4264.90	104.05	2.2%	5114.57	98.64	18.4%	5421.43	93.89	23.1%	5143.63	110.75	18.9%
						5839.30	138.67	0.0%	5843.80	152.63	0.1%	7064.77	138.12	17.3%	7380.83	160.73	20.9%	7068.07	125.96	17.4%
						5634.27	168.94	0.0%	5664.83	158.64	0.5%	6495.70	142.16	13.3%	6659.07	148.54	15.4%	6568.60	147.34	14.2%
						5491.87	168.94	0.0%	5797.37	182.11	3.5%	6513.47	150.35	14.1%	6867.03	163.28	18.6%	6528.47	147.98	14.3%
						5342.30	229.46	0.0%	5428.30	229.77	1.6%	6732.93	158.19	6.8%	6936.23	155.24	10.0%	6826.37	174.98	8.3%
						5610.93	154.89	0.0%	5541.80	166.93	1.6%	6539.33	152.72	14.2%	6851.70	170.83	18.1%	6807.90	124.62	13.8%
						5381.43	195.72	0.0%	5415.47	204.75	0.6%	5793.70	158.53	7.1%	5999.73	158.37	10.3%	5826.83	153.44	7.6%
						5186.13	162.99	0.0%	5109.00	176.35	-1.5%	5792.70	146.68	10.5%	6019.17	141.20	13.8%	5742.07	123.34	9.7%
						3995.47	95.93	0.0%	4016.13	106.91	0.5%	4729.80	95.78	15.5%	4923.23	98.32	18.8%	4763.33	100.38	16.1%
						5815.17	142.81	0.0%	5832.50	149.02	0.3%	7063.03	138.79	17.7%	7374.10	161.35	21.1%	7064.17	125.31	17.7%
						5618.67	157.60	0.0%	5642.23	164.50	0.5%	6489.37	142.43	13.4%	6852.17	148.70	15.5%	6557.87	148.32	14.3%
						5580.53	175.00	0.0%	5785.00	190.98	3.5%	6511.37	150.69	14.3%	6859.77	164.14	18.6%	6523.10	147.57	14.4%
						5228.10	229.84	0.0%	5222.03	216.48	-1.7%	5725.60	159.13	6.9%	5925.80	154.44	10.1%	5815.83	173.94	8.4%
						5623.90	147.29	0.0%	5545.90	176.88	-1.4%	6531.77	154.24	13.9%	6793.47	161.34	17.2%	6494.00	123.56	13.4%
						5378.83	198.25	0.0%	5411.23	201.69	0.6%	5750.70	154.83	6.5%	5949.80	159.72	9.6%	5777.70	154.82	6.9%
						5174.37	163.55	0.0%	5105.30	181.92	-1.4%	5784.03	147.04	10.5%	5953.53	133.25	13.1%	5722.27	124.28	9.6%
						3967.20	99.40	0.0%	3991.07	94.75	0.6%	4629.63	98.97	15.2%	4870.90	97.40	18.6%	4712.93	100.58	15.8%
						5826.23	136.75	0.0%	5928.87	176.06	1.7%	7013.33	152.85	16.9%	7372.40	139.96	23.1%	7019.17	152.26	17.0%
						5497.80	179.57	0.0%	5610.47	130.64	2.0%	6465.90	157.69	15.0%	6922.50	125.72	20.6%	6529.60	170.09	15.8%
						5793.53	154.22	0.0%	6070.33	205.89	4.6%	6491.47	192.87	15.0%	7000.93	162.42	17.2%	6485.27	159.69	10.7%
						5402.20	198.87	0.0%	5541.87	220.80	2.5%	5739.47	180.10	5.9%	6097.73	143.78	11.4%	5823.63	176.08	7.2%
						5831.33	141.26	0.0%	5932.23	176.31	1.7%	7010.87	152.24	16.8%	7572.00	140.97	23.0%	7015.60	151.91	16.9%
						5497.30	179.94	0.0%	5604.00	132.67	1.9%	6463.97	156.94	15.0%	6921.17	125.97	20.6%	6526.03	170.24	15.8%
						5794.53	173.28	0.0%	6083.60	210.96	4.8%	6481.47	192.53	10.6%	6996.27	163.09	17.2%	6472.87	159.37	10.5%
						5408.30	194.03	0.0%	5545.90	218.67	2.3%	6425.67	180.393	5.5%	6089.63	145.29	11.2%	5811.33	176.67	6.9%
						5591.07	161.47	0.0%	5459.60	133.12	-2.4%	6492.73	138.00	13.9%	6867.20	128.53	18.6%	6427.40	137.29	13.0%
						5269.90	209.03	0.0%	5317.57	171.00	0.9%	5733.13	136.77	8.1%	6073.27	105.62	13.2%	5744.30	136.14	8.3%
						5176.93	173.25	0.0%	5078.40	188.50	-1.9%	5785.13	149.47	10.5%	6078.30	127.87	14.8%	5720.43	145.16	9.5%
						3992.30	93.94	0.0%	4062.00	116.71	1.7%	4717.57	97.29	15.4%	5043.90	90.89	20.8%	4736.13	99.04	15.7%
						5583.70	159.30	0.0%	5456.80	135.41	-2.3%	6483.23	137.71	13.9%	6860.97	128.39	18.6%	6416.07	139.94	13.0%
						5250.67	216.19	0.0%	5300.50	163.61	0.9%	5723.10	135.76	8.3%	6069.77	105.78	13.5%	5733.13	136.84	8.4%
						5176.70	161.23	0.0%	5094.33	200.68	-1.6%	5726.17	153.08	9.6%	6039.87	123.51	14.3%	5669.37	153.13	8.7%
						4002.93	98.27	0.0%	4073.93	131.88	1.7%	4660.07	99.21	14.1%	5016.17	90.63	20.2%	4683.37	98.33	14.5%
						5817.13	153.55	0.0%	6095.87	158.33	4.6%	7046.73	159.63	17.4%	7503.83	145.02	22.5%	7067.90	164.13	17.7%
						5671.10	198.11	0.0%	5862.57	147.62	3.3%	6505.37	167.88	12.8%	6783.30	154.20	16.4%	6582.23	166.14	13.8%
						5820.43	136.06	0.0%	6094.20	148.45	4.5%	7042.97	159.42	17.4%	7502.83	145.19	22.4%	7064.70	164.89	17.6%
						5664.37	186.47	0.0%	5861.27	167.34	3.4%	6491.83	166.30	12.7%	6773.40	154.06	16.4%	6569.93	165.52	13.8%
						5671.97	144.92	0.0%	6001.93	200.88	5.5%	6480.70	166.05	12.5%	7000.83	160.98	19.0%	6517.13	147.55	13.0%
						5333.77	194.72	0.0%	5488.20	230.33	2.8%	5755.13	178.60	7.3%	6105.17	161.14	12.6%	5865.07	181.22	9.1%
						5669.67	162.35	0.0%	6017.47	224.32	5.8%	6470.67	164.91	12.4%	6996.67	161.41	19.0%	6508.07	148.25	12.9%
						5330.27	189.74	0.0%	5493.60	240.72	3.0%	5705.13	171.39	6.6%	6042.43	155.81	11.8%	5814.47	177.11	8.3%
						5552.03	158.37	0.0%	5739.33	187.84	3.3%	6518.47	166.90	14.8%	6814.20	164.10	18.5%	6510.93	174.39	14.7%
						5456.87	203.80	0.0%	5578.30	178.08	2.2%	5772.90	167.45	5.5%	5969.07	149.93	8.6%	5803.63	175.58	6.0%
						5552.50	154.96	0.0%	5735.80	184.71	3.2%	6514.80	167.38	14.8%	6813.50	164.00	18.5%	6507.23	175.17	14.7%
						5438.10	215.65	0.0%	5568.43	194.93	2.3%	5759.43	166.97	5.6%	5960.43	149.86	8.8%	5789.47	178.15	6.1%
						5113.57	175.32	0.0%	5041.90	194.67	-1.4%	5767.33	149.16	11.3%	6031.03	140.73	15.2%	5735.13	145.43	10.8%
						4006.53	92.52	0.0%	4157.03	95.30	3.6%	4748.07	114.00	15.6%	5011.87	100.09	20.1%	4774.63	115.16	16.1%
						5108.27	174.29	0.0%	5049.77	194.36	-1.2%	5755.13	150.49	11.2%	6025.43	141.95	15.2%	5723.50	146.31	10.7%
						3984.07	101.77	0.0%	4160.43	111.45	4.2%	4683.60	109.53	14.9%	4953.87	90.24	19.6%	4717.93	117.43	15.6%

(續)

n	Class	m1	m2	m3	m4	Makespan														
						Revise MDA1			Revise MDA2			LPT			RAJ			SPT		
						Mean	Std.	Impro	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve
200	5	2	2	2	2	5817.13	153.55	0.0%	5984.97	136.26	2.8%	7033.97	132.64	17.3%	7540.87	174.88	22.9%	7068.97	158.54	17.7%
				3	3	5671.10	198.11	0.0%	5969.80	129.54	5.0%	7029.13	132.02	19.3%	7528.83	174.52	24.7%	7068.17	158.51	19.8%
			3	2	2	5820.43	136.06	0.0%	5805.40	165.81	-0.3%	6489.17	152.14	10.3%	6896.40	169.48	15.6%	6562.07	159.00	11.3%
				3	3	5664.37	186.47	0.0%	5797.37	170.07	2.3%	6475.40	150.35	12.5%	6773.20	168.99	16.4%	6555.87	160.65	13.6%
			3	2	2	5671.97	144.92	0.0%	5645.57	156.76	-0.5%	6500.87	137.33	12.8%	7129.07	184.60	20.4%	6515.43	168.40	12.9%
				3	3	5333.77	194.72	0.0%	5651.73	171.56	5.6%	6494.97	137.94	17.9%	7113.37	185.05	25.0%	6514.30	168.92	18.1%
		3	2	2	2	5669.67	162.35	0.0%	5365.60	224.02	-5.7%	5744.13	148.86	1.3%	6251.97	170.36	9.3%	5821.93	158.33	2.6%
				3	3	5330.27	189.74	0.0%	5342.00	226.50	0.2%	5726.13	152.04	6.9%	6065.47	169.67	12.1%	5816.20	160.20	8.4%
			3	2	2	5552.03	158.37	0.0%	5696.20	141.31	2.5%	6537.03	152.58	15.1%	6765.67	169.85	17.9%	6510.23	149.62	14.7%
				3	3	5456.87	203.80	0.0%	5696.97	134.89	4.2%	6525.53	152.97	16.4%	6750.27	168.56	19.2%	6501.43	154.04	16.1%
			3	2	2	5552.50	154.96	0.0%	5437.37	188.70	-2.1%	5817.83	160.11	4.6%	6025.10	173.68	7.8%	5817.17	163.52	4.5%
				3	3	5438.10	215.65	0.0%	5438.53	193.51	0.0%	5764.17	164.34	5.7%	5893.40	168.04	7.7%	5780.47	165.64	5.9%
	3	2	2	2	5113.57	175.32	0.0%	5466.73	162.71	6.5%	5795.27	135.39	11.8%	6127.77	147.77	16.6%	5744.80	146.23	11.0%	
			3	3	4006.53	92.52	0.0%	5463.53	169.91	26.7%	5781.53	136.86	30.7%	6109.73	149.06	34.4%	5735.13	146.12	30.1%	
		3	2	2	5108.27	174.29	0.0%	4054.80	93.99	-26.0%	4747.77	86.05	-7.6%	5125.03	124.73	0.3%	4757.87	95.47	-7.4%	
			3	3	3984.07	101.77	0.0%	4039.17	83.40	1.4%	4679.60	86.84	14.9%	4951.60	107.92	19.5%	4718.13	93.30	15.6%	

附錄 B

以下表格為 TS1、TS2 與 TS3 在各種不同的 n、Class、 $m_i (i=1,2,3,4)$ 組合下的數據整理表，包含了總排程時間平均值(Mean)、總排程時間標準差(Std.)與優勢百分比平均值(Improve)。

表 B. 1 n=50 之各種演算法結果

n	Class	M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)								
							TS1			TS2			TS3			TS1			TS2			TS3		
							Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve
50	1	2	2	2	2	50	1715.67	60.11	4.8%	1725.37	68.48	5.4%	1632.87	162.13	0.0%	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.02			
						100	1703.87	63.92	4.9%	1716.37	67.32	5.6%	1619.77	161.37	0.0%	0.13	0.07	0.10	0.07	0.10	0.06			
					3	50	1650.20	73.35	7.5%	1649.67	66.92	7.4%	1527.23	200.81	0.0%	0.08	0.04	0.07	0.04	0.06	0.03			
						100	1629.13	74.48	6.9%	1639.20	67.11	7.5%	1516.03	194.13	0.0%	0.20	0.09	0.15	0.07	0.10	0.05			
					3	2	50	1669.83	59.73	5.4%	1680.67	75.05	6.0%	1579.50	152.19	0.0%	0.07	0.03	0.06	0.03	0.06	0.03		
							100	1652.23	66.67	5.0%	1670.20	74.25	6.0%	1569.70	148.22	0.0%	0.15	0.07	0.12	0.06	0.10	0.06		
			3	50		1564.27	58.94	6.2%	1585.60	66.79	7.5%	1467.10	188.88	0.0%	0.10	0.04	0.08	0.04	0.07	0.04				
				100		1547.73	63.04	6.4%	1571.17	59.28	7.8%	1448.67	179.98	0.0%	0.21	0.07	0.16	0.07	0.13	0.07				
			3	2		50	1644.80	82.47	5.6%	1659.30	87.76	6.5%	1552.00	166.17	0.0%	0.06	0.03	0.06	0.03	0.04	0.03			
						100	1628.23	77.98	5.5%	1641.90	80.16	6.3%	1538.47	156.85	0.0%	0.15	0.09	0.13	0.07	0.10	0.05			
				3	50	1564.83	87.89	8.8%	1577.70	92.35	9.5%	1427.80	189.60	0.0%	0.08	0.04	0.08	0.04	0.06	0.03				
					100	1551.10	88.01	8.3%	1567.10	90.31	9.3%	1422.10	186.28	0.0%	0.16	0.07	0.15	0.07	0.10	0.04				
				3	2	50	1567.07	78.44	5.0%	1600.57	93.96	7.0%	1487.97	160.15	0.0%	0.09	0.03	0.08	0.04	0.06	0.03			
						100	1545.97	74.36	4.9%	1582.83	89.49	7.1%	1470.87	154.63	0.0%	0.20	0.09	0.15	0.08	0.13	0.08			
			3	3	50	1431.70	88.52	6.2%	1470.90	93.89	8.7%	1342.43	155.17	0.0%	0.10	0.04	0.09	0.05	0.07	0.04				
					100	1420.83	86.69	6.3%	1442.53	83.04	7.7%	1331.20	155.10	0.0%	0.21	0.10	0.19	0.07	0.12	0.06				
			3	2	2	2	50	1634.53	75.82	5.3%	1624.83	82.09	4.8%	1547.17	146.52	0.0%	0.07	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03		
							100	1623.73	74.72	5.5%	1617.93	79.00	5.1%	1534.77	138.26	0.0%	0.13	0.06	0.12	0.06	0.10	0.06		
						3	50	1576.27	83.67	9.0%	1558.20	74.00	8.0%	1434.23	185.82	0.0%	0.08	0.05	0.08	0.03	0.06	0.03		
							100	1563.60	83.79	8.9%	1551.63	73.87	8.2%	1425.17	181.89	0.0%	0.17	0.09	0.15	0.05	0.11	0.06		
						3	2	50	1572.03	86.10	6.5%	1570.17	80.96	6.4%	1469.30	166.29	0.0%	0.07	0.04	0.06	0.03	0.06	0.02	
								100	1562.10	86.32	6.4%	1553.77	81.21	5.9%	1461.97	163.91	0.0%	0.14	0.05	0.16	0.08	0.11	0.05	
					3	3	50	1451.70	91.49	7.8%	1460.10	86.22	8.3%	1338.43	173.99	0.0%	0.10	0.04	0.09	0.03	0.06	0.04		
							100	1434.73	88.90	7.5%	1445.93	85.33	8.2%	1327.50	169.49	0.0%	0.21	0.08	0.19	0.08	0.12	0.06		
		2				50	1529.80	81.07	6.9%	1524.20	76.66	6.5%	1425.00	150.34	0.0%	0.08	0.04	0.07	0.06	0.05	0.02			
						100	1516.10	74.62	6.5%	1511.80	76.14	6.3%	1416.83	143.60	0.0%	0.18	0.10	0.17	0.07	0.10	0.06			
		3				50	1425.97	79.07	9.2%	1432.47	87.80	9.6%	1295.33	164.16	0.0%	0.10	0.04	0.10	0.04	0.05	0.03			
						100	1414.40	81.13	9.5%	1425.00	90.05	10.1%	1280.67	159.55	0.0%	0.20	0.10	0.18	0.08	0.12	0.08			
		3		2	50	1387.27	75.01	6.1%	1382.83	77.35	5.8%	1302.37	136.11	0.0%	0.07	0.03	0.06	0.03	0.05	0.02				
					100	1379.33	72.43	5.8%	1379.13	76.41	5.8%	1299.47	135.10	0.0%	0.15	0.12	0.13	0.05	0.09	0.04				
				3	50	1202.70	46.33	4.9%	1205.00	47.62	5.0%	1144.27	110.20	0.0%	0.08	0.03	0.06	0.03	0.05	0.03				
					100	1194.23	48.68	5.0%	1200.73	47.73	5.5%	1134.87	106.74	0.0%	0.13	0.07	0.13	0.06	0.10	0.05				

(續)

n	Class	M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)						
							TS1			TS2			TS3			TS1		TS2		TS3		
							Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.	
50	2					2	50	1590.43	69.64	5.6%	1584.57	71.51	5.2%	1501.73	142.96	0.0%	0.06	0.03	0.05	0.03	0.04	0.02
							100	1579.13	69.40	5.6%	1572.90	68.47	5.2%	1490.90	135.55	0.0%	0.13	0.09	0.15	0.07	0.10	0.05
							50	1520.17	77.65	10.6%	1519.57	79.72	10.5%	1359.40	199.83	0.0%	0.08	0.04	0.08	0.03	0.06	0.03
							100	1506.57	79.95	10.3%	1504.67	84.43	10.2%	1351.03	193.13	0.0%	0.20	0.08	0.18	0.09	0.10	0.05
							50	1512.47	79.09	7.4%	1523.40	94.99	8.1%	1400.60	183.82	0.0%	0.06	0.03	0.06	0.04	0.05	0.03
							100	1503.73	78.18	7.9%	1511.30	83.61	8.4%	1384.57	177.14	0.0%	0.12	0.05	0.13	0.06	0.11	0.06
							50	1401.70	101.89	9.9%	1399.73	103.14	9.8%	1262.47	200.63	0.0%	0.10	0.04	0.09	0.04	0.07	0.04
							100	1387.73	99.69	9.3%	1394.20	103.04	9.7%	1258.83	199.03	0.0%	0.19	0.08	0.16	0.06	0.11	0.07
							50	1495.37	77.97	7.5%	1485.13	78.25	6.9%	1382.67	156.06	0.0%	0.08	0.04	0.07	0.04	0.04	0.02
							100	1485.07	77.21	7.6%	1476.07	77.58	7.0%	1372.47	150.69	0.0%	0.17	0.09	0.15	0.08	0.11	0.08
							50	1378.57	90.54	11.5%	1377.90	92.61	11.4%	1220.53	168.30	0.0%	0.10	0.04	0.09	0.04	0.06	0.03
							100	1372.07	89.92	11.4%	1367.53	92.72	11.1%	1215.30	164.96	0.0%	0.19	0.08	0.18	0.08	0.11	0.07
							50	1337.37	77.03	7.8%	1335.07	74.08	7.6%	1233.23	154.33	0.0%	0.08	0.03	0.06	0.02	0.05	0.03
							100	1331.47	76.65	8.3%	1330.83	76.39	8.3%	1220.97	147.95	0.0%	0.14	0.06	0.14	0.05	0.11	0.08
							50	1109.13	44.98	6.5%	1107.83	52.73	6.4%	1036.83	109.05	0.0%	0.06	0.03	0.05	0.02	0.05	0.02
							100	1099.37	41.82	6.5%	1101.00	51.79	6.7%	1027.77	103.59	0.0%	0.14	0.07	0.14	0.06	0.10	0.06
							50	1583.67	70.26	5.8%	1576.83	76.25	5.4%	1492.13	137.64	0.0%	0.07	0.04	0.06	0.03	0.05	0.02
							100	1572.00	73.56	6.2%	1570.53	74.53	6.1%	1475.00	139.55	0.0%	0.15	0.07	0.12	0.05	0.11	0.05
							50	1512.17	76.26	10.1%	1513.33	80.59	10.2%	1359.63	181.58	0.0%	0.09	0.04	0.08	0.05	0.06	0.04
							100	1498.47	73.53	10.1%	1500.10	81.68	10.2%	1347.30	175.25	0.0%	0.19	0.07	0.19	0.08	0.11	0.07
							50	1516.13	81.33	7.2%	1518.97	89.82	7.3%	1407.60	205.95	0.0%	0.07	0.04	0.06	0.03	0.05	0.03
							100	1506.87	80.12	7.1%	1504.57	82.28	6.9%	1400.60	201.88	0.0%	0.16	0.09	0.14	0.07	0.09	0.05
							50	1396.77	99.18	10.3%	1401.83	100.40	10.6%	1252.77	199.08	0.0%	0.11	0.04	0.09	0.03	0.06	0.03
							100	1388.47	100.83	10.6%	1396.40	97.66	11.1%	1241.90	192.99	0.0%	0.17	0.05	0.16	0.06	0.13	0.08
							50	1487.27	81.18	8.5%	1481.47	83.63	8.1%	1360.73	159.88	0.0%	0.07	0.03	0.07	0.04	0.05	0.02
							100	1471.27	77.25	8.4%	1467.23	86.70	8.1%	1347.87	153.46	0.0%	0.18	0.11	0.18	0.08	0.11	0.06
							50	1376.00	91.08	11.6%	1377.10	99.10	11.7%	1216.33	156.42	0.0%	0.10	0.04	0.09	0.04	0.06	0.03
							100	1361.47	91.46	11.4%	1365.43	96.93	11.6%	1206.77	155.25	0.0%	0.26	0.21	0.20	0.09	0.12	0.07
							50	1329.83	80.05	7.8%	1332.33	79.90	8.0%	1226.30	149.48	0.0%	0.08	0.05	0.08	0.04	0.05	0.02
							100	1325.37	81.85	8.0%	1328.37	81.02	8.2%	1219.20	144.37	0.0%	0.14	0.05	0.15	0.06	0.11	0.07
							50	1102.37	50.56	6.6%	1099.20	51.27	6.3%	1029.87	108.36	0.0%	0.07	0.04	0.07	0.03	0.05	0.02
							100	1092.53	51.85	6.7%	1091.63	51.94	6.6%	1019.73	103.93	0.0%	0.15	0.07	0.16	0.07	0.11	0.06
							50	1565.63	79.24	6.7%	1576.13	89.94	7.3%	1461.40	193.16	0.0%	0.06	0.03	0.06	0.03	0.04	0.02
							100	1555.93	76.90	6.6%	1568.97	83.00	7.4%	1453.03	187.54	0.0%	0.13	0.06	0.11	0.03	0.09	0.05
							50	1478.47	85.79	9.4%	1501.53	89.13	10.8%	1339.30	182.56	0.0%	0.07	0.04	0.06	0.03	0.07	0.04
							100	1470.40	85.91	9.4%	1487.23	95.52	10.5%	1331.60	177.51	0.0%	0.15	0.06	0.13	0.07	0.13	0.09
							50	1501.20	80.30	9.4%	1511.57	87.35	10.0%	1360.40	210.34	0.0%	0.08	0.03	0.07	0.03	0.06	0.02
							100	1475.07	83.54	8.2%	1498.60	83.17	9.6%	1354.70	206.69	0.0%	0.19	0.11	0.16	0.06	0.11	0.06
							50	1357.50	86.47	9.3%	1379.23	101.51	10.7%	1231.53	182.67	0.0%	0.11	0.06	0.10	0.05	0.08	0.04
							100	1339.60	90.59	8.4%	1365.50	94.34	10.2%	1226.80	181.13	0.0%	0.24	0.08	0.20	0.08	0.13	0.07
							50	1570.83	74.90	7.5%	1577.77	83.00	7.9%	1452.87	185.77	0.0%	0.06	0.03	0.06	0.03	0.04	0.02
							100	1561.53	73.21	7.7%	1566.93	78.68	8.0%	1442.00	180.60	0.0%	0.13	0.07	0.14	0.06	0.11	0.07
							50	1478.90	86.69	8.7%	1495.67	93.42	9.7%	1350.77	181.95	0.0%	0.07	0.04	0.06	0.03	0.06	0.04
							100	1471.03	85.86	8.8%	1485.00	99.22	9.6%	1342.27	177.20	0.0%	0.14	0.06	0.13	0.06	0.11	0.09
							50	1501.83	91.15	9.1%	1524.63	92.97	10.5%	1364.47	208.06	0.0%	0.07	0.03	0.07	0.03	0.06	0.03
							100	1484.87	88.47	9.0%	1502.83	93.77	10.1%	1351.77	200.81	0.0%	0.18	0.12	0.17	0.06	0.14	0.09
							50	1361.87	89.90	9.1%	1376.33	82.66	10.1%	1237.47	186.12	0.0%	0.11	0.05	0.10	0.05	0.07	0.04
							100	1346.13	91.52	8.5%	1361.33	89.75	9.5%	1231.33	182.96	0.0%	0.20	0.07	0.20	0.09	0.12	0.07
							50	1476.23	73.00	8.5%	1467.87	76.88	8.0%	1350.97	162.67	0.0%	0.07	0.04	0.06	0.03	0.05	0.03
							100	1462.93	74.33	8.2%	1461.07	77.27	8.1%	1342.83	157.07	0.0%	0.16	0.07	0.14	0.06	0.11	0.07
50	1364.67	94.54	12.0%	1367.13	100.24	12.2%	1200.67	160.25	0.0%	0.08	0.03	0.07	0.04	0.05	0.03							
100	1354.20	98.33	12.1%	1357.80	103.31	12.3%	1190.70	154.49	0.0%	0.17	0.06	0.15	0.07	0.11	0.05							
50	1334.20	77.02	9.8%	1337.17	77.99	10.0%	1204.10	184.57	0.0%	0.08	0.04	0.07	0.03	0.06	0.03							
100	1323.33	81.36	9.2%	1330.53	78.52	9.7%	1201.80	183.48	0.0%	0.17	0.09	0.14	0.05	0.10	0.05							
50	1084.73	52.85	6.5%	1086.33	59.44	6.6%	1014.77	121.31	0.0%	0.07	0.03	0.06	0.03	0.05	0.02							
100	1076.80	48.29	7.3%	1081.37	59.90	7.7%	998.17	127.59	0.0%	0.14	0.06	0.13	0.06	0.11	0.04							
50	1470.10	72.72	8.3%	1460.77	81.26	7.8%	1347.47	157.74	0.0%	0.07	0.04	0.07	0.03	0.05	0.03							
100	1458.70	75.47	8.3%	1454.53	82.23	8.0%	1338.07	151.57	0.0%	0.17	0.07	0.15	0.06	0.11	0.06							
50	1355.27	99.82	11.3%	1363.03	98.41	11.8%	1201.83	157.57	0.0%	0.11	0.04	0.07	0.03	0.06	0.04							

(續)

n	Class	M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)							
							TS1			TS2			TS3			TS1		TS2		TS3			
							Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.		
50	4	2	2	2	2	2	50	1581.90	69.28	6.4%	1585.77	67.34	6.6%	1480.37	191.24	0.0%	0.07	0.04	0.06	0.03	0.05	0.02	
						100	1567.83	69.89	6.1%	1576.07	64.32	6.5%	1472.87	187.21	0.0%	0.15	0.06	0.12	0.06	0.09	0.05		
						3	50	1507.30	69.82	8.6%	1519.77	70.69	9.4%	1377.50	233.82	0.0%	0.10	0.05	0.09	0.05	0.06	0.03	
						100	1492.77	73.66	8.3%	1510.60	69.01	9.4%	1368.70	229.43	0.0%	0.19	0.07	0.18	0.08	0.11	0.07		
						2	50	1576.40	69.96	6.0%	1585.33	69.07	6.6%	1481.30	190.49	0.0%	0.07	0.03	0.06	0.03	0.06	0.03	
						3	100	1563.30	65.12	5.8%	1578.97	64.04	6.8%	1472.03	186.52	0.0%	0.15	0.06	0.11	0.06	0.11	0.07	
						2	50	1507.97	70.96	9.0%	1514.50	67.39	9.4%	1372.33	227.15	0.0%	0.09	0.04	0.08	0.03	0.06	0.03	
						100	1489.17	70.08	8.6%	1505.57	65.32	9.6%	1361.70	223.26	0.0%	0.20	0.10	0.17	0.07	0.12	0.07		
						3	50	1486.23	85.46	7.1%	1517.07	83.53	9.0%	1381.10	183.59	0.0%	0.07	0.04	0.07	0.03	0.06	0.02	
						100	1471.43	83.59	6.9%	1499.13	84.48	8.7%	1369.40	176.72	0.0%	0.17	0.07	0.16	0.07	0.13	0.07		
						2	50	1363.87	82.14	8.4%	1398.10	83.05	10.6%	1249.73	202.95	0.0%	0.09	0.05	0.09	0.03	0.08	0.04	
						100	1348.87	85.68	8.7%	1379.03	81.96	10.7%	1231.73	194.28	0.0%	0.20	0.08	0.19	0.09	0.15	0.10		
						3	50	1485.80	87.20	7.2%	1514.30	91.65	9.0%	1378.43	178.55	0.0%	0.08	0.04	0.07	0.04	0.06	0.03	
						100	1468.03	85.00	6.8%	1495.90	86.47	8.5%	1368.90	173.85	0.0%	0.18	0.07	0.18	0.08	0.12	0.06		
						2	50	1357.83	86.29	8.6%	1386.03	81.27	10.4%	1241.70	200.40	0.0%	0.10	0.05	0.10	0.04	0.07	0.04	
						3	100	1343.93	83.65	8.4%	1363.67	79.86	9.7%	1231.63	196.78	0.0%	0.21	0.10	0.19	0.07	0.14	0.07	
						2	50	1482.80	74.31	8.4%	1479.90	71.28	8.2%	1357.90	198.17	0.0%	0.08	0.03	0.07	0.03	0.06	0.04	
						100	1471.10	75.54	8.2%	1472.60	70.65	8.3%	1350.07	193.94	0.0%	0.16	0.09	0.16	0.08	0.12	0.06		
						3	50	1385.90	91.29	11.0%	1394.33	97.07	11.5%	1233.93	217.87	0.0%	0.10	0.03	0.10	0.04	0.07	0.03	
						100	1377.73	97.16	11.3%	1381.23	97.32	11.5%	1222.60	219.30	0.0%	0.21	0.07	0.18	0.09	0.13	0.09		
						2	50	1481.10	75.04	8.4%	1477.53	72.02	8.1%	1357.13	182.96	0.0%	0.07	0.04	0.07	0.03	0.06	0.04	
						100	1472.43	75.50	8.6%	1470.77	71.68	8.5%	1345.57	179.75	0.0%	0.15	0.07	0.15	0.07	0.11	0.05		
						3	50	1382.40	93.40	11.6%	1396.07	97.00	12.4%	1222.57	214.91	0.0%	0.10	0.04	0.10	0.05	0.07	0.04	
						100	1371.27	94.10	11.4%	1386.87	93.47	12.4%	1214.40	213.53	0.0%	0.20	0.07	0.19	0.08	0.13	0.08		
						2	50	1315.07	80.18	7.8%	1311.50	86.08	7.6%	1212.13	151.39	0.0%	0.07	0.03	0.06	0.03	0.04	0.02	
						100	1310.40	82.42	7.9%	1310.30	86.71	7.9%	1206.50	149.52	0.0%	0.12	0.04	0.11	0.05	0.09	0.05		
						3	50	1103.30	41.64	5.7%	1107.03	43.32	6.0%	1040.83	129.39	0.0%	0.07	0.04	0.06	0.03	0.05	0.02	
						100	1087.73	48.18	5.6%	1101.30	44.21	6.7%	1027.30	131.17	0.0%	0.16	0.07	0.13	0.07	0.11	0.06		
						2	50	1312.73	80.94	7.6%	1310.17	81.98	7.4%	1213.50	147.07	0.0%	0.06	0.02	0.06	0.03	0.04	0.02	
						100	1308.47	83.78	7.5%	1307.63	82.77	7.4%	1210.37	145.74	0.0%	0.12	0.05	0.12	0.04	0.09	0.05		
						3	50	1098.87	48.58	6.6%	1106.67	53.87	7.3%	1025.93	130.68	0.0%	0.07	0.04	0.07	0.04	0.06	0.03	
						100	1087.80	50.87	6.8%	1092.23	53.63	7.2%	1013.63	126.11	0.0%	0.18	0.07	0.17	0.10	0.15	0.08		
						2	50	1609.80	65.76	8.6%	1616.60	67.33	8.9%	1472.10	253.03	0.0%	0.07	0.05	0.07	0.03	0.04	0.03	
						100	1601.30	64.24	8.5%	1607.73	70.63	8.9%	1464.87	250.52	0.0%	0.14	0.06	0.14	0.06	0.10	0.07		
						3	50	1614.73	63.21	8.7%	1613.93	67.72	8.6%	1474.83	256.38	0.0%	0.07	0.04	0.07	0.03	0.04	0.02	
						100	1599.07	67.95	8.8%	1607.13	68.57	9.2%	1458.87	250.24	0.0%	0.15	0.07	0.14	0.06	0.12	0.07		
						2	50	1523.57	64.50	8.8%	1537.50	69.49	9.6%	1389.93	245.85	0.0%	0.11	0.04	0.09	0.04	0.06	0.04	
						100	1504.43	68.53	8.0%	1524.87	64.46	9.2%	1384.13	243.24	0.0%	0.21	0.07	0.19	0.07	0.10	0.05		
						3	50	1513.20	71.65	8.7%	1527.20	68.93	9.5%	1382.20	243.18	0.0%	0.10	0.05	0.09	0.04	0.06	0.03	
						100	1484.87	65.14	8.1%	1516.20	71.38	10.0%	1365.17	237.03	0.0%	0.23	0.10	0.18	0.08	0.14	0.09		
						2	50	1523.07	94.07	10.6%	1525.87	92.51	10.7%	1362.23	252.04	0.0%	0.07	0.03	0.06	0.04	0.06	0.03	
						100	1512.77	93.43	10.7%	1521.23	93.01	11.2%	1350.33	250.21	0.0%	0.13	0.07	0.13	0.04	0.10	0.06		
						3	50	1516.63	95.54	10.8%	1522.27	91.38	11.2%	1352.33	243.82	0.0%	0.06	0.03	0.06	0.03	0.06	0.03	
						100	1499.63	89.29	10.4%	1518.93	92.35	11.5%	1343.57	245.00	0.0%	0.15	0.08	0.11	0.04	0.10	0.05		
						2	50	1370.87	82.66	9.4%	1409.90	83.42	11.9%	1241.77	247.60	0.0%	0.09	0.04	0.08	0.03	0.06	0.02	
						100	1360.33	78.91	10.0%	1388.77	82.15	11.9%	1223.73	238.70	0.0%	0.18	0.07	0.19	0.08	0.12	0.08		
						3	50	1364.43	81.68	10.0%	1384.10	81.99	11.3%	1228.07	227.03	0.0%	0.09	0.04	0.09	0.04	0.07	0.03	
						100	1354.60	85.62	10.1%	1369.27	88.86	11.1%	1217.43	226.32	0.0%	0.19	0.09	0.17	0.07	0.13	0.07		
						2	50	1530.03	74.80	10.8%	1533.73	80.69	11.0%	1365.47	215.38	0.0%	0.08	0.04	0.08	0.03	0.06	0.03	
						100	1516.00	81.69	10.8%	1526.27	78.89	11.4%	1352.53	208.66	0.0%	0.18	0.07	0.17	0.08	0.12	0.08		
3	50	1531.63	73.93	11.2%	1536.30	75.71	11.5%	1359.33	234.80	0.0%	0.09	0.04	0.09	0.05	0.06	0.03							
100	1512.23	76.75	11.1%	1525.43	77.53	11.8%	1344.83	226.79	0.0%	0.23	0.07	0.19	0.08	0.13	0.09								
2	50	1404.53	92.18	11.3%	1415.17	94.58	11.9%	1246.07	236.49	0.0%	0.09	0.04	0.09	0.05	0.06	0.03							
100	1389.53	92.61	10.8%	1406.97	99.62	11.9%	1239.73	237.52	0.0%	0.19	0.08	0.17	0.07	0.10	0.05								
3	50	1383.20	88.93	10.5%	1402.33	96.81	11.7%	1237.97	229.11	0.0%	0.11	0.06	0.10	0.04	0.06	0.02							
100	1376.07	87.41	10.9%	1391.23	97.27	11.8%	1226.70	231.08	0.0%	0.20	0.08	0.17	0.07	0.11	0.07								
2	50	1388.73	95.01	14.0%	1400.40	98.54	14.7%	1194.07	206.79	0.0%	0.10	0.04	0.09	0.03	0.06	0.04							

表 B. 2 n=100 之各種演算法結果

n	Class	M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)					
							TS1			TS2			TS3			TS1		TS2		TS3	
							Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
##	1	2	2	2	50	3204.17	84.62	3.9%	3194.23	86.46	3.6%	3078.23	271.18	0.0%	0.05	0.02	0.04	0.01	0.04	0.02	
					100	3199.83	79.58	4.3%	3193.53	85.91	4.1%	3063.00	267.51	0.0%	0.17	0.10	0.13	0.05	0.19	0.12	
				50	3109.20	105.53	6.7%	3087.23	93.31	6.1%	2900.00	354.05	0.0%	0.14	0.08	0.06	0.03	0.05	0.03		
				100	3090.30	94.73	6.5%	3075.87	87.94	6.1%	2888.70	359.36	0.0%	0.31	0.15	0.30	0.17	0.19	0.07		
				50	3158.10	78.24	4.3%	3151.93	81.41	4.1%	3022.80	267.43	0.0%	0.10	0.03	0.05	0.02	0.05	0.03		
				100	3150.60	74.94	4.4%	3145.63	79.29	4.3%	3010.77	270.33	0.0%	0.20	0.11	0.20	0.07	0.17	0.10		
			50	2996.40	79.43	6.9%	2974.73	81.51	6.2%	2789.63	353.02	0.0%	0.18	0.08	0.10	0.06	0.11	0.05			
			100	2966.33	70.36	7.1%	2965.67	83.91	7.1%	2755.90	336.90	0.0%	0.39	0.24	0.33	0.17	0.34	0.24			
			50	3137.97	100.88	5.2%	3145.37	93.34	5.4%	2976.27	296.23	0.0%	0.10	0.04	0.10	0.05	0.09	0.04			
			100	3122.90	90.89	5.2%	3130.20	97.04	5.4%	2960.90	299.19	0.0%	0.26	0.16	0.23	0.13	0.18	0.10			
			50	2963.70	122.91	7.5%	2960.93	121.21	7.4%	2741.40	353.12	0.0%	0.12	0.08	0.12	0.05	0.08	0.04			
			100	2951.13	118.78	8.4%	2953.40	116.95	8.5%	2702.20	342.43	0.0%	0.27	0.14	0.24	0.11	0.22	0.12			
		50	3041.37	91.62	5.9%	3052.93	100.17	6.2%	2862.33	294.28	0.0%	0.15	0.09	0.13	0.05	0.09	0.05				
		100	2996.53	91.69	5.8%	3032.57	98.06	6.9%	2822.30	282.29	0.0%	0.45	0.20	0.32	0.14	0.27	0.17				
		50	2777.53	100.84	8.1%	2796.17	115.07	8.7%	2553.80	296.95	0.0%	0.21	0.12	0.20	0.11	0.15	0.08				
		100	2740.67	105.98	7.4%	2767.77	120.40	8.3%	2538.67	296.03	0.0%	0.51	0.28	0.44	0.23	0.27	0.16				
		50	3101.50	94.80	5.2%	3092.30	86.75	4.9%	2940.43	258.86	0.0%	0.13	0.05	0.08	0.03	0.08	0.04				
		100	3092.57	94.97	5.2%	3078.63	85.39	4.7%	2932.73	256.07	0.0%	0.23	0.12	0.30	0.13	0.18	0.09				
		50	2989.40	95.29	9.1%	2969.30	97.72	8.5%	2717.67	332.36	0.0%	0.20	0.08	0.17	0.09	0.12	0.06				
		100	2967.60	95.31	8.9%	2948.30	104.88	8.3%	2702.43	336.84	0.0%	0.49	0.18	0.40	0.19	0.24	0.14				
		50	2982.43	97.10	4.9%	2954.30	97.80	4.0%	2837.20	286.40	0.0%	0.16	0.08	0.09	0.04	0.09	0.04				
		100	2968.83	98.91	5.1%	2947.97	100.15	4.4%	2817.50	299.15	0.0%	0.30	0.14	0.27	0.18	0.23	0.14				
		50	2809.37	108.22	8.5%	2790.67	115.53	7.8%	2571.73	352.50	0.0%	0.23	0.12	0.22	0.14	0.13	0.07				
		100	2779.10	109.57	8.0%	2770.47	120.14	7.7%	2556.40	342.46	0.0%	0.48	0.25	0.46	0.21	0.30	0.28				
	50	2941.40	103.10	6.9%	2928.60	111.97	6.5%	2739.47	275.94	0.0%	0.13	0.07	0.07	0.03	0.09	0.04					
	100	2930.50	106.22	6.8%	2918.27	107.80	6.4%	2732.00	271.72	0.0%	0.29	0.14	0.23	0.11	0.17	0.08					
	50	2755.10	135.12	10.2%	2755.73	143.00	10.2%	2473.90	324.83	0.0%	0.21	0.09	0.24	0.12	0.10	0.04					
	100	2737.67	131.12	10.1%	2737.93	135.98	10.1%	2462.07	324.36	0.0%	0.51	0.27	0.43	0.18	0.20	0.12					
	50	2691.77	120.87	6.3%	2686.03	121.24	6.1%	2523.07	251.94	0.0%	0.13	0.06	0.09	0.04	0.10	0.05					
	100	2682.17	120.14	6.2%	2678.97	122.73	6.1%	2515.17	249.18	0.0%	0.28	0.14	0.28	0.13	0.21	0.12					
	50	2214.63	53.78	4.2%	2206.93	61.75	3.9%	2121.37	187.04	0.0%	0.12	0.06	0.08	0.03	0.09	0.03					
	100	2206.50	57.43	4.6%	2199.27	58.29	4.3%	2105.43	188.74	0.0%	0.26	0.12	0.21	0.13	0.21	0.12					
	50	3030.00	112.87	4.8%	3024.37	109.96	4.7%	2883.57	243.31	0.0%	0.06	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02					
	100	3018.57	107.48	4.8%	3015.20	108.37	4.7%	2874.00	240.93	0.0%	0.27	0.16	0.22	0.11	0.13	0.07					
	50	2892.63	119.26	10.3%	2871.40	117.30	9.6%	2594.67	342.96	0.0%	0.11	0.08	0.07	0.04	0.10	0.06					
	100	2870.97	119.62	10.4%	2858.87	116.40	10.0%	2573.60	334.67	0.0%	0.38	0.24	0.37	0.21	0.27	0.18					
	50	2902.53	106.19	6.7%	2894.30	104.80	6.4%	2709.33	349.06	0.0%	0.11	0.07	0.05	0.02	0.09	0.04					
	100	2889.03	104.23	6.8%	2888.60	103.45	6.8%	2692.33	341.08	0.0%	0.29	0.19	0.24	0.12	0.18	0.10					
	50	2725.97	119.15	11.4%	2714.53	121.39	11.1%	2413.90	379.61	0.0%	0.20	0.11	0.18	0.13	0.11	0.05					
	100	2705.60	123.74	11.1%	2693.03	110.74	10.7%	2404.53	370.80	0.0%	0.45	0.23	0.43	0.23	0.21	0.12					
	50	2895.50	110.85	7.2%	2890.20	105.33	7.1%	2686.33	291.42	0.0%	0.13	0.05	0.11	0.06	0.10	0.05					
	100	2879.20	114.05	7.2%	2873.90	105.14	7.0%	2672.67	282.54	0.0%	0.35	0.20	0.34	0.22	0.23	0.14					
	50	2694.33	125.98	12.0%	2680.80	132.00	11.5%	2371.23	337.60	0.0%	0.27	0.15	0.23	0.13	0.12	0.05					
	100	2667.03	124.42	11.5%	2663.90	133.08	11.4%	2361.40	331.54	0.0%	0.54	0.25	0.51	0.17	0.22	0.13					
	50	2628.87	130.98	7.8%	2627.80	128.70	7.7%	2424.83	299.16	0.0%	0.16	0.08	0.15	0.08	0.24	0.16					
	100	2619.80	131.21	7.7%	2623.23	128.82	7.8%	2417.70	297.17	0.0%	0.35	0.15	0.32	0.15	0.28	0.13					
	50	2078.90	72.03	5.4%	2076.03	74.31	5.3%	1965.70	179.24	0.0%	0.12	0.06	0.08	0.05	0.09	0.04					
	100	2073.47	71.76	5.6%	2066.07	73.93	5.3%	1957.47	176.37	0.0%	0.31	0.17	0.20	0.09	0.20	0.10					
50	3011.80	105.51	4.9%	3009.33	100.80	4.8%	2864.23	233.77	0.0%	0.11	0.08	0.08	0.04	0.08	0.05						
100	2995.30	96.82	4.8%	2994.20	98.29	4.8%	2850.10	234.96	0.0%	0.28	0.17	0.26	0.20	0.20	0.16						
50	2886.57	112.42	10.5%	2876.03	109.70	10.2%	2583.63	347.23	0.0%	0.19	0.10	0.16	0.08	0.13	0.06						
100	2870.60	104.10	10.3%	2863.57	111.34	10.1%	2573.60	347.37	0.0%	0.40	0.22	0.33	0.19	0.24	0.16						
50	2896.27	107.37	6.6%	2890.57	101.92	6.4%	2706.23	337.26	0.0%	0.11	0.06	0.07	0.03	0.11	0.06						
100	2887.87	103.74	6.7%	2879.70	104.57	6.5%	2693.23	331.49	0.0%	0.30	0.19	0.23	0.15	0.23	0.12						
50	2724.30	112.33	11.4%	2700.73	116.11	10.7%	2412.83	381.66	0.0%	0.20	0.08	0.16	0.09	0.13	0.10						
100	2696.40	115.11	10.9%	2686.50	114.74	10.6%	2401.37	379.34	0.0%	0.39	0.21	0.43	0.23	0.27	0.15						
50	2887.80	105.30	7.2%	2883.27	106.25	7.1%	2678.90	291.82	0.0%	0.16	0.10	0.13	0.07	0.10	0.07						

(續)

n	Class	M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)					
							TS1			TS2			TS3			TS1		TS2		TS3	
							Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
###	3	2	2	2	2	50	3013.67	101.93	6.5%	3015.60	105.17	6.6%	2817.33	321.92	0.0%	0.06	0.03	0.04	0.02	0.06	0.05
					100	3005.33	96.39	6.5%	3005.57	100.04	6.5%	2809.07	318.68	0.0%	0.22	0.12	0.17	0.11	0.19	0.11	
				3	50	2844.53	122.73	8.9%	2841.23	121.12	8.8%	2592.33	345.20	0.0%	0.06	0.03	0.05	0.02	0.13	0.07	
				100	2833.23	125.27	9.1%	2829.40	119.83	9.0%	2575.00	342.43	0.0%	0.24	0.10	0.25	0.14	0.24	0.12		
				2	50	2943.40	107.53	9.1%	2955.80	118.32	9.4%	2676.53	415.23	0.0%	0.11	0.09	0.10	0.05	0.11	0.05	
			100	2917.43	103.01	9.0%	2935.03	111.50	9.6%	2654.37	406.81	0.0%	0.39	0.22	0.32	0.18	0.27	0.12			
			3	50	2683.57	112.76	9.5%	2709.10	132.56	10.3%	2429.27	363.19	0.0%	0.25	0.13	0.24	0.13	0.14	0.09		
			100	2648.23	112.29	9.1%	2677.90	119.45	10.1%	2406.20	354.26	0.0%	0.58	0.23	0.48	0.18	0.34	0.22			
			2	50	3008.87	97.29	6.3%	3004.57	100.38	6.2%	2818.00	329.20	0.0%	0.11	0.04	0.09	0.08	0.10	0.05		
			100	3000.50	93.23	6.6%	2994.97	100.30	6.4%	2802.23	322.75	0.0%	0.25	0.11	0.22	0.15	0.23	0.16			
		3	50	2841.33	120.06	8.6%	2837.23	119.44	8.4%	2598.20	337.64	0.0%	0.11	0.05	0.08	0.04	0.10	0.07			
		100	2828.63	114.52	8.9%	2827.23	119.46	8.8%	2577.63	329.60	0.0%	0.28	0.13	0.26	0.16	0.27	0.18				
		2	50	2930.20	94.22	8.8%	2946.43	115.53	9.3%	2673.70	395.05	0.0%	0.16	0.12	0.15	0.08	0.12	0.07			
		100	2910.30	96.81	9.0%	2933.80	119.63	9.7%	2648.00	388.51	0.0%	0.38	0.23	0.31	0.19	0.29	0.18				
		3	50	2661.83	110.47	9.5%	2695.20	117.55	10.7%	2407.87	368.27	0.0%	0.32	0.11	0.23	0.12	0.13	0.08			
		100	2638.97	110.37	9.4%	2661.30	123.87	10.2%	2390.30	360.02	0.0%	0.60	0.26	0.53	0.22	0.27	0.15				
		2	50	2864.57	115.20	7.7%	2848.37	115.19	7.1%	2645.23	309.06	0.0%	0.16	0.07	0.11	0.05	0.10	0.05			
		100	2848.33	111.86	7.5%	2832.83	107.46	7.0%	2634.43	303.29	0.0%	0.38	0.21	0.29	0.12	0.23	0.13				
		3	50	2665.10	148.33	12.1%	2650.53	154.73	11.7%	2341.40	333.91	0.0%	0.17	0.11	0.15	0.05	0.10	0.04			
		100	2647.20	147.75	12.0%	2636.67	148.79	11.6%	2330.03	333.49	0.0%	0.43	0.16	0.37	0.15	0.21	0.12				
		2	50	2625.77	130.64	9.4%	2627.53	136.28	9.5%	2378.03	379.39	0.0%	0.13	0.08	0.13	0.06	0.13	0.10			
		100	2614.67	131.30	9.4%	2618.03	137.39	9.5%	2369.30	373.53	0.0%	0.34	0.18	0.31	0.16	0.28	0.18				
		3	50	2073.87	72.56	6.6%	2070.60	74.19	6.5%	1936.93	240.56	0.0%	0.11	0.05	0.10	0.05	0.09	0.04			
		100	2065.60	70.82	6.7%	2061.27	68.31	6.5%	1926.43	238.03	0.0%	0.27	0.12	0.24	0.13	0.24	0.14				
		2	50	2857.27	104.16	7.5%	2844.17	108.43	7.0%	2644.20	305.39	0.0%	0.14	0.08	0.12	0.09	0.11	0.07			
		100	2846.83	108.76	7.5%	2833.30	107.80	7.1%	2632.53	296.56	0.0%	0.33	0.17	0.30	0.21	0.25	0.16				
		3	50	2656.40	147.84	11.1%	2637.43	155.48	10.5%	2360.50	314.64	0.0%	0.19	0.08	0.18	0.07	0.11	0.06			
		100	2644.90	149.83	11.2%	2632.13	154.86	10.8%	2347.90	321.30	0.0%	0.37	0.18	0.31	0.10	0.23	0.12				
		2	50	2626.33	127.37	9.0%	2627.43	129.11	9.0%	2389.90	376.00	0.0%	0.18	0.11	0.14	0.06	0.12	0.07			
		100	2618.03	129.34	9.3%	2621.87	130.60	9.4%	2374.47	376.70	0.0%	0.33	0.19	0.29	0.10	0.25	0.13				
		3	50	2069.63	78.19	6.6%	2066.30	80.67	6.4%	1933.57	233.11	0.0%	0.14	0.08	0.09	0.04	0.07	0.03			
		100	2052.77	74.40	6.5%	2056.50	77.39	6.6%	1920.33	227.47	0.0%	0.30	0.18	0.30	0.14	0.19	0.09				
		2	50	3023.77	85.17	5.7%	3001.53	81.05	5.0%	2852.67	346.15	0.0%	0.10	0.06	0.04	0.02	0.04	0.02			
		100	3017.10	84.95	5.8%	2997.70	80.86	5.2%	2842.33	343.70	0.0%	0.25	0.12	0.18	0.11	0.18	0.14				
		3	50	2901.23	88.44	8.7%	2882.17	76.41	8.1%	2648.17	437.57	0.0%	0.19	0.08	0.11	0.08	0.13	0.07			
		100	2874.53	89.60	8.5%	2865.70	76.47	8.3%	2629.17	436.61	0.0%	0.48	0.31	0.41	0.20	0.28	0.16				
		2	50	3016.47	87.75	5.6%	3000.47	87.70	5.1%	2847.93	342.01	0.0%	0.11	0.06	0.09	0.03	0.09	0.03			
		100	3010.80	89.69	5.9%	2991.80	88.18	5.3%	2834.67	337.78	0.0%	0.28	0.14	0.19	0.10	0.21	0.12				
		3	50	2892.83	88.98	9.0%	2891.37	80.31	8.9%	2633.80	428.44	0.0%	0.17	0.11	0.17	0.09	0.15	0.10			
		100	2871.33	80.25	8.7%	2876.47	84.08	8.9%	2621.37	423.40	0.0%	0.38	0.21	0.40	0.18	0.30	0.20				
		2	50	2907.30	107.44	7.5%	2909.00	107.95	7.5%	2690.23	336.39	0.0%	0.13	0.07	0.12	0.07	0.12	0.07			
		100	2874.13	98.35	7.0%	2890.30	112.81	7.6%	2671.83	329.09	0.0%	0.41	0.18	0.31	0.15	0.24	0.14				
		3	50	2677.27	99.67	10.0%	2698.50	114.44	10.8%	2408.40	374.39	0.0%	0.22	0.10	0.21	0.12	0.17	0.08			
		100	2642.90	109.65	9.5%	2674.50	117.41	10.5%	2392.50	366.94	0.0%	0.50	0.22	0.45	0.19	0.33	0.18				
		2	50	2905.63	96.35	7.7%	2911.40	97.22	7.9%	2682.77	322.02	0.0%	0.12	0.09	0.11	0.06	0.12	0.06			
		100	2875.93	93.94	7.4%	2888.70	92.86	7.8%	2663.23	313.77	0.0%	0.39	0.23	0.37	0.23	0.29	0.17				
		3	50	2656.47	99.23	9.1%	2691.33	101.99	10.3%	2414.13	374.85	0.0%	0.26	0.14	0.19	0.11	0.15	0.09			
		100	2630.17	112.02	9.2%	2661.70	113.13	10.3%	2388.40	368.55	0.0%	0.56	0.25	0.51	0.27	0.33	0.22				
		2	50	2852.10	102.35	7.2%	2832.77	101.74	6.6%	2646.97	383.49	0.0%	0.15	0.08	0.09	0.05	0.10	0.05			
		100	2843.00	98.51	7.3%	2825.03	104.94	6.7%	2635.80	378.21	0.0%	0.30	0.12	0.22	0.12	0.21	0.10				
	3	50	2704.07	122.48	11.3%	2711.67	117.15	11.5%	2398.63	431.04	0.0%	0.29	0.13	0.22	0.09	0.14	0.10				
	100	2682.40	113.79	11.0%	2690.03	116.46	11.2%	2388.67	431.40	0.0%	0.54	0.18	0.51	0.19	0.27	0.25					
	2	50	2851.27	103.03	7.3%	2831.23	105.23	6.7%	2642.47	376.00	0.0%	0.15	0.06	0.08	0.03	0.11	0.06				
	100	2837.93	100.71	7.2%	2820.77	104.75	6.6%	2633.70	373.26	0.0%	0.34	0.19	0.26	0.15	0.20	0.13					
	3	50	2699.53	119.17	10.9%	2702.33	113.16	11.0%	2404.33	428.95	0.0%	0.28	0.14	0.23	0.11	0.14	0.09				
	100	2674.57	119.61	10.5%	2675.50	121.16	10.5%	2394.27	429.34	0.0%	0.52	0.21	0.53	0.20	0.24	0.17					
	2	50	2591.40	146.19	8.1%	2587.33	147.53	8.0%	2380.77	311.97	0.0%	0.13	0.06	0.13	0.06	0.12	0.07				

(續)

n	Class	M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)					
							TS1			TS2			TS3			TS1		TS2		TS3	
							Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
100	5	2	2	2	2	50	3060.80	104.46	8.5%	3048.47	100.43	8.2%	2799.47	458.72	0.0%	0.08	0.04	0.05	0.03	0.05	0.02
						100	3050.93	106.19	8.8%	3041.27	99.50	8.5%	2782.77	451.62	0.0%	0.28	0.15	0.23	0.12	0.22	0.11
					50	3052.97	96.95	8.1%	3035.80	98.06	7.6%	2805.17	444.10	0.0%	0.14	0.10	0.06	0.04	0.06	0.03	
					100	3040.93	99.43	8.5%	3023.13	97.28	8.0%	2781.40	454.12	0.0%	0.36	0.19	0.26	0.14	0.25	0.14	
					50	2923.83	90.10	9.3%	2917.40	81.59	9.1%	2653.37	459.97	0.0%	0.15	0.13	0.15	0.06	0.11	0.06	
					100	2896.47	87.86	9.2%	2904.43	85.61	9.5%	2628.63	446.66	0.0%	0.41	0.22	0.35	0.19	0.34	0.25	
				50	2901.10	93.47	8.9%	2892.97	81.49	8.6%	2642.80	453.67	0.0%	0.20	0.13	0.20	0.10	0.15	0.09		
				100	2871.80	80.37	8.9%	2874.27	85.42	9.0%	2615.57	441.80	0.0%	0.49	0.24	0.46	0.26	0.37	0.22		
				50	2902.97	121.33	10.9%	2888.53	119.53	10.5%	2586.20	467.03	0.0%	0.12	0.06	0.08	0.03	0.10	0.06		
				100	2889.67	114.01	11.3%	2878.57	122.86	11.0%	2563.20	458.75	0.0%	0.27	0.15	0.22	0.16	0.23	0.13		
				50	2894.57	116.67	10.8%	2889.90	123.15	10.7%	2580.80	456.59	0.0%	0.11	0.04	0.10	0.05	0.11	0.06		
				100	2884.93	113.32	11.1%	2879.70	126.35	11.0%	2563.43	460.27	0.0%	0.26	0.14	0.25	0.16	0.23	0.14		
			50	2688.70	123.06	11.0%	2713.93	113.30	11.9%	2391.87	457.71	0.0%	0.16	0.11	0.13	0.06	0.12	0.06			
			100	2645.63	121.07	10.9%	2677.77	124.30	12.0%	2357.43	451.05	0.0%	0.44	0.21	0.41	0.22	0.28	0.17			
			50	2656.77	112.62	10.8%	2688.53	114.05	11.8%	2371.13	460.41	0.0%	0.19	0.10	0.16	0.08	0.13	0.06			
			100	2626.27	115.98	10.6%	2651.63	117.36	11.4%	2349.00	458.86	0.0%	0.47	0.23	0.46	0.19	0.28	0.16			
			50	2945.13	102.60	11.6%	2936.63	99.89	11.3%	2603.93	429.54	0.0%	0.18	0.09	0.15	0.08	0.12	0.08			
			100	2927.33	105.82	11.5%	2920.27	102.60	11.3%	2590.87	422.53	0.0%	0.37	0.20	0.43	0.25	0.23	0.15			
			50	2939.57	106.17	11.3%	2923.87	106.35	10.8%	2608.17	434.72	0.0%	0.23	0.10	0.16	0.10	0.11	0.07			
			100	2906.20	111.24	10.9%	2907.47	107.31	10.9%	2589.60	422.50	0.0%	0.48	0.31	0.47	0.23	0.24	0.13			
			50	2733.57	106.49	11.8%	2738.63	115.36	12.0%	2411.13	450.78	0.0%	0.21	0.10	0.17	0.06	0.12	0.05			
			100	2703.30	109.27	11.4%	2718.83	114.89	11.9%	2395.60	451.70	0.0%	0.49	0.23	0.42	0.16	0.24	0.13			
			50	2720.00	114.45	11.8%	2721.43	118.02	11.9%	2398.93	450.85	0.0%	0.25	0.12	0.23	0.10	0.15	0.11			
			100	2696.57	117.65	11.6%	2697.07	115.27	11.6%	2384.47	453.90	0.0%	0.47	0.19	0.53	0.25	0.30	0.24			
		50	2693.70	140.94	14.0%	2709.87	143.28	14.3%	2316.23	412.75	0.0%	0.29	0.14	0.26	0.11	0.13	0.07				
		100	2666.07	135.73	13.5%	2690.00	146.67	14.3%	2305.67	415.16	0.0%	0.60	0.20	0.51	0.23	0.23	0.14				
		50	2679.87	141.71	14.3%	2694.70	143.89	14.8%	2295.80	417.81	0.0%	0.27	0.09	0.25	0.11	0.15	0.11				
		100	2650.80	142.32	13.8%	2670.23	149.68	14.4%	2285.67	412.73	0.0%	0.58	0.26	0.56	0.23	0.27	0.16				
		50	2096.97	60.37	8.7%	2091.10	54.74	8.4%	1915.20	292.44	0.0%	0.12	0.06	0.10	0.08	0.11	0.05				
		100	2087.50	64.05	8.9%	2085.73	55.88	8.8%	1902.30	303.03	0.0%	0.27	0.14	0.25	0.11	0.20	0.10				
		50	2089.90	69.39	9.4%	2077.27	65.00	8.8%	1894.10	317.67	0.0%	0.14	0.08	0.12	0.08	0.10	0.03				
		100	2076.70	71.17	9.1%	2065.50	65.27	8.6%	1887.90	314.83	0.0%	0.33	0.12	0.29	0.12	0.19	0.09				

表 B. 3 n=150 之各種演算法結果

n	Class	M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)					
							TS1			TS2			TS3			TS1		TS2		TS3	
							Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
150	1	2	2	2	2	50	4657.87	117.73	3.3%	4649.80	113.36	3.1%	4503.90	354.10	0.0%	0.07	0.03	0.05	0.02	0.06	0.02
						100	4654.93	116.11	3.5%	4642.20	116.56	3.3%	4490.40	350.23	0.0%	0.16	0.08	0.11	0.05	0.23	0.19
					50	4533.27	103.70	6.9%	4496.23	104.34	6.1%	4220.20	494.56	0.0%	0.12	0.05	0.07	0.03	0.07	0.02	
					100	4518.40	106.19	6.8%	4481.17	105.82	6.1%	4209.20	488.98	0.0%	0.41	0.30	0.28	0.17	0.37	0.19	
					50	4604.43	110.40	4.2%	4592.93	104.56	4.0%	4410.37	389.86	0.0%	0.09	0.05	0.07	0.04	0.08	0.03	
					100	4584.33	102.33	4.0%	4583.53	105.85	4.0%	4399.73	384.96	0.0%	0.47	0.26	0.41	0.20	0.33	0.18	
				50	4387.67	118.18	6.9%	4378.20	117.05	6.7%	4084.13	478.85	0.0%	0.12	0.05	0.10	0.05	0.09	0.04		
				100	4367.97	114.08	7.6%	4354.37	113.16	7.3%	4035.07	485.96	0.0%	0.67	0.32	0.59	0.32	0.55	0.31		
				50	4579.73	121.00	5.0%	4592.10	129.82	5.3%	4348.90	418.01	0.0%	0.07	0.03	0.07	0.02	0.06	0.02		
				100	4565.03	115.80	5.1%	4582.30	129.09	5.4%	4334.33	410.93	0.0%	0.46	0.19	0.35	0.15	0.30	0.12		
				50	4333.13	139.15	7.4%	4322.00	142.74	7.2%	4012.10	452.50	0.0%	0.09	0.04	0.07	0.04	0.06	0.02		
				100	4322.60	139.04	7.5%	4315.03	136.00	7.3%	3998.90	454.98	0.0%	0.43	0.21	0.40	0.33	0.27	0.12		
			50	4469.00	89.68	6.2%	4488.27	100.82	6.6%	4191.87	417.46	0.0%	0.19	0.12	0.10	0.06	0.10	0.08			
			100	4439.23	96.87	6.2%	4472.37	105.68	6.9%	4164.30	407.29	0.0%	0.65	0.36	0.50	0.36	0.44	0.27			
			50	4091.50	130.46	8.1%	4143.20	146.57	9.2%	3760.97	433.26	0.0%	0.38	0.21	0.11	0.05	0.23	0.07			
			100	4055.57	133.26	7.8%	4102.40	142.57	8.9%	3737.33	422.24	0.0%	0.99	0.52	0.64	0.37	0.45	0.21			
			50	4504.63	111.30	4.1%	4494.10	112.40	3.9%	4320.17	343.61	0.0%	0.17	0.07	0.09	0.05	0.15	0.07			
			100	4497.40	113.02	4.2%	4480.00	114.85	3.8%	4309.20	337.03	0.0%	0.38	0.16	0.43	0.15	0.36	0.21			
			50	4383.73	111.87	9.4%	4349.70	108.73	8.7%	3971.00	495.40	0.0%	0.32	0.17	0.26	0.16	0.24	0.12			
			100	4360.53	110.83	9.4%	4326.70	108.54	8.7%	3951.20	491.95	0.0%	0.92	0.38	0.68	0.34	0.48	0.34			
			50	4325.87	151.47	4.4%	4312.43	147.55	4.1%	4137.07	399.55	0.0%	0.18	0.08	0.16	0.07	0.18	0.10			
			100	4313.07	153.06	4.6%	4296.33	149.06	4.2%	4114.57	421.94	0.0%	0.49	0.22	0.43	0.25	0.36	0.19			
			50	4128.87	154.91	9.0%	4096.47	161.59	8.3%	3757.40	478.15	0.0%	0.38	0.18	0.37	0.19	0.23	0.16			
			100	4099.27	148.33	9.0%	4080.70	154.62	8.5%	3732.27	470.79	0.0%	0.91	0.57	0.70	0.34	0.46	0.29			
		50	4291.00	120.59	6.0%	4278.07	120.31	5.7%	4035.03	385.09	0.0%	0.23	0.14	0.13	0.04	0.16	0.07				
		100	4278.47	117.91	5.9%	4261.77	117.36	5.5%	4025.60	382.47	0.0%	0.61	0.30	0.43	0.19	0.33	0.18				
		50	4085.90	146.12	10.5%	4061.37	148.31	9.9%	3658.40	464.55	0.0%	0.50	0.24	0.41	0.23	0.21	0.14				
		100	4055.83	131.84	10.2%	4044.43	144.97	9.9%	3642.87	458.60	0.0%	0.95	0.45	0.91	0.45	0.42	0.34				
		50	3952.10	138.52	5.7%	3946.97	139.04	5.6%	3725.30	359.55	0.0%	0.25	0.14	0.16	0.06	0.18	0.15				
		100	3944.60	139.50	6.0%	3940.23	139.73	5.9%	3708.77	354.83	0.0%	0.47	0.20	0.27	0.24	0.32	0.26				
		50	3189.27	79.15	3.5%	3172.73	73.27	3.0%	3077.80	274.42	0.0%	0.22	0.11	0.15	0.06	0.15	0.08				
		100	3181.40	76.45	3.9%	3169.40	75.53	3.5%	3056.90	270.76	0.0%	0.40	0.24	0.40	0.20	0.32	0.16				

(續)

n	Class	M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)					
							TS1			TS2			TS3			TS1		TS2		TS3	
							Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
150	2	2	2	2	2	50	4415.57	117.96	4.4%	4415.97	110.44	4.4%	4222.20	322.75	0.0%	0.07	0.03	0.07	0.03	0.06	0.02
						100	4406.43	117.98	4.4%	4403.90	110.18	4.4%	4210.87	314.31	0.0%	0.35	0.21	0.28	0.25	0.33	0.17
						50	4237.17	119.28	9.7%	4219.47	122.10	9.3%	3826.20	474.00	0.0%	0.12	0.06	0.10	0.05	0.09	0.05
						100	4220.77	121.83	9.7%	4203.17	121.60	9.3%	3811.17	466.83	0.0%	0.69	0.43	0.58	0.31	0.43	0.33
						50	4227.57	149.83	6.5%	4223.73	153.76	6.4%	3954.33	495.64	0.0%	0.07	0.03	0.06	0.02	0.07	0.03
						100	4219.83	149.57	6.6%	4215.90	153.02	6.5%	3940.70	489.87	0.0%	0.35	0.19	0.38	0.17	0.37	0.26
			50	4001.97	168.66	12.2%	3992.40	179.85	12.0%	3514.80	500.81	0.0%	0.13	0.06	0.11	0.05	0.08	0.03			
			100	3991.57	175.67	12.3%	3964.10	179.55	11.7%	3499.37	494.43	0.0%	0.79	0.39	0.58	0.33	0.39	0.22			
			50	4242.30	115.59	6.4%	4242.37	123.29	6.4%	3972.17	416.31	0.0%	0.09	0.04	0.08	0.04	0.07	0.02			
			100	4224.47	114.89	6.4%	4229.50	118.50	6.6%	3952.43	408.29	0.0%	0.56	0.28	0.53	0.24	0.45	0.27			
			50	4009.33	148.32	11.8%	3992.60	141.55	11.4%	3537.03	493.50	0.0%	0.39	0.21	0.30	0.28	0.22	0.15			
			100	3964.47	140.24	11.1%	3957.27	140.09	11.0%	3523.90	486.82	0.0%	1.18	0.64	1.07	0.55	0.45	0.27			
			50	3890.07	140.86	7.9%	3890.83	142.55	8.0%	3581.47	429.51	0.0%	0.24	0.10	0.23	0.09	0.24	0.18			
			100	3881.43	144.46	8.2%	3881.80	144.89	8.2%	3562.77	420.61	0.0%	0.58	0.21	0.56	0.30	0.49	0.39			
			50	3022.97	74.33	5.3%	3022.97	75.05	5.3%	2861.57	229.32	0.0%	0.17	0.07	0.16	0.07	0.18	0.12			
			100	3020.97	74.14	5.4%	3016.40	72.71	5.3%	2856.43	227.96	0.0%	0.35	0.14	0.32	0.15	0.33	0.16			
			50	4402.03	104.19	4.4%	4406.27	111.48	4.5%	4208.27	329.26	0.0%	0.17	0.08	0.14	0.05	0.15	0.06			
			100	4395.77	107.48	4.5%	4400.40	108.99	4.6%	4196.70	322.11	0.0%	0.36	0.16	0.34	0.18	0.30	0.18			
		50	4226.63	121.46	9.8%	4216.07	123.75	9.5%	3813.53	493.80	0.0%	0.31	0.18	0.28	0.15	0.20	0.12				
		100	4214.20	119.29	10.0%	4191.77	120.97	9.6%	3791.10	480.06	0.0%	0.83	0.50	0.62	0.33	0.42	0.25				
		50	4224.63	148.13	6.1%	4216.47	149.48	5.9%	3967.10	487.92	0.0%	0.17	0.09	0.15	0.07	0.21	0.16				
		100	4216.93	146.93	6.5%	4210.53	148.10	6.4%	3942.93	484.34	0.0%	0.40	0.18	0.38	0.17	0.36	0.17				
		50	3999.03	178.90	11.7%	3989.43	182.18	11.5%	3531.13	553.85	0.0%	0.32	0.18	0.28	0.14	0.24	0.10				
		100	3984.70	172.85	11.7%	3961.37	180.03	11.2%	3516.80	542.04	0.0%	0.77	0.31	0.67	0.42	0.42	0.23				
		50	4252.37	126.59	6.6%	4249.07	131.51	6.6%	3970.17	419.49	0.0%	0.25	0.14	0.20	0.08	0.19	0.11				
		100	4236.37	121.94	6.7%	4229.47	124.25	6.6%	3950.73	409.94	0.0%	0.74	0.42	0.55	0.30	0.45	0.24				
		50	3984.83	145.03	11.7%	3972.37	148.31	11.4%	3518.67	486.80	0.0%	0.50	0.27	0.43	0.23	0.27	0.16				
		100	3949.77	145.06	11.3%	3940.67	148.54	11.1%	3502.83	480.03	0.0%	1.23	0.48	1.11	0.63	0.53	0.38				
		50	3883.90	145.16	7.8%	3886.40	149.25	7.9%	3580.80	422.63	0.0%	0.27	0.15	0.26	0.13	0.24	0.19				
		100	3876.67	144.34	8.0%	3875.03	148.64	7.9%	3567.73	417.84	0.0%	0.65	0.31	0.58	0.28	0.50	0.41				
		50	3004.37	81.06	4.8%	3006.30	79.57	4.8%	2861.57	228.60	0.0%	0.17	0.07	0.15	0.05	0.18	0.09				
		100	3000.93	80.48	5.1%	2996.50	77.95	4.9%	2849.27	228.60	0.0%	0.49	0.31	0.33	0.14	0.36	0.18				
		50	4402.27	109.38	5.8%	4395.33	114.10	5.7%	4146.70	451.22	0.0%	0.08	0.03	0.06	0.02	0.06	0.02				
		100	4394.07	105.75	6.1%	4378.87	110.31	5.8%	4125.00	456.28	0.0%	0.46	0.25	0.21	0.16	0.19	0.14				
		50	4156.23	135.50	7.7%	4160.50	144.10	7.8%	3834.60	468.99	0.0%	0.08	0.04	0.07	0.03	0.07	0.03				
		100	4145.80	133.31	8.0%	4152.97	142.50	8.2%	3812.67	461.94	0.0%	0.45	0.25	0.44	0.23	0.41	0.24				
		50	4351.27	110.19	9.0%	4374.53	132.19	9.5%	3960.40	600.30	0.0%	0.10	0.07	0.07	0.03	0.08	0.04				
		100	4320.70	104.74	9.0%	4352.03	135.58	9.7%	3931.57	584.37	0.0%	0.63	0.39	0.54	0.38	0.44	0.27				
		50	3989.20	142.92	10.2%	4034.50	155.71	11.2%	3583.30	535.67	0.0%	0.37	0.23	0.28	0.21	0.09	0.03				
		100	3951.37	146.08	10.1%	3984.53	158.40	10.9%	3551.37	512.30	0.0%	1.11	0.48	1.00	0.55	0.54	0.45				
		50	4415.73	109.35	5.7%	4405.93	108.05	5.5%	4162.50	462.89	0.0%	0.17	0.07	0.14	0.07	0.06	0.03				
		100	4407.73	105.33	5.9%	4393.40	104.92	5.6%	4145.63	467.61	0.0%	0.48	0.26	0.33	0.20	0.30	0.18				
		50	4147.03	129.40	7.5%	4154.37	140.96	7.7%	3834.77	471.61	0.0%	0.17	0.09	0.17	0.13	0.08	0.03				
		100	4140.13	129.58	7.7%	4150.87	140.81	8.0%	3820.17	471.31	0.0%	0.39	0.21	0.39	0.23	0.36	0.20				
		50	4339.07	150.92	8.5%	4356.40	147.62	8.8%	3971.57	592.46	0.0%	0.30	0.20	0.26	0.16	0.09	0.04				
		100	4296.97	126.97	8.2%	4347.70	148.30	9.3%	3944.17	586.09	0.0%	0.84	0.43	0.54	0.23	0.50	0.34				
		50	3987.13	138.72	11.2%	4009.77	151.88	11.7%	3540.07	507.17	0.0%	0.45	0.28	0.39	0.22	0.27	0.19				
		100	3939.93	136.27	10.8%	3977.37	152.31	11.7%	3513.37	498.51	0.0%	1.15	0.55	0.92	0.47	0.55	0.37				
		50	4202.63	127.94	7.1%	4184.60	122.73	6.7%	3903.53	440.76	0.0%	0.28	0.14	0.17	0.10	0.17	0.11				
		100	4194.63	126.48	7.4%	4170.53	123.14	6.8%	3885.40	435.85	0.0%	0.67	0.35	0.43	0.17	0.42	0.23				
		50	3952.57	157.24	12.8%	3933.60	166.17	12.3%	3448.37	477.60	0.0%	0.28	0.11	0.27	0.12	0.21	0.13				
		100	3930.07	153.78	12.6%	3919.23	165.70	12.3%	3436.00	470.27	0.0%	0.77	0.48	0.63	0.32	0.45	0.24				
		50	3885.23	150.13	9.0%	3884.90	150.19	9.0%	3535.50	550.82	0.0%	0.22	0.12	0.22	0.11	0.24	0.14				
		100	3880.43	149.33	9.4%	3878.23	149.55	9.4%	3515.00	540.37	0.0%	0.54	0.26	0.47	0.29	0.50	0.33				
50	3026.83	64.06	6.1%	3019.77	67.38	5.9%	2841.87	324.52	0.0%	0.20	0.08	0.17	0.08	0.15	0.09						
100	3019.73	63.79	6.4%	3012.73	70.99	6.2%	2825.30	320.12	0.0%	0.44	0.21	0.41	0.21	0.38	0.23						
50	4194.73	121.29	6.9%	4189.80	116.62	6.8%	3905.47	438.51	0.0%	0.21	0.11	0.19	0.13	0.19	0.14						
100	4188.80	120.05	7.1%	4168.33	116.02	6.6%	3893.00	433.70	0.0%	0.71	0.35	0.42	0.20	0.41	0.27						
50	3929.30	147.45	12.1%	3919.33	162.65	11.9%	3453.63	468.02	0.0%	0.31	0.15	0.28	0.17	0.21	0.10						

(續)

n	Class	M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)								
							TS1			TS2			TS3			TS1			TS2			TS3		
							Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve
150	4						2	50	4422.87	104.19	5.6%	4407.07	104.30	5.3%	4173.73	484.25	0.0%	0.09	0.05	0.07	0.02	0.07	0.03	
								100	4412.53	101.81	5.7%	4397.63	103.09	5.4%	4162.07	488.79	0.0%	0.43	0.31	0.23	0.17	0.28	0.15	
							3	50	4264.50	127.84	9.1%	4237.97	117.21	8.5%	3875.67	630.77	0.0%	0.17	0.07	0.12	0.07	0.08	0.03	
								100	4238.73	114.53	8.8%	4218.23	116.62	8.4%	3864.20	627.93	0.0%	0.87	0.56	0.72	0.47	0.40	0.25	
							2	50	4412.63	117.52	5.4%	4404.20	108.21	5.2%	4174.70	491.81	0.0%	0.09	0.04	0.07	0.04	0.07	0.02	
								100	4401.70	105.74	5.5%	4395.40	110.77	5.4%	4159.30	489.59	0.0%	0.42	0.23	0.39	0.20	0.36	0.24	
							3	50	4259.20	120.88	9.3%	4237.53	116.15	8.8%	3865.13	632.35	0.0%	0.13	0.07	0.12	0.07	0.09	0.05	
								100	4240.17	118.01	9.1%	4217.20	107.96	8.6%	3854.70	625.98	0.0%	0.78	0.41	0.70	0.48	0.39	0.23	
							2	50	4259.20	120.88	6.7%	4281.10	130.94	7.2%	3974.47	474.74	0.0%	0.10	0.06	0.09	0.04	0.08	0.04	
								100	4248.10	114.88	6.7%	4264.00	135.26	7.1%	3962.70	468.32	0.0%	0.64	0.45	0.48	0.26	0.37	0.20	
							3	50	3974.47	155.28	9.3%	3994.70	154.44	9.8%	3603.13	538.25	0.0%	0.16	0.12	0.15	0.09	0.10	0.04	
								100	3944.80	158.14	9.4%	3971.93	152.95	10.0%	3573.50	534.97	0.0%	0.87	0.48	0.73	0.42	0.58	0.38	
							2	50	4265.37	124.50	6.7%	4274.80	133.59	6.9%	3979.10	452.57	0.0%	0.21	0.11	0.09	0.05	0.16	0.11	
								100	4242.13	109.65	7.0%	4262.70	131.44	7.4%	3945.57	466.98	0.0%	0.55	0.29	0.41	0.16	0.51	0.32	
							3	50	3977.17	146.27	9.8%	3997.97	155.36	10.2%	3588.60	545.50	0.0%	0.30	0.12	0.14	0.09	0.22	0.10	
								100	3939.13	149.30	9.7%	3959.17	145.66	10.2%	3557.20	538.18	0.0%	0.89	0.43	0.89	0.44	0.55	0.41	
							2	50	4179.10	137.96	6.7%	4168.63	135.18	6.4%	3900.87	544.19	0.0%	0.19	0.10	0.11	0.07	0.19	0.17	
								100	4173.70	139.51	7.0%	4160.50	138.04	6.7%	3881.80	538.17	0.0%	0.52	0.26	0.39	0.17	0.41	0.26	
							3	50	4010.37	167.52	12.0%	4003.63	185.27	11.9%	3527.13	627.40	0.0%	0.46	0.24	0.27	0.20	0.21	0.13	
								100	3974.47	172.73	12.0%	3972.73	172.39	12.0%	3495.67	629.32	0.0%	1.04	0.40	1.04	0.42	0.54	0.47	
							2	50	4189.23	144.91	6.9%	4176.77	142.45	6.6%	3899.60	545.21	0.0%	0.20	0.10	0.14	0.06	0.18	0.13	
								100	4178.57	141.57	7.2%	4167.30	144.19	6.9%	3879.63	535.35	0.0%	0.50	0.32	0.43	0.29	0.44	0.30	
							3	50	3987.90	163.94	12.2%	3991.20	179.23	12.3%	3499.47	624.08	0.0%	0.51	0.28	0.50	0.25	0.26	0.15	
								100	3947.43	170.49	11.8%	3972.90	182.79	12.4%	3481.87	615.28	0.0%	1.28	0.58	0.92	0.39	0.52	0.39	
							2	50	3836.67	157.62	7.6%	3833.93	156.93	7.5%	3546.70	443.67	0.0%	0.22	0.09	0.19	0.08	0.20	0.11	
								100	3831.83	157.66	7.7%	3832.00	157.22	7.7%	3537.07	442.17	0.0%	0.45	0.21	0.39	0.14	0.38	0.19	
							3	50	3028.17	72.50	5.3%	3013.83	77.91	4.9%	2867.20	360.47	0.0%	0.22	0.08	0.18	0.10	0.15	0.08	
								100	3023.77	71.99	5.8%	3008.60	72.06	5.4%	2847.27	352.30	0.0%	0.40	0.21	0.45	0.18	0.41	0.18	
							2	50	3829.97	159.29	7.4%	3826.33	158.49	7.3%	3548.10	447.45	0.0%	0.25	0.09	0.17	0.06	0.16	0.08	
								100	3826.77	158.64	7.9%	3825.00	158.17	7.8%	3524.80	440.06	0.0%	0.43	0.15	0.37	0.18	0.47	0.46	
							3	50	3026.97	64.61	5.4%	3016.67	67.81	5.1%	2863.53	350.01	0.0%	0.26	0.15	0.19	0.09	0.20	0.08	
								100	3020.10	62.14	5.7%	3006.80	70.77	5.3%	2846.87	343.56	0.0%	0.57	0.29	0.39	0.18	0.41	0.22	
							2	50	4480.23	112.50	8.3%	4452.80	109.94	7.8%	4107.70	645.55	0.0%	0.20	0.14	0.07	0.04	0.07	0.03	
								100	4468.73	113.89	8.4%	4439.93	114.85	7.8%	4091.77	640.16	0.0%	0.62	0.28	0.36	0.24	0.39	0.22	
							3	50	4478.60	105.23	8.5%	4453.73	109.66	8.0%	4098.33	627.43	0.0%	0.29	0.17	0.08	0.04	0.08	0.03	
								100	4465.67	102.66	8.5%	4438.07	105.04	7.9%	4085.67	631.58	0.0%	0.70	0.36	0.46	0.23	0.35	0.18	
							2	50	4295.83	136.00	9.5%	4272.20	117.35	9.0%	3888.50	656.89	0.0%	0.32	0.15	0.23	0.15	0.08	0.04	
								100	4272.50	121.79	9.3%	4250.70	118.39	8.9%	3874.27	654.39	0.0%	0.73	0.33	0.60	0.36	0.41	0.22	
							3	50	4273.27	136.47	9.2%	4247.57	126.40	8.6%	3881.50	658.79	0.0%	0.33	0.19	0.31	0.16	0.09	0.04	
								100	4249.90	136.08	9.5%	4230.10	124.25	9.1%	3845.60	644.32	0.0%	0.75	0.39	0.72	0.37	0.64	0.46	
							2	50	4265.57	145.01	10.8%	4247.63	139.99	10.4%	3804.90	670.52	0.0%	0.23	0.13	0.17	0.08	0.07	0.03	
								100	4256.07	146.56	11.0%	4242.60	141.17	10.7%	3787.87	663.20	0.0%	0.45	0.26	0.40	0.21	0.42	0.22	
							3	50	4248.77	152.20	9.9%	4234.63	159.90	9.6%	3826.13	664.56	0.0%	0.21	0.10	0.19	0.10	0.08	0.03	
								100	4239.73	147.97	10.1%	4227.10	161.31	9.8%	3812.10	657.13	0.0%	0.46	0.25	0.46	0.23	0.37	0.22	
							2	50	3960.73	151.57	11.0%	3983.23	145.42	11.5%	3526.20	648.15	0.0%	0.28	0.19	0.25	0.14	0.12	0.10	
								100	3949.60	150.33	11.5%	3964.37	146.81	11.9%	3493.77	653.68	0.0%	0.67	0.34	0.53	0.26	0.46	0.30	
							3	50	3922.87	156.47	10.8%	3952.70	153.90	11.5%	3498.70	643.84	0.0%	0.31	0.14	0.29	0.20	0.23	0.12	
								100	3907.87	160.04	11.7%	3922.77	155.78	12.0%	3452.47	658.35	0.0%	0.72	0.34	0.65	0.26	0.59	0.38	
							2	50	4352.30	111.07	11.7%	4330.13	112.34	11.2%	3844.73	630.13	0.0%	0.35	0.15	0.30	0.16	0.20	0.11	
								100	4322.00	116.68	11.4%	4304.40	114.93	11.1%	3827.90	620.81	0.0%	0.87	0.40	0.74	0.34	0.44	0.31	
							3	50	4327.83	108.83	11.0%	4305.97	112.63	10.5%	3852.43	622.41	0.0%	0.39	0.18	0.31	0.13	0.21	0.09	
								100	4300.83	114.78	10.9%	4290.33	111.81	10.7%	3830.50	611.10	0.0%	0.82	0.59	0.77	0.41	0.49	0.35	
							2	50	4038.10	173.37	13.1%	4021.03	176.34	12.8%	3507.20	660.33	0.0%	0.39	0.23	0.35	0.14	0.22	0.12	
								100	4006.87	167.72	12.9%	4004.03	169.31	12.8%	3490.43	666.72	0.0%	0.97	0.43	0.71	0.25	0.38	0.18	
							3	50	4017.53	157.04	13.2%	4000.37	168.40	12.8%	3488.27	666.94	0.0%	0.43	0.31	0.41	0.19	0.29	0.19	
								100	3979.40	160.07	12.9%	3985.10	174.42	13.0%	3466.80	656.34	0.0%	1.05	0.62	0.80	0.41	0.47	0.24	
							3	50	3992.27	134.04	13.9%	4024.80	150.15	14.6%	3436.90	619.12	0.0%	0.65	0.27	0.49	0.19	0.21	0.12	

表 B. 4 n=200 之各種演算法結果

n	Class	M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)					
							TS1			TS2			TS3			TS1		TS2		TS3	
							Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
###	1	2	2	2	2	50	6094.53	135.15	2.9%	6089.13	130.07	2.9%	5915.50	460.42	0.0%	0.11	0.04	0.07	0.02	0.07	0.03
						100	6092.10	135.97	3.0%	6082.43	132.89	2.9%	5906.47	464.11	0.0%	0.20	0.09	0.14	0.06	0.11	0.05
				50	5945.47	148.20	6.3%	5912.50	133.41	5.7%	5573.53	660.62	0.0%	0.17	0.08	0.09	0.05	0.09	0.03		
				100	5939.13	147.38	6.4%	5898.50	132.09	5.7%	5560.03	670.17	0.0%	0.63	0.53	0.18	0.10	0.16	0.05		
				50	5995.73	142.89	3.6%	6000.30	137.73	3.7%	5779.93	466.71	0.0%	0.09	0.03	0.08	0.02	0.07	0.02		
			100	5989.87	144.82	4.0%	5990.97	132.62	4.1%	5747.87	485.88	0.0%	0.50	0.23	0.16	0.07	0.15	0.05			
			50	5761.23	166.39	7.1%	5742.50	173.83	6.8%	5354.33	663.83	0.0%	0.17	0.10	0.14	0.10	0.12	0.06			
			100	5739.70	157.94	7.1%	5723.60	159.79	6.9%	5331.03	652.62	0.0%	1.06	0.71	0.82	0.55	0.58	0.46			
			50	6016.30	149.47	4.5%	6035.43	143.77	4.8%	5743.13	538.97	0.0%	0.09	0.04	0.09	0.03	0.08	0.03			
			100	6012.77	146.72	4.9%	6020.97	144.62	5.0%	5719.87	540.55	0.0%	0.50	0.24	0.63	0.34	0.57	0.28			
		50	5691.13	165.06	7.7%	5679.60	160.72	7.5%	5252.53	618.58	0.0%	0.12	0.06	0.08	0.02	0.09	0.03				
		100	5685.63	166.47	8.1%	5669.13	159.03	7.8%	5225.40	607.00	0.0%	0.71	0.32	0.48	0.20	0.52	0.21				
		50	5865.17	130.12	6.1%	5882.73	133.02	6.4%	5506.40	524.92	0.0%	0.12	0.06	0.12	0.05	0.12	0.06				
		100	5841.57	127.37	6.3%	5869.57	140.34	6.7%	5475.67	525.73	0.0%	0.94	0.50	0.73	0.43	0.76	0.39				
		50	5418.27	173.99	8.3%	5446.70	171.73	8.8%	4969.77	558.24	0.0%	0.15	0.10	0.14	0.06	0.14	0.08				
		100	5375.50	166.43	7.9%	5414.33	172.46	8.6%	4951.30	549.66	0.0%	1.29	0.66	1.09	0.72	0.73	0.45				
		50	5923.50	119.56	3.6%	5913.20	125.43	3.4%	5711.27	436.42	0.0%	0.11	0.04	0.07	0.02	0.08	0.03				
		100	5917.43	117.66	3.7%	5904.00	124.91	3.5%	5696.00	429.64	0.0%	0.57	0.26	0.70	0.31	0.53	0.30				
		50	5766.23	137.65	8.6%	5731.10	133.82	8.0%	5270.13	612.54	0.0%	0.20	0.09	0.11	0.05	0.10	0.05				
		100	5742.57	146.34	8.5%	5710.77	134.12	8.0%	5255.87	603.76	0.0%	1.18	0.55	0.87	0.46	0.65	0.48				
		50	5696.23	174.27	4.4%	5686.03	167.75	4.2%	5446.37	548.30	0.0%	0.14	0.07	0.08	0.03	0.10	0.05				
		100	5690.97	171.84	4.6%	5676.33	168.86	4.3%	5431.43	546.85	0.0%	0.78	0.38	0.49	0.24	0.56	0.23				
		50	5453.33	202.01	10.0%	5416.40	222.72	9.4%	4908.73	621.85	0.0%	0.21	0.09	0.14	0.06	0.13	0.08				
		100	5425.33	197.78	9.9%	5396.97	219.18	9.4%	4888.83	618.95	0.0%	1.15	0.62	1.14	0.72	0.78	0.53				
		50	5644.43	140.88	5.3%	5640.43	145.66	5.2%	5344.57	496.40	0.0%	0.13	0.07	0.10	0.04	0.08	0.04				
		100	5638.30	141.99	5.4%	5630.70	148.69	5.2%	5336.33	494.70	0.0%	0.85	0.53	0.64	0.39	0.46	0.20				
		50	5402.17	182.57	10.4%	5392.47	195.16	10.3%	4838.67	643.22	0.0%	0.23	0.10	0.19	0.10	0.10	0.05				
		100	5363.33	179.54	10.1%	5364.63	198.28	10.2%	4819.50	644.54	0.0%	1.49	0.91	1.43	0.87	0.64	0.52				
		50	5215.83	152.06	4.9%	5215.43	153.31	4.9%	4960.67	476.05	0.0%	0.12	0.05	0.09	0.03	0.09	0.05				
		100	5212.33	151.44	5.2%	5211.67	153.71	5.1%	4943.37	466.42	0.0%	0.69	0.37	0.57	0.28	0.58	0.37				
		50	4158.33	101.29	3.2%	4152.80	102.07	3.0%	4026.43	320.05	0.0%	0.11	0.04	0.08	0.02	0.07	0.02				
		100	4155.27	100.90	3.6%	4144.47	102.60	3.4%	4004.63	326.92	0.0%	0.61	0.36	0.43	0.17	0.52	0.26				
		50	5822.20	140.07	3.6%	5820.00	137.82	3.6%	5611.43	417.12	0.0%	0.10	0.04	0.08	0.02	0.07	0.02				
		100	5813.43	138.15	3.7%	5814.07	137.62	3.7%	5597.77	408.66	0.0%	0.60	0.40	0.19	0.07	0.17	0.08				
		50	5588.83	167.25	9.2%	5573.13	154.50	9.0%	5073.03	645.64	0.0%	0.17	0.09	0.11	0.05	0.11	0.06				
		100	5580.10	165.43	9.3%	5554.33	154.21	8.8%	5062.97	641.34	0.0%	0.67	0.36	1.04	0.60	0.18	0.07				
		50	5577.07	166.88	6.0%	5577.60	166.52	6.0%	5244.60	642.65	0.0%	0.09	0.03	0.08	0.03	0.09	0.04				
		100	5573.40	168.26	6.2%	5575.20	168.27	6.2%	5229.33	638.32	0.0%	0.47	0.25	0.51	0.27	0.25	0.26				
		50	5296.03	221.00	12.5%	5291.53	223.53	12.5%	4631.53	668.42	0.0%	0.18	0.10	0.15	0.09	0.11	0.04				
		100	5280.57	227.77	13.0%	5271.30	217.53	12.8%	4595.43	662.77	0.0%	1.03	0.43	1.00	0.45	0.73	0.38				
		50	5591.40	157.80	6.0%	5599.37	154.40	6.1%	5257.07	541.81	0.0%	0.10	0.03	0.09	0.04	0.09	0.04				
		100	5582.03	156.51	6.3%	5587.27	154.59	6.4%	5231.53	531.10	0.0%	0.73	0.47	0.68	0.47	0.74	0.48				
		50	5300.00	185.32	11.0%	5286.83	197.98	10.8%	4715.50	662.51	0.0%	0.27	0.13	0.19	0.11	0.13	0.06				
		100	5261.97	185.98	10.9%	5256.40	191.39	10.8%	4688.70	645.09	0.0%	1.73	0.73	1.64	0.93	0.88	0.75				
		50	5165.80	162.19	7.5%	5163.90	159.88	7.4%	4780.63	578.16	0.0%	0.16	0.07	0.12	0.06	0.10	0.06				
		100	5155.70	164.16	7.9%	5153.60	161.50	7.9%	4747.40	562.39	0.0%	0.97	0.49	0.98	0.51	0.94	0.77				
		50	3983.60	94.67	4.3%	3982.97	97.45	4.3%	3812.47	290.62	0.0%	0.10	0.04	0.09	0.03	0.08	0.02				
		100	3978.67	93.56	4.4%	3978.07	96.45	4.4%	3802.10	287.55	0.0%	0.60	0.34	0.55	0.32	0.49	0.22				
		50	5799.67	141.17	3.5%	5798.50	139.16	3.5%	5594.07	406.83	0.0%	0.10	0.04	0.07	0.02	0.07	0.02				
		100	5793.27	141.00	3.7%	5791.23	140.50	3.7%	5578.50	402.09	0.0%	0.52	0.27	0.53	0.24	0.54	0.39				
	50	5567.47	155.57	9.5%	5559.13	151.90	9.4%	5036.27	642.14	0.0%	0.16	0.07	0.12	0.07	0.10	0.04					
	100	5557.57	153.45	9.6%	5549.20	153.49	9.5%	5022.57	633.33	0.0%	0.87	0.55	0.77	0.47	0.61	0.42					
	50	5564.20	169.91	5.6%	5568.77	166.52	5.6%	5254.40	638.77	0.0%	0.08	0.02	0.08	0.03	0.08	0.03					
	100	5560.70	167.98	6.2%	5563.70	165.76	6.3%	5215.93	628.68	0.0%	0.49	0.23	0.49	0.27	0.71	0.54					
	50	5281.30	223.60	12.9%	5278.13	223.64	12.8%	4602.47	672.18	0.0%	0.16	0.09	0.14	0.07	0.11	0.06					
	100	5261.53	220.71	12.9%	5262.47	222.74	12.9%	4583.80	664.42	0.0%	0.94	0.46	0.92	0.49	0.70	0.38					
	50	5603.67	149.76	5.8%	5610.17	149.32	5.9%	5278.33	540.28	0.0%	0.10	0.05	0.09	0.03	0.09	0.05					

(續)

n	Class	M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)						
							TS1			TS2			TS3			TS1		TS2		TS3		
							Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.	
###	3					2	50	5801.33	124.59	5.1%	5804.03	136.33	5.2%	5504.07	605.61	0.0%	0.11	0.05	0.09	0.03	0.08	0.04
							100	5798.70	124.83	5.4%	5792.47	137.96	5.3%	5485.40	606.22	0.0%	0.70	0.37	0.16	0.07	0.14	0.05
							50	5470.73	174.05	7.7%	5483.77	178.46	7.9%	5052.00	635.53	0.0%	0.09	0.03	0.09	0.05	0.09	0.04
							100	5463.50	170.85	7.9%	5478.37	176.87	8.2%	5030.90	627.02	0.0%	0.55	0.34	0.53	0.19	0.55	0.34
							50	5744.57	160.17	8.5%	5761.23	153.75	8.8%	5255.80	790.80	0.0%	0.14	0.10	0.12	0.05	0.10	0.06
							100	5710.30	163.07	8.8%	5752.27	154.26	9.5%	5205.83	775.78	0.0%	1.02	0.50	0.71	0.44	0.88	0.51
							50	5302.10	181.83	11.6%	5346.10	189.89	12.3%	4689.40	694.04	0.0%	0.55	0.40	0.18	0.12	0.15	0.07
							100	5249.30	181.99	11.1%	5317.40	171.50	12.2%	4666.43	677.05	0.0%	1.76	0.81	1.19	0.74	0.90	0.60
							50	5810.13	141.95	5.5%	5804.83	137.24	5.5%	5487.80	607.46	0.0%	0.23	0.11	0.12	0.05	0.08	0.03
							100	5808.50	139.62	5.7%	5792.57	138.06	5.5%	5475.27	608.58	0.0%	0.76	0.32	0.41	0.17	0.42	0.23
							50	5470.87	172.33	7.9%	5476.53	179.94	8.0%	5037.47	638.97	0.0%	0.25	0.11	0.12	0.07	0.10	0.04
							100	5465.80	175.16	8.4%	5468.43	174.85	8.4%	5008.30	621.51	0.0%	0.67	0.37	0.47	0.17	0.72	0.31
							50	5743.23	170.72	8.9%	5771.97	169.57	9.4%	5230.47	797.20	0.0%	0.32	0.13	0.12	0.07	0.13	0.06
							100	5703.87	171.78	8.8%	5750.83	161.95	9.5%	5201.63	782.15	0.0%	1.12	0.83	0.96	0.61	0.89	0.55
							50	5312.67	180.71	11.0%	5345.90	173.41	11.6%	4726.33	706.14	0.0%	0.61	0.34	0.19	0.12	0.13	0.07
							100	5261.27	182.63	10.8%	5284.57	198.53	11.2%	4693.97	705.16	0.0%	1.70	0.80	1.66	1.06	0.80	0.49
							50	5576.60	156.89	6.8%	5560.17	164.74	6.5%	5199.07	583.14	0.0%	0.24	0.13	0.14	0.07	0.10	0.05
							100	5565.53	159.69	6.7%	5531.77	149.34	6.2%	5191.33	578.30	0.0%	1.24	0.63	0.69	0.51	0.57	0.41
							50	5216.57	196.82	12.1%	5202.27	202.96	11.9%	4583.97	620.51	0.0%	0.48	0.28	0.18	0.05	0.11	0.05
							100	5199.57	194.97	12.0%	5189.50	202.31	11.9%	4574.23	626.74	0.0%	1.11	0.75	1.07	0.57	0.54	0.32
							50	5158.50	168.62	9.0%	5155.73	167.41	8.9%	4696.03	744.77	0.0%	0.33	0.11	0.13	0.06	0.09	0.04
							100	5152.77	165.31	9.3%	5150.20	168.59	9.3%	4672.97	729.94	0.0%	0.88	0.47	0.74	0.36	0.65	0.54
							50	3976.87	89.08	6.2%	3973.20	91.82	6.1%	3729.77	427.63	0.0%	0.21	0.05	0.12	0.05	0.09	0.04
							100	3973.83	90.40	6.4%	3966.27	91.18	6.3%	3718.23	421.63	0.0%	0.71	0.42	0.46	0.19	0.48	0.23
							50	5569.30	153.09	6.7%	5546.37	162.95	6.3%	5198.63	582.93	0.0%	0.23	0.08	0.18	0.10	0.08	0.03
							100	5560.17	156.22	6.8%	5533.57	161.93	6.4%	5179.93	570.98	0.0%	1.06	0.55	0.62	0.40	0.61	0.47
							50	5215.53	212.84	12.6%	5190.70	211.25	12.2%	4557.57	622.49	0.0%	0.37	0.20	0.18	0.08	0.11	0.05
							100	5194.33	205.41	12.5%	5176.90	209.12	12.2%	4546.53	616.47	0.0%	1.15	0.71	1.06	0.38	0.65	0.30
							50	5159.07	156.72	9.4%	5154.87	157.78	9.3%	4675.43	732.47	0.0%	0.34	0.19	0.14	0.06	0.13	0.07
							100	5150.00	157.66	9.4%	5148.67	155.03	9.4%	4665.00	728.78	0.0%	0.88	0.58	0.87	0.33	0.77	0.50
							50	3984.77	96.03	6.0%	3979.30	99.40	5.9%	3745.97	432.58	0.0%	0.23	0.07	0.12	0.06	0.10	0.03
							100	3980.87	98.07	6.2%	3973.60	99.58	6.0%	3734.63	439.39	0.0%	0.71	0.30	0.49	0.28	0.50	0.23
							50	5790.03	150.23	4.9%	5784.70	143.75	4.8%	5507.17	637.99	0.0%	0.12	0.06	0.09	0.03	0.08	0.03
							100	5782.03	142.91	5.1%	5775.73	139.30	5.0%	5484.77	635.34	0.0%	0.54	0.42	0.17	0.08	0.43	0.30
							50	5619.30	178.71	8.9%	5592.33	173.87	8.5%	5118.40	843.33	0.0%	0.19	0.11	0.13	0.07	0.11	0.04
							100	5601.87	169.59	9.0%	5569.20	161.36	8.5%	5097.70	832.53	0.0%	1.55	0.83	0.82	0.58	0.79	0.54
							50	5791.13	127.40	4.8%	5796.97	127.77	4.9%	5510.37	635.62	0.0%	0.11	0.04	0.09	0.03	0.10	0.04
							100	5785.33	131.12	5.2%	5784.47	124.82	5.1%	5487.03	629.97	0.0%	0.51	0.21	0.88	0.52	0.56	0.29
							50	5606.90	165.04	9.0%	5589.43	155.84	8.7%	5100.90	806.43	0.0%	0.25	0.17	0.19	0.07	0.14	0.08
							100	5586.80	151.18	9.2%	5567.50	150.46	8.9%	5071.87	813.78	0.0%	1.37	0.63	1.06	0.81	0.92	0.62
							50	5635.97	136.07	6.6%	5653.83	143.20	6.9%	5262.77	624.34	0.0%	0.30	0.14	0.11	0.05	0.09	0.03
							100	5617.43	135.77	6.7%	5638.70	137.85	7.1%	5238.33	617.56	0.0%	0.83	0.53	0.78	0.42	0.69	0.37
							50	5263.80	165.71	9.8%	5289.17	174.36	10.3%	4745.37	719.12	0.0%	0.60	0.47	0.18	0.11	0.13	0.07
							100	5235.93	172.59	10.0%	5269.07	168.41	10.5%	4714.77	714.73	0.0%	1.34	0.71	1.28	0.73	0.86	0.48
							50	5629.60	153.67	6.5%	5650.13	160.68	6.8%	5265.57	599.95	0.0%	0.30	0.17	0.11	0.04	0.10	0.04
							100	5620.43	154.79	6.8%	5635.03	155.47	7.0%	5237.87	585.63	0.0%	0.91	0.60	0.63	0.33	0.72	0.52
							50	5266.90	175.30	9.8%	5291.83	179.21	10.3%	4748.57	667.58	0.0%	0.52	0.32	0.17	0.09	0.23	0.18
							100	5241.33	169.26	10.4%	5268.77	178.05	10.8%	4697.93	713.54	0.0%	1.20	0.68	1.19	0.64	0.98	0.68
							50	5530.93	157.31	6.4%	5523.00	154.37	6.3%	5175.93	700.88	0.0%	0.26	0.12	0.14	0.07	0.24	0.14
							100	5525.87	154.67	6.8%	5512.17	153.55	6.6%	5148.03	701.60	0.0%	1.11	0.59	0.56	0.30	0.55	0.35
							50	5323.03	202.43	13.2%	5318.73	196.61	13.1%	4621.10	831.69	0.0%	0.92	0.44	0.54	0.44	0.30	0.17
							100	5280.03	214.03	12.8%	5292.13	197.79	13.0%	4606.70	827.44	0.0%	2.09	0.93	2.00	0.82	0.61	0.57
							50	5533.33	150.24	6.3%	5526.57	152.79	6.2%	5182.30	714.97	0.0%	0.34	0.17	0.24	0.08	0.27	0.18
							100	5529.63	149.10	6.7%	5516.60	153.69	6.5%	5156.73	707.86	0.0%	0.96	0.38	0.53	0.27	0.69	0.70
							50	5296.77	197.50	13.3%	5300.10	220.08	13.3%	4594.30	802.50	0.0%	0.84	0.39	0.84	0.43	0.40	0.23
							100	5254.20	201.80	12.9%	5269.23	217.21	13.2%	4574.30	790.79	0.0%	1.99	0.95	2.00	0.84	0.79	0.50
							50	5097.70	171.09	7.0%	5098.10	172.84	7.0%	4741.40	608.70	0.0%	0.34	0.15	0.28	0.12	0.24	0.10

(續)

n	Class	M1	M2	M3	M4	ep	Makespan									Computational time(sec.)					
							TS1			TS2			TS3			TS1		TS2		TS3	
							Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Improve	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
200	5	2	2	2	2	50	5892.67	147.00	8.2%	5864.53	143.07	7.7%	5411.33	867.79	0.0%	0.15	0.07	0.08	0.03	0.09	0.03
					100	5883.07	143.51	8.4%	5847.73	140.76	7.8%	5391.73	860.50	0.0%	0.80	0.51	0.19	0.10	0.52	0.28	
				2	3	50	5866.23	147.25	7.9%	5839.43	139.26	7.5%	5404.13	862.10	0.0%	0.16	0.09	0.09	0.04	0.08	0.03
				100	5857.20	144.21	8.1%	5827.90	137.64	7.6%	5384.80	853.73	0.0%	0.94	0.54	0.22	0.11	0.60	0.34		
				3	2	50	5644.47	174.10	9.2%	5600.50	168.09	8.5%	5126.67	883.04	0.0%	0.21	0.12	0.12	0.06	0.13	0.06
				100	5626.93	171.68	9.3%	5579.63	164.95	8.5%	5104.83	872.76	0.0%	1.24	0.78	0.79	0.55	0.76	0.33		
			3	3	50	5635.23	179.95	9.2%	5595.93	163.71	8.5%	5118.93	857.83	0.0%	0.50	0.44	0.15	0.09	0.12	0.06	
			100	5612.97	168.92	9.3%	5571.93	160.01	8.6%	5093.67	849.67	0.0%	1.06	0.75	1.40	0.97	0.84	0.45			
			3	2	50	5613.00	163.45	10.4%	5607.77	165.93	10.3%	5030.07	902.31	0.0%	0.30	0.13	0.09	0.04	0.08	0.03	
			100	5608.83	166.06	10.6%	5590.57	169.75	10.3%	5016.93	896.15	0.0%	0.50	0.26	0.88	0.49	0.52	0.24			
			3	2	50	5594.53	163.04	9.6%	5570.07	170.39	9.2%	5056.40	841.53	0.0%	0.40	0.25	0.09	0.03	0.09	0.03	
			100	5587.17	168.40	9.9%	5560.03	169.53	9.4%	5036.20	853.67	0.0%	0.92	0.49	0.54	0.21	0.53	0.27			
			3	2	50	5235.47	184.39	11.4%	5271.23	182.63	12.0%	4641.13	854.11	0.0%	0.31	0.19	0.14	0.05	0.11	0.05	
			100	5218.70	189.72	11.7%	5260.33	181.25	12.4%	4609.77	857.15	0.0%	0.98	0.47	0.66	0.32	0.71	0.33			
			3	3	50	5196.63	200.59	11.0%	5229.60	184.69	11.5%	4627.13	866.92	0.0%	0.41	0.26	0.17	0.07	0.11	0.05	
			100	5187.27	195.15	11.2%	5211.87	182.42	11.6%	4606.73	863.39	0.0%	0.87	0.41	1.05	0.58	0.65	0.29			
			3	2	50	5739.43	145.81	11.2%	5712.27	140.98	10.8%	5094.37	810.87	0.0%	0.64	0.36	0.14	0.08	0.11	0.07	
			100	5715.37	144.83	11.2%	5684.30	146.51	10.7%	5077.90	800.33	0.0%	1.50	0.76	0.98	0.56	0.76	0.57			
		3	2	50	5723.13	140.51	10.8%	5698.20	145.38	10.4%	5104.87	811.13	0.0%	0.60	0.31	0.15	0.07	0.10	0.05		
		100	5691.30	135.49	10.8%	5664.50	140.32	10.3%	5079.37	795.61	0.0%	1.68	0.57	1.25	0.75	0.76	0.59				
		3	2	50	5347.77	211.69	13.7%	5321.23	213.94	13.3%	4615.60	837.18	0.0%	0.56	0.25	0.17	0.09	0.11	0.05		
		100	5319.43	218.71	13.7%	5309.67	215.12	13.5%	4590.27	837.83	0.0%	1.37	0.80	1.01	0.40	0.76	0.54				
		3	3	50	5313.07	204.78	13.8%	5302.07	213.51	13.6%	4580.27	847.39	0.0%	0.67	0.38	0.22	0.12	0.13	0.07		
		100	5278.57	204.81	13.6%	5285.63	212.10	13.7%	4560.20	833.75	0.0%	1.60	0.83	1.24	0.61	0.84	0.66				
		3	2	50	5310.67	177.58	14.9%	5323.07	206.72	15.1%	4521.17	807.29	0.0%	0.98	0.35	0.75	0.43	0.11	0.09		
		100	5271.77	169.35	14.5%	5288.90	194.26	14.8%	4507.77	796.50	0.0%	1.97	0.75	1.98	0.84	0.71	0.58				
		3	2	50	5290.67	179.13	14.8%	5315.13	188.18	15.2%	4507.70	813.18	0.0%	1.03	0.47	0.94	0.37	0.32	0.24		
		100	5225.80	192.80	14.1%	5275.87	204.35	14.9%	4489.90	799.77	0.0%	2.46	0.67	2.06	0.88	0.83	0.99				
		3	2	50	3982.87	105.46	8.3%	3969.37	101.56	8.0%	3652.17	581.54	0.0%	0.34	0.18	0.34	0.18	0.26	0.12		
		100	3978.13	102.25	8.3%	3962.90	99.69	8.0%	3646.27	580.68	0.0%	0.74	0.41	0.54	0.30	0.49	0.22				
		3	2	50	3975.27	105.31	8.4%	3952.73	100.62	7.9%	3641.07	575.37	0.0%	0.44	0.23	0.44	0.23	0.26	0.11		
		100	3970.27	103.98	8.6%	3946.73	99.10	8.0%	3630.10	574.86	0.0%	0.85	0.43	0.51	0.21	0.58	0.27				